



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

### **ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Análisis del efecto dinámico de ondas sísmicas en una estructura experimental con la implementación de una mesa vibratoria unidireccional, Lima, 2022.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERA CIVIL

**AUTORA:**

Huamán Cossío, Magna Aleksandra (ORCID: 0000-0002-1167-8621)

**ASESOR:**

Mg. Arévalo Vidal, Samir Augusto (ORCID: 0000-0002-6559-0334)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño Sísmico y Estructural

LIMA — PERÚ

2022

## **Dedicatoria**

A Dios, por permitirme estudiar y darme  
sabiduría y salud necesaria para la  
realización de mis metas.

A mi Padre Julio por darme siempre la  
confianza que necesito y ser mi mayor  
ejemplo de perseverancia, esfuerzo y amor  
incondicional

A mis hijos los de ayer, hoy y siempre que viven  
En mi corazón y que son mi motivo para sacar  
fuerzas y continuar luchando por mis sueños

## **Agradecimiento**

En primer lugar, agradezco a mi  
padre por el apoyo constante  
durante mi etapa de formación  
profesional.

En segundo lugar, agradezco a la  
Universidad Cesar Vallejo  
Por permitirme desarrollar  
Mi trabajo de investigación.

## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de figuras.....	v
Índice de tablas .....	viii
Resumen.....	ix
Abstract .....	x
I.-INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
III. METODOLOGÍA.....	26
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	27
3.2. Variables y operacionalización: .....	28
3.3. Población, muestra y muestreo .....	29
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos: .....	30
3.5. Procedimientos: .....	31
3.6. Método de análisis de datos: .....	51
3.7. Aspectos éticos.....	51
IV. RESULTADOS.....	52
V. DISCUSION.....	64
VI. CONCLUSIONES .....	69
VII. RECOMENDACIONES .....	71
REFERENCIAS.....	73
ANEXOS .....	78

## Índice de figuras

Figura N° 1 Definiciones geométricas de un sismo .....	16
Figura N° 2 Deformaciones producidas por las ondas de cuerpo P, S.....	19
Figura N° 3 Deformaciones producidas por ondas superficiales Rayleigh y Love ....	20
Figura N° 4 Definición originada por la respuesta dinámica:.....	21
Figura N° 5 Placa de arduino .....	22
Figura N° 6 Tipos de ondas sísmicas.....	24
Figura N°7 Armado del actuador mecánico.....	33
Figura N°8 Unión de los ejes del motor al husillo .....	33
Figura N°9 Empernado de los rieles de desplazamiento.....	34
Figura N° 10 Colocación del motor a la plataforma de la mesa vibratoria .....	34
Figura N° 11 Acondicionamiento de los Acelerómetros a utilizar .....	35
Figura N° 12 Ensamblaje del controlador electrónico de la mesa vibratoria .....	35
Figura N°13 Montaje final de los acelerómetros.....	36
Figura N°14 Primer ensayo con los acelerómetros .....	36
Figura N°15 Software SAP 2000 .....	39
Figura N°16 Selección del Modelo Base .....	40
Figura N°17 Dimensionamiento de la Estructura.....	40
Figura N°18 Definir los Materiales a Usar .....	41
Figura N°19 Definir los Valores de Peso por unidad de volumen y el Modulo de Poisson .....	41
Figura N°20 Crea la sección de columnas del modelo a escala.....	42
Figura N°21 Asigna las propiedades a la sección de columnas .....	42

Figura N°22 Diseño de la sección de columnas .....	43
Figura N°23 Crea la sección de losas y se asigna sus propiedades .....	43
Figura N°24 Modelo estructural terminado .....	44
Figura N°25 Borra todo Espectro .....	45
Figura N°26 Eliminar los Load Cases y dejar el Análisis Modal .....	45
Figura N°27 Eliminar las Combinaciones de Carga .....	46
Figura N°28 Ingresar el Acelerograma Seleccionado .....	46
Figura N°29 Aceleraciones en Formato txt.....	47
Figura N°30 Visualizar el acelerograma en la función tiempo – historia.....	47
Figura N°31 Selección de los casos de carga .....	48
Figura N°32 Define las Cargas Utilizadas .....	48
Figura N°33 Casos de carga Seleccionados para el análisis .....	49
Figura N°34 Modelo Estructural luego del Ensayo .....	49
Figura N°35 Desplazamiento del Modelo Estructural .....	50
Figura N°36 Desplazamiento del Modelo Estructural .....	50
Figura N°37 Mapa político del Perú.....	57
Figura N°38 Mapa político de la Provincia de Yungay .....	53
Figura N°39 Gráfica de datos aceleración vs tiempo .....	54
Figura N°40 Gráficas aceleración, velocidad y desplazamiento Primer Nivel .....	55
Figura N°41 Gráficas aceleración, velocidad y desplazamiento Segundo Nivel .....	55
Figura N°42 Gráficas aceleración, velocidad y desplazamiento Tercer Nivel .....	56
Figura N°43 Gráficas aceleración, velocidad y desplazamiento Cuarto Nivel .....	56
Figura N°44 Gráfico de barras de resultados del desplazamiento Experimental .....	57

Figura N°45 Gráficas aceleración del Primer Nivel .....	58
Figura N°46 Gráficas aceleración del Segundo Nivel.....	58
Figura N°47 Gráficas aceleración del Tercer Nivel.....	59
Figura N°48 Gráficas aceleración del Cuarto Nivel .....	59
Figura N°49 Gráfico de barras de resultados del desplazamiento Teórico .....	60
Figura N°50 Gráfico de barras comparativo de los desplazamientos.....	61
Figura 51: Gráfico del promedio y variación del efecto dinámico de sismo de modelo teórico con Software SAP 2000 y el modelo real en mesa vibratoria. ....	62

## Índice de tablas

Tabla 01. Efecto dinámico de sismo de modelo real en mesa vibratoria.....	57
Tabla 02. Efecto dinámico de sismo de modelo teórico con Software SAP 2000 .....	60
Tabla 03. Efecto dinámico de sismo de modelo teórico con Software SAP 2000 y el modelo real en mesa vibratoria. ....	61
Tabla 04. Promedio y Variación del efecto dinámico de sismo de modelo teórico con Software SAP 2000 y el modelo real en mesa vibratoria. ....	62
Tabla 05. Diferencia del efecto dinámico de sismo de modelo teórico con Software SAP 2000 y el modelo real en mesa vibratoria.....	62

## Resumen

La presente tesis tuvo como objetivo el análisis del comportamiento dinámico de una estructura experimental mediante la comparación de los resultados de desplazamientos obtenidos por el uso de un software estructural y una mesa vibratoria diseñada y fabricada por el autor del proyecto de tesis. Fue una investigación del tipo experimental y con un nivel explicativo. Durante la elaboración de la presente investigación la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Cesar Vallejo no contaba con el equipo necesario y es por tanto que se diseñó y construyó la mesa vibratoria. Para realizar el procedimiento de investigación se tomó en cuenta parámetros como aceleraciones, un sistema de captura de datos de las aceleraciones mediante el uso de módulos electrónicos denominados acelerómetros y su correspondiente software para análisis empleando el lenguaje Arduino y el software Matlab2015. Obteniendo como resultados valores de desplazamiento experimental de 1.302 cm, 1.589 cm, 1.728 cm y 2.032 cm y valores de desplazamiento teórico de 0.515 cm, 1.018 cm, 1.520 cm y 2.014 cm demostrándose de esta manera que existe una correlación estadística entre los desplazamientos obtenidos de manera teórica y experimental, presentando una diferencia significativa menor al 5% entre ambos resultados.

Palabras clave: Sismo, Acelerograma, Comportamiento Dinámico, Mesa Vibratoria.

## **Abstract**

The present test has focused on the analysis of the dynamic behavior of an experimental structure by comparing the results of the displacements selected by the use of structural software and a vibrating table designed and manufactured by the author of the thesis project. During the preparation of this research, the professional school of Civil Engineering at UANCV did not have the necessary equipment and, therefore, the vibrating table was designed and built. For this, parameters such as accelerations, a system for capturing acceleration data through the use of electronic modules called accelerometers and their corresponding software for analysis using the Arduino language, the Matlab2015 software, were taken into account. The reproduction of the theoretical and experimental dynamic behavior has the main role during the development of the thesis project, as well as performing a statistical analysis to compare the differences in the displacement results. Obtaining as a result that there is a statistical correlation between the displacements obtained theoretically and experimentally but that they are different.

Keywords: Earthquake, Accelerogram, Dynamic Behavior, Vibrating Table.

## I.-INTRODUCCIÓN

La **realidad internacional** nos indica que los terremotos o movimientos sísmicos siempre han sido parte de nuestro entorno y su naturaleza es impredecible, causan gran cantidad de muertes y cuantiosos daños materiales dichas consecuencias catastróficas han incentivado la realización de estudios experimentales para mitigar y contrarrestar los efectos de los sismos sobre las estructuras. Sin lugar a dudas, América Latina ha sido una de las áreas más duramente castigadas por los sismos o por tragedias asociadas a las mismas fuerzas internas que originan los sismos. Por ejemplo, en el trabajo de investigación presentado por Leiva [1] se menciona los sismos chilenos tienen diferencias respecto a los grandes sismos ocurridos en EE. UU y Japón por la frecuencia que presentan siendo los sismos chilenos de mucho mayor frecuencia que la de los mencionados países. Del mismo modo Álvarez [2] en su tesis menciona que México es un país de fuerte actividad sísmica como lo demuestran los sismos de Oaxaca en el año 1999 y el de la Ciudad de México en el año 1985. La **realidad nacional** es que el país al situarse al borde del Pacífico Oriental y en las cercanías de la zona de Benioff, dentro del área que es la interacción de la Placa Continental Sudamericana y la Placa de Nazca, tolera profundos cambios de masas corticales, mostrando atributos de alta sismicidad; significándole en los últimos siglos la pérdida de miles de vidas humanas y cuantiosos daños materiales. Investigaciones como la de Ordoñez [3], nos indica que nuestro país es innegablemente sísmico, el cual ha padecido en múltiples ocasiones la presencia de acontecimientos telúricos causando una enorme cantidad de pérdidas humanas, así como materiales. Como realidad local podemos indicar que Lima es la zona del país donde se ha acumulado la mayor cantidad de energía sísmica, que solo se liberará con un sismo de magnitud superior a 8, según fuentes del Instituto Geofísico del Perú (IGP). El Mapa actual de acoplamiento sísmico, muestra las áreas del país donde se está acumulando "deformación" y donde, en el futuro, la energía se liberará con sismos de gran magnitud siendo las costas de Lima la zona que muestra una mayor acumulación de energía.

Por ende, la presente investigación se interesa en el siguiente **problema general** El efecto dinámico producido por un sismo en un modelo estructural a escala reducida puede ser analizado y evaluado mediante la utilización de una mesa vibratoria **y los problemas específicos** a tomar interés serán Cómo se desarrolla la simulación sísmica experimental y visualiza sus desplazamientos a un modelo estructural a escala reducida, Cómo se visualiza en un ordenador la simulación sísmica teórica del modelo estructural y los desplazamientos obtenidos, verificando que el comportamiento dinámico experimental y el comportamiento dinámico teórico guarda correlación. La **justificación teórica y práctica** es que nuestro trabajo se elabora con la necesidad de elevar el nivel cognoscitivo de los estudiantes con conocimientos en análisis dinámico estructural e ingeniería sismo resistente, a través de la mesa vibratoria unidireccional. Además, será posible abrir más líneas para realizar investigaciones con la ayuda de la mesa vibratoria, experimentar con pruebas y aplicar temas teóricos en la práctica para hacer demostraciones. Como **justificación social** de nuestra investigación tenemos que la simulación del movimiento sísmico permitirá a los estudiantes y a la población en general tomar conciencia de los estragos que este puede causar en la población permitiendo que tomen medidas adecuadas para prevenir los daños, en los procesos constructivos y en la mitigación de los mismos. Como estudiantes tenemos la necesidad de profundizar un poco más en el análisis de las fallas estructurales en diversas edificaciones a la hora de presentarse un sismo; debido a esto se decidió fabricar una mesa vibratoria como material de apoyo para el análisis de estructuras resistentes a los efectos dinámicos producidos por cargas sísmicas y simular un evento sísmico que registre la aceleración de los movimientos laterales mediante un software para obtener una simulación en tiempo real. La mesa vibratoria es un equipo que facilita el análisis dinámico de las estructuras que son sometidas a movimientos laterales generados por movimientos telúricos en función al movimiento oscilatorio de un motor que tendrá la potencia necesaria para generar una oscilación unidireccional en una estructura. Nuestro **objetivo general** es Analizar y evaluar el efecto dinámico producido por un sismo en un modelo estructural a escala

reducida mediante una mesa vibratoria y los **objetivos específicos** serán Desarrollar una simulación sísmica experimental a un modelo estructural a escala reducida y visualizar sus desplazamientos mediante la utilización de la mesa vibratoria, visualizar en un ordenador la simulación sísmica teórica del modelo estructural y los desplazamientos obtenidos y comparar y analizar los resultados obtenidos del comportamiento dinámico experimental y el comportamiento dinámico teórico. Finalmente, **nuestra hipótesis general** es el efecto dinámico producido por un sismo en un modelo estructural a escala reducida es analizado y evaluado utilizando una mesa vibratoria unidireccional. **Y las hipótesis específicas** son la simulación sísmica experimental a un modelo estructural a escala reducida y la visualización de sus desplazamientos se logra mediante la utilización de la mesa vibratoria, La simulación sísmica teórica del modelo estructural y desplazamientos se obtienen mediante un ordenador a través del software SAP 2000, El comportamiento dinámico experimental y el comportamiento dinámico teórico es diferente.

## **II. MARCO TEÓRICO**

Como **antecedentes nacionales** para esta investigación consideraremos a Quispe (2018), en su investigación titulada **“Réplica de Movimiento Sísmico Para Determinar Aceleraciones, Velocidades Y Desplazamientos En Una Estructura Experimental Con El Uso De Una Mesa Vibratoria, Puno 2018”** [4] de la Universidad Nacional del Altiplano Puno tuvo como objetivo reproducir movimientos usando la mesa vibratoria elaborada para analizar la aceleración, velocidad y desplazamiento a través de un modelo estructural experimental en la que se comparan los registros alcanzados experimentalmente con los otros registros obtenidos por un software similar de cálculo estructural y análisis estructural por computadora. Fue un análisis de tipo experimental y exploratoria. La población estuvo conformada por los resultados del acelerograma de un sismo real y los obtenidos a través de un software estructural. Los dispositivos y aparatos empleados fueron una mesa vibratoria y el software de Sap2000. Los resultados fueron los datos adquiridos en el modelo estructural Teórico y el modelo Experimental: las aceleraciones, Desplazamientos y Velocidades tienen relación entre ellos, pero son diferentes. Se concluyó que las velocidades, aceleraciones y los desplazamientos obtenidos entre el modelo experimental estructural y el modelo teórico en sus diferentes etapas no son los mismos, posiblemente un factor anisotrópico implicado por la madera de balsa y otros defectos relacionados con la precisión estuvieron presentes. Ordoñez (2016), en su tesis titulada **“Diseño y Evaluación de Tipos de Muros de Albañilería Sometidos a la Simulación del Máximo Sismo Ocurrido En La Región Sur En Una Mesa Vibratoria”** [3] de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, presento como objetivo definir el comportamiento sísmico estructural en una mesa vibradora un muro de albañilería con confinamiento y uno sin confinamiento para este propósito se utilizan técnicas de simulación sísmica sobre la mesa vibratoria, simulando movimientos sísmicos. Este es un estudio de tipo experimental. El conjunto consta de estructuras de mampostería escaladas y ejemplos de mampostería dividida y mampostería sin cámaras. El instrumento utilizado es una mesa vibratoria. Como resultado, los dos tipos de muros tienen diferentes propiedades estructurales, dando como resultado un

muro construido con compartimentos que tiene mejores características sísmicas que un muro construido sin compartimentos. Finalmente podemos concluir que el muro de mampostería libre presenta la división entre viga, columna y muro, en la parte superior de la estructura y que el muro de mampostería no presenta ningún daño respetando las propiedades de la edificación en su textura original. Ayllón (2017) quien realizó la investigación titulada **“Implementación de Mesa Vibradora Unidireccional para Simulación Sísmica y Experimentación con Modelos Reducidos”** [5] en la Universidad Privada de Tacna, tuvo como principal objetivo permitir un análisis del comportamiento de estructuras representativas, utilizando una mesa vibratoria unidireccional. Fue un estudio del tipo experimental. La población de estudio estuvo constituida por seis ensayos de dispersión, tres en cada modelo con mesa vibratoria, con características sísmicas unidimensionales. Los resultados permiten analizar la respuesta de aceleración de la mesa vibratoria y del sistema GDL 1, comparándolo con el método analítico de Newmark, que es aproximado. Se concluye que la mesa vibratoria puede probar modelos a escala, dando lugar a una herramienta útil para la demostración didáctica, como es el modelo experimental de vibración libre”.

En seguida **los antecedentes internacionales** considerados son los siguientes: Gómez, Leguizamón y Mahecha (2018), en su trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil titulado **“Diseño Y Fabricación De Mesa Vibratoria para Análisis de Sismos con Fines Académicos”** [6] de la universidad Cooperativa de Colombia. Su objetivo fue evaluar los diseños mecánicos, estructurales, de control y adquisición de datos de una mesa vibratoria para probar estructuras a pequeña escala. Fue un estudio de tipo experimental. La muestra fue los valores de aceleración y desplazamiento que se obtienen y analizan. El instrumento empleado fue una mesa vibratoria. El resultado es la utilización de una estructura de plataforma para mover la estructura de escala con aceleración simulando un terremoto de concentración baja, media y alta. Se concluye con un sistema capaz de proporcionar movimientos a la estructura para simular movimientos sísmicos y, a su vez, capaz de medir y traducir las señales o resultados modelados. Valdiviezo (2019), en su trabajo de investigación

titulado **“Implementación De Una Mesa Vibratoria Bidireccional Para Simulación De Sismos” [7]** de la Universidad Tecnológica Equinoccial (UTE) tienen como objetivo diseñar y fabricar una mesa vibratoria bidireccional para simular terremotos a través del mecanismo de una máquina que genera movimiento rectilíneo a partir de movimiento circular. Este es un estudio de tipo aplicativo y experimental. Finalmente, el uso de prototipos permite acercarse al conocimiento de los efectos que produce el movimiento sísmico natural y puede ser representativo de los eventos sísmicos históricos ocurridos en el Ecuador. Asimismo, la conclusión es que es posible estudiar y producir diferentes disipaciones en la escala de energía sísmica”. Romero (2016), en su trabajo experimental para la obtención del título de Ingeniero Civil titulado **“Implementación De Una Mesa Vibratoria Para El Análisis Dinámico De Estructuras Civiles A Escala En Los Laboratorios De La Facultad De Ingeniería Civil De La Universidad Técnica De Ambato” [8]** tiene como objetivo diseñar la mesa vibratoria para un análisis a estructuras a escala. Fue un estudio del tipo experimental y nivel exploratorio, descriptiva y explicativa. La población son los modelos estructurales que son a escala elaborados por el investigador. Como instrumento tenemos el Programa LabVIEW. El resultado principal es un gráfico de análisis dinámico mediante el uso del acelerómetro y el sensor Flex con el que podemos comprender la teoría y la práctica de los estudiantes de dinámica estructural. La principal conclusión fue que el programa de mesa vibratoria de operación neumática fue configurado para representar los valores establecidos en los pesos y medidas para simular la estructura de pesaje. Los **antecedentes en ingles** seleccionados son: Barnes (2012) presenta su tesis para optar el grado de Bachelor of Science titled **“Seismic Modeling With an Earthquake Shake Table”[9]** of Linfield College mention that An earthquake shake table was constructed with three orthogonal directions of motion to simulate seismic waves. Users can adjust the amplitude and direction of maximum motion. Panel acceleration was measured at different amplitude settings for the three directions of motion, and this data was matched to the Peak Ground Acceleration (PGA) scale. This allows table motion to be calibrated to the appropriate

magnitude of an earthquake. An earthquake equivalent to a magnitude of 5.0 on the PGA scale was obtained. With the goal of doing seismic modeling with a vibrating table because of the reliability of this device in reproducing terrifying movements. The conclusion is as follows: 1) There are some design issues that could be improved. 2) The linear guides must be lengthened. 3) The Y direction motor needs more torque. 4) Variable speed motors would be desirable. 5) Circuits and electronics could be included. Mojiri (2013), realizo la investigación para optar el grado of Master of Applied Science titulado **“Shake Table Seismic Performance Assessment and Fragility Analysis of Lightly Reinforced Concrete Block Shear Walls” [10]** of University Polytechnic de Catalunya – Ecole Centrale de Nantes mention that Shaking table tests provide the necessary data to quantify the seismic performance of a structure in terms of ductility, displacement capacity, energy absorption and dissipation, amount of damage to its structural elements and crack pattern, with failure modes also being tracked. during the tests. Results that have been used to develop and calibrate simple analytical models to predict the seismic response of its structural elements. The objective of this research was to provide data necessary to quantify the seismic performance of masonry in terms of ductility, displacement capacity, energy absorption and dissipation. The amount of damage to the masonry, its cracking pattern and failure modes. The results would be used to develop and calibrate simple analytical models to predict the seismic response of masonry, which will subsequently be used to develop a brittleness assessment tool for the class of reinforced concrete walls. Reaching the following conclusions: 1) The wall design did not meet the maximum vertical reinforcement spacing limitations of the Canadian Masonry Design Code for the Limited Ductility or Moderately Ductile Wall categories. 2) As such, based on reinforcement spacing, the wall qualifies only for the conventional construction category that is restricted to low seismic zones. 3) Finally, the development of analytical models and tools for evaluating the analytical fragility of the tested walls was presented. Los **artículos de investigación** escogidos para la presente investigación son los siguientes: Bernal, Aponte y Carrillo (2015), en su artículo de revisión titulado

**Sistemas de control para mesas vibratorias: una revisión crítica [11]** de la Universidad Militar Nueva Granda (Colombia) tuvo como objetivo estudiar y describir algunos sistemas de control utilizados en diferentes modelos de mesas vibratorias, la población a estudiar es la mesa vibratoria en la que se aplican los diferentes sistemas de control los cuales vienen ser los instrumentos, los principales sistemas de control estudiados son los siguientes: Control PID, Control anticipativo PIDF, Control por espacio de estados, Control de tres variables TVC, Control basado en la aceleración, Control con seguimiento de la trayectoria de aceleración y Control inteligente. Las conclusiones a las que llego este artículo son que para las mesas vibratorias de un grado de libertad se utilizan controles PID los cuales son efectivos en el control de los desplazamientos. Para las mesas vibratorias con varios grados de libertad se puede utilizar un control con algoritmo TVC el cual ha demostrado resultados buenos en intervalos de frecuencia amplios. Carrillo, Bernal y Porras (2013), presentaron el artículo de investigación titulado **“Evaluación Del Diseño De Una Pequeña Mesa Vibratoria Para Ensayos En Ingeniería Sismo-Resistente” [12]** en la Universidad Militar Nueva Granada teniendo como objetivo evaluar los diseños estructurales, de control, mecánicos, neumáticos, y de adquisición de datos de una mesa vibratoria con un solo eje para probar estructuras a pequeña escala. El estudio es de tipo experimental. Las poblaciones están formadas por diferentes estructuras sometidas a eventos sísmicos. El instrumento utilizado será la mesa vibratoria. Como resultado, la mesa vibratoria nos permite realizar ensayos experimentales enfocados al análisis y diseño de diversas estructuras sometidas a movimientos sísmicos. La conclusión del estudio es que la mesa vibratoria diseñada permitirá avanzar en la investigación de nuevos materiales y en el diseño y restauración de diversas estructuras. Peralta y Castillo (2013), en su artículo científico titulado **“Mesa vibratoria portátil para simular el efecto de sismos sobre estructuras de puentes y edificaciones” [13]** tiene como objetivo principal proveer información sobre la mesa vibradora portátil que la UP decidió adquirir para complementar la enseñanza y la investigación con pruebas de dinámicas del comportamiento de diferentes modelos estructurales, la población o

muestra es la mesa vibratoria Shake Table II de Quanser modelo que fue seleccionado para adquirir por la UP con base en la investigación bibliográfica obtenida. Como resultados tenemos a que la mesa vibratoria adquirida satisface los requerimientos de la UP en cuanto a la capacidad y funcionalidad a la hora de probar los diferentes modelos estructurales. La conclusión a la que llegaron es que la mesa vibratoria va a permitir tanto a los profesores como instructores transmitir los conceptos teóricos del comportamiento sísmico de estructuras mediante los ensayos demostrativos en la mesa vibratoria Coronado (2017), presenta el artículo de investigación científico y tecnológico titulado **“Implementación de una mesa vibratoria para simulación del comportamiento sísmico de estructuras en proyectos de investigación y formación SENA” [14]** del Centro de Tecnologías para la construcción y la madera, el cual tiene como objetivo informar sobre los usos de tecnologías para caracterizar estructuras, materiales y construcciones cuando se presente la aplicación de un sismo, mediante simulación sísmica de una mesa vibratoria. El instrumento utilizado es una mesa vibratoria adquirida por el SENA en base a los análisis técnicos y análisis económicos realizados. Las poblaciones a estudiar serán maquetas de estructuras de diferentes tamaños elaboradas por semilleros de estudiantes. Se concluye que la mesa vibratoria servirá para que los estudiantes e investigadores del SENA prueben diferentes modelos a escala y así puedan verificar su comportamiento al ser expuestos a movimientos sísmicos y de esta manera poder realizar las respectivas correcciones para evitar que se produzca el colapso de la estructura. Illidge (2019), en su artículo de investigación titulado **“Análisis Sistemático de Literatura Acerca de la Evaluación Del Comportamiento Dinámico de Estructuras Mediante la Experimentación en Mesas Vibratorias de Modelos a Escala Reducida” [15]** de la Universidad Cooperativa De Colombia, cuenta con el siguiente objetivo: identificar las diferentes alternativas de mesa vibratorias, la investigación abarca la definición, clasificación, las características y especificaciones de los elementos que componen las mesas vibratorias, así como también el costo de construcción e implementación de la misma. La población investigada son los diferentes tipos de mesa vibratoria

analizados por su sistema de construcción, por su tamaño y por su costo. Como conclusiones tenemos que los sistemas mecánicos hidráulicos operan a bajas velocidades siendo esta su principal desventaja, sin embargo, con este sistema se garantiza la generación de movimiento con precisión del orden y la aplicación de fuerzas considerables lo cual son características importantes para garantizar que la mesa vibratoria sea capaz de reproducir los movimientos sísmicos. Con los sistemas neumáticos tenemos la desventaja de que no se garantiza el control del movimiento debido a la alta compresión del aire. Su costo inicial es bajo debido a que tienen un diseño sencillo de materiales de menor costo. Sin embargo, a largo plazo el costo de operación es alto debido a necesita gran cantidad de energía para comprimir suficiente gas para permitir que el sistema genere una cantidad de presión adecuada. Finalmente, con un sistema de control se tiene las siguientes ventajas los dispositivos electro mecánicos no requieren un sistema complejo adicional por lo que las unidades ocupan menos espacio, tienen mayor vida útil de trabajo, los niveles de ruido se reducen y ofrece gran flexibilidad y simplicidad de control. Li, Wu y Kong (2019) en su artículo de investigación titulado **Shaking Table Model Test and Seismic Performance Analysis of a High-Rise RC Shear Wall Structure [16]** del Wuhan University of Technology tiene como objetivo estudiar las características dinámicas y las respuestas del modelo sujeto a diferentes intensidades sísmicas se investigan a través del análisis de los datos de prueba de la mesa vibratoria y el patrón de agrietamiento observado del modelo a escala también se realizara un análisis de elementos finitos. La muestra a analizar es la construcción del prototipo que se representa como el modelo de prueba en este papel. Los resultados obtenidos son que después de la frecuencia 6, casi no se producen cambios en la estructura que aún se encuentra en la etapa elástica. después de la frecuencia 6, no se producen daños visibles y la frecuencia natural disminuye ligeramente, lo que indica que la rigidez de la construcción del prototipo se modificó ligeramente en esta condición. Velasco, Ruiz, Godínez y Romero (2020), desarrollaron el artículo de investigación titulado **“Prototipo didáctico de una Mesa vibradora bidireccional Para el estudio de**

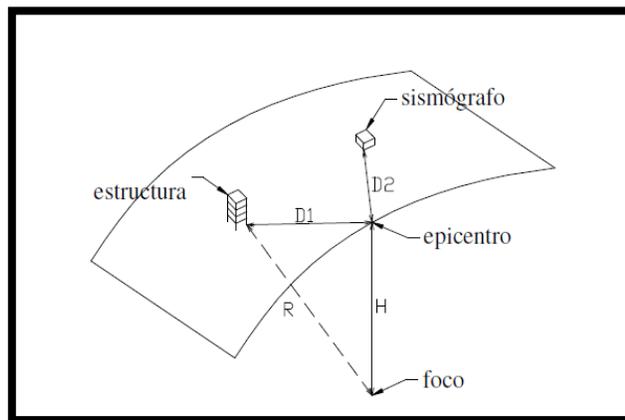
**sistemas Estructurales a pequeña Escala” [17] en la** Universidad Autónoma de Chiapas, México. Su objetivo principal es mostrar los aspectos relevantes del diseño, la construcción, programación y puesta en funcionamiento de un prototipo de la mesa vibratoria bidireccional para estudiar sistemas estructurales a escala pequeña. La población a estudiar son los modelos estructurales diseñados a pequeña escala que van a ser estudiados en la mesa vibratoria construida para este artículo. Como resultados en la primera fase tenemos que se logró finalizar la construcción de la mesa vibratoria bidireccional del mismo modo se realizó la programación en arduino. En la segunda fase tenemos que se logró realizar ensayos de modelos estructurales a pequeña escala lo que resulta de gran interés para los alumnos. Se llegó a la conclusión de que la mesa vibratoria construida representa una herramienta didáctica y complementaria valiosa para los docentes y alumnos de la universidad. Cárdenas, Sandoval y Gómez (2020), en el artículo de investigación titulado **“Implementación De Una Mesa Vibratoria Triaxial Neumática Para El Análisis De Estructuras y El Movimiento Sísmico” [18]** de la Universidad de Pamplona tienen como objetivo describir el diseño y construcción de una mesa vibratoria que está impulsada por actuadores mecánicos, la cual tendrá las posibilidades de reproducir cargas dinámicas de movimientos vibratorios y de movimientos sísmicos. La población es la mesa vibratoria que se desarrollará durante toda la investigación. Como conclusión tenemos que la mesa vibratoria que se logró construir es una herramienta versátil, económica y apoyará tanto actividades académicas como proyectos de investigación. Vargas, Vanegas y Thomson (2019), desarrollaron un artículo de investigación titulado **“Diseño Y Construcción Del Simulador Sísmico Uniaxial” [19]** de La Universidad Del Valle. El cual tiene como objetivo el diseño y construcción de un simulador sísmico uniaxial mediante un actuador servo hidráulico para ensayar modelos estructurales a pequeña escala en los laboratorios de la universidad. La conclusión de la investigación es que se llevó a cabo la construcción del simulador sísmico para desarrollar investigación en las áreas de la dinámica estructural e ingeniería sísmica, enfocándose principalmente en la verificación y el desarrollo de sistemas de control estructural e

implementación de nuevos sistemas constructivos. Ruiz, y Otros (2017), en su artículo de investigación titulado **“Evaluación del comportamiento sísmico de casas consistoriales de tapia pisada reforzadas con maderas de confinamiento” [20] de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.** Tiene como objetivo estudiar un método de rehabilitación de viviendas consistoriales a través de maderas de confinamiento. El instrumento a utilizar fue una mesa vibratoria. La población o muestra a estudiar fueron modelos a escala 1:20 con y sin refuerzo en las maderas de confinamiento. Los resultados obtenidos indican que el modelo reforzado tuvo menores desplazamientos en un porcentaje del 69% y que al utilizar maderas de confinamiento se disminuye la fisuración y agrietamiento de los muros. Velasco (2018), desarrollo su artículo de investigación titulado **“Mesa Vibratoria Accionada Por Músculos Neumáticos Tele operada Para Experimentación Online” [21]** en La Universidad de Cantabria. Cuyo objetivo es integrar el estudio de la dinámica estructural y técnicas de control al ámbito de la ingeniería, a través del diseño y la aplicación de una mesa vibratoria tele operada por experimentación online. La población o muestra es la mesa vibratoria la cual fue desarrollada en el presente trabajo. Por lo tanto, conseguimos el compromiso cualitativo de nuestros estudiantes al proporcionar una actividad interactiva, con aplicaciones reales en sus futuras carreras. En conclusión, los estudiantes calificaron positivamente estas actividades y dijeron que las tareas realizadas les permitieron tener una visión general de las aplicaciones de automatización y medición en equipos mecánicos. Toledo, Nallim y Sánchez (2018) en su artículo de investigación titulado **“Evaluación De Las Características Dinámicas y Serviciabilidad Vibratoria De Entrepisos De Madera” [22] de la Asociación Sur Americana de Ingeniería Estructural.** Tiene como objetivo estudiar la serviciabilidad vibratoria de los entrepisos de madera mediante comparaciones con los criterios propuestos por la norma vigente. Los instrumentos a utilizar son los acelerómetros para estudiar las características dinámicas. La muestra a utilizar son los modelos tridimensionales creados utilizando el programa SAP. Como resultados tenemos que las variables que controlan el diseño por serviciabilidad son la

deflexión instantánea y la frecuencia natural. Como conclusión tenemos que las condiciones de borde influyen de manera determinante y pueden cambiar la respuesta obtenida sensiblemente. Pimiento, Salas y Ruiz (2014) desarrollo el artículo de investigación titulado **“Desempeño sísmico de un pórtico con disipadores de energía pasivos de placas ranuradas de acero” [23]** de la Pontificia Universidad Javeriana de Colombia El cual tiene el siguiente objetivo evaluar dos tipos de disipadores de energía pasivos metálicos. El instrumento a utilizar es una mesa vibratoria. La población a estudiar son tres modelos estructurales, un pórtico sin disipadores de energía y dos pórticos con dos tipos de placas de acero los cuales fueron sometidos a dos tipos de señales sísmicas: un sismo de campo cercano y un sismo regional. Como resultados tenemos que los pórticos con placas ranuradas presentan un 90% menos de distorsión de entrepiso que el pórtico que no cuenta con rehabilitación. Como conclusión tenemos que las placas ranuradas del acero disipan parte de la energía suministrada por los sismos. Rodríguez (2014) en su artículo de investigación titulado **“Comportamiento sísmico de pórticos de Concreto armado bajo la influencia de la porción fuerte en un suelo blando” [24]** de La Gaceta Técnica de Ingeniería Civil de la Universidad Centro occidental Lisandro Alvarado. Tiene como objetivo determinar la porción fuerte del fenómeno físico. El instrumento a utilizar es el registro historia tiempo de la aceleración con su respectivo espectro de respuesta elástica. Como conclusión del presente trabajo tenemos que el estudio que se realizó a la porción fuerte en diversos sismos, muestra una variación en el parámetro que dificulta evaluar una relación o tendencia en función al tipo de suelo, revelando que la porción fuerte mantiene una relación directa con las características que presenta el acelerograma. Olaya, Rubio, Ruiz y Torres (2014) desarrollaron el artículo de investigación titulado **“Evaluación del comportamiento sísmico de viviendas de estratos marginales con cubiertas verdes: estudio de caso del municipio de Soacha, Colombia”[25]** de la Pontificia Universidad Javeriana de Colombia. El objetivo es desarrollar un modelo de construcción de techo verde basado

en cubrir parcialmente el techo de la casa con vegetación fértil, realizando un análisis estructural con enfoque sísmico a la casa. Las herramientas utilizadas son acelerómetros sísmicos para medir vibraciones ambientales con y sin techos verdes. La población o muestra estudiada es una vivienda utilizada como prueba piloto de un apartamento ubicado en la ciudad de Soacha. En conclusión, tenemos deformaciones de la casa que aumentan cuando se instala la carga del techo verde sobre la estructura hasta en un 62% debido a los movimientos sísmicos aumentando el desplazamiento. En ningún momento estos desplazamientos superaron los valores límite determinados por la norma para sísmica colombiana.

**Las teorías** en que se basa nuestra investigación son las siguientes: **Los terremotos** se definen como movimientos en la corteza terrestre (...) En general, el desplazamiento de la corteza es causado por un movimiento repentino que ocurre a cierta profundidad por debajo de la superficie terrestre en una posición teórica conocida como punto focal o pseudocentro, la proyección sobre la superficie terrestre se denomina epicentro. [26]



**Figura N° 1 Definiciones Geométricas de un Sismo**

Fuente: Cassano, 2009

Las características de un sismo son principalmente: El hipocentro: Lugar en la corteza donde ocurre el primer movimiento sísmico y genera la descarga de ondas elásticas, el hipocentro también es llamado foco. El epicentro: Es un punto en la superficie de la corteza de la Tierra más cercana al foco, directamente se ubica sobre el hipocentro de un movimiento sísmico y es donde generalmente se presentan mayores aceleraciones. El epicentro es una proyección del foco encima de la superficie terrestre. Magnitud: El concepto de magnitud fue introducido por Richter alrededor de 1935 con el propósito básico de poder comparar la energía liberada entre diferentes terremotos. [27] Propiedad física medible a la que se le pueden especificar valores. Durante un terremoto, las propiedades físicas se expresan en la escala de Richter. La magnitud permite comparar un terremoto con otro sobre la base de una medida instrumental de la energía liberada entre diferentes terremotos. Intensidad: Por intensidad debe entenderse el efecto local que sobre diferentes sitios produce un mismo sismo (...) Es necesario observar la diferencia entre magnitud e intensidad. La magnitud es una medida del tamaño de la energía liberada, mientras que la magnitud mide el impacto de un terremoto. Para un terremoto dado habrá una magnitud, mientras que la magnitud variará según el lugar en el que se evalúe y la estimación del efecto de la persona. [27] Réplicas: Si el epicentro de un terremoto está más o menos en la superficie o a una profundidad media, posiblemente una profundidad local del orden de sesenta kilómetros o menos, entonces a menudo ocurren las llamadas réplicas, que son pequeños terremotos después del terremoto principal, correspondientes a la reorganización del campo de tensión liberando energía durante el terremoto principal [27] **ORIGEN DE SISMOS:** Sarria (1990) afirma: "Los movimientos de las placas tectónicas relativos producen deformaciones semielásticas de las placas que se golpean entre sí. Las mencionadas deformaciones conllevan a un almacenamiento lento de energía." [27] Cuando la fuerza provocada por el movimiento de las placas supera la fuerza que intenta mantener los puntos de contacto de las placas en movimiento entre sí, se produce una ruptura repentina a lo largo de las juntas con liberación de una gran cantidad de la energía que las deformaciones han almacenado.

Entonces ocurrió un terremoto. **[27]** Un terremoto es un fenómeno que ocurre debido a la liberación repentina de energía de estrés que se ha acumulado durante mucho tiempo en la superficie terrestre. Los terremotos producen diferentes tipos de ondas, que se propagan desde su centro de gravedad en todas las direcciones de la tierra. Estas ondas son registradas por un dispositivo llamado sismómetro, cuyo propósito es medir la aceleración, velocidad o desplazamiento del movimiento sísmico. Estos parámetros son aproximados, ya que los valores obtenidos están influenciados por las características del equipo de grabación y las condiciones de ruido ambiental en el sitio de grabación. Los terremotos producen diferentes tipos de ondas, que se propagan desde su centro de gravedad en todas las direcciones de la tierra. Estas ondas son registradas por un dispositivo llamado sismómetro, cuyo propósito es medir la aceleración, velocidad o desplazamiento del movimiento sísmico. Estos parámetros son aproximados, ya que los valores obtenidos están influenciados por las características del equipo de grabación y las condiciones de ruido ambiental en el sitio de grabación. **PLACAS TECTÓNICAS:** Los movimientos en la corteza no se dan de manera uniforme, estos movimientos se denominan tectónicos, los cuales son los responsables de la aparición de montañas, volcanes, terremotos, formación de pliegues y fallas geológicas en la Tierra. **[28]** Cuando dos placas chocan, una de ellas cede y desciende hacia el manto; La región de la zona de choque se denomina zona de subducción. En cambio, en la zona libre de terremotos, es decir, en las dorsales marinas, emerge una nueva superficie terrestre. **[28]** Las placas tectónicas principales, son las placas de: Nazca, Sudamérica, Filipinas, Arábica, Cocos, norteamericana, Caribe, africana, Euroasiática, Antártica, Pacífico, australiana y de la India. **[28]** **CAUSAS DE LOS SISMOS:** Las causas de los mismos son variadas: Por derrumbes de sismos, provenientes de cavidades subterráneas, por derrumbe de los mismos. Los terremotos de origen volcánico son de baja intensidad. Los terremotos tectónicos causados por la ruptura repentina de capas de roca a lo largo de la superficie de una falla (falla geológica) son los terremotos más fuertes y frecuentes, y son terremotos explosivos causados por explosiones artificiales capaces de generar vibraciones en el

suelo. [26] Los sismos más importantes son los sismos tectónicos, ya que son los sismos que más consecuencias catastróficas provocan en la estructura, por lo que son los sismos a tener en cuenta a la hora de desarrollar las normas de diseño de estructuras antisísmicas del suelo. [26] **ONDAS SÍSMICAS:** La repentina liberación de energía en el foco o hipocentro del sismo, cuando éste ocurre, se propaga en forma de vibraciones elásticas u ondas elásticas de deformación. Las ondas sísmicas se dividen según su naturaleza en ondas de cuerpo y ondas de superficie. [29] **Las Ondas de cuerpo** Pueden atravesar el cuerpo material, el cuerpo elástico puede estar sometido a dos tipos de deformación: compresión, expansión y cortante, por lo que las ondas resultantes son de compresión o cortante, respectivamente. [29] Ondas P, también conocido como primario, compactador o diluyente; provoca el movimiento de las partículas en la misma dirección de propagación, provocando la compresión y expansión del medio. Las ondas S, también conocidas como ondas secundarias u ondas de corte; produce movimiento de partículas perpendicular a la dirección de propagación.

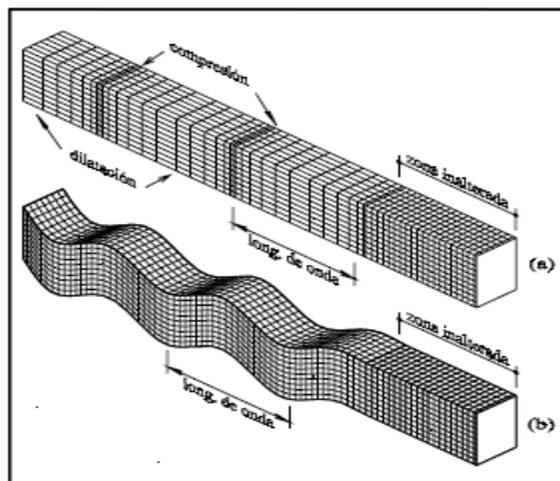
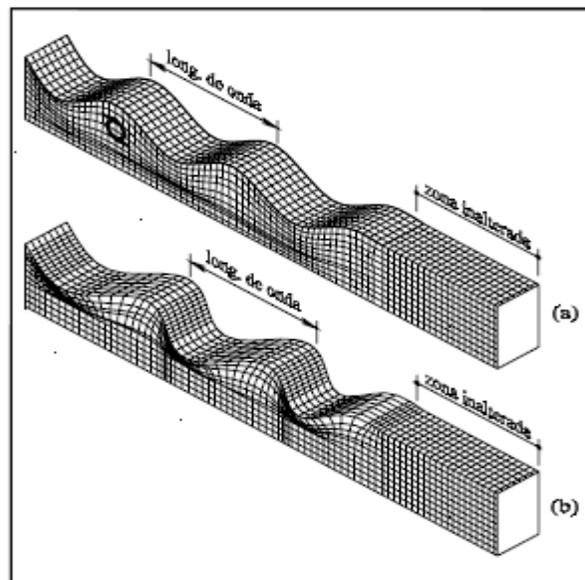


Figura N° 2 Deformaciones producidas por las ondas de cuerpo P, S

Fuente: Sarria, 1995

**Ondas superficiales:** Su movimiento se limita a las cercanías de la superficie terrestre. Las ondas superficiales pueden dividirse en dos tipos: [29] Ondas L (ondas love), similar a las ondas S, no tienen componente vertical y el movimiento del suelo es a través de un plano horizontal y en una dirección perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Ondas R (ondas Rayleigh) su movimiento es elíptico y tiene lugar en los planos perpendiculares de la superficie libre.



**Figura N° 3 Deformaciones producidas por ondas superficiales Rayleigh y Love**

Fuente: Sarria, 1995

**ESTRUCTURAS:** Jairo Uribe Escamilla (2004) menciona “Dos tipos de definiciones estructurales, según su destino, donde se puede hablar de estructura de vivienda, servicios educativos y hospitalarios, transporte, etc., y según su sistema estructural, se habla de patrones en lugar de cuadrículas, estructuras de varios niveles, estructuras masivas. estructuras y estructuras especiales.” [30] **Comportamiento Dinámico Estructural:** Según se tiene concepto más extenso, el sistema dinámico viene a ser un sistema cuyas variables cambian con el tiempo, y si se conocen de antemano las

fuerzas externas que actúan sobre el sistema, se puede adivinar su comportamiento.

**[31] Definición de la acción dinámica:** Una acción presenta un carácter dinámico cuando la variación con el tiempo es rápida y origina fuerzas de inercia que son comparables en magnitud con las fuerzas estáticas. Algunas importantes fuentes de vibraciones estructurales son: sismos, viento, olas y corrientes de agua, explosiones e impactos y cargas móviles. **Respuesta Dinámica:** Cualquier cantidad que pueda caracterizar el efecto de una carga sobre una estructura. Obtención de la respuesta dinámica de una estructura como resultado de "filtrar" la señal de excitación a través de la estructura analógica y obtener variaciones de las cantidades de análisis (desplazamiento, velocidad, aceleración, par, voltaje, etc.) a lo largo del tiempo. **[31]**

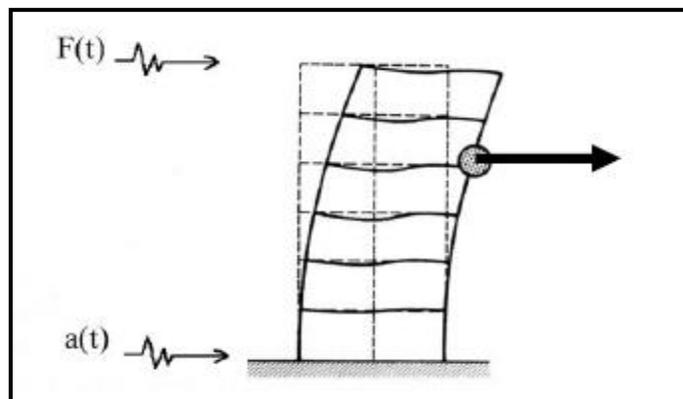
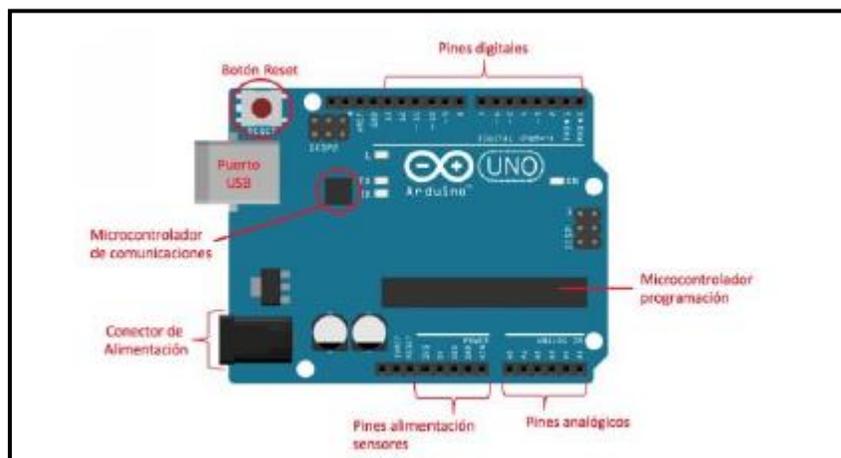


Figura N° 4 Definición originada por la respuesta dinámica:

Fuente: Casano, 2009

**Espectros Respuesta:** Un espectro de respuesta se puede definir como los valores máximos de respuesta de un sistema. Esto es útil para diseñar estructuras donde solo se necesitan máximos. **[31] Sistema de un grado de libertad Son** sistemas estructurales más sencillos y son importantes porque su sencillez permite explicar conceptos básicos de dinámica. Se definen como sistemas de parámetros concentrados en el su movimiento está totalmente definido por una componente. **[32]**

**MESA VIBRATORIA:** Este dispositivo también se conoce como "simulador sísmico" y permite realizar pruebas experimentales para verificar la estructura y luego evaluar el comportamiento dinámico de la estructura. Puede simular movimiento sísmico como onda sinusoidal (normalmente) y también puede simular acelerómetro, que son los datos generados por el acelerador y los datos de oscilación a su vez, con amplitud inicial, las cabezas pequeñas aumentan rápidamente hasta que alcanzan su valor máximo y disminuyen rápidamente. hasta que alcancen su valor máximo. valor máximo, el movimiento se detiene. **ARDUINO:** Arduino es una plataforma de código abierto para la creación de prototipos electrónicos, se basa en hardware y software que es fácil de usar y pone la construcción de circuitos electrónicos/robots al alcance de todos. [33]



**Figura N° 5 Placa de Arduino**

Fuente: Moreno, 2000

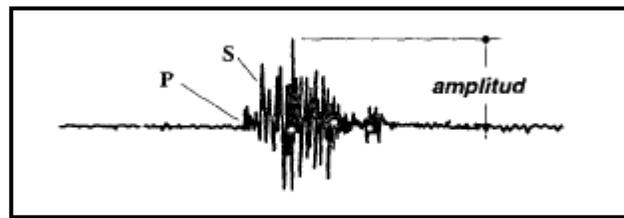
El hardware, está compuesto de placas que se pueden ensamblar a mano o también pueden comprarse directamente pre ensambladas. Cada placa lleva un microcontrolador en donde se carga el programa de software el cual es necesario desarrollar para “darle funcionamiento” a la placa. [33] **Componentes Placa De Arduino:** Pines digitales, Pines analógicos, Pines alimentación sensores,

Microcontrolador de comunicaciones, Microcontrolador de programación, Botón reset, Puerto USB, Conector de alimentación. **Ventajas** : Precio: El costo de las placas de Arduino es barato en comparación con el resto de placas, Multiplataforma: El software de Arduino se desarrolla en sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux, Facilidad del uso: El entorno de programación y placa son sencillos para que las personas principiantes puedan usarlos sin problemas, Software Extensible y flexible: Arduino no solo está pensado únicamente para las personas principiantes, sino que también permite a las personas que tienen conocimientos avanzados puedan realizar proyectos complejos.

**ACELERÓMETRO:** Los acelerómetros o los sensores de aceleración, están pensados para obtener una medida de aceleración o de vibración, proporcionando una señal eléctrica según el movimiento físico, en nuestro caso el movimiento físico es la aceleración o la vibración. **[34] ADXL335** ADXL335 es un tipo de acelerómetro con tres ejes, y que como su mismo nombre lo indica mide la aceleración. Se sabe que la aceleración es la rapidez con que un cuerpo aumenta o pierde velocidad. **[34]**

**MATLAB:** MATLAB es un lenguaje de programación tanto como un entorno de trabajo. Las características más resaltantes de MATLAB son el manejo directo de vectores, matrices y cadenas de caracteres como objetos; la posibilidad de trabajar con números reales o complejos indistintamente; la falta de exigencia de declarar variables y arreglos para reserva de memoria; y la posibilidad de combinar matemática simbólica con numérica, entre otras. Todo esto, además de la disponibilidad de múltiples funciones matemáticas ya programadas y librerías especializadas hacen que los programas desarrollados en MATLAB sean muy compactos en comparación con los equivalentes al FORTRAN, C, PASCAL, etc. **[35]**

**SISMOGRAMAS:** Uno de los instrumentos empleados en sismología es el sismógrafo, el cual es adecuado para registrar sismos que ocurren a distancias apreciables, inclusive de miles de kilómetros. El registro obtenido por este instrumento se denomina sismograma. [36]



**Figura N° 6 Tipos de Ondas sísmicas**

Fuente: Goytia, 2001

**Magnitud De Richter:** La magnitud del sismo es una medida de la energía liberada por él. Es una medición instrumental y se calcula a partir del sismograma. Fue definida por C. Richter en 1935 de ahí su nombre de magnitud de Richter. Su definición original era para sismos locales, o cercanos, como el logaritmo en base 10 de la amplitud de la máxima onda sísmica, expresada en milésimos de milímetro, registrada en un sismógrafo marca Wood-Anderson, localizado a 100 km del epicentro. **Escala de intensidades de Mercalli modificada:** Por otro lado, la magnitud de un sismo es una medida puramente subjetiva de los efectos que tiene un sismo en un lugar determinado, realizada por observadores que se mueven en diferentes áreas, diferentes áreas son afectadas por el sismo y asignan su magnitud a cada sitio, dependiendo de los efectos observados. Por tanto, no se trata de una medida única para un sismo, ya que los efectos de un mismo sismo se producen en diferentes lugares y cuanto más lejos del epicentro, más débil es el impacto. La escala más utilizada en el mundo para describirlo es la Escala de Intensidad de Mercalli Modificada. **Espectros De Respuesta:** Podemos definir el espectro como una gráfica

de la respuesta pico (expresada como desplazamiento, velocidad, aceleración o cualquier otro parámetro de interés) que produce una determinada dinámica en un cuerpo, estructura u oscilador determinado a un grado de libertad. En estos gráficos, el período específico (o frecuencia) de la textura se representa en el plano y la respuesta máxima se calcula para los diferentes coeficientes de amortiguamiento representados en el plano. **[37]** La importancia de los espectros en el diseño de estructuras radica en el hecho de que estos gráficos condensan la respuesta dinámica compleja en un parámetro clave: los valores máximos de respuesta, a menudo los requeridos por el diseñador. Sin embargo, cabe señalar que el espectro de respuesta omite información importante porque el efecto del terremoto en la estructura depende no solo de la respuesta máxima, sino también del tiempo de movimiento y la cantidad de ciclos con desplazamiento sustancial.

### **III. METODOLOGÍA**

### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

#### **Tipo de la Investigación**

Nuestra investigación compete al tipo experimental, ya que consiste en la manipulación de variables experimentales, en condiciones controladas. En nuestro caso tenemos como variable experimental la intensidad del movimiento sísmico la cual es aplicada en una edificación.

Este tipo de investigación presenta las siguientes características: Manipula intencionalmente las variables independientes para producir modificaciones en el comportamiento de las variables dependientes, mide el efecto o nivel de influencia de la variable independiente sobre la variable dependiente y finalmente se asegura que los cambios que ocurren en la variable dependiente durante los experimentos son exclusivamente debido a las modificaciones de la variable independiente. [38]

#### **Enfoque de investigación:**

La presente investigación corresponde al enfoque cuantitativo. Debido a que se analizó nuestras hipótesis mediante los resultados numéricos alcanzados de las variables medidas.

Definimos este enfoque” [...] como uno que afirma que la verdad puede ser cuantificada. Es el proceso de obtener y analizar los datos cuantitativos para explicar un fenómeno, en nuestro caso para probar la hipótesis planteada basándose en realizar la medición numérica y pruebas estadísticas. [39]

## **Diseño de la Investigación**

El diseño es experimental debido a que se realiza la manipulación de las variables experimentales, en situaciones controladas, con la finalidad de mostrar y describir la causa de que se produzca un acontecimiento en particular.

### **El nivel de la investigación:**

La presente investigación corresponde al nivel de investigación explicativo debido a que se logró generar el movimiento sísmico en la mesa vibratoria para obtener los desplazamientos en la estructura y posteriormente analizarlos.

Se define este nivel de investigación como el que nos ayuda a encontrar las razones que se hallan detrás de un particular fenómeno. El objetivo principal que persigue es reconocer los problemas y las variables claves en los problemas de investigación. [40]

### **3.2. Variables y operacionalización:**

#### **Variables**

Son los elementos que se encuentran en una investigación y pueden ser medidos, manipulados y analizados. De la misma manera al enlazarse con las otras variables logramos formular las hipótesis. [41]

#### **Independiente**

- Mesa Vibratoria

#### **Dependiente**

- Modelo Estructural A Escala reducida
- Modelo Estructural en el software SAP 2000

## **Operacionalización**

Consiste en establecer variables junto con dimensiones y también indicadores del proyecto de investigación para de esta forma la variable teórica convertirla en factores los que se podrán analizar y medir.

Presentaremos en el **anexo N°1** la operacionalización de las variables de nuestra investigación.

### **3.3. Población, muestra y muestreo**

#### **Población**

La población se define como un conjunto de elementos con características comunes, a partir de los cuales la identificación de la muestra permitirá el estudio de la población.

En nuestro trabajo de investigación la población son los modelos estructurales a escala obtenidos por el investigador tanto teórica como experimentalmente a los cuales se les realizara el correspondiente análisis dinámico.

#### **Muestra**

Seleccionar un subconjunto que sea representativo de toda la población general es una parte importante de la investigación cuantitativa por lo tanto, la muestra debe ser del tamaño necesario para asegurar un resultado óptimo

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:**

#### **Técnicas de captura de datos**

La técnica de captura de datos se divide en dos partes: La programación en Arduino y la programación en MATLAB.

#### **Programa de captura de datos Arduino**

El programa Arduino se encarga de interpretar las señales de tensión que envían los acelerómetros montados en cada nivel de la maqueta. Estos datos de voltaje se recopilan mediante el uso de un programa escrito en el lenguaje Arduino. Las señales se registran en todos los niveles del modelo de prueba mediante sensores, que son acelerómetros que en conjunto forman un acelerómetro que se utilizará para determinar los desplazamientos. Se utilizó un ARDUINO MEGA para obtener una réplica de datos de un acelerograma del movimiento sísmico. ARDUINO MEGA es el que controla mediante un computador el giro del motor.

#### **Programa graficado de datos en MATLAB**

Para recibir la señal en tiempo real de los 4 acelerómetros montados sobre el modelo a escala. Se utilizará un código a través del software matemático MATLAB para adquirir los datos emitidos por los sensores.

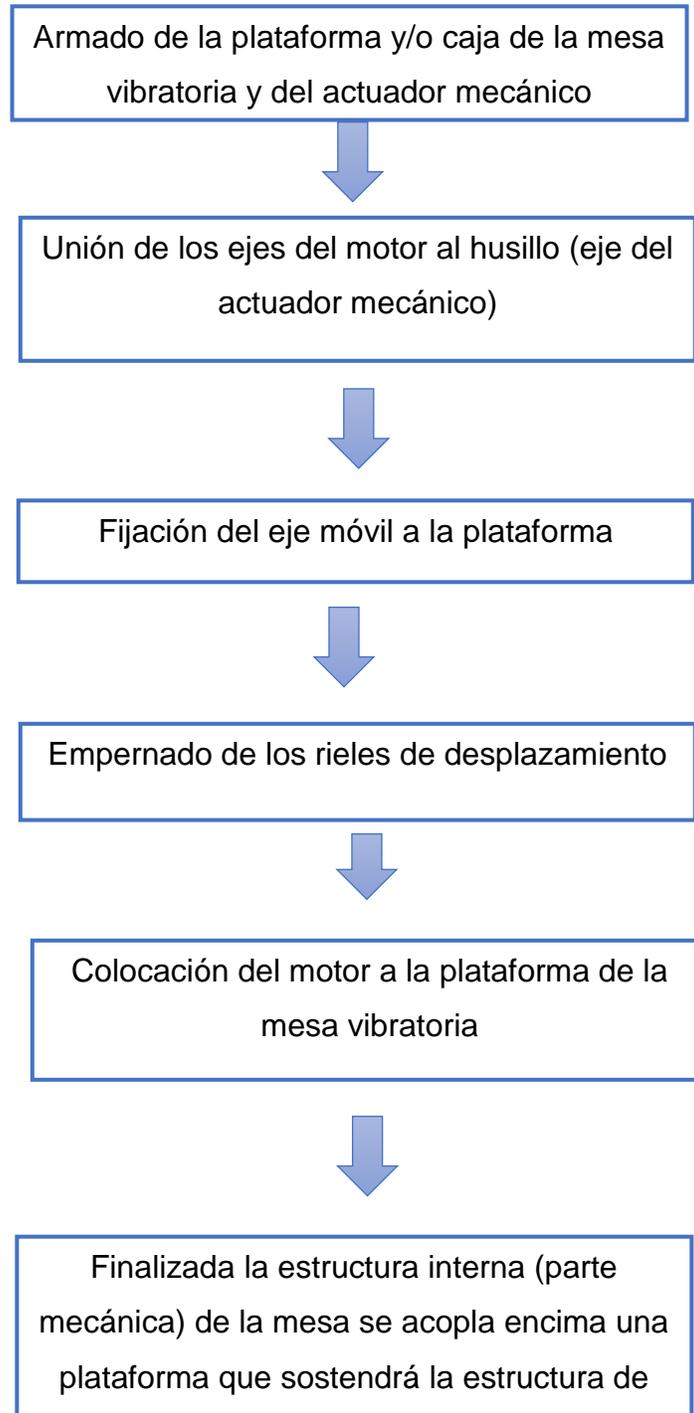
#### **Instrumentos de recolección de datos**

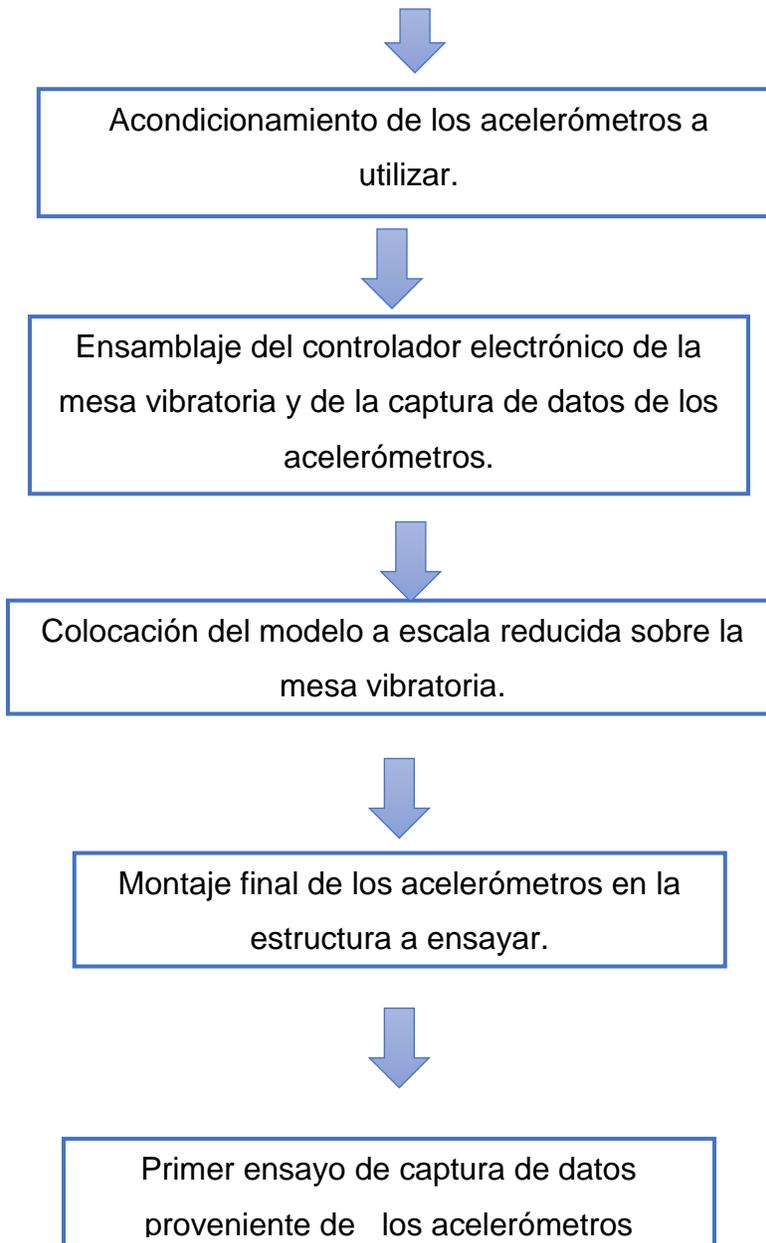
Se utilizó un ARDUINO MEGA para obtener una réplica de datos de un acelerograma del movimiento sísmico. ARDUINO MEGA es el que controla mediante un computador el giro del motor.

### 3.5. Procedimientos:

#### Sistema Mecánico de la Mesa Vibratoria

A continuación, se describe de manera breve el procedimiento como se elaboró el sistema mecánico.





## Descripción

### Etapa N°1

El objetivo principal es conseguir el acoplamiento del actuador mecánico que transmite el movimiento al pie de la mesa vibratoria.



Figura N°7 Armado del actuador Mecánico

### Etapa N°2

Se realizará el torneado de los acoples utilizados para ser el nexo de unión entre nuestro actuador mecánico y el eje de nuestro motor de corriente continua

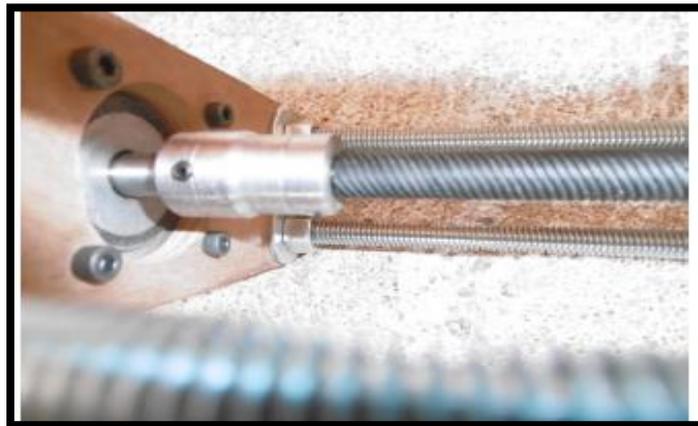


Figura N°8 Unión de los ejes del motor al husillo

### **Etapa N°3**

Se fijaron los rieles de manera que sean concéntricos a los ejes de los motores estando estos fijos al eje del husillo utilizado para lograr el movimiento de la mesa vibratoria.



**Figura N°9 Empernado de los rieles de desplazamiento**

### **Etapa N°4**

Se procedió a ensamblar el motor con los acoples fijos a nuestro actuador mecánico y los rieles encargados de transferir movimiento a la base de nuestra mesa vibratoria.



**Figura N° 10 Colocación del motor a la plataforma de la mesa vibratoria**

### **Etapa N°5**

Los acelerómetros tienen los ejes x, y, z por tanto el eje x en los acelerómetros debe tener la misma dirección que el desplazamiento de la mesa vibratoria



**Figura N° 11 Acondicionamiento de los Acelerómetros a utilizar**

### **Etapa N°6**

Se procede a ensamblar la parte electrónica: fuente y los arduinos donde se graba el registro sísmico



**Figura N° 12 Ensamblaje del controlador electrónico de la mesa vibratoria**

### **Etapa N°7**

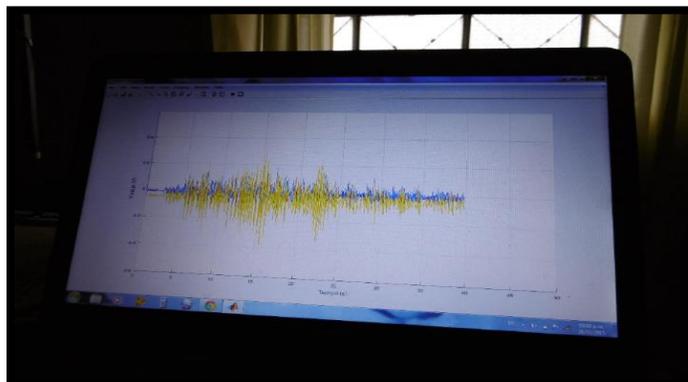
Esta es la forma como queda la estructura una vez terminada con los acelerómetros colocados en cada piso



**Figura N°13 Montaje final de los acelerómetros**

### **Etapa N°8**

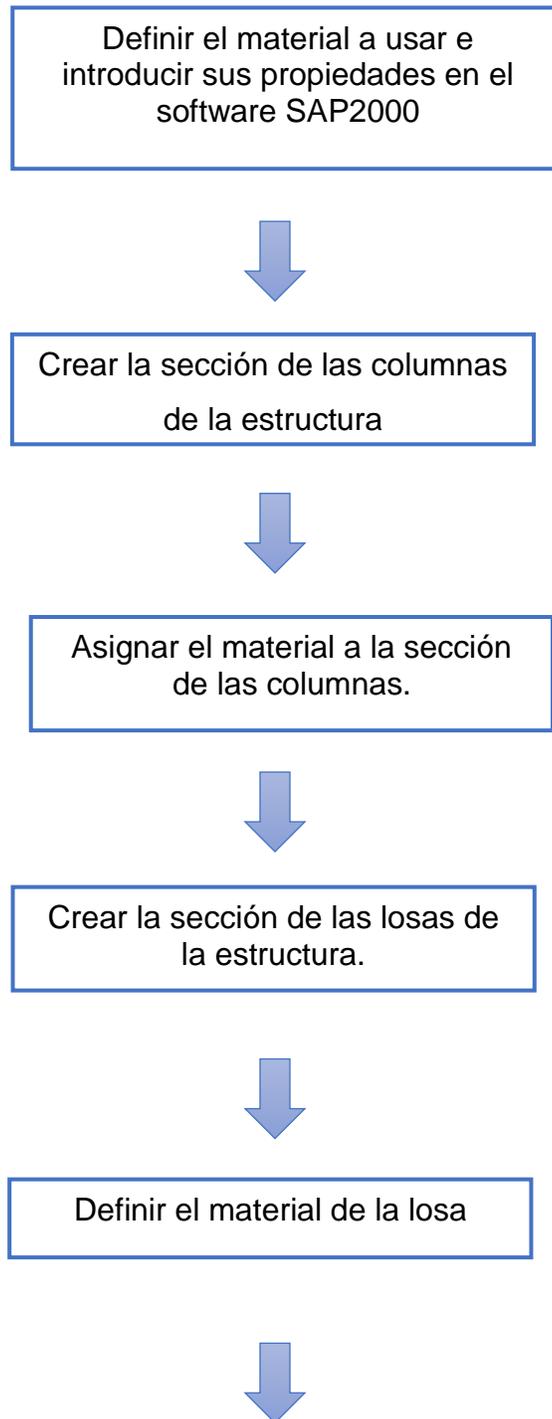
La instantánea del acelerómetro se proporciona de la siguiente manera, los datos obtenidos se pueden ver en una computadora

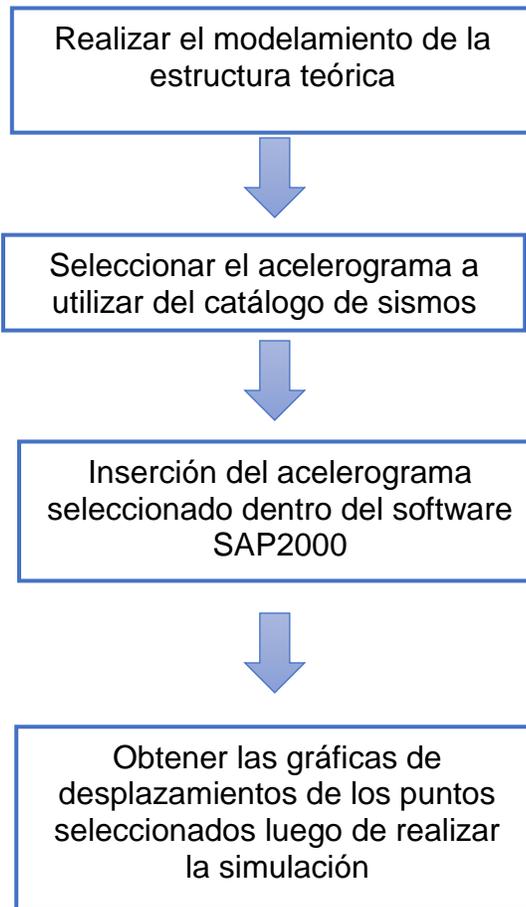


**Figura N°14 Primer ensayo con los acelerómetros**

### Modelo Teórico

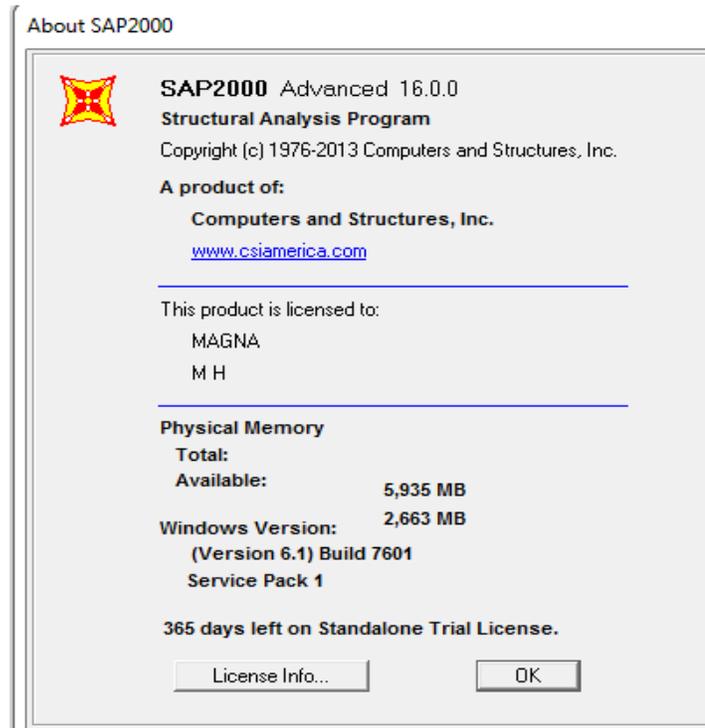
El análisis y recolección de datos a través del software se dará siguiendo el diagrama de flujo siguiente:





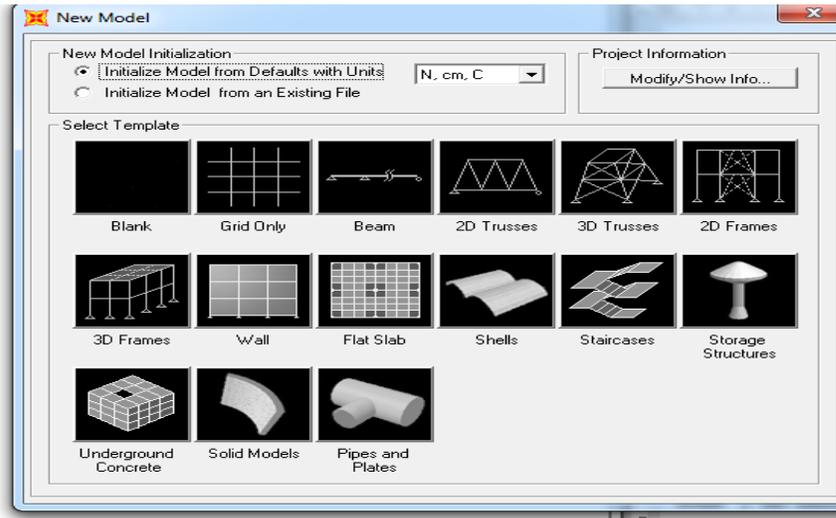
## DESCRIPCION

El software utilizado para realizar el modelamiento teórico y posterior obtención de los resultados es el SAP2000 v16.



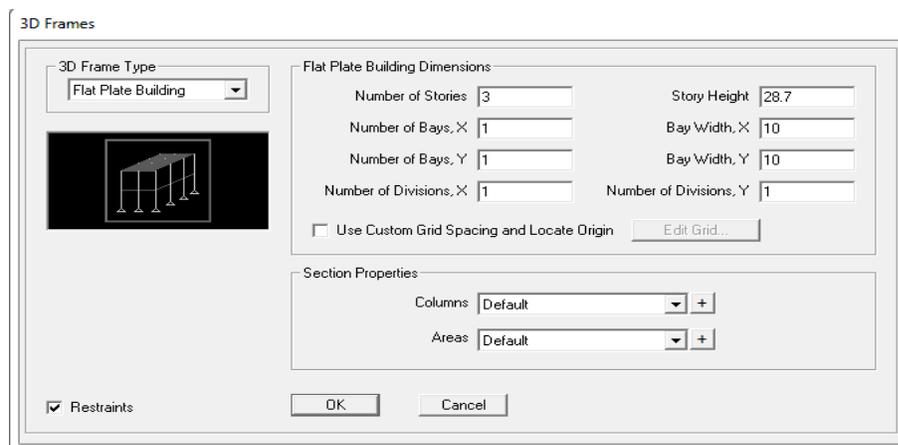
**Figura N°15 Software SAP 2000**

La configuración inicial utiliza las siguientes unidades: Newton (N) como unidad de fuerza, centímetros (cm) como unidad de longitud y grados centígrados (C°) como unidad de temperatura. Se selecciona la opción Tipo de marco 3D para comenzar a modelar.



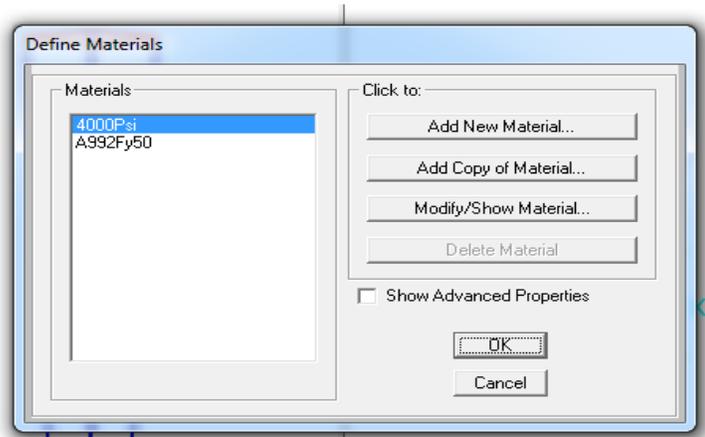
**Figura N°16 Selección del Modelo Base**

Se utilizó la opción Flat Plate Building ya que no se trabajó con vigas sino únicamente con losas y las dimensiones de la losa son de 10 cm x 10 cm también se especifica el número de niveles que posee la estructura siendo estos 4 niveles y la longitud entre pisos 30 cm.



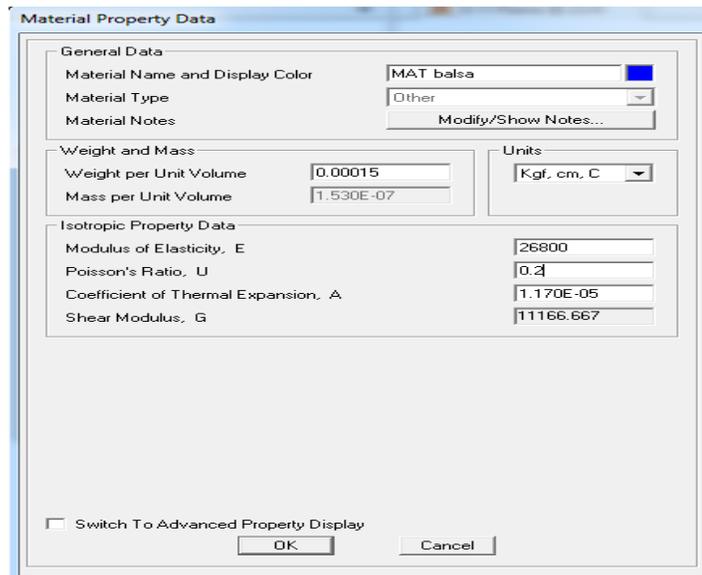
**Figura N°17 Dimensionamiento de la Estructura**

Definimos las propiedades mecánicas de los materiales a utilizar en el modelo teórico con la opción Define Materiales



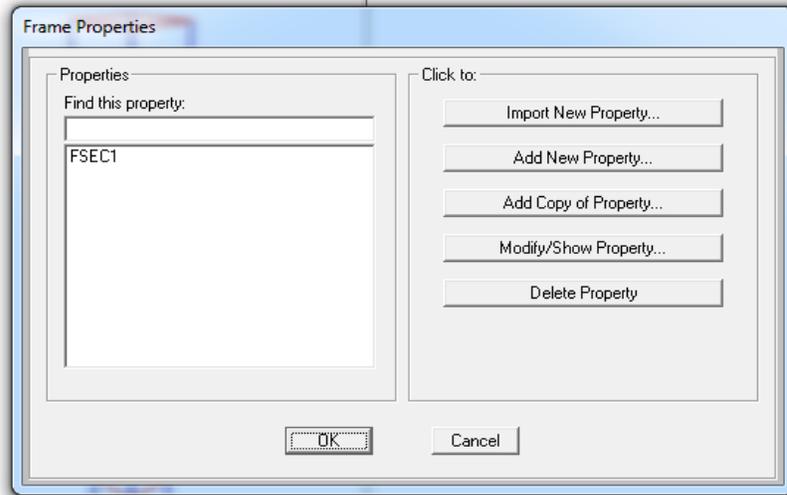
**Figura N°18 Definir los Materiales a Usar**

En la siguiente opción definimos los valores de peso por unidad de volumen de la madera balsa, el módulo de Poisson y se asigna el nombre de MADERA BALSA.



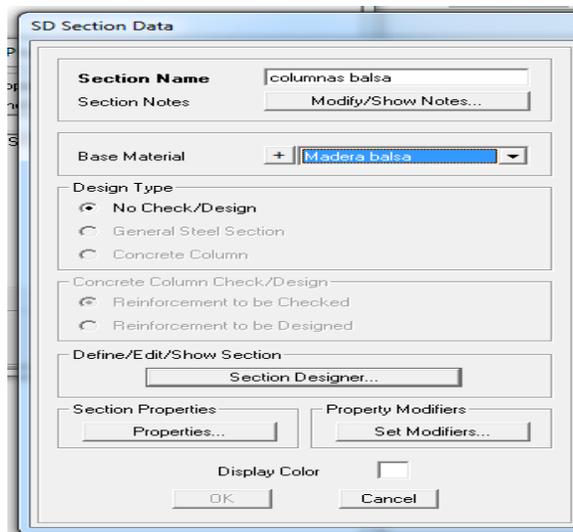
**Figura N°19 Definir los Valores de Peso por unidad de volumen y el Modulo de Poisson**

En la sección Properties creamos los elementos estructurales presentes en el modelo teórico, los cuales son columnas y losas.



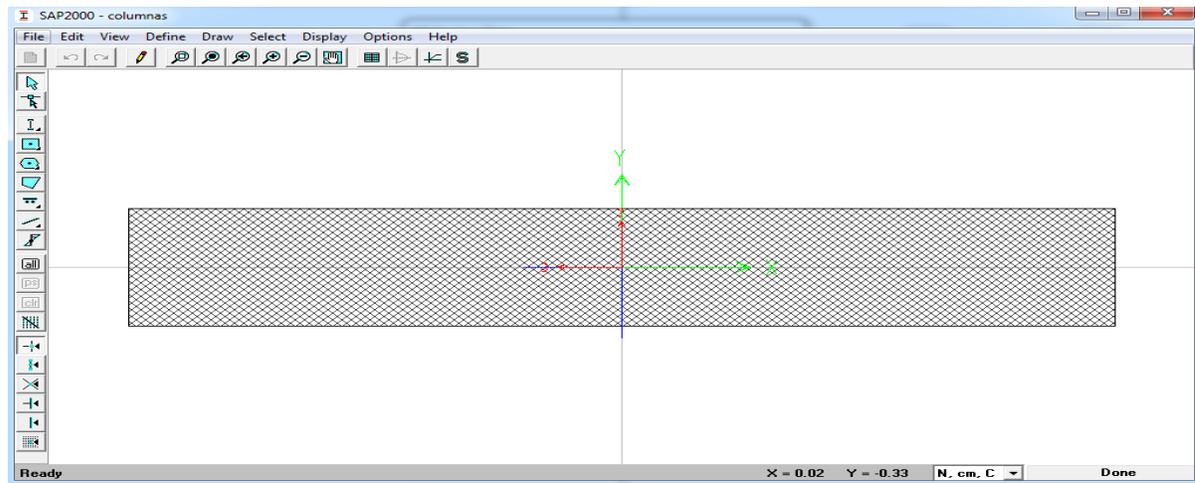
**Figura N°20 Crea la sección de columnas del modelo a escala**

Para el diseño de las columnas se utiliza la opción Frame Properties.



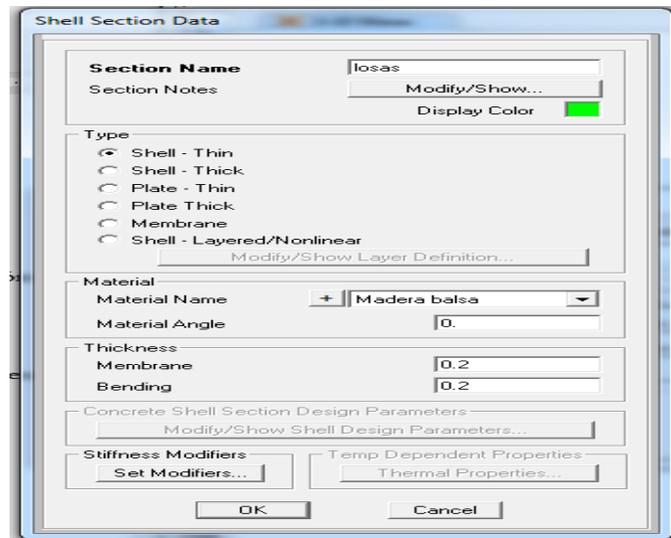
**Figura N°21 Asigna las propiedades a la sección de columnas**

Diseñamos la sección de columnas indicando que tendrá las siguientes dimensiones 1.2 x 0.2 cm



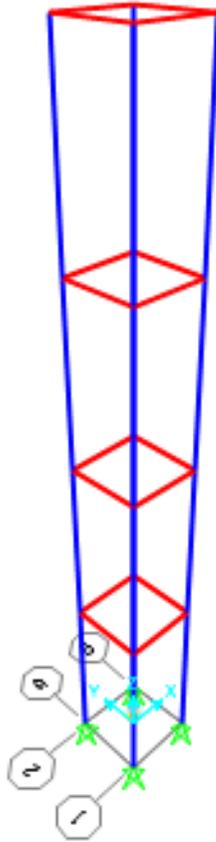
**Figura N°22 Diseño de la sección de columnas**

Por último, se diseña también las losas, en la opción Área Sections crearemos la sección de las losas del modelo a escala reducida. Con esto tenemos el modelo estructural terminado.



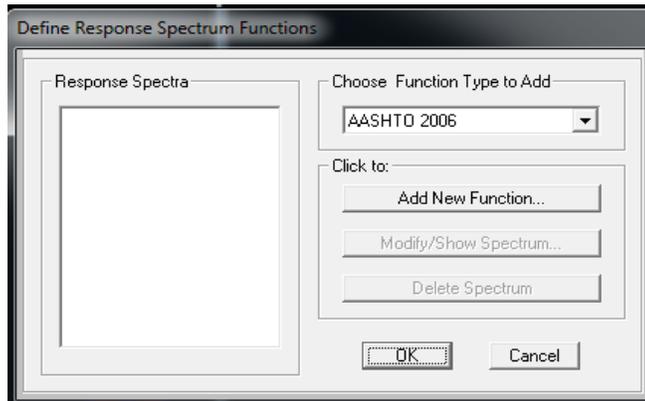
**Figura N°23 Crea la sección de losas y se asigna sus propiedades**

Una vez definidos los materiales y secciones se proceden a dibujar el modelo a escala reducida



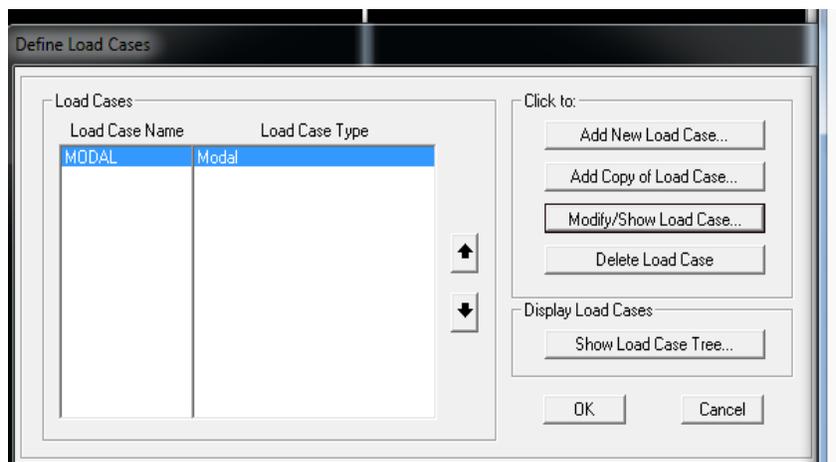
**Figura N°24 Modelo estructural terminado**

En la opción Functions entramos a Response Spectrum y procedemos a borrar el espectro existente.



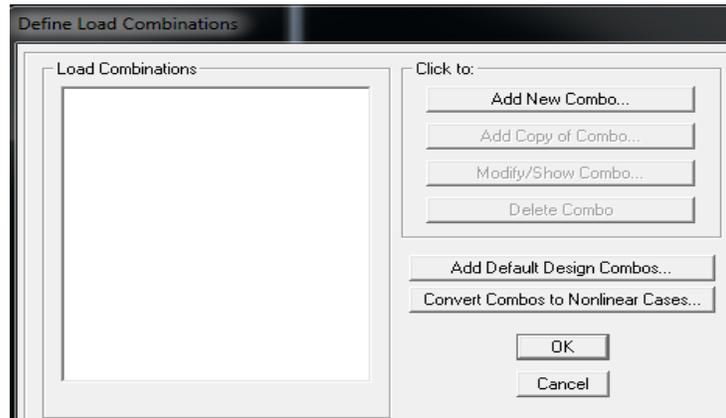
**Figura N°25 Borra todo Espectro**

Se deja el análisis modal debido a que solo se toma en consideración las masas y rigidez de la estructura.



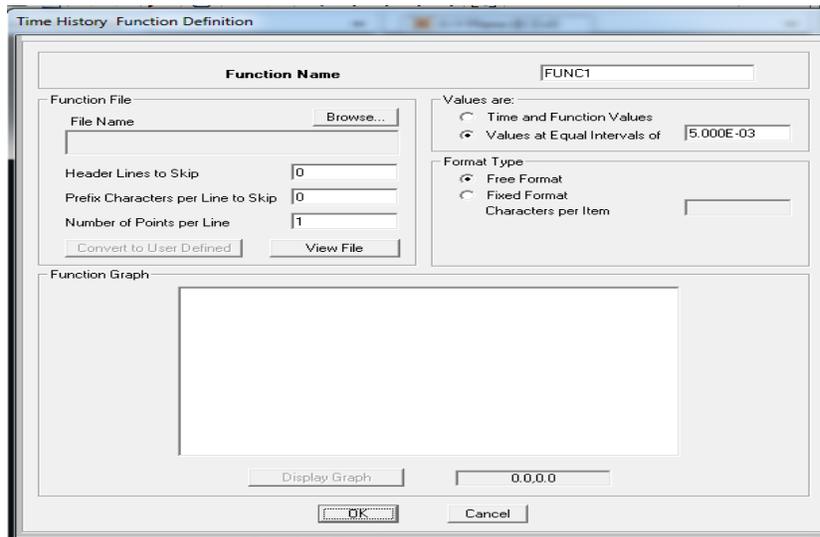
**Figura N°26 Eliminar los Load Cases y dejar el Análisis Modal**

Del mismo modo en las combinaciones deberá quedar sin ningún registro, debido a que se trata de un sismo real de nuestro país.



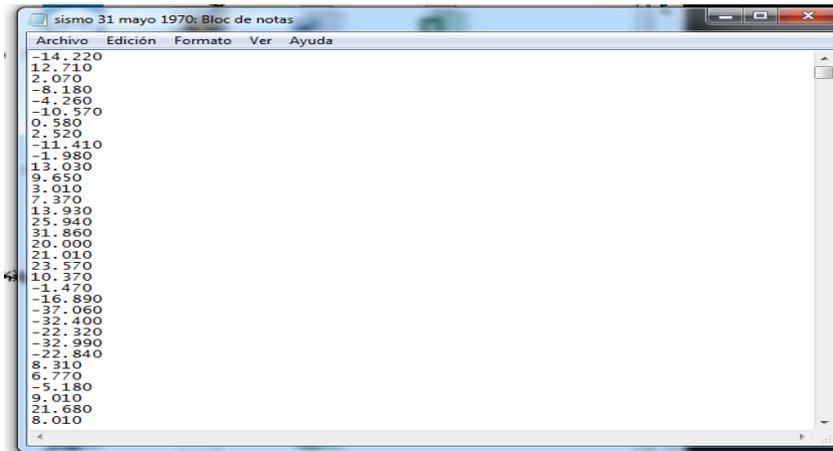
**Figura N°27 Eliminar las Combinaciones de Carga**

Entramos a definir los parámetros del análisis Tiempo – Historia utilizando la opción From File y Add New Funtion.



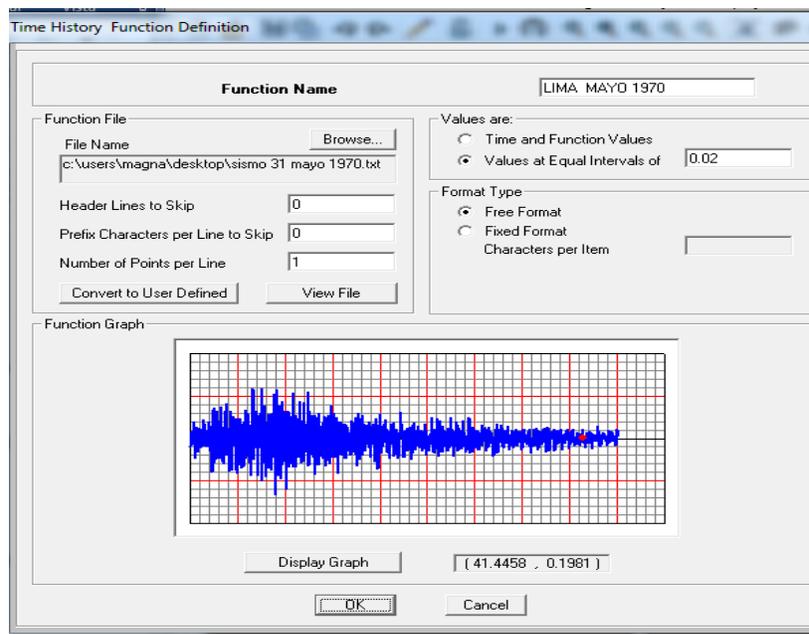
**Figura N°28 Ingresar el Acelerograma Seleccionado**

Para lo cual se utilizó un archivo .txt con los registros de aceleraciones de un sismo ocurrido el año 1970.



**Figura N°29 Aceleraciones en Formato txt.**

Finalmente, luego de haber insertado el acelerograma obtenemos la gráfica de sismo.



**Figura N°30 Visualizar el acelerograma en la función tiempo – historia**

Posteriormente definimos el estado nuevo de carga en la opción de Define Load Cases.

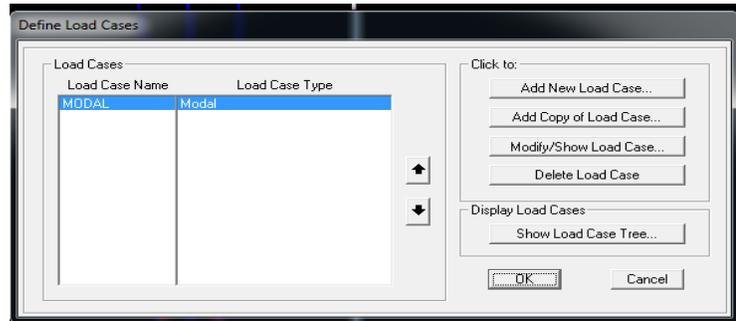


Figura N°31 Selección de los casos de carga

En la ventana Load Case Type definimos la opción Time History, debido a que se incorporó un sismo en tiempo real, como carga tipo elegimos Accel, posteriormente el sentido del mismo es U1, el factor de escala es 1 dado que las aceleraciones se muestran en  $\text{cm/s}^2$ , en number of Output Time Steps colocamos 2258 que son la cantidad de lecturas y en Output Time Step Size escribimos 0.02 que viene a ser los intervalos de la aceleración.

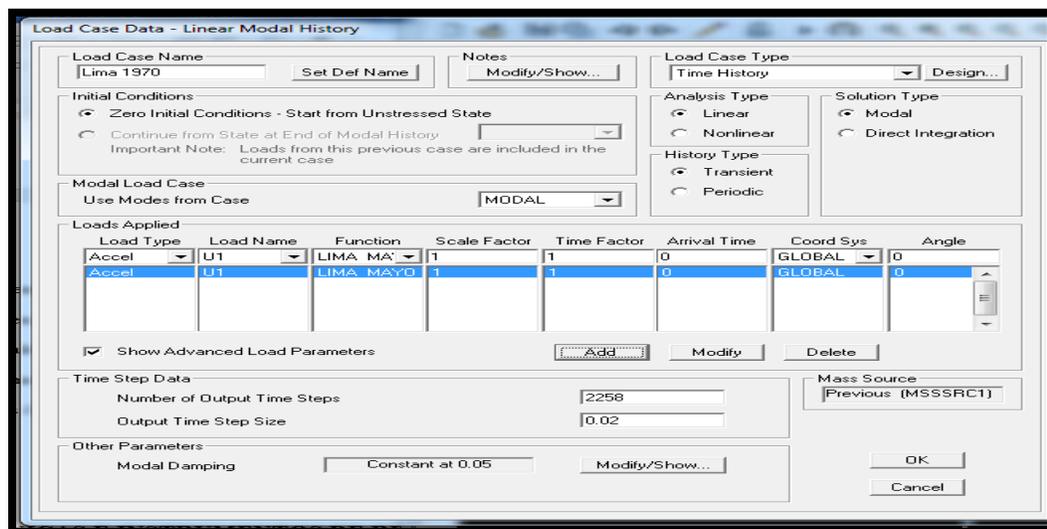
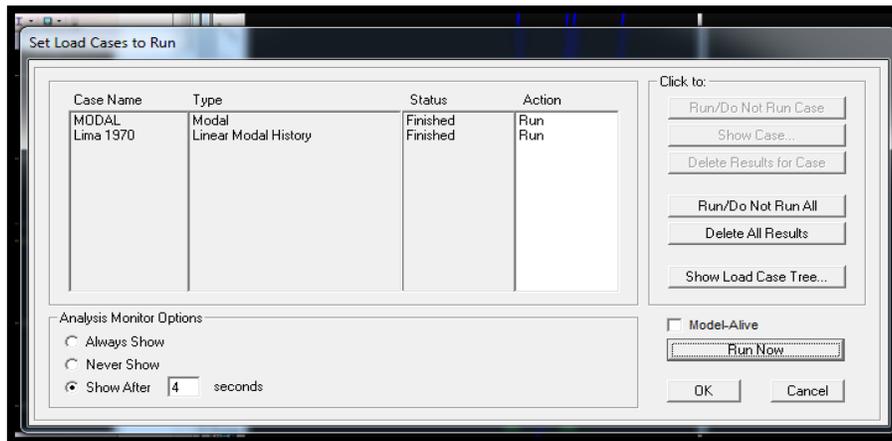


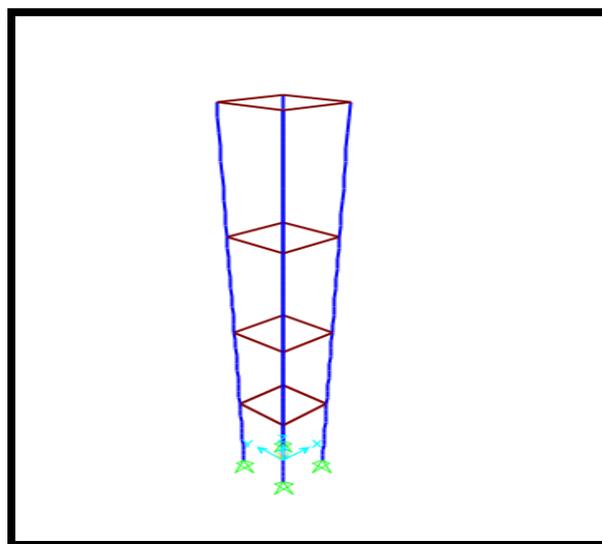
Figura N°32 Define las Cargas Utilizadas

En la ventana Analyze solo se considera en Set Load Cases to Run lo que ya se encuentra precisado que viene a ser Modal y Lima 1970.



**Figura N°33 Casos de carga Seleccionados para el análisis**

Finalmente se aplica el acelerograma perteneciente al sismo del 31 de Mayo de 1970



**Figura N°34 Modelo Estructural luego del Ensayo**

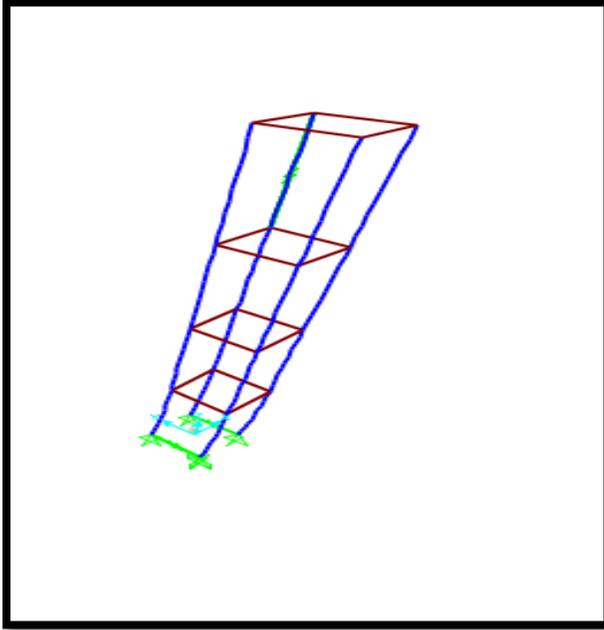


Figura N°35 Desplazamiento del Modelo Estructural

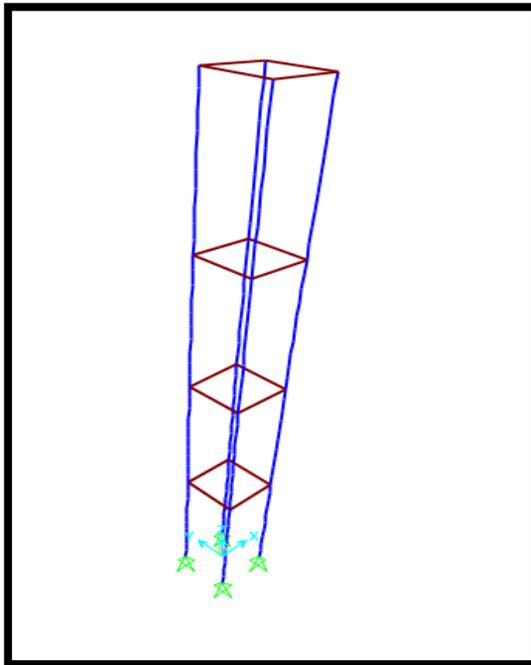


Figura N°36 Desplazamiento del Modelo Estructural

### **3.6. Método de análisis de datos:**

Durante la investigación, uno de los pasos más importantes fue el método analítico aplicado cuando se completó la fase de recolección de datos obtenidos del ensayo para poder evaluar los desplazamientos.

Los datos se procesarán mediante herramientas y programas de estadística como el Excel a través de tablas y gráficos que nos permiten ordenar y representar los resultados necesarios para analizar los objetivos de nuestra investigación y compararlos con las hipótesis planteadas, determinando así la relación que existe entre los desplazamientos obtenidos de manera teórica y los obtenidos de manera experimental.

En nuestro caso utilizamos la prueba de diferencia de medias debido a que se está trabajando con variables cuantitativas continuas y es la prueba estadística más apropiada para establecer la diferencia entre dos muestras.

### **3.7. Aspectos éticos**

Para asegurar la ética y confiabilidad de la investigación, los autores se comprometieron con la veracidad de los resultados y la confiabilidad de la recolección de datos al realizar la encuesta de conformidad con las normas técnicas de la ley peruana de las que son sujetos. Asimismo, se respeta la identidad de los autores de las fuentes en las que se basa la investigación, por lo que se sigue el estilo ISO 690 para citas y referencias bibliográficas. La veracidad y originalidad de la investigación está garantizada porque la información es procesada mediante el software TURNITIN de tal manera que garantiza que la investigación es de autoría propia y que no hay duda de plagio.

## **IV. RESULTADOS**

## Descripción de la zona de estudio

A las faldas del nevado Huascarán, 58 kilómetros al norte de Huaraz, aproximadamente a 25 minutos en auto se ubica la ciudad de Yungay (2,458 m). Su nombre, etimológicamente proviene del vocablo “Yunga”, que significa cálido. La ciudad fue completamente reconstruida después del terremoto de 1970, y actualmente es un camposanto. La antigua ciudad de Yungay se ubica a 1.5 kilómetros de la nueva ciudad. Actualmente es una ciudad moderna y tranquila.

## Ubicación política

La ciudad de Yungay se sitúa en la zona central de Áncash, en el valle del río Santa, denominado "Callejón de Huaylas" ubicado a unos 30 km de Huaraz, capital de la región



Figura N°37 Mapa político del Perú



Distritos de la provincia de Yungay

Figura N°38 Mapa político de la Provincia de Yungay

## Ubicación geográfica

Latitud:-9.13972

Longitud:-77.745

Latitud:9°8'23"Sur

Longitud: 77° 44' 42" Oeste

## Clima

En Yungay, sus veranos son cortos, tranquilos, áridos y regularmente nublados y los inviernos son frescos y nublados. Durante el todo del año, la temperatura generalmente varía desde 8 °C a 22 °C y pocas veces baja a menos de 5 °C o eleva a más de 24 °C.

**Objetivos específicos 1:** Se desarrollo una simulación sísmica experimental a un modelo estructural a escala reducida y visualizar sus desplazamientos mediante la utilización de la mesa vibratoria

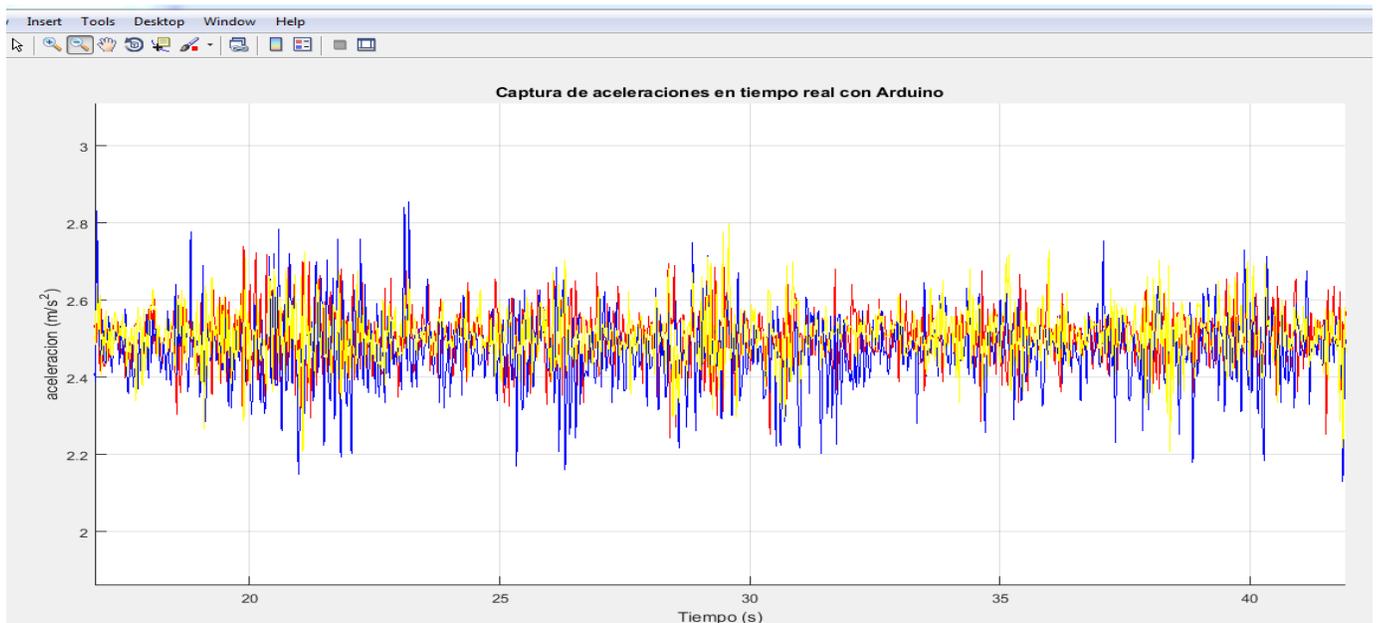
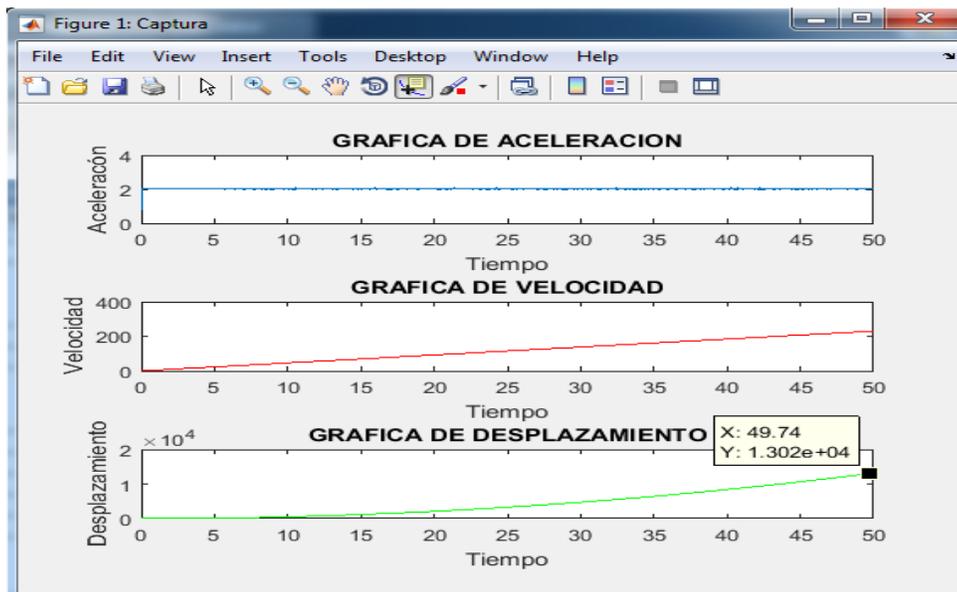
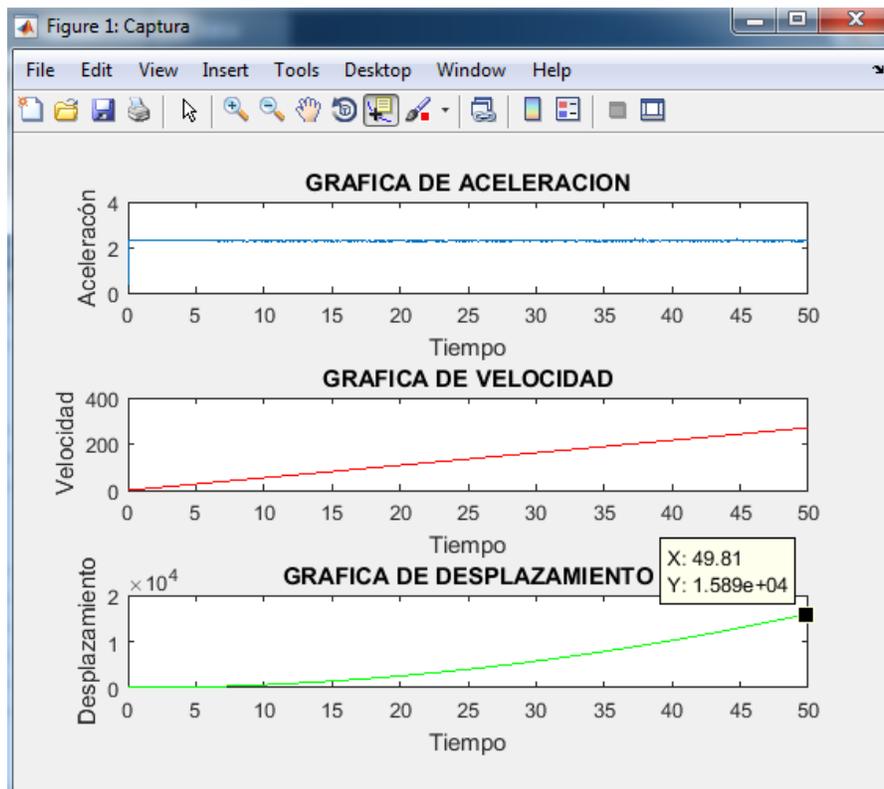


Figura N°39 Gráfica de datos aceleración vs tiempo



**Figura N°40 Gráficas aceleración, velocidad y desplazamiento Primer Nivel**



**Figura N°41 Gráficas aceleración, velocidad y desplazamiento Segundo Nivel**

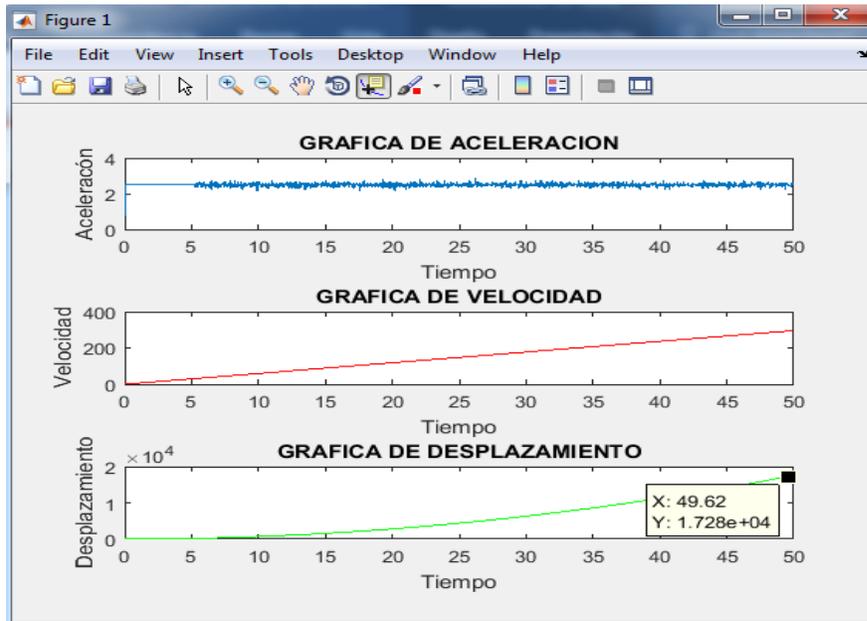


Figura N°42 Gráficas aceleración, velocidad y desplazamiento Tercer Nivel

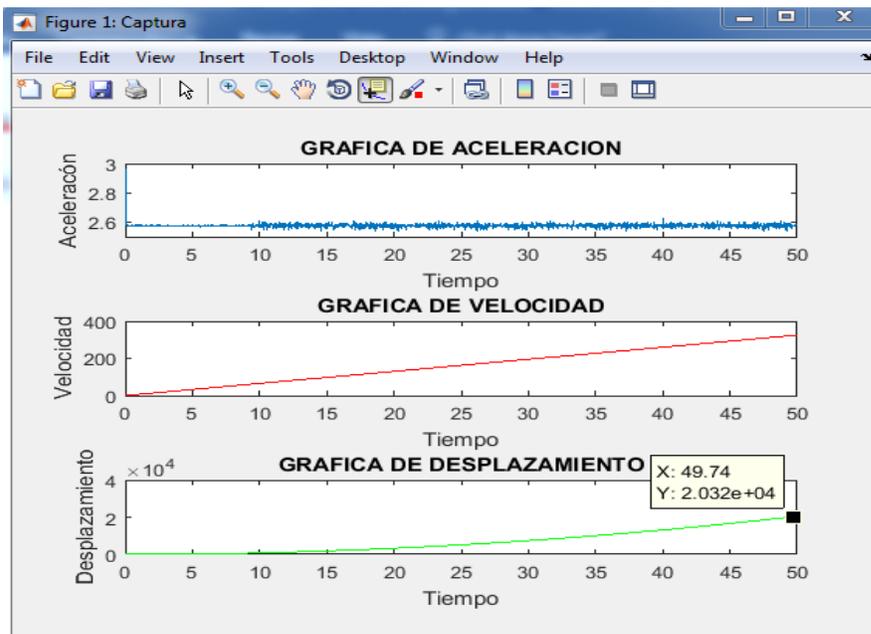
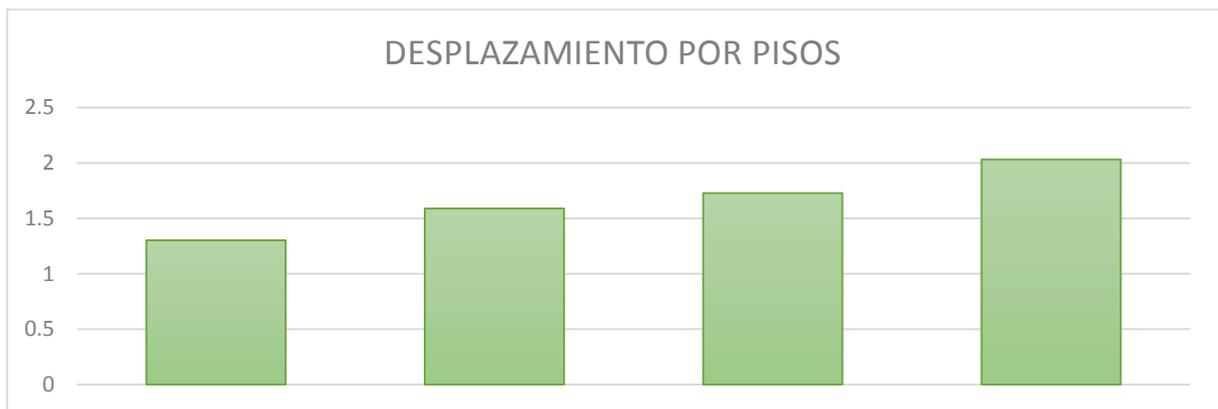


Figura N°43 Gráficas aceleración, velocidad y desplazamiento Cuarto Nivel

**Tabla 01. Efecto dinámico de sismo de modelo real en mesa vibratoria.**

<i>Pisos</i>	<i>Real Mesa Vibratoria Desplazamientos (cm)</i>
Piso 1	1.302
Piso 2	1.589
Piso 3	1.728
Piso 4	2.032

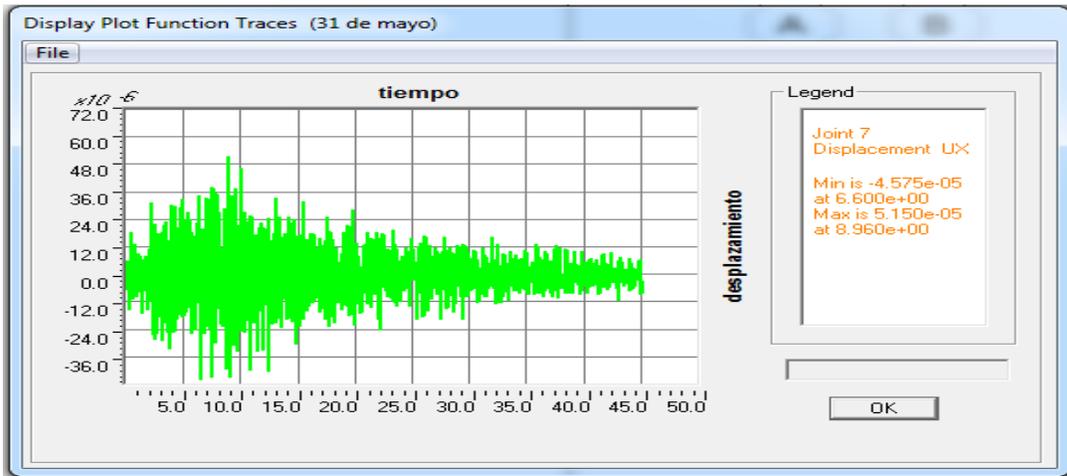
Fuente: Elaboración Propia



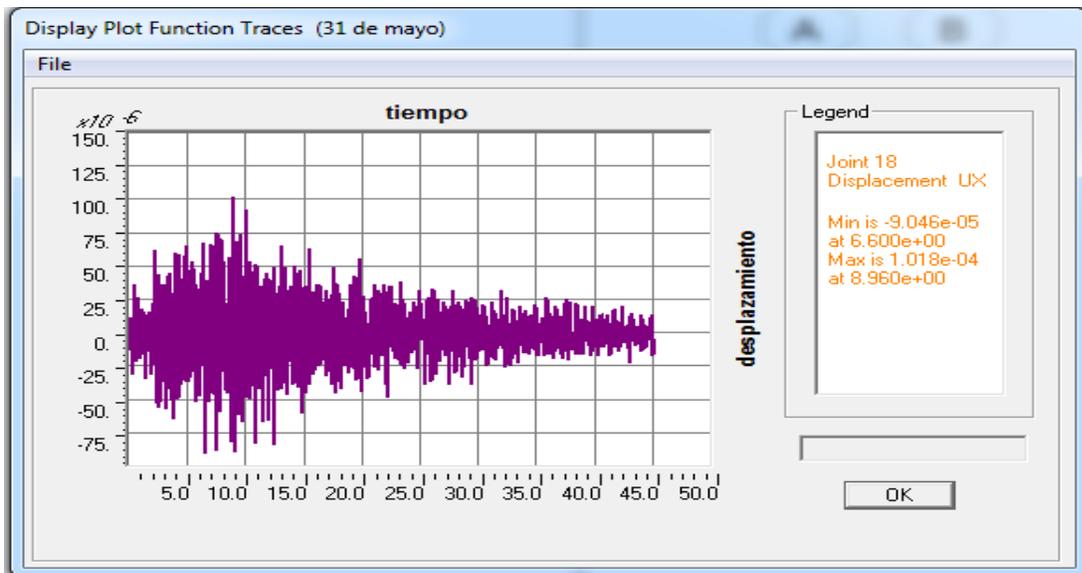
**Figura N°44 Gráfico de barras de resultados del desplazamiento Experimental**

De esto podemos adquirir los valores máximos de desplazamiento de los 4 niveles de la estructura, según las gráficas anteriores y es como sigue: Desplazamiento máximo primer nivel = 1.302 cm, Desplazamiento máximo segundo nivel = 1.589 cm, Desplazamiento máximo tercer nivel = 1.728 cm, Desplazamiento máximo cuarto nivel = 2.032 cm.

**Objetivos específicos 2:** Visualizamos en un ordenador la simulación sísmica teórica del modelo estructural y los desplazamientos obtenidos



**Figura N°45 Gráficas aceleración del Primer Nivel**



**Figura N°46 Gráficas aceleración del Segundo Nivel**

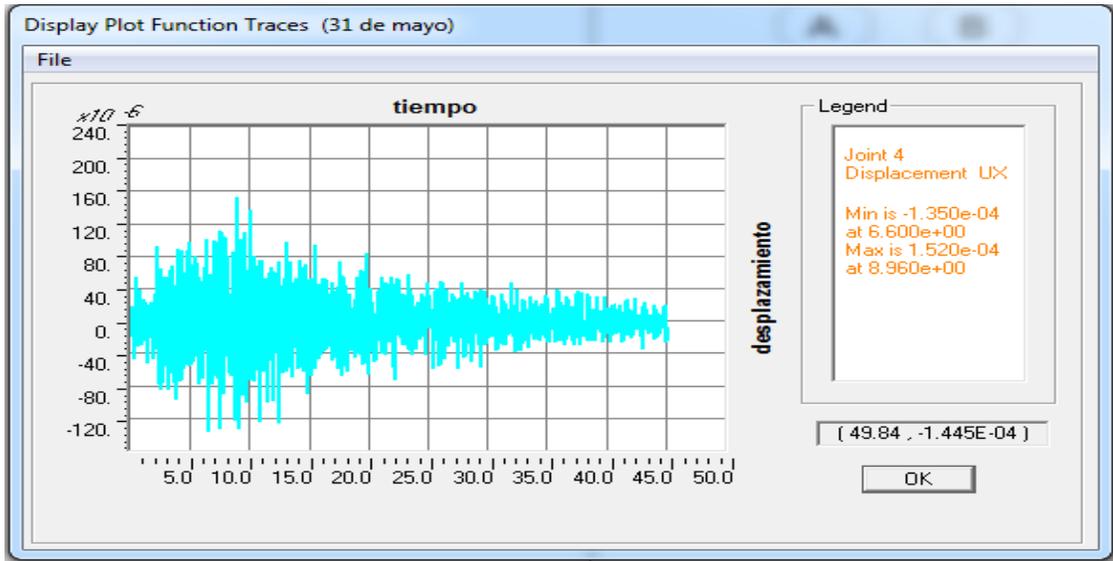


Figura N°47 Gráficas aceleración del Tercer Nivel

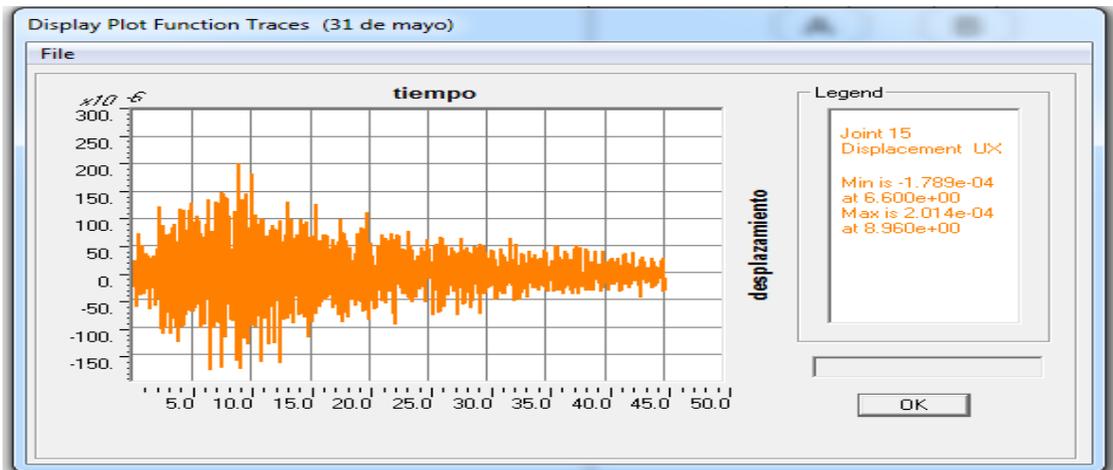
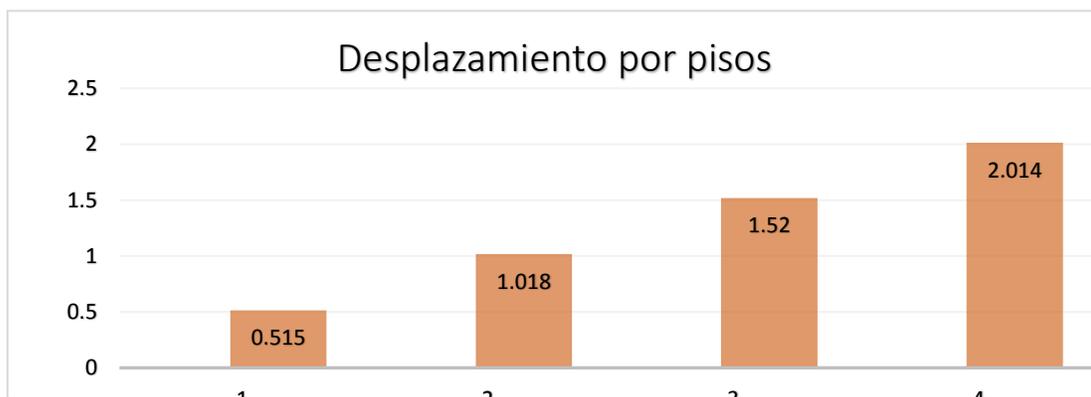


Figura N°48 Gráficas aceleración del Cuarto Nivel

**Tabla 02. Efecto dinámico de sismo de modelo teórico con Software SAP 2000**

<i>Pisos</i>	<i>Modelo Teórico SAP 2000 Desplazamiento (cm)</i>
Piso 1	0.515
Piso 2	1.018
Piso 3	1.520
Piso 4	2.014

Fuente: Elaboración Propia



**Figura N°49 Gráfico de barras de resultados del desplazamiento Teórico**

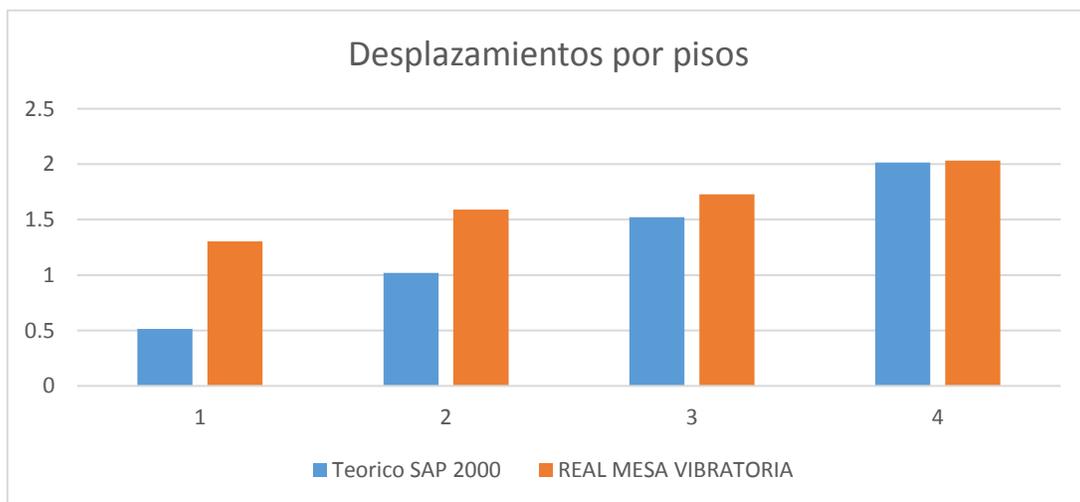
De esto podemos obtener los valores máximos de desplazamiento de los 4 niveles de la estructura, según las gráficas anteriores y es como sigue: Desplazamiento máximo primer nivel = 0.515 cm, Desplazamiento máximo según vdo nivel = 1.018 cm, Desplazamiento máximo tercer nivel = 1.520 cm, Desplazamiento máximo cuarto nivel = 2.014 cm.

**Objetivos específicos 3:** Comparamos y analizamos los resultados obtenidos del comportamiento dinámico experimental y el comportamiento dinámico teórico.

**Tabla 03. Efecto dinámico de sismo de modelo teórico con Software SAP 2000 y el modelo real en mesa vibratoria.**

<i>Pisos</i>	<i>Modelo</i>	
	<i>Teórico SAP 2000</i>	<i>Real Mesa Vibratoria</i>
Piso 1	0.515	1.302
Piso 2	1.018	1.589
Piso 3	1.520	1.728
Piso 4	2.014	2.032

Fuente: Elaboración Propia



**Figura N°50 Gráfico de barras comparativo de los desplazamientos**

En la presente grafica se muestra la comparación entre los desplazamientos Sap2000 y mesa vibratoria, el eje x corresponde a los pisos del modelo a escala y los valores del eje y corresponden a los desplazamientos en cm.

**Tabla 04. Promedio y Variación del efecto dinámico del sismo de modelo teórico con Software SAP 2000 y el modelo real en mesa vibratoria.**

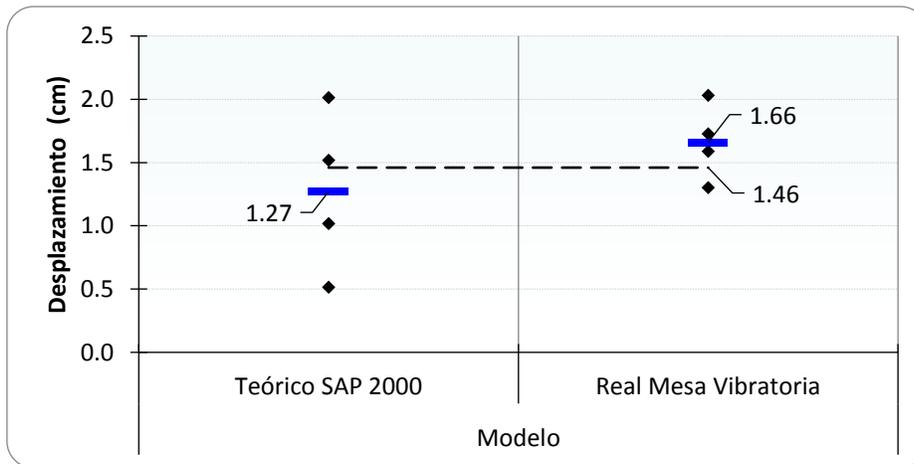
<i>Modelo</i>	<i>Media</i>	<i>D. Estándar</i>	<i>n</i>
Teórico SAP 2000	1.27	0.65	4.00
Real Mesa Vibratoria	1.66	0.30	4.00
<b>Total</b>	<b>1.46</b>	<b>0.51</b>	<b>8.00</b>

Fuente: Procesado a partir de Tabla N°01

**Tabla 05. Diferencia del efecto dinámico de sismo de modelo teórico con Software SAP 2000 y el modelo real en mesa vibratoria.**

<i>Significancia</i>	<i>G. L.</i>	<i>Tc</i>	<i>Tt</i>	<i>Nivel-p</i>
0.05	6	0.3254	2.4469	0.7559

Fuente: Procesado a partir de Tabla N°01



**Figura 51: Gráfico del promedio y variación del efecto dinámico de sismo de modelo teórico con Software SAP 2000 y el modelo real en mesa vibratoria.**

## INTERPRETACIÓN

La Tabla 03 muestra el **efecto dinámico del sismo de modelo teórico con Software SAP 2000 y el modelo real en mesa vibratoria**, seguidamente la tabla 04 y la figura 51 muestran en resumen el efecto dinámico donde se observa lo siguiente:

El efecto dinámico simulado para el modelo teórico con software SAP 2000 a resultado en promedio  $1.27 \pm 0.65\text{cm}$ . El efecto dinámico para el modelo real en mesa vibratoria a resultado en promedio  $1.66 \pm 0.30\text{cm}$ . Se observa también que el modelo real a presentado menor variación que el modelo teórico.

El resumen de la prueba estadística para la diferencia de medias entre modelos que se muestra en la tabla N°05 da como resultado un nivel de error con probabilidad  $p=0.7559$  (75.59%) que resulta ser mayor al nivel de significancia 0.05 (5% de error), por lo tanto, se determina que no existe diferencia significativa del efecto dinámico del modelo teórico simulado en Software SAP 2000 y el modelo real en mesa Vibratoria, es decir ambos modelos son estadísticamente iguales.

## V. DISCUSION

1.- Para el indicador 1 tenemos el **Automatizado** que se define como aquellos procedimientos automáticos que se dan durante la realización de un proceso, en nuestra investigación se logró analizar con la mesa vibratoria de simulación sísmica la respuesta del comportamiento estructural de manera automática utilizando la tarjeta Arduino mega junto con el programa Matlab, comprobando de esta manera que los instrumentos son los adecuados para nuestro trabajo. Haciendo un análisis comparativo entre nuestra investigación y la realizada en la Universidad Privada de Tacna por Diana Luz Ayllon Lopez vemos que a pesar que se utiliza el mismo programa Matlab en ambos casos y que esta plataforma de programación cuenta con un lenguaje de programación muy amigable presenta la desventaja de que su librería es limitante para entablar una comunicación con el Arduino, por lo que recomendamos utilizar LabVIEW debido a que presenta la opción mejorada de adquisición de datos inclusive cuando se trabaja con el Arduino para procesar los datos.

2.- Para el indicador 2 **Movimiento unidireccional** el cual se define como la interacción que existe entre el suelo y la estructura, cuyo protagonista principal son las aceleraciones provocadas por el sismo tenemos que se logró la construcción del simulador de movimiento en una dirección analizando el comportamiento de nuestro modelo a escala reducida en tiempo real con la ayuda de acelerómetros colocados en cada nivel del modelo reducido. Al realizar los ensayos en nuestra mesa vibratoria obtenemos los desplazamientos en el eje x esto debido a que esta fue programada para simular sismos en un solo eje o unidireccionalmente a diferencia de Francisco Renán Valdiviezo Naranjo de la Universidad UTE que elaboro una mesa vibratoria bidireccional lo cual permite generar sismos de distintas intensidades en dos direcciones simultáneamente permitiéndole realizar una mayor cantidad de ensayos del comportamiento de elementos estructurales a escala reducida haciendo este tipo de mesa más práctico y cercano a la realidad debido a que son 3 los movimientos característicos de un sismo y que ocurren en los ejes x,y,z.

3.- Para el indicador 3 el **Desplazamiento de las Columnas** se produce por la acción de las fuerzas externas antes mencionadas, la estructura experimental sufre pequeños cambios en su forma, en términos generales todos los puntos de nuestra estructura sufrirán desplazamientos, a excepción de los puntos de apoyo inmóviles. Finalmente podemos concluir que todas las estructuras se deforman al ser sometidas a cargas y fuerzas externas y el cambio de su configuración geométrica hace sus puntos presente pequeños desplazamientos.

Hemos utilizado los acelerómetros que es el instrumento encargado de tomar los datos obtenidos con el movimiento en una direccional de la mesa, permitiendo de esta manera analizar el comportamiento en vibración libre de nuestro modelo, el grupo de aceleraciones que se registra en la base de datos que se llama “acelerograma”, en nuestro proyecto de investigación tenemos aceleraciones con variaciones de tiempo que comúnmente van de 0.02 segundos, este conjunto de aceleraciones son los que reproducen el movimiento oscilante de la aceleración cuyo principal objetivo es obtener la respuesta dinámica (desplazamientos) de la estructura.

En la investigación realizada por Kleber Enrique Romero Núñez en la Universidad Técnica de Ambato se obtuvieron los resultados de desplazamientos mediante acelerómetros y Flex-sensores lo cual a diferencia de nuestra investigación en la que solo utilizamos a los acelerómetros se muestra una menor cantidad de captura de datos en comparación con la otra investigación esto debido a que el flex- sensor permite capturar datos en diferentes ángulos haciéndolo más practico pero su desventaja es el costo y su poca accesibilidad en el mercado por lo que se recomienda su uso en caso se tenga la posibilidad de adquirirlo.

4.- El indicador 4 **Capacidad** se define como la cantidad máxima de peso que se puede mantener de manera indefinida en un determinado ambiente sin generar alteraciones, por ende es necesario que nosotros tengamos que saber el peso de nuestra estructura, se debe conocer cuántos Kg debe ir encima de la mesa vibratoria para así evitar que pase de su peso máximo y así impedir que la estructura falle ya que se la requiere para ver el comportamiento de la estructura cuando se le aplica un movimiento sísmico.

5.- En cuanto al indicador **5 Periodo** lo definimos como el espacio de tiempo en el cual se realiza una acción o un determinado acontecimiento. Nosotros tendremos en cuenta que para tener los registros del sismo escogido hemos tomado en cuenta los primeros 50 segundos debido a que es en este tiempo donde se presentan los movimientos mayores y por tanto la energía que se libera se incrementa mostrándonos los máximos desplazamientos.

El periodo cuando es corto es de 1 segundo y afecta a edificios pequeños. El periodo largo es de 2 segundos y afecta a altos edificios . La frecuencia de resonancia 4 Hz afecta los más altos edificios. Cuando aumenta la frecuencia los más altos edificios son los menos afectados, pero los medianos edificios presentan resonancia. Las en un tiempo de 3 minutos.

6.- El indicador 6 son las **Fuerzas Externas** que son aquellas fuerzas que se realizan desde el exterior de la estructura sobre sobre el mismo sistema o la misma estructura que nosotros analizaremos promoviendo de esta manera el movimiento relativo. Como ejemplo para nuestra investigación podemos mencionar el peso de nuestra estructura en si como una fuerza externa, así como también la carga sísmica aplicada a la

estructura, los efectos de estas fuerzas incluyen desde la deflexión de la estructura hasta el asentamiento y vuelco de la misma.

7.- La magnitud de un terremoto no mide los movimientos en el suelo, sino los efectos que tienen en la superficie al causar daños a personas y estructuras. Inicialmente, el intento de determinar la magnitud del terremoto se basó necesariamente en las observaciones de los efectos del terremoto. La primera escala de magnitud se desarrolló en 1883 y los efectos de los terremotos se agruparon en 10 grados. En 1902 Mercalli introduce una nueva escala de 10 grados, que posteriormente fue aumentada a 12 por Cancani. En 1923, Sieberg publicó una escala más detallada, pero basada en el trabajo de Mercalli Cancani. En 1931, Wood y Newmann proponen una nueva escala, que modifica e intensifica la escala Mercalli Cancani, creando así la escala Mercalli Modificada (MM). Esta escala de 12 grados, expresada en números romanos, ha sido ampliamente utilizada en todo el mundo. Sin embargo, actualmente se utiliza la escala desarrollada por tres sismólogos europeos: Medvedev, Spongever y Karnik. Esta escala consta de 12 grados, denotados del I al XII, la misma escala que Ocola (1979) adaptó para su uso en terremotos en Perú.

La intensidad es un parámetro muy importante para el estudio de los terremotos históricos, es decir, los terremotos que ocurrieron durante un período sin sismómetros. Los diferentes tipos de registros a lo largo del tiempo brindan información muy valiosa sobre los efectos de los terremotos históricos y, después de un análisis significativo, se puede estimar el tamaño de las áreas afectadas por terremotos, proporcionando así una herramienta útil para la medición de sismómetros. terremotos históricos.

## **VI. CONCLUSIONES**

Conclusión 1.- En la presente investigación hemos logrado recopilar para su posterior análisis los resultados gráficos en tiempo real de la respuesta dinámica de la estructura de madera balsa a pequeña escala los cuales vienen a ser los desplazamientos de los 4 niveles obtenidos mediante el movimiento vibratorio de la mini mesa vibradora, con la implementación de sensores para el análisis dinámico mostrándonos que para los primeros niveles los valores son bajos elevándose los valores de desplazamiento conforme se va subiendo de piso.

Conclusión 2.- Se desarrolló y se incorporó oscilaciones sísmicas del registro del sismo de Yungay del 31 de mayo de 1970 a un modelo estructural modelado en el software Sap2000, del cual se obtuvo sus correspondientes valores de desplazamientos en cada nivel de la estructura los cuales serán recopilados para ser analizados y comparados con los valores obtenidos experimentalmente.

Conclusión 3.- Se desarrolló una comparación de los desplazamientos experimentales y teóricos. Los valores obtenidos en ambos casos se mantuvieron con una diferencia significativa menor al 5%, esto se puede ver reflejado en los gráficos propios de los datos obtenidos. Por lo que se puede afirmar que los valores de desplazamiento entre un modelo teórico y un modelo real en sus diferentes pisos o niveles no son iguales.

Conclusión 4.- La reproducción del comportamiento dinámico teórico y experimental tiene principal protagonismo durante el desarrollo del trabajo de tesis, así como la realización de un análisis estadístico para comparar las diferencias en los resultados de desplazamiento.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Recomendación 1: Se recomienda mejorar el sistema electrónico de la mesa vibratoria adicionándole un sistema de frenado automático, si el registro supera el valor del desplazamiento lineal del equipo. Finalmente, para la parte de programación se recomienda mejorar el sistema de adquisición de datos, aumentando funciones e incorporándole una interface gráfica que permita su mejor facilidad de uso. Recomendaría implementar una interfaz que facilite la recopilación rápida de datos al comienzo del movimiento de los motores responsables del movimiento sísmico simulado, por lo tanto, no dependería de la capacidad del ejecutante y la velocidad de sus reflejos para captar los datos.

Recomendación 2: Recomiendo modelar diferentes tipos de estructuras en el software SAP2000 para poder evaluar las similitudes entre las oscilaciones incorporadas. Así de esta manera podremos incentivar en los estudiantes, el estudio sobre los sismos y el comportamiento dinámico.

Recomendación 3: Se recomienda realizar mayor cantidad de pruebas con diferentes tipos de estructuras experimentales que presenten propiedades mecánicas escasamente variables, debido a que la madera balsa no presenta de manera física las propiedades teóricas que se le atribuyen. De esta manera podremos obtener resultados teóricos y experimentales cada vez más similares entre ellos, evitando el agente anisotrópico que presenta la madera balsa y las demás fallas que estuvieran presentes.

## REFERENCIAS

- 1.-ÁLVAREZ REYES, Juan. 2008. Diseño, Construcción, Instalación E Implementación De Mesa Vibratoria Para La Generación De Sismos En Estructuras a Escala. Mexico : Tecnológico de Monterrey, 2008.
- 2.-AYLLÓN LÓPEZ, Diana Luz. 2017. Implementación de Mesa Vibradora Unidireccional para Simulación Sísmica y Experimentación con Modelos Reducidos. Tacna : Universidad Privada de Tacna, 2017.
- 3.-BARNES , Jordan. 2012. Seismic Modeling with an Earthquake Shake Table. Oregon : Linfield College, 2012.
- 4.-BERNAL, Mauricio, APONTE, Jorge y CARRILLO, Julián. 2015. Sistemas de control para mesas vibratorias: una revisión crítica. Colombia : Universidad Militar Nueva Granada, 2015.
- 5.-CÁRDENAS, Carlos, SANDOVAL, Camilo y GÓMEZ, Jairo. 2020. Implementación De Una Mesa Vibratoria Triaxial Neumática Para El Análisis De Estructuras Y El Movimiento Sísmico. Colombia : Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 2020.
- 6.-CARRILLO, Julian, BERNAL, Nestor y PORRAS, Pahola. 2013. Evaluación Del Diseño De Una Pequeña Mesa Vibratoria Para Ensayos En Ingeniería Sismo-Resistente. Bogota : Universidad Militar Nueva Granada, 2013.
- 7.-CORONADO MURCIA, Guillermo. 2018. Implementacion de una mesa vibratoria para simulacion del comportamiento sismico de estructuras en proyectos de investigacion y la formacion SENA. Colombia : Centro de Tegnologias para la Construccion y la madera - SENA DC, 2018.

- 8.-GOMEZ PACHON, Cristian David, LEGUIZAMON VERA, Cesar Augusto y MAHECHA ARIAS, Daniela. 2018. Diseño y Fabricacion de Mesa Vibratoria para Analisis De Sismos. Villavicencio : Universidad Cooperativa de Colombia, 2018.
- 9.-ILLIDGE COHEN, Yosenith Tatiana. 2019. Análisis Sistemático de Literatura Acerca de la Evaluación Del Comportamiento Dinámico de Estructuras Mediante la Experimentación en Mesas Vibratorias de Modelos a Escala Reducida. Santa Marta : Universidad Cooperativa De Colombia, 2019.
- 10.-LEIVA CASTRO, Juan Enrique. 2007. Diseño y Fabricacion de mesa vibratoria Uni Direccional con un Actuador Hidraulico. Santiago de Chile : Universidad de Chile, 2007.
- 11.-LI, Shujin, WU, Cai y KONG, Fan. 2019. Shaking Table Model Test and Seismic Performance Analysis of a High-Rise RC Shear Wall Structure. China : Wuhan University of Technology, 2019.
- 12.-MOJIRI, Saeid. 2013. Shake Table Seismic Performance Assessment And Fragility Analysis Of Lightly Reinfoced Concrte Block Shear Walls. Canada : McMaster University, 2013.
- 13.-ORDOÑEZ FLORES, Marco Antonio. 2016. Diseño y Evaluación De Tipos De Muros De Albañilería Sometidos A La Simulación Del Máximo Sismo Ocurrido En La Región Sur En Una Mesa Vibratoria. Puno : Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez, 2016.
- 14.-PERALTA ABADÍA, Patricia y CASTILLO BARAHONA, Rolando. 2013. Mesa vibratoria portátil para simular el efecto de sismos sobre estructuras de puentes y edificaciones. Costa Rica : Lanamme Universidad de Costa Rica, 2013.
- 15.-QUISPE CONDORI, Arturo Waldemar. 2018. Réplica de Movimiento Sísmico Para Determinar Aceleraciones, Velocidades Y Desplazamientos En Una Estructura

Experimental con el Uso de Una Mesa Vibratoria, Puno 2018. Puno : Universidad Nacional del Altiplano Puno, 2018.

16.-ROMERO NÚÑEZ, Kleber Enrique. 2016. Implementación de una Mesa Vibratoria para el Análisis Dinámico De Estructuras Civiles A Escala En Los Laboratorios De La Facultad De Ingeniería Civil De La Universidad Técnica De Ambato. Ambato : Universidad Técnica de Ambato, 2016.

17.-RUIZ, y otros. 2017. Evaluación del comportamiento sísmico de casas consistoriales de tapia pisada reforzadas con maderas de confinamiento. Bogota : Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. COLOMBIA, 2017.

18.-VALDIVIEZO NARANJO, Francisco Renán. 2019. Implementación de una Mesa Vibratoria Bidireccional Para Simulación De Sismos. Quito : Universidad UTE, 2019.

19.-VARGAS, Gustavo Adolfo, VANEGAS, José Esteban y THOMSON, Peter. 2019. Diseño Y Construcción Del Simulador Uniaxial De La Universidad Del Valle. Bolivia : Universidad Del Valle, 2019.

20.-VELASCO GONZÁLEZ, Francisco Jesús. 2018. Mesa Vibratoria Accionada Por Músculos Neumáticos Teleoperada Para Experimentación On Line. Nicaragua : Unicam: Università di Camerino, 2018.

21.-VELASCO NÚÑEZ, Eriván, y otros. 2020. Prototipo Didáctico De Una Mesa Vibradora Bidireccional Para El Estudio De Sistemasestructurales A Pequeña Escala. Chiapas : Universidad Autónoma de Chiapas, México, 2020.

22.-ESPINOZA FREIRE, Enrique., 2018. Las variables y su operacionalización en la investigación educativa. Parte I. Revista Conrado. Cuba: Universo Sur, vol.14, no.65, pp. 36-46. ISSN: 1990-8644. Pág.39

23.- RODRÍGUEZ, Omar. et al. Effect of thermally activated paper sludge on the mechanical properties. Construction materials [en línea]. 2009, Vol. 59, No. 294,pp. 41-52 [consulta: 10 Mayo 2020] ISSN: 0465-2746. DOI:10.3989/mc.2009.41007. Pág. 44

24. ARIAS GOMEZ, Jesús, VILLASIS KEEVER, Miguel y MIRANDA NOVALES, Guadalupe, 2016. El protocolo de Investigación III: La población de estudio. Revista Alergia México, Vol. 63, No. 2, pp. 201-206. ISSN: 0002-5151. Pág.202
- 25.-OMAIR, A. Sample size estimation and sampling techniques for selecting a representative sample. J Health Spec [en línea]. 2014, vol. 2, no. 4, pp. 142-147 [consulta: 20 Junio 2020]. DOI: 10.4103/1658-600X.142783. Pág.142
- 26.- TAHERDOOST, Hamed, 2016. Sampling Methods in Research Methodology;How to Choose a Sampling Technique for Research. International Journal of Academic Research in Management. Switzerland: Helvetic Editions, vol.5, no. 2,pp.18-27. ISSN: 2296-1747. Pág.46
- 27.-ZOHRABI, Mohammad, 2013. Mixed Method Research: Instruments, Validity,Reliability and Reporting Findings. Academy Publisher. Vol. 3, no. 2, pp. 254-262.ISSN: 1799-2591. Pág.254
- 28.- JOHNSON, O., NAPIAH, M y KAMARUDDIN, I. Potential uses of Waste Sludge in Construction Industry: A Review. Research Journal of Applied Sciences,Engineering and Technology [en línea]. 2014, Vol. 8, no. 4, pp. 565-570 [consulta:10 mayo 2020]. ISSN: 2040-7459
- 29.-MOJIRI, S, 2013. Shake table seismic performance assessment and fragility analysis of lightly reinforced concrete block shear walls (Tesis de Master of Applied Science), McMaster University, Canada.
- 30.-MUHLENKAMP, M,1997. Analysis, design, and construction of a shaking table facility (Tesis de Master of Science). Rice University, United States.
- 31.-ROMERO, Kent,2016. Implementación de una mesa vibratoria para el análisis dinámico de estructuras civiles a escala en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

- 32.- URIBE, Jairo. (1991) Análisis de Estructuras. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- 33.-ARUHUANCA, Cesar,2016. Análisis del Comportamiento Dinámico en Estructuras a Escala Reducida Empleando Mesa Vibratoria Diseñada y Fabricada en la UNA Puno. Universidad Nacional del Altiplano, Perú.
- 34.-BARBAT, A. & Oller, S,1998. Conceptos de cálculo de estructuras en las normativas de diseño sismorresistente. España: Editor A.H. Barbat
- 35.-BARNES, James,2012. Seismic modeling with an Earthquake Shake Table (Tesis de Bachelor of Science). Linfield College, United States.
- 36.-BROWN, Sam,2007. Seismic analysis and shake table modeling: Using a shake table for building analysis (Tesis de Master of Building Science). University of Southern California, United States.
- 37.-CARRILLO, Juan,2013 Evaluación del Diseño de una Pequeña Mesa Vibratoria para Ensayos de Ingeniería Sismo-Resistente. Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.
- 38.-CASSANO, Anderon,2009. Análisis de Estructuras Bajo Acciones Dinámicas. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional.
- 39.-GARCÍA, Luis. (1998). Dinámica Estructural Aplicada al Diseño Sísmico. Colombia: Universidad de los Andes.
- 40.-Goytia, I. & Villanueva, R. (2001). Texto Guía de Ingeniería Antisísmica. Recuperado de: <https://www.udocz.com/read/texto-guia-de-ingenieria-antisismica-por-ivan-richard-goytia-torrez>
- 41.-Lázaro, Luis. (2015). Ensayo a escala de edificio de dos alturas sometido a desplazamientos horizontales (Tesis de Máster). Escola de Camins, España.

## **ANEXOS**

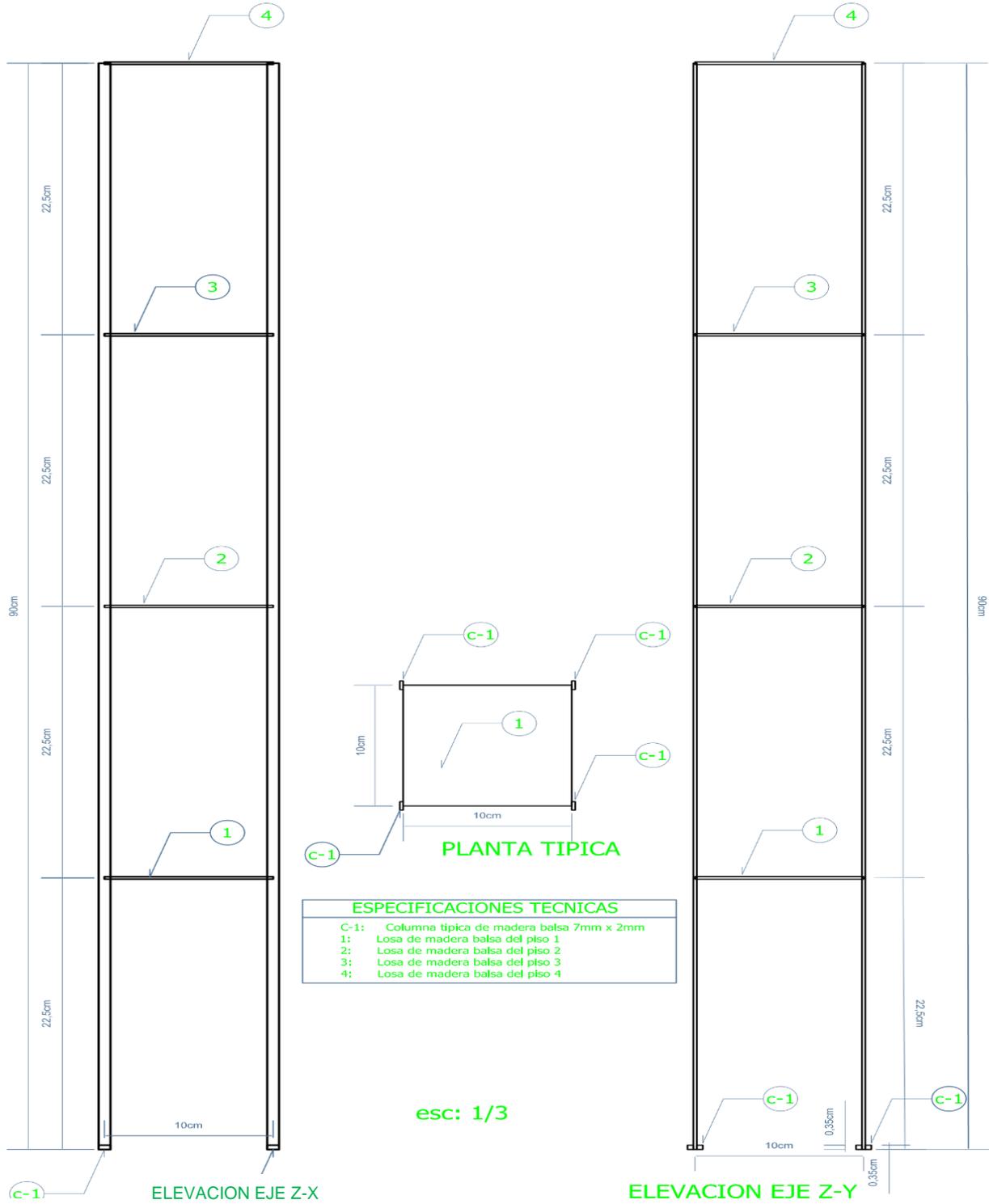
Anexo 1. Matriz de operacionalizacion de variables

<b>Título:</b> ANÁLISIS DEL EFECTO DINÁMICO DE ONDAS SÍSMICAS EN UNA ESTRUCTURA EXPERIMENTAL CON LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA UNIDIRECCIONAL, LIMA, 2022.					
<b>Autora:</b> Magna Aleksandra Huamán Cossío					
<b>VARIABLES</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>ESCALA DE MEDICIÓN</b>
<p>Mesa Vibratoria</p> <p><b>Variable Independiente</b></p>	<p>Este aparato es también llamado “simulador sísmico” y sirve para realizar ensayos experimentales para poner a prueba una estructura y evaluar posteriormente su comportamiento dinámico estructural. [4]</p>	<p>Para medir los desplazamientos utilizaremos un lenguaje de programación en Arduino el cual leerá los datos a través de acelerómetros colocados en cada nivel de la estructura</p>	<p>Sistema Vibratorio</p>	<p>Movimiento unidireccional</p>	<p>Razón</p>
<p>Modelo Estructural diseñado en el software y a Escala Reducida</p> <p><b>Variable Dependiente</b></p>	<p>El concepto de modelo estructural teórico es una estructura igual en dimensiones y propiedades mecánicas que el modelo experimental, pero a diferencia del antes mencionado, este es un modelo teórico que es ensayado mediante su simulación en un software de cálculo estructural. [4]</p>	<p>La variable se medirá a través del uso de Pc y/o laptop en donde se utilizará un software estructural específico para poder registrar los datos a estudio.</p>	<p>Facilidad de Realizar una simulación</p> <p>Columnas</p>	<p>Automatizado</p> <p>Desplazamientos</p>	<p>Razón</p> <p>Razón</p>

Anexo 2: Matriz de consistencia

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	METODOLOGIA
<p><b>PREGUNTA GENERAL</b></p> <p>¿El efecto dinámico de los sismos en un modelo estructural a escala reducida puede ser analizado y evaluado mediante la utilización de una mesa vibratoria?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Analizar y evaluar el efecto dinámico de los sismos en un modelo estructural a escala reducida mediante la utilización de una mesa vibratoria unidireccional.</p>	<p><b>HIPOTESIS GENERAL</b></p> <p>El efecto dinámico en un modelo estructural a escala reducida es analizado y evaluado utilizando una mesa vibratoria unidireccional.</p>	<p><b>INDEPENDIENTE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesa Vibratoria Unidireccional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema Vibratorio</li> <li>• Facilidad de Realizar una simulación</li> </ul>	<p>Movimiento unidireccional</p> <p>Automatizado</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plataforma de la mesa vibratoria</li> <li>• Acoples metálicos</li> <li>• Motores</li> <li>• Acelerómetros</li> <li>• Software de programación</li> </ul>	<p><b>NIVEL</b></p> <p>El nivel de la investigación será del tipo explicativo porque existe la relación Causa y Efecto</p>
<p><b>PREGUNTAS ESPECIFICOS</b></p> <p>1.- ¿Cómo se desarrolla y visualiza en un ordenador la simulación sísmica a un modelo estructural a escala reducida?</p> <p>2.- ¿Cómo se simula en un modelo teórico el comportamiento dinámico experimental obtenido con la mesa vibratoria?</p> <p>3.- ¿El comportamiento dinámico experimental y el comportamiento dinámico teórico guarda relación?</p>	<p><b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b></p> <p>1.- Desarrollar una simulación sísmica a un modelo estructural a escala reducida y visualizar sus desplazamientos en un ordenador</p> <p>2.- Simular en un modelo teórico el comportamiento dinámico experimental obtenido con la mesa vibratoria</p> <p>3.- Comparar y evaluar el comportamiento dinámico experimental y el comportamiento dinámico teórico</p>	<p><b>HIPOTESIS ESPECIFICOS</b></p> <p>1.- La simulación sísmica a un modelo estructural a escala reducida y la visualización de sus desplazamientos se logra mediante la utilización de la mesa vibratoria y el software Matlab</p> <p>2.- El Comportamiento Dinámico Experimental obtenido con la mesa vibratoria se simula en un modelo teórico a través del software SAP 2000.</p> <p>3.- El comportamiento dinámico experimental y el comportamiento dinámico teórico es estadísticamente igual</p>	<p><b>DEPENDIENTE</b></p> <p>Modelo Estructural diseñado en el software y a Escala Reducida</p>	<p>Columnas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desplazamientos</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Software estructural</li> <li>• Madera Balsa</li> </ul>

### Anexo 3: Mapas y planos



## Anexo 4. Pantallazo del turnitin

**Resumen de coincidencias** X

**25 %**

< >

1	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	3 % >
2	www.scribd.com Fuente de Internet	2 % >
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2 % >
4	library.co Fuente de Internet	1 % >
5	docplayer.es Fuente de Internet	1 % >
6	repositorio.unesum.ed... Fuente de Internet	1 % >
7	digitalcommons.linfield... Fuente de Internet	1 % >

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL**

Análisis del Efecto Dinámico de Ondas Sísmicas en una Estructura  
Experimental con la Implementación de una Mesa Vibratoria  
Unidireccional, Lima, 2022.

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL

**AUTORA:**  
Huamán Cossío, Magna Aleksandra (<https://orcid.org/0000-0002-1167-8621>)

**ASESOR:**  
Mg. Arévalo Vidal, Samir Augusto (<https://orcid.org/0000-0002-6559-0334>)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**  
Diseño Sísmico y Estructural

## Anexo 4. Programación en Arduino

```
// Emular sismo 31 mayo 1970 codigo 7038
int RPWM = 5;
int LPWM = 6;
// Declarar pines utilizados en arduino mega
void setup() {
  // pines de salida
  pinMode(RPWM, OUTPUT);
  pinMode(LPWM, OUTPUT);

  analogWrite(RPWM,0);
  analogWrite(LPWM,0);
  delay(2000);
  // Espera de inicio
  analogWrite(RPWM,0); analogWrite(LPWM,14); delay(20);
  analogWrite(RPWM,13); analogWrite(LPWM,0); delay(20);
  analogWrite(RPWM,2); analogWrite(LPWM,0); delay(20);
  analogWrite(RPWM,0); analogWrite(LPWM,8); delay(20);
  analogWrite(RPWM,0); analogWrite(LPWM,4); delay(20);
  analogWrite(RPWM,0); analogWrite(LPWM,11); delay(20);
  analogWrite(RPWM,1); analogWrite(LPWM,0); delay(20);
  analogWrite(RPWM,3); analogWrite(LPWM,0); delay(20);
  analogWrite(RPWM,0); analogWrite(LPWM,11); delay(20);
  analogWrite(RPWM,0); analogWrite(LPWM,2); delay(20);
  analogWrite(RPWM,13); analogWrite(LPWM,0); delay(20);
  analogWrite(RPWM,10); analogWrite(LPWM,0); delay(20);
  analogWrite(RPWM,3); analogWrite(LPWM,0); delay(20);
  analogWrite(RPWM,7); analogWrite(LPWM,0); delay(20);
```

```
analogWrite(RPWM,14); analogWrite(LPWM,0); delay(20);
analogWrite(RPWM,26); analogWrite(LPWM,0); delay(20);
analogWrite(RPWM,32); analogWrite(LPWM,0); delay(20);
analogWrite(RPWM,20); analogWrite(LPWM,0); delay(20);
analogWrite(RPWM,21); analogWrite(LPWM,0); delay(20);
analogWrite(RPWM,24); analogWrite(LPWM,0); delay(20);
analogWrite(RPWM,10); analogWrite(LPWM,0); delay(20);
analogWrite(RPWM,0); analogWrite(LPWM,1); delay(20);
analogWrite(RPWM,0); analogWrite(LPWM,17); delay(20);
```

2234 líneas de programación restantes

```
analogWrite(RPWM,6); analogWrite(LPWM,0); delay(20);
//fin del movimiento
analogWrite(RPWM,0);
analogWrite(LPWM,0);
delay(2000);
}
void loop() {
  // esta fue la secuencia repetitiva
}
```

# Anexo 4. Diagrama del procedimiento completo

