

**DISEÑO Y FABRICACION DE MESA VIBRATORIA PARA ANALISIS DE SISMOS
CON FINES ACADEMICOS.**

AUXILIAR DE PROYECTO DE INVESTIGACION

**CRISTIAN DAVID GOMEZ PACHON
CESAR AUGUSTO LEGUIZAMON VERA
DANIELA MAHECHA ARIAS**

**UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
VILLAVICENCIO
2018**

**DISEÑO Y FABRICACION DE MESA VIBRATORIA PARA ANALISIS DE SISMOS
CON FINES ACADEMICOS.**

**CRISTIAN DAVID GOMEZ PACHON
CESAR AUGUSTO LEGUIZAMON VERA
DANIELA MAHECHA ARIAS**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Asesor
SAULO ANDRES OLARTE BURITICA
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
VILLAVICENCIO
2018**

CONTENIDO

Pág.

Tabla de contenido

1. DESCRIPCION DEL PROYECTO	11
1.1 Identificación del problema	11
1.2 Justificación del problema.....	11
1.3 Objetivos.....	12
1.3.1 Objetivo General	12
1.3.1 Objetivos Específicos.....	12
1.4 Justificación de la solución	13
2. MARCO TEORICO DE LA MESA VIBRATORIA	14
3. ANTECEDENTES.....	15
4. MESA VIBRATORIA	16
5. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA MESA VIBRATORIA	17
5.1 Selección de materiales	18
5.2 Componentes mesa Vibratoria	24
6. ANALIS DE COSTOS	28
7. RESULTADOS.....	29
8. SISTEMA DE DISEÑO DE LA MESA VIBRATORIA.....	44
9. CONCLUSIONES.....	43
10. RECOMENDACIONES.....	50
11. BIBLIOGRAFIA.....	51

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1. Esquema mesa vibratoria Fuente AutoresdelProyecto</i>	16
<i>Figura 2. Mesa vibratoria Fuente AutoresdelProyecto</i>	24
<i>Figura 3. Agitador Orbital (Frente). Fuente AutoresdelProyecto</i>	25
<i>Figura 4. Plataforma acrílica. Fuente AutoresdelProyecto</i>	26
<i>Figura 5. Modelo en SAP-estructura. Fuente AutoresdelProyecto</i>	29
<i>Figura 6. Gráfica espectro de diseño. Fuente AutoresdelProyecto</i>	35
<i>Figura 7. Modelo en SAP-estructura. Fuente AutoresdelProyecto</i>	37
<i>Figura 8. Modelo en SAP-estructura. Fuente AutoresdelProyecto</i>	38
<i>Figura 9. Modelo en SAP-estructura. Fuente AutoresdelProyecto</i>	38
<i>Figura 10. Modelo en SAP-estructura. Fuente AutoresdelProyecto</i>	39
<i>Figura 11. Modelo en SAP-estructura. Fuente AutoresdelProyecto</i>	39
<i>Figura 12. Modelo en SAP-estructura. Fuente AutoresdelProyecto</i>	40
<i>Figura 13. Modelo en SAP-estructura. Fuente AutoresdelProyecto</i>	40
<i>Figura 14. Modelo en SAP-estructura. Fuente AutoresdelProyecto</i>	41
<i>Figura 15. Modelo en SAP-estructura. Fuente AutoresdelProyecto</i>	41
<i>Figura 16. Modelo en SAP-estructura. Fuente AutoresdelProyecto</i>	42
<i>Figura 17. Modelo en SAP-estructura. Fuente AutoresdelProyecto</i>	42
<i>Figura 18. Sistema de funcionamiento. Fuente AutoresdelProyecto</i>	45
<i>Figura 19. Sistema de control. Fuente AutoresdelProyecto</i>	45
<i>Figura 20. Sistema actuador. Fuente AutoresdelProyecto</i>	46
<i>Figura 21. Sistema de sensores. Fuente AutoresdelProyecto</i>	47

LISTA DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1. Análisis de costos</i>	28
<i>Tabla 2. Componentes de cargas muertas</i>	29
<i>Tabla 3. Componentes de cargas vivas.</i>	30
<i>Tabla 4. Componentes de cargas muertas.....</i>	31
<i>Tabla 5. Componentes de cargas vivas</i>	31
<i>Tabla 6. Inercias.....</i>	35
<i>Tabla 7. Elasticidad</i>	36
<i>Tabla 8. Rigidez</i>	36
<i>Tabla 9. Empotramiento</i>	36
<i>Tabla 10. Coeficientes de distribución.....</i>	36

LISTA DE FOTOS

	Pág.
ANEXO A. ACRILICO	18
ANEXO B. PALOS DE BALSO	18
ANEXO C. FLEXOMETRO.	19
ANEXO D.BASE DE MADERA	19
ANEXO E. RODAMIENTOS LINEALES	20
ANEXO F. ARDUINO	20
ANEXO G. TORNILLOS.	21
ANEXO H.ARANDELAS	21
ANEXO I. TUERCAS	22
ANEXO J. SEGUETA	22
ANEXO K. SENSORES DE DISTANCIA.	23
ANEXO L.CABLE USB TIPO B	23

RESUMEN

Las consecuencias catastróficas de los sismos ocasionan daños leves o severos en las estructuras que debido a los movimientos y fuerzas generadas producen fallas como también la pérdida de vidas humanas. Debido a sus consecuencias, se ha incentivado la realización de estudios experimentales para mitigar los efectos de los sismos sobre las estructuras. En el proyecto, se presenta la evaluación de los diseños mecánico, estructural, de control y de adquisición de datos, de una mesa vibratoria para ensayos de estructuras a escala reducida. Inicialmente, se eligieron los elementos mecánicos que permiten el movimiento de la mesa. Luego, se validó el desempeño del sistema a partir de herramientas de simulación. La mesa vibratoria propuesta es una herramienta versátil y económica para realizar pruebas experimentales orientadas al análisis y diseño de estructuras que son afectadas por eventos sísmicos. La mesa vibratoria propuesta promoverá la investigación no sólo en nuevos materiales, sino en diseño y rehabilitación de viviendas, edificios y puentes sismo-resistentes.

En la mesa vibratoria realizada se permite simular mediante una plataforma, el movimiento que generalmente se produce cuando se presenta un sismo. En otras palabras, es una mesa que está movida por un actuador eléctrico, que se conecta al software mediante el uso de un arduino, que realiza movimientos similares a un sismo que actúan en la edificación en palos de balsa a escala puesta en la mesa vibratoria. Mediante el programa PROCESSING donde arroja los datos de aceleración en los ejes X, Y, Z y diagramas.

PALABRAS CLAVE:

Modelamiento, Mesa sísmica, Arduino, Simulación, Sistema dinámico, Registro sísmico, PROCESSING.

ABSTRACT

The catastrophic consequences of earthquakes cause slight or severe damage to the structures that, due to the movements and forces generated, cause failures as well as the loss of human lives. Due to its consequences, experimental studies have been encouraged to mitigate the effects of earthquakes on structures. In the project, we present the evaluation of the mechanical, structural, control and data acquisition designs of a vibrating table for testing structures on a reduced scale. Initially, the mechanical elements that allow the movement of the table were chosen. Then, the performance of the system was validated using simulation tools. The vibrating table is a versatile and economical tool to perform experimental tests oriented to the analysis and design of structures that are affected by seismic events. The proposed vibratory table will promote research not only in new materials, but in the design and rehabilitation of earthquake-resistant homes, buildings and bridges.

At the table, the vibration can be simulated by means of a platform, the movement that usually occurs when an earthquake occurs. In other words, it is a table that is moved by an electric actuator, which is connected to the software through the use of a device, which performs movements similar to an earthquake that acts on the edification on the edges of a ladder on the vibrating table. By means of the PROCESSING program where the acceleration data is thrown on the X, Y, Z axes and diagrams

KEYWORDS:

Modeling, shaking table, arduino, simulation, dynamic system, seismic register, PROCESSING.

INTRODUCCION

Existe una vulnerabilidad en las estructuras por daños ocasionados durante y después de un evento adverso como lo son los sismos siendo vulnerable la estructura ocasionando en ella efectos múltiples desde pequeñas fallas hasta grandes daños como lo puede llegar a ser el colapso de la estructura que depende de la fuerza del fenómeno natural.

Cuando ocurre un evento sismológico, se observan fallas debido a los movimientos y fuerzas que actúan sobre la estructura y que pueden producir leves o graves daños dependiendo de cómo se realice el proceso constructivo entre los cuales se encuentran las fallas por insuficiencia en la resistencia de los elementos como lo son muros y columnas, fallas por fragilidad de cortante, fallas por fragilidad en muros de cortante, fallas por punzonamiento de la losa, falla por variaciones en la rigidez del alto de la estructura, falla por insuficiente espacio entre edificios adyacentes (golpeteo) y tensión diagonal en columnas o vigas y fallas de cortante por desplazamiento causado por elementos no estructurales.

En la actualidad, los sismos no son predecibles es decir, no puede determinarse el día en que va a ocurrir un evento como éste, por ello, se debe hacer enfoque en la construcción de edificaciones sismo-resistentes que en el momento de un movimiento telúrico resiste a las fuerzas que actúan en la estructura. En el proyecto presentado se dispone a diseñar una mesa vibratoria que permitirá estudiar los efectos de un sismo en una estructura a escala de acuerdo al periodo del sismo, aceleración, velocidad y tiempo.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En Villavicencio, en el año 1997, la ciudad se había catalogado en una zona de amenaza sísmica alta determinado mediante un estudio realizado por la Asociación de Ingeniería. En la actualidad, Villavicencio aún sigue siendo considerada zona de amenaza sísmica alta debido a que la población se encuentra asentada en la cordillera oriental y por la naturaleza del suelo que son sedimentarios es decir muy porosos y permeables; también por las fallas geológicas identificadas como lo son las de Servitá ubicada a 4 Km al occidente de Villavicencio, Guaicaramo y Algeciras -Uribe, por ende, tiene constantes amenazas de sufrir sismos y terremotos.

Determinando los factores que pongan a la ciudad de Villavicencio propensa a eventos telúricos se analiza que no cuenta en su mayoría con edificaciones sismo-resistentes lo cual crea la necesidad de realizar un estudio responsable que nos muestre diferentes opciones para que las construcciones tengan toda la seguridad sísmica adecuada, debido a las circunstancias que la hacen vulnerable a los movimientos telúricos iguales o superiores a 6.5 grados.

Así mismo, se hace evidente la necesidad de la creación de herramientas que de alguna manera u otra dé a conocer el comportamiento que puede tener la estructura al estar expuesta a un movimiento telúrico evidenciando en donde está la falla por el diseño deficiente que puede ser causado por la incorrecta aplicación de las técnicas constructivas y la calidad de los materiales dando a conocer los efectos causados en la estructuras para así dar soluciones ingenieriles para el arreglo de la estructura.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Uno de los problemas más comunes dentro de la Ingeniería Civil son las fallas producidas por movimientos dinámicos presentes en los diferentes tipos de estructuras. Por ello, surge la necesidad de fabricar un equipo que nos arroje datos reales para su análisis e identificar las estructuras. El propósito es la creación de un equipo que sirva de apoyo para las líneas de investigación teórico-experimental y analizar las estructuras, su diseño y el comportamiento frente a un sismo; como también realizar un estudio no solo teórico en las aulas de clase sino que también sea más didáctico.

Como estudiantes de la Universidad Cooperativa de Colombia vemos 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.

Generado el movimiento en la estructura se tendrá la posibilidad de registrar datos y realizar el análisis dinámico de la estructura.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1 Objetivos Generales

- ✓ Diseñar una mesa vibratoria con fines académicos que mediante un sistema mecatrónico y con apoyo de un sistema informático arroje los registros que recaen sobre la estructura que se observan al momento de un sismo.

1.3.2 Objetivos Específicos

En base al diseño y fabricación de la mesa vibratoria, los objetivos específicos a desarrollar son:

- ✓ Diseñar un modelo de mesa vibratoria que permita simular a escala los movimientos de un sismo.
- ✓ Construir una mesa vibratoria con la cual se pueda simular los movimientos lineales de un sismo.
- ✓ Diseñar un software que arroje resultados a escala en base a los datos dados de sismos reales ocurridos y mostrar las reacciones de estos a medida de 100 veces por segundo.
- ✓ Construir la estructura que servirá como modelo para poner en la plataforma y que mediante un acelerómetro se revisará las fuerzas que actuarán en ella y se realizará el análisis respectivo.
- ✓ Modelar en el programa PROCESSING los datos dados.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

El proyecto de grado que se realizó perteneciente a la Universidad Cooperativa de Colombia Sede Villavicencio, se enfatiza en diseñar y fabricar una mesa vibratoria con fines académicos dirigido a los estudiantes de Ingeniería Civil enfatizada en el área estructural que sirva como apoyo práctico de la teoría aprendida en clase que mediante una simulación sísmica enseña los efectos causados por las fuerzas que recaen en las estructuras por el programa PROCESSING tomando como datos la aceleración, tiempo y velocidad influyentes que actúan sobre una estructura determinada a escala.

Las mesas vibratorias son equipos funcionales que sirven también para ampliar el conocimiento de los elementos que en conjunto componen una estructura y son de gran ayuda para determinar el desempeño adecuado de los mismos, esto con el fin de identificar la falla y así mismo analizar los efectos negativos que causen el agrietamiento de la estructura y en dado caso el desplome de la misma buscando soluciones para el amortiguamiento del daño y también para desarrollar técnicas de construcción que a partir de los ensayos experimentales con la mesa vibratoria arroje resultados representativos y así mismo aportar en la optimización de la inversión en la construcción de estructuras y que prevalezca la protección de la vida.

2. MARCO TEORICO MESA VIBRATORIA

A lo largo de la construcción de edificaciones, el Ingeniero Civil puede enfrentarse a diversos y muy significativos problemas ya sea por el terreno en el que se está construyendo o por efectos externos, como puede ser a causa de los movimientos de sismos rompiendo por cortante y en casos extremos el desplome de las estructuras, éste último causando daños irreparables y generando pérdidas de vidas humanas.

Por ende, para dar a conocer la afectación que tiene una estructura al ser perjudicada por un sismo, por medio de una mesa vibratoria se realizará la simulación con un modelo de estructura a escala donde enseñará todos los movimientos en tiempo real realizando el análisis de los efectos que recaen sobre la estructura que mediante un modelo representado en un software PROCESSING arroja datos de la velocidad del sismo con la que impacta en la estructura, el periodo de vibración y la amplitud.

Las mesas vibratorias permiten realizar estudios en base a los movimientos telúricos causados en una estructura y su construcción es de bajo costo y de igual manera SU mantenimiento, siendo una gran herramienta de aprendizaje práctico e investigación en la dinámica estructural.

3. ANTECEDENTES

La historia de las mesas vibratorias se remonta en el siglo XIX en Japón y tenían por objetivo ser una herramienta experimental para brindar soporte en el estudio teórico del comportamiento de una estructura bajo efectos sísmicos. Estas mesas manualmente, que mediante una rueda de manivela y una plataforma móvil que estaba sobre rieles paralelos generaban un movimiento armónico en una dirección. En el año 1906 la Universidad de Standford realizó la construcción de una mesa vibratoria con un movimiento en una sola dirección realizado con un motor eléctrico; esta innovación del motor eléctrico podría llevar al modelo de estructura puesto hasta su destrucción.

En el año 1930 Jacobsen crea una mesa vibratoria produciendo vibraciones generado por un péndulo golpeando la plataforma contra un resorte. Con estas mesas vibratorias realizadas con modelos a escala reducida, se pudo realizar avances numerosos para estructuras sismo-resistentes. Este último diseño de mesa vibratoria permitió la generación de movimientos aleatorios mediante frecuencias altas dependiendo del modelo, fuerza de impacto y del resorte.

En el año 1936 Arthur Claude Ruge crea un modelo de mesa vibratoria que contenía un actuador lleno de aceite que generaba movimiento de la plataforma móvil usando un controlador que retroalimentaba el error buscando representar un sismo real. En los años siguientes, se hicieron mejoras en la precisión del movimiento, capacidad de carga y aceleraciones, soportando un peso de 10000 KN para la década del 80.

En esa misma década, las mesas vibratorias se consolidaron una herramienta importante para el estudio de comportamientos del sismo en una estructura siendo satisfactorias su precisión y capacidad de carga. En la actualidad, el propósito de la creación de mesas vibratorias es lograr simular sismos en más de un grado de libertad con las capacidades logradas para las de un grado de libertad.

4. MESA VIBRATORIA

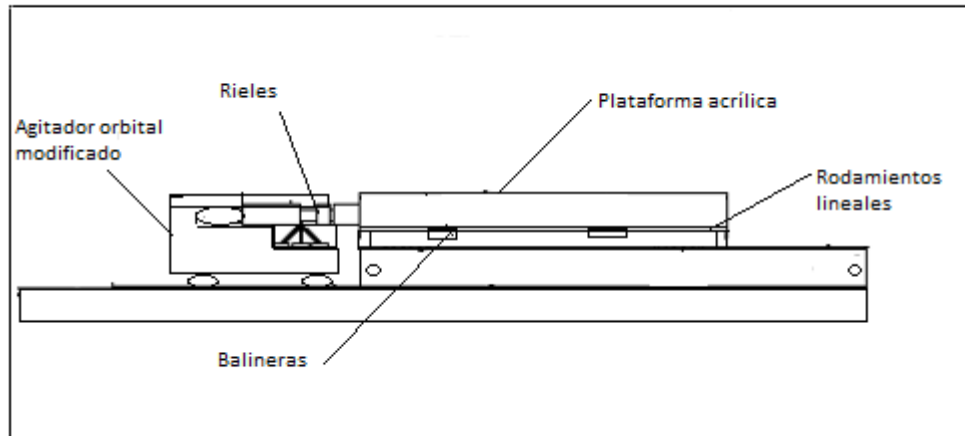


Figura 1. ESQUEMA MESA VIBRATORIA. Fuente Autores del proyecto

Una mesa vibratoria es una plataforma móvil que simula los movimientos de un sismo en una estructura en una sola dirección, usando un sistema de rieles, sistema computacional avanzado.

El esquema de la mesa vibratoria mostrada en la figura 1 está compuesta por una plataforma en material acrílico de 41,5x50,4 cm y está soportada en una base de madera que por medio de un sistema de rieles incluidas las balineras que permite el movimiento en una dirección la cual por medio de un arduino mega 2560 y un acelerómetro mma8456 que será ubicado en la estructura a escala hecha con palos de balsa lograrán reproducir un movimiento sísmico produciendo un desplazamiento y mediante el acelerómetro mm8456 transmite la información al software PROCESSING arrojando los datos de aceleración en cada eje y frecuencia, tiempo y periodo de la simulación del sismo.

5. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA MESA VIBRATORIA

La elaboración de la mesa vibratoria tiene como objetivo el estudio de las causas de un sismo que recaen sobre una estructura, aportando un material de bajo costo para la complementación de la teoría vista en clase de estructural y afines. Se tomó la determinación de que la mesa vibratoria tendría un sistema que nos permitiera introducir datos y plasmarlos en la estructura. Esto se pudo lograr con un arduino controlado con un software llamado PROCESSING a partir de un PC que mediante un cable USB tipo B puesto en el arduino y en la estructura plasma en ella los datos puestos directamente desde el PC para la simulación de un sismo a escala.

Por otro lado, para el rodamiento se utilizó una plataforma en acrílico transparente que simularía ser el suelo que con gran rapidez y baja fricción anclada a unos rodamientos lineales permitiendo el movimiento y dando los resultados esperados, moviéndose mediante un eje lineal y estos ajustados a un subsuelo o base primaria en madera. Se creó una estructura en palos de balsa a escala de un edificio de 9 pisos, a una escala de 1m – 1 m, empotrando la estructura a la base superior para aplicarle los movimientos estipulados en el sistema asimilándolo a un sismo, mostrando el alcance de destrucción o deformación que se ejercerá y también la capacidad de soportes y mostrar los resultados dependiendo del diseño, elaboración y materiales.

5.1 SELECCIÓN DE LOS MATERIALES

Los materiales utilizados para la fabricación de la mesa vibratoria son:

Acrílico



Imagen tomada de: Fuente Autores del Proyecto

Palos de balsa



Imagen tomada de: Fuente Autores del Proyecto

Flexómetro



Imagen tomada de: Fuente Autores del Proyecto

Base de madera

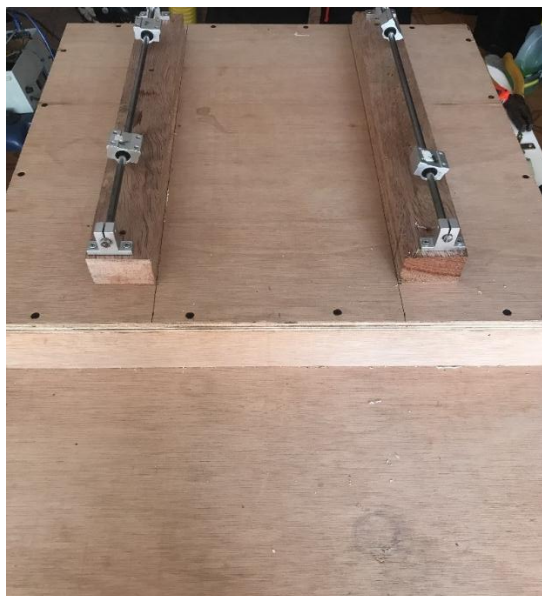


Imagen tomada de: Fuente Autores del Proyecto

Rodamientos lineales



Imagen tomada de: Fuente Autores del Proyecto

Arduino



Imagen tomada de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Arduino>

Tornillos



Imagen tomada de: <http://www.gestiondecompras.com/es/productos/componentes-mecanicos-y-de-ferreteria/tornillos-y-pernos>

Arandelas



Imagen tomada de: <http://losabalorios.com/blog/2014/04/bisuteria-con-arandelas/>

Tuercas



Imagen tomada de: <http://cochabamba.all.biz/tuercas-g12908#.WSY02-t97IU>

Segueta



Imagen tomada de: http://www.dis.uia.mx/taller_industrial/blog/?grid_products=segueta

Sensores de distancia



Imagen tomada de: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/sensor-hc-sr04/>

Cable USB tipo B



Imagen tomada de https://www.google.com.co/search?rlz=1C1AVFC_enCO769CO

5.2 COMPONENTES MESA VIBRATORIA

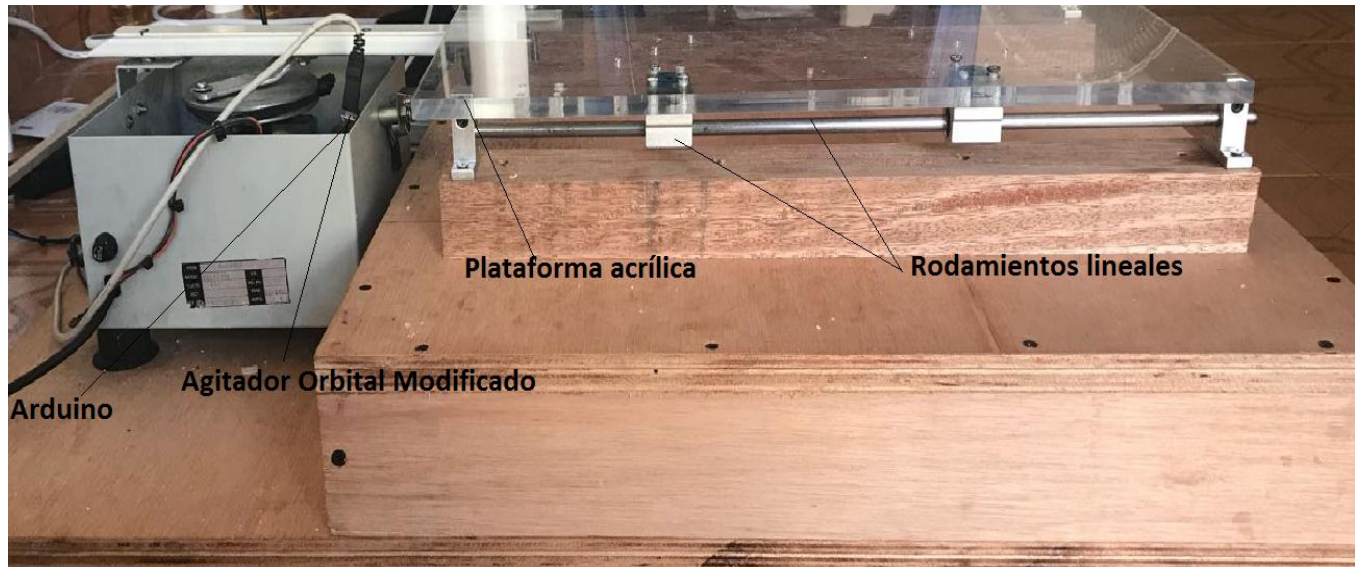


Figura 2. Mesa vibratoria. Fuente Autores del Proyecto

En la figura 2 se observa el prototipo de mesa vibratoria localizado en una base de madera, que por dureza hace que sea más resistente a los sistemas vibratorios ocasionados por el movimiento telúrico por los datos dados en el software dando así estabilidad y firmeza.

En la parte izquierda se encuentra el agitador orbital que en su interior cuenta con sistema de potencia recibe los datos de velocidad, el motor que permite el movimiento del sistema dinámico en un movimiento lineal mediante los rodamientos lineales que realizan la función de deslizamiento de la plataforma acrílica.

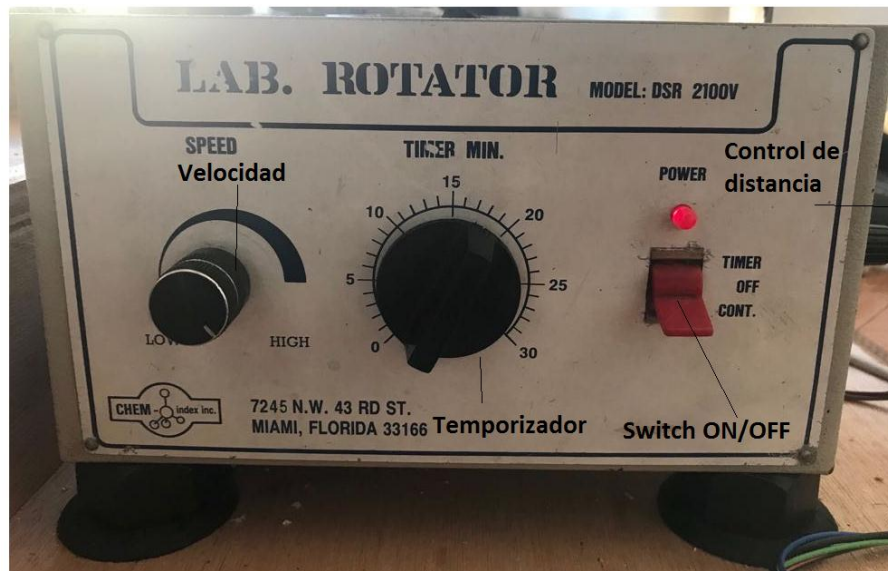


Figura 3. Agitador orbital (FRENTE). Fuente Autores del proyecto.

5.2.1. Agitador Orbital modificado: Es un equipo utilizado en laboratorios para la mezcla y/o combinación de sustancias que fue modificado para la elaboración del sistema dinámico que permite el movimiento unidireccional de la plataforma acrílica mediante un sistema informático por medio de un acelerómetro conectado al agitador y puesto en la estructura para observar su comportamiento frente a un sismo. En la figura 3, enseña el frente de un agitador orbital consta de un control de velocidad, un temporizador, un switch y un control que da la distancia que en este caso será ajustada para que la distancia se dé mediante el programa PROCESSING.



Figura 4. Plataforma acrílica. Fuente autores del proyecto.

5.2.2 Plataforma acrílica: El acrílico es un termoplástico rígido, en este caso es la plataforma observada en la figura 4, permitiendo la sostenibilidad de la estructura transparente que anclado a un sistema de rodamientos lineales proporciona firmeza de la estructura que será puesta encima de ésta plataforma teniendo un movimiento unidireccional y controlado por el software PROCESSING. Esta plataforma debe cumplir con los parámetros de resistencia y rigidez debido a las vibraciones que recibirá por medio de un riel ubicado en la mitad del acrílico entrelazado con un tornillo.

5.2.3 Sistema de soporte: El sistema de soporte de la mesa vibratoria utilizado fue fabricado en madera para la sostenibilidad del prototipo. Se sabe que la madera es un material que ofrece un mejor comportamiento estructural y que cuenta con características de resistencia y rigidez adecuadas para la utilización en el prototipo realizado.

5.2.4 Sistema de rodamientos lineales: En la figura 4, se encuentra el sistema de rodamientos lineales utilizado en la fabricación de la mesa vibratoria compuestos por dos tubos de acero encargados de la estabilidad de la plataforma y el canal de movimiento de la misma y dos balineras en cada tubo de acero que realizan la función de movimiento en una sola dirección (ida y regreso) de la plataforma a baja fricción.

- 5.2.5 Sistema de potencia:** El sistema de potencia de la mesa vibratoria está compuesta por una tarjeta de potencia ubicada en el interior del agitador orbital dando instrucciones directas al motor para generar aceleración y frecuencia que serán plasmadas en la mesa vibratoria.
- 5.2.6 Arduino:** El arduino mega 2560 es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto de hardware libre que consta de una placa con un micro controlador que por medio de un cable USB tipo B recibe información del software PROCESSING convirtiendo la información dada en una acción plasmada en la mesa vibratoria.
- 5.2.7 Acelerómetro mma8452:** Es el transmisor de la información enviada desde el arduino hasta la estructura.
- 5.2.8 Sistema de distancia:** Está compuesto por un sistema de sensores ubicados en un costado del agitador orbital que serán los encargados de medir la distancia recorrida por la plataforma durante la simulación.
- 5.2.9 Sistemas de procesamiento de datos (PROCESSING):** Es el software utilizado se denomina PROCESSING que consiste en un lenguaje de programación y entorno de desarrollo integrado de código abierto instalado en el PC que mediante un cable USB tipo B ordena al arduino a efectuar en tiempo real un sismo con características específicas de distancia, recibiendo la información y procesándola para plasmarla en la estructura de prueba en la mesa.

6. ANALISIS DE COSTOS

Para el diseño de la mesa vibratoria se evaluó un sistema de funcionamiento que comprende:

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Tornillos	36	150	5.400
Arduino (con gastos envío)	1	32.000	32.000
Balso	21	1.300	27.300
soportes, varilla y Ejes unidireccionales (con gastos envío)	1	137.000	137.000
Pegante	2	6.300	12.600
Base madera	1	120.000	120.000
Arandelas	16	50	800
Tuercas	12	150	1.800
Acrílico	1	7.000	7.000
Pintura	1	9.000	9.000
Brocha	1	3.500	3.500
Rodamientos lineales	1	67.000	67.000
Motor	1	98.000	98.000
Segueta	1	1.300	1.300
Aceite 3 en 1	1	6.000	6.000
Multitoma	1	27.000	27.000
Cinta negra aislante	1	3.200	3.200
		Total :	\$558.900

Tabla 1. Análisis de costos. Fuente Autores del proyecto.

7. RESULTADOS

7.1 AVALUO DE CARGAS

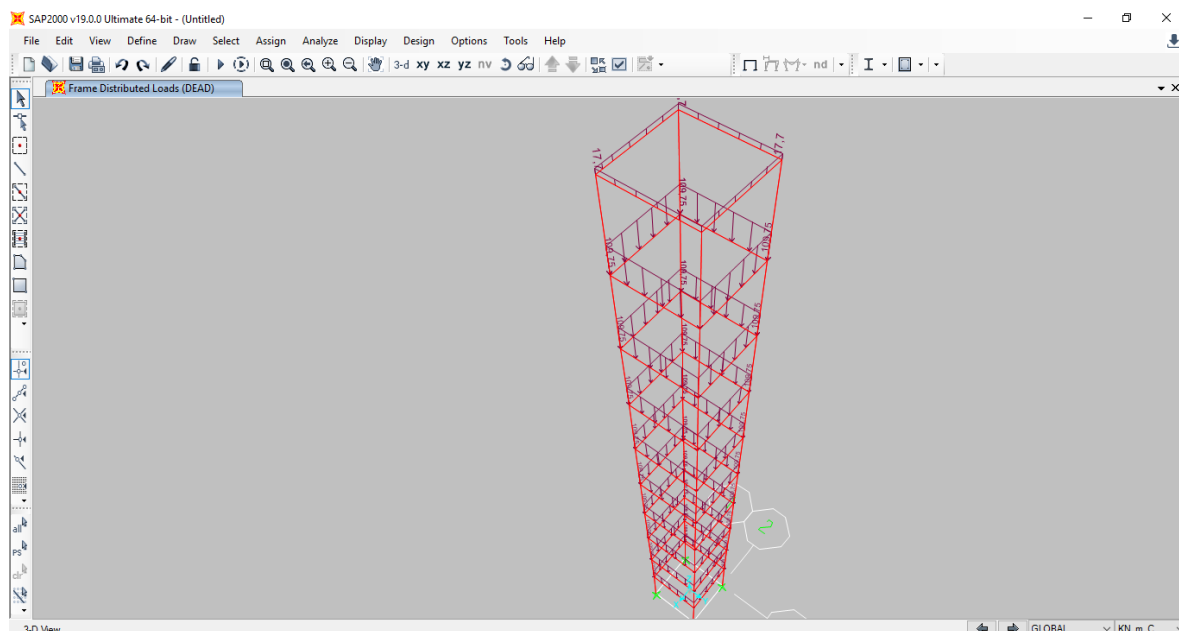


Figura 5. Modelo en SAP – estructura. Fuente Autores del proyecto

1.1.1 CARGAS MUERTAS (D)

COMPONENTE	e	CARGA $\frac{KN}{M^2}$
Tableros de yeso	0.2 cm	$0,016 \frac{KN}{M^2}$
Ductos mecánicos	30cm	$0,06 \frac{KN}{M^2}$
Baldosa cerámica	5mm	$0,2 \frac{KN}{M^2}$
Alistado	6cm	$1,38 \frac{KN}{M^2}$
Ventanas	9m ²	$4,5 \frac{KN}{M^2}$
Exteriores enchape de ladrillo		$2,5 \frac{KN}{M^2}$
TOTAL		$8,656 \frac{KN}{M^2}$

Tabla 2. Componentes cargas muertas. Fuente Autores del proyecto

1.1.2 CARGAS VIVAS (L)

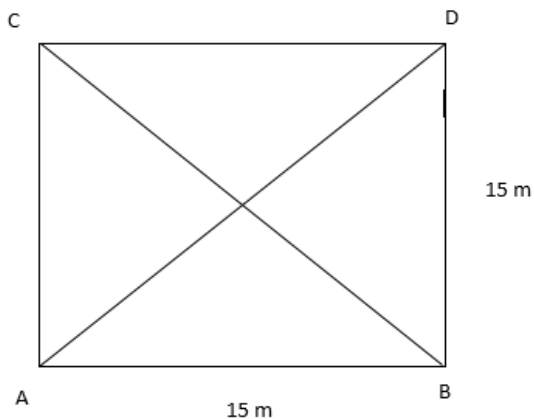
COMPONENTE	CARGA KN/m^2
Corredores y escaleras	$3 \frac{\text{KN}}{\text{M}^2}$
Oficinas	$2 \frac{\text{KN}}{\text{M}^2}$
Silletería móvil	$5 \frac{\text{KN}}{\text{M}^2}$
Cubierta	$1,8 \frac{\text{KN}}{\text{M}^2}$
TOTAL	$11,8 \frac{\text{KN}}{\text{M}^2}$

Tabla 3. Componentes cargas muertas. Fuente Autores del proyecto

7.1.3. MAYORACION DE CARGAS

1. $1,4(8,656 \text{ KN/m}^2) = 12,1184 \text{ KN/m}^2$
2. **$1,2(8,656 \text{ KN/m}^2) + 1,6 (11.8 \text{ KN/m}^2) = 29,2672 \text{ KN/m}^2$**
3. $1,2(8,656 \text{ KN/m}^2) + 11,8 \text{ KN/m}^2 = 22,1872 \text{ KN/m}^2$
4. $1,2(8,656 \text{ KN/m}^2) + 11,8 \text{ KN/m}^2 = 22,1872 \text{ KN/m}^2$
5. $1,2(8,656 \text{ KN/m}^2) + 11,8 \text{ KN/m}^2 = 22,1872 \text{ KN/m}^2$
6. $0,9(8,656 \text{ KN/m}^2) = 7,7904 \text{ KN/m}^2$
7. $0,9(8,656 \text{ KN/m}^2) = 7,7904 \text{ KN/m}^2$

CASO 2= 29.2672 KN/m^2



Área del tramo A-B:

$$\frac{15 \text{ m} * 7,5 \text{ M}}{2} = 56,25 \text{ m}^2$$

Área del tramo B-D:

$$\frac{15 \text{ m} * 7,5 \text{ M}}{2} = 56,25 \text{ m}^2$$

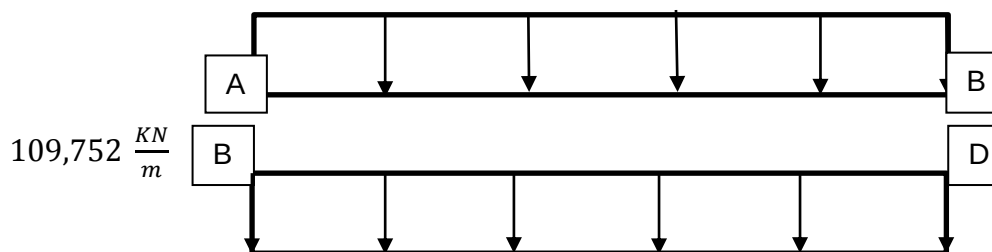
Tramo A-B:

$$\frac{29,2672 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} * 56,25 \text{ m}^2}{15 \text{ m}} = 109,752 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

Tramo B-D:

$$\frac{29,2672 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} * 56,25 \text{ m}^2}{15 \text{ m}} = 109,752 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$109,752 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$



7.2 AVALUO DE CARGAS EN LA CUBIERTA

7.2.1 CARGAS MUERTAS (D):

COMPONENTE	CARGA
Cubierta corrugada de asbesto cemento	$0,2 \frac{\text{KN}}{\text{M}^2}$

Tabla 4. Componentes cargas muertas. Fuente Autores del proyecto

7.2.2 CARGAS VIVAS (L):

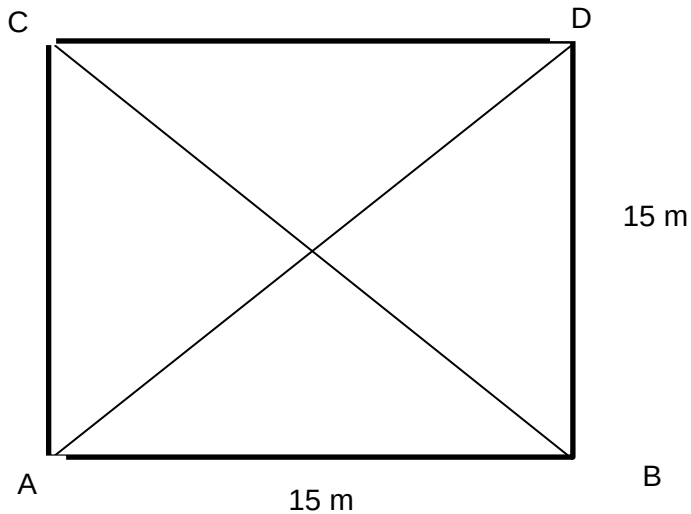
COMPONENTE	CARGA
Cubierta	$1,8 \frac{\text{KN}}{\text{M}^2}$

Tabla 5. Componentes cargas vivas. Fuente Autores del proyecto

7.2.3 MAYORACION DE CARGAS:

1. $1,4(0,2 \text{ KN/m}^2) = 0,28 \text{ KN/m}^2$
2. $1,2(0,2 \text{ KN/m}^2) + 1,6(1,8 \text{ KN/m}^2) = 3,12 \text{ KN/m}^2$
3. $1,2(0,2 \text{ KN/m}^2) + 1,8 \text{ KN/m}^2 = 2,04 \text{ KN/m}^2$
4. $1,2(0,2 \text{ KN/m}^2) + 1,8 \text{ KN/m}^2 = 2,04 \text{ KN/m}^2$
5. $1,2(0,2 \text{ KN/m}^2) + 1,8 \text{ KN/m}^2 = 2,04 \text{ KN/m}^2$
6. $0,9(0,2 \text{ KN/m}^2) = 0,18 \text{ KN/m}^2$
7. $0,9(0,2 \text{ KN/m}^2) = 0,18 \text{ KN/m}^2$

CASO 2 = 3,12 KN/m²



Área del tramo A-B:

$$\frac{15 \text{ m} * 7,5 \text{ m}}{2} = 56,25 \text{ m}^2$$

Área del tramo B-D:

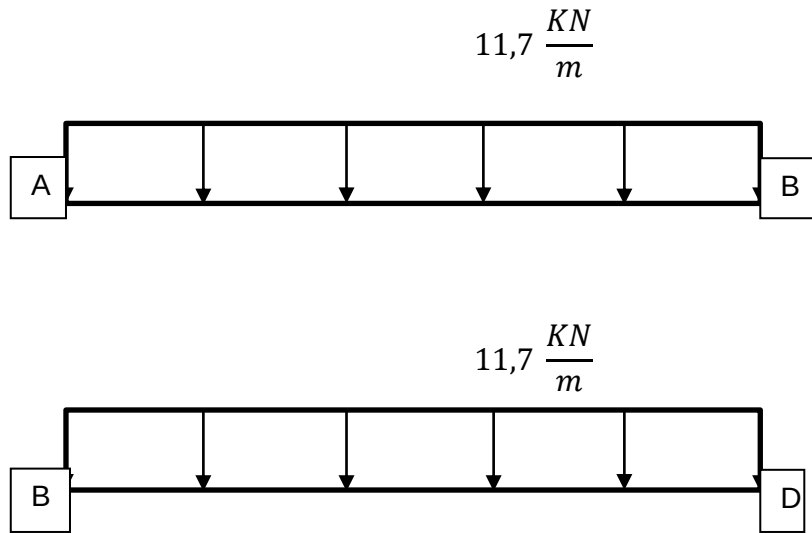
$$\frac{15 \text{ m} * 7,5 \text{ m}}{2} = 56,25 \text{ m}^2$$

Tramo A-B:

$$\frac{3,12 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} * 56,25 \text{ m}^2}{15 \text{ m}} = 11,7 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

Tramo B-D:

$$\frac{3,12 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} * 56,25 \text{ m}^2}{15 \text{ m}} = 11,7 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$



7.3 ESPECTRO DE DISEÑO

Espectro de diseño para un edificio de 9 pisos de uso residencial para la ciudad de Villavicencio.

Paso 1				
Aa	Av	Fa	Fv	I
0.35	0.30	1.10	1.50	1.25

Paso 2		
AaFal	Sa	Sa2,5
0.481	0.842	1.203

Paso 3		
To	Tc	TL
0.117	0.561	3.600

Paso 4	
T	Sa
0.713	0.947
0.865	0.780
1.017	0.664
1.169	0.578
1.321	0.511
1.473	0.458
1.625	0.415
1.777	0.380
1.929	0.350
2.081	0.324
2.232	0.302
2.384	0.283
2.536	0.266
2.688	0.251
2.840	0.238
2.992	0.226
3.144	0.215
3.296	0.205
3.448	0.196
3.600	0.188

Paso 5	
T	Sa
3.752	0.173
3.904	0.159
4.056	0.148
4.208	0.137
4.360	0.128

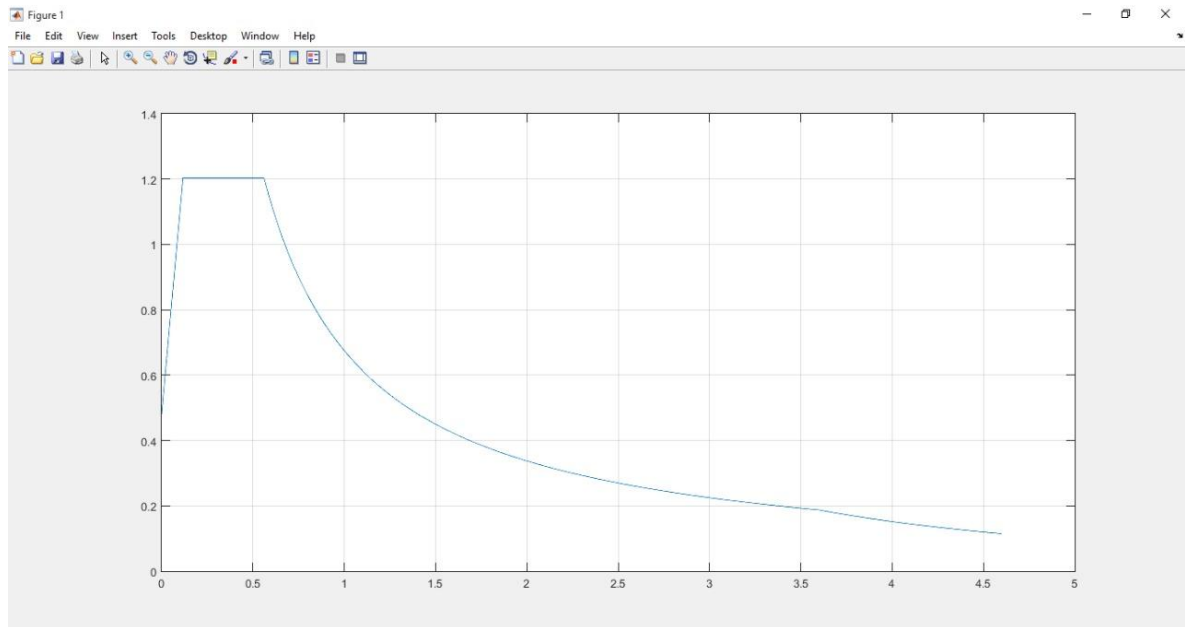


Figura 6. Gráfica espectro de diseño. Fuente Autores del proyecto

7.4 SOLUCION POR EL METODO DE CROSS

Se realizó el estudio por el método Cross en un solo piso, ya que las dimensiones de cada piso son las mismas.

Columna	0,09	0,01
Viga	0,15	0,01

Inercia		
	$I(AC)=I(CA)$	$8,33 \times 10^{(-10)}$
	$I(BD)=I(DB)$	$8,33 \times 10^{(-10)}$
	$I(CD)=I(DC)$	$8,33 \times 10^{(-10)}$

Tabla 6. Inercias. Fuente Autores del proyecto

Elasticidad		
	$E(AC)=E(CA)$	26800
	$E(BD)=E(DB)$	26800
	$E(CD)=E(DC)$	26800

Tabla 7. Elasticidad. Fuente Autores del proyecto

Rigidez		
	$k(AC)=k(CA)$	$1,86 \times 10^{-10}$
	$k(BD)=k(DB)$	$1,86 \times 10^{-10}$
	$k(CD)=k(DC)$	$1,49 \times 10^{-10}$

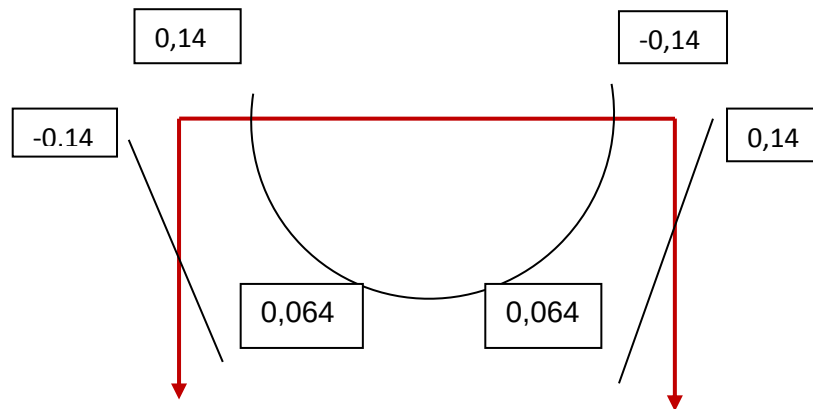
Tabla 8. Inercias. Fuente Autores del proyecto

Empotramiento		
	$M(AC)=M(CA)$	0
	$M(BD)=M(DB)$	0
	$M(CD)=$	0,205 KN.m
	$M(DC)=$	-0,205

Tabla 9. Empotramiento. Fuente Autores del proyecto

Coeficiente	Distribución	
	AC	0
	CA	0,56
	BD	0
	DB	0,56
	CD	0,44
	DC	0,44

Tabla 10. Coeficientes de distribución. Fuente Autores del proyecto



7.5 AVALUO EN SAP

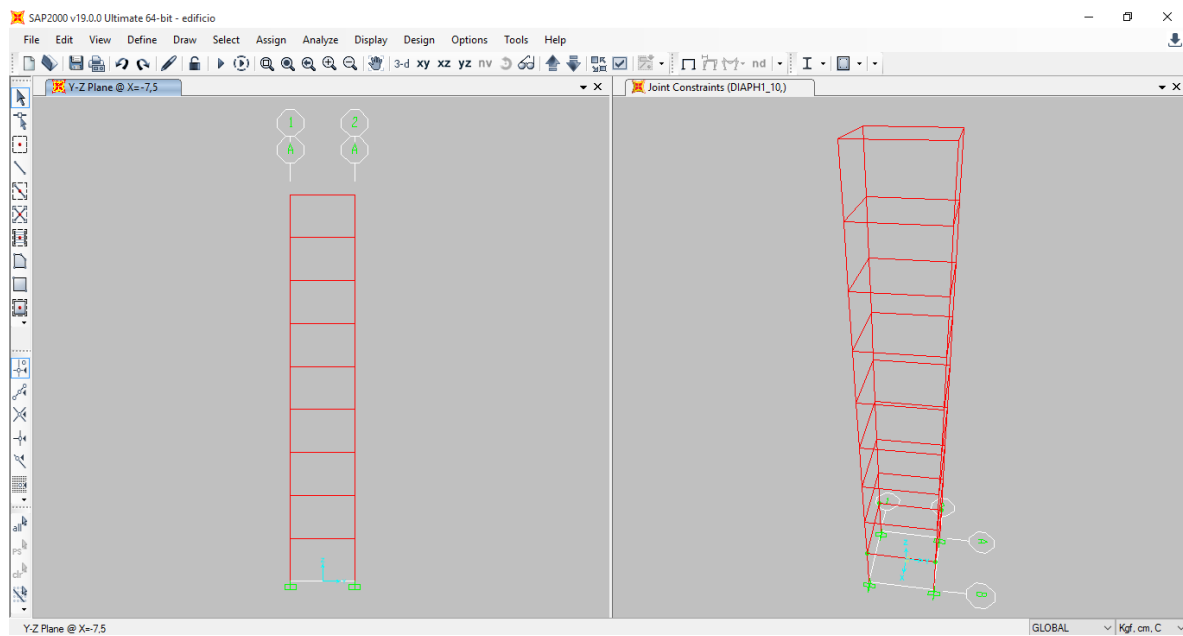


Figura 7. Modelo en SAP – estructura. Fuente Autores de proyecto.

7.5.1 ESTÁTICO

Carga Muerta (D)

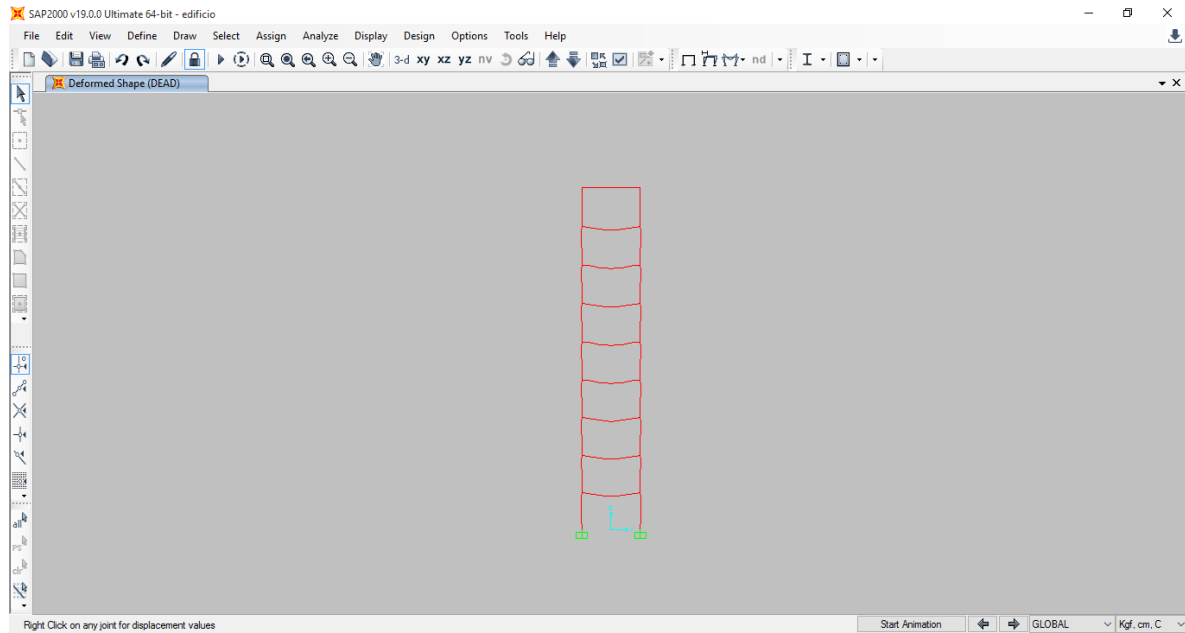


Figura 8. Modelo en SAP – estructura. Fuente Autores de proyecto.

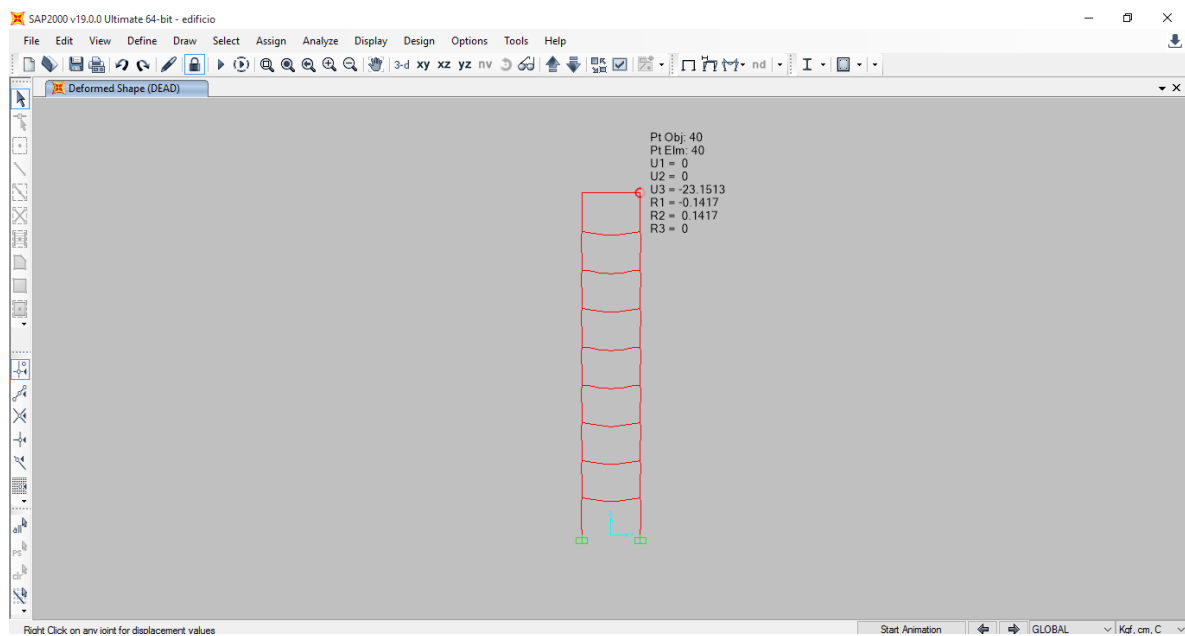


Figura 9. Modelo en SAP – estructura. Fuente Autores de proyecto.

Carga viva (L)

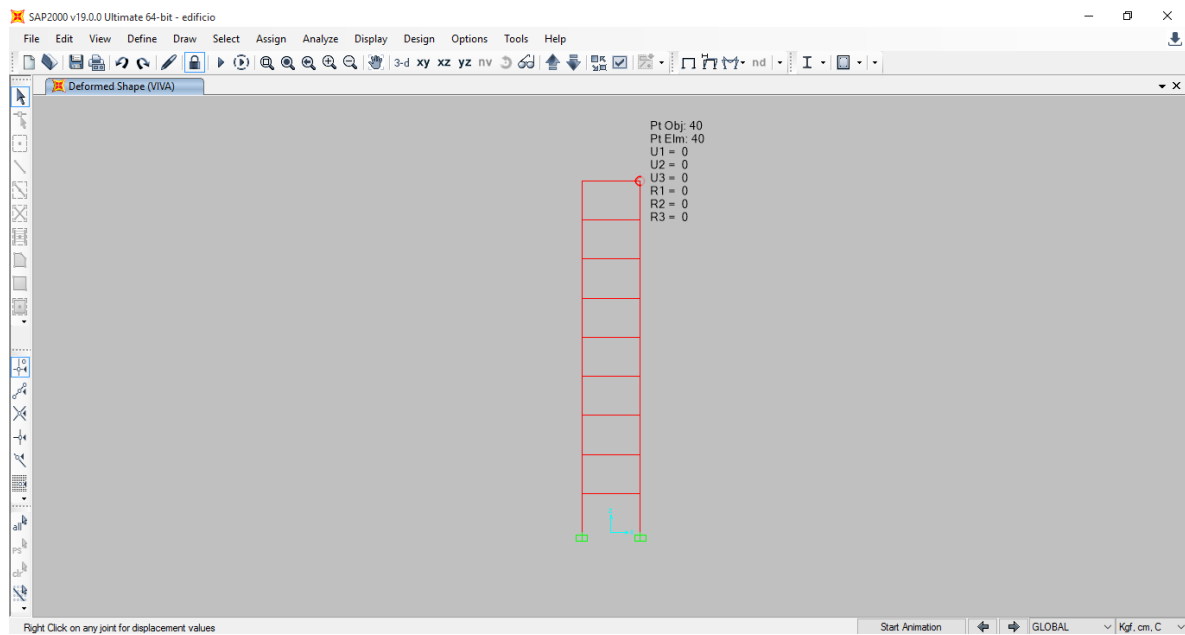


Figura 10. Modelo en SAP – estructura. Fuente Autores de proyecto.

7.5.2 ESPECTRAL

1. Primer modo de vibración

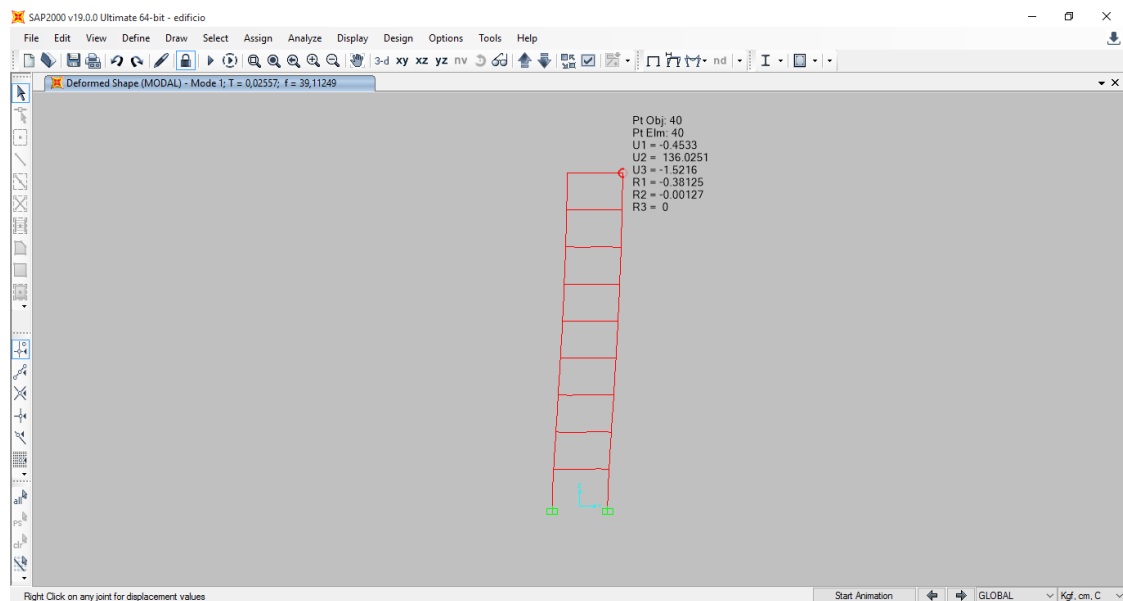


Figura 11. Modelo en SAP – estructura. Fuente Autores de proyecto.

2. Segundo modo de vibración

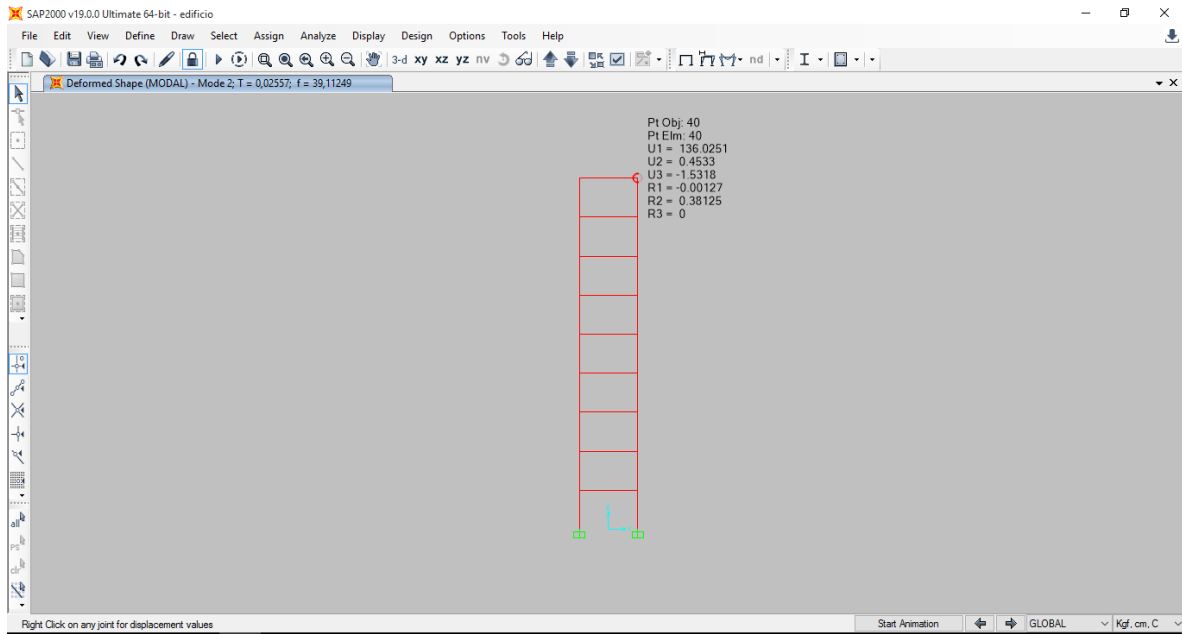


Figura 12. Modelo en SAP – estructura. Fuente Autores de proyecto.

3. Tercer modo de vibración

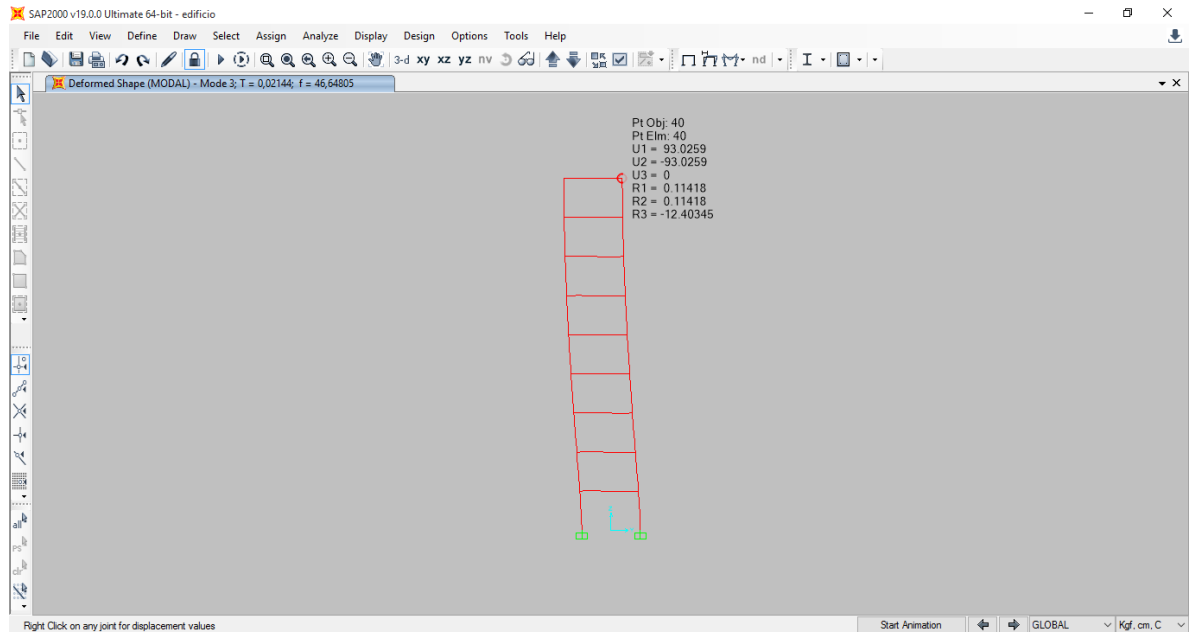


Figura 13. Modelo en SAP – estructura. Fuente Autores de proyecto.

4. Cuarto modo de vibración

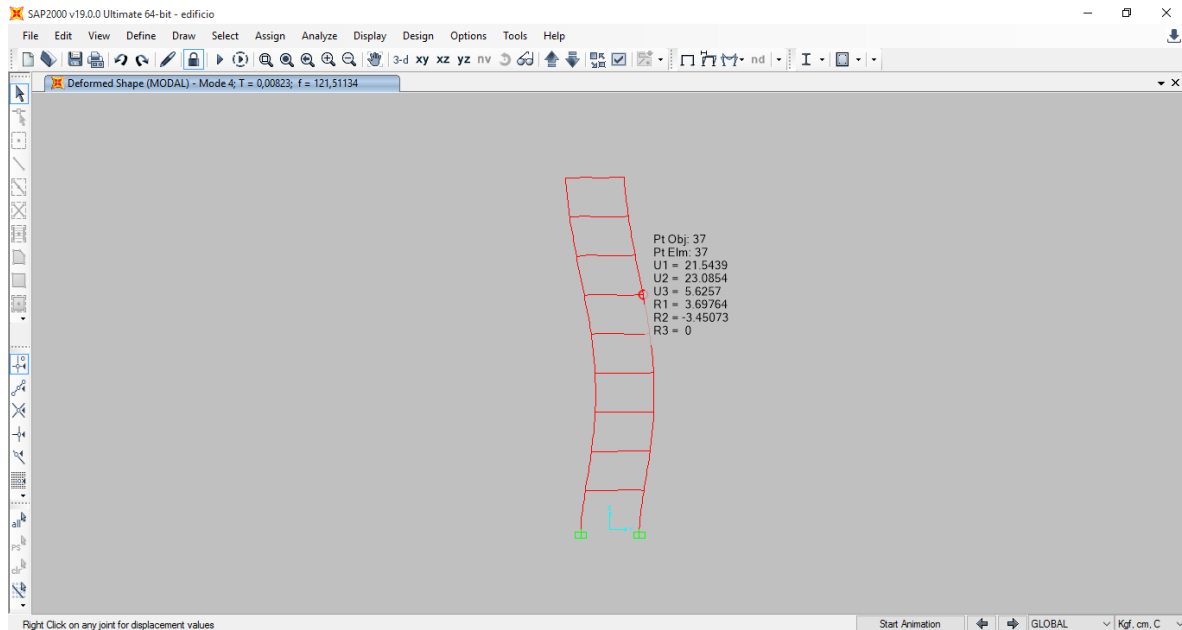


Figura 14. Modelo en SAP – estructura. Fuente Autores de proyecto.

7.5.3 SERIES DE TIEMPO

1. Primer modo de vibración

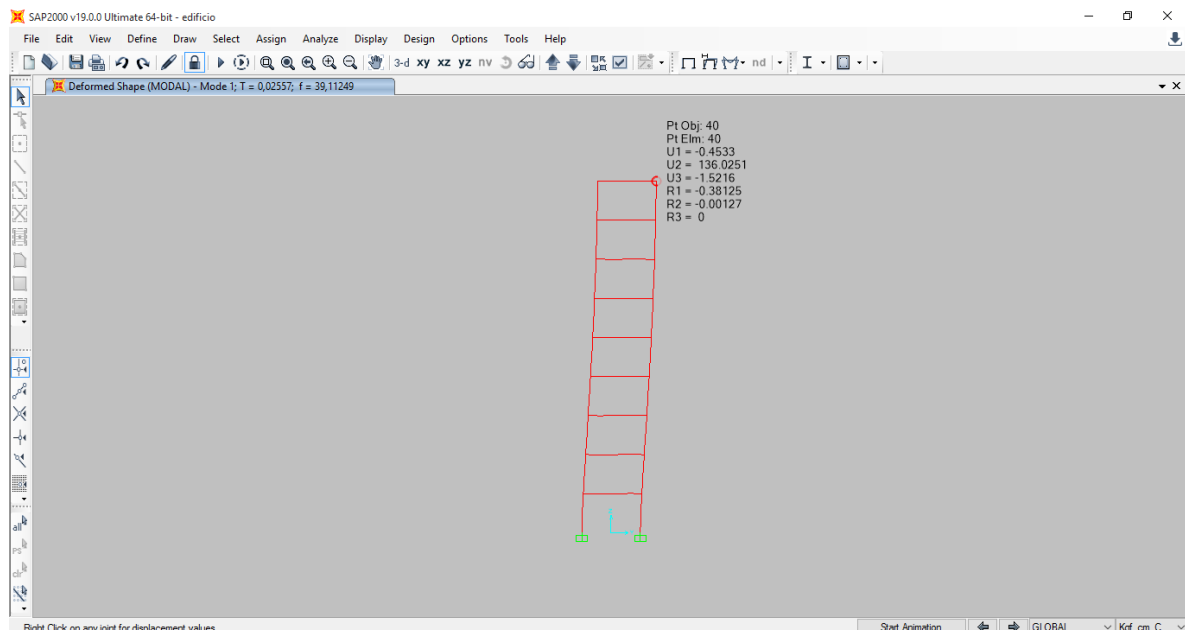


Figura 15. Modelo en SAP – estructura. Fuente Autores de proyecto.

2. Tercer modo de vibración

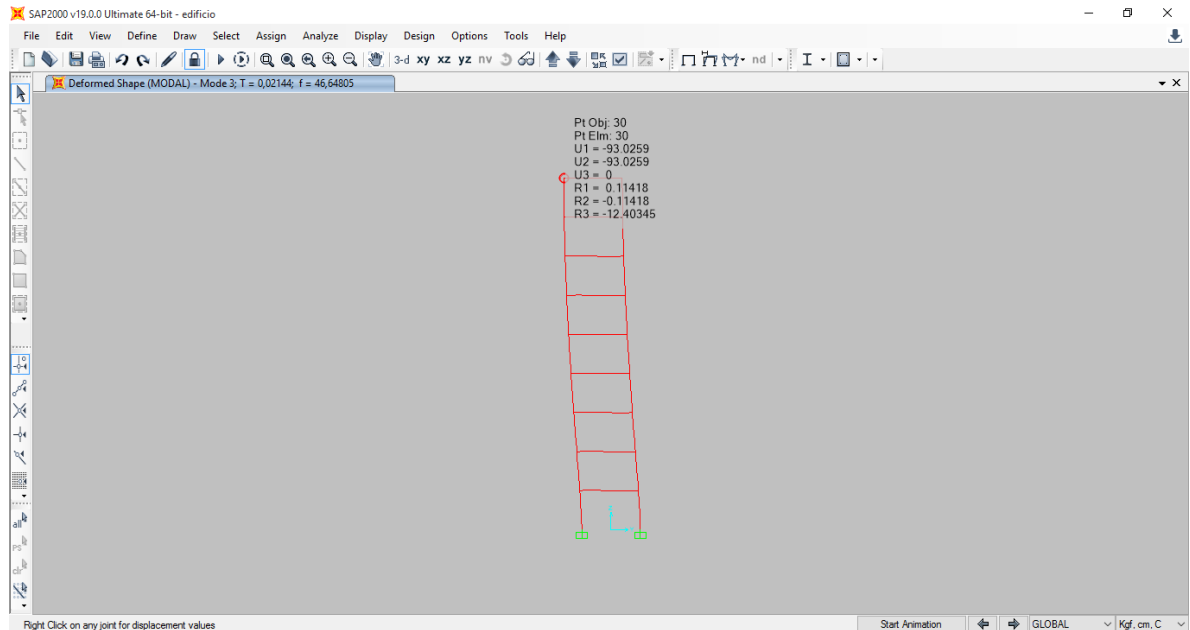


Figura 16. Modelo en SAP – estructura. Fuente Autores de proyecto.

3. Onceavo modo de vibración

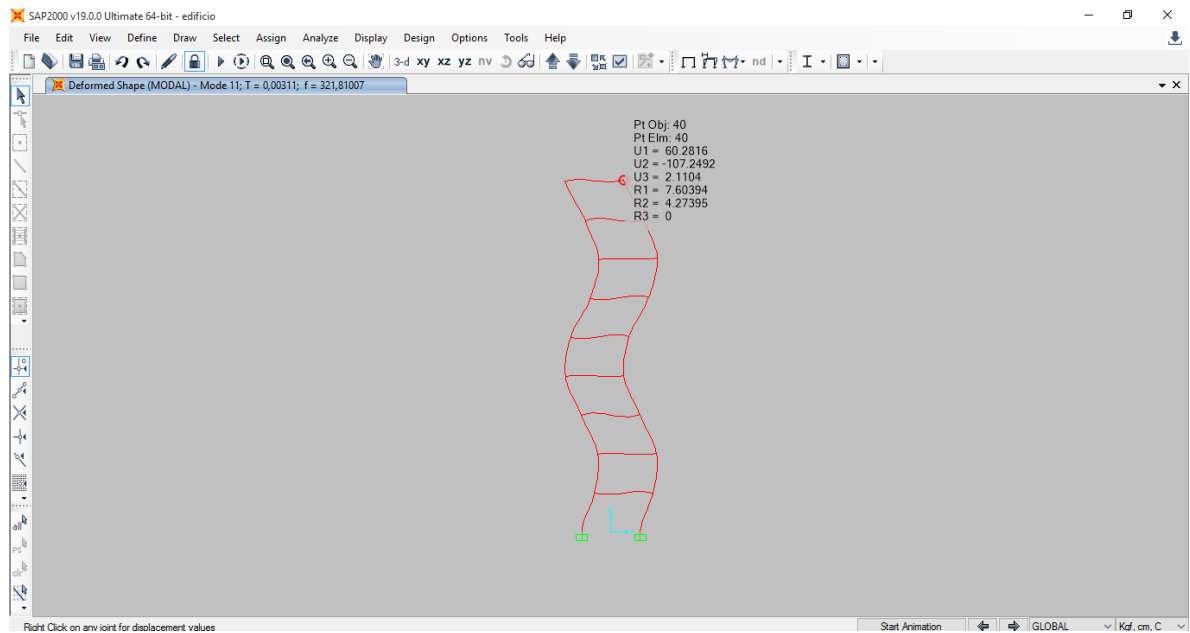


Figura 17. Modelo en SAP – estructura. Fuente Autores de proyecto.

8. SISTEMA DE DISEÑO DE LA MESA VIBRATORIA

Luego de haber sido realizado el diseño de la mesa vibratoria, se procede a escoger los materiales que sean adecuados para que soporte peso y los movimientos a los que se someterán la estructura a escala hecha con palos de balsa.

Se elabora la mesa en madera que es un material resistente y relativamente liviano fácil de transportar, que contiene una parte rectangular, con una parte recta para poner todo lo que contiene del motor y arduino y demás. Es pintada de color verde aludiendo uno de los colores de la Universidad Cooperativa de Colombia.

Luego de terminada la mesa, se procede a instalar en la parte de arriba los rodamientos lineales que contiene varillas y balineras encargados de realizar el fricciónamiento con el fin de que el movimiento sea unidireccional.

Contiene en cada varilla dos balineras que serán empotradas al acrílico donde es la base que irá debajo de la estructura y estará sujeta a los rodamientos lineales.

La elaboración de la estructura a escala se realizó de 9 pisos en palos de balsa que estarán sujetas a la base en acrílico para mantener su estabilidad ya que estará expuesta a movimientos telúricos y debe estar en posición 0.

La estructura en algunos de los 9 pisos, debe estar puesto el acelerómetro para que sean mostrados en tiempo real el comportamiento de una estructura cuando se presenta un movimiento telúrico.

Para el modelamiento electrónico, se presentan los siguientes diagramas donde expone el funcionamiento de la mesa vibratoria:

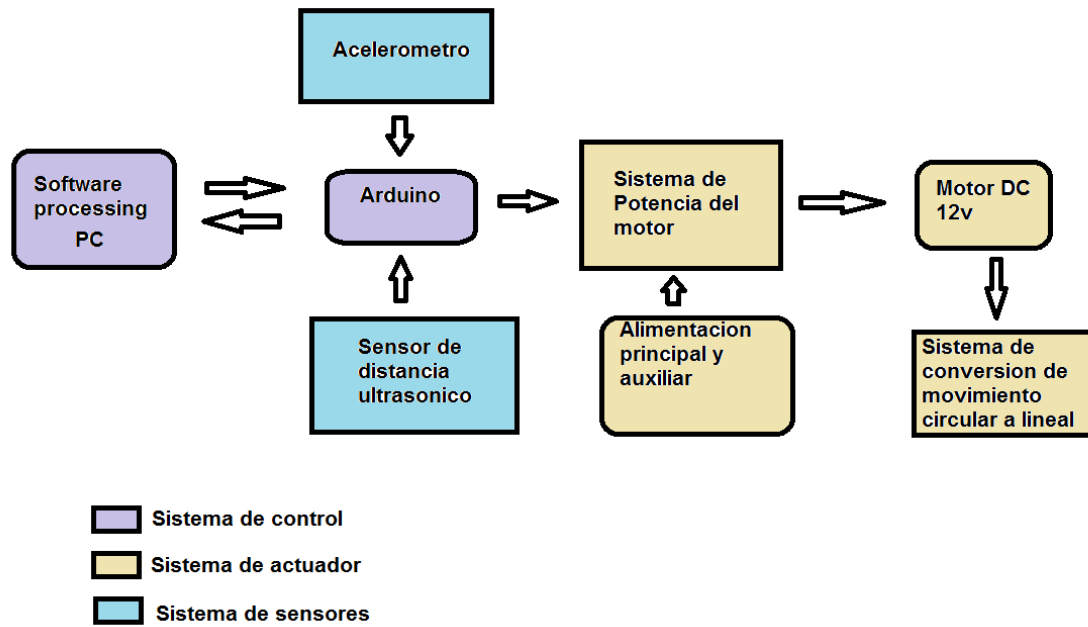


Figura 18. Sistema funcionamiento mesa vibratoria. Fuente Autores del Proyecto

- Sistema de control

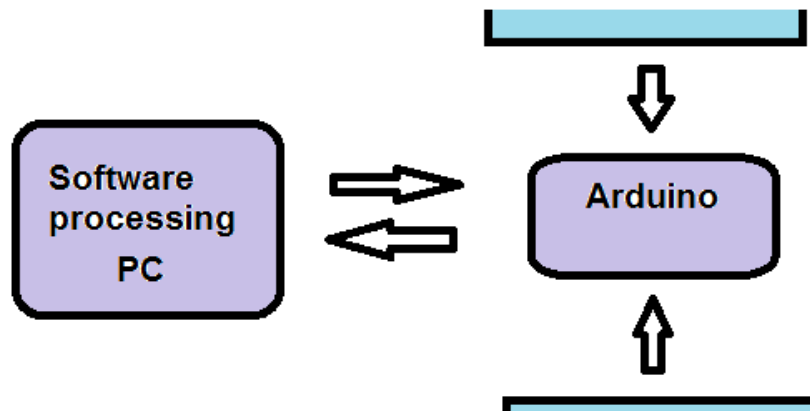


Figura 19. Sistema de control mesa vibratoria. Fuente Autores del Proyecto

El orden de funcionamiento de este sistema se da de la siguiente manera:

1. El software PROCESSING instalado en el computador, toma los datos del archivo “datos” y los envía al arduino.
2. Una vez el arduino reciba el valor sísmico (cms) deseado, realiza un procesamiento que le indica al motor que tanto debe moverse para replicar dicho valor.
3. El arduino recibe el valor de los sensores: de distancia (este mide que tanto se ha elongado el brazo que permite llevarlo a la distancia deseada) y el acelerómetro de 3 ejes, el cual al llegar al arduino devuelve al software PROCESSING para que este lo visualice en la pantalla.

- **Sistema de actuador**

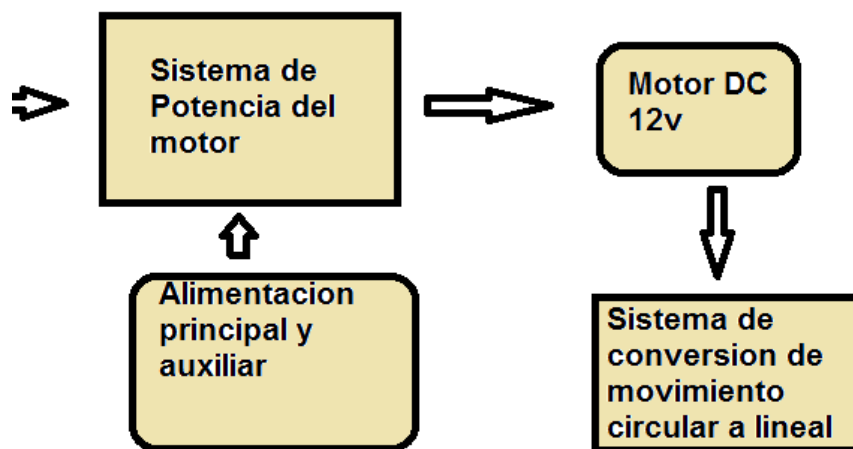


Figura 20. Sistema de actuador mesa vibratoria. Fuente Autores del Proyecto

Este sistema es el que físicamente mueve la plataforma. El orden de funcionamiento se describe a continuación:

1. El sistema de potencia del motor recibe la información del arduino mediante un pulso digital sobre el sentido de giro del motor y que tanto lo hará.
2. Se toma dicho pulso y se utiliza la potencia de la energía principal y auxiliar (12V) para mover el motor como lo ordenó el arduino.
3. El motor que cuenta con una polea de reducción de velocidad y ganancia de fuerza que a su vez posee un brazo logra mover la plataforma anclada, de esta manera se convierte un movimiento circular en un movimiento lineal que es el que nos interesa.

- **Sistema de sensores**

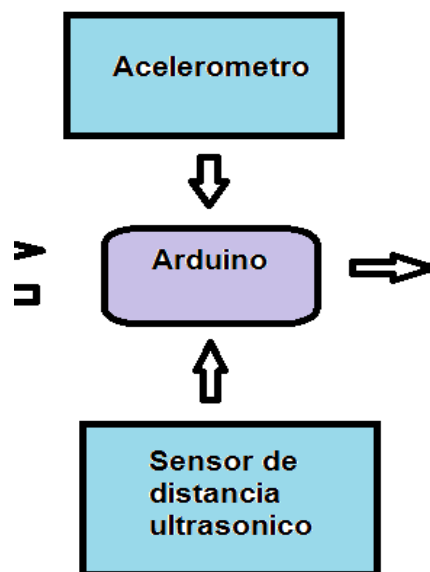


Figura 21. Sistema de sensores mesa vibratoria. Fuente Autores del Proyecto

1. El sistema cuenta con un acelerómetro de 3 ejes MMA8452 el cual irá en la punta de la estructura e indicará la aceleración en x,y,z, de la estructura. Dicha información llega al arduino para que este procese y sea enviada al computador.
2. El sensor de distancia ultrasónico HCSR04 es el sensor que mide la distancia de elongación del brazo anclado a la estructura y le permite al sistema de control saber la ubicación exacta de la estructura en todo momento.

9. CONCLUSIONES

En el presente informe, se plasma la realización del diseño de una mesa vibratoria en una sola dirección que servirá como herramienta experimental para llevar a cabo ensayos de estructuras a escala reducidas, con fines académicos e investigativos, estudiando los efectos sísmicos en Colombia.

Se fabricó un material necesario y fundamental para facilitar la caracterización de equipos y estructuras compleja bajo ambientes de carga dinámica o sismos de diferentes áreas.

Se diseñó una estructura en forma de plataforma la cual será utilizada para desplazar una estructura a escala con una aceleración simulando un sismo de baja, media y alta concentración.

Se modeló un sistema capaz de dar funciones a la estructura para la simulación de movimientos sísmicos y a su vez tener la capacidad de medir y traducir las señales o resultados.

10.RECOMENDACIONES

Para el montaje de la mesa vibratoria que está compuesta por todos los elementos expuestos anteriormente deben ser instalados con demasiado cuidado ya que existen elementos como el acrílico, la madera y los palos de balsa son delicados cuando son manipulados para realizar alguna abertura.

Para la construcción del sistema de control que fue montado en un agitador orbital modificado y el respectivo análisis de todo su funcionamiento se contó con el apoyo de un Ingeniero Electrónico, que modeló los datos arrojados por arduino y que mediante el software PROCESSING fueron modelados los datos.

La estructura realizada en palos de balsa soporta una carga máxima de 8 Kg; un peso mayor hará que la estructura falle y se tenga que realizar una nueva incluyendo los datos.

Se debe tener en cuenta que el sistema está creado para que realice cada 2 milisegundos arroje datos de acuerdo al movimiento telúrico a modelar.

El buen funcionamiento del software PROCESSING es de vital importancia para un excelente desenvolvimiento de la mesa vibratoria donde permite que todo el sistema de control, sistemas actuadores y demás obtengan una respuesta positiva al ser arrojados correctamente los datos para su modelamiento en tiempo real.

El peso que debe ir en la estructura se debe saber cuántos KG contienen para así evitar que se pase de su peso máximo y evitar la falla de la estructura ya que se requiere para ver el comportamiento de la estructura cuando se enfrenta a un movimiento telúrico.

11.BIBLIOGRAFIA

Garett A. Sohl and James E. Bobrow. Experiments and Simulations on the Nonlinear Control of a Hydraulic Servosystem. 1999

S.J. Dyke, B. Nepote and J.M. Caicedo. Earthquake Simulator Control by the Transfer Function Iteration Method.

Andrei M. Reinhorn. Large Scale Real Time Dynamic Hybrid Testing Technique – Shake Tables Substructure Testing. University at Buffalo (SUNY).

BORRAS, Carlos; Tesis de maestría: Pattern Recognition in hydraulic backlash using Neural Network Thesis (Master of Science). University of Oklahoma, Norman, Aerospace and Mechanical Engineering Department. USA,2001

Mathew J. Muhlekamp. Analysis, Design and Construction of a Shaking Table Facility. 1997

Dong - Jae Lee. The Tracking Control of Uni-axial Servo-hydraulic Shaking Table System Using Time Delay Control. Oct. 2006

Xu, Yang. Modeling and Controller design of a Shaking table in active Structural Control System. EL SEVIER. 2008

Luis Felipe Bohórquez L. Diseño y Construcción de la Cimentación para la mesa Vibratoria de la Universidad de los Andes. 2001

NSR – 10. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes. Titulo A. Requisitos Generales de Diseño. TITULO C. ConcretoEstructural.

