



**Prototipo de mesa vibratoria de bajo costo para la  
simulación y análisis de condiciones de sismo dentro del  
laboratorio de estructuras**

**Sandoval Corredor Oscar Damián  
Código 10480812968**

**Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Civil  
Bogotá, Colombia  
2023**

**Prototipo de mesa vibratoria de bajo costo para la simulación y  
análisis de condiciones de sismo dentro del laboratorio de  
estructuras**

**Oscar Damián Sandoval Corredor**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al  
título de:  
**Ingeniero civil**

Director  
(a):  
Edison  
Osorio

**Universidad Antonio Nariño**

**Facultad de  
Civil Bogotá,  
Colombia  
2023**

## Resumen

Los efectos de los terremotos sobre las estructuras han sido una fuente de preocupación constante de las directivas de universidades y departamentos de estructuras a nivel nacional y mundial, principalmente en Colombia, donde la presencia de volcanes activos como el del Ruiz tiene en vilo constante al país, puesto que ya ha provocado catástrofes mundialmente famosas por el número de vidas perdidas. Por este motivo, para la Universidad Antonio Nariño es trascendental proveer a sus estudiantes de elementos de juicio que faciliten en la práctica, el entendimiento de la conceptualización teórica, que permita la mitigación de las consecuencias de los terremotos sobre las estructuras.

El objetivo de este proyecto es el diseño y construcción de un sistema basado en el funcionamiento de una impresora 3D, que logra ser adaptado a simulador sísmico en dos grados de libertad, para que los estudiantes realicen ensayos a escala reducida de fuerzas sísmicas sobre estructuras. El simulador sísmico desarrollado resultó ser una herramienta versátil construida a bajo precio, y útil para la realización de experimentos dirigidos a diseños y análisis estructural de construcciones que pueden ser afectadas por un sismo.

**Palabras clave:** Diseño, construcción, mesa vibratoria, fuerzas sísmicas, modelos a escala

## Abstract

The effects of earthquakes on structures have been a constant source of concern for university boards and structures departments at a national and global level, mainly in Colombia, where the presence of active volcanoes such as El Ruiz has the country in constant suspense. , since it has already caused world-famous catastrophes due to the number of lives lost. For this reason, for the Antonio Nariño University it is transcendental to provide its students with elements of judgment that facilitate, in practice, the understanding of the theoretical conceptualization, which allows the mitigation of the consequences of earthquakes on the structures.

The objective of this project is the design and construction of a system based on the operation of a 3D printer., which can be adapted to a seismic simulator in two degrees of freedom, so that students can carry out small-scale tests of seismic forces on structures. The developed seismic simulator turned out to be a versatile tool built at a low price, and useful for conducting experiments aimed at designing and structural analysis of buildings that may be affected by an earthquake.

**Keywords:** Design, construction, vibrating table, seismic forces, scale models

## Contenido

	Pág.
1. Introducción	11
2. Estado del conocimiento	15
3. Marco teórico	20
3.1 La historia de las Mesas vibratorias	21
3.2 Clases de mesas vibratorias	23
3.2.1 Uniaxiales	23
3.2.2 biaxiales	24
3.2.3 Mesas de simulación multiaxial	24
3.2.4 Dispositivos comerciales	25
3.3 Principales componentes de una mesa vibratoria	27
3.4 Parámetros de diseño de una mesa vibratoria	27
4. Metodológico	29
4.1.1 Fase de Identificación	29
4.1.2 Fase de Diseño	30
4.1.3 Fase de construcción	30
5. Resultados y discusión	38
6. Conclusiones.	40
7. referencias bibliográficas	43

## Lista de figuras

Figura 1	Terremotos de grado 5 o superior entre 2000 y 2019	11
Figura 2.	Ejemplo de Mesa uniaxial o de 1 grado de libertad	23
Figura 3	Mesa de 2 grados de libertad	24
Figura 4	Identificación de procesos necesarios para el desarrollo de la mesa vibratoria	29
Figura 5	Construcción del sistema que permite el movimiento en un eje	34
Figura 6.	Inicio de montaje del sistema que permite el movimiento en la segunda dirección	35
Figura 7	Estado final de la construcción estructural de la mesa	35
Figura 8.	Esquema de la conformación de pines del driver DRV 8825	37

## Lista de tablas

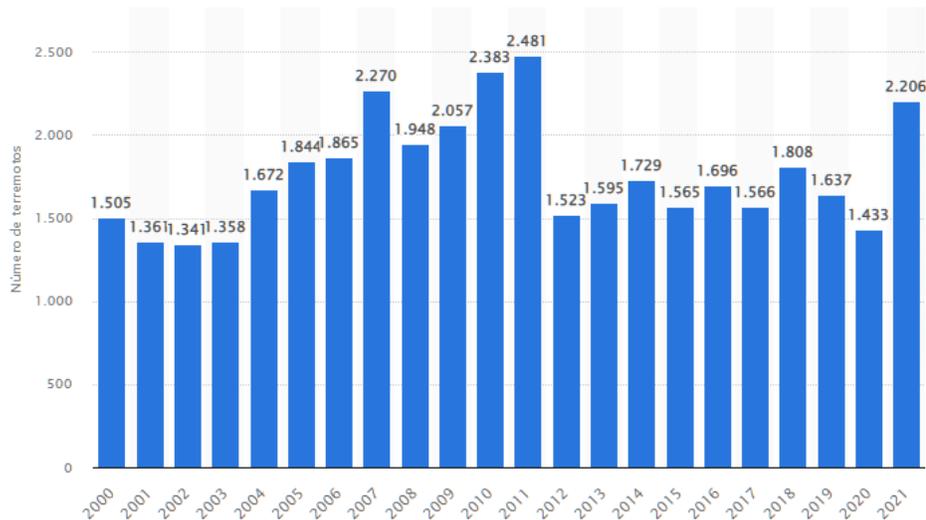
	Pág.
Tabla 1 Mesas vibratorias más comerciales.	25
Tabla 2 Componentes mecánicos de la mesa vibratoria	31
Tabla 3 Costos de materiales estructurales	32
Tabla 4 Principales componentes del sistema eléctrico	36
Tabla 5 Costo de materiales eléctricos	36
Tabla 6 Código programación arduino	40

## 1. Introducción

Los terremotos son los desastres naturales que causan más muertes, puesto que como lo registra Wallemacq, Below y McLean (2018), entre los años 1998 y 2017 estos ocasionaron el 56% de los decesos humanos que se produjeron dentro de un desastre natural con pérdidas económicas calculadas en 661 billones de dólares. De acuerdo con (Alonso, 2020), la razón para que los terremotos sean los causantes de tantas muertes es su carácter impredecible y la magnitud de las vibraciones que producen en las estructuras. En la siguiente figura se observa la cantidad de terremotos ocurridos a nivel mundial entre los años 2000 y 2019 con un grado igual o mayor de 5 en la escala Richter (ver Figura 3).

**Figura 1**

*Terremotos de grado 5 o superior entre 2000 y 2019*



Nota.Fuente (Statita, 2023)

En Colombia hay una amenaza sísmica permanente representada por el volcán Nevado de Ruíz, que ocasionó miles de muertes en el año 1985 y que en el presente año (2023), ha tenido en alerta a la población, esta es una condición frecuente en el país, pues se ubica en una zona del planeta con interacción de placas tectónicas, dentro de las cuales están: la Placa del Caribe, Placa de Nazca y placa del caribe (Trujillo, Ospina, & Parra, 2014). De acuerdo Mateus y Luna con (2014), La mayoría de construcciones en Colombia fueron construidas en una época donde no se exigían características sismorresistentes, lo que unido a las condiciones de subdesarrollo en las que han transcurrido procesos de auto construcción, históricamente han llevado a catástrofes sísmicas debido a movimientos fuertes como: El ocurrido el 12 de julio de 1874, con una intensidad de 6.9 grados de intensidad afectando a Fosca, Soacha, Fómeque, Facatativá, Cajicá, Cota, Chía, Pasca, Bojacá y Cáqueza, Bogotá; el 31 de agosto de 1917 ocurrió otro sismo de 6.9 grados afectando principalmente a Villavicencio, San Martín, Cáqueza y Bogotá, el 31 de marzo de 1983 se produjo el sismo de Popayán; finalmente el 25 de enero de 1999 ocurre el terremoto de Armenia, que ocasionó más de 2.300 heridos graves y 921 muertos, como consecuencia de más de un millón de M<sup>3</sup> de escombros, 30.000 viviendas afectadas y el 75% de los centros educativos con daños estructurales graves. (Servicio Geológico Colombiano, sf).

Sin duda, las anteriores catástrofes dejan inmensas consecuencias físicas, sociales y económicas para el país, por lo que los centros de educación superior no pueden estar de espaldas a la situación y les corresponde apoyar proyectos que traten de profundizar en el conocimiento científico de dichos movimientos, como lo es su modelación a escala mediante mesas vibratorias que ayudan a la comprensión práctica de estos eventos sísmicos.

La ausencia de modelación efectiva que garantice el dimensionamiento de los movimientos que se pueden esperar como consecuencia de las cargas dinámicas producidas durante un sismo, es una problemática que obstaculiza la generación de soluciones a las necesidades de muchos laboratorios universitarios donde los futuros ingenieros calculistas pueden investigar estos fenómenos. El ejercicio de la ingeniería estructural, tiende a enfocarse en el cálculo de fuerzas mediante software que modelan sistemáticamente la estabilidad estructural cuando los diseños son sometidos a fuerzas, pero en la práctica, un modelo a escala que pueda simular el comportamiento de estas estructuras sería muy ilustrativo para la formación integral de los estudiantes de ingeniería, como. una forma de dar prioridad a sistemas de control que propendan por la estabilidad, éxito y garantía de las investigaciones y proyectos estructurales (Gómez, Leguizamón, & Mahecha, 2018)

En la actualidad, la universidad Antonio Nariño hace falta una herramienta u o equipo para realizar estudios o modelaciones dinámicas a estructuras en escalas menores que permitan determinar el comportamiento de diseños y materiales utilizados en las estructuras, por este motivo se presenta la necesidad de fabricar un equipo consistente en una mesa vibratoria. Esta ayudará a entender las aceleraciones que se producen en las estructuras durante un sismo, por lo que será de gran ayuda para docentes y estudiantes de ingeniería civil y de otras facultades que podrían utilizarla. De esta manera facilitará el estudio del comportamiento dinámico de las estructuras y se ayudaría a mitigar el problema físico, social y económico que se puede presentar en otro evento sísmico fuerte fortaleciendo en conocimiento científico-práctico a la hora de hacer los diseños estructurales.

La elaboración y fabricación de este proyecto es de carácter urgente y se realizará para suplir y contribuir a la necesidad de obtener una herramienta que ayude al Fortalecimiento del laboratorio de investigación de la facultad de ingeniería civil, ya que facilita la implementación de prácticas a realizar principalmente por estudiantes de ingeniería civil, a través de la interacción con el nuevo prototipo para simulación de movimientos sísmicos

Con la implementación del proyecto se complementa el plan para el estudio de la materia de dinámica estructural, facilitando la experimentación en el laboratorio y fomentando la mente inquieta de los alumnos para aplicar los conceptos y conocimientos adquiridos en las sesiones de formación. Si se proponen los siguientes objetivos:

El objetivo general es proponer y elaborar un prototipo de mesa vibratoria de bajo costo con la que, con fines académicos, se simulen movimientos para diseños de estructuras sismorresistentes en la Universidad Antonio Nariño de Bogotá. Los objetivos específicos son aplicar la conceptualización teórica en la fabricación de un prototipo de mesa que se pueda utilizar en ensayos de simulación de movimientos sísmicos para diseños estructurales sismorresistentes en la Universidad Antonio Nariño de Bogotá y elaborar un prototipo de mesa vibratoria como solución a la falta de un sistema de simulación de movimientos para diseños estructurales sismorresistentes en la Universidad Antonio Nariño de Bogotá

## 2. Estado del conocimiento

Para tener un mejor conocimiento de las variables del problema a investigar, se han obtenido diferentes documentos que evidencian los estudios que se relacionan directamente con el tema de investigación en este trabajo; los más recientes y de mayor relevancia son:

A nivel internacional Puertas (2019), presenta el diseño y prototipado de una mesa sísmica de dos grados de libertad, para Escuela De Ingenierías Industriales en Valladolid, España. Durante la realización del proyecto se pueden observar los procesos utilizados en diseño, elaboración de las partes y ensamblaje de sus componentes. La principal novedad de esta mesa vibratoria son sus componentes de mando, que, para controlar el motor internamente, son fabricados utilizando una impresora de tres dimensiones.

En el proceso se mencionan los módulos superior e inferior para referirse a los dos componentes principales que conforman la mesa, fabricada con materiales preexistentes en la sala de ensayos de estructuras de la Universidad de Valladolid. Para provocar el efecto vibratorio se utilizan dos motores de referencia LinMot, que hacen que el módulo superior se desplace por dos barras guía y rodamientos de bola de referencia HepcoMotion. Que las marcas de referencia LinMot y HepcoMotion son dos de dos empresas líderes a nivel mundial en fabricación de sus respectivos elementos (Puertas, 2019). Para los autores la elaboración de esta mesa con dos grados de libertad permitirá el estudio de estructuras mediante modelos a escala tanto en el sentido paralelo de su eje principal, como en el sentido perpendicular y el movimiento producido por los dos ejes rotando al tiempo

Otro proyecto de mesa vibratoria a nivel internacional, también adelantado en la escuela de ingenierías industriales de la Universidad de Valladolid consiste en un diseño de un prototipo de mesa con actuadores o motores fijos. En este trabajo Alonso (2020) presenta los diseños que determinaron estrategias aplicables a los prototipos de mesas sísmicas para la dirección de colocación de sus ejes, para las marcas del motor y para la forma de sujeción al terreno que son muy interesantes para determinar el diseño a seguir en el presente proyecto.

A nivel regional de los países latinos inicialmente se encuentra el proyecto de (Álvarez, 2008), muestra parte del proceso de diseño, construcción, instalación e implementación de la mesa vibratoria para generar terremotos en estructuras de escala. Instituto tecnológico y de estudios superiores de monterrey campus monterrey división de ingeniería y arquitectura programa de graduados en ingeniería informe presentado como requisito parcial para obtener el grado académico de maestro en ciencias con especialidad en ingeniería y administración de la construcción (estructuras) monterrey México

Por su parte en la Universidad de Buenos Aires Lehman, Verri, Bertero, & Muñoz (2012) profesores de ingeniería describe el diseño y construcción de una mesa vibratoria para realizar ensayos dinámicos en estructuras y modelos a escala, con respecto a la mesa, se da a conocer los elementos mecánicos que la conforman, Estos incluyen el accionamiento de motor y el diseño de la estructura que lo soporta. Estos autores adaptan las propiedades destinadas a los modelos y diagramas de aceleración para simular el movimiento, y así representan las propiedades a considerar al modelar prototipos de estructuras a escala, sujetos a los parámetros y restricciones impuestos por aquellos con similitud dinámica. Según los autores, existe la necesidad de

desarrollar materiales especiales y masas adicionales para cumplir con estas condiciones y permitir la investigación necesaria para desarrollar métodos innovadores para diseñar más estructuras sísmicas que reduzcan el costo de los daños causados por los terremotos.

Otros estudios a nivel latinoamericano es el efectuado por (Kleber, 2016), quien implementó en el laboratorio de estructuras de la universidad tecnológica de Ambato el diseño y desarrollo de una mesa vibratoria para el análisis dinámico de estructuras civiles a escala.

También en Ecuador Lema (2021), utilizó para simular movimientos sísmicos que determinan la aceleración, la velocidad y el desplazamiento de una estructura con el uso de una mesa vibratoria, el estudio se efectuó para la Universidad Católica de Cuenca en la unidad académica de Ingeniería, Industria y construcción Azogues de Ecuador

Por su parte en Tacna, una población Peruana Ayllón (2017) desarrolló un modelo de mesa vibratoria unidireccional para la simulación de terremotos y experimentos de modelos a escala reducida. Este estudio se realizó en la Universidad Particular de Tacna

En la localidad de Trujillo en Perú Okumura y Uriol (2018), presentan su proyecto consistente en un ensayo de un pórtico a escala en un prototipo de mesa vibratoria de un grado de libertad, en esta investigación teórica y experimental, se busca describir los movimiento de un pórtico a escala mediante varios ensayos efectuados en una mesa vibratoria de un grado de libertad, como un aporte a los estudiantes quienes comparan errores máximos en su laboratorio de ensayos estructurales utilizando esta herramienta que queda a disposición de la institución. Se desea incentivar la ejecución de proyectos a escala para que en nuevos proyectos el cálculo exclusivo de pórticos no sea una limitante.

Aún más recientemente, en el Instituto de Ingeniería de la universidad Nacional de México UNAM, durante el año 2021 Juárez, Rodríguez y Gómez (2021), presentan su artículo explicando un sistema de Ensayos sísmicos en mesa vibradora para simular los movimientos de un edificio de 5 niveles mediante un modelo en miniatura con aisladores de tipo doble péndulo de fricción, se eligió un conjunto de datos de aceleración útil que tiene un espectro de respuesta con propiedades similares a las obtenidas en esta región y que tiene en cuenta los límites de desplazamiento de la mesa vibradora. Los sismos en las costas del Pacífico, de acuerdo con la regionalización sísmica presentada en el

Manual de Diseño de Obras Civiles de Diseño por Sismo 2015 (MDOC DS, 2015), se encuentran dentro de la franja de alta sismicidad que corresponde a la zona D. Con base en lo anterior y dado que en México no se cuenta con registros de un sismo destructivo con dichas características, se empleó el sismo registrado en

A nivel colombiano se tiene, (Rodríguez & Fonseca, 2003), una década más tarde se presenta el proyecto de (Bernal N. , 2013), para la Universidad Militar Nueva Granada, consistente en la *automatización del Equipo de Simulación Sísmica Uniaxial del Laboratorio de Estructuras*”

De ese mismo proyecto los docentes directores, en unión con su estudiante presentan el artículo denominado “Evaluación del diseño de una pequeña mesa vibratoria para ensayos en ingeniería sismo-resistente. El escrito incluye los diseños mecánicos, neumáticos, estructurales, más el control y Recibir datos. Básicamente, se discute la funcionalidad y estructura de la mesa vibratoria, y también se describen los parámetros de diseño de la mesa vibratoria propuesta. Esta

evaluación incluye un análisis de la durabilidad y eficacia de los elementos mecánicos que la componen, entre ellos los rodamientos, placas, soportes y pernos (Carrillo, Berna, & Porras, 2013).

La Mesa de Vibración Elaborada consta de una plataforma de 1,1 m<sup>2</sup> capaz de soportar cargas de hasta 10 kN y operar a frecuencias de 2 Hz a 15 Hz. También está equipado con un control de estarte o encendido on-off en sistema de lazo abierto, el cual permite realizar pruebas a una aceleración máxima de 1 g, una velocidad de 40 m/s y un desplazamiento de 100 m.m.

Igualmente, Bernal, Aponte, & Carrillo (2015) publican el artículo de revisión crítica para analizar el sistemas de control para mesas vibratorias:

Mas recientemente Gómez, Leguizamon y Mahecha (2018) presentaron en Villavicencio su proyecto denominado: “*diseño y fabricación de mesa vibratoria para análisis de sismos, con fines académicos*”, donde se presentan los diseños mecánicos, estructurales, eléctricos y la sistematización necesaria para recolección de datos de una mesa vibratoria, utilizada en experimentos de simulación sísmica a escala. Es estereotipo de mesa vibratoria que movido por un actuador electrónico, conectado mediante un arduino al software se constituyó en una herramienta económica y versátil para realizar simulaciones a los movimientos presentados en sismos

### 3. Marco teórico

Desde el punto de vista de Alvares (2008) Una mesa vibratoria se puede considerar como un mecanismo que aplica vibraciones sobre un prototipo o maqueta a para poder simular y evaluar de los efectos que podría causar los terremotos sobre las estructuras reales y la capacidad de absorción que tienen distintos materiales y apoyos.

Dicho con las palabras de Puertas (2019), una mesa sísmica es un mecanismo para permitir la simulación de los efectos que se podrían presentar durante un movimiento sísmico en un prototipo de una construcción de obra civil a escala, que generalmente consta de un soporte fijo en su parte inferior, sobre el que se coloca un motor para producir vibraciones a una segunda placa móvil, sobre la cual se puede hacer ensayos con distintas estructuras para observar las características de sus movimientos y posibles deformaciones. Para evitar holguras en otras direcciones, la segunda placa se puede deslizar sobre guías que limitan los movimientos en esa dirección, moviéndose solidariamente con los componentes del motor que transmiten el movimiento (Puertas, 2019).

Para todos estos componentes, se tiene cuidado de asegurar que la fricción entre los componentes sea lo más baja posible y que no haya huecos para que los resultados simulados sean lo más similares posible a los terremotos reales.

Los principales distribuidores y proveedores de elementos para laboratorios estructurales a nivel mundial las comercializan como elementos mecánicos a escala o simuladores sísmicos para modelar posibles terremotos y determinar sus afectaciones en las estructuras (MTS, 2022).

El costo y tamaño dependen de los parámetros de construcción de las mesas, puesto que esta herramienta de aprendizaje práctico e investigativo para la dinámica estructural puede ser de distintas clases dependiendo de la magnitud de las cargas y de la dirección de los movimientos que se requiere simular (MTS, 2022)

Más técnicamente Lema (2021), las describe como elementos diseñados para permitir el ingreso de fuerzas que producen “señales a diferente escala y magnitud con rangos máximos y mínimos los cuales permitan estudiar los efectos de una estructura basados en frecuencia y amplitud” (p.5).

## **3.1 La historia de las Mesas vibratorias**

De acuerdo con lo expuesto por Gómez, Leguizamón y Mahecha (2018), su historia se remonta a los inicios del siglo XIX, en Japón, donde por la frecuencia de los movimientos sísmicos tienen la necesidad de diseñar herramientas experimentales que brindaran sustentos teóricos al comportamiento de las construcciones sometidas a estos movimientos telúricos.

De esta forma las primeras mesas consistían en una base sólida y una plataforma apoyada en rieles paralelos que se podía mover manualmente en una sola dirección mediante una rueda de manivela. No fue sino hasta el año de 1906, en la Universidad de Standford en Estados Unidos, cuando estas fuerzas manuales se reemplazaron por un motor eléctrico, que igualmente aportaban movimientos en una sola dirección hasta llegar al colapso de los modelos utilizados en los ensayos. Los avances en la materia continúan, siendo así como, hacia 1930 se presenta una mesa

vibratoria que consistió en la generación de impactos a un modelo reducido soportado en resortes, dichos impactos se generaban mediante un péndulo, permitiendo frecuencias vibratorias altas. Cuatro años más adelante Arthur Claude Ruge creó una mesa en la que los movimientos eran generados a la plataforma móvil mediante un dispositivo que contenía aceite para buscar retroalimentar el movimiento continuo tratando de simular lo que ocurre en un sismo real (Gómez, Leguizamón, & Mahecha, 2018)..

Para (Rodríguez & Fonseca, 2003), Los avances que incorporan fuerzas dinámicas se impulsan desde la segunda guerra mundial, cuando se requiere considerar variables como incrementos finitos en las fuerzas, el tiempo y la amplitud para el avance de estudios estructurales mediante técnicas analíticas de elementos finitos, donde las cargas dinámicas de interés para la ingeniería pueden abarcar desde las deformaciones elásticas inducidas por fuerzas eólicas o de tráfico, hasta explosiones e impactos causantes de los daños estructurales en las construcciones de la época.

Desafortunadamente los efectos de la guerra no son los únicos causantes de las catástrofes devastadoras para las estructuras y las vidas de sus habitantes, por lo que en el transcurso de la historia se ha tenido que dar un interés especial a las cargas producidas por los terremotos, siendo así cómo Precisión de movimiento, capacidad de carga y aceleración mejoradas en los modelos de simuladores, llegando a mesas que soportan un peso de 10000 KN, como lo hace notar Bernal, Aponte, & Carrillo (2015), quienes explican que para la década del 80, en Estados Unidos y Japón, los avances funcionales de estas mesas vibratorias de gran tamaño ya permitían

la simulación no lineal del comportamiento de estructuras a escala que implicaban controlar hasta seis grados de libertad.

De esta forma se ha llegado a los avances actuales, donde los simuladores sísmicos o mesas vibratorias se han constituido en importantes instrumentos para el estudio de movimientos telúricos y sus efectos en una estructura, con niveles avanzados en la precisión de la capacidad de carga que soporta un determinado diseño estructural.

## **3.2 Clases de mesas vibratorias**

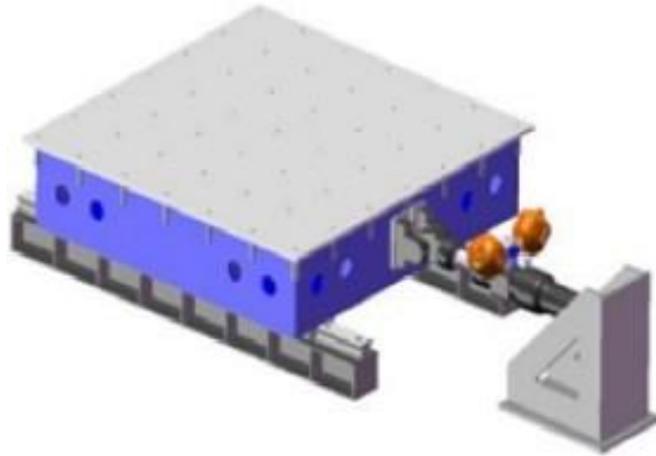
De acuerdo con este proveedor se tiene varias clases de mesas y se pueden ajustar a las necesidades de los clientes, de forma que la mayoría de diseños se hacen personalizados.

### **3.2.1 Uniaxiales**

Este tipo de mesas son las más básicas, comunes y de menor costo, por lo general son cuadradas, de 1.5 metros de lado, utilizadas en la realización de investigaciones sísmicas sencillas, fáciles de instalar e integrar en los espacios de un laboratorio. En la figura se muestra un ejemplo de este tipo de tabla.

**Figura 2.**

*Ejemplo de Mesa uniaxial o de 1 grado de libertad*



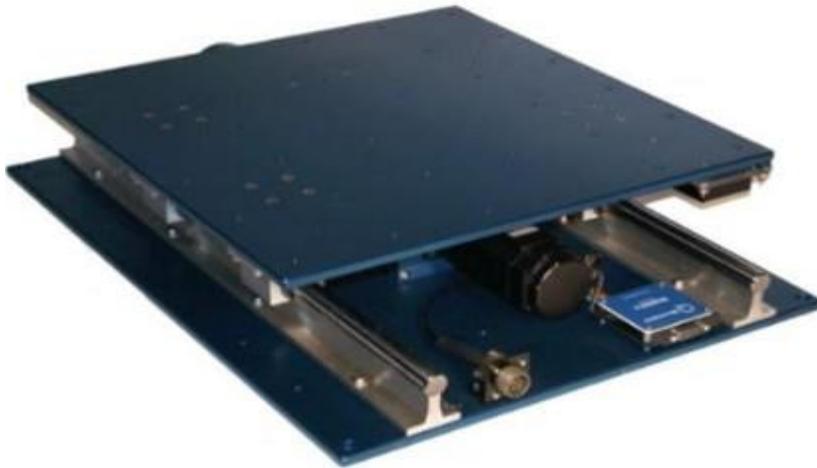
Fuente: (Alonso 2020)

### **3.2.2 biaxiales**

Igualmente se utilizan para cálculos y experimentos sencillos, pero con un mayor grado de movimiento que las uniaxiales. También suelen ser cuadradas con una longitud de sus lados de 3 metros, se utilizan en modelos de hasta 10 toneladas, que se instalan por lo general en fosos adecuados o incluir contrafuertes para los soportes, permiten amplios rangos de desplazamientos de hasta 5 centímetros de desplazamientos. En la figura se puede observar el modelo de mesa vibratoria con dos grados de libertad propuesto por (Puertas, 2019).

**Figura 3**

*Mesa de 2 grados de libertad*



Fuente: (Puertas, 2019).

### **3.2.3 Mesas de simulación multiaxial**

Con estos sistemas puedes aportar dinamismo a la base de la estructura, permitiendo reproducir los parámetros sísmicos con gran precisión.. De acuerdo con (Lantada, 2007), “Son mesas de 2 metros por 2 metros, que resisten hasta 2 toneladas de carga útil en cada una de sus direcciones o mesas de 4 y 5 metros DOF, utilizadas para simular sismos de hasta 6 grados de libertad con pesos hasta de 40 toneladas”

Por lo general, consisten en una plataforma rígida impulsada por una serie de actuadores eléctricos o hidráulicos controlados para reproducir trayectorias sísmicas específicas.

Actualmente se pueden encontrar mesas con uno, dos e incluso seis grados de libertad de

rotación. Estos sistemas no solo generan emulación sísmica sino que también presentan problemas de control, por ejemplo

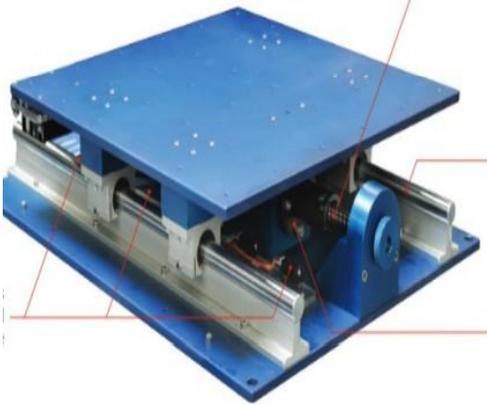
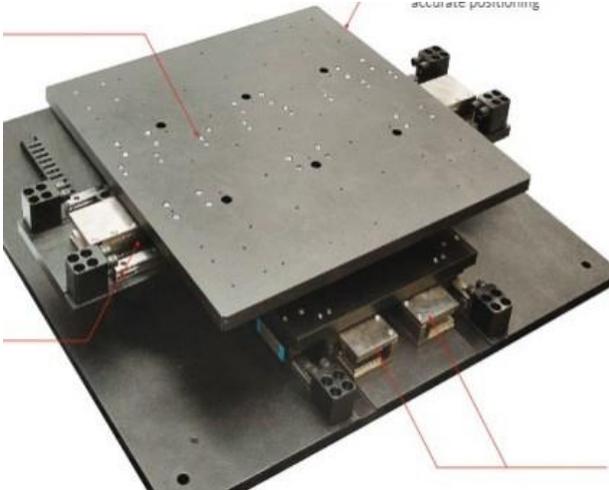
, la flexibilidad en los actuadores, combinada con la masa total a mover determinan una frecuencia crítica en los sistemas de control, esto significa que para frecuencias cercanas o superiores a dicha frecuencia crítica la respuesta presentara una distorsión importante en la amplitud, (Lantada, 2007).

### **3.2.4 Dispositivos comerciales**

En la siguiente figura se presentan las principales marcas de mesas vibratorias que se distribuyen en el mercado, según lo expuesto por Alonso (2020)

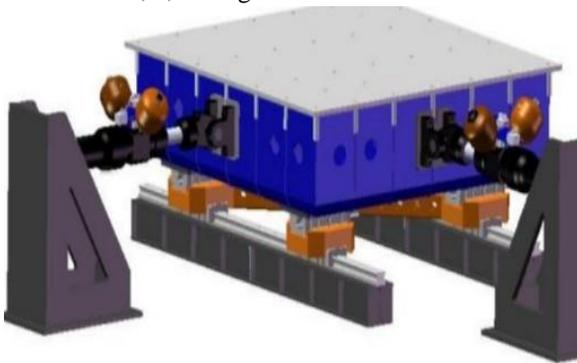
**Tabla 1**

Mesas vibratorias más comerciales.

Nombre, Fabricante y esquema	Características
<p data-bbox="321 506 685 533"><b>SHAKE TABLE II de QUANSER</b></p>  <p data-bbox="290 1024 714 1052">SHAKE TABLE III XY de QUANSER</p>	<p data-bbox="831 506 1346 1018">La marca se fundó en Canadá en 1989 en respuesta a la necesidad de plataformas de hardware optimizadas para la educación y la investigación en ingeniería. Actualmente, QUANSER es líder mundial en el diseño y producción de productos y laboratorios completos para la implementación de sistemas de control en áreas como la robótica o la mecatrónica. Más de 2500 universidades e institutos de renombre cuentan con laboratorios y soluciones de esta empresa. xx a su vez es la mesa sísmica más simple, tiene un grado de libertad, logra una aceleración de 2,5 g con una carga de 7,5 kg y tiene un recorrido de 152 mm (76 mm en cada sentido del mismo eje desde el centro).</p>
 <p data-bbox="355 1640 647 1667"><b>HEXAPOD de QUANSER</b></p>	<p data-bbox="831 1165 1346 1346">Tiene 2 grados de libertad en los ejes X e Y, no se puede desplazar hacia arriba (eje Z), entre sus características más destacables destaca una aceleración de 1 g en ambos ejes con masas de hasta 100 kg y algunas trayectorias. 216 mm en cada eje (108 mm en cada dirección).</p> <p data-bbox="831 1608 1346 1789">Gracias a sus 6 grados de libertad puede simular casi cualquier tipo de terremoto, soporta hasta 100 kg y alcanza una aceleración de 1 g con desplazamientos máximos de <math>\pm 74</math> mm en el eje X, <math>\pm 110</math> mm en el eje Y y <math>\pm 54</math> mm en el eje Z -eje.</p>



Mesa de 1, 2, 3 o 6 grados de libertad de VZERO



Vzero es una empresa que trabaja en varios campos de la tecnología, desde la ingeniería civil hasta la aeroespacial y las energías renovables.

También colabora con universidades y centros de investigación. Pero su verdadera fuerza radica en la producción de sistemas para el análisis estructural.

Fuente. (Alonso, 2020)

### 3.3 Principales componentes de una mesa vibratoria

Independientemente de su complejidad los elementos generales necesarios para la elaboración de un prototipo de mesa son los siguientes: Un agitador orbital para proveer el movimiento, plataforma como base para el sistema, sistema de soporte, Sistema de rodamientos lineales o multidireccionales, sistema de potencia en el interior del agitador orbital, Arduino o

plataforma electrónica de código abierto de hardware libre con un microcontrolador que recibe información del software, acelerómetro para transmisor de la información enviada desde el Arduino, sistemas de procesamiento de datos o software utilizado

## 3.4 Parámetros de diseño de una mesa vibratoria

De acuerdo con Lantada (2007), el atractivo de las mesas vibratorias, que las ha convertido en herramientas esenciales para la experimentación dentro de la ingeniería civil, está en la posibilidad de reproducir o emular grandes movimientos sísmicos en grandes estructuras a escala dentro de un laboratorio, las cuales son sometidas a movimientos, cuales son una de las herramientas principales.

Para Rodríguez y Fonseca (2003), la exactitud de estos modelos a pequeña escala complementados con las técnicas de análisis para las cargas dinámicas constituye un constante reto para la reducción de los efectos de los terremotos a nivel mundial. Según Puertas (2019), algunos parámetros de diseño iniciales a tener en cuenta son los siguientes:

- La mesa debe ser lo más ligera posible.
- La mesa debe estar lo más baja posible.
- Los motores deben poder cambiarse fácilmente, ya que los miembros del Departamento Estructural los utilizarán para otros proyectos.
- La mesa debe utilizar la carrera completa del motor lineal.

- La mesa tiene que tener las dimensiones apropiadas para la instalación de las maquetas de los edificios multiplanta en su placa superior
- Además, al tener que realizar esta instalación en la placa superior, de esta no puede sobresalir ningún elemento ya que entorpecería la colocación de dichas estructuras (p. 11)

De la misma forma, acuerdo con este mismo autor, algunos parámetros a considerar en el montaje y los controles de mando de las mesas son:

- La mesa tiene que tener la mínima holgura posible en la unión de las guías y los rodamientos.
- La mesa tiene que tener la mínima holgura posible en las uniones entre los motores y sus respectivas placas superiores móviles para evitar esfuerzos a flexión de los vástagos de los motores.
- Tamaño y dimensiones suficientes para albergar tantos elementos (botones, interruptores, potenciómetros, LEDs, conmutadores...) como comandos necesite.
- Tamaño y dimensiones suficientes para albergar todo el cableado en su interior.
- Forma ergonómica (Rodríguez & Fonseca, 2003, pág. 12).simulador.

## 4. Metodológico

### 4.1.1 Fase de Identificación

La primera fase del proyecto consiste en identificar o tener clarificado las características generales de la mesa. Como se ha mencionado anteriormente, por lo general debe haber un sistema para generar movimientos controlados al simulador sísmico y ese mismo sistema recibirá las señales del movimiento que se produce en las estructuras a escala, teniendo en cuenta que los movimientos y deformaciones en la estructura dependerá de sus características estructurales, como son, tipo de material, número de pisos, entreluces, altura total, áreas, cargas vivas, cargas muertas, tipo de juntas, etc.

De esta forma se establece un sistema mecánico que permita el movimiento de acuerdo a los grados de libertad y en general de los requerimientos preestablecidos, luego se instala un sistema de fuerzas eléctricas que provocan los movimientos. En la siguiente figura se muestra el flujograma de procesos que permite el desarrollo de la mesa.

Fuente: El autor con base en (Coral, y otros, 2010)

## 4.1.2 Fase de Diseño

Para el diseño de la mesa vibratoria se contempla la utilización de materiales de aluminio tomando como modelo de diseño una impresora 3D la cual facilita los parámetros de la elaboración del prototipo. Es decir que el movimiento es generado por motores que provocan el movimiento a un sistema apoyado en barras que se mueven paralelamente a la fuerza generada por el motor. Se diseñan dos sistemas para que se muevan bajo el mismo principio en direcciones perpendiculares

Los sistemas de fijación y de movimiento se contemplan por medio de perfiles, soportes y varillas y rodamientos lineales que facilitan el movimiento en las dos direcciones perpendiculares. Equivaldría a colocar el sistema de dos impresoras a moverse perpendicularmente que se mueven sobre una lámina fija.

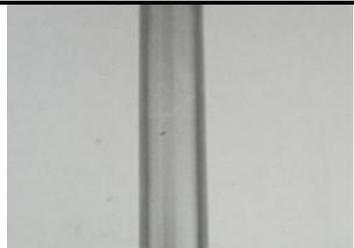
Para la elaboración del control o controlador de movimientos de la mesa vibratoria se contempla como base las conexiones de un controlador que emitirá las órdenes de movimientos a los motores paso a paso, los cuales pueden ser programados mediante un software y de esta manera dar movimiento a las dos camas que conforman la mesa vibratoria

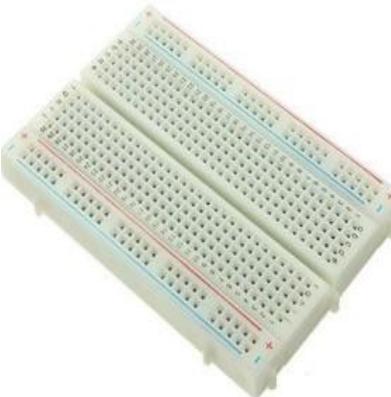
Se usa una protoboard como base para realizar las diferentes pruebas de conexiones para el circuito que se usará , en esta protoboard se conectarán dos controladores, a la fuente de poder y el cable que llevará la señal a la computadora y desde esta ordenar los movimientos a los motores nema17

En vista de que se los conceptos de electrónica son muy básicos nos apoyamos en las ayudas de medios tecnológicos para realizar un paso a paso de la manera de como conectar y probar nuestro circuito correctamente y se toma como referencia videos de electrónica (curso Arduino desde cero en español, 2018)

Para la elaboración de la mesa vibratoria de acuerdo al diseño establecido se utilizan los materiales de aluminio tomando como modelo la impresora 3D mencionada anteriormente. Se inicia con la compra de materiales que se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 2**  
Componentes mecánicos de la mesa vibratoria

Perfil 20* 20	Perfil 20*40 para la elaboración de la base	soporte fijo para varilla lisa SK 10
		
Varilla lisa de acero plata 12 mm	Rodamientos para guía lineal SBR 12UU	Lamina de aluminio de 50*50 de 5 mm
		

Soportes motor paso a paso nema 17	Motor de paso a paso nema 17	varilla roscada trapezoidal 8*300 mm 4 hilos
		
Soportes plásticos para tuerca de varilla	Proto board pequeña	Tornillos
		
Acoplamiento elástico 5*8mm	Tuerca M5 en T para perfil de aluminio	
		

Fuente: El autor

Los costos de los materiales estructurales para el presente proyecto corresponden a los precios reales más bajos para los materiales de la calidad requerida y se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 3**  
Costos de materiales estructurales

CAN T	PRODUCTO	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Perfil de aluminio 20*60 MM T-Slot	\$ 70,000	\$ 70,000
1	Perfil de aluminio 20*40 MM T-Slot	\$ 60,000	\$ 60,000
1	Perfil de aluminio 20*20 MM T-Slot	\$ 25,000	\$ 25,000
2	Lamina de aluminio de 40*40 de 5 mm	\$ 50,000	\$ 100,000
1	20 cm de tubo aluminio	\$ 2,500	\$ 2,500
1	Varilla lisa de acero plata 12 mm	\$ 50,000	\$ 50,000
4	Soporte fijo para varilla lisa SK 10	\$ 8,750	\$ 35,000
2	Varilla roscada trapezoidal 8*300 mm 4 hilos	\$ 25,000	\$ 50,000
2	Soportes plásticos para tuerca de varilla roscada	\$ 13,000	\$ 26,000
2	Rodamientos para guía lineal SBR 12UU	\$ 20,000	\$ 40,000
1	varilla lisa 6 mm	\$ 64,000	\$ 64,000
2	Chumaceras con rodamiento 8mm KP008	\$ 8,500	\$ 17,000
2	Soportes motor paso a paso nema 17	\$ 12,000	\$ 24,000
2	soportes fijo para varilla lisa 6mm	\$ 8,750	\$ 35,000
2	Motores paso a paso Nema 17	\$ 25,000	\$ 50,000
50	Tuercas M5 en T para perfil de aluminio	\$ 2,300	\$ 36,800
8	Tornillos 6 mm pavonado Bristol	\$ 100	\$ 800
30	Tornillos 5 mm acero inox	\$ 700	\$ 21,000
	<b>Total de materiales estructurales</b>		\$ 798,300

Fuente: El autor

Para la elaboración de mesa vibratoria se utilizan los materiales seleccionados y se toma como modelo la impresora 3D como se ha contemplado en el diseño. Se inicia con perfiles de 20\* 20 Cm y de 20\*40 para la elaboración de la base.

Estos perfiles se perforan y se incorporan los soportes varillas y rodamientos, tal manera que pasen tornillos 6 mm los cuales conectaron al perfil 20\*40 y a estos a su vez se le hacen rosca para que el tornillo se ajuste, se usa un juego de machos para la elaboración de las roscas y de esta manera se fijan los perfiles obteniendo la base de la mesa.

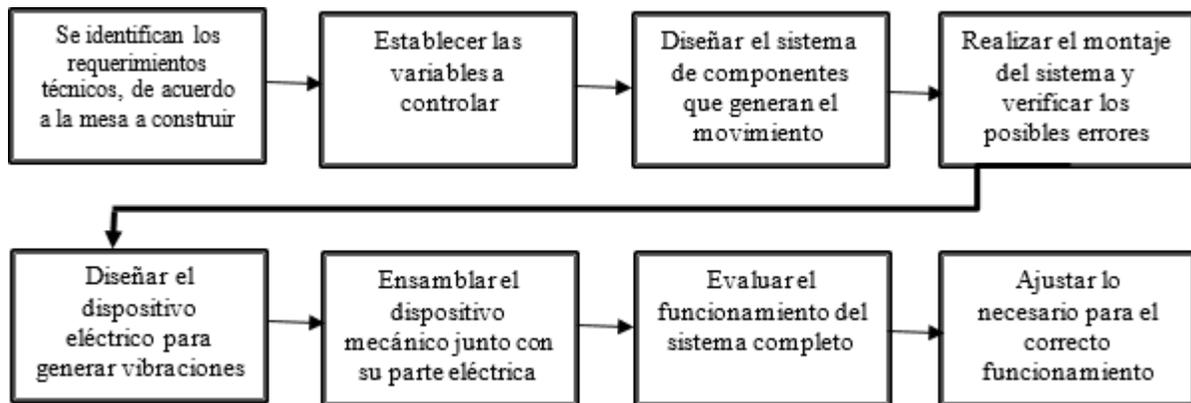
Se usan 4 soportes fijos para varilla lisa SK 10 los cuales se fijarán a la base de la mesa con tornillos 5 mm acero inoxidable con tuerca T de 5 mm, por estos soportes se pasan 2 varillas lisas de acero plata 12 mm que sirven de soporte y deslizar por ellas los rodamientos y la guía lineal SBR 12UU de la primera cama la cual será sujeta por una platina de aluminio. Se fijará el motor de paso a paso nema 17.

Al motor se le adaptara un acople elástico 5\*8mm que sujeta la varilla roscada trapezoidal 8\*300 mm 4 hilos, esta a su vez tiene un soporte plástico que conecta con una chumacera con rodamiento 8mm KP008 que permite el movimiento sobre un eje.

La construcción del sistema hasta este momento se puede apreciar en la siguiente figura

***Figura SEQ Figura\_ \\* ARABIC 4***

*Identificación de procesos necesarios para el desarrollo de la mesa vibratoria*



*Fuente: El autor con base en (Coral, y otros, 2010)*

**Figura 5**

*Construcción del sistema que permite el movimiento en un eje*



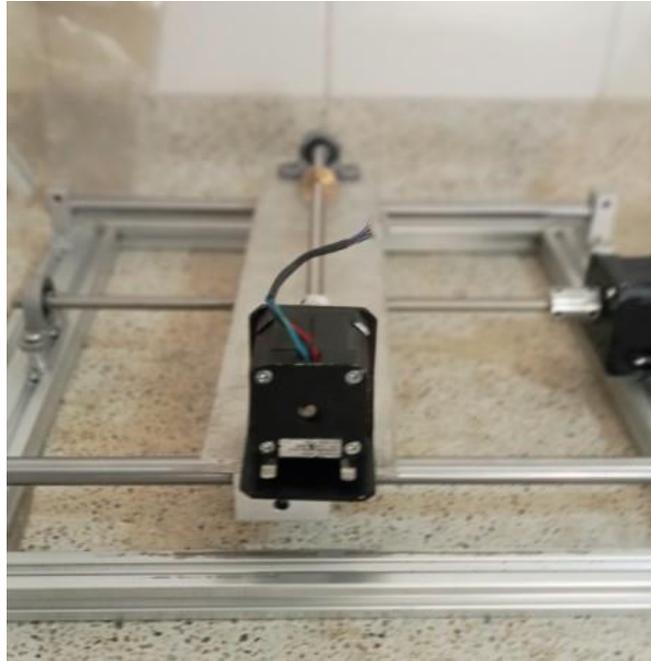
Fuente: El autor

Para la segunda cama que proporciona un segundo movimiento en la otra dirección se utiliza la misma metodología de la primera cama. se usa como base la primera cama y sobre esta se da al construcción de la otra cama u eje desarrollando básicamente la misma metodología empleada en la primera parte o base de la mesa vibratoria

Al igual que en la fase uno de la construcción también se usará un motor de paso a paso nema 17 para obtener los movimientos en la cama final de la mesa vibratoria y de esta manera obtener los resultados esperados. En las siguientes figuras se observa el proceso de construcción cuando se inicia el montaje de la segunda plataforma y el estado final de la mesa. .

**Figura 6.**

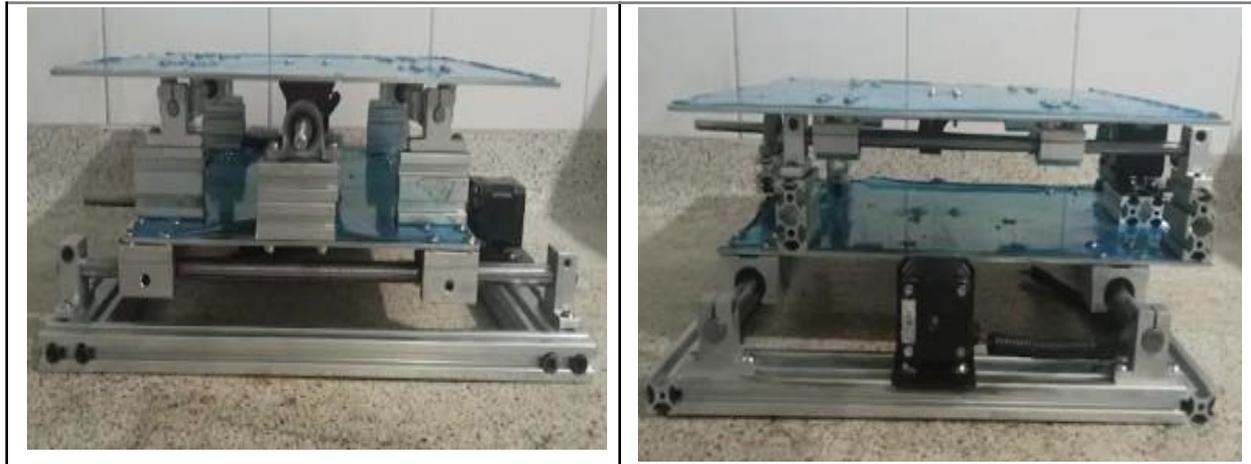
*Inicio de montaje del sistema que permite el movimiento en la segunda dirección*



Fuente: El autor

**Figura 7**

*Estado final de la construcción estructural de la mesa*



Fuente: El autor

Después de haber ensamblado la parte estructural de la mesa y comprobar su posible movimiento mecánicamente se procede a reemplazar la fuerza generadora de movimiento por el sistema eléctrico que funciona principalmente con los motores que provocan el movimiento con 2 grados de libertad. En la siguiente tabla se pueden observar los elementos que componen el sistema eléctrico diseñado para garantizar el movimiento en dos direcciones perpendiculares

**Tabla 4**

Principales componentes del sistema eléctrico

<p>Motor de paso a paso nema 17</p>	<p>Arduino uno</p>	<p>Fuente de voltaje - Adaptador 12v -2A DC</p>
		
<p>Yack para adaptador 12v -2A D.C</p>	<p>DRV 8825 motor paso a paso</p>	<p>Placa cnc shield</p>
		

Fuente: El autor

El costo de los materiales eléctricos para la elaboración de la mesa vibratoria

**Tabla 5**  
Costo de materiales eléctricos

CAN T	PRODUCTO	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	arduino uno	\$ 75,000	\$ 75,000
1	Fuente de voltaje - Adaptador 12v -2A DC	\$ 12,000	\$ 12,000
2	DRV 8825 motor paso a paso	\$ 14,500	\$ 29,000
1	Protoboard pequeña	\$ 5,000	\$ 5,000
2	Condensadores	\$ 300	\$ 600
1	cnc shield	\$ 8,000	\$ 8,000
1	Yack para adaptador 12v -2A D.C	\$ 2,000	\$ 2,000
	<b>Total eléctricos</b>		<b>\$ 128,600</b>

Fuente: El autor

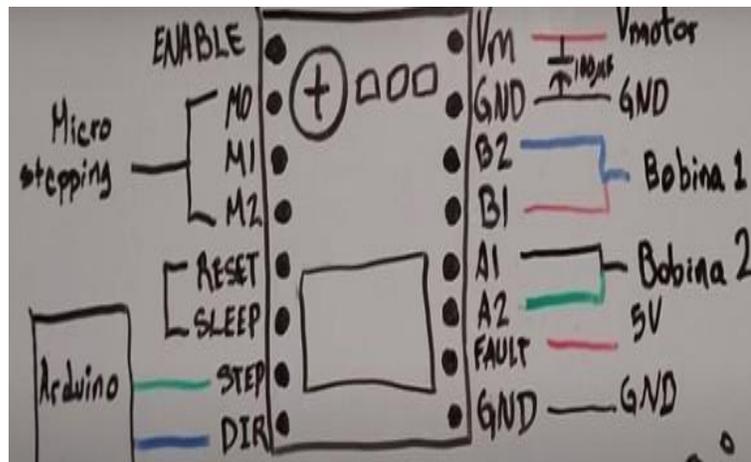
Para la elaboración del control o controlador de movimientos de la mesa vibratoria se contempla como base los principios de una placa de Arduino uno y una CNC shield que nos permitirá hacer las respectivas conexiones para implementar los motores paso a paso, los cuales tendrán unos drivers que los controlaran respectivamente. Estos drivers o controladores estarán conectados a la placa cnc shield y está a su vez a la placa de Arduino, uno la cual tendrá una alimentación de corriente y de una señal que va a la computadora para de esta manera usar un software y desde allí y por medio de la generación de un código que dará la orden a los motores nema 17 a que actúen en nuestra mesa vibratoria.

Desde este código se podrán realizar modificaciones para así mismo hacer variaciones en los movimientos de nuestro prototipo

Para la elaboración del control o controlador de movimientos de la mesa vibratoria se tiene como base las conexiones de un controlador o driver DRV 8825 que emite las ordenes de movimientos a los motores paso a paso nema17, que son programados mediante un software y de esta manera se da movimiento a las dos camas que conforman la mesa vibratoria

**Figura 8.**

*Esquema de la conformación de pines del driver DRV 8825*



Fuente: El autor

Con conectores o yumpers y siguiendo la recomendaciones se hacen las conexiones pertinentes las cuales permiten que el controlador o DRV 8825 se conecte a un arduino y de esta forma permitir que por medio de software (ARDUINO IDE 2.1.0) se programen los movimientos de los motores paso a paso nema 17 este circuito estará alimentado por una fuente de voltaje - Adaptador 12v -2A DC .

para esta parte del diseño del control se toma como referencia el paso a paso de otro video (el profe garcía, 2020)

para la obtención del código que usaremos en el software (ARDUINO IDE 2.1.0) usamos un código de programación sugerido por el profe garcía en su video de prueba rápida para motores paso a paso (*CNC / Categorías de los productos / Dinastía Tecnológica, s. f.*)

Basándonos en las prácticas sugeridas y realizando diferentes estudios en cuanto a la programación del software arduino uno IDE y con la ayuda del profesor Juan valderrama y con la supervisión del ingeniero Edison Osorio se logra obtener código numérico para suplir el factor movimiento de los motores y de esta manera lograr una respuesta positiva para implementar los movimientos requeridos por los motores para que nuestra mesa vibratoria quede funcionalmente completa en este código se podrán implementar diferentes cifras que ayudará a variar los movimientos y de esta manera poder obtener mejores resultados en cuanto a variación de movimientos y velocidad se desee para su uso didáctico y obtener los movimientos más parecidos a los terremotos y de esta manera nuestra mesa sea de gran utilidad

Tabla 6

```
int Xdelay = 500; //Velocidad motor X. Menor numero el giro es mas rapido
int Ydelay = 1000; //Velocidad motor Y. Menor numero el giro es mas rapido

int Xdelay = 500; // = variacion de velocidad para el motor "X"
int Ydelay = 1000; // = variacion de velocidad para el motor "Y"

1 vuelta = 800 pulsos
1/2 vuelta = 400 pulsos
1/4 de vuelta = 200 pulsos

int XDirChange = 100; //Tiempo en milisegundos antes de cambiar dirección del motor X
int YDirChange = 100; //Tiempo en milisegundos antes de cambiar dirección del motor Y

int XDirChange = 100; // = de pulsos para cambiar de direccion en el eje "X"
int YDirChange = 100; // = de pulsos para cambiar de direccion en el eje "Y"
```

Fuente: Profesor Juan valderrama

## 5. Resultados y discusión

Como se puede observar en el proceso de construcción, la mesa queda habilitada para colocar sobre ella los modelos a escala o prototipos y aplicar sobre ellos los movimientos, que simulan los producidos por eventos sísmicos posibles en las estructuras reales que se están modelando. El resultado permite el movimiento en dos direcciones perpendiculares, lo que en el medio de diseño estructural que se relaciona con los simuladores sísmicos se conoce como dos grados de libertad.

El ejercicio eficiente de simulaciones se espera el comportamiento ejemplar del software, puesto que este tiene una importancia determinante en el funcionamiento exitoso de este simulador sísmico, la articulación del software al simulador puede permitir los controles necesarios para que los actuadores en las dos direcciones actúen de forma similar a los movimientos telúricos y como es de esperarse los datos arrojados permitan un movimiento en tiempos reales que constituyen el modelamiento eficiente.

Otro aspecto a tener en cuenta para el ejercicio eficiente de simulación es la capacidad del sistema, puesto que el peso que soportan los actuadores y los componentes del sistema no deben ser sobrepasados. En el proyecto no se hace un estudio profundo de este aspecto, por ser un sistema de bajo costo, pero consecuentemente las escalas de los modelos deben ser tales que se garantice la estabilidad de todos sus componentes.

Por lo anterior, las explicaciones teóricas de las resistencias de cada material y su peso específico son variables importantes a considerar en los resultados de las simulaciones que los estudiantes realicen con el sistema entregado, las especificaciones de diseño, el cumplimiento de la norma sismorresistente, los sistemas constructivos, los anclajes, las juntas y las características

constructivas son aspectos que se deben reforzar cuando un modelo evidencie riesgo ante la simulación de fuerzas aproximadas a las que se producen durante un evento sísmico. Estas son consideraciones conceptuales que se refuerzan mediante los ejercicios prácticos, como los que se pueden hacer con el sistema presentado en este proyecto.

## 6. Conclusiones.

La mesa vibratoria con movimientos en dos direcciones perpendiculares que se diseña y se desarrolla en el presente proyecto ha cumplido con los objetivos planteados cumple con todos los objetivos planteados. Inicialmente se logra la construcción a un costo realmente bajo de \$926.900 pesos.

Con este dinero se logra poner a la disposición de la universidad Antonio Nariño un sistema totalmente funcional que puede ser utilizado para la simulación de movimientos sísmicos sobre modelos de construcciones a escala.

Mediante la aplicación de la conceptualización teórica que se ha logrado en de desarrollo del proyecto se puede inducir a los estudiantes de estructuras para que puedan utilizar la mesa vibratoria en ensayos de simulación de movimientos sísmicos dando más sentido práctico a los conceptos teóricos que se ven durante la carrera de ingeniería civil.

De esta forma se ha podido dar solución a la falta de un sistema de simulación de movimientos para diseños estructurales sismorresistentes en el departamento de estructuras de la Universidad Antonio Nariño de Bogotá. Esta mesa servirá como un instrumento experimental de fines académicos, donde se puedan realizar ensayos sobre modelos de edificaciones verdaderas, pero ensayadas a escalas reducidas que no sobrepasen su capacidad de carga,

La utilización del sistema de impresoras en 3D constituyó el desarrollo de un proceso novedoso empleando el material preciso y fundamental para lograr los movimientos simultáneos en las dos direcciones

De esta forma se pudo lograr un sistema para modelar movimientos sísmicos en dos direcciones con la capacidad y funcionalidad que se requieren en el departamento de estructuras, para aportar datos utilizados en la medición y traducción de fuerzas sísmicas.

El resultado esperado es el funcionamiento eficiente de la mesa y su utilización por parte del cuerpo de docentes y de los estudiantes en sus prácticas de laboratorio de estructuras.

Se espera mediante el prototipo fabricado y dispuesto dentro de las instalaciones del laboratorio de la Universidad Antonio Nariño poder simular eficientemente los movimientos sísmicos que se pueden dar consecuentemente con las zonas de amenaza para donde se requiere el estudio

Para mejorar el sistema se espera poder calibrar y aplicar fuerzas de movimiento vibratorios similares a las que ocurrirían en eventos sísmicos. De esta forma repetir las simulaciones y comparar el comportamiento de materiales y distintas formas de refuerzos estructurales

## 7. referencias bibliográficas

- Alonso, L. (2020). *Diseño y prototipado de una mesa sísmica de dos grados de libertad con ambos actuadores fijos*. Universidad De Valladolid, Escuela De Ingenierias Industriales. Valladolid, España: Construcciones Arquitectónicas, Ingeniería del Terreno, Mecánica de los medios Continuos y Teoría de Estructuras .
- Álvarez, J. (2008). *Diseño, construcción, instalación e implementación de mesa vibratoria para la generación de sismos en estructuras a escala*. Universidad tecnológica de Moterrey , División de ingeniería y arquitectura. Moterrey México: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores De Moterrey.
- Álvarez, J. (2008). *Diseño, construcción, instalación e implementación de mesa vibratoria para la generación de sismos en estructuras a escala*. Instituto Tecnológico Y De Estudios Superiores De, División De Ingeniería Y Arquitectura Programa De Graduados En ingeniería. Monterrey México: Campus Monterrey.  
doi:[https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/568591/DocsTec\\_6365.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/568591/DocsTec_6365.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ayllón, D. (2017). *Implementación de Mesa Vibradora Unidireccional para Simulación Sísmica y Experimentación con Modelos Reducidos*. Tacna – Perú: Universidad Privada De Tacna, Escuela de postgrado.  
doi:[https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/501/Ayllon\\_Lopez\\_Diana.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/501/Ayllon_Lopez_Diana.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Bazán, E., & Meli, R. (1987). *Manual de diseño sísmico de edificios*. México: Limusa.
- Bernal, M., Aponte, J., & Carrillo, J. (2015). Control systems for shake tables: A critical review. *Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte*, 33(2), 331–355.  
doi:<https://doi.org/10.14482/inde.33.2.5865>
- Bernal, N. (2013). *Automatización del Equipo de Simulación Sísmica Uniaxial del Laboratorio Estructuras*. Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de ingeniería. Bogotá D.C: Ingeniería Mecatrónica, Universidad Militar Nueva Granada.  
doi:[https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/10964/Informe%20de%20investigaci%c3%b3n\\_Vfinal.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/10964/Informe%20de%20investigaci%c3%b3n_Vfinal.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Carrillo, W., Bernal, N., & Porras, P. (Enero-Junio de 2013). Evaluación del diseño de una pequeña mesa vibratoria para ensayos en ingeniería sísmo-resistente. *Dialnet.unirioja.es*, 23(1), 89-106. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4747307>
- Coral, H., Ramírez, J., Rosero, E., Thomson, P., Gómez, D., & Marulanda, J. (2010). Diseño, construcción y control de un simulador sísmico uniaxial tele-operable para modelos estructurales a pequeña escala. *Ingeniería y Competitividad*, 12(2), 95 - 115.  
doi:[https://www.researchgate.net/publication/258566042\\_Diseño\\_construcción\\_y\\_control\\_de\\_un\\_simulador\\_sísmico\\_uniaxial\\_tele-operable\\_para\\_modelos\\_estructurales\\_a\\_pequeña\\_escal](https://www.researchgate.net/publication/258566042_Diseño_construcción_y_control_de_un_simulador_sísmico_uniaxial_tele-operable_para_modelos_estructurales_a_pequeña_escal)
- Gómez, C., Leguizamón, C., & Mahecha, D. (2018). *Diseño y fabricación de mesa vibratoria para análisis de sismos con fines académicos*. Villavicencio: Universidad Cooperativa De

Colombia, Facultad De Ingeniería Civil.

doi:<https://repository.ucc.edu.co/items/08b025f2-784b-4a12-9777-448c680e9162>

Hernández, R. (2003). capítulo 7, Diseños de investigación. En R. Hernández Sampieri, *Metodología de la Investigación*. México: McGrawHill.

Juárez, H., Rodríguez, M., & Gómez, F. (2021). Ensayes sísmicos en mesa vibradora de un edificio miniatura de 5 niveles con aisladores de base. *Scielo, Ingeniería sísmica*(105), 23.  
doi:<https://www.scielo.org.mx/pdf/ris/n105/0185-092X-ris-105-1.pdf>

Kleber, R. (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, Ecuador: Universidad Técnica De Ambato, Facultad De Ingeniería.  
doi:<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23043/1/Tesis%201016%20-%20Romero%20N%c3%ba%c3%b1ez%20Kleber%20Enrique.pdf>

Lantada, N. (2007). *Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS. Aplicación a la ciudad de Barcelona*. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona: Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica.  
doi:<http://www.tdx.cat/handle/10803/6259>

Latchman, S. (2009). *Modeling catastrophes*. Vol. 53: Plus magazine.

Lehman, A., Verri, A., Bertero, A., & Muñoz, S. (2012). *Trabajos presentados en las jornadas argentinas de ingeniería estructural*. Asociación de ingenieros estructurales. Buenos

Aires, Argentina: Laboratorio de Dinámica de Estructuras - Facultad de Ingeniería –  
UBA. Obtenido de CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA  
MESA VIBRADORA PARA EJECUCIÓN DE ENSAYOS DINÁMICOS:  
[https://jornadasaie.org.ar/jornadas-aie-antteriores/2012/contenidos/trabajo\\_062.html](https://jornadasaie.org.ar/jornadas-aie-antteriores/2012/contenidos/trabajo_062.html)

Lema, L. (2021). *Emulación de los movimientos sísmicos para determinar aceleraciones, velocidades y desplazamientos en una estructura prototipo con el uso de una mesa vibratoria* ., Universidad Católica de Cuenca, Ingeniería, Industria y Construcción, Ingeniería Electrónica. Azogues, - Ecuador: Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción.  
  
doi:<https://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/ucacue/11961/1/LIZANDRO%20ANTONIO%20LEMA%20SANANGO.pdf>

Mateus, J., & Luna, J. (2014). *Manual para la gestión del riesgo terremotos en la zona IV De Bogotá D.C.* Bogotá D.C.: Universidad Católica De Colombia, Facultad De Ingeniería, Programa De Ingeniería Civil.

MTS. (2022). *Simuladores sísmicos (mesas vibratorias)*. Obtenido de COMPARACIÓN DE MODELOS: <https://www.mts.com/la/products/civil-engineering/seismic-simulators>

NRS-10, Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente. NSR-10, (Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial 2010).

Okumura, V., & Uriol, L. (2018). *Ensayo de pórtico a escala en una mesa vibratoria de un grado de libertad*. Trujillo, Perú: Universidad Privada Antenor Orrego, Escuela profesional de

ingeniería civil.

doi:[http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/4441/1/REP\\_ING.CIVIL\\_VANIA.OKUMURA\\_LUIS.URIOL\\_ENSAYO.P%c3%93RTICO.ESCALA.MESA.VIBRATORIA.GRADO.LIBERTAD.pdf](http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/4441/1/REP_ING.CIVIL_VANIA.OKUMURA_LUIS.URIOL_ENSAYO.P%c3%93RTICO.ESCALA.MESA.VIBRATORIA.GRADO.LIBERTAD.pdf)

Puertas, R. (2019). *Diseño y prototipado de una mesa sísmica de dos grados de libertad*.

Valladolid: Universidad De Valladolid, Escuela De Ingenierías Industriales.

doi:<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/36752/TFG-I-1117.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rodriguez, A., & Fonseca, L. (2003). *Alternativa de rehabilitación de edificaciones en adobe y tapia pisada con base en modelos a escala reducida ensayados en mesa vibratoria*.

Bogotá D.C.: Universidad de Los andes, departamento de Ingeniería civil.

Sarria, A. (1995). *Ingeniería sísmica*. Bogotá, Colombia: Ediciones Uniandes y Ecoe Ediciones.

Servicio Geológico Colombiano. (sf). *Sismicidad histórica de Colombia*, . Obtenido de Resumen del Sismo de 1999/01/25:

<https://sish.sgc.gov.co/visor/sesionServlet?metodo=irAInfoDetallada&idSismo=62>

Statita. (Marzo de 2023). *Número de terremotos de magnitud igual o superior a 5 puntos en la escala Richter registrados a nivel mundial desde el año 2000 hasta 2021*. Obtenido de [es.statista.com](https://es.statista.com):

<https://es.statista.com/estadisticas/635155/numero-de-terremotos-registrados-a-nivel-mundial>

Trujillo, C., Ospina, R., & Parra, H. (2014). *Los terremotos: una amenaza natural latente.*

Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira Colombia. Obtenido de

URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917249056>

Wallemacq, P., Below, R., & McLean, D. (2018). Economic Losses, Poverty and Disasters

1998-2017. (UNISRD, Ed.) *Centre for Research on the epidemiology of disasters Cred.*

doi:[https://www.preventionweb.net/files/61119\\_credeconomiclosses.pdf](https://www.preventionweb.net/files/61119_credeconomiclosses.pdf)

curso Arduino desde cero en español. (03 de febrero de 2018). arduino desde cero capitulo

33{videos}. you tube. Obtenido de

curso Arduino desde cero en español. (03 de febrero de 2018). arduino desde cero

capitulo 33{videos}. you tube. Obtenido de

[https://www.youtube.com/watch?v=u0SG681s8aA&list=PLkinQ3NFTPnY1eNyL](https://www.youtube.com/watch?v=u0SG681s8aA&list=PLkinQ3NFTPnY1eNyLDGi547gkVui1vyn2&index=33)

[DGi547gkVui1vyn2&index=33](https://www.youtube.com/watch?v=u0SG681s8aA&list=PLkinQ3NFTPnY1eNyLDGi547gkVui1vyn2&index=33)

*CNC | Categorías de los productos | Dinastía Tecnológica.* (s. f.).

<https://dinastiatecnologica.com/categoria-producto/cnc/>