

DESARROLLO DE UNA MESA VIBRADORA PARA LA SIMULACIÓN DE SISMOS.

José Carlos Peralta Álvarez

16266766@uagro.mx

7451202087

Dania Montiel Hernández

11226580@uagro.mx

7471759527

Humberto Cazares Hernández

13585156@uagro.mx

7471229732

Gustavo Adolfo Alonso Silverio

gsilverio@uagro.mx

7471122838

Resumen. En este artículo presentamos un prototipo de una mesa vibradora, desde el diseño, así como la construcción, programación y ejecución de la misma, el objetivo del proyecto es que la mesa vibradora sea utilizada para probar la resistencia de estructuras a pequeña escala en la facultad de Ingeniería, ya que no se cuenta con una. Todo esto haciendo uso del microcontrolador ESP32 y el servidor web que este posee, en el cual se monta un sitio web para controlar las funciones de los motores, mandando señales desde el sitio web al ESP32 para controlar las dos interfaces BTS7960 (las cuales están siendo alimentadas por dos fuentes de alimentación independientes) y que estas a su vez activen los dos motores que se encargaran de mover las plataformas de la mesa vibradora.

La mesa vibradora servirá a los estudiantes de la facultad como una herramienta didáctica para lograr una formación académica más completa, que les permita ser profesionales mejor capacitados, que puedan brindar mejores soluciones a los problemas que se puedan presentar a la hora de realizar construcciones reales y lograr así una reducción considerable de daños ocasionados por sismos.

Palabras clave: Sismos, simulación, estructuras a pequeña escala, mesa vibradora, servidor web, microcontrolador ESP32, BTS7960.

Abstract. In this article we present a prototype of a vibrating table, starting from the design, as well as the construction, programming and execution of the system, the objective of the project is that the vibrating table can be used to test the resistance of small-scale structures in the faculty of Engineering because they do not count with one. All this making use of the

ESP32 microcontroller and the web server that it includes, in which a website is mounted to control the functions of the motors, sending signals from the website to the ESP32 to control the two BTS7960 interfaces (which are being fed by two independent power supplies) and that these activate the two motors that will be in charge of moving the platforms of the vibrating table.

The vibrating table will be useful for the students of the faculty as a didactic tool to achieve a more complete academic training, which allows them to be better trained professionals, who can provide better solutions to the problems that may arise for real constructions and thus achieve a considerable reduction in damage caused by earthquakes.

Key words: Earthquake, simulation, small scale structures, vibrating table, web server, ESP32 microcontroller, BTS7960.

Introducción

Los sismos se encuentran entre los fenómenos naturales que causan más daño en los seres humanos (González H., 2020), como podemos recordar a lo largo de los años hemos sido testigos de las grandes tragedias causadas por los sismos en todo el mundo, lo más lamentable es el gran número de pérdidas de vidas que han dejado huella en la historia de la humanidad. El sismo más grande que se ha sido registrado en el mundo ocurrió en Chile en 1960. Tuvo una magnitud de 9.5. El sismo que ha causado más muertes en el presente siglo fue el ocurrido en Sumatra en 2004, de magnitud de 9.1, el cual causó un gran tsunami, resultando en la muerte de cerca de 228 mil personas en 14 diferentes países (Tavera, H. ,2008). Sumado a esto, los daños estructurales a viviendas han dejado a muchas personas desprotegidas, escuelas destruidas, hospitales fuera de servicio y pérdidas económicas muy grandes.

Cada año, los diferentes observatorios sismológicos determinan los parámetros hipocentrales de un gran número de sismos con epicentros en las zonas sísmicas que caracterizan a cada país (Tavera, H. ,2008). El conocimiento permite a los seres humanos crear soluciones para aminorar los daños causados por los sismos, gracias al estudio que han realizado científicos a lo largo de la historia ahora conocemos que existen lugares con mayor actividad sísmica.

Lo que nos permite poder prepararnos ante los sismos ya que México se encuentra en una zona de alta sismicidad debido a la interacción de cinco placas tectónicas: La placa de Norteamérica, placa de Cocos, placa del Pacífico, la placa de Rivera y la placa del Caribe (SSN ,2021).

No olvidemos que a nivel nacional el estado de Guerrero es conocido por los sismos que han tenido epicentros en sus regiones y que han afectado sobre todo a zonas urbanas del mismo estado así como a los estados vecinos como Oaxaca, llegando incluso a afectar a la Ciudad de México.

Guerrero es un estado que registra alrededor del 25% de la sismicidad que se presenta en nuestro país. Esto se debe a la entrada de la placa de Cocos (placa oceánica) por debajo de la placa de Norteamérica (placa continental) (SSN, 2021).

Sismos importantes en Guerrero, por mencionar algunos, son el sismo del Ángel del 28 de julio de 1957 de magnitud 7.5, y el sismo de Petatlán del 14 de marzo de 1979 con magnitud de 7.6. Ambos generaron daños importantes en regiones cercanas al epicentro y en la Ciudad de México (SSN, 2021).

La urbanización constante en el estado incrementa los riesgos catastróficos a la población frente a sismos de grandes magnitudes y el peligro aumenta ya que no se pueden anticipar los sismos como con otros fenómenos naturales así que lo hace una experiencia más traumática para un gran número de personas.

Estudios en el campo de sismología realizados por investigadores, tanto nacionales

como extranjeros, han determinado que la Brecha de Guerrero es la región en donde se esperaría que ocurriera un sismo de magnitud considerable (SSN, 2021). Con la información que proporciona el Sistema Sismológico Nacional cada año podemos llegar a la conclusión de que se necesita mejorar en el área de las construcciones a nivel nacional ya que las construcciones no están preparadas para los sismos.

Sabemos que los sismos no pueden ser evitados pero si puede lograrse una reducción considerable de los daños que causan, específicamente en el estado de Guerrero que es uno de los más activos sísmicamente del país ya que como lo comenta De León(2018), la naturaleza transversal y multidisciplinaria del problema implica que ha crecido la importancia de la comunicación y el entendimiento con otras ramas del proceso y la industria de la construcción, remarcando la necesidad de alianzas y colaboraciones en los aspectos de planeación, diseño, construcción, supervisión y mantenimiento de construcciones.

Para esto la importancia de iniciar con equipamiento necesario para formar a los futuros ingenieros civiles, de esta manera podrán desarrollar eficazmente sus habilidades.

Actualmente se cuenta con tecnología que ha permitido desarrollar equipos que cumplan con la función de simular sismos lo que significa un gran aporte al mundo, de esta manera es posible mejorar las condiciones de diseño y construcción de manera que puedan realizarse pruebas basadas en datos reales.

Antecedentes de mesas vibratoras

Las primeras mesas vibratoras que se desarrollaron a finales del siglo XIX, generaban el movimiento de forma manual por medio de una rueda con manivela y una plataforma móvil sobre rieles. Con el paso de los años se han mejorado las capacidades de las mesas vibratoras haciéndolas más eficientes, brindando así un gran apoyo al área de la construcción y con esto lograr una mayor seguridad a las personas.

Se han diseñado y fabricado diversas mesas vibratoras en el mundo, de diferente tamaño y capacidades, habiendo así mesas más avanzadas tecnológicamente y que soporten un mayor peso que otras, un ejemplo es la primera mesa vibradora de gran tamaño que fue creada (California, Berkeley en 1972). La mesa fue construida con

capacidad de movimiento horizontal y vertical, e inspiró el desarrollo de otras mesas vibratoras de gran tamaño con diferentes grados de libertad en todo el mundo (Severn R., 2011). La mesa vibradora diseñada en la Universidad Berkeley de California sigue considerándose como la más grande los Estados unidos desde 1972.



F
figura 1. Mesa vibradora multidireccional de la University of California, Berkeley. Peso máximo de los modelos que pueden ser



ensayados: 45.359237 t
Figura 2. Mesa Vibradora del Instituto de Ingeniería UNAM, Peso máximo de los modelos que pueden ser ensayados: 20 t

En México también se cuenta con una mesa vibradora de gran tamaño que fue donada por Japón, esta se encuentra en la Universidad Autónoma de México. En los últimos años, las mesas vibradora se han convertido en una herramienta clave para estudiar los efectos de los sismos sobre estructuras (Carrillo J. y Alcocer S., 2011)

La facultad de Ingeniería comprometida con su responsabilidad social no puede negarse la oportunidad de diseñar y crear una propia mesa vibradora ya que no se cuenta con una de ellas, con la que se pueda explotar la capacidad de sus estudiantes en el área de Ingeniería civil, para la realización de pruebas a las estructuras a escala que contribuya a una mejor y mayor preparación a la hora de diseñar y construir estructuras reales.

Materiales y métodos

Diseño y construcción de la mesa vibradora

Para la construcción de la mesa vibradora se implementaron tres partes generales: la base de la mesa la cual contendrá al motor 1 y este moverá a la plataforma sobre él, una primera plataforma sobre dicha base la cual contendrá al motor 2 que a su vez moverá a la segunda plataforma y una segunda plataforma sobre la cual se colocarán las estructuras a escala. Vista superior de la mesa (figura 3) y vista lateral de la mesa (figura 4).

Para el caso de la base de la mesa se realizó el siguiente procedimiento:

1. Se cortó el área de todos los elementos requeridos para conformar la base de la mesa vibradora de las medidas especificadas en material MDF, madera y aluminio respectivamente las cuales se enlistan en la tabla 2.
2. Se continuó con la unión de todos los elementos obtenidos en el paso anterior haciendo uso de tornillos.
3. Posteriormente se aplicó una capa de pintura a todos los elementos que conforman la mesa vibradora (siempre y cuando estos fuesen de MDF o madera), esto con el fin de proporcionar protección contra humedad (ya que el MDF y la madera se expanden con la humedad) y brindarle una mejor estética.
4. Por último se colocó el motor 1 sobre la base de la mesa vibradora y se aseguró a la base con ayuda de un par de abrazaderas de madera y una de metal.

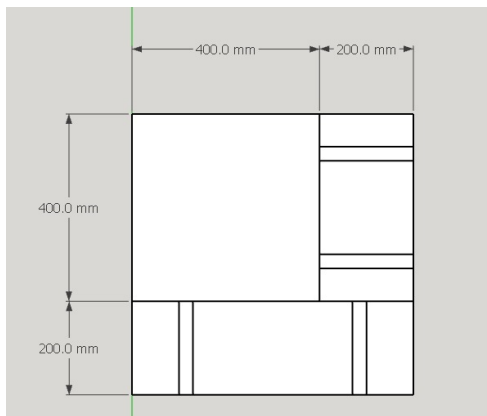


Figura 3. Diseño de la vista superior.

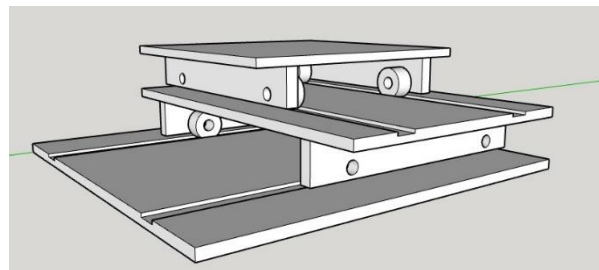


Figura 4. Diseño de la vista lateral de la mesa.

Habiendo concluido con la construcción de la base para la mesa vibradora y la primera plataforma, se inició la construcción de la segunda plataforma, la cual serviría para colocar sobre esta misma las estructuras a escala. Primeramente cortando todos los elementos requeridos para su construcción, posteriormente uniéndolos para consolidar la segunda plataforma, para después proseguir con la aplicación de una capa de pintura y finalmente uniéndola con el resto de la mesa vibradora, colocándola sobre los rieles de la primera plataforma y uniéndola con el segundo motor a través del vástago.

Diseño de los circuitos y codificación de los algoritmos

Una vez concluida la construcción de la mesa vibradora, se procedió a codificar un programa a través de arduino IDE y Visual Studio Code con el fin de manipular un microcontrolador ESP32 y hacer uso de su servidor interno, esto con el objetivo de montar en él un sitio web para poder manipular el encendido y apagado de los motores, tanto como sus revoluciones por minuto, como la frecuencia (dada en MHz), todo esto haciendo uso de una interfaz bts7960 para cada motor, las cuales son un driver que permiten independizar la baja potencia del microcontrolador ESP32 con la alta potencia de los motores. Todos estos elementos electrónicos se conectaron para que pudieran comunicarse entre sí como se muestra en la figura 5. Estas conexiones, comunicaciones e interacciones se muestran en la figura 6.

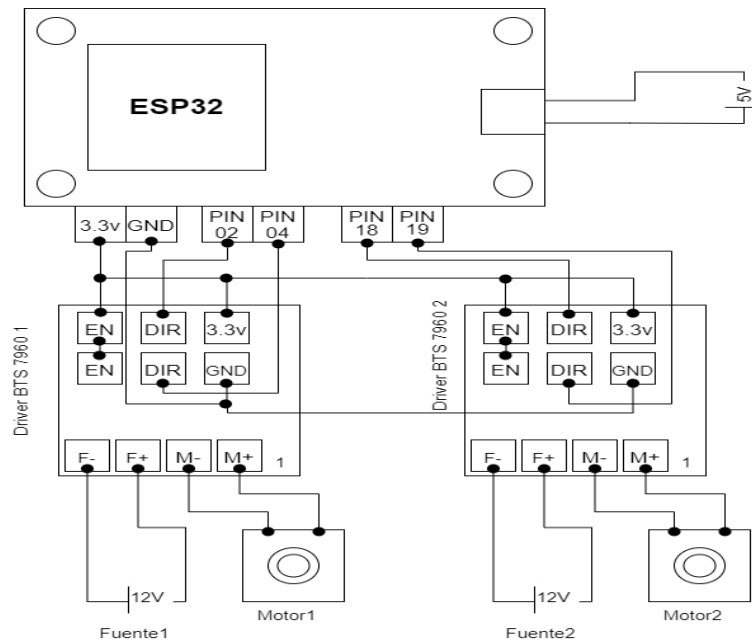


Figura 5. Diagrama del circuito que enlaza el ESP32 con los drivers BTS7960, las fuentes y los motores.

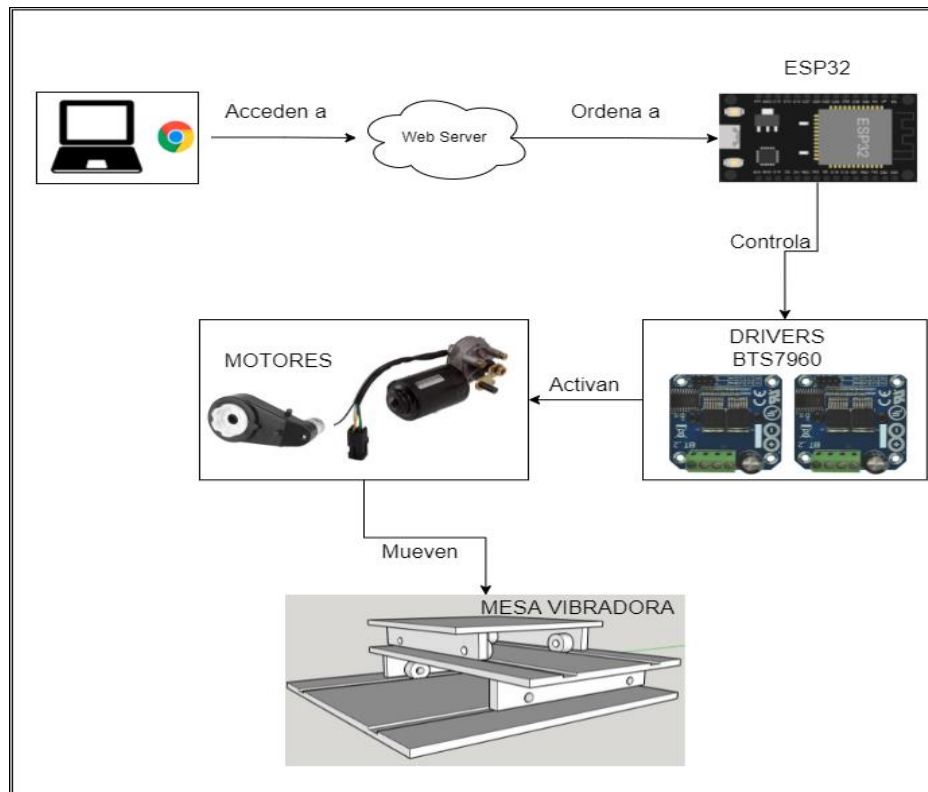


Figura 6. Esquema general que ilustra las interacciones entre los distintos elementos que conforman el sistema de la mesa vibradora.

Construcción de un sistema para la cuantificación de las RPM del motor (Tacómetro)

Otro de los procesos que se implementaron para el desarrollo de la mesa vibradora fue la creación de un sistema para la cuantificación de las revoluciones por minuto proporcionadas por cada uno de los dos motores que se utilizaron, a pesar de que este sistema no se incluyó en la mesa vibradora, fue necesaria su implementación para poder obtener los valores mínimo y máximo de rotación (revoluciones por minuto) de los motores como parte de la investigación, para así poder controlar la velocidad de rotación de los motores teniendo de antemano el conocimiento pleno de las revoluciones por minuto a la que se encuentran rotando los motores, además de que estos datos también son necesarios para la futura investigación y futuras versiones de la mesa vibradora; para esto se realizaron lecturas de los motores ingresando valores PWM desde 1 hasta 255 y leyendo a través del sistema de “tacómetro” las revoluciones por minuto a las que podía rotar el motor con los valores PWM proporcionados, estas lecturas se repitieron al menos tres veces y se registraron para elaborar una tabla relacional PWM vs RMP así como una gráfica con la misma relación de la cual se obtuvo su ecuación y se derivó para poder hacer uso de la fórmula en el programa de la ESP32, esto para cada uno de los dos motores (Figura 7 y Figura8).

Para la implementación del sistema de lecturas de revoluciones por minuto de los motores se requirió de algunos elementos como: arduino mega, sensor óptico refractivo CNY70, una resistencia de 15k ohms y una resistencia de 100 ohms. El circuito que se utilizó para este sistema se muestra a través de un esquema (figura 9).

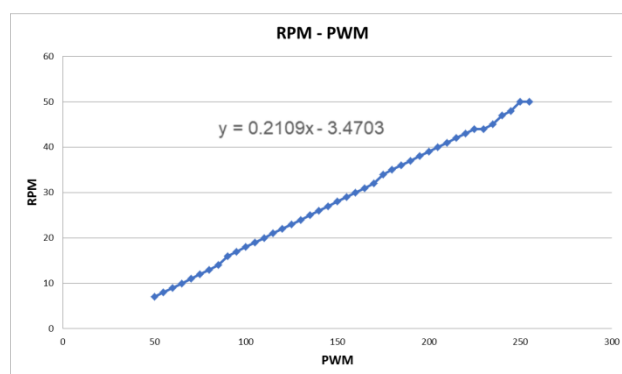


Figura 7. Gráfica de valores PWM con relación a RPM respecto al motor1.

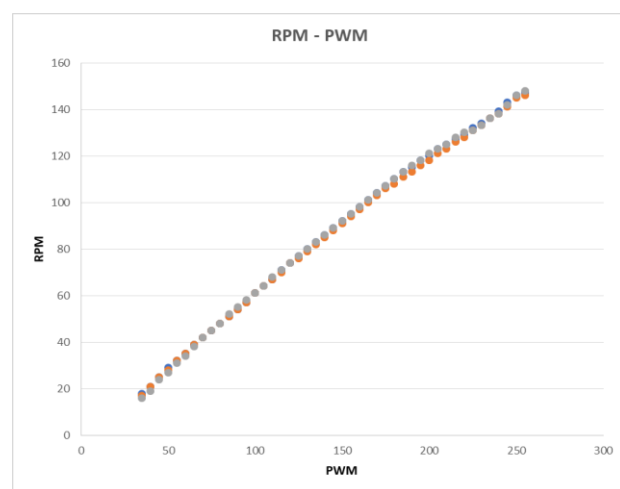


Figura 8. Gráfica de valores PWM con relación a RPM respecto al motor2.

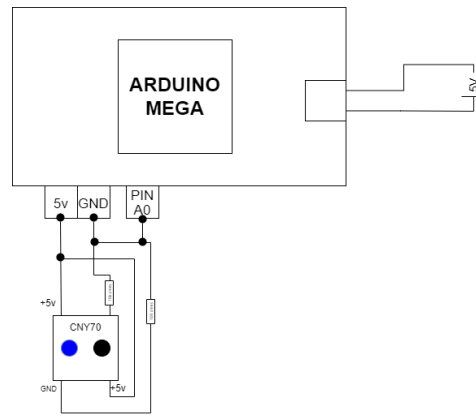


Figura 9. Circuito que muestra las conexiones entre el arduino, las resistencias y el sensor óptico CNY70.

Nombre	Cantidad	Precio
Motor de limpiaparabrisas 12v	1pza	\$749.00
Caja de cambios con motor CC 12V390	1pza	\$384.00
Fuente Poder Variable De 0-30v 10 A	2pza	\$5,598
Esp32	1pza	\$185.00
Arduino Mega 2560	1pza	\$494.00
Modulo Puente H Bts7960	2pza	\$398.00
Protoboard	1pza	\$69
Cables Dupont Jumpers	40pza	\$59.00
Cable dúplex calibre 22	1m	\$12.00
Ruedas giratorias fijas	8pza	\$402.00
Pintura Vinil Acrílica	1L	\$175.00

Tabla 1. Elementos que componen la mesa vibradora

Tabla 2.
medibles que
mesa vibradora.

Nombre	Cantidad	Largo	Alto	Ancho
MDF	1pza	40cm	40cm	1.5cm
	4pza	40cm	5cm	1.5cm
	1pza	10.5cm	3.5cm	3cm
	1pza	60cm	40cm	1.5cm
	8pza	60cm	3cm	1.5cm
	2pza	56cm	3cm	1.5cm
	4pza	40cm	2.5cm	1.5cm
	1pza	3.5cm	15cm	1.5cm
	1pza	60cm	60cm	1.5cm
	1pza	60cm	3cm	1.5cm
Madera	2pza	7cm	10cm	1.5cm
	2pza	60cm	5cm	1.5cm
	1pza	24cm	2cm	1.5cm
	1pza	8cm	2cm	1.5cm
Aluminio	2pza	60cm	1in	

Elementos
componen la



Figura 10. Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema.

Resultados

Se logró concluir con una primera etapa, en la cual se desarrolló un primer prototipo de mesa vibradora bidireccional en el plano (X, Y), la cual aún no es capaz de simular un sismo real, sin embargo se pudo recopilar información y datos que sin duda serán de suma importancia para su futura implementación, dicho modelo se puede ver en la Figura 11.

De igual manera se desarrolló un sistema de software y hardware (algoritmos y circuitos) que permiten manipular el encendido, apagado, velocidad de rotación de los motores, y frecuencia de los mismos, todo esto a través de un microcontrolador ESP32

el cual posee un web server en que se montó un sitio web con el cual se controlan a dos interfaces BTS 7960 las cuales poseen una gran potencia de alimentación para los motores (5.5v – 27v, 43A) y mismas que activan los motores de corriente continua para poder mover las plataformas de la mesa vibradora, cada una de manera independiente a la otra, de tal forma que se pueden generar vibraciones para probar la resistencia de estructuras a escala.



Figura 11. Prototipo de la mesa vibradora terminado y ensamblado.

Conclusiones

Durante el desarrollo del primer prototipo de mesa vibradora se enfrentaron algunos problemas, como el tipo de ruedas que se utilizaron inicialmente, las cuales generaban alta fricción en los rieles dificultando su desplazamiento, mismo que se solucionó haciendo uso de otro tipo de ruedas con un mejor sistema de desplazamiento, de igual manera se presentó el problema de baja potencia por parte de los drivers utilizados anteriormente (L298N y A4988), el cual fue resuelto haciendo uso de un driver que brindara una potencia más alta (BTS7960) debido a que el consumo de corriente de los motores lo exigía de tal forma.

La mesa vibradora en su estado actual es una valiosa herramienta didáctica para los alumnos y docentes de la carrera de Ingeniero Civil de la Universidad Autónoma de Guerrero, la cual puede ser usada para ilustrar de mejor manera los efectos de las vibraciones en las estructuras, facilitando en menor o mayor medida la enseñanza y el aprendizaje.

Puesto que la mesa vibradora presentada es aún un prototipo, esta puede ser mejorada, tanto puliendo ciertas características que esta ya posee, como añadiendo nuevas funciones que la conviertan en una herramienta mucho más robusta y útil para los estudiantes y docentes de la Facultad de Ingeniería y la Universidad Autónoma de Guerrero.

Recomendaciones

La mesa vibradora presentada se trata de un prototipo, esta aún no se encuentra finalizada, es decir que aún se encuentran en desarrollo de algunas de sus funciones más importantes. El objetivo primordial de este proyecto es que la mesa vibradora sea capaz de simular sismos reales de diferentes magnitudes en los tres ejes (X, Y, Z), es decir, en el espacio tridimensional. De tal manera que existen dos grandes mejoras para el prototipo presentado, la primera es añadir un nuevo motor y sistema de rieles para que las estructuras a escala que se presenten para ser puestas a prueba mediante la mesa vibradora se desplacen a través de los tres planos o ejes (X, Y, Z), y la segunda y más importante mejora, es continuar con la investigación hasta lograr encontrar una manera de poder convertir las rotaciones o revoluciones de los motores en aceleraciones y estas mismas traducirlas a sismos con el fin de poder generar estos mismos de manera simulada con las vibraciones de la mesa, dejando así de ser solo una mesa vibradora y volviéndola un simulador de sismos.

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a la facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero por permitirnos utilizar las instalaciones para la realización del proyecto, así como también al Dr. Sulpicio Sánchez Tizapa por habernos brindado los conocimientos que utilizamos como base para realizar el proyecto.

Referencias

González Huizar, H. (2020). La Olimpiada XXIV de Ciencias de la Tierra: Los Grandes Terremotos en México. GEOS, 39(1).

Recuperado a partir de <https://geos.cicese.mx/index.php/geos/article/view/32>

Cherrez F. (2022). Desarrollo de una Mesa Vibratoria para Simulación de Sismos en Estructuras [Trabajo de graduación previo a la obtención del título]. UNIVERSIDAD DEL AZUAY FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Tavera, H. (2008). La sismicidad en el mundo. Revista del Capítulo de Ingeniería Geológica, 5, 25-27.

SSN (2021): Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Recuperado a partir de: <http://www.ssn.unam.mx>

De León D. (2018) “El papel de la INGENIERÍA ante los sismos” Ciencia, 69(3).

Muir-Wood R (1988) Robert Mallet and John Milne –earthquakes incorporated in Victorian Britain. *J. E'quake Eng. and Struct. Dyn.* ; 17(1): 107-142.

Severn R. (2011). An assessment of the use and value of shaking tables; En: *Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures*. Varenna, Italia.

Carrillo J. y Alcocer S. (2011). Improved external device for a mass- carrying sliding system for shaking table testing; En: *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 40, pp.393–411.