ISSN: 1692-7257
Revista Colombiana de
Tecnologías de Avanzada

PNEUMATIC TRIAXIAL VIBRATING TABLE IMPLEMENTATION FOR THE STRUCTURES ANALYSIS AND SEISMIC MOVEMENT

IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA TRIAXIAL NEUMÁTICA PARA EL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS Y EL MOVIMIENTO SÍSMICO

MSc. Carlos Cárdenas, MSc. Camilo Sandoval,
MSc. Jairo Gómez

Unidades Tecnológicas de Santander
Ingeniería Electromecánica
Grupo de Investigación en Diseño y Materiales DIMAT
Grupo de Investigación en Sistemas de Energía, Automatización y Control. GISEAC
Ciudadela Real de Minas. Bucaramanga, Santander, Colombia.
Tel.: 57-7-6917700 ext. 1103, Fax: 57-7- 6917691
E-mail: {ccardenas, csandoval, jtapias}@correo.uts.edu.co

Abstract: In the present work the implementation of a vibratory table realized in the Unidades Tecnológicas de Santander UTS is described for the execution and study of dynamic tests on prototypes and scale models. It presents the design of the structure, the selection of mechanical components, such as pneumatic actuators and sliding elements depending on the desired characteristics and the equipment operation validation.

Keywords: Test equipment, structure, vibrating table, pneumatic system, control system.

Resumen: En el presente trabajo se describe la implementación de una mesa vibratoria realizada en las Unidades Tecnológicas de Santander UTS para la ejecución y estudio de ensayos dinámicos sobre prototipos y modelos a escala. Se presenta el diseño de la estructura, la selección de componentes mecánicos, como los actuadores neumáticos y elementos deslizantes en función de las características deseadas y la validación del funcionamiento del equipo.

Palabras clave: Equipo de ensayo, estructura, mesa vibratoria, sistema neumático, sistema de control.

1. INTRODUCCION

En ingeniería se encuentran gran cantidad de fallas en su mayoría producidas por cargas dinámicas, las cuales se presentan en los diferentes tipos de estructuras y equipos. En estas cargas se consideran desde los efectos ocasionados por fatiga, hasta fenómenos naturales como sismos.

La fatiga, causada por las cargas dinámicas y repetitivas, propicia el más alto porcentaje de las fallas, que en ocasiones suelen ser impredecibles, causando grandes pérdidas económicas. Los fenómenos naturales como el viento y los terremotos generan movimientos que a veces aumentan a niveles destructivos. Estos al igual que las vibraciones mecánicas causadas por equipos en funcionamiento, poseen una energía que no solo afecta a los equipos sino también a la estructura que los soporta.

Los ensayos dinámicos se presentan como un actor fundamental en el estudio del comportamiento dinámico de las estructuras y equipos, para el desarrollo de modelos analíticos. El avance de la ciencia de los materiales, el estudio de prototipos y modelos, la instrumentación y las técnicas de control permiten realizarlos de tal manera que brindan significativos resultados a estos fines.

En este trabajo se describe el diseño y construcción de una mesa vibratoria de movimiento tridimensional impulsada por actuadores neumáticos, aspirando ampliar la investigación en la ingeniería electromecánica, hacia los estudios de las vibraciones mecánicas. Dicha estructura tendrá las posibilidades de reproducir cargas dinámicas no solo de movimientos vibratorios sino también de tipo sísmico, con el fin de aumentar el estudio en estos campos y la seguridad en las estructuras que nos rodean.

2. METODOLOGIA

2.1 Objetivos

Para el desarrollo del proyecto se plantearon los siguientes objetivos

- Diseñar la estructura metálica y el sistema neumático de una mesa vibratoria teniendo en cuenta los parámetros requeridos por la institución (capacidad, dimensión, movimiento y recorrido del actuador) para generar movimiento en los tres ejes.

- Desarrollar la estructura metálica mediante parámetros de diseño y acoplar el sistema neumático a dicha estructura para generar el movimiento deseado.

- Analizar el funcionamiento de la estructura metálica, realizando pruebas de movimiento; y validar el sistema neumático con la finalidad de que un nuevo proyecto acople el sistema de control a este.

2.2 Parámetros de diseño

Los modelos que se deseen ensayar deben mantener completamente la similitud dinámica con la estructura real, para que el escalamiento no afecte los resultados del ensayo. En cuanto a las características de movimiento que ofrecen las mesas vibratorias, no existe normatividad ni reglamentación para su elección. (Martin, 2005)
Los parámetros de diseño que se tomaron para construir la mesa vibratoria son los siguientes:

- **Tamaño:** La mesa del modelo previsto tendrá un tamaño de 1.5 x 1.5 m.

- **Peso:** El peso máximo sobre la mesa; es decir, la capacidad de carga del modelo es de 100 kg.

- **Desplazamiento máximo:** El desplazamiento máximo en cada eje será de 100 mm.

- **Grados de libertad:** la mesa tendrá tres grados de libertad para su movimiento, a saber, horizontal en dos direcciones perpendiculares y en dirección vertical.

2.3 Diseño de la mesa vibratoria

Teniendo en cuenta las necesidades, se plantea el diseño de la mesa, de tal manera que tenga una plataforma en movimiento vertical y sobre esta se apoya una que se mueve horizontalmente, la cual sostiene otra que se traslada de manera perpendicular a la de apoyo. Para facilitar los desplazamientos horizontales se ubican unas rodachinas sobre guías, que disminuyen el rozamiento.

La plataforma superior proporciona la superficie para el anclaje del modelo a simular; esta plataforma está montada a través de un sistema de rieles con roldanas lineales y su movimiento es controlado por el del actuador. Para lograr la rigidez necesaria se ubicaron perfiles cuadrados soldados, formando una cuadrícula. Con esto se busca cumplir con dos condiciones principales: (Xu, 2007)

- La masa de la plataforma debe ser lo más ligera posible

- La plataforma debe ser lo suficientemente rígida

Para los cálculos se asemeja la mesa a una viga cargada en el centro y se desarrolla el cálculo respectivo, lo cual permitió seleccionar un perfil cuadrado de 1” cal. 20, y una lámina de acero 1018 CR, de ¼” de espesor, dadas las características y la facilidad de adquisición en el medio. (ASTM, 2011)

El soporte de la estructura consta de 4 actuadores neumáticos lineales de doble efecto, conectados a la plataforma de desplazamiento vertical, este sistema provee una superficie de deslizamiento a la plataforma de simulación, por medio de un riel guía y unas roldanas, que permiten obtener baja fricción, rigidez y gran capacidad de carga.

Para la selección de los actuadores se calcula la fuerza máxima que debe desarrollar utilizando la ecuación 1 y 2

$$F=P \times A \quad (1)$$
$$A= (\pi D^2)/4 \quad (2)$$

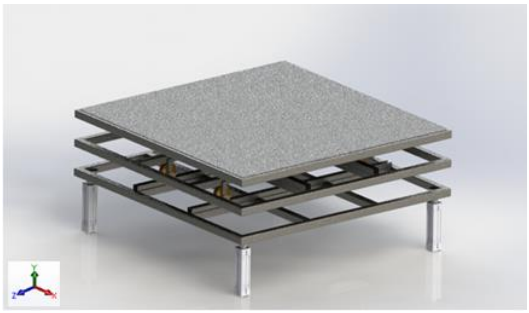
A partir de la ecuación (1) se calcula la fuerza necesaria para que el actuador opere correctamente, con una masa en movimiento de

170kg. La fuerza resultante es aproximadamente de 1.7 KN de acuerdo con los cálculos realizados. Para seleccionar el actuador se utilizó la fuerza máxima calculada y se adicionó un 30% como factor de seguridad, es decir, 2.2 KN. A partir de los requerimientos y con base en el Manual de Neumática, el actuador de 63 mm de diámetro y 100 mm de carrera es el que mejor se ajusta a las características de diseño. De acuerdo con la norma ISO 15552 del manual de A.R.T. pneumatic equipment, se seleccionó el cilindro neumático de referencia y serie CA63100. (FESTO, s.a.)

El actuador seleccionado provee una velocidad máxima de 380 mm/s y soporta una presión máxima de trabajo de 10 Bar (145 psi). El caudal de aire requerido es de 42 l/min. Estos actuadores se utilizan también para mover las plataformas que se desplazan horizontalmente.

Para suministrarle el aire a los actuadores se utilizan electroválvulas y se opta por una válvula de 5 vías, 2 posiciones (5/2) para la conmutación del flujo de aire con puertos de 1/4" de diámetro, las cuales se ajustan a los requerimientos de trabajo.

Fig. 1. Mesa vibratoria modelada en Solid Works



Las roldanas lineales y apoyos fueron seleccionados con base en los parámetros de diseño de la mesa vibratoria y las recomendaciones del Manual Thomson para componentes lineales. (Thomson, 2004)

Las roldanas se seleccionaron en material recubierto en poliuretano elastómero de 4 pul, para evitar el ruido producido por el desplazamiento de estos, con una capacidad de carga de 1225 N, que nos suministra un factor de seguridad cercano a 3.0

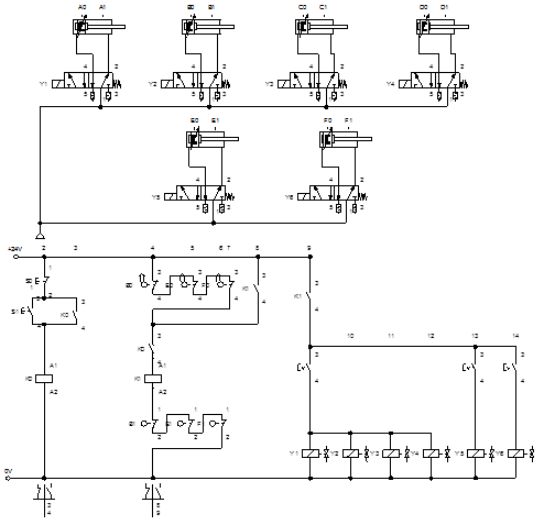
Los apoyos o rieles se escogen en forma de U a partir del diámetro de los rodamientos, teniendo en cuenta la rigidez para soportar la flexión que se puede generar por las cargas aplicadas.

Fig. 2. Rodamiento recubierto en poliuretano



Utilizando el programa FESTO-FluidSIM se desarrolló el diagrama del circuito neumático y se pudo comprobar el funcionamiento de todo el sistema neumático a emplear, para dar el movimiento que se desea a la mesa vibratoria.

Fig. 3. Circuito neumático de la mesa vibratoria.



3. VALIDACIÓN DEL EQUIPO

Para la validación de la estructura se emplea un analizador de vibraciones que cuenta con un sensor de distancia laser de alta gama (Ref. M7LL. Marca MEL), tomando señales de diferentes tipos; para este caso se emplea una señal de voltaje – tiempo la cual determina las vibraciones generadas por dicha estructura.

Se realizan las pruebas de validación de la estructura, para lo cual se le instala una placa de concreto de 70kg aproximadamente, empleada para corroborar el buen funcionamiento de la mesa vibratoria. Teniendo presente esto, se procede a realizar las pruebas de vibración a la estructura las cuales se sensan en diferentes puntos de la placa de concreto.

Se procede a ubicar el sensor a una distancia estipulada, la cual se maneja debido a un margen de error con el que cuenta dicho instrumento, seguidamente se programa de acuerdo a la prueba a realizar y se da inicio a la obtención de

la misma. Una vez obtenidos los resultados del sensor, estos se procesan y se registran como vectores en Matlab para su posterior análisis.

En las siguientes figuras se observan las imágenes que se generan por el movimiento de la mesa vibratoria, en las cuales se describen las vibraciones producidas en cada eje, teniendo presente que en las tres figuras se toman dos secciones, en la primera sección la mesa permanece un tiempo de 20 segundos sin movimiento y en la segunda sección la mesa vibratoria cuenta con un tiempo de 20 segundos generando vibración en la cual se observan las amplitudes de las ondas generadas por la misma, percibiendo así que dicha estructura cuenta con la capacidad de generar vibración, las cuales con el sistema adecuado de control podrán ser manipuladas correctamente.

Fig. 4. Eje x, 20 segundos sin movimiento, 20 segundos en vibración.

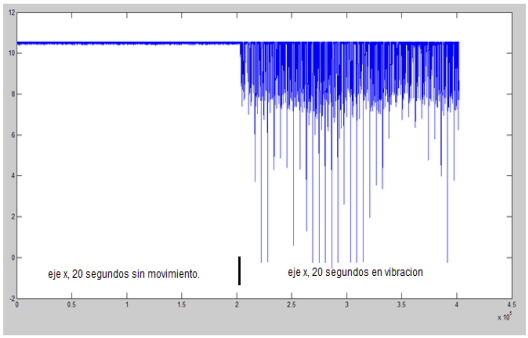


Fig. 5. Eje Y 20 segundos sin movimiento y 20 segundos en vibración.

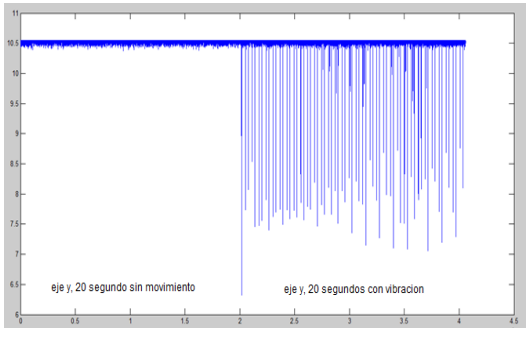
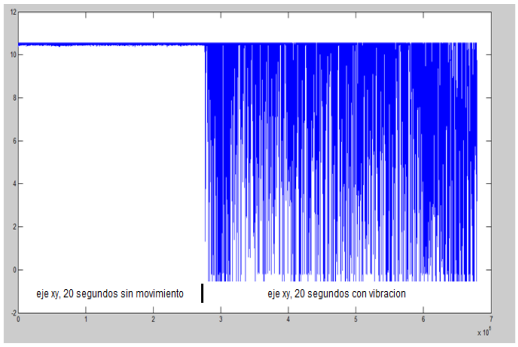


Fig. 6. Eje XY 20 segundos quieta y 20 segundos en vibración.



4. RECONOCIMIENTO

Agradecimientos especiales a los hoy ingenieros electromecánicos Josseph Edwin Hernández Sánchez, Juan Pablo Parra Suarez, Félix Adolfo Niño Rivera, quienes implementaron el equipo mencionado en este documento.

5. CONCLUSIONES

Se logró desarrollar una mesa vibratoria con una estructura de tres niveles y una plataforma de 1,50 x 1,50 m, la cual soportará los elementos de prueba, con una carga máxima neta de 170 Kg (mesa y estructura de prueba) la cual tendrá movimiento independiente en los tres ejes y poseerá un recorrido máximo en cada eje de 100 mm

Los análisis de la mesa vibratoria permitieron verificar las ventajas que presenta el diseño mecánico y neumático para las aplicaciones en la ingeniería, siendo un sistema versátil y relativamente económico. Esta mesa vibratoria sirve como apoyo tanto en las actividades académicas del programa de Ingeniería Electromecánica, como en los proyectos de investigación que se desarrollan en los laboratorios de la institución.

Se recomienda diseñar un sistema de control, de tal manera que se pueda regular la velocidad de los actuadores y el recorrido del vástago, para caracterizar las ondas que se logren duplicar con el equipo.

REFERENCIAS

ASTM. Standard Specification for Steel Bar, Carbon and Alloy, Cold-Finished ASTM A108. (2011).

FESTO DIDACTIC. Introducción En La Neumática; manual de estudio, tercera edición.

Martin L. y Muñoz R. (2005). Diseño de una mesa vibratoria de un grado de libertad para simulación de sismos; Bogotá. Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada.

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

Thomson. (2004). Danaher Motion. Advance linear motion metric components.

Y. Xu, H. Hua y J. Han. (2007). Modeling a controller design of a shaking table in an active structural control system.