

Tema A1a Diseño Mecánico: Análisis académico y construcción

“Motor vibratorio”

Tadeusz Majewski^a, Dariusz Szwedowicz^b, Quirino Estrada^c, Jorge Diego Guzmán^a

^aUniversidad de las Anéricas Puebla, Sta. Catarina Mártir, Cholula, México.

^bNational Center for Research and Technological Development, Cuernavaca, México.

^cUnivesridad Autonoma de Ciudad Juarez, México

*Tadeusz Majewski. Dirección de correo electrónico: tadeusz.majewski@udlap.mx

RESUMEN

El artículo presenta el proceso de diseño y construcción de algunos vibromotores que son excitados por impulsos de baja frecuencia. Donde se presentan tres tipos de vibromotores, de los cuales dos generan un movimiento de rotación y uno un movimiento lineal. De ahí pues, se utiliza un electroimán para generar vibraciones sobre un resorte ocasionando que el rotor y la corredera se desplacen en cada caso de manera lenta pero continua. También, las propiedades de cada uno de ellos se verificaron en algunos experimentos como la velocidad obtenida en función de la frecuencia de los impactos, la frecuencia natural de cantilever o según la fuerza aplicada sobre esta, etcétera. Finalmente, se observa de manera general el funcionamiento de un motor vibratorio, así como se verifica que el sistema puede trabajar con bajas frecuencias y generar distintos tipos de desplazamientos.

Palabras Clave: Motor vibratorio, electroimán, vibraciones, fuerza, desplazamiento.

ABSTRACT

The article presents the design and construction process of some vibromotors that are excited by low frequency pulses. Three types of vibromotors are presented; two generate a rotation movement and one a linear movement. An electromagnet is used to generate vibrations on a spring causing the rotor and the slide to move in each case slowly but continuously. The properties of each of them are verified in some experiments and the speed of the motors are obtained as a function of the frequency of the impacts, the natural frequency of the cantilever and the force applied on it, etc. The system can work with low frequencies and generate diverse types of displacements.

Keywords: Vibratory motor, electromagnet, vibrations, force, displacement.

1. Introducción

Las vibraciones son usadas en diferentes aplicaciones como transporte vibratorio, acabado de pequeños elementos para eliminar rebaba, separar las piedras de los granos, compactadores de tierra, martillos vibratorios, etcétera [1].

Existen para este caso un grupo de motores vibratorios que funcionan con vibraciones de alta frecuencia para activar los actuadores piezoeléctricos. Además, se han desarrollado teorías de superposición de vibraciones en el plano y espacio como longitudinales, transversal, flexión o torsional para pequeños vibromotores autónomos [2, 3]. Para ejemplificar, el motor de la Fig. 1(a) [4] usa las vibraciones longitudinales del convertidor 2 y en el punto de

contacto generan los impactos oblicuos con el elemento 1 produciendo la fuerza en la dirección “y” permitiendo la rotación del elemento 1. También, la transferencia de onda de deformación del elemento piezoeléctrico puede generar el movimiento rotativo o lineal como se muestra en la Fig. 1(b) [5].

En estos motores la distancia entre el actuador y el rotor es muy pequeño en el rango de los micrómetros por lo que hace difícil su implementación.

Debido a esto se propuso construir algunos prototipos con el objetivo de trabajar a baja frecuencia y establecer sus propiedades.

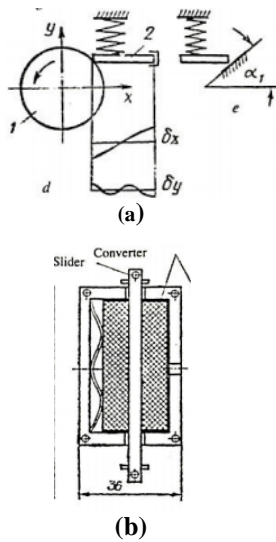


Figura 1 – Esquema (a) vibromotor lineal comercial, 1- rotor, 2- miembro vibratorio o convertidor; (b) motor de impacto oblicuo

2. Estructura

Para comenzar, se usa un electroimán para generar la fuerza periódica (de baja frecuencia) que actúa sobre una lámina provocando impactos sobre elementos móviles. Entonces, el primer diseño (Fig. 2(a)) muestra un movimiento rotativo gracias al impacto perpendicular sobre el disco. El segundo diseño de la Fig. 2(b) implementa un disco en el mismo plano de las vibraciones de la lámina generando el giro. Para generar un movimiento lineal se usa también el electroimán y la lámina para desplazar una pieza pequeña (Fig. 2(c)). Cabe señalar, que se diseñaron los prototipos de motores con mecanismos pequeños que funcionan a velocidad baja.

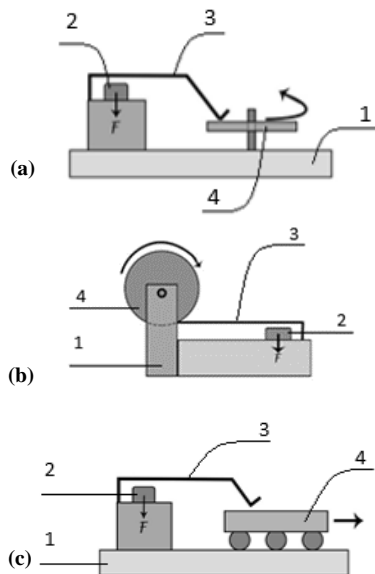


Figura 2 – Esquema de vibromotor (a) Rotativo horizontal; (b) Rotativo vertical; (c) Lineal. 1- base, 2- electroimán, 3- lámina, 4- actuador móvil

La lámina de los resortes es de acero AISI 201 UNS implementados en diferentes formas para cada prototipo de aproximadamente 10 mm de ancho, 150 mm de largo y 0.3 mm de espesor. Debe existir una distancia pequeña de 1 a 4 mm entre el electroimán y la lámina para permitir la deformación de está permitiendo los impactos.

Otro punto es la generación de la frecuencia que impulse al electroimán, el cual se debe usar valores de aproximadamente 15 Hz para lograr un movimiento continuo. Así pues, se propuso un circuito oscilador de onda cuadrada [6] que permite variar la frecuencia siendo el LM555 en modo astable (Fig. 3) que funciona como multivibrador. Se requiere definir algunos valores con las siguientes ecuaciones:

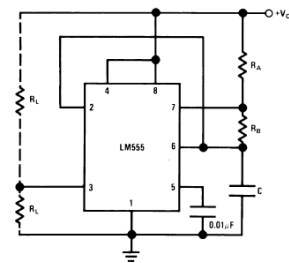


Figura 3 – Circuito oscilador astable

Salida alta → El tiempo de carga es:

$$t_1 = 0.693(Ra + Rb)C \quad (1)$$

Salida baja → El tiempo de descarga es:

$$t_2 = 0.693(Rb)C \quad (2)$$

Periodo total de carga y descarga es:

$$t_1 + t_2 = \frac{1}{f} = 0.693(Ra + 2Rb)C \quad (3)$$

Acerca de las variables se suponen algunos parámetros para hacer más sencilla la obtención de la frecuencia deseada los cuales son $C = 47 \mu F$, $Ra = 1 k\Omega$ y $f = 15 Hz$. Considerando que el último valor Rb puede obtenerse de diferentes maneras se va a hacer uso en este caso de la ec. (3) para obtener Rb siendo:

$$\frac{1}{15Hz} = 0.693(1k \Omega + 2Rb)47 \mu F \quad (4)$$

$$Rb = 9.73k\Omega \approx 10k\Omega \quad (5)$$

A causa de que el valor Rb no es comercial se debe usar otro valor recomendando uno mayor para evitar que genere un gasto extra de potencia si se usará uno de menor valor o en este caso usar el valor más cercano para evitar que cambie la frecuencia que se requiere.

Por otra parte, el dispositivo que genera la fuerza es un electroimán OMRON que trabaja desde los 18 a los 24 Vdc con un consumo de potencia de aproximadamente 1 W para 60 Hz, siendo el encargado de cambiar la energía eléctrica a

mecánica debido a que el magnetismo que produce en cada oscilación atrae la lámina logrando el impacto en el disco.

3. Desarrollo

Dicho lo anterior, el primer sistema es el rotativo horizontal (Fig. 4(a)) donde todas las partes se fijan a una base como el disco de 7 cm de diámetro y 0.8 cm de ancho. Además, se coloca el electroimán en otra base para ajustar la lámina creando el sistema masa-resorte que efectúa el impacto al disco.

El segundo sistema es el rotativo vertical (Fig. 4(b)) donde se coloca una base de 9x6x1 cm para ajustar el disco con la lámina logrando hacer contacto con el borde teniendo un diámetro de 5 cm.

Por último, se armó el sistema lineal (Fig. 4(c)) con una base para alinear la lámina y el electroimán para permitir el desplazamiento de una lámina delgada de 3x7x0.1 cm.

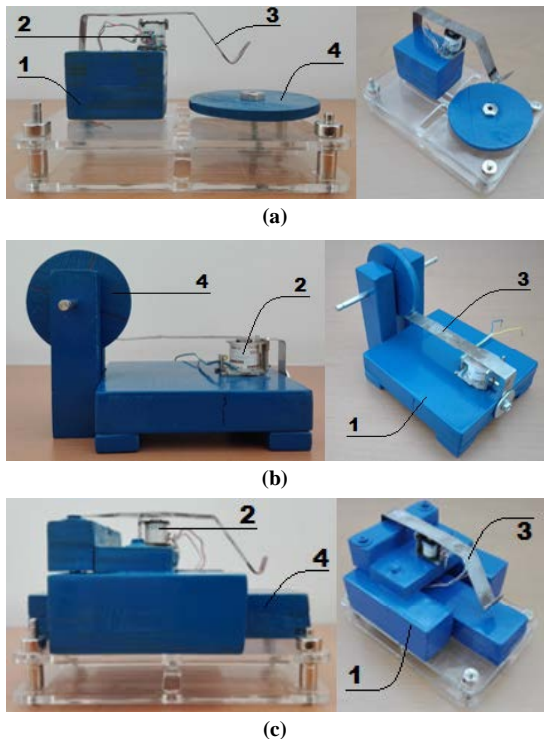


Figura 4 – Sistema (a) Rotativo horizontal; (b) Rotativo vertical; (c) Lineal. 1- base, 2- electroimán, 3- lámina, 4- actuador móvil

Del mismo modo se armó el circuito eléctrico comprobando que genera de manera aceptable la frecuencia de 0 a 15 Hz (Fig. 5). Sin embargo, éste genera un voltaje de 5 Vdc siendo muy poco para activar el electroimán, por lo cual se añadió una fase de potencia (Fig. 6) con ayuda de un transistor TIP41 que básicamente es un interruptor digital, que cuando se activa la base permite el paso del voltaje alimentado en la terminal del colector. Se usó un diodo para proteger el oscilador de la fuerza electromotriz inducida (FEM)

generada por el electroimán. Todo esto alimentado por una fuente de voltaje variable que otorga 5 Vdc para el oscilador y 24 Vdc para el actuador.

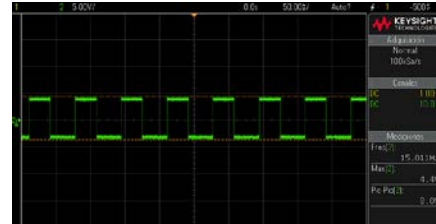


Figura 5 – Señal del oscilador de 15 Hz

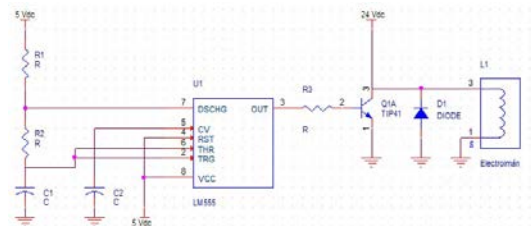


Figura 6 – Esquemático del circuito oscilador de 0-15 Hz con elevador a 24 Vdc

4. Resultados

Se hicieron pruebas de velocidad en cada uno de los sistemas para observar el comportamiento a diferentes frecuencias. A continuación, se muestran los resultados obtenidos del tiempo que tarda en girar el disco un radio de $\pi/2$ de acuerdo a la frecuencia seleccionada con un voltaje fijo de 24 Vdc. Además, se obtuvo un promedio del tiempo ya que el desgaste de los materiales y la variación de la señal cuadrada afectaban en cada medición creando un rango de error de más menos 0.3 s. Después, la velocidad angular o lineal se calculó como en la ec. (6) donde $\Delta\phi$ [rad], Δx [mm] es aumento de ángulo o desplazamiento lineal en el tiempo Δt .

$$\omega = \frac{30}{\pi} \frac{\Delta\phi}{\Delta t} [rpm] \quad v = \frac{\Delta x}{\Delta t} [\text{mm/s}] \quad (6)$$

Para el primer caso, se muestra la gráfica (Fig. 7) de velocidad vs frecuencia que se obtuvieron para un rango de frecuencias de 2 a 12 Hz.

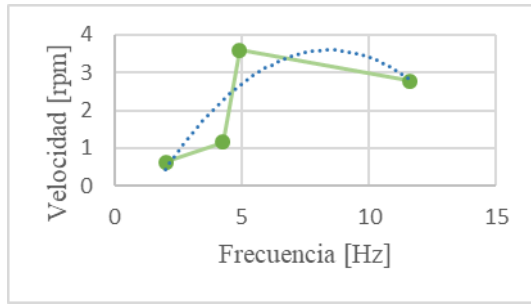


Figura 7 – Gráfica velocidad vs frecuencia del sistema rotativo horizontal

El siguiente caso es el del movimiento rotativo vertical, donde se probaron las frecuencias de 1.7 hasta 11 Hz. También se verificó que la velocidad obtenida fue mayor a la del primer sistema y los datos se muestran en la gráfica de la Fig. 8 describiendo una tendencia polinómica de grado 6.

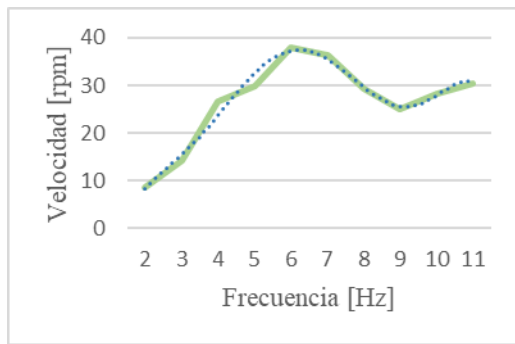


Figura 8 – Gráfica velocidad vs frecuencia del sistema rotativo vertical

También, se realizó un análisis de deformación para ver la respuesta de las láminas a las frecuencias naturales del material cuando se somete a cargas dependientes del tiempo o a vibraciones oscilantes como en este caso. Se definió la geometría de cada lámina para observar el desplazamiento relativo cuando vibra a diferentes frecuencias teniendo en cuenta las restricciones de translación y rotación que tiene la lámina, así como el número de modos de vibración que se calculan. El primer caso es el del rotativo horizontal mostrando una deformación en la Fig. 9(a) para la frecuencia de 11.12 Hz en el primer modo y una de 36.86 Hz para el segundo modo. El siguiente fue el rotativo vertical ya que la lámina está en una posición diferente a las demás por el tipo de impacto que hace sobre el disco, encontrando la deformación en la Fig. 9(b) para una frecuencia de 22.18 Hz y una segunda de 86.04 Hz. Entonces, la distancia “x” que genera la deformación por la fuerza es la que permite el movimiento cuando impacta con objeto móvil logrando el giro del disco o el desplazamiento.

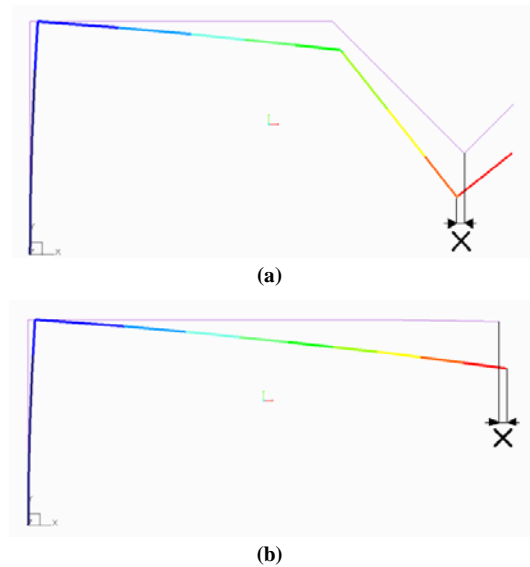


Figura 9 – Modo de deformación (a) rotativo horizontal; (a) rotativo vertical

En la Fig. 10(a) se observa que por la acción de la fuerza del imán sobre el fin del resorte en el punto A toca el disco generando la fuerza normal en este punto donde el resorte no se puede desplazar en esta dirección, pero se puede desplazar en dirección horizontal junto con el disco. La relación entre la fuerza del imán y el desplazamiento horizontal del punto A del resorte sobre el disco se muestra en la figura 10(b) para dos distancias iniciales entre punto A y el disco. Este desplazamiento del punto A dividido por el radio del disco define el ángulo de rotación.

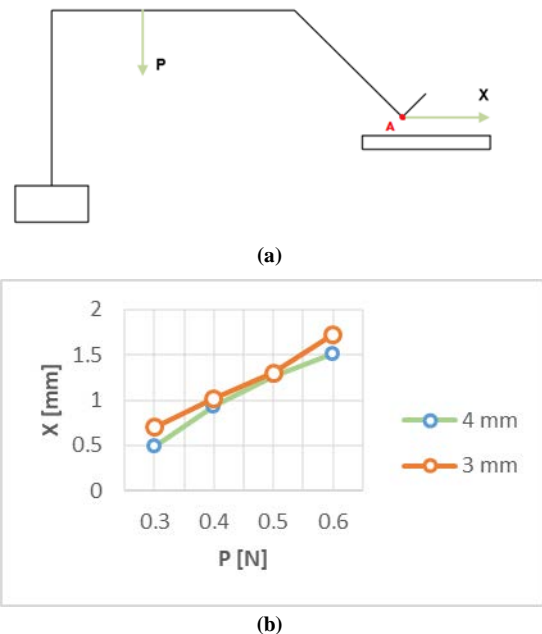


Figura 10 – (a) Modelo de desplazamiento en X por una fuerza P; (a) Gráfica fuerza vs desplazamiento

Otra prueba fue la del test de vibración para visualizar el comportamiento del sistema a una frecuencia de aproximadamente 1.5 Hz, haciendo uso del programa SignalCalc 240 Dynamic Signal Analyzer se graficó el desplazamiento. Entonces, se probó el sistema rotativo horizontal obteniendo la respuesta de la Fig. 11 donde se observó la periodicidad del sistema mostrando dos acciones la primera es cuando la lámina impacta el disco produciendo la mayor cantidad de desplazamiento y la segundo cuando esta se separa del disco ocasionando un rebote. Además, la aceleración máxima del disco durante el impacto es 10.8 m/s².

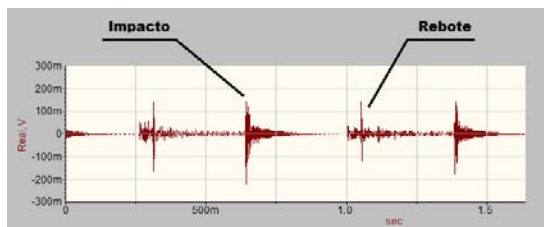


Figura 11 – Vibración en el disco del sistema rotativo horizontal

Por último, se puso a prueba sistema lineal donde se encontró que la tendencia de los datos tomados de este prototipo es la ecuación de una línea. Los resultados se muestran en la Fig. 12 donde se observa la ecuación de tendencia.

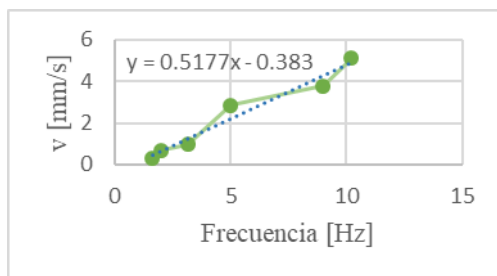


Figura 12 – Gráfica velocidad vs frecuencia del sistema lineal

En cada uno de los tres casos se muestra de manera correcta el funcionamiento para periodos cortos debido a que se genera un desgaste progresivo en cada caso, como el rotativo vertical debido a que el impacto se realiza en el punto final de la lámina que tiene el borde afilado. En el caso del rotativo horizontal muestra un desgaste menor, ya que no impacta con la punta si no con una curvatura afectando solo con las orillas de la lámina dejando un surco en la superficie, esto también ocurre en el desplazamiento lineal ya que trabaja bajo el mismo principio.

5. Conclusiones

Para finalizar, en todos los casos se observó de manera sencilla y general el funcionamiento de un motor vibratorio

probando que el sistema puede trabajar con bajas frecuencias y generar distintos tipos de desplazamientos.

Además, se comprobó que existe una transformación de energía eléctrica a mecánica a través del cambio de voltaje a fuerza mecánica para realizar la acción deseada. También, se encontró que hay una relación entre el desplazamiento de la lámina y la deformación que ocasiona la fuerza del electroimán permitiendo diseñar los prototipos de manera más específica. Así mismo, permite que el sentido de movimiento pueda ser definido desde un principio dependiendo del lugar donde se genera el impacto de la lámina.

Por todo esto, algunas de las mejoras que se proponen para los sistemas es la búsqueda de un material más resistente para evitar el desgaste por la lámina o quitar el filo que presenta en las orillas. Más aun, se puede optimizar con la implementación de una aplicación en cada movimiento, como deslazar una banda con ayuda de los sistemas rotativos o crear una sensación ficticia a través de un estímulo visual.

REFERENCIAS

- [1] T. Majewski (2017). *Vibraciones en los sistemas físicos*. Alfaomega.
- [2] K. Ragulskis, R. Bansevicius, R. Barausas, G. Kulvietis an(1998). *Vibromotorsfor precision microrobots*. EUA. Hemisphere Publishing Corporation.
- [3] Aoyagi, M., & Tomikawa, Y. (1996). *Ultrasonic Motor Based on Coupled Longitudinal-Bending Vibrations of a Diagonally Symmetric Piezoelectric Ceramic Plate*. *Electronics & Communications in Japan, Part 2: Electronics*, 79(6), 60-67, junio 1996.
- [4] K. Ragulskis, R. Bansevicius, R. Barausas, G. Kulvietis (1988). *Vibromotors for pecision microrobots*. [Ilustración]. Recuperado de página 6.
- [5] K. Ragulskis, R. Bansevicius, R. Barausas, G. Kulvietis (1988). *Vibromotors for pecision microrobots*. . [Ilustración]. Recuperado de página 6
- [6] Texas Instruments (2015). *LM555 Timer*. Recuperado de <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm555.pdf>.