

# DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL PARA LA MEDICIÓN DE VIBRACIONES MECÁNICAS

Muñoz Vega Armando (1), Balvantín García Antonio de Jesús (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [a.munozvega@ugto.mx]

2 [Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [Antonio.balvantin@ugto.mx]

## Resumen

En el presente trabajo se desarrolla el diseño, modelado y fabricación de un sistema rotativo experimental para pruebas de vibraciones mecánicas. Las vibraciones se causan a partir de un desbalanceo en el sistema rotativo. La respuesta vibratoria debido al sistema rotatorio desbalanceado se mide a través de un sistema experimental de monitoreo de vibraciones mecánicas, el cual es desarrollado usando una placa de programación comercial basada en microcontroladores. El diseño de los componentes del sistema se realizó por medio de un software comercial de Dibujo Asistido por Computadora (CAD). Para este trabajo, el proceso de manufactura seleccionado para los principales componentes del sistema rotativo fue la manufactura aditiva (impresión 3D). Una vez ensamblado el sistema rotativo, se desarrolló el sistema de monitoreo de vibraciones para ser instalado en el sistema experimental. Finalmente, se realizaron múltiples experimentos para medir la respuesta vibratoria a cierto desbalance establecido y se comparó con un estudio analítico basado en el "Rotor de Jeffcott".

## Abstract

In the present work, the design, modeling and fabrication of an experimental rotatory system, for mechanical vibration tests, are developed. The vibrations are caused by an imbalance in the rotating system. The vibratory response due to the unbalanced rotary system is measured through an experimental mechanical vibration monitoring system, which is developed using a commercial programming platform based on microcontrollers. The design of the components of the system was carried out by means of commercial Computer Aided Design (CAD) software. For this work, the manufacturing process selected for the main components of the rotary system was the additive manufacturing (3D printing). Once the rotating system has been assembled, the vibration monitoring system is installed in the experimental system. Finally, multiple experiments were performed to measure the vibratory response and a certain set imbalance and compared with an analytical study based on the "Jeffcott Rotor".

## Palabras Clave

Vibraciones mecánicas; Monitoreo de vibración; Sistema experimental; Manufactura Aditiva.

## INTRODUCCIÓN

En la práctica, la detección y medición de vibraciones es una actividad necesaria, principalmente debido a las crecientes demandas de una mayor productividad y diseño económico. Lo anterior, conduce a velocidades de operación más altas de la maquinaria y al uso eficiente de materiales mediante estructuras ligeras. Estas tendencias provocan la ocurrencia de condiciones resonantes más frecuentes durante la operación de la maquinaria y reducen la confiabilidad del sistema. De ahí que la medición periódica de las características de vibración de maquinaria y estructuras llega a ser esencial para garantizar márgenes de seguridad adecuados. Cualquier cambio de las frecuencias naturales u otras características de vibración indicarán ya bien sea una falla, o la necesidad de realizar mantenimiento de la maquinaria [1].

Una de las fuentes más comunes de generación de vibración en máquinas rotatorias se debe al desbalance. El desbalance ocurre cuando el eje principal de inercia del rotor no coincide con el eje geométrico del sistema, lo que provoca vibraciones que generan fuerzas indeseables que se transmiten directamente a los elementos mecánicos, tales como los soportes y cojinetes del rotor. Por otra parte, el fenómeno de la resonancia ocurre cuando la frecuencia de excitación se iguala con una frecuencia natural del rotor. En dicha condición de resonancia ocurren las máximas amplitudes de vibración, lo cual genera que los efectos del desbalance sean catastróficos para el sistema [2].

Recientemente, diversos autores reportan el análisis de vibraciones para una gran variedad de sistemas mecánicos sometidos a múltiples condiciones de operación [3,4]. Peeters, et. al., [3], discute la importancia de la fuente de excitación y la temperatura sobre las aplicaciones de monitoreo de la salud estructural en estructuras de ingeniería sometidas a vibración. Por otro lado, Carden y Fanning [4], hacen una revisión del estado del arte del monitoreo de las condiciones de vibración en aplicaciones que involucran estructuras de ingeniería.

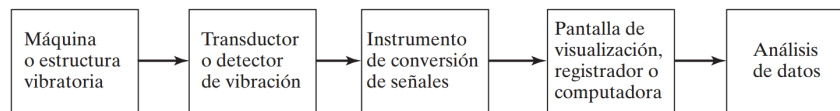
En este trabajo, se propone el diseño, modelado y fabricación de un sistema rotatorio experimental, al cual se le pueda generar un desbalance para generar una vibración inducida. Adicionalmente, se pretende implementar un sistema de monitoreo de vibraciones usando una placa de programación comercial basada en microcontroladores. Lo anterior con el objetivo de desarrollar una plataforma experimental didáctica que pueda ser utilizada como apoyo para los programas educativos de licenciatura tanto de Ingeniería Mecánica, como de Ingeniería Mecatrónica, de la División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, de la Universidad de Guanajuato.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo se desarrolló el diseño, modelado y fabricación de un sistema rotativo experimental para pruebas de vibraciones mecánicas. La intención de este trabajo es la creación de un modelo experimental que permita el estudio de los efectos vibratorios que se generan en máquinas rotativas. También se pretende que este modelo experimental permita a los alumnos de la DICIS realizar prácticas que les ayude a comprender conceptos de unidades de aprendizaje como: vibraciones mecánicas, dinámica de maquinaria (balanceo), entre otras.

Adicionalmente, este proyecto se enfoca en la detección y medición de vibraciones causadas por desbalanceo en un rotor. Las vibraciones en el sistema rotativo se causan a partir de la fuerza centrífuga que se genera en el rotor debido a una masa,  $m$ , colocada a una distancia radial,  $r$ , respecto del centro geométrico del rotor. Las vibraciones causadas por el desbalanceo estático se ven reflejadas sobre las chumaceras que contiene a los rodamientos que sostienen el eje del rotor. La Figura 1 muestra las características básicas de un esquema de medición de vibración. El movimiento (o fuerza dinámica) del cuerpo vibratorio se transforma en una señal eléctrica por medio de un transductor o detector de vibración. Comúnmente, un transductor es un dispositivo que transforma los cambios de cantidades mecánicas (desplazamiento, velocidad, aceleración o fuerza) en cambios de cantidades eléctricas (voltaje o corriente). Como la señal de salida (voltaje o corriente) de un transductor es muy débil para ser registrada de forma directa, se utiliza un instrumento de conversión de señales para amplificar la señal al valor requerido. La salida del instrumento de conversión de señales se

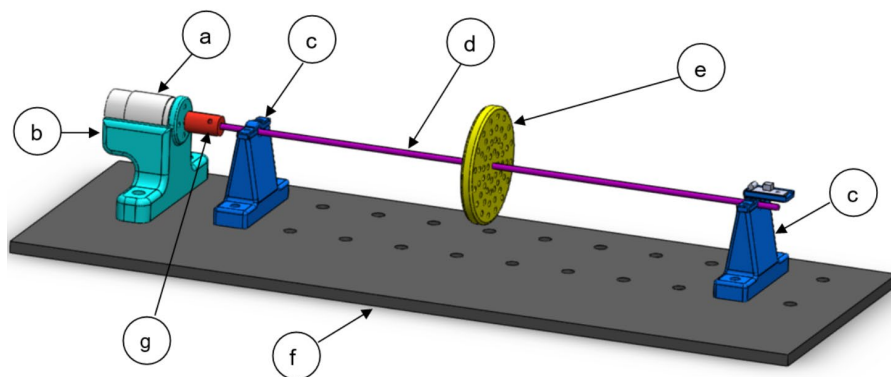
puede presentar en una pantalla de visualización para su inspección visual, capturar en una unidad de registro, o guardar en una computadora para usarla posteriormente. Los datos se pueden analizar entonces para determinar las características de vibración deseadas de la máquina o estructura [5].



**Figura 1: Esquema de medición de vibración básico.**

Para el desarrollo de este proyecto, en primera instancia fue necesario determinar cuáles debían ser los parámetros con los que debía contar el diseño del sistema rotodinámico. Los requerimientos determinados del sistema fueron los siguientes: base sólida y rígida sobre la cual se pudiera montar los elementos del sistema; distancia variable entre los soportes (chumaceras) del eje; el rotor debe contener una masa de desbalanceo; el eje del rotor debe poder ensamblarse a un motor de corriente continua que proveerá de movimiento al sistema; finalmente, el sensor de vibración SW-420 debe instalarse sobre una de las chumaceras.

Una vez planteadas las pautas necesarias que debe cumplir el modelo rotodinámico, se procedió a realizar el diseño y modelado del mismo, con ayuda de un software comercial de CAD, SolidWorks® (ver Figura 2). El modelo se conformó por los siguientes elementos: (a) motor eléctrico DC, (b) soporte motor, (c) chumaceras con baleros, (d) flecha, (e) disco, (f) base, (g) cople.



**Figura 2: Modelo de sistema rotodinámico.**

Una vez modelados los elementos del sistema, se procedió a la manufactura de las mismas. Los elementos b, c, e y g se fabricaron usando manufactura aditiva (impresión 3D), el material usado fue PLA (ácido poliláctico) reforzado con fibra de carbono, excepto para la pieza e (para el disco se usó PLA sin refuerzo). Para la base se usó una placa de acero de 1/4" de espesor y para el eje se usó una varilla roscada de 3/16". Fabricadas las piezas se procedió a realizar su ensamble.

El sistema de monitoreo de vibración se conforma principalmente de un módulo sensor de vibración SW-420, que se encarga de medir la frecuencia con que se repite la perturbación del movimiento en una de las chumaceras. Adicionalmente, cuenta con un sensor de distancia infrarrojo GP2Y0A41SK0F encargado de medir el desplazamiento del rotor en la dirección horizontal; cabe mencionar que este desplazamiento del rotor se debe a que la flecha no es rígida, por tanto, se modela como un componente elástico. También se requirió de una fuente de alimentación de 110 V a 12 V, 4.2 A, un Arduino Uno con Protoshield y un módulo controlador de motor DC L298N.

La adquisición de la señal del módulo sensor de vibración SW-420 se llevó a cabo a través de un instrumento virtual desarrollado en LabView®. El control de la velocidad se realiza por medio de la técnica de PWM, la cual se programó en el mismo instrumento virtual usando el módulo controlador L298N.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La impresión de las piezas b, c y g se realizó con una impresora Anycubic I3 Mega con filamento de PLA de 1.75 mm de diámetro, reforzado con fibra de carbono, debido a las prestaciones de alta resistencia de este material no se requirió densidad de impresión alta. El rotor (pieza e) se fabricó con una impresora Prusa I3 XL con filamento de PLA de 3 mm de diámetro sin refuerzo. Las piezas manufacturadas se presentan en la Figura 3.

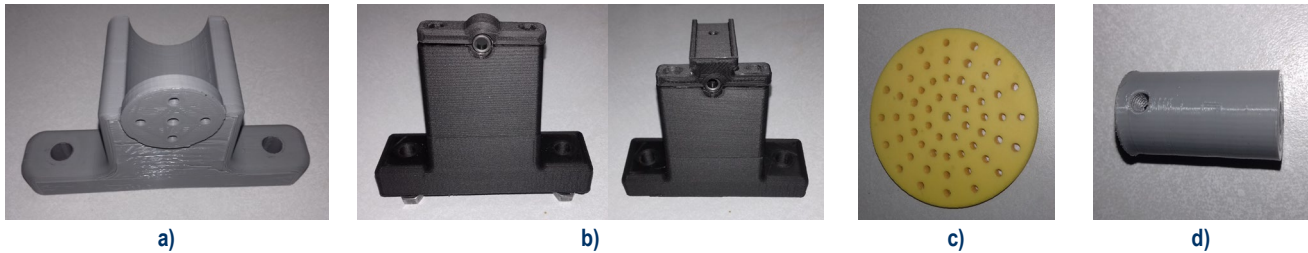


Figura 3: Partes del sistema manufacturadas: (a) Soporte motor DC; (b) Chumaceras; (c) Disco; (d) Cople.

Impresas las piezas del sistema rotodinámico se procedió a su ensamblaje, de igual forma se agregaron los elementos del sistema de monitoreo de vibraciones, ver Figura 4.

Figura 4: Sistema rotodinámico experimental.

Con el sistema de monitoreo de vibraciones se obtienen dos señales: la primera señal se obtiene del sensor infrarrojo de distancia, este permite observar el desplazamiento en la dirección del plano transversal del rotor, causado por la oscilación del eje soportado por los rodamientos de las chumaceras (Figura 5a). Una segunda señal del módulo sensor de vibración nos muestra el tiempo, en microsegundos, que dura la respuesta vibratoria en la chumacera en función del transcurso del tiempo que dura la medición (Figura 5b). La señal experimental de desplazamiento se compara con la respuesta obtenida a partir de un modelo matemático desarrollado en el proyecto “DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL PARA LA MEDICIÓN DE VIBRACIONES MECÁNICAS: ESTUDIO ANALÍTICO” desarrollado en conjunto con el trabajo aquí presentado. La comparativa de las respuestas del modelo matemático y el modelo experimental se pueden observar en la Figura 6. Es necesario mencionar que las diferencias entre la señal analítica y la experimental, se deben principalmente a la baja frecuencia del sensor de distancia infrarrojo utilizado. Sin embargo, los resultados son satisfactorios para la etapa de construcción del sistema experimental.

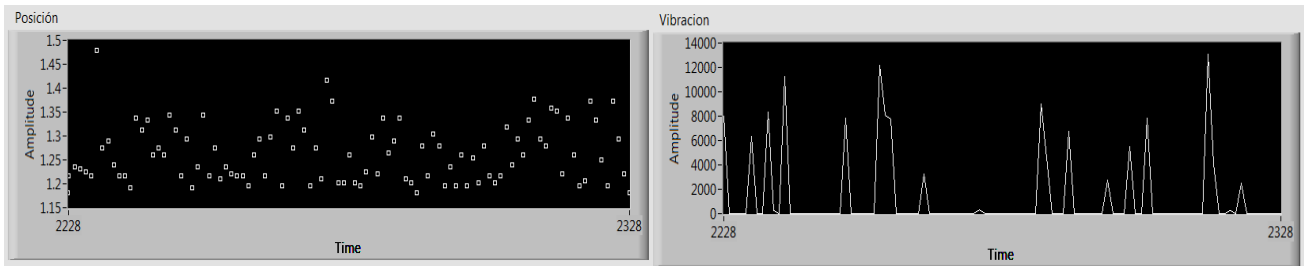


Figura 5: Instrumento Virtual para el monitoreo de vibraciones; señales de desplazamiento (izquierda) y vibración (derecha).

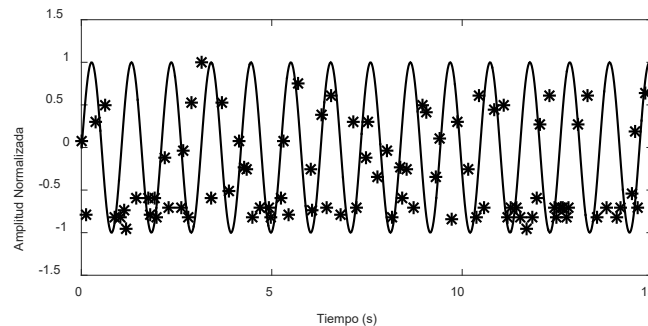


Figura 6: Señales obtenidas en forma analítica y experimental.

## CONCLUSIONES

El objetivo principal de este proyecto se alcanzó satisfactoriamente. El prototipo experimental rotodinámico fabricado cumplió plenamente con las especificaciones planteadas al inicio del proyecto. De igual forma el sistema de monitoreo de vibraciones cumplió el objetivo ya que es posible capturar la señal de la vibración, así como la respuesta debida a la oscilación en el rotor.

Este modelo tiene la posibilidad de ser mejorado al agregar un sistema de monitoreo que nos permita medir la oscilación del rotor en la dirección vertical del rotor para observar el comportamiento total del sistema en su plano transversal. Adicionalmente, se puede utilizar un sensor de posición de mayor frecuencia, con lo que se mejoraría la correspondencia entre la señal medida experimentalmente y la generada analíticamente.

Finalmente, durante el desarrollo de este proyecto se reforzaron muchos conocimientos del área de diseño y vibraciones mecánicas. Este proyecto será de gran utilidad para que alumnos de ingeniería mecánica de la DICIS puedan realizar prácticas de vibraciones mecánicas y balanceo de máquinas rotatorias.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Dr. Antonio de Jesús Balvantín García por brindarme la oportunidad de participar en este proyecto, por su paciencia y disposición para ayudar.

## REFERENCIAS

- [1]. Thomson William T., (1981), Theory of Vibration with Applications, (2 nd. Edition), Englewood Cliffs N. J: Prentice-Hall
- [2]. Mendoza Larios J. G., Colín Ocampo J., Ortega Blanco A., Abundez Pliego A., Gutierrez Wing E. S., (2016). Balanceo Automático de un Sistema Rotor- Cojinete: Identificador Algebraico en Línea del Desbalance Para un Sistema Rotodinámico. Revista Iberoamericana de Automática e informática Industrial pp. 281-292
- [3]. Carden, E. P., & Fanning, P. (2004). Vibration based condition monitoring: a review. Structural health monitoring, 3(4), 355-377.
- [4]. Peeters, B., Maeck, J., & De Roeck, G. (2001). Vibration-based damage detection in civil engineering: excitation sources and temperature effects. Smart materials and Structures, 10(3), 518.
- [5]. Rao Singiresu S., (2012), Vibraciones mecánicas (5a ed) , México: Pearson Educación.