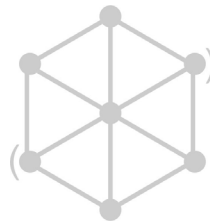


Desarrollo de un controlador PID aplicado a la reducción de vibraciones en estructura



Colaboración

Olguin-Camacho J.; Ochoa-García L. A.; Ventura-Cruz I.,
Instituto Tecnológico Superior de Huichapan

RESUMEN: El presente trabajo reporta el diseño e implementación de un control PID aplicado a la reducción de vibraciones en una estructura metálica, dicho control se implementó en la plataforma Labview y se aplicó a un freno de fricción variable, en donde el grado de presión está relacionado con la energía disipativa de dicho elemento, que es variada por medio de un servomotor que regula la fuerza normal de empuje del freno de fricción. La respuesta de amortiguamiento se analizó en una estructura de prueba en donde se aplicó una excitación senoidal, a partir de esta fuerza se estudió la respuesta del sistema al implementar el control, comparando los resultados con respecto a la respuesta libre de la planta, concluyendo con el acotamiento del control para la reducción de vibraciones en frecuencias específicas relacionadas con las frecuencias naturales de la estructura, así mismo se obtuvo un modelo matemático que expresa el comportamiento del amortiguamiento general de la estructura respecto al freno de fricción.

PALABRAS CLAVE: Amortiguamiento, Frecuencia-Natural, Sistema Semi-Activo.

ABSTRACT: The present work reports the design and implementation of a PID control applied to the reduction of vibrations in a metallic structure, this control was implemented in the Labview platform and was applied to a variable friction brake, where the label pressure is related to the dissipative energy of a bore mentioned break, which is modified by means of a servomotor that regulates the normal thrust force of the friction brake. The damping response was analyzed in a test structure where a sinusoidal excitation was applied, from this force was studied the response of the system when implementing the control, comparing the results with respect to the free vibration, concluding with the boundary of the control for the reduction of vibrations in specific frequencies related to the natural frequencies of the structure, likewise a mathematical model was obtained that expresses the behavior of the general damping of the structure with respect to the friction brake.

KEYWORDS: Damping, Natural Frequency, Semi-active System.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de sistemas de control enfocado a la preservación de vidas humanas, instalaciones y equipos es un área fundamental en la ingeniería. Un ejemplo de ello son las aplicaciones para el control y reducción de vibraciones, las cuales han ido evolucionando encontrando su mayor expresión en los sistemas activos y semi-activos de amortiguamiento. Los siguientes trabajos son muestra de ello:

Park et al (2018) propusieron un mecanismo de amortiguación que utiliza relieves en la pared de un amortiguador de columna de líquido sintonizado (TLCD) planteando un TLCD con relieves en la pared (ETLCD) como un amortiguador pasivo. Evaluaron las características dinámicas del amortiguador y el rendimiento del control de vibración para edificios altos. Realizaron una prueba de modelo a escala de un edificio mediante un experimento de

vibración libre y una prueba de vibración forzada de barrido sinusoidal para verificar el funcionamiento del control de vibración de la estructura con amortiguadores; Kapsalas et al (2018) analizaron el problema del control de la vibración de objetos flexibles manipulados por robots industriales en condiciones normales de producción. El problema se analizó mediante vigas flexibles a través de una modelización estocástica de la entrada mediante ARX de un modelo robot-vigas.

Diseñaron un sistema de control que consistió en un PID de avance típico y una retroalimentación que permite la atenuación de la fuerza en la muñeca del robot y, por lo tanto, la supresión de la vibración en el extremo libre de la viga. La efectividad del método se evaluó a través del control de vibración de una viga metálica flexible manipulada por un robot industrial para su inserción en una ranura, probando además el rendimiento del sistema de control en diversas condiciones de operación para las cuales no está diseñado; Xie et al (2018) presentan un método de control basado en datos para manipular las vibraciones de las estructuras flexibles activas con múltiples entradas de control y múltiples salidas de detección. La evaluación del rendimiento de supresión de vibraciones y un criterio de estabilidad MIMO se formularon en función de los datos de respuesta de frecuencia muestreados. Tal método fue aplicado a una viga en voladizo, lo que demuestra que el controlador de datos de bajo orden con un controlador de sensibilidad mixta basado en modelos puede lograr una supresión de vibraciones prometedora para estructuras flexibles sin la necesidad de modelos dinámicos; Xie et al (2018) propusieron el control de una viga de rejilla de celosía con hojas de material compuesto de fibra piezoeléctrica.

El modelo dinámico y las respuestas de vibración de la estructura sándwich inteligente se obtuvieron basándose en la teoría de la deformación por cizallamiento de tercer orden. El patrón de capas de compuesto de fibra piezoeléctrica y la amortiguación estructural se tienen en cuenta para predecir el comportamiento dinámico a partir de un método de control activo utilizando el algoritmo PD_{μ} de orden fraccional, del cual se realizaron simulaciones de control de vibración del enrejado de red sometido a diversas cargas dinámicas; demostraron que el control de orden fraccional PD_{μ} es capaz de reducir la amplitud de la vibración de la viga de la rejilla de celosía; Rojas y Carcaterra (2018) identificaron un límite superior físico para almacenamiento de energía.

La herramienta matemática es un control óptimo llamado método de Krotov. Este enfoque condujo a la identificación de límites máximos para el rendimiento de la recolección de energía, por lo que fueron propuestas configuraciones de control de dispositivos basadas en MEMS para la recolección de energía por vibración; Etedali, et al (2018) estudiaron la aplicación del con-

trolador FOPID para ajustar la fuerza de control de un amortiguador de masa sintonizado activo (ATMD) para el control sísmico de un edificio. De acuerdo a los resultados de la simulación se observó que los controladores PID y LQR proporcionan el mismo rendimiento en la reducción del desplazamiento máximo en el último piso de la estructura; Gambier y Nazaruddin (2018) describieron los resultados obtenidos a partir de un enfoque de control PID no lineal (NPID) para el control de paso con amortiguación activa de la torre superior de una turbina eólica grande. Se implementó un algoritmo de control utilizando un enfoque basado en funciones secantes hiperbólicas. Un controlador PID no lineal y un controlador P no lineal se utilizaron para el control de paso colectivo y la amortiguación activa de la torre, respectivamente.

El enfoque de NPID proporcionó mejoras significativas en el rendimiento del control en comparación con el enfoque de control clásico; Zhang et al (2017) presentaron la estrategia de control activo y pasivo de la vibración en los giroscopios de momento de control envolventes (CMG) y analizaron sus características de dominio de tiempo y frecuencia. Los CMG con envoltura de armazón contienen CMG de tipo piramidal, que están envueltos por varios puntales. Estos puntales fueron empleados para realizar el control de vibración integrado activo-pasivo. Desarrollaron una estructura celosía de aislamiento de vibración activa-pasiva integrada, basada en sus características, la cual es capaz de restringir la vibración CMG y reducir su influencia en la calidad fotográfica de las cargas útiles ópticas.

El análisis de dominio de frecuencia mostró que el método de control de vibración integrado activo-pasivo es capaz de restringir la vibración de alta frecuencia y también mejorar las características de la vibración de baja frecuencia; Adriani et al (2016) presentaron el modelado y simulación de un sistema activo para la estabilización de oscilaciones utilizando un controlador de orden fraccional PID. Las funciones de excitación comunes fueron utilizadas para evaluar el rendimiento del sistema de estabilización activo, junto con algunas perturbaciones de vibración comunes adquiridas por un tractor-implemento. El sistema de estabilización activa mitiga los desplazamientos y las aceleraciones de la vibración a través de un sistema de circuito cerrado con un controlador PID fraccional.

Los resultados numéricos confirmaron la capacidad del sistema basado en el controlador fraccionario para atenuar la perturbación de la vibración; Thenozhi y Yu (2014) analizaron la estabilidad del sistema de control de vibración activo para las estructuras lineales y no lineales. Verificaron la teoría a través de simulaciones numéricas y un prototipo de construcción de dos pisos; Kasemi et al (2012) estudiaron una metodología para obtener una estructura de control basada en resultados experimentales. Determinaron el compor-

tamiento del amortiguador MR. La respuesta de fuerza-desplazamiento y fuerza-velocidad con corriente variable fue establecida para el amortiguador; en el proceso de expansión y retracción del pistón, la fuerza tiene un comportamiento de histéresis al aumentar la corriente, con lo que se hizo posible ayudar en el modelado de MR para aplicaciones de control.

De los trabajos anteriores se observa la existencia diversas técnicas para el control y reducción de vibraciones, donde se muestra como requerimiento una relación entre el control de vibración y el disipador de energía. El presente trabajo reporta el desarrollo de un controlador para la reducción de vibraciones aplicado a un freno de fricción variable y la medición de la aceleración y desplazamientos locales.

MATERIAL Y MÉTODOS

El desarrollo del presente trabajo se realizó en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, ubicado en Dom. Conocido s/n., El Saucillo, Municipio de Huichapan, Hidalgo, México, en el laboratorio de ingeniería Mecatrónica. En la figura 1 se muestra una imagen satelital de la ubicación de la institución. Para las pruebas realizadas se tomaron en cuenta los siguientes equipos:

- Tarjeta programable MyRio No. de serie 308BAAA.
- Sensor diferencial de desplazamiento lineal (LVDT) LVM-110.
- 2 Fuentes de voltaje variable GEO875895, 249E14168.
- Acelerómetro con giroscopio MPU 6050.
- Software LabView 2017.
- Mecanismo de excitación sinusoidal con longitud de trabajo de 6 mm.



Figura 1 Vista vía satélite del Instituto Tecnológico Superior de Huichapan

Para el presente trabajo se planteó una estructura de eslabones esbeltos, a la cual se le implementó un amortiguador por fricción variable, que consiste en un freno de acción lineal, controlado por un motor. En la figura 2. Se muestra una modelo 3D de dicha estructura.

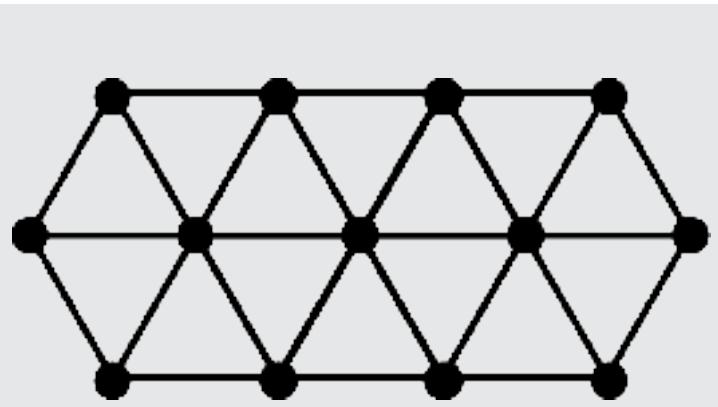


Figura 2 Estructura modular

La estructura consiste en elementos de tipo barra de masa distribuida y nodos de masa concentrada. Lo anterior con la finalidad de linealizar su comportamiento.

En la estructura se implementó un freno de fricción como el mostrado en la figura 3. Dicho freno regula la fricción por medio de un elemento cónico, el cual es operado por un motorreductor con encoder.

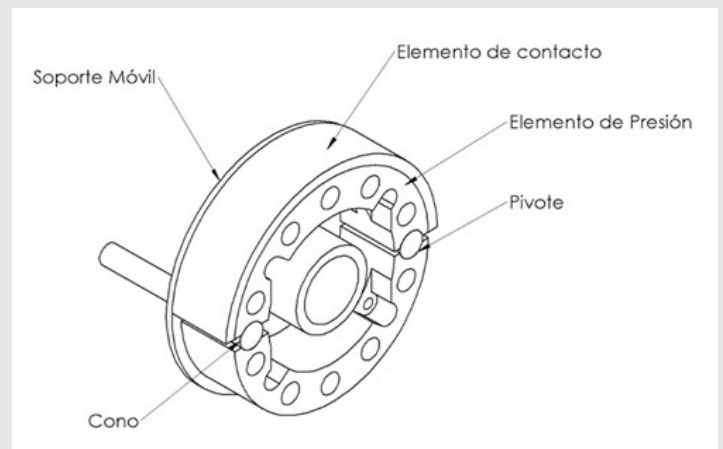


Figura 3 Componentes del freno de fricción

Dicho freno se implementó en un eslabón redundante de la estructura (diagonal opuesta), con la finalidad de influir en un desplazamiento 3D y así tener un impacto mayor en la matriz de amortiguamiento de la estructura. Lo anterior se muestra en la figura 4.

En la figura 4. se aprecia que el freno de fricción actúa a lo largo de la línea de acción del eslabón, así mismo que presenta movimientos lineales.

Esquema de control

Debido al modo de accionamiento del freno de fricción propuesto, es requerido un control que regule la posición y velocidad de respuesta del motor con la

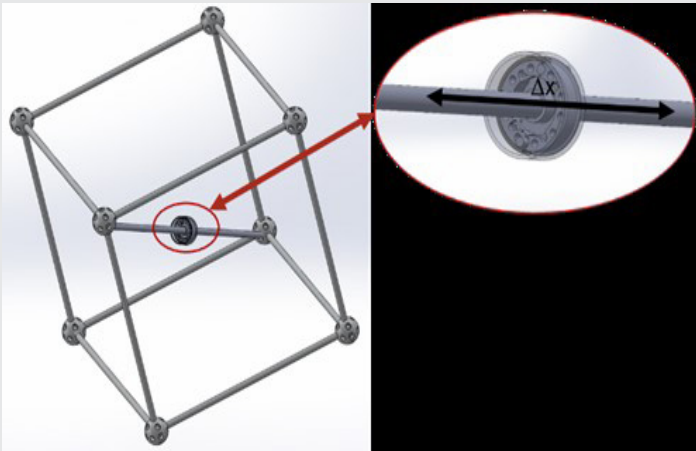


Figura 4 Configuración de amortiguador en estructura

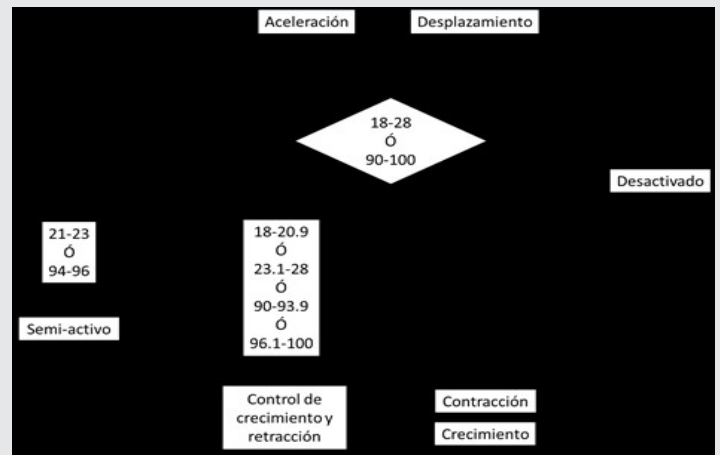


Figura 6 Funcionamiento del control

finalidad tener un comportamiento adecuado a las frecuencias de vibración. Por ello, se propuso un control PID clásico implementado en una tarjeta de desarrollo NI MyRIO, la selección de esta tarjeta se debió a su frecuencia de trabajo y la modularidad de ésta al contar con módulos de adquisición de señales y PWM. Lo que facilita la integración del sistema de control. En la figura 5 se muestra la configuración de este.

como elemento de bloqueo o elemento libre, dependiendo de la posición del eslabón y la dirección de movimiento local, bajo las condiciones mostradas en la tabla 1.

Tabla 1. Condiciones de operación del freno.

Dirección	Posición		
	Contracción	Crecimiento	Neutro
(+)	Libre	Freno	Libre
(-)	Freno	Libre	Libre

ii. Lo anterior bajo las condiciones de trabajo, es decir que no supere la distancia de 3 mm hacia cada extremo, de ser así el freno entra en posición de bloqueo.

iii. Control semi-activo (21.0 - 23.0, 94.0 - 96.0 Hz). El control cambia a un PID sintonizado a la frecuencia natural correspondiente, al entrar en el umbral marcado, en este se modifica la matriz de amortiguamiento, cambiando así la frecuencia natural en cuestión, evitando la magnificación de las oscilaciones.

RESULTADOS

De la implementación del sistema de control se obtuvo una respuesta como la mostrada en la figura 7, donde se observa la respuesta en posición del motor ante una excitación escalón. Donde la velocidad de respuesta del controlador se adecuó a la velocidad de la primera frecuencia natural.

En la figura 8 se muestra la interfaz del control de posición del motor. se observa la referencia y constantes del controlador.

CONCLUSIONES

Del presente trabajo se concluye que la combinación umbral del sistema de control permite el ahorro de energía y la reducción de vibraciones ante perturbaciones externas. Al aplicar un freno de fricción, convierte al sistema de disipación de energía en un híbrido entre la disipación pasiva y semi-activa. Aún,

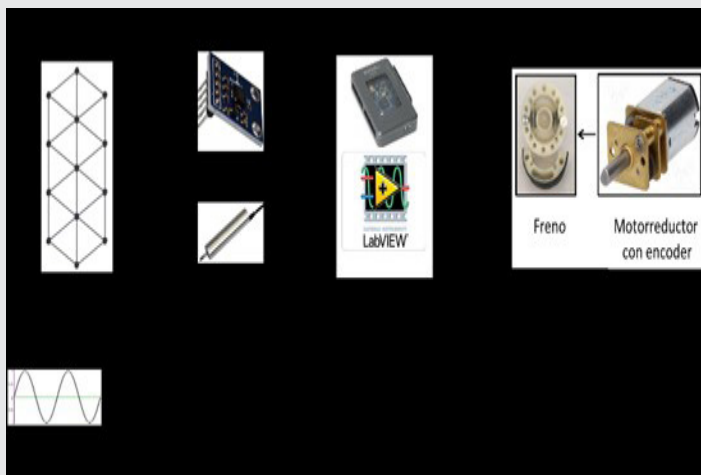


Figura 5 Configuración del sistema de control

El acelerómetro hace una medición de la aceleración de la estructura de estudio en un punto de interés, el cual es procesado en la tarjeta MyRIO en donde se determina la frecuencia de oscilación, si ésta se encuentra dentro del espectro cercano a la primera o segunda frecuencia natural de la estructura (22.6 Hz y 92.5 Hz) se activa el controlador, el cual realiza las acciones de control necesarias en función del diagrama mostrado en la figura 6. Dependiendo de la cercanía con la frecuencia natural, el controlador puede activar dos opciones:

i. Control de crecimiento y contracción de eslabones (18.0 - 20.9, 23.1 - 28.0, 90.0 - 93.9, 96.1 - 100 Hz). Se realizan acciones de control con la permisión de desplazamientos pequeños de -3 a 3 mm, el freno actúa

cuando en el presente trabajo se implementó un freno por fricción, es posible aplicar el mismo esquema haciendo uso de amortiguadores magnetorreológicos o electromagnéticos, sin embargo, los costos de estos se ven incrementados.

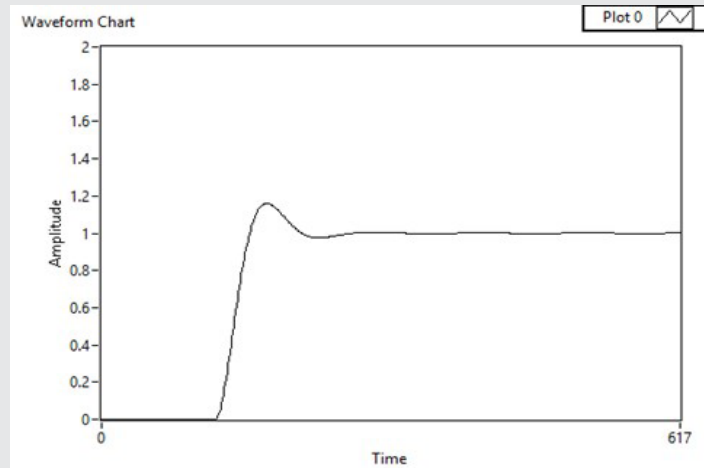


Figura 7 Respuesta de posición del motor

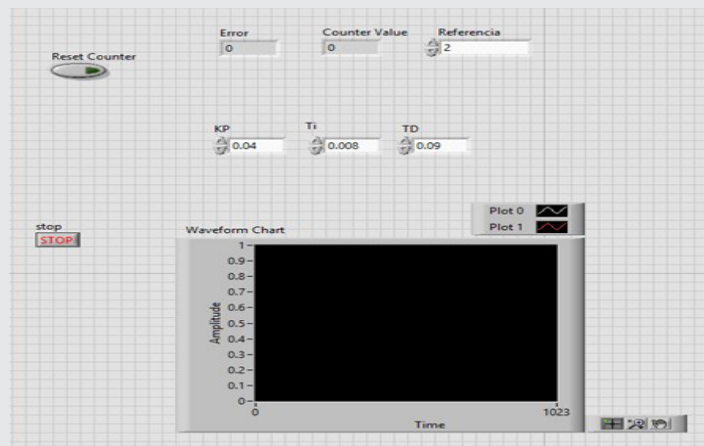


Figura 8 Interfaz de control

BIBLIOGRAFÍA

[1] 2018. Vibration control of a structure by a tuned liquid column damper with embossments. *Engineering Structures*. 168. 290-299.

[2] Kapsalas C.N., Sakellariou J.S., Koustoumpardis P.N. y Aspragathos N.A. 2018. An ARX-based method for the vibration control of flexible beams manipulated by industrial robots. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 000. 1-16.

[3] Xie Y., Shi H., Bi F. y Shi J. 2018. A MIMO data driven control to suppress structural vibrations. *Aerospace Science and Technology*. 77. 429-438.

[4] Xie C., Wua Y. y Liub Z. 2018. Modeling and active vibration control of lattice grid beam with pie-

zoelectric fiber composite using fractional order PD μ algorithm. *Composite Structures*. 198. 126-134.

[5] Rojas R. A. y Carcaterra A. 2018. An approach to optimal semi-active control of vibration energy harvesting based on MEMS. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 107. 291-316.

[6] Rong B., Rui X., Lu K. Tao L., Wang G. y Ni X. 2018. Transfer matrix method for dynamics modeling and independent modal space vibration control design of linear hybrid multibody system. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 104. 589-606.

[7] Etedali S., Zamani A. y Tavakoli S. 2018. A GBMO-based PI λ D μ controller for vibration mitigation of seismic-excited structures. *Automation in Construction*. 87. 1-12.

[8] Gambier A. y Nazaruddin Y. Y. 2018. Collective Pitch Control with Active Tower Damping of a Wind Turbine by Using a Nonlinear PID Approach. *IFAC-PapersOnLine*. 51. 238-243.

[9] Zhang Y., Zang Y., Lia M., Wang Y. y Lib W. 2017. Active-passive integrated vibration control for control moment gyros and its application to satellites. *Journal of Sound and Vibration*. 394. 1-14.

[10] Zhou D., Yu P., Wang L. y Li J. 2017. An adaptive vibration control method to suppress the vibration of the maglev train caused by track irregularities. *Journal of Sound and Vibration*. 408. 331-350.

[11] Jimoh O. P. y Smith R. V. 2017. Real-Time Hybrid PID/ILC Control of Two-Link Flexible Manipulators. *IFAC-PapersOnLine*. 50. 145-150.

[12] Adriani S. A., De Sousa R. V., Valentim Jr. C. A., Tabile R. A. y Tenreiro J. A. 2016. Fractional PID controller in an active image stabilization system for mitigating vibration effects in agricultural tractors. *Computers and Electronics in Agriculture*. 131. 1-9.

[13] Thenozhi S. y Yu W. 2014. Stability analysis of active vibration control of building structures using PD/PID control. *Engineering Structures*. 81. 208-218.

[14] Kasemi B., Muthalif A. G. A., Rashid M. M. y Fathima S. 2012. Fuzzy-PID Controller for Semi-Active Vibration Control Using Magnetorheological Fluid Damper. *Procedia Engineering*. 41. 1221-1227.