

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL SEMIACTIVO DE VIBRACIONES CON FLUIDOS MAGNETOREOLÓGICOS

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL SEMIACTIVO DE VIBRACIONES USANDO FLUIDOS MAGNETOREOLÓGICOS PARA EL LABORATORIO DE MECANISMOS Y SERVOMEKANISMOS DEL DECEM

Mayra Alejandra Reyes Castillo

Luis Santiago Lema Paucar

25/09/2013

INGENIERÍA MECATRÓNICA

rcmayra.aleja@yahoo.es

santy_lem89@msn.com

1. RESUMEN

El presente trabajo tiene por objeto diseñar un sistema de control semiactivo de vibraciones, el cual es un sistema que puede controlar las vibraciones dentro de ciertos límites y utilizando pocas cantidades de energía externa. Para esto se construirá un amortiguador que utiliza fluidos magnetoreológicos con diferentes concentraciones de partículas metálicas y se lo implementará en un conjunto mecánico automatizado que permite generar vibraciones controladas. Además se desarrollará una interfaz HMI entre el sistema y el PC, para visualizar la información sobre el comportamiento del sistema, este nos permitirá analizar y determinar el porcentaje de reducción de las amplitudes de vibraciones que se generan en el sistema, a medida que se aplica un campo magnético variable. Al implementar este sistema en el laboratorio de Mecanismos y Servomecanismos del DECEM, permitirá al estudiante enfocarse en la investigación y el estudio de estos dispositivos que utilizan fluidos magnetoreológicos y que representan una solución tecnológica frente a la necesidad de la atenuación de las vibraciones mecánicas.

ABSTRACT

The aim of this work is to design a semi-active control system of vibration, which is a system that can control vibration within certain limits and using small amounts of external energy. For this construct a shock absorber that utilizes magnetorheological fluids with different concentrations of metal particles and it will implement an automated mechanical assembly controlled vibrations can generate. In addition you will develop a HMI interface between the system and the PC, to display information about the behavior of the system, this will allow us to analyze and determine the percentage reduction in the amplitude of vibrations generated in the system, as it applies a variable magnetic field. By implementing this system in the laboratory of Mechanisms and Servo Mechanisms of DECEM, allow students to focus on research and study of these devices using magnetorheological fluids and represent a technological solution addressing the need of mechanical vibration attenuation.

2. PALABRAS CLAVES

Amortiguador, fluido magnetoreológico, interfaz HMI, campo magnético, vibraciones.

3. INTRODUCCIÓN

Se están desarrollando nuevos materiales 'inteligentes', entre estos tenemos los fluidos magnetoreológicos, los cuales están compuestos por partículas ferromagnéticas de tamaño micrométricas dispersas en un líquido portador, cuyas propiedades reológicas pueden ser modificadas mediante la aplicación de un campo magnético. Las partículas dispersas adquieren un momento dipolar que genera una fuerza atractiva entre estas, obligando a la formación de collares o cadenas alineadas con el campo magnético, razón por la cual se da el drástico cambio en su comportamiento reológico. Este cambio se manifiesta mediante el desarrollo de un esfuerzo producido monotónicamente que crece con el campo aplicado, de ahí su habilidad para proveer una simple, silenciosa y rápida respuesta en el interface entre controles electrónicos y sistemas mecánicos.

Objetivo General

Diseñar, construir e implementar un sistema de control semiactivo de vibraciones utilizando fluidos magnetoreológicos, permitiendo al estudiante enfocarse en la investigación, el estudio integral y el desarrollo tecnológico al tener un contacto con estos sistema que representan soluciones tecnológicas frente a la necesidad de la atenuación de las vibraciones mecánicas.

Objetivos específicos

- Diseñar un amortiguador magnetoreológico, de manera que este facilite la aplicación de varias muestras

de fluidos magnetoreológicos con diferentes concentraciones, a fin de realizar distintas pruebas y mediciones.

- Automatizar el conjunto mecánico que se encuentra en el laboratorio de mecanismo y servomecanismos, para generar vibraciones controladas.
- Desarrollar la interfaz HMI entre el sistema y el PC, para visualizar el comportamiento de las vibraciones ejercidas sobre el sistema y monitorear el voltaje, la intensidad y velocidad del motor.
- Realizar el control sobre el amortiguador magnetoreológico, a fin de determinar el porcentaje de reducción de las amplitudes de vibraciones que se generan en el sistema, a medida que se aplica un campo magnético.

Alcance del proyecto

El presente proyecto está diseñado y construido para determinar la amplitud de vibraciones que se va a reducir en el sistema a medida que varía la viscosidad de un fluido magnetoreológico.

4. DISEÑO DEL SISTEMA MAGNETOREOLÓGICO

Para realizar el diseño del sistema magnetoreológico, se lo debe hacer analizando tres líneas específicas:

- **Análisis del fluido magnetoreológico**

Un fluido MR básico debe tener algunas características: partículas magnéticamente polarizables, un líquido portador y en el caso de ser necesario, el uso de aditivos estabilizadores.

Selección del material

Partículas de acero

Recolección de partículas

Para este proyecto se ha utilizado el arranque de viruta que es obtenida del proceso de rectificar discos en la máquina rectificadora plana. La limalla de acero recolectada es bastante pequeña, conveniente para nuestra aplicación

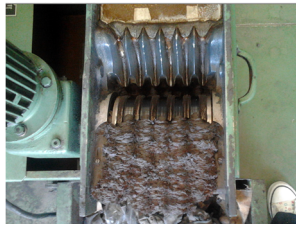


Ilustración 1 Limallas de acero

Secado

Poner las limallas sobre papel absorbente.



Ilustración 2 Secado

Pulverizado

Se procede a realizar el pulverizado de los pedazos que se forman durante el proceso de secado, con el fin de obtener limallas más pequeñas, hasta alcanzar una consistencia muy fina.



Ilustración 3 Pulverizado

Filtrado

Para obtenerlas de un tamaño homogéneo para la aplicación y así conseguir una buena calidad del fluido, se utilizan telas o cernidores muy finos que permitan pasar las limallas de menor tamaño.

Aproximadamente se obtiene un 60% de limalla útil.



Ilustración 4 Filtrado

Calcinación

Es necesario realizar una calcinación en un horno de mufla a fin de eliminar los residuos orgánicos y demás partículas que se encontraban mezcladas en la muestra, para posterior realizar una granulometría y obtener una apreciación de las dimensiones de las partículas.

Granulometría

Se realizó la granulometría con 4 muestras de 250 gr de partículas metálicas, utilizando un conjunto de 14 tamices, a partir de la malla # 20, que tiene una abertura de 850 μm , hasta la malla # 400, con una abertura de 38 μm .

Se obtuvieron de esta manera un 67% del total de las muestras, equivalente a 670 gr de partículas de acero con tamaño de grano de hasta 106 μm , siendo este un valor adecuado para un FMR.

Obtención del líquido portador

Considerando los parámetros de un fluido magnetoreológico hemos seleccionado utilizar un lubricante cuya designación es SAE 20W-50. Este es un aceite de uso muy común y tiene una viscosidad baja, lo cual es adecuado para nuestro proyecto, que requiere un coeficiente de amortiguamiento bajo.

Medición de viscosidad en un fluido magnetoreológico

Se determinó la viscosidad de 4 muestras de FMR con concentraciones de 10, 20, 30 y 40 % en peso de partículas metálicas y la variación de viscosidad producto de la aplicación de un campo magnético dentro del FMR, variando su voltaje de entrada desde 0, 2, 4, 6, 8, 10 y 12 v.

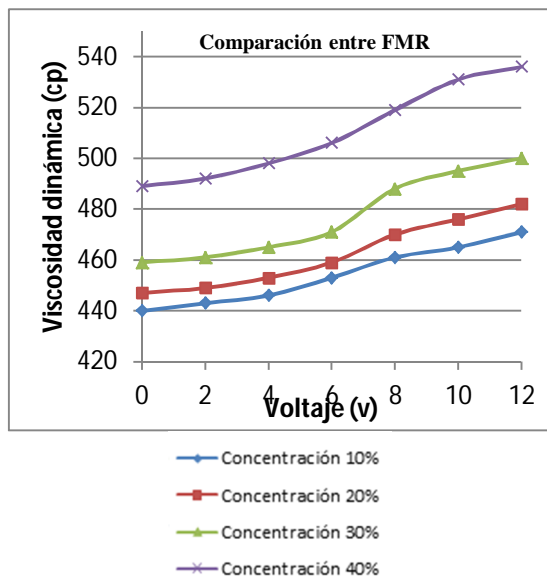


Ilustración 5 Viscosidad vs voltaje

Después de realizar las pruebas, se puede observar que existe una variación creciente y no lineal en la viscosidad. A medida que aumenta la concentración de partículas metálicas en el FMR, también

existe un mayor rango de variación de la viscosidad.

• Diseño del sistema mecánico

El diseño mecánico del amortiguador magnetoreológico parte de cumplir con tres requerimientos que tenemos. El primero; diseñar un amortiguador que permita el acoplamiento de un electroimán que se desplace en el interior del cilindro; segundo, que se pueda acoplar a la estructura metálica que se tiene; y tercero, que presente facilidad para utilizar diferentes fluidos magnetoreológicos.

Para nuestro proyecto hemos obtenido un amortiguador estándar de motocicleta como se muestra en la figura 3.31; con una longitud de 350mm limitada por las dimensiones de la estructura metálica.



Ilustración 6 Amortiguador

Primero sacamos el resorte que se encuentra alrededor del cilindro por medio de una prensa ejerciendo la presión suficiente y así, proceder a abrir el cilindro y desmontar todos los componentes que posee el amortiguador, principalmente extraer el vástago con su respectivo émbolo y empaques los cuales se van a utilizar para el amortiguador magnetoreológico.

Vástago

Es un elemento mecánico móvil. Permite que se produzca el efecto de amortiguamiento.

Actúa como núcleo del electroimán (acero).

Permite un mayor número de líneas de fuerza y menor saturación magnética.

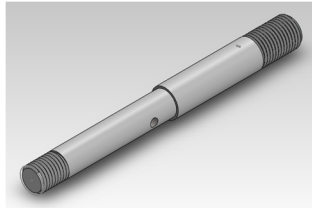


Ilustración 7 Vástago

Limitador de flujo

Genera oposición al movimiento del fluido.

Direcciona al fluido con las líneas de fuerza del campo magnético.

De las dimensiones de sus orificios depende el coeficiente de amortiguamiento.

Es necesario colocar un cojinete de bronce



Ilustración 8 Limitador de flujo

Carrete

Forma geométrica cilíndrica.

Las líneas magnéticas alinean a las partículas.

En este se colocará el bobinado,

Actúa como aislante entre el núcleo y el conductor eléctrico. (Grillón)

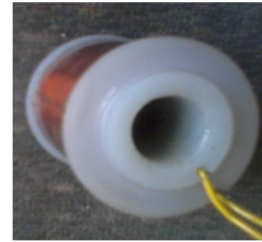


Ilustración 9 Carrete

Montaje de los componentes mecánicos

Colocamos y aseguramos los componentes en el vástago.

Colocamos el vástago en el cilindro.

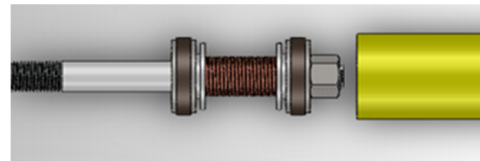


Ilustración 10 Montaje

Colocamos el FMR, de acuerdo a la capacidad que el amortiguador posee.

Colocamos cinta de teflón alrededor de la rosca de la tapa del cilindro, para evitar que existan fugas.

Una vez realizado todos los ajustes, debemos realizar las verificaciones respectivas.

- **Diseño del sistema eléctrico del electroimán**

Elegir un buen material ferromagnético.

Calcular la corriente necesaria para generar un campo magnético.

Elegir el calibre de conductor adecuado.

Características del Electroimán

Voltaje (v)	12
Intensidad (A)	1
Numero de vueltas	1504

Inducción Magnética (T)	6,29
Flujo Magnético (Wb)	$7,73 * 10^{-4}$
Diámetro del conductor (mm)	0,3211
Cable AWG No.	28
Numero de capas	16

5. ANÁLISIS DEL SISTEMA MECÁNICO

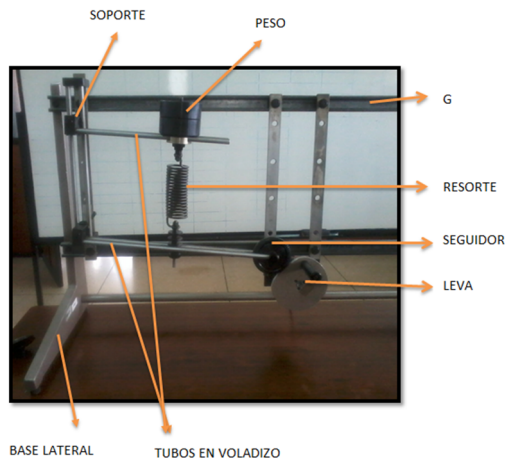


Ilustración 11 Estructura metálica

- **Obtención de los parámetros del sistema**

Para realizar el análisis del funcionamiento del sistema, es necesario obtener los parámetros que actúan directamente en el sistema:

- k : Constante de muelle o resorte.
- c : Coeficiente de amortiguación del amortiguador.
- m : Masa de suspendida del sistema.

Se obtiene el valor la constante de deformación $K = 4434,03 \text{ N/m}$.

Se obtiene como valor del coeficiente de amortiguación, un valor medio $c_o = 176,18 \text{ Nxs/m}$, para un fluido que no posee partículas metálicas inmersas.

Al comparar este valor con el coeficiente de amortiguación $c_1 = 315,48 \text{ Nxs/m}$ y $c_2 = 394,09 \text{ Nxs/m}$, correspondientes a los FMR de 10 y 20 % de concentración de partículas metálicas, se puede observar que existe un aumento considerable de este coeficiente a pesar de que no existe una aplicación de campo magnético.

El valor de la masa suspendida en el sistema es **5,56 Kg**.

6. SISTEMA ELECTRÓNICO Y DE CONTROL

El sistema electrónico consta de ciertos dispositivos electrónicos como sensores, actuadores y un controlador; que brindan al sistema la capacidad de adquirir datos acerca del movimiento oscilatorio del sistema y de la cantidad de voltaje e intensidad eléctrica con el que está funcionando el electroimán; generan el movimiento oscilatorio y el campo magnético, en el caso del motor y el electroimán; permiten almacenar y transferir datos, de acuerdo a la necesidades que se requiera.

- **Descripción del sistema electrónico**

Motor

Tipo: Eléctrico Monofásico 110v

Potencia Nominal: 100 w

Velocidad: 60 RPM

Sentido de giro: Horario

Servicio: Intermitente

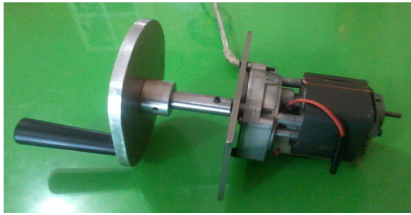


Ilustración 12 Motor

Arduino Mega 2560

- Adquisición de señales.
- Salidas digitales y PWM.
- Compatibilidad.
- Alimentación
- Interface de comunicación.
- Lenguaje de programación.
- La robustez.
- El precio.
- Expandible.

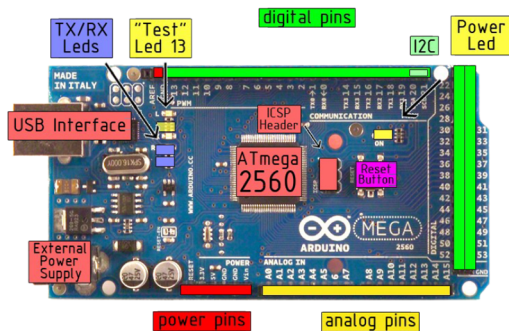


Ilustración 13 Arduino Mega 2560

Sensor SHARP GP2D120x

- Salida analógica (Vo)
- Alimentación a +5v y GND
- Rango efectivo de medida de 4 a 40 cm

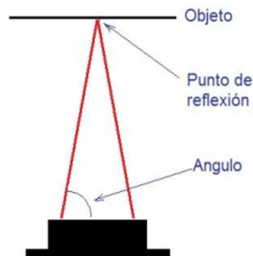


Ilustración 14 Sensor Sharp

Tarjeta de relés

- Relés: AC 250v; DC 30v; 10^a
- Alimentación a +5v y GND
- Posee conectores marcados como IN1, IN2, IN3 (luz) y IN4 (motor) , COM

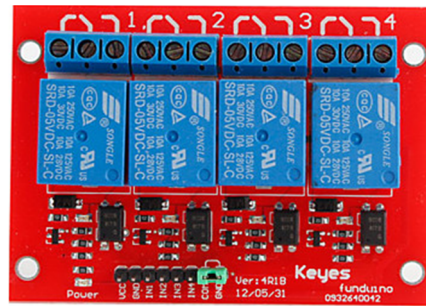


Ilustración 15 Tarjeta de relés

Módulo regulador de voltaje

- Tensión de entrada: 4.5-35V (12v)
- Tensión de salida: 1.25-30 V (5v)
- La corriente de salida es de 2A nominal.



Ilustración 16 Módulo regulador de voltaje

Tarjeta de control de voltaje

- Salidas M1 y M2 (Electroimán).
- Alimentación (12v) en las entradas B+ y B-, tomando en cuenta la polaridad.
- El Pin de control S1 (PWM)



Ilustración 17 Tarjeta de control de voltaje

- **Sistema de control**

Se realizó una interfaz gráfica para control y visualización de los parámetros del sistema, de manera que se pueda controlar el voltaje que ingresa al electroimán, visualizar las oscilaciones del sistema, analizar el comportamiento del FMR a diferentes entradas de voltaje y determinar el porcentaje de reducción en las oscilaciones.

Para esto se utiliza el software LabVIEW y un Toolkit para Arduino (LIFA), el cual es una herramienta gratuita que permite adquirir datos del controlador Arduino y procesarlos en el entorno de programación gráfica de LabVIEW



Ilustración 18 Presentación HMI

7. PRUEBAS Y RESULTADOS

Para el desarrollo de estas pruebas, se utilizó un fluido con 20% de concentración de partículas metálicas, ya que este representa el comportamiento del FMR a diferentes concentraciones; su

coeficiente de amortiguamiento inicial es alto, pero lo suficiente como para permitir que el sistema oscile; su rango de variación de viscosidad es alto y por consiguiente tiene un mayor rango de variación de su coeficiente de amortiguamiento, lo que nos permite que haya una reducción en las oscilaciones del sistema.

Primero se determinará el tiempo de reposo máximo del FMR, a partir del cual el rango de la amplitud será el mismo. Para esto se observa el comportamiento del amortiguador magnetoreológico a partir de distintos tiempos de reposo.

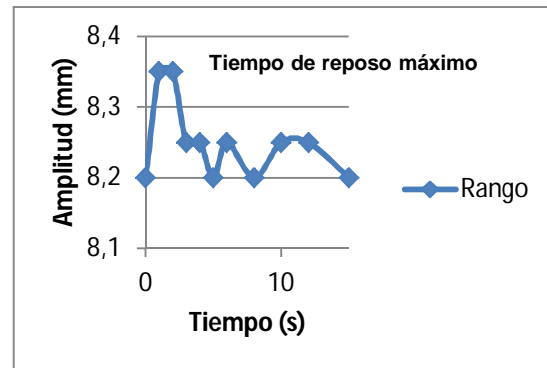


Ilustración 19 Tiempo de reposo

Se observa que existe variación en el rango de amplitud inicial, de aproximadamente 0,15 mm en un tiempo de reposo de hasta 3 minutos, lo cual indicaría un desfase al momento de realizar las mediciones. A partir de un tiempo de reposo de 4 minutos se tiene una variación de 0,05 mm, lo cual es un valor aceptable para realizar las mediciones.

Estas variaciones en el rango de amplitud inicial se presentan, debido a que las partículas metálicas se desplazan dentro del fluido y algunas se encuentran cargadas magnéticamente, provocando que al momento de realizar una siguiente

prueba no se obtengan los mismos resultados.

A continuación se procede a obtener las variaciones que se producen en la amplitud de las vibraciones a los diferentes voltajes y determinar su porcentaje de reducción; se realizan estas pruebas tomando una muestra de 26 datos cada 5 segundos, con una variación de voltaje de 0, 8, 9 10, 11 y 12 voltios.

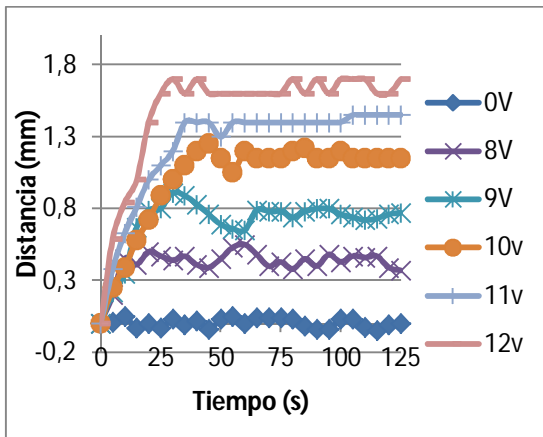


Ilustración 20 Distancia de reducción

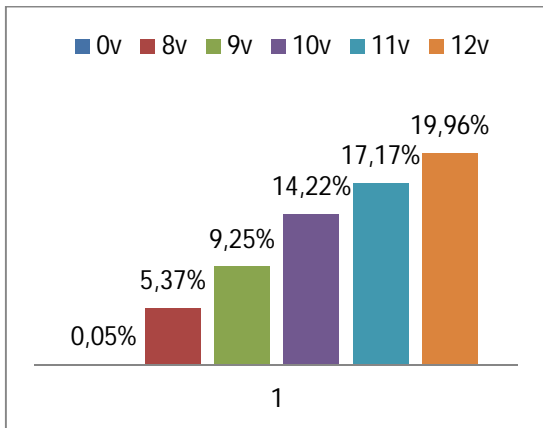


Ilustración 215 Porcentaje de reducción

Se puede observar que el sistema permite un valor máximo de reducción de las amplitudes de oscilación, de aproximadamente un 20%,

correspondientes a un valor de 1,7mm, con un voltaje inducido al electroimán de 12 v; y un valor mínimo de 5,4%, correspondiente a una variación de 0,4 mm, con un voltaje inducido al electroimán de 8v.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

• Conclusiones

- Las partículas de acero, obtenidas a partir del proceso de rectificación de discos de acero, son ideales para la elaboración del fluido magnetoreológico debido a que muestran una gran inducción magnética al aplicarse un campo magnético.
- El uso de un aceite de baja viscosidad, aproximadamente de 315 cP de viscosidad dinámica, para realizar el fluido magnetoreológico, provoca en el amortiguador un coeficiente de amortiguamiento bajo, que es adecuado para nuestro sistema mecánico que está sometido a cargas pequeñas.
- Es importante analizar al FMR, considerándolo como un fluido con una composición y concentración determinada, que posee características y un comportamiento particular, el cual puede tener una variación en cuanto a su viscosidad; ya que si se analiza desde el punto de vista del aceite, este no podría tener un cambio en su viscosidad, sino en su comportamiento dinámico.
- En los ensayos de medición de viscosidad, se puede observar que existe una variación creciente y no lineal en la viscosidad, a medida que

se aplica un campo magnético creciente.

- Se pudo determinar en los ensayos del coeficiente de amortiguamiento, que existe un aumento considerable de este coeficiente a medida que se aumenta la concentración de partículas de acero del FMR, a pesar de que no existe una aplicación de campo magnético.
- Se determinó que a medida que se aplica un campo magnético creciente, el coeficiente de amortiguamiento va aumentando.
- Se determinó que este fluido magnetoreológico necesita de un tiempo de reposo para la reestructuración de las partículas dentro del fluido, por lo que podría compararse con el comportamiento de un fluido tixotrópico, según la clasificación reológica de los fluidos no newtonianos.
- Se determinó que este fluido magnetoreológico, aumenta su viscosidad a medida que se incrementa el campo magnético, por lo que se podría comparar con el comportamiento de un fluido reo-espesante (shear-thickening), según la clasificación reológica de los fluidos no newtonianos.
- Se determinó, una vez realizado el ensayo de escalón, que es necesario un tiempo de reposo mayor a 4 min entre cada prueba realizada, para que se recupere la estructura del FMR, debido a que algunas partículas quedan cargadas magnéticamente y no regresan a su condición inicial, provocando una variación en el rango de amplitud inicial y

consecuentemente un desfase en las mediciones.

- Se determinó en las pruebas realizadas en la primera y segunda posición, que el sistema permite un valor máximo de reducción de las amplitudes de oscilación, de aproximadamente un 20% y 15% respectivamente, inducido al electroimán de 12 v; y un valor mínimo de 5,4% y 2% correspondiente a cada posición, con un voltaje inducido al electroimán de 8v.

• RECOMENDACIONES

- Se recomienda obtener partículas de acero, de un proceso de rectificación que no utilice agentes oxidantes, de preferencia se realice este proceso en seco. Obtener la mayor cantidad posible para el desarrollo de las pruebas, pues a través de los procesos de filtrado y granulometría se obtiene aproximadamente un 10% de la muestra total.
- Es recomendable obtener partículas de acero, con un tamaño de hasta 200 μm , obtenidas a través de un proceso de granulometría, excluyendo en este proceso el uso de agua o agentes oxidantes.
- Para que el sistema se encuentre en vibración se recomienda que el valor del coeficiente de amortiguamiento sea menor a $314 \text{ N}^*\text{s/m}$, de esta manera se tendrá un mayor rango de reducción de las oscilaciones del sistema.
- No se recomienda aumentar la velocidad de motor, a más de 60 RPM, para evitar que se produzcan

golpeteos y saltos del seguidor, que pueden producir un desgaste rápido de los elementos mecánicos y generar problemas al momento de realizar el análisis de las oscilaciones del sistema.

- Se recomienda, utilizar un filtro RC y un filtro probabilístico para disminuir la interferencia de ruido en la señal y mejorar la adquisición de datos, que provienen del sensor SHARP GP2D120x.
- Debido factores externos o por algún cambio en la posición inicial, es necesario realizar la calibración del sensor SHARP GP2D120x, utilizando el offset para “encerrar” el valor de la señal al momento de comenzar a realizar las pruebas.
- Se recomienda un tiempo de reposo del FMR de 5 minutos antes de realizar una siguiente prueba, de esta manera nos aseguramos de obtener el mismo rango de variación de la amplitud inicial.
- Se recomienda tomar mediciones con valores de voltaje inducido al electroimán a partir de 8v, valor en el cual se puede apreciar una reducción de la amplitud de las oscilaciones, esto en la primera posición y a partir de 9v la segunda posición. Considerar una tolerancia de $\pm 0,05$ mm.

solutions/magneto-rheological-%28mr%29.xml

- Lucas, D. M. (15 de Julio de 2010). *Viscosímetros: Brookfield y Caída de bolas*. Obtenido de Textura y Reología: <http://avibert.blogspot.com/2010/07/viscosimetros-brookfield-y-de-caida-de.html>
- Carlson, J. a. (1996). Magneto-Rheological Fluid Dampers for Semi-Active Seismic Control. *3rd Int. Conf. on Motion and Vibration Control*, (págs. 35-40). China, Japan.
- Elizondo, M. C. (1998). Amortiguadores Magnetoreológicos. *V Congreso Mexicano de Acústica*, (pág. 50). Querétaro, México.
- Filtra Vibración S.L. (2012). *Tamices de laboratorio*. Obtenido de http://www.filtra.com/Productos_Tamices.html
- Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT). (2011). *Informe de prospectiva de nuevos materiales inteligentes*. España: Global Diseña.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Lord Corporation. (2013). Obtenido de Properties and applications of commercial magnetorheological fluids.: <http://www.lord.com/products-and->