

Amortiguadores magnetoreológicos[♦]

Miguel Cupich Rodríguez*
Fernando J. Elizondo Garza*

Resumen

Se describen las propiedades de los fluidos magnetoreológicos y su uso en amortiguadores para el control de vibración.

Abstract

This article illustrates the rheological and magnetic properties of magnetorheological fluids and some applications in fluid damper for vibration control.

I.- INTRODUCCION

La reología es la ciencia que estudia la deformación de sustancias bajo el efecto de fuerzas. Esta se limita normalmente a materiales que no obedecen a la Ley de viscosidad de Newton y a la Ley de Hooke.

En el control de vibraciones es importante la utilización de dispositivos de amortiguamiento y los amortiguadores de fluido viscoso son elementos que aprovechan las propiedades del fluido para proveer una fuerza que contrarreste los efectos de la vibración.

La desventaja con estos amortiguadores es que generalmente las propiedades del fluido son constantes y por ende también su coeficiente de amortiguamiento y el valor de la fuerza generada.

Los amortiguadores magnetoreológicos son dispositivos que utilizan fluidos magnéticos que pueden cambiar sus propiedades mediante un estímulo magnético, lo cual puede ser

aprovechado para proveer una rápida respuesta en el control de vibraciones.

Los fluidos magnéticos son materiales que responden a la aplicación de un campo magnético con un cambio en su comportamiento reológico y están formados por partículas magnetizables finamente divididas y suspendidas en un líquido portador, tal como un aceite mineral. Estos fluidos son llamados ferro-fluidos si sus partículas son del orden de 3 a 15 nm. y fluidos magnetoreológicos si están en el orden de 0.05 a 8 micrones. Estos últimos poseen innumerables ventajas con respecto a los ferrofluidos por lo cual actualmente encuentran gran aplicación en los amortiguadores magnetoreológicos.

Los fluidos magnetoreológicos responden a la aplicación de un campo magnético con un cambio en su comportamiento reológico. Típicamente, 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 la interface entre controles electrónicos y sistemas mecánicos.

Los fluidos magnetoreológicos son menos conocidos que sus análogos, los fluidos electrorreológicos. Ambos fluidos son suspensiones coloidales de partículas polarizables que tienen un tamaño del orden de pocos micrones. El descubrimiento inicial y el desarrollo de los fluidos y dispositivos magnetoreológicos puede ser acreditado a Jacob Rabinow en el US National Bureau of Standards¹⁻³ en los cuarentas.

La respuesta de los fluidos magnetoreológicos es resultado de la polarización inducida en las partículas suspendidas mediante la aplicación de un campo

♦ Ponencia presentada en el V Congreso Mexicano de Acústica realizado en Querétaro, Qro. el 17 y 18 de Septiembre de 1998 durante la sesión sobre Vibraciones Mecánicas.

* Departamento de Dinámica, FIME-UANL.
E-mail: mcupich@gama.fime.uanl.mx
E-mail: fjelizondo@ccr.dsi.uanl.mx

externo. La interacción entre los dipolos inducidos resultantes obliga a las partículas a formar estructuras columnares, paralelas al campo aplicado. Estas estructuras tipo cadena restringen el movimiento del fluido dando lugar a un incremento en las características viscosas de la suspensión. La energía mecánica necesaria para producir estas estructuras tipo cadena se incrementa conforme crece el campo aplicado, dando como resultado un esfuerzo dependiente del campo. En ausencia de un campo aplicado, los fluidos magnetoreológicos muestran un comportamiento Newtoniano. Así, el comportamiento de fluidos controlables es a menudo representado como un plástico Bingham que tiene un límite elástico variable. En este modelo, el flujo es gobernado por la ecuación de Bingham:

$$\tau = \tau_y(H) + \eta \dot{\gamma} \quad \tau > \tau_y \quad (1)$$

para esfuerzos τ arriba del esfuerzo de cedencia dependiente del campo τ_y .

Abajo del esfuerzo de cedencia el material se comporta viscoelásticamente:

$$\tau = G \dot{\gamma} \quad \tau < \tau_y \quad (2)$$

donde G es el módulo complejo del material.

Mientras que el modelo de plásticos Bingham ha probado su uso en el diseño y caracterización de dispositivos basados en los fluidos magnetoreológicos, también es cierto que estos fluidos exhiben algunas diferencias significativas respecto a este simple modelo.

II. GEOMETRÍAS COMUNES EN DISPOSITIVOS MAGNETOREOLOGICOS

Muchos de los dispositivos que utilizan fluidos controlables pueden ser clasificados ya sea como de polos fijos (modo de flujo de presión conducida) o de polos móviles (modo de corte directo). En la Figura 1 se muestran estos dos modos básicos de operación. Ejemplos de dispositivos de flujo de presión conducida son servo-válvulas, amortiguadores y absorbedores de choque. Ejemplos de dispositivos de flujo de corte directo son clutches y frenos.

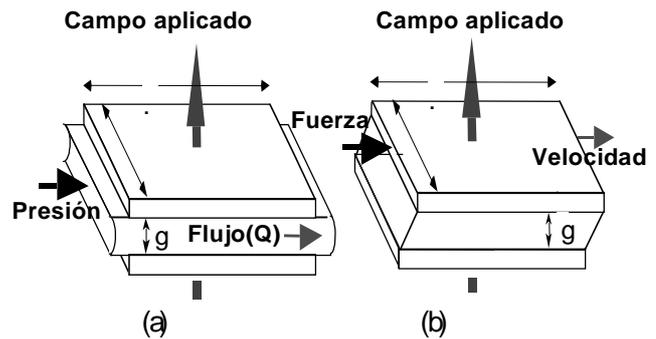


Fig.1. Modos básicos de operación de dispositivos de fluidos controlables: a) modo de flujo de presión conducida, b) modo de corte directo.

III. PROPIEDADES REOLOGICAS

Las propiedades reológicas de los fluidos controlables son dependientes de la concentración y densidad de las partículas, de la distribución de forma y tamaño de las partículas, de las propiedades del fluido portador, de aditivos adicionales, del campo aplicado, de la temperatura y de otros factores. La interdependencia de todos estos factores es muy compleja, aun es importante en el establecimiento de metodologías para optimizar el desempeño de estos fluidos para aplicaciones particulares.⁴

La figura 2 muestra el esfuerzo de corte en cuatro fluidos magnetoreológicos como función de la densidad de flujo magnético a una velocidad de corte máxima de 26 s^{-1} . A tal velocidad de corte baja, los datos de esfuerzos de corte son aproximadamente equivalentes a los del esfuerzo de cedencia definido en la ecuación.¹ A densidades de flujo magnético bajas, el esfuerzo fluido puede exhibir un comportamiento de acuerdo a la Ley de La Potencia.

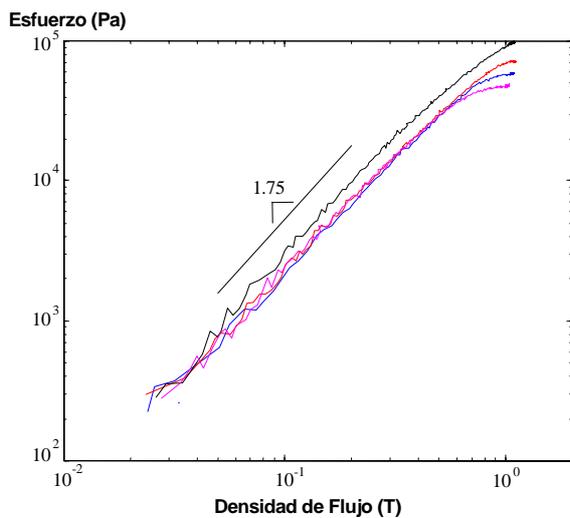


Fig. 2. Esfuerzo de corte fluido como función de la densidad de flujo magnético a una velocidad de corte máxima de 26 s^{-1} . El orden ascendente de los registros corresponden a un incremento en la fracción de volumen de Hierro.

En todas las formulaciones optimizadas de fluidos magnetoreológicos para una aplicación específica, la viscosidad del fluido en ausencia de un campo magnético es más significativamente una función del aceite portador, de los agentes de suspensión y de la carga de partículas.

La figura 3 muestra la viscosidad de los cuatro fluidos magnetoreológicos como función de la velocidad de corte. Puede observarse que la viscosidad del fluido no es estrictamente proporcional a la carga de Hierro. Verdaderamente, la viscosidad del fluido es significativamente una función de la química y composición de los fluidos portadores.

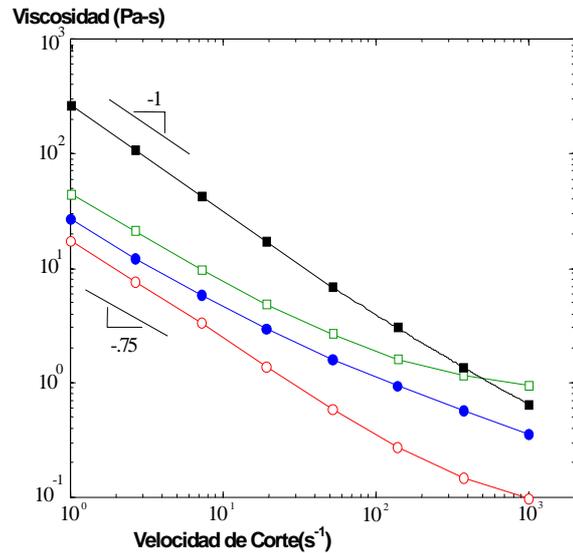


Fig. 3. Viscosidad como función de la velocidad de corte a 25° C . 26% Vol. de Hierro (○), 42% Vol. de Hierro (●), 40% Vol. de Hierro (□) y 36% Vol. de Hierro (■).

IV.- PROPIEDADES MAGNETICAS

La comprensión de las propiedades magnéticas de los fluidos magnetoreológicos es importante para el diseño de dispositivos basados en estos fluidos. En muchos de tales dispositivos, el fluido representa la mayor reluctancia magnética dentro del circuito magnético. Estas propiedades magnéticas pueden también probar ser útiles al proveer penetración dentro del carácter y formación de las estructuras de partículas dentro del fluido.

En la figura 4 se muestran para los cuatro fluidos magnetoreológicos las curvas de inducción magnética o curvas $B-H$.

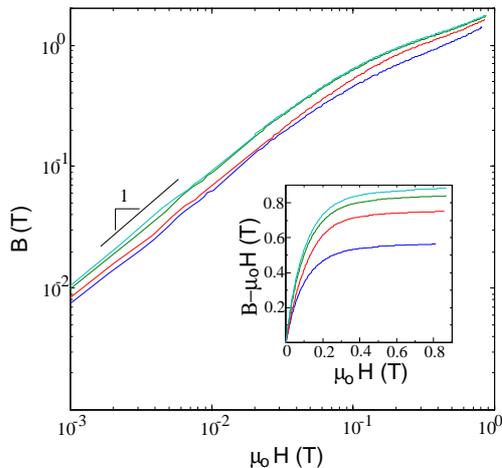


Fig. 4. Densidad de Flujo Magnético dentro de fluidos magnetoreológicos como función del campo magnético aplicado. Intercalado: Inducción intrínseca como función del campo aplicado. El orden ascendente de los registros corresponden a un incremento en la fracción de volumen de Hierro.

Como puede verse, los fluidos magnetoreológicos exhiben propiedades magnéticas lineales hasta un campo aplicado de alrededor de $0.02/\mu_0$ A/m, donde μ_0 es la permeabilidad del vacío. En esta región la permeabilidad (la pendiente de $B(H)$) de los fluidos es relativamente constante. Estas permeabilidades varían entre 5 y 9 veces la del vacío. Los fluidos magnetoreológicos comienzan a exhibir una saturación magnética gradual por arriba del régimen lineal. Una saturación completa ocurre típicamente en campos por arriba de $0.04/\mu_0$ A/m. La inducción intrínseca o densidad de polarización ($B - \mu_0 H$) de un fluido magnetoreológico a saturación completa es ϕJ_s Tesla, donde ϕ es el % de partículas en el

fluido y J_s es la polarización de saturación del material particulado. Por ejemplo, un fluido que contiene 30% de hierro ($J_s=2.1$ Tesla) se satura alrededor de $(0.3)(2.1)= 0.63$ Tesla. Pequeña o no puede ser observada histéresis en las curvas de inducción. El comportamiento superparamagnético es consecuencia de las propiedades suaves del hierro utilizado como material particulado en estos fluidos y a la movilidad de estas fases particuladas.

V.- APLICACIONES DE LOS FLUIDOS MAGNETOREOLOGICOS ⁵

Suspensión de asientos para vehículos de trabajo pesado.

La figura 5 muestra un amortiguador de fluido magnetoreológico diseñado para utilizarse en un sistema de suspensión de asiento semi-activa en vehículos de carga para travesías largas.

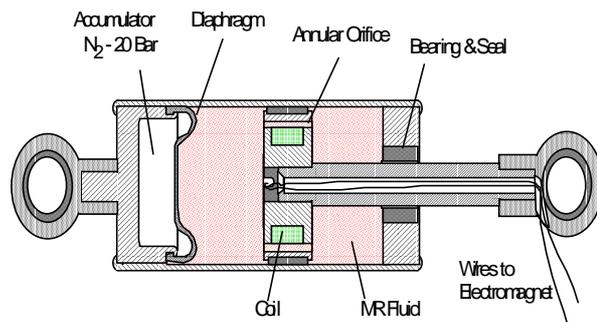


Fig. 5. Amortiguador de fluido magnetoreológico Rheonetic RD-1001/4.

El amortiguador mostrado en la figura anterior es capaz de proveer un amplio rango dinámico de control de fuerza para muy modestos niveles de potencia de entrada.

Amortiguadores de Vibración.

La figura 6 muestra un amortiguador magnetoreológico utilizado en control activo de vibraciones en aplicaciones industriales.

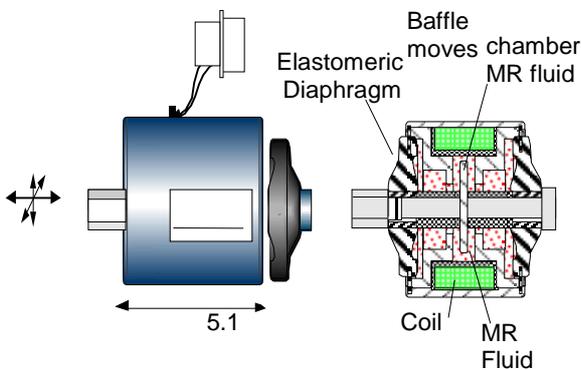


Fig. 6. Amortiguador de vibraciones Rheonetic RD-1013-1.

Control de Vibración sísmica en estructuras.

La prueba del incremento en el crecimiento de la tecnología de dispositivos magnetoreológicos es que se han diseñado y construido amortiguadores de tamaño apropiado para aplicaciones en ingeniería civil. Para el diseño nominal, fueron elegidos una fuerza máxima de amortiguamiento de 200,000 N y un rango dinámico de diez. La figura 7 muestra un diagrama esquemático de un amortiguador de fluido magnetoreológico de gran escala.

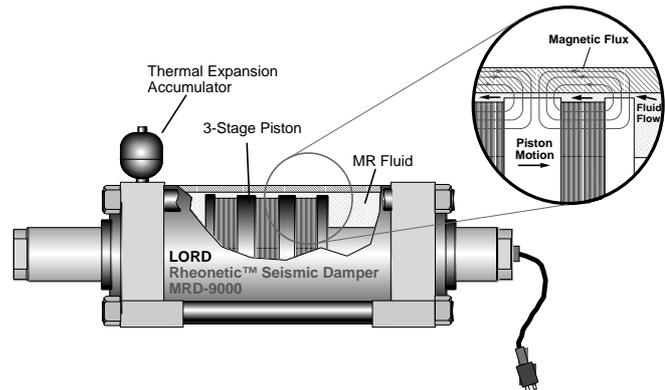


Fig. 7. Amortiguador sísmico de fluido magnetoreológico Rheonetic MRD-9000.

REFERENCIAS.

1. Rabinow, J. "The Magnetic Fluid Clutch", AIEE Trans., 67 1308-1315 (1948).
2. Rabinow, J. "Magnetic Fluid Clutch", National Bureau of Standards Technical news Buletin, 32(4) 54-60 (1948).
3. Rabinow, J. "Magnetic Fluid Torque and Force Transmitting Device", U.S. Patent 2,575,360 (1951).
4. Guerrero, Carlos "Apuntes de Reología de Polímeros" Programa Doctoral en Ingeniería de Materiales, FIME-UANL 1994.
5. Mark R. Jolly, Jonathan W. Bender, and J. David Carlson "Properties and Aplications of Commercial Magnetorheological Fluids", SPIE 5th Annual Int. Symposium on Smart Structures and Materials, San Diego, CA, 15 March, 1998.