



INTRODUCCIÓN A LOS FLUIDOS MAGNETOREOLÓGICOS CON APLICACIONES EN INGENIERÍA

CÉSAR D. MESQUIDA, JORGE L. LÄSSIG

Universidad Nacional del Comahue
Departamento de Mecánica Aplicada – Facultad de Ingeniería
Buenos Aires 1400 – Neuquén – Argentina

(Recibido 8 de junio de 2011, para publicación 25 de julio de 2011)

Resumen – Se diseñaron, elaboraron y ensayaron dos fluidos magnetoreológicos con el objetivo de ser utilizados en distintas aplicaciones de ingeniería. Los fluidos se obtuvieron a partir de partículas de óxido de hierro ferromagnético de uso comercial diluido en una emulsión oleosa. La fracción volumétrica y la calidad de la emulsión se experimentaron hasta obtener una muestra con un tiempo de sedimentación lo suficientemente grande como para trabajar con la misma. Se caracterizaron los fluidos magneto-reológicos (MR) mediante viscosímetro. Las muestras fueron inmersas en un campo magnético generado por imanes de uso comercial y por bobinados. Se determinó la densidad de flujo magnético y se observó la viscosidad dinámica para la deformación impuesta. Los valores encontrados se compararon con otras publicaciones. Se concluye que es factible reproducir experiencias y resultados obtenidos por otros investigadores. Los fluidos MR empleados y los campos magnéticos generados son asequibles con bajos recursos. La viscosidad de los fluidos MR estudiados se incrementó, en presencia del campo magnético, tal lo pronosticado. El valor de viscosidad resultante se ajusta cualitativamente a las curvas presentadas por otros autores. A partir de estos resultados, se planea el diseño de dispositivos mecánicos que empleen fluidos MR con las características estudiadas, para distintas aplicaciones.

Palabras clave – Magneto-reología, freno, nanopartículas, emulsión, viscosidad.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de nuevos materiales puede orientarse hacia dos ramas: los materiales inteligentes, cuya respuesta es proporcional al estímulo externo, y los nanomateriales, cuya estructura microscópica está diseñada específicamente. Los fluidos magnéticos presentan ambas cualidades, dado que los mismos son diseñados y su respuesta es proporcional a la excitación externa y de la manera deseada.

Se denominan fluidos magnetoreológicos (MR) a aquellos fluidos compuestos por partículas ferromagnéticas, de tamaño nano o micrométricas, dispersas en un líquido portador, que poseen propiedades viscoelásticas controlables mediante campos magnéticos externos [1,2].

Se han desarrollado estudios sobre emulsiones del tipo agua en aceite [3] con el agregado de surfactantes de distinto tipo más partículas ferromagnéticas. Otra rama de estudio son los nanotubos [4]. La dinámica de agregación de estas partículas y las técnicas relacionadas también son objeto de investigaciones [5,6]. Las emulsiones sujetas a campos magnéticos unidireccionales y rotantes [7,8] se estudian de manera separada y presentan distintos fenómenos.

Otra rama de investigación dentro de la magnetoreología lo constituye la formulación de ecuaciones constitutivas y de movimiento acordes [2,7,9,10,11,12].

La proporción y calidad de los componentes de una emulsión, suspensión o dispersión, junto con el protocolo de creación de la misma, se ha indagado hasta el presente mediante exhaustivas experimentaciones [5,8].

Numerosas aplicaciones se han propuesto para los fluidos magnetoreológicos, desde embragues y amortiguadores [13], válvulas [16] y sellos hasta aplicaciones biomédicas [10] en las cuales al fluido MR se lo trata como un film o una espuma [15].

El presente trabajo tiene por objetivo presentar los resultados de las primeras investigaciones en la creación de un fluido magnetoreológico a partir de elementos de fácil adquisición comercial con el fin de obtener un dispositivo de freno.

2. DESARROLLO DE LA EMULSIÓN

2.1. Componentes

Según la bibliografía consultada, se decidió desarrollar dos emulsiones: una (emulsión A) compuesta por un portador oleoso, agua, partículas de hierro y un surfactante, y otra sin agua (emulsión B). La metodología para la obtención de la misma fue modificándose empíricamente en base a los resultados.

Se trabajó con dos aceites. Para la emulsión A el aceite elegido fue el Dow Corning 200, cuya viscosidad dinámica es 215 mPa·s a 25,2°C (viscosidad cinemática: 200 cSt). Para la emulsión B, el aceite elegido fue el Dow Corning 200, con viscosidad dinámica de 5,375 mPa·s a 25,2°C (viscosidad cinemática: 5 cSt, densidad: 1.075 kg/m³).

Las partículas de hierro son de la firma Magnaflux (Magnavis 8 A red) utilizadas para ensayos no destructivos de partículas magnéticas. El diámetro promedio de las partículas es de 180 µm.

Para la emulsión A el surfactante empleado es sal de dodecibencensulfonato ácido de sodio (C₁₈H₂₉NaO₃S, más conocido como SDBS), producto 44200 de Fluka Chemika, con peso molecular 348,48.

Para la emulsión B se empleó otro surfactante, Versamul (en estado de solución), de la firma MI Swaco, cuyo índice HBL (balance hidrofílico-lipofílico) oscila entre 3 y 8, lo cual lo hace útil para lograr emulsiones agua en aceite.

2.2. Preparación

Tras varias etapas de experimentación, se obtuvieron emulsiones con una sedimentación aceptable, según inspección visual.

La emulsión A resultante constó de: 2 ml de agua destilada, 341,53 ml de aceite (200 cSt), 2 gramos de partículas de hierro y 3,6 ml de SDBS. A medida que ésta se preparaba se intercalaron etapas de agitación mecánica y sónica en distintas intensidades y duraciones.

La emulsión B resultante constó de: 72 ml de aceite (5 cSt), 0,72 ml de surfactante y 0,92 gramos de partículas de hierro. La suspensión aceite-surfactante se agitó durante 45 minutos a 1000 rpm. Luego se agregaron las partículas y se agitó la suspensión durante 20 minutos a 1000 rpm.

Las Tabla 1 y 2 resumen los componentes y métodos de preparación para ambas emulsiones, y relaciones de componentes.

Tabla 1. Componentes y preparaciones.

	Agua destilada [ml]	Hierro [g]	Surfactante [ml]	Aceite [ml]	Agitación
Emulsión A	2	2	3,6 (SDBS)	341,53 (200cSt)	Mecánica y sónica, en distintas intensidades y duraciones.
Emulsión B	-	0,92	0,72 (Versamul)	72 (5cSt)	45' a 1000rpm 20' a 1000rpm

Tabla 2. Relaciones constitutivas.

	Relación agua / aceite	Relación agua+aceite / surfactante	Relación aceite [ml] / hierro [gr]
Emulsión A	0,58%	95,42	170,76
Emulsión B	0%	100	78,26

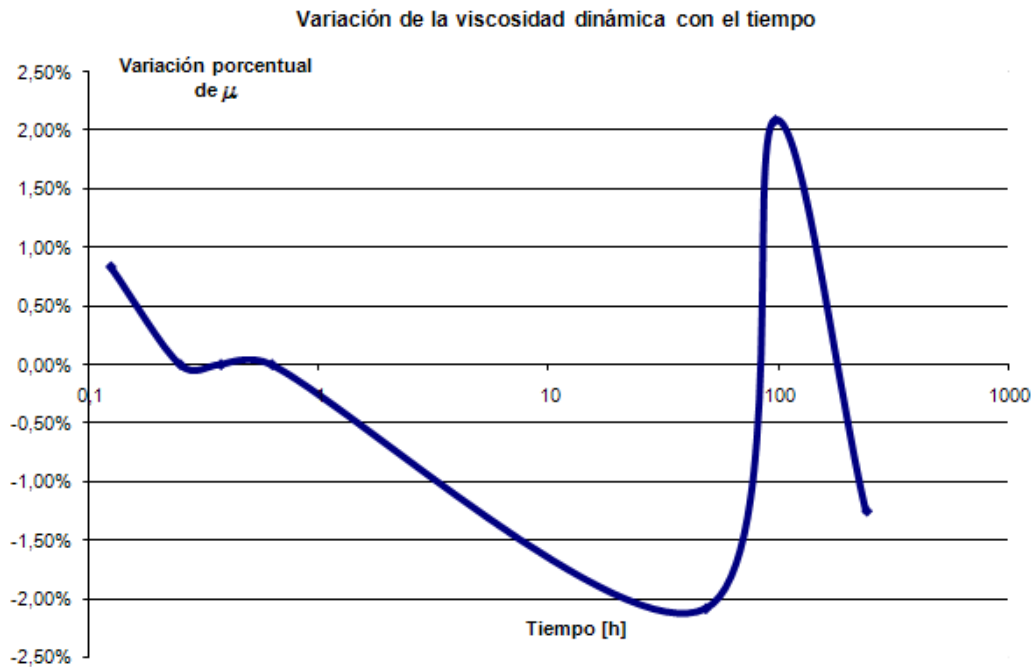


Fig. 1. Variación porcentual de la viscosidad dinámica con el tiempo, a lo largo de diez días de medición.

3. CARACTERIZACIÓN DE LA EMULSIÓN Y EL CAMPO

3.1. Variaciones en el tiempo

Con un viscosímetro Brookfield se midió la viscosidad dinámica de la emulsión A en función del tiempo. La Fig. 1 muestra los datos obtenidos.

Puede apreciarse que la variación de viscosidad dinámica a lo largo de algo más de 200 horas varió poco más de un 2% alrededor de su valor medio, 242 mP·s.

Debido a la opacidad de las emulsiones no fue posible medir la sedimentación mediante un espectrofotómetro, por lo que la misma se analizó cualitativamente mediante inspección visual.

En el caso de la emulsión A se observó poco cambio visualmente, pero sí ocurre sedimentación.

En el caso de la emulsión B, luego de 24 horas de la última agitación, se observó muy poca precipitación. Se aprecia que con agitación manual, la suspensión emulsiona inmediatamente.

3.2. Caracterización del campo magnético.

Se trabajó con imanes permanentes de disponibilidad comercial y con electroimanes utilizados en la industria.

El campo magnético de ambos se evaluó cualitativa y cuantitativamente, obteniéndose la densidad de flujo magnético \mathbf{B} en distintos puntos del espacio para estos elementos.

La Fig. 2 muestra los distintos imanes y configuraciones estudiadas.

Con el afán de lograr un campo lo más uniforme posible y de un valor de \mathbf{B} interesante, se evaluó la calidad de la emulsión frente a imanes permanentes y a un electroimán empleado para ensayos no destructivos (ver Fig. 3).

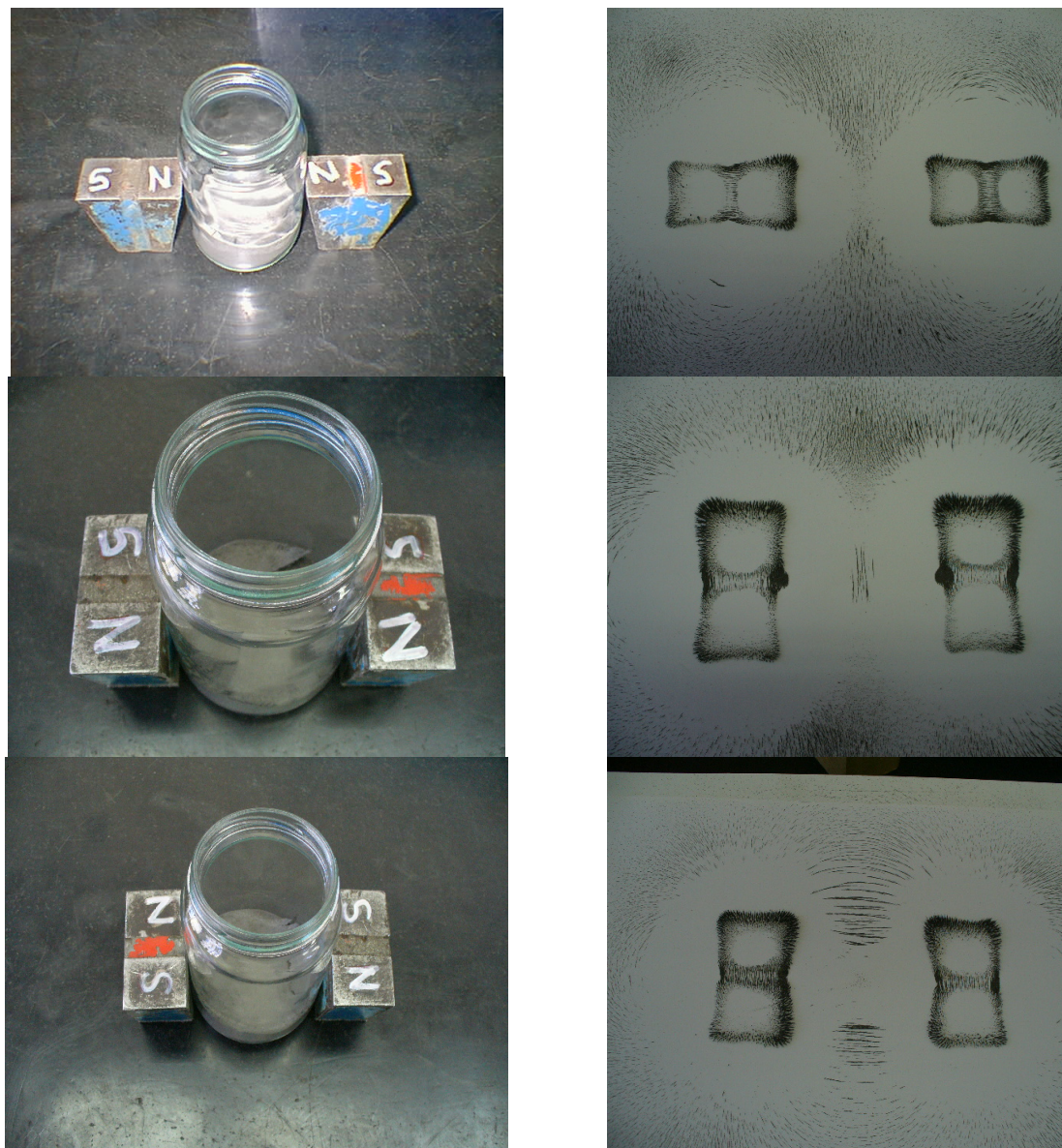


Fig. 2. Distintos imanes y configuraciones.

4. RESULTADOS

4.1. Electroimán. Emulsión A.

La emulsión A fue sometida a un campo magnético constante (corriente eléctrica continua) de 0,018T (180 gauss) y 60 rpm durante 5 minutos y la viscosidad se registró cada 10 segundos. Se observó que la misma variaba de manera cuasi sinusoidal, y para estos datos se calculó un periodo de 1/137 segundos. Es decir, cada 137 segundos la viscosidad presentaba picos y valles alrededor de un valor medio de 262 mPa·s. La variación porcentual alrededor de este valor fue de un 6%.

El incremento desde el valor de viscosidad de la emulsión sin campo (242 mPa·s) hasta el valor medio de la misma bajo la acción del campo fue de un 8% con picos del 12%. Estos datos pueden apreciarse en la Fig. 4.

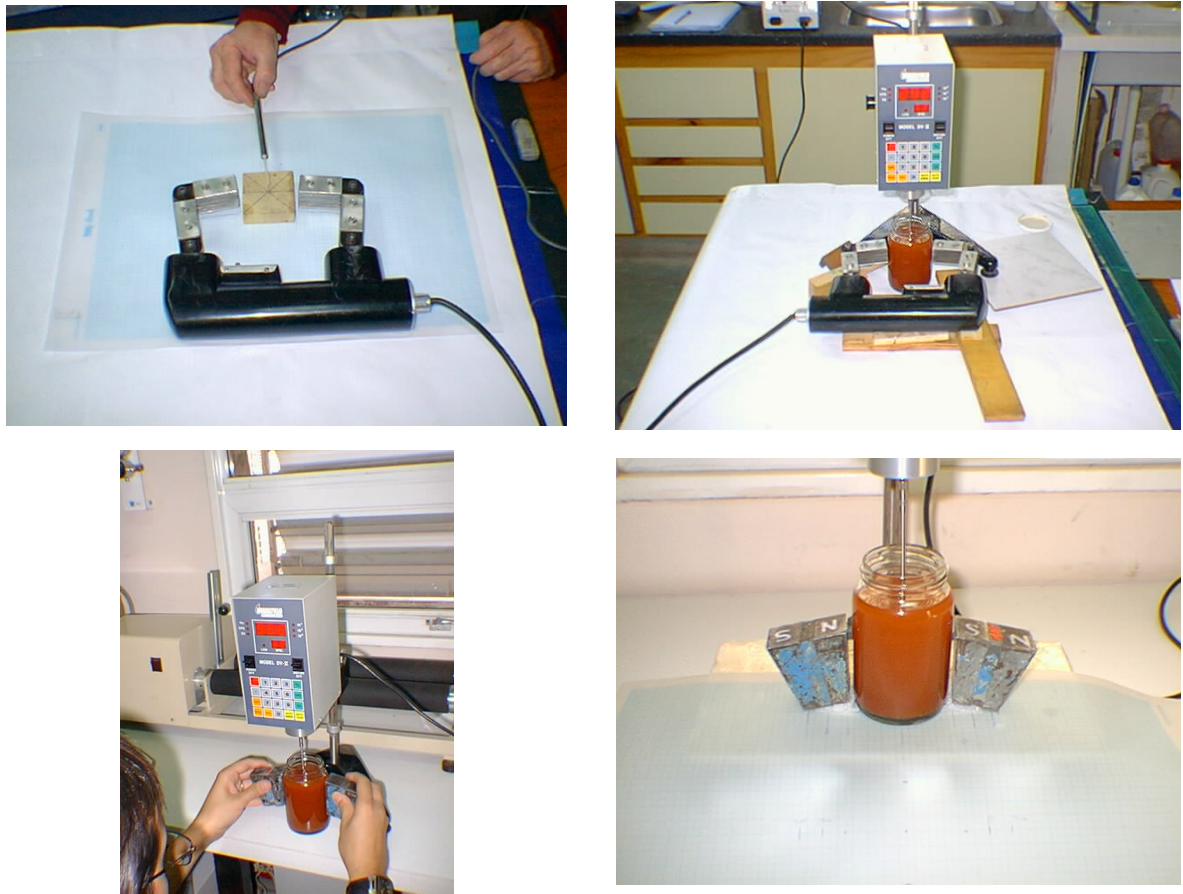


Fig. 3. Caracterización del campo.

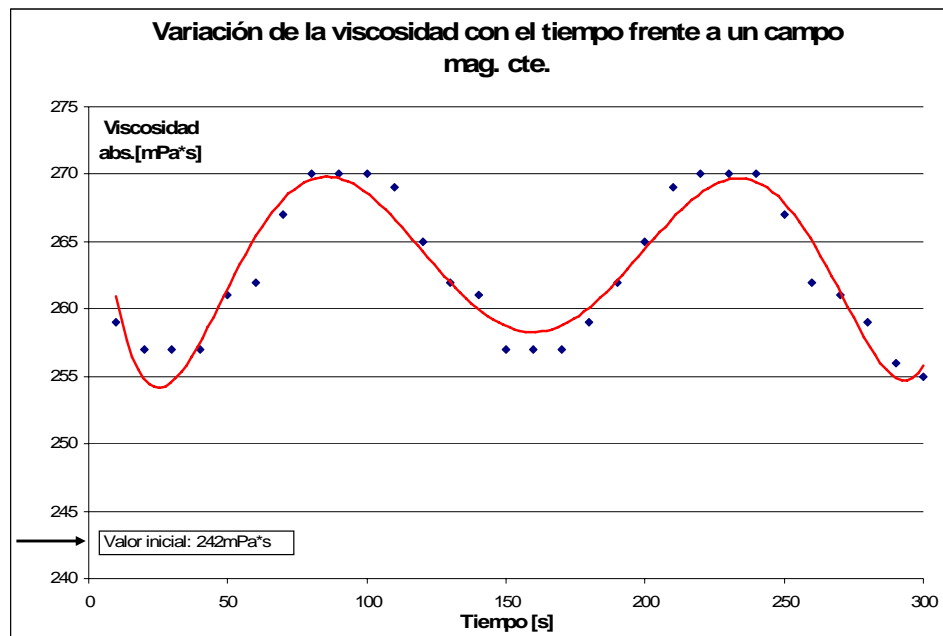


Fig. 4. Variación de la viscosidad dinámica de la emulsión A con el tiempo, frente a un campo magnético constante.

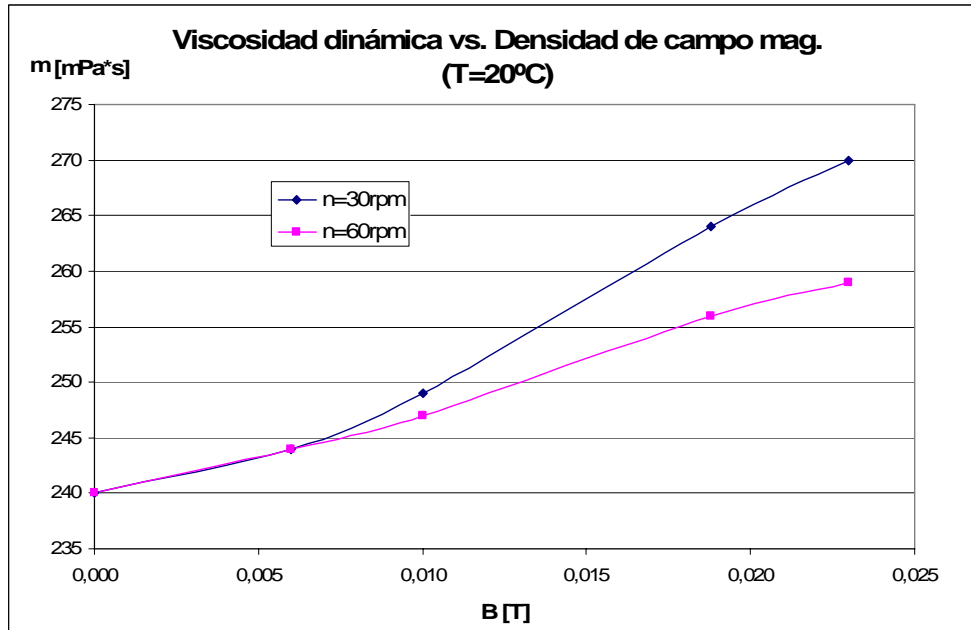


Fig. 5. Variación de la viscosidad dinámica de la emulsión A con la densidad de flujo magnético, para distintas velocidades del viscosímetro.

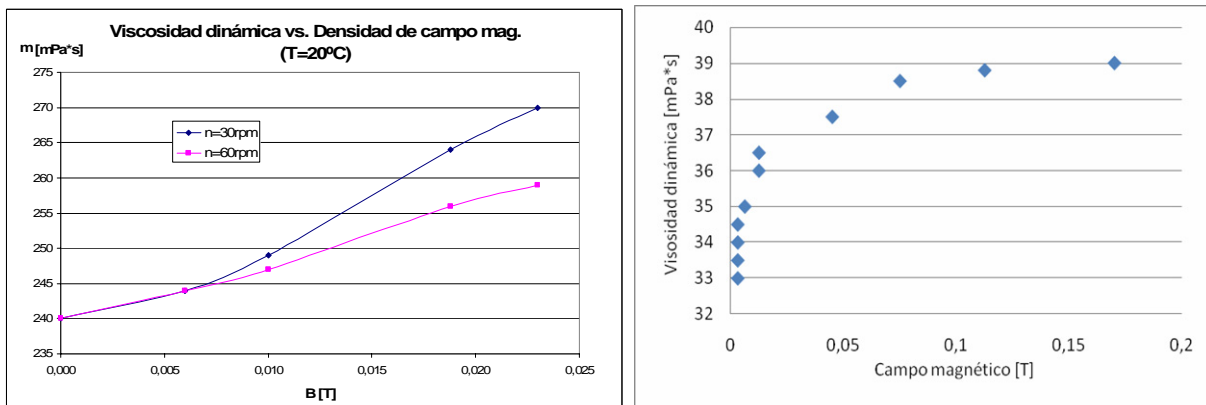


Fig. 6. Comparación de resultados de la emulsión A con Ladislau Vékás et al (Ref. 5).

4.2. Imanes permanentes. Emulsión A

Frente a los imanes permanentes, la emulsión A no presentó variaciones en la viscosidad con el tiempo.

Luego de la caracterización del campo magnético de estos imanes, se midió la viscosidad para distintas velocidades de rotación (deformación impuesta al fluido). Los datos se presentan a continuación, en la Fig. 5.

Estos resultados manifiestan un incremento de la viscosidad frente al campo del 13% para $n = 30$ rpm y 8% para $n = 60$ rpm.

Se observa también que estos incrementos fueron encontrados por otros autores en sus respectivas investigaciones (Fig. 6).

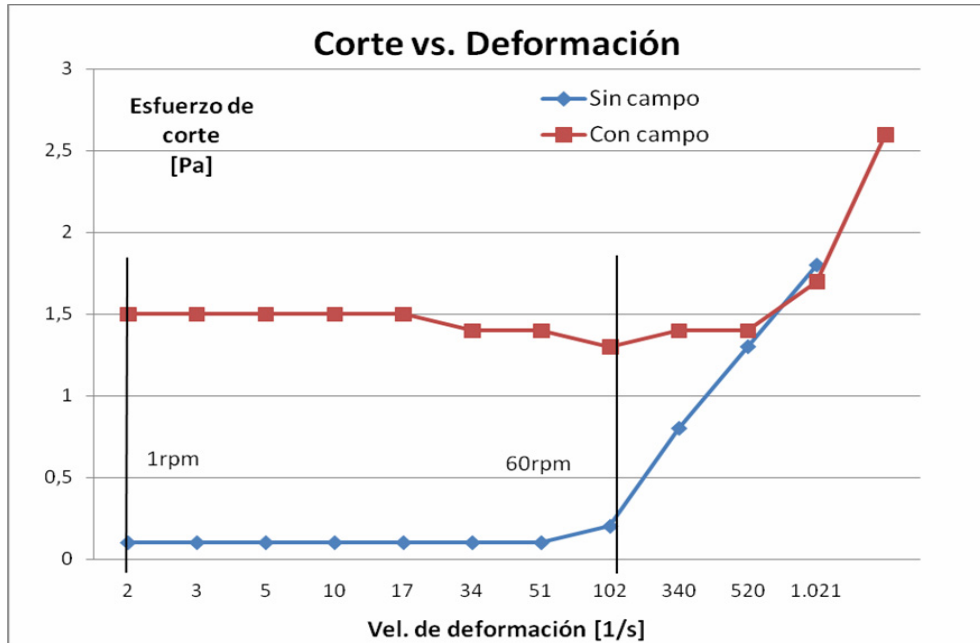


Fig. 7. Esfuerzo cortante τ versus velocidad de deformación dy/dt .

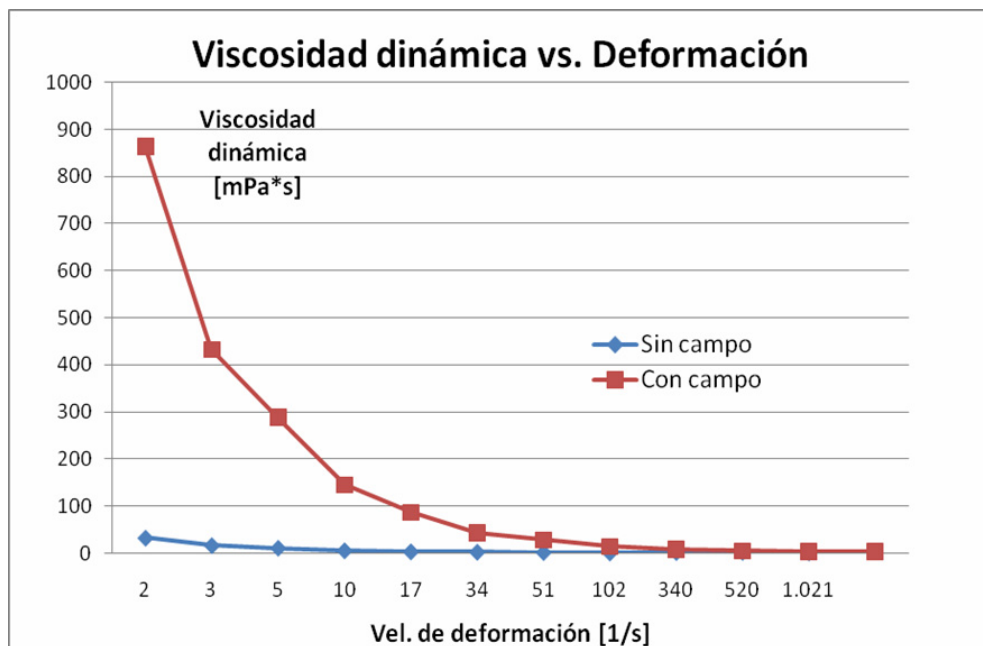


Fig. 8. Viscosidad dinámica μ versus velocidad de deformación dy/dt .

4.3. Imanes permanentes. Emulsión B

El instrumento empleado fue el viscosímetro Ofite Model 900. Los datos se presentan a continuación.

La Fig. 7 muestra la variación del esfuerzo cortante, en pascales, versus la velocidad de deformación impuesta al fluido, en recíprocos de segundo. Las pendientes de las curvas es representativa de la viscosidad del fluido.

Puede verse que para velocidades de deformación entre 2 s^{-1} y 102 s^{-1} (1 rpm-60 rpm), el esfuerzo cortante en presencia del campo crece entre 14 y 5 veces frente a la misma emulsión en ausencia de campo magnético externo.

La emulsión presenta un comportamiento pseudoplástico, independientemente de la presencia del campo.

La Fig. 8 presenta los resultados de las mediciones de viscosidad dinámica versus velocidad de deformación.

Se aprecia el notable incremento de la viscosidad de la emulsión en presencia del campo. El orden del incremento oscila entre 25 y 8 veces, tal como se nota en la figura.

Estos resultados pueden compararse con los de la emulsión A (ver Fig. 5).

4.4. Tiempo de retorno

Otra medición realizada fue el tiempo de retorno, como el tiempo que le toma a la emulsión retornar a su viscosidad original luego de que el campo aplicado es eliminado.

Se observó, para la emulsión A, que tanto para el caso de los imanes permanentes como para el electroimán, este tiempo es de alrededor de tres (3) segundos.

5. CONCLUSIONES

1. Todos los experimentos se realizaron con bajos costos y elementos de la industria local.
2. Lo observado en las Figuras 4 y 5 orienta la línea de investigación hacia las emulsiones sin agua.
3. Los resultados presentados en la Fig. 5 concuerdan cualitativamente con la bibliografía consultada [9,10] (como ejemplo, ver Fig. 6).
4. Mediante una correcta elección del surfactante a partir de su índice HBL pueden obtenerse emulsiones agua en aceite con una velocidad de sedimentación aceptable.
5. La elección de los elementos también es crucial. Elegir un aceite de menor viscosidad (5 mPa·s versus 215 mPa·s) refleja mayores efectos magnetoreológicos y por ende, menores pérdidas por rozamiento a la hora de construir un freno.
6. Esta elección de aceites de baja viscosidad también redundará en un menor gasto de energía para generar el campo magnético.
7. La distribución en el espacio y la intensidad del campo magnético influye notablemente sobre los resultados, lo cual también concuerda con la bibliografía.
8. Los incrementos de viscosidad son interesantes considerando la intensidad de los campos utilizados, al no perder de vista el deseo de diseñar a futuro un freno económicamente accesible.

6. FUTURAS INVESTIGACIONES

De los resultados obtenidos se desprende lo siguiente:

1. Debe lograrse una densidad de flujo magnético constante, de igual o mayor intensidad.
2. Este campo debe obtenerse económicamente.
3. La emulsión debe ser más estable y su velocidad de sedimentación medible cuantitativamente. Para ello, las relaciones entre constitutivos debe evaluarse entre distintas alternativas, lo mismo con respecto al protocolo de generación de la emulsión.
4. El comportamiento de la emulsión frente y en ausencia del campo magnético debe ser estudiada.
5. La estructura de aglomerados de partículas debe investigarse (forma, dinámica).
6. Diseñar, construir y experimentar el dispositivo de freno magnetoreológico.

REFERENCIAS

- [1] Holm, C., Weis, J.J., “The structure of ferrofluids: a status report”, *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, **10**, 133-140 (2005)
- [2] Hong, R.Y., Zhang, S.Z., Han, Y.P., Li, H.Z., Ding, J., Zheng, Y., “Preparation, characterization and application of bilayer surfactant-stabilized ferrofluids”, *Powder Technology*, **170**, 1–11 (2006)
- [3] Park, J.H., Chin, B.D., Park, O.O., “Rheological Properties and Stabilization of Magnetorheological Fluids in a Water-in-Oil Emulsion”, *Journal of Colloid and Interface Science*, **240**, 349-354 (2001)
- [4] Li, W.H., Lynam, C., Chen, J., Liu, B., Zhang, X.Z., Wallace, G.G., “Magnetorheology of single-walled nanotube dispersions”, *Materials Letters*, **61**, 3116-3118 (2007)
- [5] Melle, S., Rubio, M.A., Fuller, G.G., “Time Scaling in Aggregation of Magnetic Dipolar Particles: Scattering Dichroism Results”, *Physical Review Letters*, **87** - Number 11 (2001)
- [6] Melle, S., Rubio, M.A., Fuller, G.G., “Structure and Dynamics of Magnetorheological Fluids in Rotating Magnetic Fields”, *Physical Review E*, **61** - Number 4 (2000)
- [7] Melle, S., Calderón, O.G., Rubio, M.A., Fuller, G.G., “Microstructure Evolution in Magnetorheological Suspensions governed by Mason Number”, *Physical Review E*, **68**, 041503 (2003)
- [8] Domínguez-García, P., Melle, S., Calderón, O.G., Rubio, M.A., “Doublet Dynamics of Magnetizable Particles under Frequency Modulated Rotating Fields”, *Colloids and Surfaces A* (article in press) (2005)
- [9] Vékás, L., Rasa, M., Bica, D., “Physical Properties of Magnetic Fluids and Nanoparticles from Magnetic and Magneto-rheological Measurements”, *Journal of Colloid and Interface Science*, **231**, 247-254 (2000)
- [10] Taran, E.Y., Pridatchenko, Y.V., Gryaznova, V.A., “Features of Magnetorheology of Suspension with the Cowin Polar carrier fluid”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **252**, 229-231 (2002)
- [11] Elias, F., Bacri, J.C., Flament, C., Janiaud, E., Talbot, D., Drenckhan, W., Hutzler, S., Weaire, D., “Magnetic soap films and magnetic soap foams”, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, **263**, 65–75 (2005)
- [12] Bossisa, G., Khuzira, P., Lacisb, S., Volkovab, O., “Yield behavior of magnetorheological suspensions”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **258–259**, 456–458 (2003)
- [13] Olabi, A.G., Grunwald, A., “Design and application of magneto-rheological fluid”, *Materials and Design*, **28**, 2658–2664 (2007)
- [14] Rinaldi, C., Chaves, A., Elborai, S., He, X., Zahn, M., “Magnetic fluid rheology and flows”, *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, **10**, 141-157 (2005)
- [15] Bossisa, G., Lacisb, S., Meuniera, A., Volkova, O., “Magnetorheological fluids”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **252**, 224–228 (2002)
- [16] Grunwald, A., Olabi, A.G., “Design of magneto-rheological (MR) valve”, *Sensors and Actuators A*, **148**, 211-223 (2008)

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer a: Mg. Ing. Ricardo Echevarría, Ing. Roberto Chiappero, Mg. Ing. Maria de la Peña Sánchez, Dra. Laura Fernández e Ing. Esteban González. A todos ellos, muchas gracias por su ayuda.

INTRODUCTION TO MAGNETORHEOLOGICAL FLUIDS WITH APPLICATIONS IN ENGINEERING

Abstract – Two magnetorheological fluids were designed, elaborated and tested with the objective of being used like brake in different applications. The fluids were obtained from ferromagnetic iron oxide particles of diluted commercial use in a oil emulsion. The volumetric fraction and the quality of the emulsion were experienced until obtaining a sample with a time of sedimentation sufficiently great to work with it. The magnetorheological fluids (MR) were characterized by means of viscometer. The samples were immersed in a magnetic field generated by magnets and coils of commercial use. The density of magnetic flux was determined and dy-

dynamic viscosity was observed for the imposed deformation. The found values were compared with studied publications. It is concluded that is feasible to reproduce experiences and results obtained by other investigators. MR fluids used and the generated magnetic fields are reasonable with low resources. The studied viscosity of MR fluids was increased, in presence of the magnetic field, so the foretold. The value of resulting viscosity adjusts qualitatively to the curves presented/displayed by other authors. From these results, the design of fluid mechanical devices that use MR fluids with the studied characteristics for different applications is planned..

Keywords – Magnetorheology, Brake, Nanoparticles, Emulsion, Viscosity.