



FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI



II CAIM 2010
Segundo Congreso Argentino
de Ingeniería Mecánica
San Juan - Noviembre 2010

Diseño y caracterización de un fluido magnetoreológico aplicado a frenos

César D. Mesquida, Jorge L. Lässig

**Departamento de Mecánica Aplicada - Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional del Comahue
Buenos Aires 1400, Neuquén - Argentina**

Tel/Fax: +54-0299-449322

E-mail: cmesquida@uncoma.edu.ar, jlassig@uncoma.edu.ar

RESUMEN

Se diseñó, elaboró y ensayó un fluido magnetoreológico con el objetivo de ser utilizado como freno en distintas aplicaciones. El fluido se obtuvo 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 caracterizó el fluido magneto-reológico (MR) con un viscosímetro Brookfield. 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 las publicaciones estudiadas.

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 del fluido MR estudiado 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 Claves: 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 [9,14].

Se han desarrollado estudios sobre emulsiones del tipo agua en aceite [1] con el agregado de surfactantes de distinto tipo más partículas ferromagnéticas. Otra rama de estudio son los nanotubos [2]. La dinámica de agregación de estas partículas y las técnicas relacionadas también son objeto de investigaciones [3,7]. Las emulsiones sujetas a campos magnéticos unidireccionales y rotantes [4,8] 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 [4-6,12,14,16].

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 [3,8].

Numerosas aplicaciones se han propuesto para los fluidos magnetoreológicos, desde embragues y amortiguadores [10], válvulas [11] y sellos hasta aplicaciones biomédicas [12] en las cuales al fluido MR se lo trata como un film o una espuma [13].

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 una emulsión compuesta por un portador oleoso, agua, partículas de hierro y un surfactante. La metodología para la obtención de la misma fue modificándose empíricamente en base a los resultados.

El aceite elegido fue el Dow Corning 200, cuya viscosidad dinámica es 215mPa*s a 25,2°C (viscosidad cinemática: 200cSt). 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 μ m. El surfactante empleado es sal de dodecilsulfonato ácido de sodio (C₁₈H₂₉NaO₃S, más conocido como SDBS), producto 44200 de Fluka Chemika, con peso molecular 348,48.

2.2 Preparación

Luego de varias etapas de experimentación, se obtuvo una emulsión con una sedimentación aceptable según inspección visual. La emulsión resultante constó de: 2ml de agua destilada, 341,53ml de aceite, 2 gramos de partículas de hierro y 3,6ml de SDBS. A medida que ésta se preparaba se intercalaron etapas de agitación mecánica y sónica en distintas intensidades y duraciones.

3. CARACTERIZACIÓN DE LA EMULSIÓN Y EL CAMPO

3.1 Variaciones en el tiempo

Con un viscosímetro Brookfield se midió la viscosidad dinámica a lo largo del tiempo. La Figura 1 y 2 muestran los datos obtenidos.

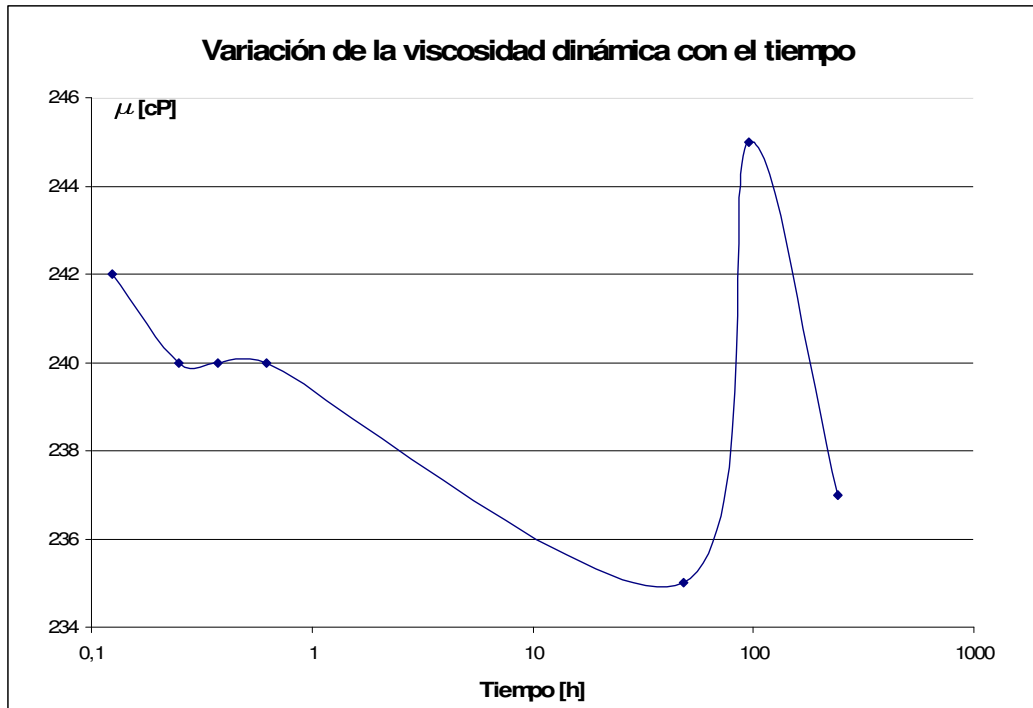


Figura 1: variación de la viscosidad dinámica con el tiempo, a lo largo de diez días de medición.

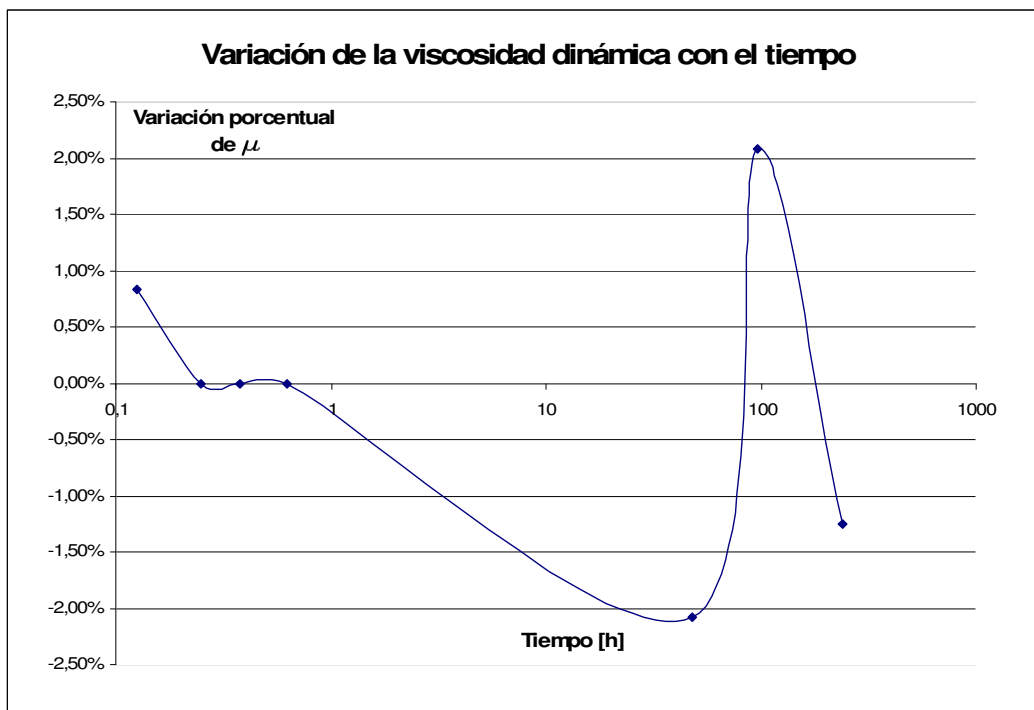


Figura 2: variación porcentual de la viscosidad dinámica con el tiempo, a lo largo de diez días de medición.

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, 240mPa*s.

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

Se observó poco cambio visualmente, pero ocurre sedimentación.

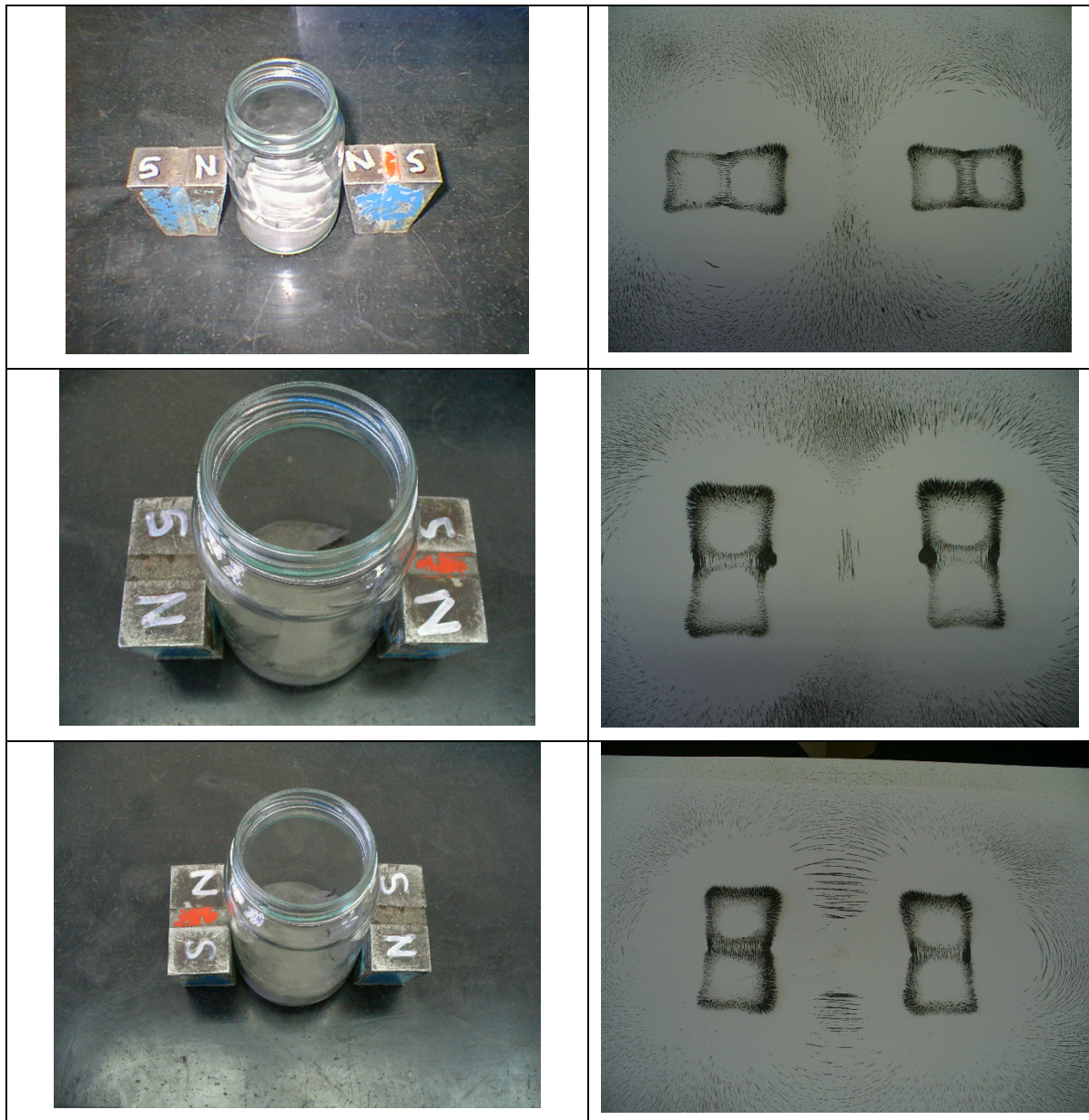
3.2 Caracterización del campo magnético

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 B en distintos puntos del espacio para estos elementos.

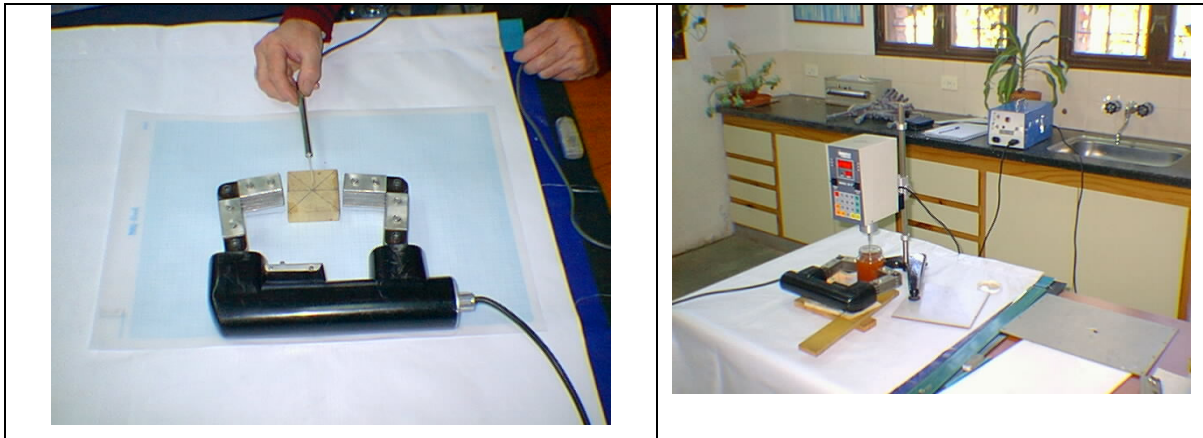
La Tabla 1 muestra los distintos imanes y configuraciones estudiadas.

Tabla 1: distintos imanes y configuraciones.



Con el afán de lograr un campo lo más uniforme posible y de un valor de **B** interesante, se evaluó la calidad de la emulsión frente a imanes permanentes y a un electroimán empleado para ensayos no destructivos (ver Tabla 2).

Tabla 2: elección de campo y caracterización.



4. RESULTADOS

4.1 Electroimán

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

El incremento desde el valor de viscosidad de la emulsión sin campo (242mPa*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 Figura 3.

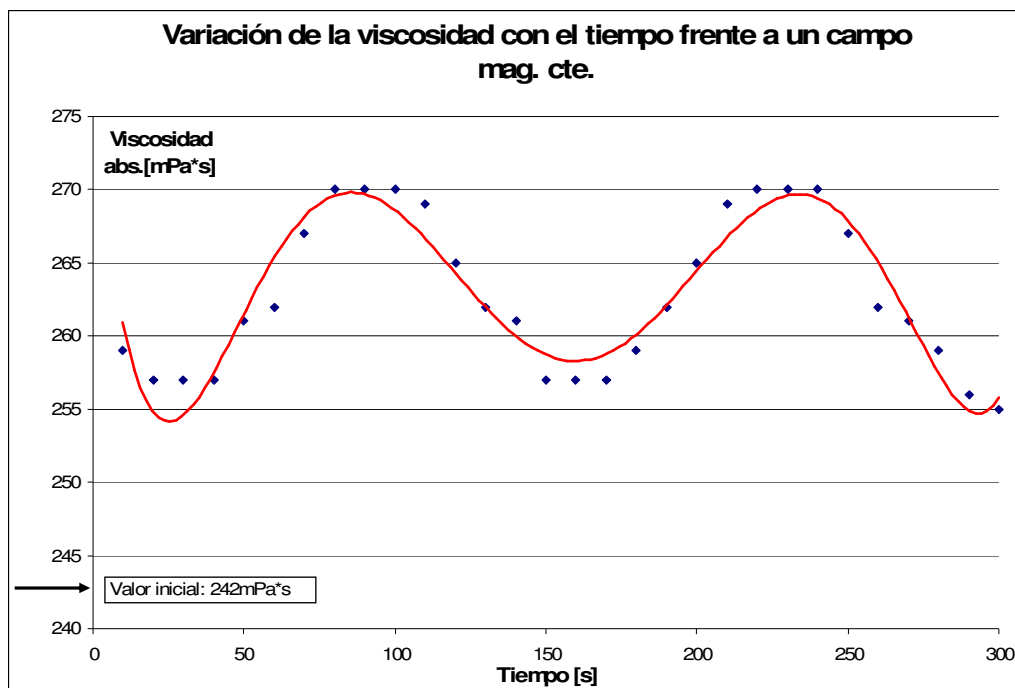


Figura 3: variación de la viscosidad dinámica con el tiempo, frente a un campo magnético constante.

4.2 Imanes permanentes

Frente a los imanes permanentes la emulsión 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 o deformación impuesta al fluido. Los datos se presentan a continuación, en la Figura 4.

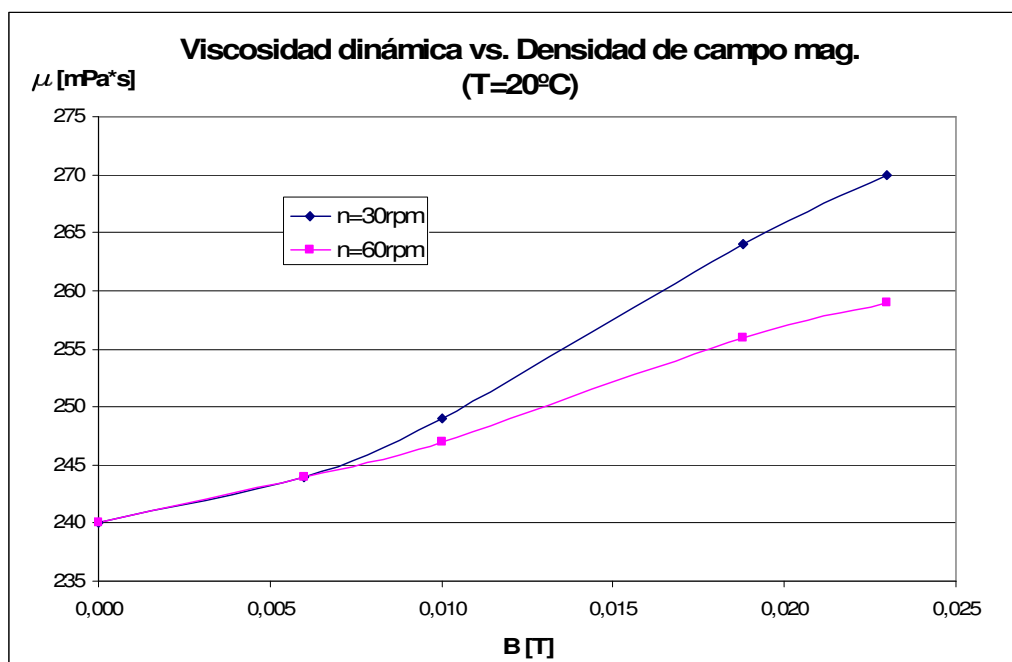


Figura 4: variación de la viscosidad dinámica con la densidad de flujo magnético, para distintas velocidades del viscosímetro.

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

4.3 Tiempo de retorno

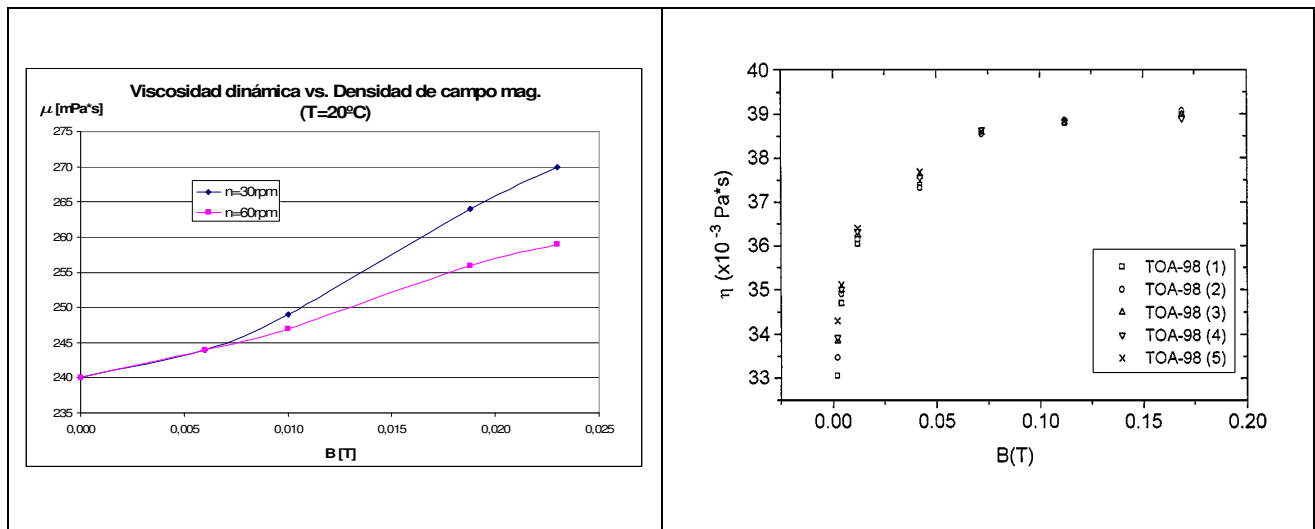
Otra medición realizada fue el tiempo de retorno, como el tiempo que le toma a la emulsión retornar a su viscosidad original luego de que el campo aplicado es eliminado.

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

5. CONCLUSIONES

- Los resultados presentados en la Figura 4 concuerdan cualitativamente con la bibliografía consultada [5,12] (como ejemplo, ver Tabla 3).
- Todos los experimentos se realizaron con bajos costos y elementos de la industria.
- La variación de la viscosidad con el tiempo (Figura 3) puede deberse a distintas razones. Una de ellas puede ser el quiebre de las estructuras de partículas formadas en presencia del campo y que, al ser deformadas por la rotación impuesta, presenten el periodo visto entre formación y destrucción.

Tabla 3: comparación de resultados con Ladislau Vékás et al.



- La sedimentación refleja que la estabilidad de la emulsión puede mejorarse sensiblemente.
- La elección de los elementos también es crucial. Elegir un aceite de menor viscosidad puede reflejar mayores efectos magnetoreológicos y por ende, menores pérdidas por rozamiento a la hora de construir un freno.
- La distribución en el espacio y la intensidad del campo magnético influye notablemente sobre los resultados, lo cual también concuerda con la bibliografía.
- 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:

- Debe lograrse una densidad de flujo magnético constante, de igual o mayor intensidad.
- Este campo debe obtenerse económicamente.
- La emulsión debe ser más estable, de baja viscosidad en ausencia de campo y con alto aumento de viscosidad en presencia de aquél. Para ello, las relaciones entre constitutivos debe evaluarse entre distintas alternativas, lo mismo con respecto al protocolo de generación de la emulsión.
- La viscosidad debe ser dependiente de la temperatura, al menos en los rangos relacionados con la aplicación de freno.
- La estructura de aglomerados de partículas debe investigarse (forma, dinámica).
- Deben determinarse las tensiones de corte para evaluar la aplicación.
- Diseñar, construir y experimentar el dispositivo de freno magnetoreológico.

4. REFERENCIAS

- [1] J. H. Park, B. D. Chin y O. O. Park, Rheological Properties and Stabilization of Magnetorheological Fluids in a Water-in-Oil Emulsion, *Journal of Colloid and Interface Science*, **Vol. 240**, pp. 349-354, 2001.
- [2] W.H. Li, C. Lynam, J. Chen, B. Liu, X. Z. Zhang, G. G. Wallace, Magnetorheology of single-walled nanotube dispersions, *Materials Letters*, **Vol. 61**, pp. 3116-3118, 2007.
- [3] S. Melle, M. A. Rubio, G. G. Fuller, Time Scaling in Aggregation of Magnetic Dipolar Particles: Scattering Dichroism Results, *Physical Review Letters*, **Vol. 87** - Number 11.

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

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.