

DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UN FLUIDO MR APLICADO A FRENOS DE AERONAVES

César D. Mesquida, Jorge L. Lässig

*Departamento de Mecánica Aplicada, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue,
Buenos Aires 1400, Neuquén, Argentina, cmesquida@uncoma.edu.ar.*

Palabras clave: magnetoreología, frenos, emulsiones, ferropartículas, viscosidad.

Resumen. Se diseñó, elaboró y ensayó un fluido magnetoreológico (FMR) con el objetivo de ser utilizado como freno en aeronaves.

El fluido se obtuvo a partir de partículas pigmentadas de óxido de hierro de 180 micrones de diámetro promedio diluido en una emulsión agua-aceite más el agregado de un surfactante. La fracción volumétrica agua-aceite y la cantidad de surfactante se experimentaron hasta obtener una muestra con un tiempo de sedimentación lo suficientemente grande como para hacerlo útil.

La cantidad de partículas de hierro se experimentó con el fin de lograr una emulsión estable e interesante desde el punto de vista magnetoreológico.

Se caracterizó el fluido MR con un viscosímetro Brookfield y un Ofite. Las muestras fueron inmersas en un campo magnético generado por imanes de uso comercial y por bobinados. Se determinó la intensidad y densidad del campo magnético y, para cada caso particular, se hallaron valores de tensión de corte, velocidad de corte y viscosidad.

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 gran medida en presencia del campo magnético, tal lo pronosticado.

A partir de estos resultados, se planea el diseño de un dispositivo de freno que emplee un fluido MR con las características estudiadas.

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 (FMR) 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 (Holm and Weis, 2005; Bossisa et al., 2002-2003).

Se han desarrollado estudios sobre emulsiones del tipo agua en aceite (Park et al., 2001) con el agregado de surfactantes de distinto tipo más partículas ferromagnéticas. Otra rama de estudio son los nanotubos (Li et al., 2007). La dinámica de agregación de estas partículas y las técnicas relacionadas también son objeto de investigaciones (Melle et al.,). Las emulsiones sujetas a campos magnéticos unidireccionales y rotantes (Melle et al., 2003; Domínguez-García et al, 2005) 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 (Vékás et al., 2000; Taran et al., 2002; Rinaldi et al., 2005).

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 (Melle et al., Domínguez-García et al.).

Numerosas aplicaciones se han propuesto para los fluidos magnetoreológicos, desde embragues y amortiguadores (Olabi et al., 2007), válvulas (Grunwald et al., 2008) y sellos hasta aplicaciones biomédicas (Rinaldi et al., 2005) en las cuales al fluido MR se lo trata como un film o una espuma (Elias et al., 2005).

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 aplicado a aeronaves.

2 DESARROLLO DE LA EMULSIÓN

2.1 Componentes

Según la bibliografía consultada, se decidió desarrollar una emulsión compuesta por un portador oleoso, 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 5,375mPa*s a 25,2°C (viscosidad cinemática: 5cSt, densidad: 1.075kg/m³). Las partículas de hierro son de la firma Magnaflux (Magnavis 8 A red) utilizadas en ensayos no destructivos. El diámetro promedio de las partículas es de 180µm. El surfactante empleado es 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

Luego de varias etapas de experimentación, se obtuvo una emulsión con una sedimentación aceptable según inspección visual. La emulsión resultante constó de: 72ml de aceite (5cSt), 0,72ml de surfactante y 0,92 gramos de partículas de hierro. La suspensión aceite-surfactante se agitó durante 45 minutos a 1000rpm. Luego se agregaron las partículas y

se agitó la suspensión durante 20 minutos a 1000rpm.

3 CARACTERIZACIÓN DEL CAMPO Y LA EMULSIÓN

3.1 Caracterización del campo magnético

Se trabajó con imanes permanentes de disponibilidad comercial. El campo magnético se evaluó cualitativa y cuantitativamente, obteniéndose la densidad de flujo magnético B en distintos puntos del espacio para estos elementos.

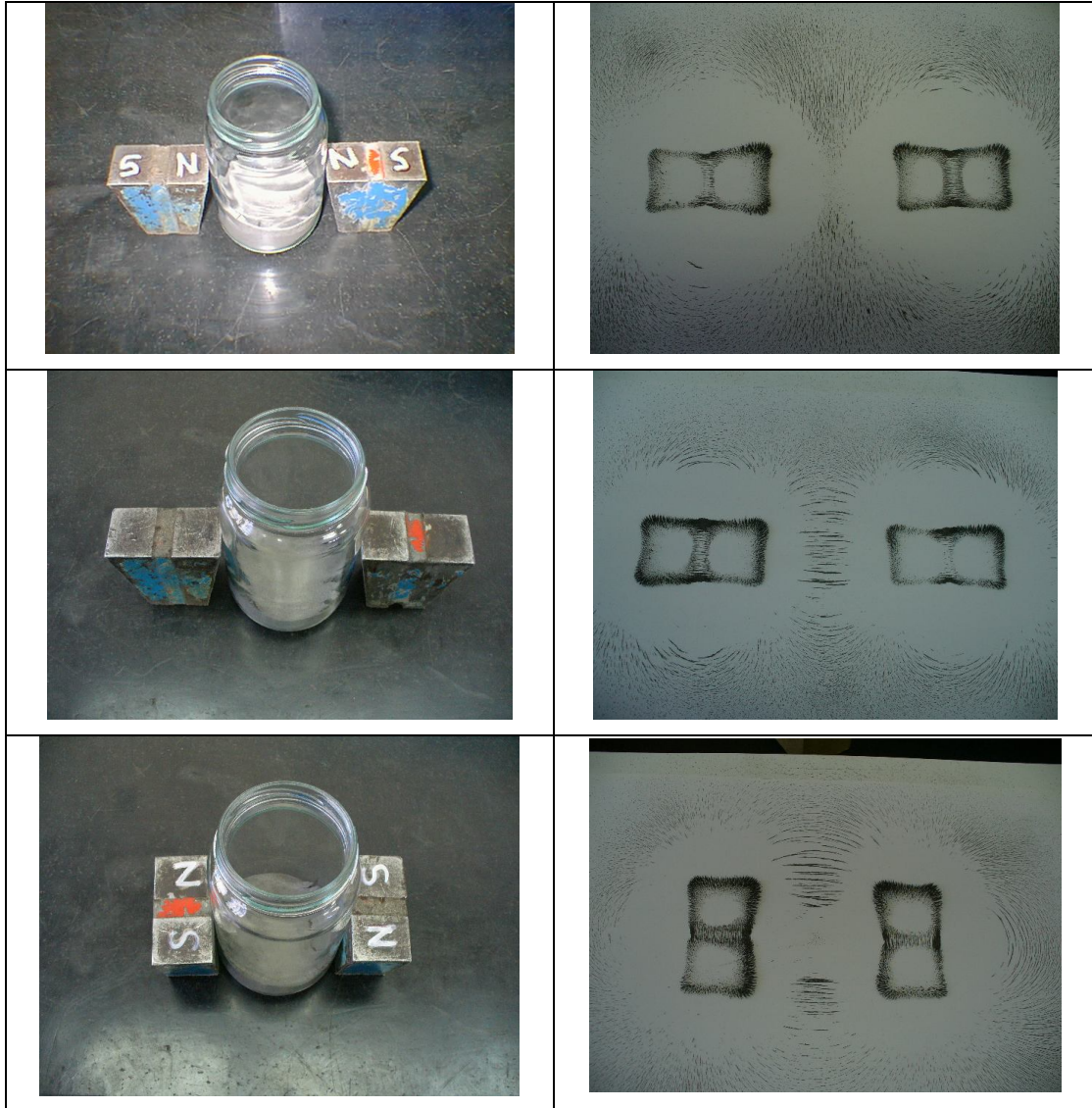


Tabla 1: Configuraciones de imanes estudiadas.

La Tabla 1 muestra las distintas configuraciones de imanes estudiadas.

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.

Luego de 24 horas de la última agitación, se observó muy poca precipitación. Se aprecia

que con agitación manual, la suspensión emulsiona inmediatamente.

4 RESULTADOS

Luego de la caracterización del campo magnético de estos imanes, se midió la viscosidad para distintas velocidades de rotación o deformación impuesta al fluido. El instrumento empleado fue el viscosímetro Ofite Model 900. Los datos se presentan a continuación.

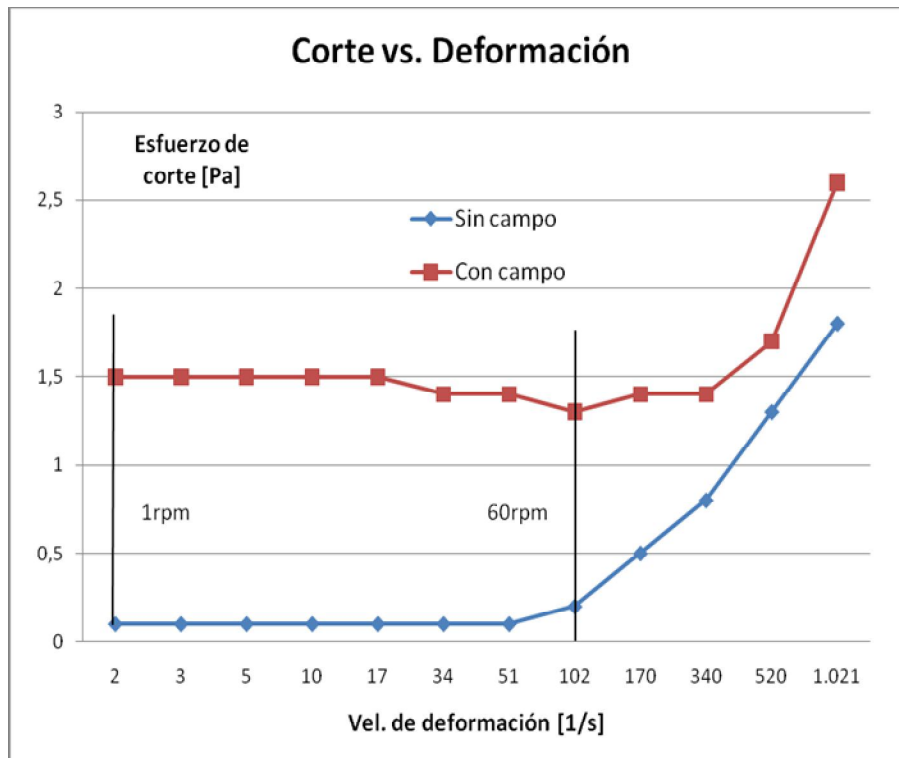


Figura 1: Esfuerzo cortante τ versus velocidad de deformación dy/dt .

La Figura 1 muestra la variación del esfuerzo cortante, en pascales, versus la velocidad de deformación impuesta al fluido, en recíprocos de segundo. La pendiente de las curvas es representativa de la viscosidad del fluido.

Puede verse que para velocidades de deformación entre $2s^{-1}$ y $102s^{-1}$ (1rpm-60rpm), 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.

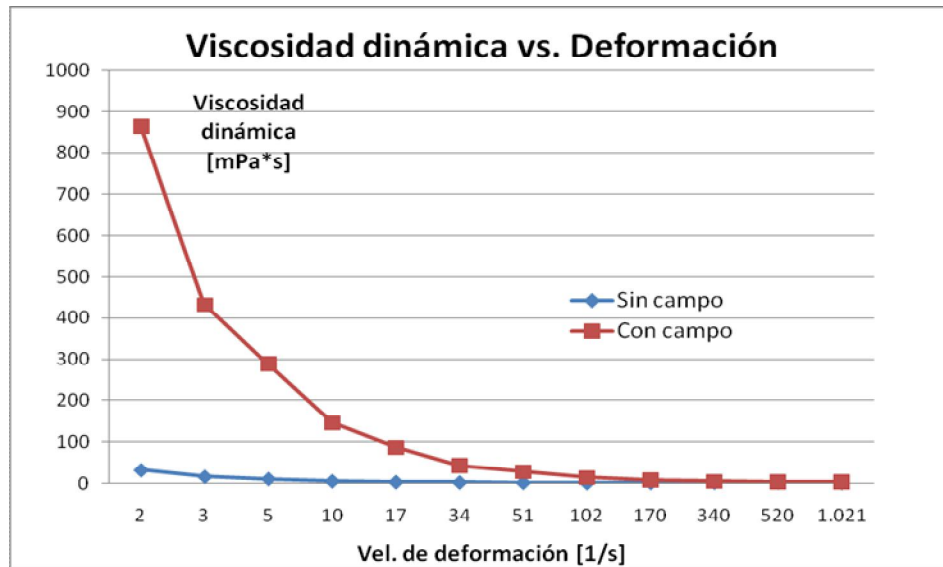


Figura 2: Viscosidad dinámica μ versus velocidad de deformación dy/dt .

La Figura 2 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 provenientes de una emulsión agua-aceite-surfactante experimentada en un equipo Brookfield (ver Tabla 2) en una anterior etapa de investigación, cuyos resultados se presentan en la Figura 3.

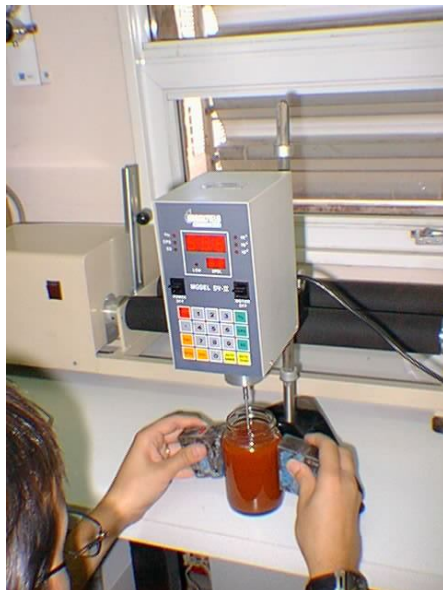


Tabla 2: Equipos utilizados para experimentar una emulsión agua-aceite.

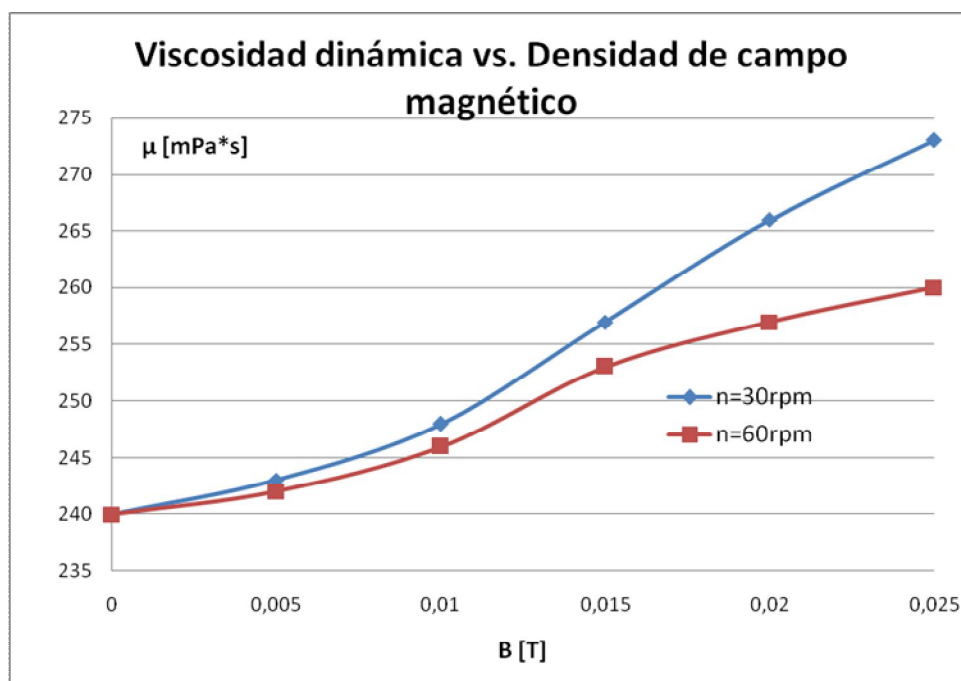


Figura 3: Variación de la viscosidad dinámica medida versus el campo magnético aplicado, para distintas velocidades de deformación (T=20°C).

Puede verse que, para la emulsión lograda con las características antes descriptas y con una viscosidad, en ausencia de campo magnético, de 240mPa*s, el incremento porcentual de la misma oscila entre un 8% y 12% como máximo, para las condiciones impuestas. Se observa también que estos incrementos fueron encontrados por otros autores en sus respectivas investigaciones (ver Tabla 3, derecha).

Los incrementos en la viscosidad frente a la deformación impuesta también se corresponde con los resultados encontrados por otros autores (ver Tabla 3, izquierda).

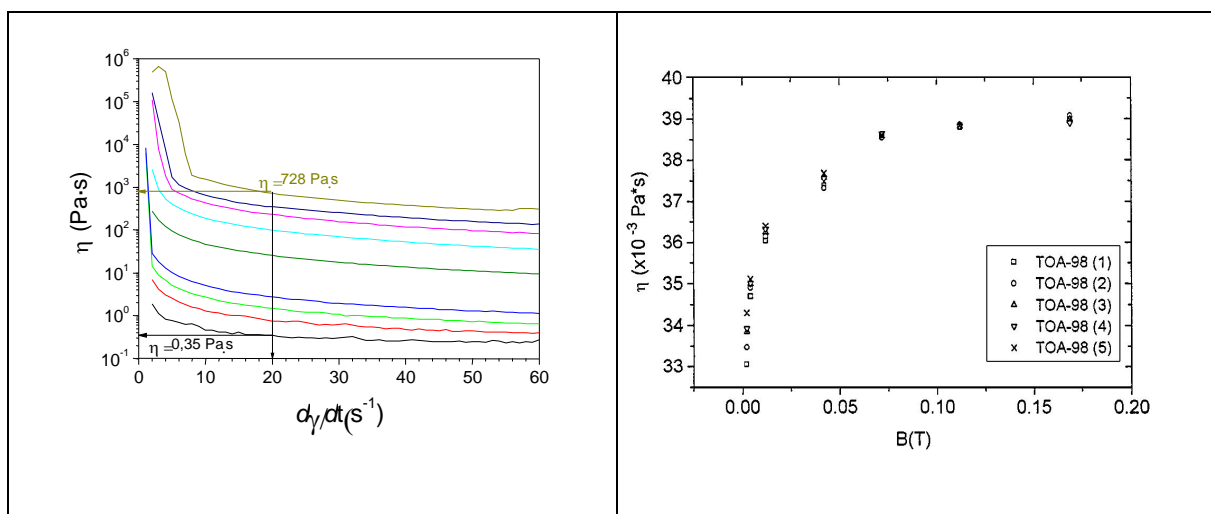


Tabla 3: Resultados del Grupo de Física de Interfases y Sistemas Coloidales, Universidad de Granada, izquierda, y Ladislau Vékás et al., derecha.

5 APLICACIÓN AERONÁUTICA

La idea consiste en generar un dispositivo de freno líquido, empleando un fluido MR, que frene las ruedas de la aeronave en el momento del aterrizaje. Para esto, es necesario desarrollar un FMR con un aceite de alta viscosidad y con una constitución tal que, al presentarse inmerso en un campo magnético, su viscosidad aumenta aún más, generando elevados esfuerzos de corte y por ende un par resistente que, al menos, sirva como primer etapa de frenado.

La intensidad de corriente podría determinarse a través de una lógica que considere el estado de la pista, de las cubiertas y la velocidad de aterrizaje.

Las ventajas serían:

- ❖ Disminuir el desgaste del freno mecánico y así, incrementar su vida útil.
- ❖ Disminuir los costos de mantenimiento.
- ❖ Disminuir las horas de mantenimiento.
- ❖ Disminuir el esfuerzo sobre el sistema hidráulico de freno durante el aterrizaje.

El esquema del freno MR sería el siguiente:

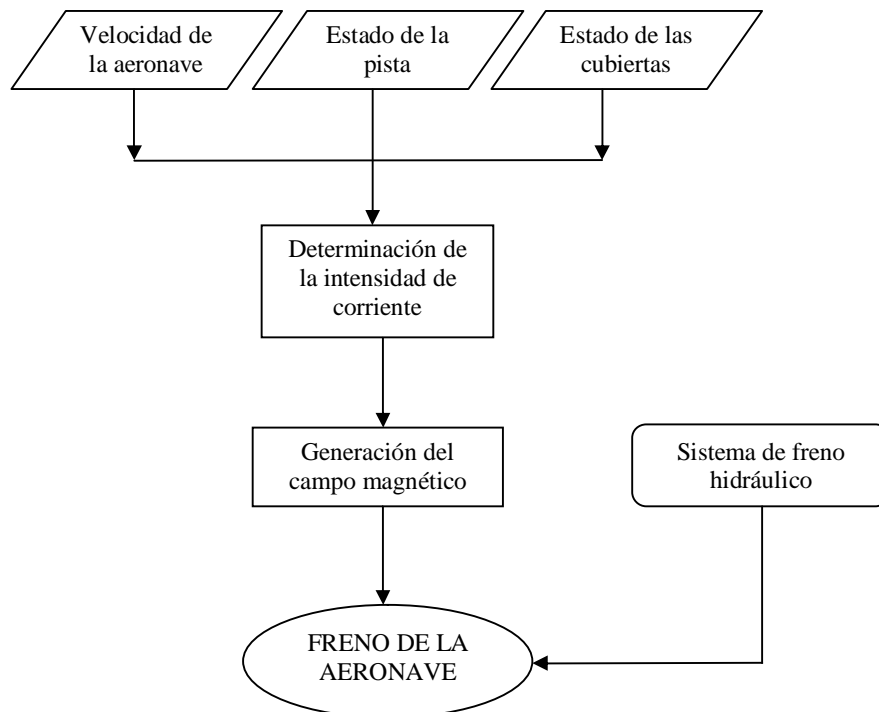


Figura 4: Esquema lógico del freno magnetoeológico.

6 CONCLUSIONES

- ✓ Lo observado en la Figura 1 y 2 orienta la línea de investigación hacia las emulsiones empleadas en estas experiencias.
- ✓ Los resultados presentados en la Figura 2 y 3 concuerdan cualitativamente con la bibliografía consultada (Vékás et al., 2000; Rinaldi et al., 2005). Como ejemplo, ver Tabla 3.
- ✓ Todos los experimentos se realizaron con bajos costos y elementos de la industria.
- ✓ Mediante una correcta elección del surfactante a partir de su índice HBL pueden

- obtenerse emulsiones agua en aceite con una velocidad de sedimentación aceptable.
- ✓ La elección de los elementos también es crucial. Elegir un aceite de menor viscosidad (5mPa*s versus 240mPa*s) refleja mayores efectos magnetoreológicos y por ende, menores pérdidas por rozamiento a la hora de construir un freno.
 - ✓ Esta elección de aceites de baja viscosidad también redundará en un menor gasto de energía para generar el campo magnético.
 - ✓ 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.

7 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 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.
- Obtener partículas de menor tamaño (del orden del nanómetro).
- Caracterizar magnéticamente a la partícula.
- El comportamiento de la emulsión frente y en ausencia del campo magnético debe ser estudiada.
- La estructura de aglomerados de partículas debe investigarse (forma, dinámica).
- Diseñar, construir y experimentar el dispositivo de freno magnetoreológico.

8 REFERENCIAS

- 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*, 240: 349-354, 2001.
- W.H. Li, C. Lynam, J. Chen, B. Liu, X. Z. Zhang, G. G. Wallace, Magnetorheology of single-walled nanotube dispersions. *Materials Letters*, 61: 3116-3118, 2007.
- S. Melle, M. A. Rubio, G. G. Fuller, Time Scaling in Aggregation of Magnetic Dipolar Particles: Scattering Dichroism Results. *Physical Review Letters*, 87: Number 11.
- S. Melle, O. G. Calderón, M. A. Rubio, G. G. Fuller, Microstructure Evolution in Magnetorheological Suspensions governed by Mason Number. *Physical Review E*, 68: 041503, 2003.
- 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*, 231: 247-254, 2000.
- 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*, 252: 229-231, 2002.
- S. Melle, M. A. Rubio, G. G. Fuller, Structure and Dynamics of Magnetorheological Fluids in Rotating Magnetic Fields. *Physical Review E*, 61, Number 4.
- 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.
- C. Holm, J.J. Weis, The structure of ferrofluids: a status report. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 10: 133-140, 2005.
- A.G. Olabi, A. Grunwald, Design and application of magneto-rheological fluid. *Materials and Design*, 28: 2658–2664, 2007.
- A. Grunwald, A.G. Olabi, Design of magneto-rheological (MR) valve. *Sensors and Actuators A*, 148: 211-223, 2008.
- Carlos Rinaldi, Arlex Chaves, Shihab Elborai, Xiaowei (Tony) He, Markus Zahn, Magnetic fluid rheology and flows. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 10: 141-157, 2005.
- 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*, 263: 65–75, 2005.
- G. Bossisa, S. Lacisb, A. Meuniera, O. Volkova, Magnetorheological fluids. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 252: 224–228, 2002.
- G. Bossisa, P. Khuzira, S. Lacisb, O. Volkovab, Yield behavior of magnetorheological suspensions. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 258–259: 456–458, 2003.

9 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, todos de la UNComa. A la Ing. Mónica Mucci de San Antonio Internacional, y al Ing. Sergio Perez de MI Swaco.

A todos ellos, muchas gracias por su ayuda.