

EVALUACIÓN DE FLUIDOS MAGNETO-REOLÓGICOS. CASO DE ESTUDIO: SISTEMA DE FRENOS DE MONTACARGAS

Data de aceite: 01/02/2024

Jonnathan Sandoval

Departamento de Producción Industrial,
Universidad Metropolitana
Caracas, Venezuela

Leonardo Mora

Ingeniero Mecánico, Universidad
Metropolitana
Caracas, Venezuela

RESUMEN: El estudio consiste en la evaluación de un sistema de frenos para vehículos de carga pesada, basado en la comparación de uno de estos, utilizando líquido de frenos convencionales y por otro lado fluidos magneto-reológicos. Para tal fin se ubicaron los parámetros relevantes y realizar así la simulación. El objetivo es proponer un nuevo fluido para su actuación en un sistema de frenado, se buscó un freno que cumpliera con los requerimientos propuestos. Una vez encontrado el freno a utilizar, se procedió a su digitalización empleando el software de diseño Autodesk 360®, posteriormente se realizó una evaluación de los fluidos involucrados mediante *Computer Fluids Dynamics*® (CFD). Con los resultados obtenidos, se evaluó la efectividad del sistema propuesto

y si era factible su aplicación en el sistema.

PALABRAS CLAVE: Frenos, Fluidos Magneto-Reológicos, Software

ABSTRACT: The study consists of the evaluation of a brake system for heavy-duty vehicles, based on the comparison of one of these, using conventional brake fluid and on the other hand magneto-rheological fluids. For this purpose, the relevant parameters were located and thus carried out the simulation. The objective is to propose a new fluid for performance in a braking system, a brake was sought that would meet the proposed requirements. Once the brake to be used was found, it was digitized using the Autodesk 360® design software, subsequently an evaluation of the fluids involved was carried out using Computer Fluids Dynamics® (CFD). With the results obtained, the effectiveness of the proposed system was evaluated and whether its application in the system was feasible.

1 | INTRODUCCION

Se hace necesario tener un sistema de frenado óptimo para todo tipo de vehículos, con la finalidad de brindar una mayor seguridad al momento del manejo.

En el caso de maquinaria, al momento de transportar carga, el hecho de poseer un frenado eficaz sugiere una mayor seguridad tanto para el operario como para lo que se esté transportando.

El término maquinaria pesada se refiere, a una gran cantidad de máquinas en cuestión. En este caso, se utilizará en el trabajo, el modelado de un sistema de frenado de un montacargas con capacidad de carga de 2 a 3,5 toneladas.

Por otro lado, el estudio de materiales inteligentes, como los fluidos magneto-reológicos, es relativamente reciente, al menos 20 años desde la primera investigación, su innovación en otros ámbitos de la ingeniería sugiere un estudio en la adaptación de este fluido a un sistema de frenado como caso de estudio.

En el presente trabajo, se busca evaluar un sistema de frenado comparando su reacción al líquido de freno convencional con la reacción que muestra el fluido magneto-reológico, mediante el modelado digital de un freno y con la posterior evaluación a través de un software de fluidos computacional. Con los resultados del estudio se puede medir la efectividad del sistema.

Para lograr tal objetivo adicionalmente se requiere:

- Determinar las propiedades físico-químicas del fluido para su uso en el sistema de freno bajo cualquier condición climática y sobre la superficie en que se encuentra la maquinaria operando.
- Comparar el rendimiento y duración de los frenos que usan fluidos magneto-reológicos con líquidos de frenos convencionales.

2 | FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La mayoría de los vehículos utilizan como fluido principal en sus sistemas de freno, un líquido popularmente conocido “liga de frenos”. Estos se clasifican según normalización del **Departamento de Transporte de los Estados Unidos** (*Department of Transportation-DOT*).

Existen 4 tipos de líquidos de frenos, denominados DOT 3, 4, 5 y 5.1, cada uno con características similares para frenos convencionales, pero presuntamente con fallas a nivel de compuestos, dado que algunos bajo ciertas condiciones climáticas impiden un frenado óptimo y con riesgo de fugas de este líquido (Wagner Brake, 2019).

Por otra parte, los frenos magneto-reológicos, usan fluidos cuyas propiedades se ven alteradas por presencia de un campo magnético, su viscosidad al aplicar dicho campo, se puede regular desde un fluido poco viscoso hasta un estado similar a “una masita” o muy espeso, sin modificar ni su forma ni volumen (Donado & Mendoza, 2006).

Debido a su tecnología innovadora, estos fluidos están ingresando a diferentes ámbitos y aplicaciones en la industria, en este caso, para un sistema de frenos en el cual se pretende demostrar que sea factible su uso y cumpla con los estándares de seguridad

para el manejo de los vehículos (Dios, 2013).

Un **freno**, del término latino *frenum*, es el dispositivo utilizado para detener o disminuir el movimiento de algún cuerpo, generalmente un eje, árbol o tambor. Los frenos son transformadores de energía, ya que transforman energía cinética de un cuerpo en calor o trabajo, y en ese sentido pueden visualizarse como “extractores” de energía (Pérez, 2011).

Existen dos tipos de sistema de frenos, el **sistema de frenado hidráulico**, usado principalmente en automóviles y vehículos de carga ligera así como en maquinaria que entra en la categoría de carga pesada como los montacargas y el **sistema neumático de frenado** el cual es usado exclusivamente en los vehículos que transportan carga pesada durante tramos largos de distancia como camiones de transporte, trailers, entre otros.

En un circuito de frenos hidráulicos se encuentran conectados por caños un cilindro maestro y cilindros auxiliares.

Cuando se pisa el pedal de freno, éste presiona un pistón en el cilindro maestro forzando la circulación del aceite a través de una tubería. El aceite viaja hasta los cilindros auxiliares de cada una de las ruedas, llenándolos y forzando a los pistones a accionar los frenos. La presión del aceite se distribuye uniformemente alrededor del sistema.

La superficie combinada de presión de todos los pistones auxiliares, es mayor que la del pistón en el cilindro maestro. Constantemente el pistón maestro debe moverse varios centímetros, para ser capaz de mover la fracción de centímetro que necesita el pistón auxiliar para accionar los frenos. Esta disposición permite que los frenos ejerzan una gran fuerza, de la misma manera en la que una palanca de mano puede levantar fácilmente un objeto pesado a corta distancia..

La mayoría de los autos cuentan hoy en día con una válvula sensible a la sobrecarga de presión. Esta se cierra cuando una frenada de emergencia aumenta la presión hidráulica a un nivel que podría causar que los frenos traseros se bloqueen, y evita que cualquier movimiento adicional de aceite hacia éstos. Autos nuevos pueden tener sistemas complejos de autobloqueo, que detectan de varias maneras como el auto se desacelera y si alguna rueda se encuentra bloqueada. Dichos sistemas accionan y liberan los frenos en una rápida sucesión evitando que los mismos se bloqueen.

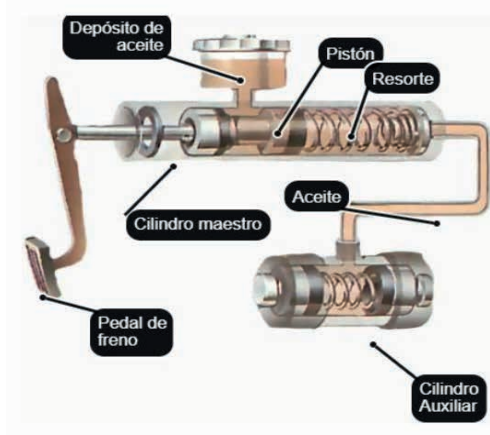


Figura 1. Cilindro maestro y auxiliar. Fuente: (Como funciona un auto, s.f.)

El **líquido de frenos** es un fluido cuya función principal es permitir que la fuerza que se ejerce desde el pedal del freno sea transmitida hasta los cilindros de las ruedas, permitiendo una frenada efectiva. El líquido de frenos debe mantenerse en buen estado y para ello se debe cambiar con frecuencia, normalmente cada 2 o 3 años, dependiendo del uso que se le dé.

Uno de los principales factores que se debe revisar con frecuencia es el punto de ebullición, ya que cuanto más alto sea el calor generado y la temperatura que alcanza el líquido de frenos, más fácil será que entre en ebullición, provocando la aparición de burbujas que disminuyen la efectividad de la frenada.

No todos los líquidos de frenos son iguales, por lo tanto en cada vehículo se debe usar el recomendado por el fabricante, los tipos existentes son los siguientes:

DOT 3: Se usa en frenos convencionales, tienen un punto de ebullición seco de 205 °C, húmedo de 140 °C y su viscosidad es de 1500 cSt (centiStokes). Es el más común y económico.

DOT 4: Es un líquido empleado tanto en frenos convencionales como en ABS. Tiene un punto de ebullición seco de 230 °C, húmedo de 155 °C y su viscosidad es de 1800 cSt. Es similar al DOT 3 aunque ofrece mejores prestaciones y una mayor durabilidad.

DOT 5: Se utiliza específicamente en coches cuyo líquido de frenos tenga una base sintética en vez de mineral. Por tanto, no se puede mezclar con los DOT 3 y DOT 4 que si tienen base mineral. Su punto de ebullición es de 260 °C.

DOT 5.1: Es un líquido con un punto de ebullición seco de 270 °C, húmedo de 180 °C y tiene una viscosidad de 900 cSt. Al contrario de lo que se pueda pensar, no es una evolución del DOT 5, de hecho tiene base mineral. Su principal desventaja es que tiene mayor poder higroscópico (capacidad de absorber humedad) que los DOT 3 y DOT 4.

Los **fluidos magnetoreológicos (FMR)** son un tipo de material inteligente cuyas

características cambian rápidamente y pueden ser controladas fácilmente mediante la aplicación de un campo magnético externo. El cambio es proporcional a la intensidad del campo aplicado y puede ser controlado con alto grado de precisión mediante la variación de dicha intensidad y es inmediatamente reversible después de remover el campo.

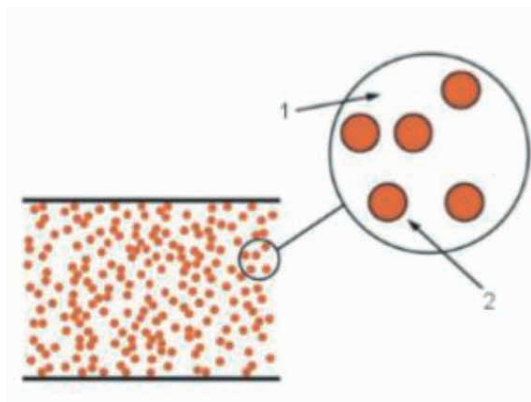


Figura 2. Modelo de fluido magnetoreológico sin campo magnético externo (1. Líquido portador. 2. Partículas magnéticas suspendidas). Fuente: (Mora, 2019)

Las partículas dispersas se distribuyen en forma aleatoria en el líquido portador, dando como resultado una baja viscosidad aparente. Una vez aplicado el campo magnético, inicia el efecto magnetoreológico que causa que las partículas dispersas se polaricen e interactúen entre ellas alineándose y formando cadenas o estructuras columnares paralelas a la dirección del campo aplicado. Cuanto mayor es la intensidad del campo, las cadenas forman estructuras columnares de mayor espesor, que aumentan la viscosidad aparente y la resistencia al flujo del material, en dirección perpendicular a la del campo magnético (Goncalves, 2005).

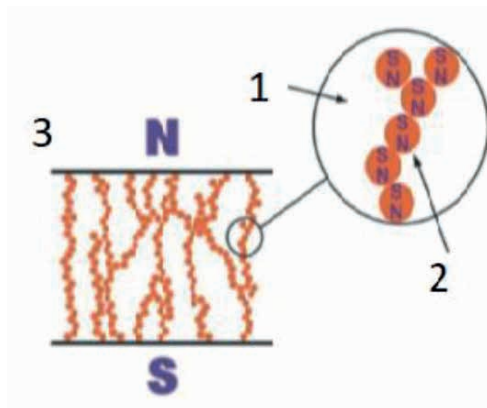


Figura 3. Fluido magnetoreológico con campo magnético aplicado (1. Líquido portador. 2. Partículas magnetizables. 3. Campo magnético). Fuente: (Mora, 2019)

La energía mecánica necesaria para producir las estructuras tipo cadena se incrementa conforme crece el campo aplicado, dando como resultado un material con características viscosas y resistencia a la fluencia dependiente de la intensidad del campo magnético. El período de tiempo durante el cual ocurren estos eventos es del orden de los milisegundos.

Los FMR son una mezcla de tres componentes principales: partículas magnéticamente polarizables, líquido portador y una variedad de aditivos. También es posible crear una suspensión de FMR sólo con líquido portador y partículas magnéticas, pero estas son altamente inestables y no funcionan satisfactoriamente.

Las partículas magnéticamente polarizables dispersas en los FMR son hierro en polvo de alta pureza, aleaciones de hierro y níquel, aleaciones de hierro y cobalto, aceros inoxidable magnéticos y ferritas, aunque es posible utilizar cualquier otra partícula polarizable.

Un tipo de líquidos portadores especiales para los FMR son aceites de silicona, glicoles y agua, aunque generalmente tiene propiedades inferiores que los aceites de los hidrocarburos en términos de lubricidad y durabilidad. Los aceites de silicona ofrecen propiedades bien controladas para una amplia gama de temperaturas con menor variación de viscosidad que los hidrocarburos sintéticos (Ashour et al. 1998)

Los FMR a base de agua ofrecen la más alta resistencia a la fluencia en estado encendido y una menor viscosidad en estado-apagado. Sin embargo, su alta presión de vapor significa que debe considerarse la pérdida de líquido por evaporación. Por tal motivo el agua solo se utiliza como líquido portador en aplicaciones donde la evaporación no es una preocupación, es decir, en dispositivos que están absolutamente sellados. (Bin, 2008)

Por lo tanto, los FMR a base de agua no son apropiados para sistemas que contienen juntas deslizantes como los amortiguadores, debido a que la película de agua que se adhiere sobre la superficie del vástago, luego se evapora y conduce a una pérdida progresiva del fluido.

Los FMR presentan un punto de cendencia entre 50 y 100 kPa para campos magnéticos entre 150 y 250 kA/m con una viscosidad sin campo magnético de 200 a 300 mPa.s a 25°C. Se toman los puntos de fluencia del fluido como punto de referencia, ya que es el esfuerzo máximo que soporta un material sin sufrir deformación plástica (Gaisker Centro Tecnológico, 2019).

Los FMR en los autos operan en modo directo de corte, lo que quiere decir, que el fluido se corta llenando el vacío entre las dos superficies moviéndose uno respecto al otro. La resistencia del torque en el freno depende de la viscosidad del fluido, la cual cambia con el campo magnético, lo que permite tener el control continuo del torque. El rotor se fija al eje, que se coloca en los cojinetes y puede girar en relación con la carcasa. El par de resistencia en el freno magnetoreológico depende de la viscosidad del fluido que se puede cambiar por campo magnético.

Cuando no hay campo magnético, el fluido magneto-reológico se aproxima a un líquido newtoniano, el torque es causado por la viscosidad del líquido portador, cojinetes y sellos. El FMR es especialmente adecuado para una variedad de aplicaciones que incluyen control de actuador neumático, control de tensión de precisión y retroalimentación de fuerza háptica en aplicaciones tales como dirección por cable (Kciuk, 2006).

El fluido por debajo un determinado esfuerzo de cedencia se comporta como un sólido elástico y por encima de ese esfuerzo, como un fluido viscoso.

Propiedad	Valor típico
Densidad	3-4 [g/cm ³]
Intensidad del campo magnético	120-250 [kA/m]
Límite de elasticidad	50-100 [kPa]
Temperatura de trabajo	-50 a 150 [°C]
Tiempo de reacción	Pocos milisegundos
Típico suministro de voltaje e intensidad continua	2-25 V; 1-2A
Viscosidad inicial	0,2-0,3[Pa*s] @25°C

Tabla N° 1. Propiedades de los fluidos magneto-reológicos.

Fuente: (Ashtiani & Hashemabadi, 2015)

El esfuerzo de cedencia, en este caso es función de la fuerza magnética. Como se puede apreciar en el siguiente gráfico, existe un rango de la relación entre el gradiente de velocidad y el esfuerzo de corte la cual varía según la fuerza magnética y que, a su vez, es función de una intensidad de corriente i .

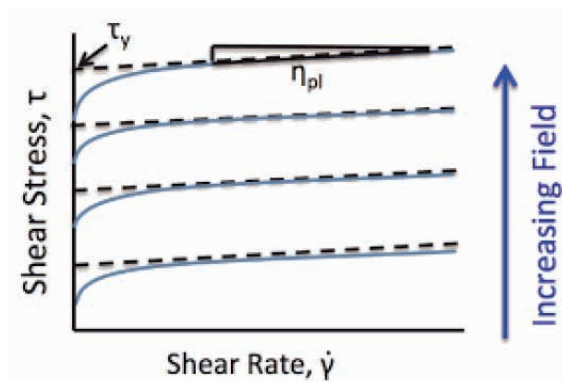


Figura 4. Relación esfuerzo cortante con velocidad de corte. Fuente: (Mora, 2019)

3 | MÉTODO

La investigación se basó en un sistema de freno ya existente y su digitalización

mediante un software de diseño, evaluación y comparación de ambos fluidos (liga de frenos y FMR) a través de un programa pertinente y mediante un análisis de variables dependientes e independientes, en este caso, necesarias para la evaluación y comparación de valores ya determinados científicamente de ambos fluidos.

Los resultados teóricos y datos arrojados por la simulación en el programa computacional de fluidos (CFD), van a servir para definir si el fluido alternativo al comúnmente usado es viable o no, tomando en cuenta el diseño específico propuesto.

El método consiste en evaluar el sistema de frenado en una maquinaria pesada, en este caso de un montacargas de 2 a 3,5 T (toneladas de carga). Cabe destacar que en este tipo de maquinaria no se usan sistemas hidráulicos de frenos (que usen líquido de freno) sino sistemas neumáticos, los cuales usan como fluido el aire mediante un compresor y modelan su uso en distancias largas de recorrido a velocidades más altas. Se tomó como enfoque de estudio un solo tipo de sistema de freno: “De cilindro maestro sencillo”, un modelo particular de montacargas.

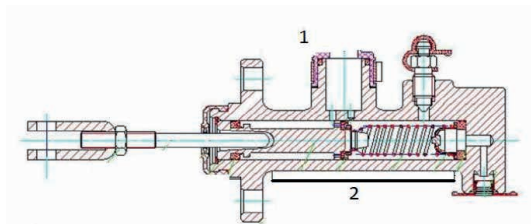


Figura 5. Cilindro Maestro Montacargas Marca Hangcha 2-3,5 T (1. Entrada del fluido. 2. Trayecto del fluido). Fuente: (Mora, 2019)

El líquido de freno a emplear es el DOT 3, y tiene que ver con el sistema de freno propuesto, este es de disco de montacargas sin ABS, no es moderno y no está sujeto a grandes esfuerzos al momento de frenar, su uso se limita a transportar cargamento y según el modelo de seguridad para transportar cargas, en todo momento, se debe respetar la velocidad máxima reglamentada para la conducción de montacargas lo que sugiere una baja velocidad y bajos esfuerzos aplicados a la hora de frenar.

Por otro lado, para la selección del fluido magnetoreológico es justo resaltar que no se consideró ninguna configuración eléctrica para la reacción del fluido.

La simulación corresponde a la evaluación del líquido de freno a través de todo el trayecto del cilindro maestro, ya que el montacargas trabaja con este líquido de manera normal.

Se sugiere que si los resultados, al comparar las simulaciones de los distintos fluidos, difieren ampliamente en los valores, se asumirá que no es factible la aplicación.

Las propiedades consideradas serán: Densidad, viscosidad dinámica, velocidad de movimiento, balance de masa, presión de entrada, número de Reynolds, dirección del flujo.

4 | ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se procedió al diseño del modelo de cilindro maestro propuesto, en base al modelo de montacargas escogido.



Figura 6. Vista isométrica cilindro maestro. Fuente: (Mora, 2019)

Adicionalmente se tomaron en cuenta ciertos parámetros:

- Pieza de un solo material (Hierro).
- Creación de un volumen.
- Para líquido de freno DOT 3, se aplicaron las siguientes consideraciones:

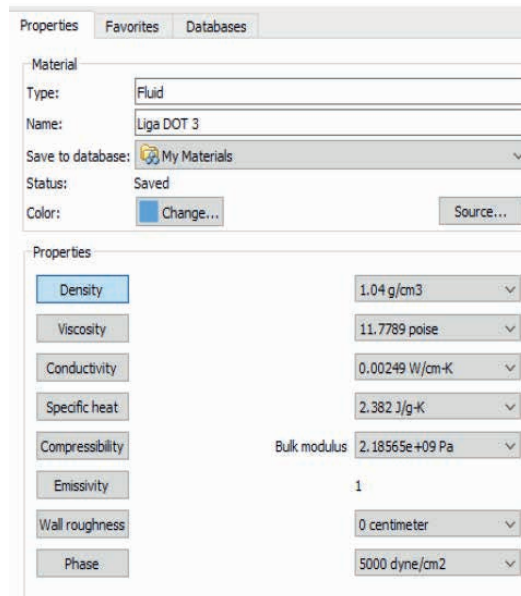


Figura 7. Parámetros DOT 3. Fuente: (Mora, 2019)

- Para fluido magnetoreológico se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

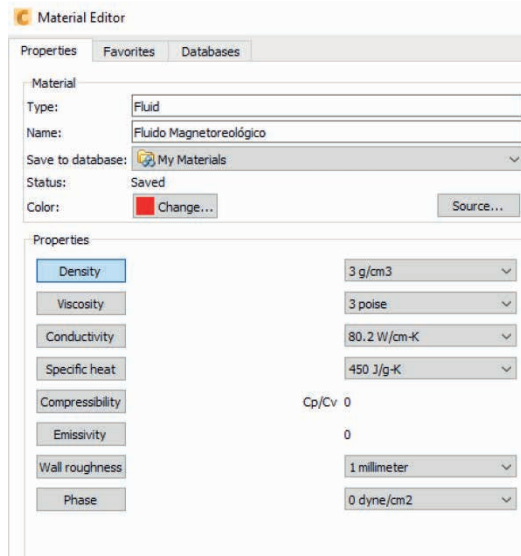


Figura 8. Parámetros DOT 3. Fuente: (Mora, 2019)

Se definió una velocidad en el extremo donde se inicia el movimiento de 1,5 m/s. Adicionalmente una presión de 2 bar, en la cual se encuentra el cilindro maestro, con la finalidad de prevenir la fuga de líquido y eliminar vapor encerrado.

Una vez establecidas las condiciones de frontera, se realizó el mallado para hacer la simulación, y en los parámetros de solución se realizaron iteraciones desde 0 y hasta 150.

Simulación: Liga de freno

NAME	ASSIGNED TO	PROPERTIES
Liga DOT 3	Component13:1@Simulation Model 1	Density 1.04 g/cm3 Viscosity 11.7789 poise Conductivity 0.00249 W/cm-K Specific heat 2.382 J/g-K Compressibility 2185650000.0 Pa Emissivity 1.0 Wall roughness 0.0 centimeter Phase Vapor Pressure
Iron	Cuerpo del cilindro:1@Simulation Model 1 Cuerpo del cilindro:1@Simulation Model 1	X-Direction 59.0 W/m-K Y-Direction Same as X-dir. Z-Direction Same as X-dir. Density 7849.0 kg/m3 Specific heat 460.0 J/kg-K Emissivity 0.44 Transmissivity 0.0 Electrical resistivity 8.9e-08 ohm-m Wall roughness 0.0 meter

Figura 9. Parámetros DOT 3. Fuente:(Mora, 2019)

Resultados de la simulación, se muestran los valores de entrada y salida, el estudio fue realizado con

Inlet 1	inlet bulk pressure 2178150.0 dyne/cm ² inlet bulk temperature 0.0 C inlet mach number 3.41495e-08 mass flow in 1040.35 g/s minimum x,y,z of 0.0 node near minimum x,y,z 779.0 reynolds number 34.0316 surface id 17.0 total mass flow in 1040.35 g/s total vol. flow in 1000.33 cm ³ /s volume flow in 1000.33 cm ³ /s
Outlet 1	mass flow out -1046.66 g/s minimum x,y,z of 0.0 node near minimum x,y,z 548.0 outlet bulk pressure 2000000.0 dyne/cm ² outlet bulk temperature -0.0 C outlet mach number 1.78985e-08 reynolds number 34.1173 surface id 19.0 total mass flow out -1046.66 g/s total vol. flow out -1006.4 cm ³ /s volume flow out -1006.4 cm ³ /s

Figura 10. Resultados valores de entrada y salida para DOT 3. Fuente: (Mora, 2019)

Simulación:FMR

NAME	ASSIGNED TO	PROPERTIES
Iron	Cuerpo del cilindro:1@Simulation Model 1 Cuerpo del cilindro:1@Simulation Model 1	X-Direction 59.0 W/m-K Y-Direction Same as X-dir. Z-Direction Same as X-dir. Density 7849.0 kg/m ³ Specific heat 460.0 J/kg-K Emissivity 0.44 Transmissivity 0.0 Electrical resistivity 8.9e-08 ohm-m Wall roughness 0.0 meter
Fluido Magnetoreológico	Component13:1@Simulation Model 1	Density 3.0 g/cm ³ Viscosity 3.0 poise Conductivity 80.2 W/cm-K Specific heat 450.0 J/g-K Compressibility 0.0 Emissivity 0.0 None Wall roughness 1.0 millimeter Phase Vapor Pressure

Figura 11. Parámetros FMR. Fuente:(Mora, 2019)

Inlet 1	inlet bulk pressure 2090260.0 dyne/cm ² inlet bulk temperature 0.0 C inlet mach number 0.0 mass flow in 3001.0 g/s minimum x,y,z of opening 0.0 node near minimum x,y,z of 779.0 reynolds number 385.438 surface id 17.0 total mass flow in 3001.0 g/s total vol. flow in 1000.33 cm ³ /s volume flow in 1000.33 cm ³ /s
Outlet 1	mass flow out -3008.56 g/s minimum x,y,z of opening 0.0 node near minimum x,y,z of 548.0 outlet bulk pressure 2000000.0 dyne/cm ² outlet bulk temperature -0.0 C outlet mach number 0.0 reynolds number 385.044 surface id 19.0 total mass flow out -3008.56 g/s total vol. flow out -1002.85 cm ³ /s volume flow out -1002.85 cm ³ /s

Figura 12. Resultados valores de entrada y salida para FMR. Fuente: (Mora, 2019)

Para el análisis del fluido en este programa se asumió una velocidad de movimiento del fluido de 1,5 m/s de la cámara, debido a que este programa evalúa fluidos en movimiento y las viscosidades de ambos fluidos son dinámicas.

Con el procedimiento de iteración se evidenció la primera diferencia entre ambos fluidos, para lo cual se necesitaron 150 iteraciones, solo 133 para encontrar una convergencia de los resultados para la liga de freno DOT 3, por otro lado, se encontró que 150 iteraciones no fueron suficientes para la evaluación del FMR, el cual alcanza su convergencia a las 212 iteraciones.

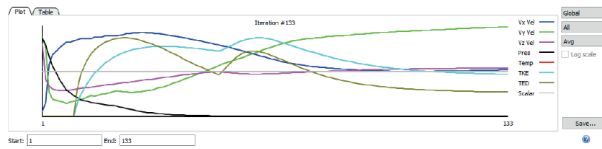


Figura 13. Convergencia DOT 3. Fuente: (Mora, 2019)

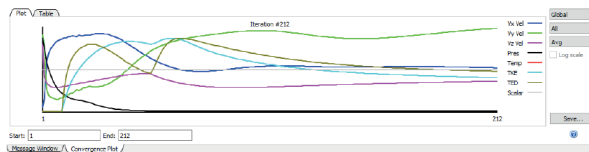


Figura 14. Convergencia FMR. Fuente: (Mora, 2019)

El flujo de masa entrante para líquido de freno DOT 3 se reporta como 1040,35 g/s y 3001,0 g/s para FMR, es decir, tiene un flujo de masa y volumétrico que son aproximadamente tres veces los valores correspondientes del líquido de freno DOT 3, es una diferencia muy grande.

En cuanto a la presión de entrada de ambos fluidos se tiene una de 2.178.150.0 dyne/cm² para líquido de freno DOT 3 y 2.090.260.0 dyne/cm² para FMR, lo que significa una diferencia de 87.890 dyne cm², lo cual sugiere que son valores relativamente cercanos y en cuanto a este parámetro de comparación no existe mucha diferencia.

Se tienen números de Reynolds de 34,0316 y 385,438 para líquido de freno y FMR respectivamente, sugiriendo una diferencia bastante notoria.

Comparando la velocidad máxima presente en el conducto se encuentra la siguiente escala:

- Líquido de freno DOT 3: De 0 (indicado en las paredes del cilindro) a 273.921 cm/s justo en el centro de este.
- FMR: De 0 (indicado en las paredes del cilindro) a 234.823 cm/s justo en el centro de este.

Existe una diferencia de 39,09 cm/s, lo cual apunta que para que el fluido magnetoreológico en cuanto a velocidad, no se puede comportar como el caso real, es

decir, como el líquido de freno DOT 3. En cuanto a la dirección de ambos fluidos, se comportan igual.

5 | CONCLUSIONES

Se logró demostrar que el resultado de esta investigación no es factible, es decir, se esperaba que al evaluar un líquido experimental como lo son los FMR en un sistema de frenado que está diseñado para funcionar con líquido de freno, los resultados serían negativos, quitando la posibilidad de funcionar correctamente en su estado natural sin ningún tipo de campo magnético inducido, los valores para los parámetros en esta sección son bastante diferentes exceptuando el valor de presión de entrada al inicio del experimento.

El sistema propuesto no es apto para su uso con otro fluido que no sea para el cual esté diseñado, en otras palabras, no se pueden utilizar FMR sin comprometer el sistema de manera negativa.

A diferencia del líquido de freno DOT, el FMR cuenta con partículas ferro magnéticas suspendidas en todo el volumen de acción, el cual es causante de los daños y alteración anteriormente mencionada.

Se diseñó digitalmente con éxito utilizando y tomando como base de estudio el plano de un cilindro maestro sencillo propuesto que usa líquido de freno como fluido base, modelado a través del software Autodesk Fusion 360®, se modeló el sistema con la finalidad de hacer la evaluación de los fluidos.

REFERENCIAS

Ashour, O., & Kordonsky W and Rogers, G. (1998). **Magnetorheological Fluids Materials. Characterization and Devices.** *Journal of Intelligent Materials Systems and Structures*, 7, 123-130.

Ashtiani, M., & Hashemabadi, S. &. (2015). **A Review on the Magnetorheological Fluid Preparation and Stabilization.** *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 716-730. <http://doi.org/101016/jmmm2014.09.020>

Bin, S. (2008). **The Behavior of Magnetorheological Fluids in Squeeze Mode.** Dublin City University, Dublin.

Como funciona un auto. (s.f.). **Como funciona un auto.** Obtenido de <https://www.comofuncionaunauto.com/illustrations/master-andslave-cylinders>

D. Velte, I., Jiménez, N., Murillo, O., & Adarraga. (2011). **Nuevos Materiales Inteligentes.** Fundación Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial y Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. España.

Dios, J. (18 de 11 de 2013). **Interempresas Metalmecánica.** Obtenido de <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/115833-Propiedades y aplicaciones de los fluidos magnetoreológicos.html>

Donado, F., & Mendoza, C. &. (2006). **Estudio Experimental de la viscosidad de un fluido magnetoreológico a base de magnetita mineral.** *Revista Mexicana de Física*, 53, 31-40.

Gaisker Centro Tecnológico. (2019). *Gaiker Centro Tecnológico*. <http://www.gaiker.es/cas/index.aspx>

Goncalves, F. (2005). **Characterizing the Behavior of Magnetorheological Fluids at High Velocities and High Shear Rates.** Doctor of Philosophy Thesis, Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.

Mora, L. (2019). **Evaluación de un Sistema de Frenos utilizando Fluidos Magnetoreológicos (para ser implementados en maquinaria pesada).** Tesis de grado, Universidad Metropolitana, Escuela de Ingeniería Mecánica, Caracas.

Pérez, J. &. (2011). **Definicion.de.** <https://definicion.de/frenos/>

Segovia Gutiérrez, J. P. (2013). **Fluidos Magneto-Reológicos Viscoelásticos.** Tesis , Universidad de Granada, Granada (España).

Spaggiari, A. (2013). **Properties and applications of Magnetorheological fluids.** *Frattura Ed Integrittà Strutturale*.