



2nd International Symposium on Master Engineering

Booklets



RENIECYT - LATINDEX - EBSCO - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - Google Scholar DOI - REDIB - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

Title: Numerical analysis of hydrodynamic behavior of a magnetorheological fluid

Author: ORTEGA-ROMERO, Daysi Flor de Liz

Editorial label ECORFAN: 607-8695
 BIMES Control Number: 2022-06
 BIMES Classification (2022): 231122-0006

Pages: 22
 RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.
 143 – 50 Itzopan Street
 La Florida, Ecatepec Municipality
 Mexico State, 55120 Zipcode
 Phone: +52 1 55 6159 2296
 Skype: ecorfan-mexico.s.c.
 E-mail: contacto@ecorfan.org
 Facebook: ECORFAN-México S. C.
 Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings		
Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

Resumen

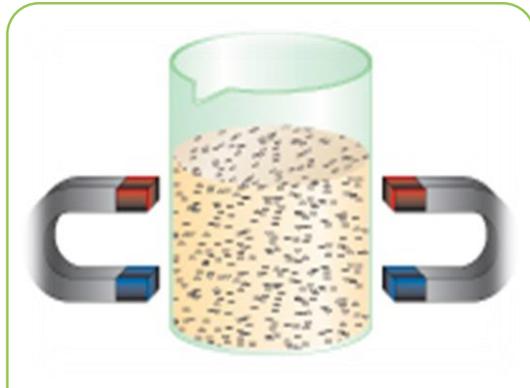


- ❑ Análisis numérico del comportamiento de fluidos magnetoreológicos bajo la influencia de diferentes magnitudes de campo magnético.
 - ✓ Propiedades de estos fluidos se ven afectadas y modificadas mediante la aplicación de dichos campos magnéticos.

- ❑ Se toma:
 - ✓ Geometría de forma capilar (diámetro de 20 y 30 mm, longitud 300 mm).
 - ✓ FMR: Basonetic 5030.
 - ✓ Campo perpendicular a la dirección del fluido (de 0.01 a 0.5 Teslas).
 - ✓ Velocidad de entrada del fluido \rightarrow 1.31m/s.
 - ✓ Modelo de viscosidad de Herschel-Bulkley.

- ❑ Se reporta:
 - ✓ Perfil de velocidades.
 - ✓ Variaciones de presión en función del aumento de la intensidad del campo magnético.

Contenido



Introducción

1



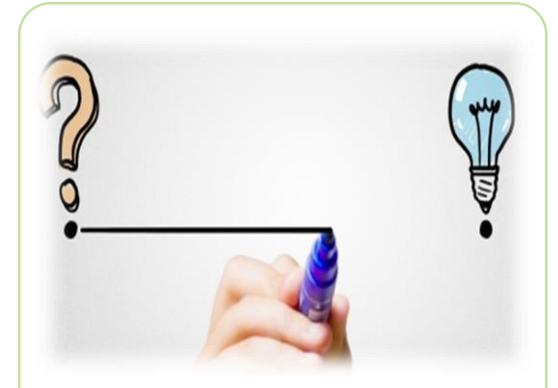
Materiales y
método

2



Resultados

3



Conclusión

4

1. Introducción

- **FMR:** fluido inteligente que al someterlo a un campo magnético, el fluido aumenta su viscosidad, hasta convertirse en un sólido viscoelástico. Esta compuesto por un fluido base y por partículas metálicas.

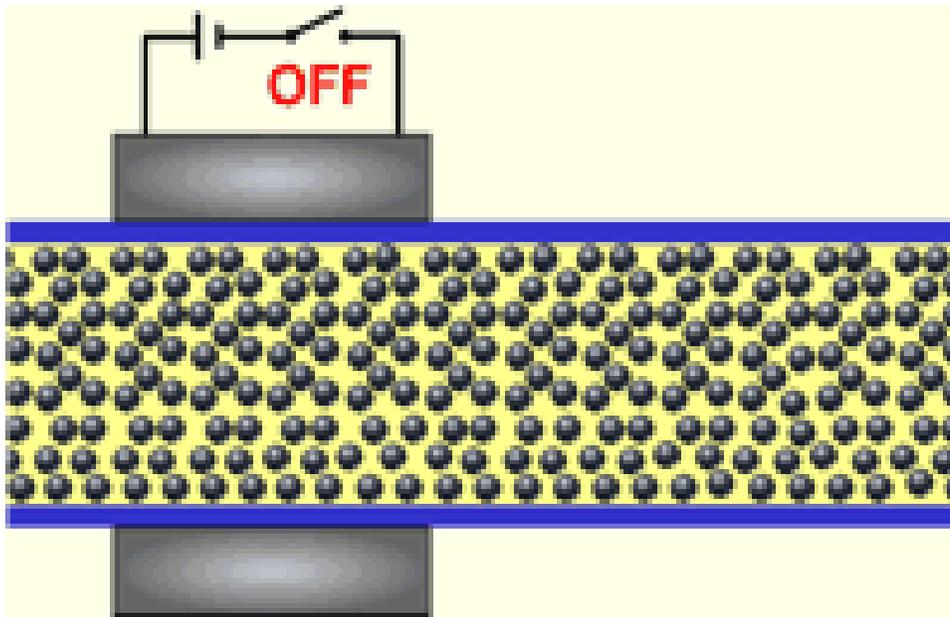


Figura 1. Fluido magnetoreológico

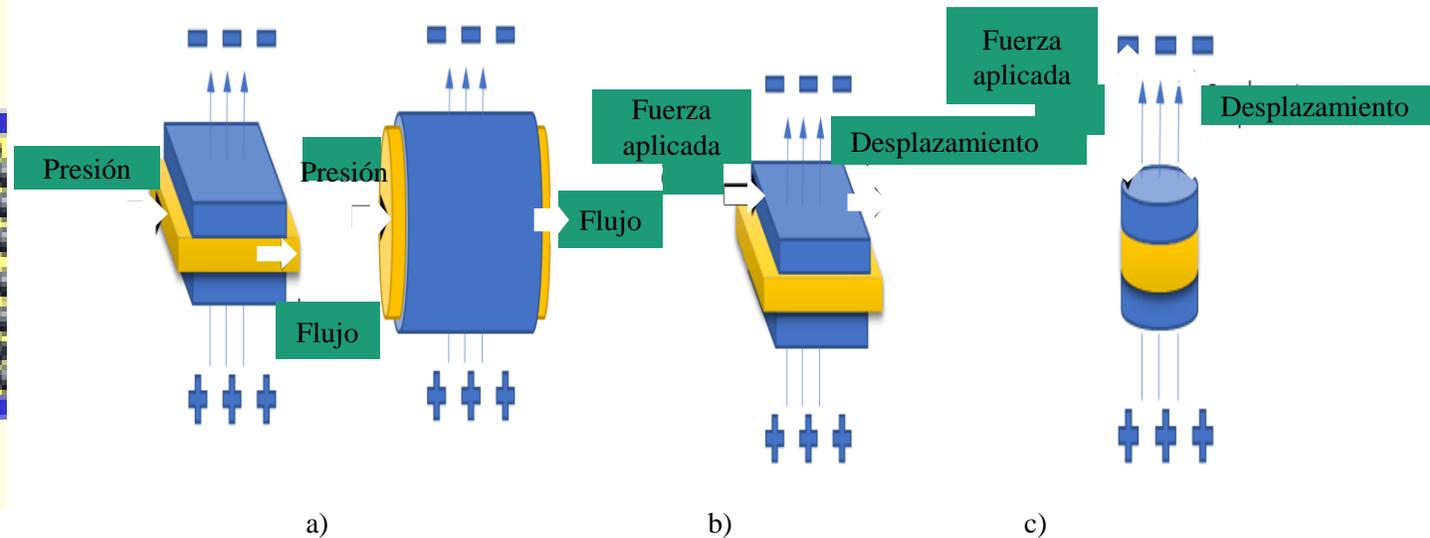
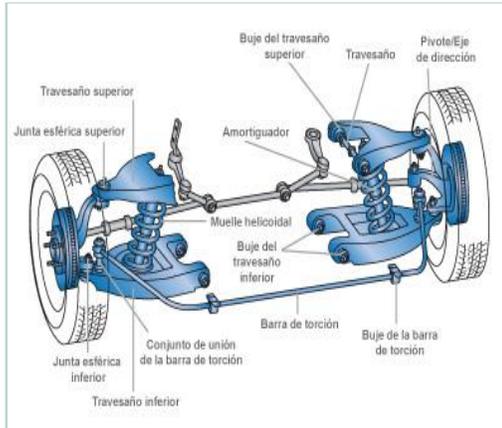


Figura 2. Modos de estudio de los fluidos MR. a) Modo válvula, b) Modo cizalladura y c) Modo aplastamiento

1. Introducción

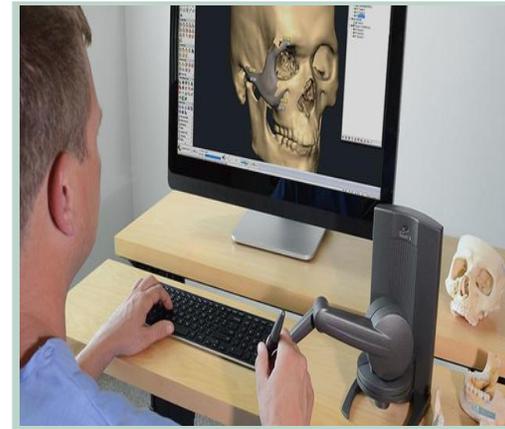
Sistema de suspensión



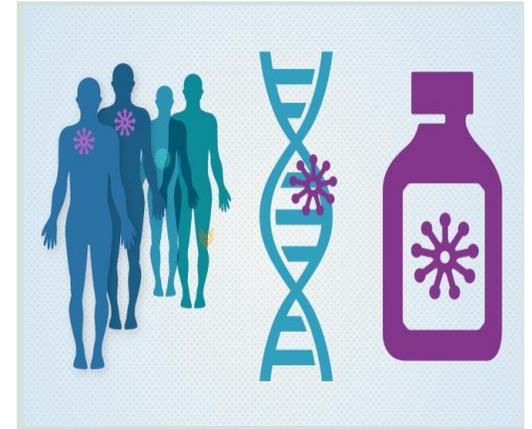
Sistema de clutches



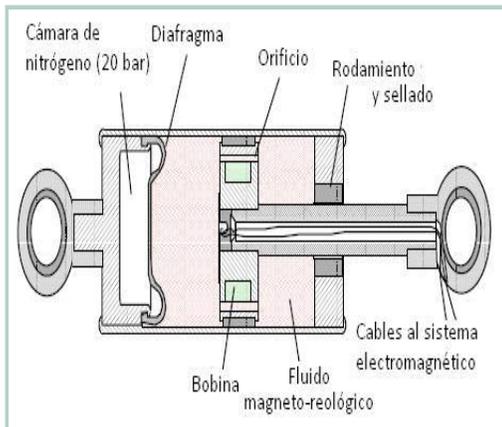
Dispositivos hápticos



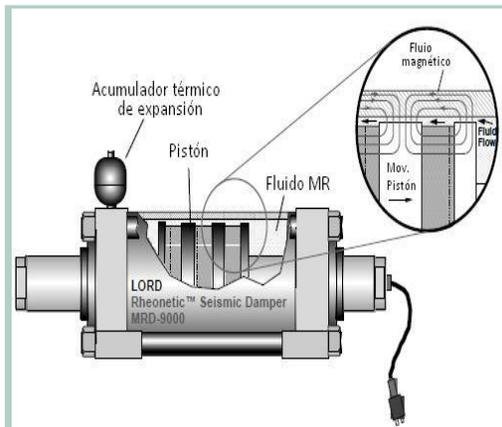
Terapia contra el cáncer



Amortiguadores



Edificios y puentes



Prótesis y Rehabilitación

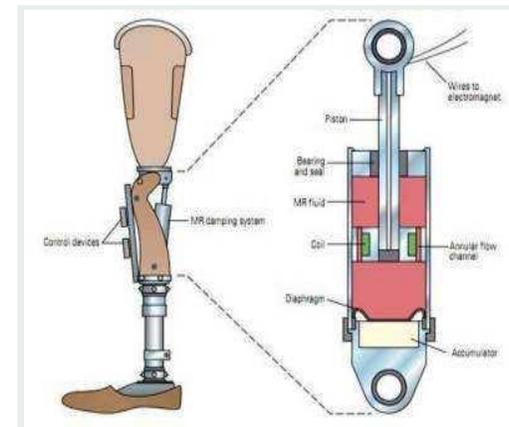


Figura 3. Aplicaciones no médicas

Figura 4. Aplicaciones médicas

1. Introducción

Li S, Meng W, Wang Y.
(Wang, Li & Meng. 2017)

Acoplamiento fluido-sólido en un disco de frenado.

Modelo Herscher-Bulkley.

Correlación entre ecuaciones del campo y térmicas.

Software Multiphysics.

Errores máximos del 5%
(experimental vs numérica).

Ali El Wahed, Hao Chen Wang
(Wahed & Wang 2019)

Amortiguador para hombro humano.

Método de elementos finitos (FEM) con modelo de Herscher-Bulkley.

ANSYS/Fluent.

Errores entre 5-7% (experimental vs numérica).

Wael Elsaady, S. Olutunde Oyadiji, Adel Nasser
(Elsaady, Oyadiji & Naseer. 2020)

Pistón amortiguador MR.

Archivo UDF en lenguaje C++ y compilamiento en ANSYS/Fluent.

Diferentes aplicaciones que adopten el comportamiento del fluido viscoplástico.

1. Introducción

¿Qué se puede hacer con el modelo?

Permite personalizar ANSYS FLUENT para que se ajuste a necesidades particulares de modelado. Algunas aplicaciones que se pueden programar son:

- Personalizar las condiciones de contorno, los términos fuente, las velocidades de reacción, las propiedades de los materiales, etc.
- Personalizar ecuaciones físicas
- Ajustar funciones
- Ejecutar funciones bajo demanda
- Inicialización de la solución

NO se cuenta con una herramienta computacional que analice en su totalidad un FMR.



2. Materiales y Método

Geometría y condiciones de frontera del volumen del fluido

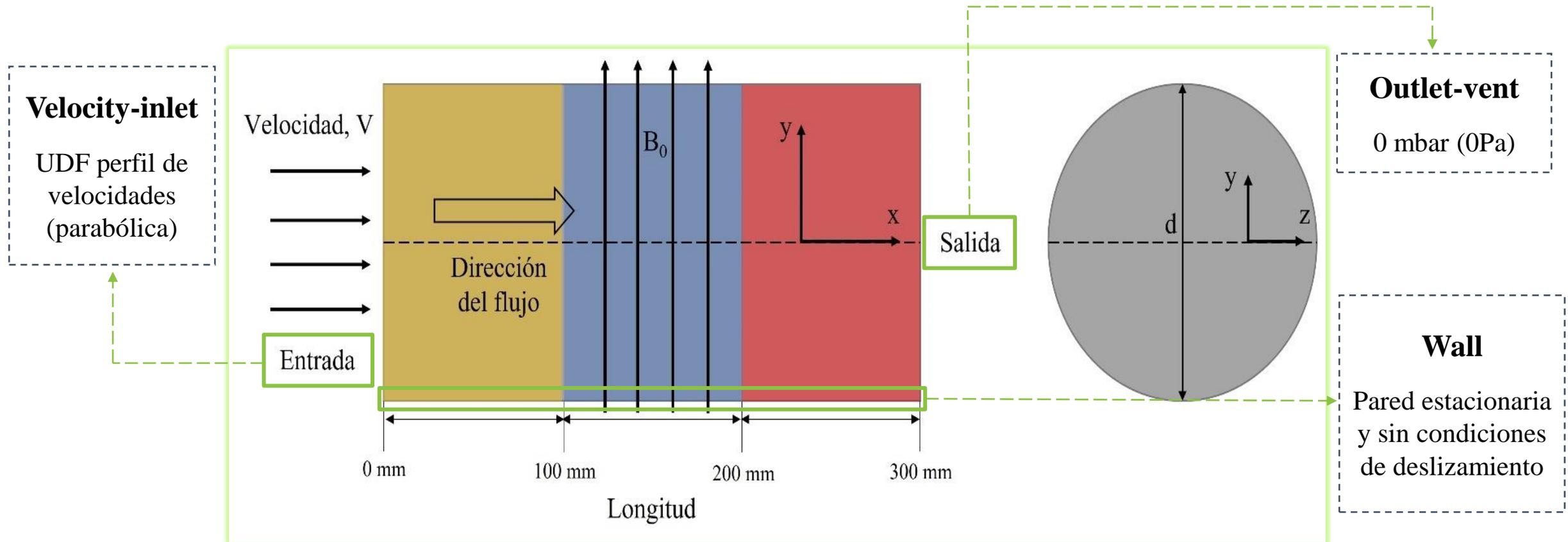


Figura 6. Geometría y condiciones de frontera del volumen del fluido.

2. Materiales y Método

Análisis de sensibilidad de malla

Tabla 1. Información de la convergencia de la malla.

Díametro (mm)	Largo (mm)	Número de malla	Número de nodos	Número de Reynolds	Tipo de flujo	Velocidad promedio (m/s)
10	300	1a	24000	0.03	Laminar	1.6076
		2a	25780	0.04	Laminar	2.0096
		3a	106600	0.13	Laminar	6.6433
		4a	553200	0.12	Laminar	5.8262
		5a	127200	0.04	Laminar	2.2310
		6a	1279200	0.73	Laminar	36.9749
		7a	223500	0.05	Laminar	2.6158
		8a	302700	0.06	Laminar	3.0246
		9a	444000	0.08	Laminar	4.1484
		10a	739500	0.36	Laminar	18.0396
15	300	11a	952800	0.72	Laminar	36.5436
		12a	1193100	0.73	Laminar	37.0033
		1b	127200	0.16	Laminar	5.4747
		2b	223500	0.19	Laminar	6.5178
		3b	302700	0.23	Laminar	7.6101
		4b	444000	0.33	Laminar	10.9529
		5b	553200	0.48	Laminar	16.2519
		6b	739500	1.02	Laminar	34.3044
		7b	952800	1.11	Laminar	37.3872
		8b	1110000	1.11	Laminar	37.3086
9b	1279200	1.10	Laminar	37.1826		

$$Re = \frac{\text{Fuerzas inerciales}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{\rho D v}{\mu}$$

Donde:

ρ = densidad del fluido (kg/m³)

D = diámetro interno (m)

v = velocidad del fluido (m/s)

μ = viscosidad dinámica (kg/ms)

$$R_m = \mu_0 \sigma \rho Re$$

Donde:

R_m = Número de Reynolds Magnético

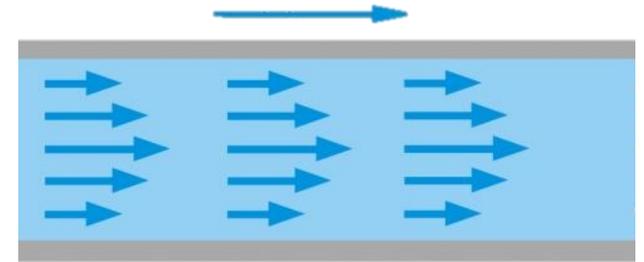
μ_0 = Permeabilidad magnética (T m/A)

σ = Conductividad eléctrica ($\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$)

ρ = Viscosidad (Pa · s)

Re = Número de Reynolds

$$R_m = 0.7415$$

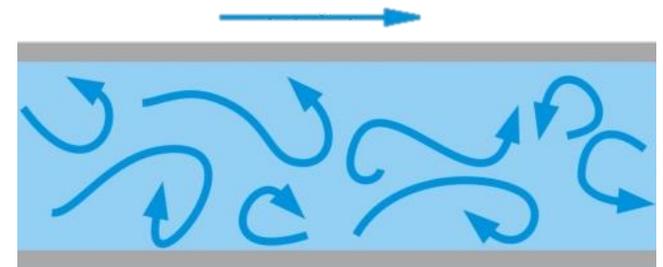


Flujo Laminar

$Re < 2000$

Flujo de Transición

$2000 \leq Re \leq 3000$



Flujo Turbulento

$Re > 3000$

2. Materiales y Método

Propiedades del fluido magnetoreológico

Basonetic 5030	
Densidad (g/cm ³)	1.8
Viscosidad (Pas, medido en 40 °C, $\gamma=99.55$ 1/s)	0.909
Concentración (%)	20
Fluido base	Poliolefina tipo alfa
Partícula magnetizable	Polvo de hierro carbonilo
Rango de temperatura (°C)	-40 °C a +120 °C

Tabla 2. Propiedades físicas de los fluidos BASONETIC 5030 (Gedik E., 2017)

Incremento del campo magnético

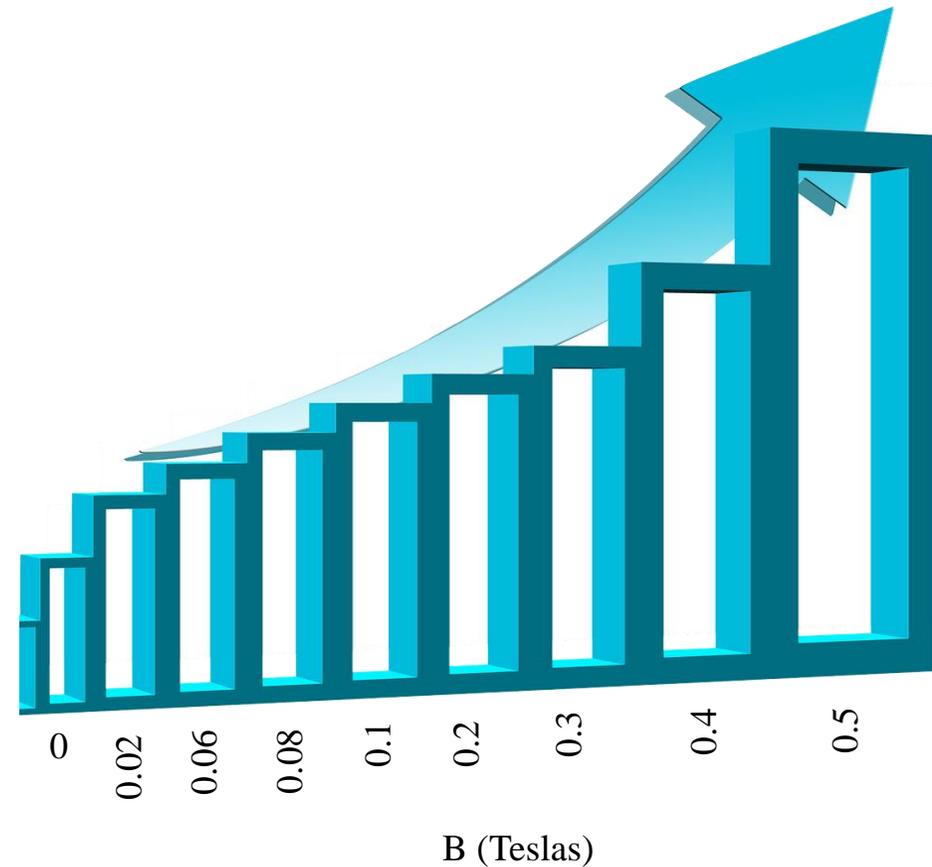


Figura 7. Incremento del campo magnético

2. Materiales y Método

Ecuaciones gobernantes

Las ecuaciones de masa y momento del movimiento constante de un fluido MR incompresible bajo un campo magnético en una tubería cilíndrica son:

$\nabla \cdot V = 0$ → Ecuación de continuidad

$\rho \frac{DV}{Dt} = -\nabla P + \mu \Delta V$ → Ecuación de Navier Stokes

Fuerza electromagnética
Intensidad de la corriente eléctrica

$\rho \frac{DV}{Dt} = -\nabla P + \mu \Delta V + F_{EM}$
→
 $F_{EM} = \eta(J \times H) = J \times B$
→
 $J = \sigma(E + V \times B)$

Donde:

- ∇P → Gradiente de presión ($\partial P / \partial x$) (Pa/m)
- ρ → Densidad del fluido (kg/m^3)
- μ → Viscosidad dinámica del fluido (kg/ms)

Donde:

- σ → Conductividad eléctrica del fluido
- E → Magnitud del campo eléctrico
- V → Vector de velocidad de flujo promedio
- B → Inducción del campo magnético

2. Materiales y Método

Consideraciones

Se selecciona el modelo viscoso de Herschel-Bulkley para el fluido MR (Mitsoulis).

$$\tau = \tau_0 + K(\dot{\gamma})^n$$

Esfuerzo cortante inicial: este esfuerzo se calcula en relación con el campo magnético (Lord Corporation).

$$\tau_0(B) = C \cdot 2.717 \times 10^5 \cdot \Psi^{1.5239} \tanh(6.33 \times 10^{-6} B)$$

Resultados:

BASENOTIC 5030									
B	0	0.02	0.06	0.08	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
τ_0	0	2.9605	8.8815	11.8419	14.8024	29.6049	44.4073	59.2097	74.0121

Donde:

- K → Índice de consistencia (kg/ms)
- n → Índice de flujo (exponente de curvatura)
- τ_0 → Esfuerzo cortante inicial (Pa)
- $\dot{\gamma}$ → Tasa crítica de cizallamiento (1/s)

Donde:

- τ_0 → Esfuerzo cortante inicial (Pa)
- C → Constante
- Ψ → Fracción volumétrica de las partículas (%)
- B → Inducción del campo magnético (T)

2. Materiales y Método

UDF para perfil de velocidades

```
#include "udf.h"

DEFINE_PROFILE(inlet_3D_profile,thread,nv)
{
    real x[3]; //Matriz global 3D con 3 dimensiones (x,y,z) x-->x[0], y-->x[1], z-->x[2]
    real R = 0.01; //Radio (m)
    real Um = 1.31; //Velocidad máxima
    face_t f; //Cara en 3D o borde en 2D (inlet b.c's)
    begin_f_loop(f,thread)
    {
        F_CENTROID(x,f,thread);
        F_PROFILE(f,thread,nv)=Um*(1-(x[1]*x[1]+x[2]*x[2])/(R*R));
    }
    end_f_loop(f,thread)
}
```

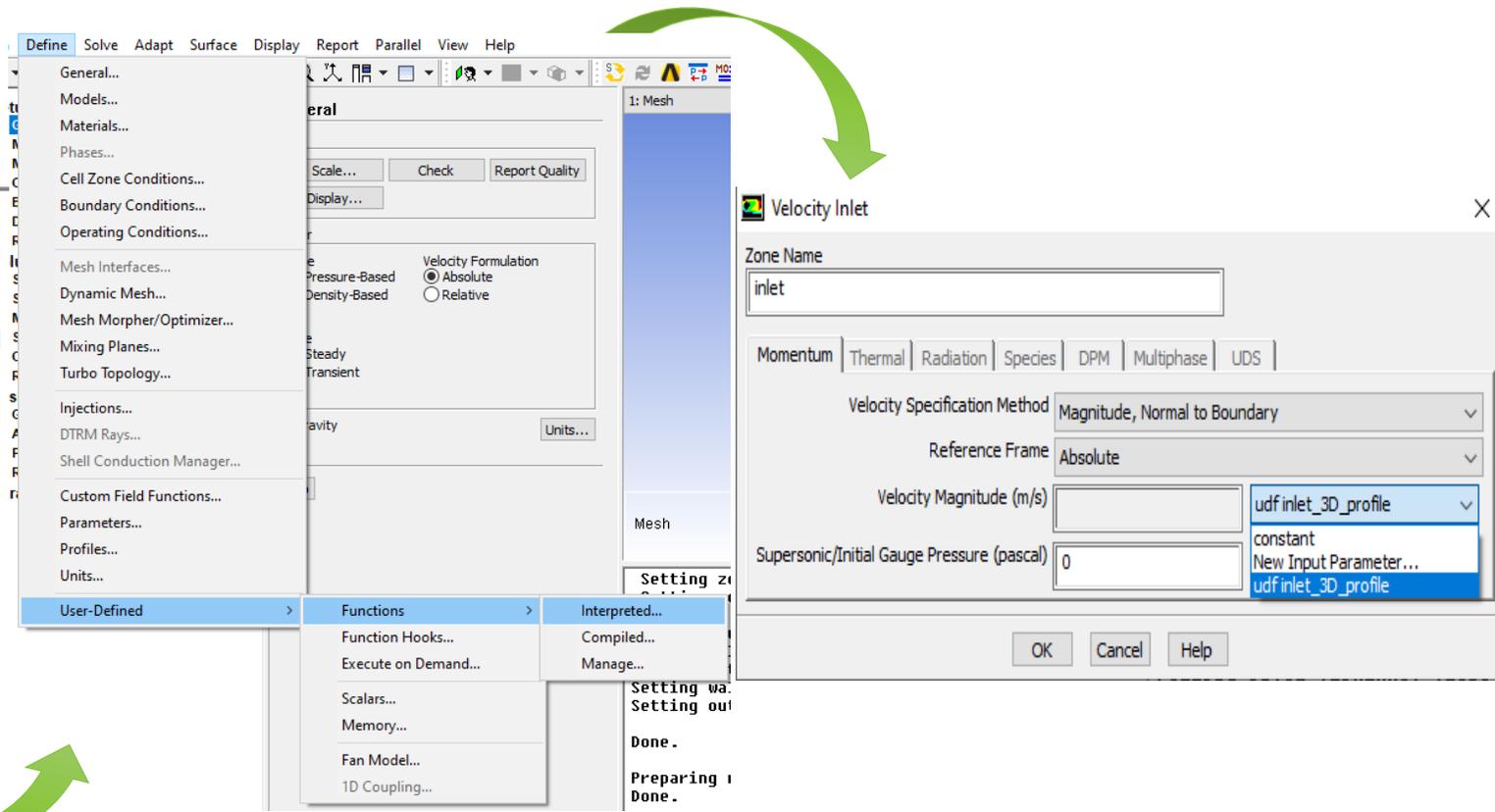
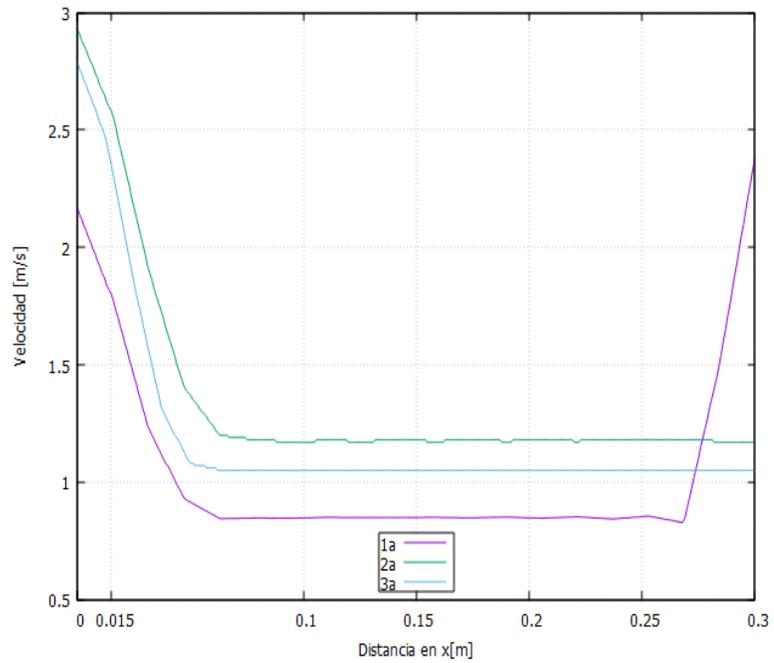


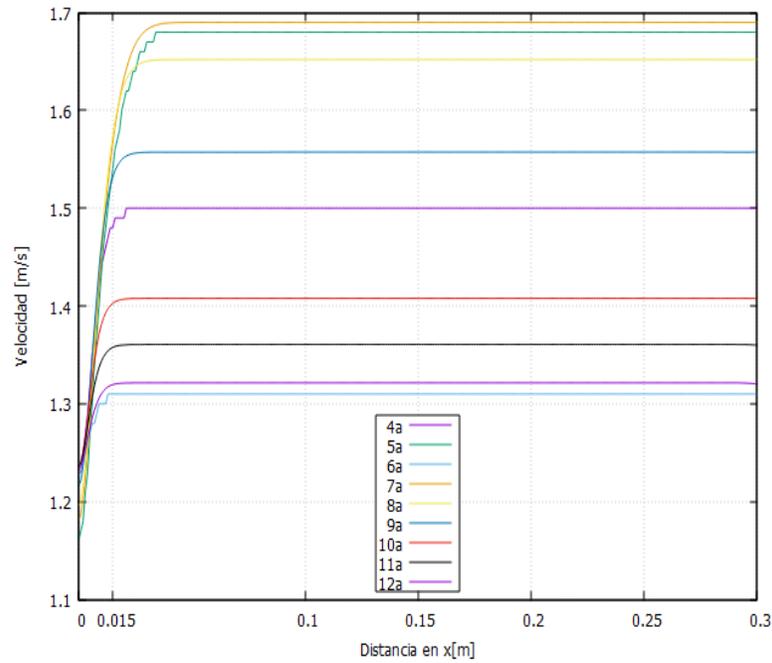
Figura 8. Interpretación o compilación de UDF perfil de velocidades .

3. Resultados

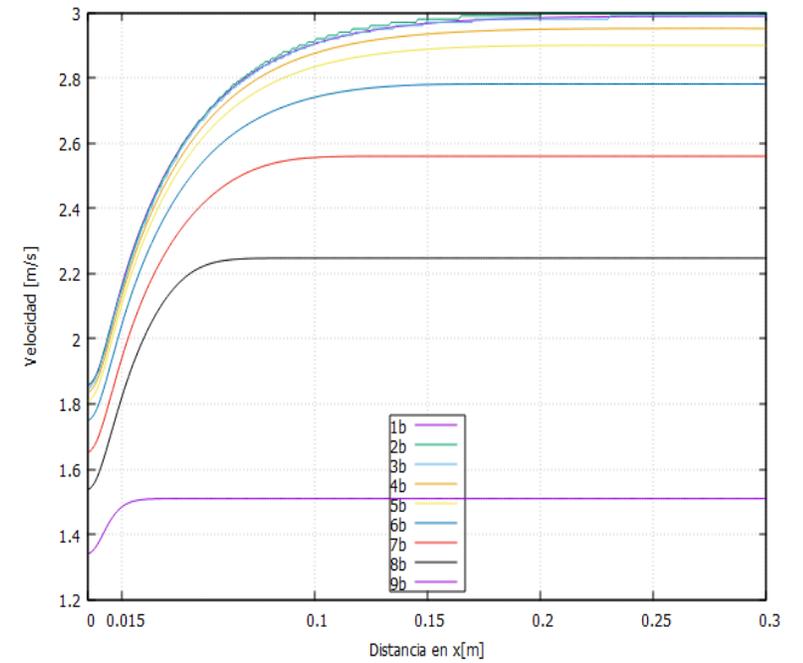
Velocidades a lo largo de la tubería



a)



b)



c)

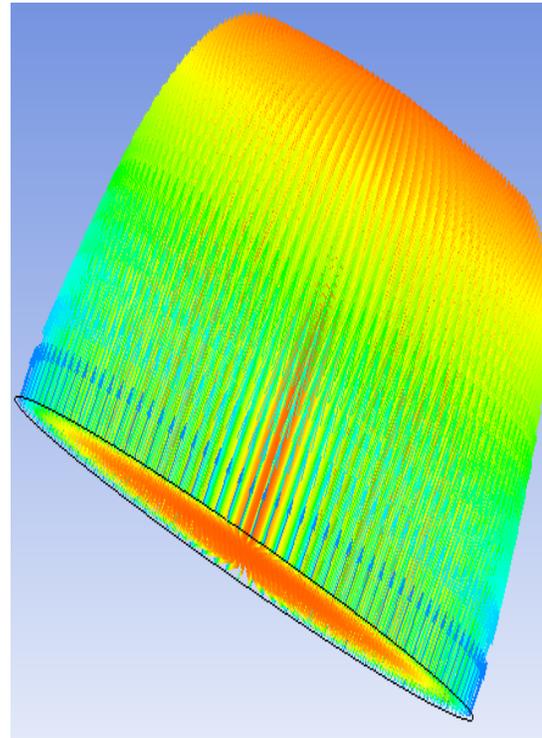
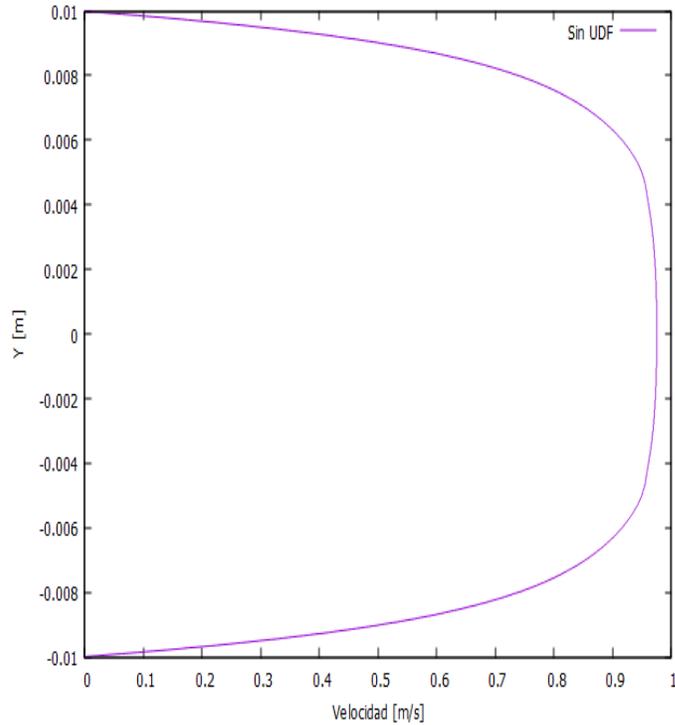
Figura 9. Estudio de convergencia de mallas, a) d=20mm no convergente, b) d=20mm convergente y c) d=30mm convergente.

3. Resultados

UDF para perfil de velocidades

$$u = U_m \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) = U_m \left(1 - \frac{y^2 + z^2}{R^2} \right)$$

SIN UDF



CON UDF

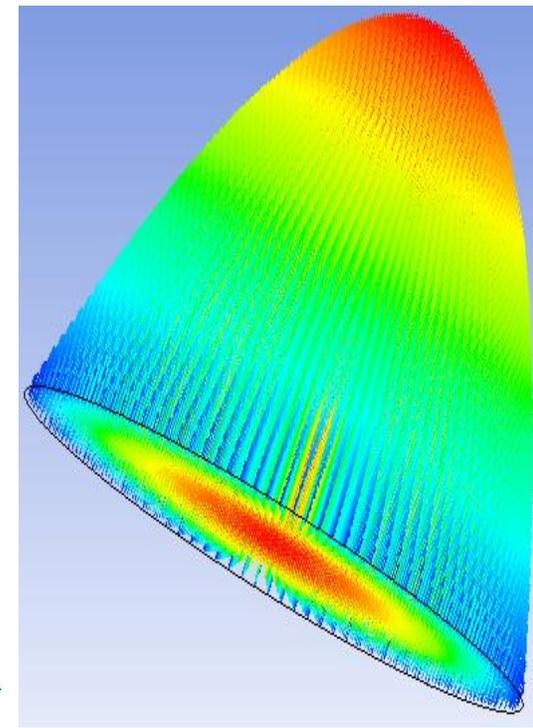
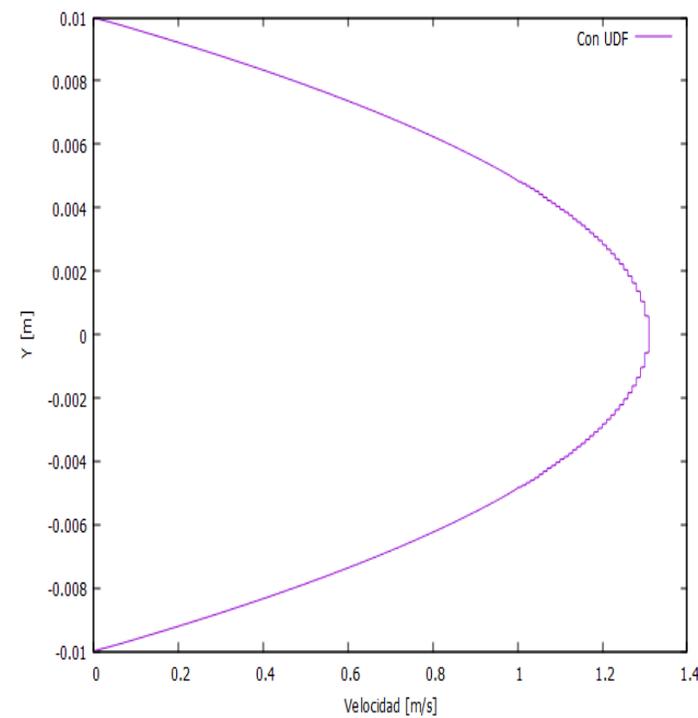
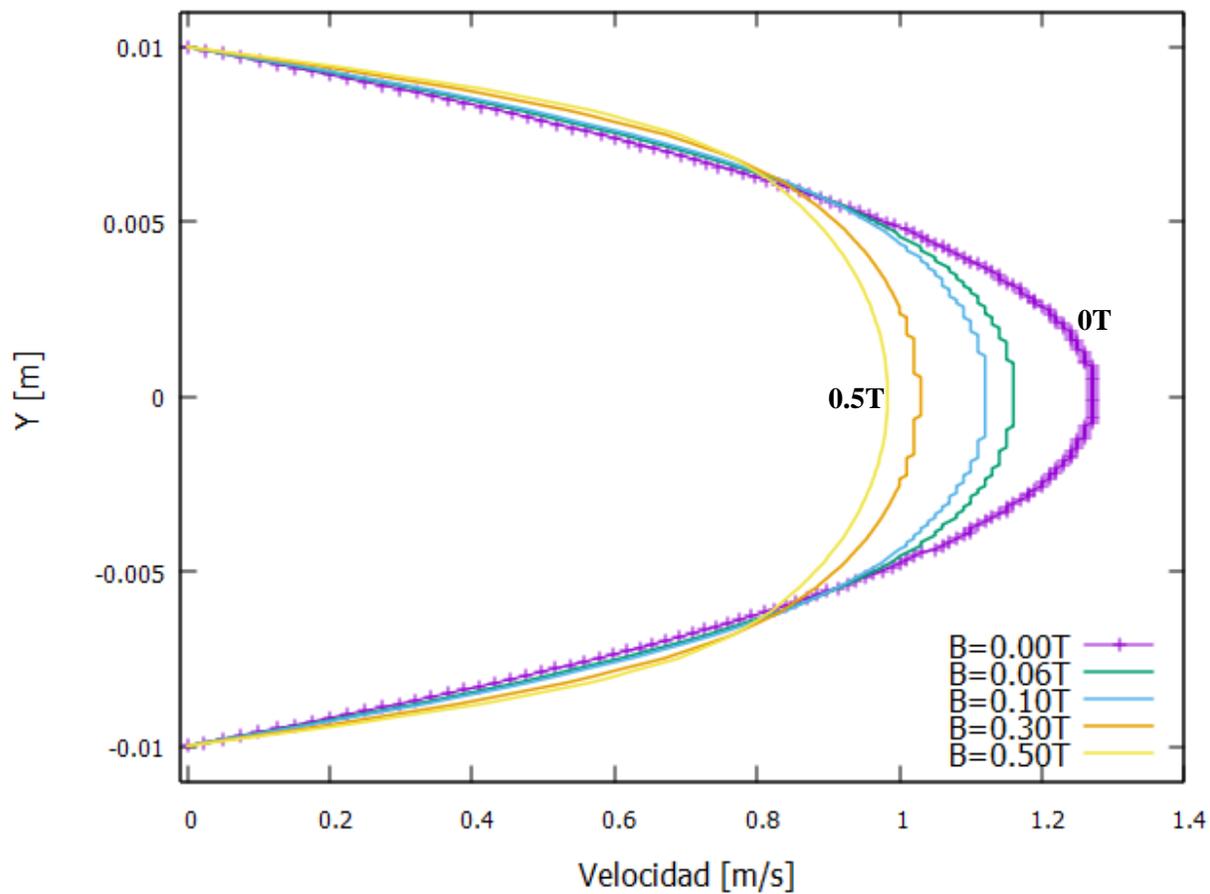
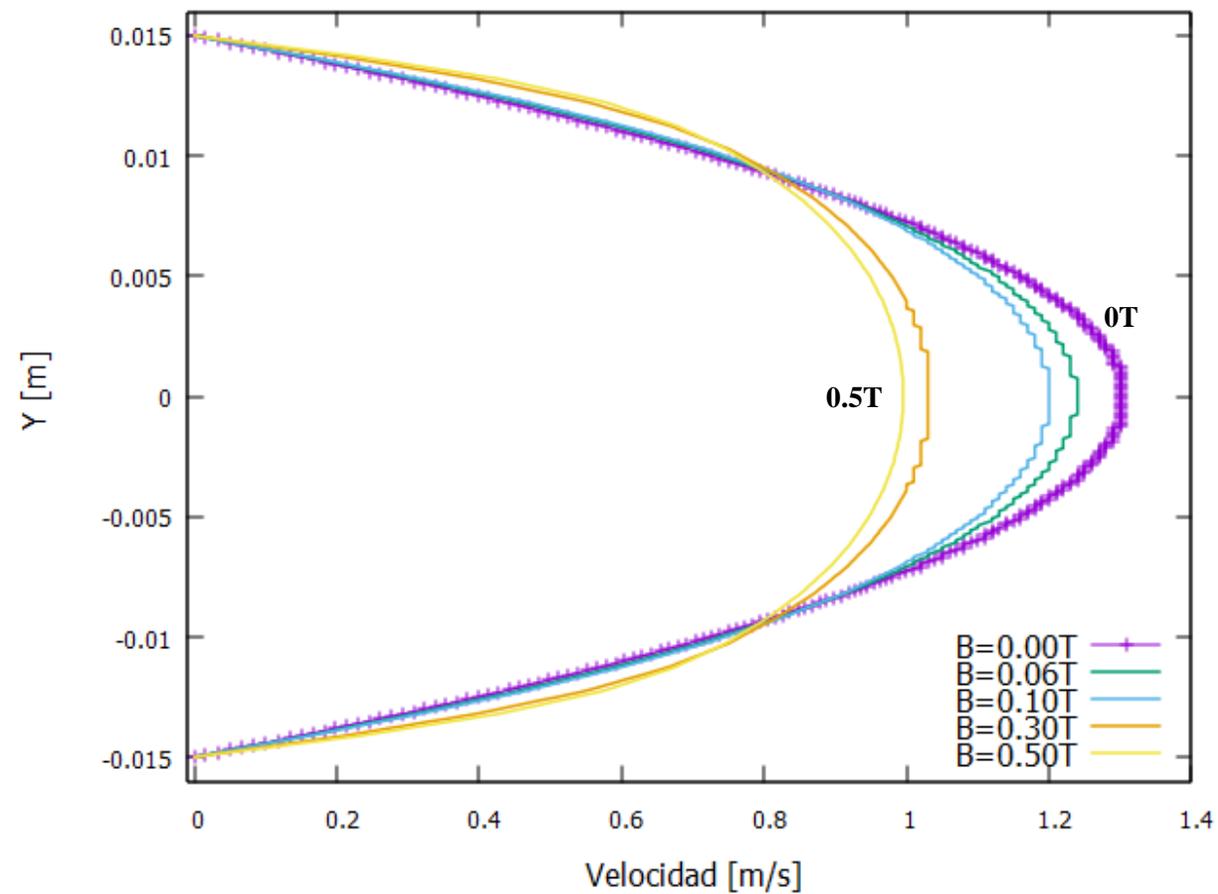


Figura 10. Perfil de velocidades.

3. Resultados



a)



b)

Figura 11. Perfil de velocidad aplicando modelo viscoso. a) $d=20\text{mm}$ y b) $d=30\text{mm}$.

3. Resultados

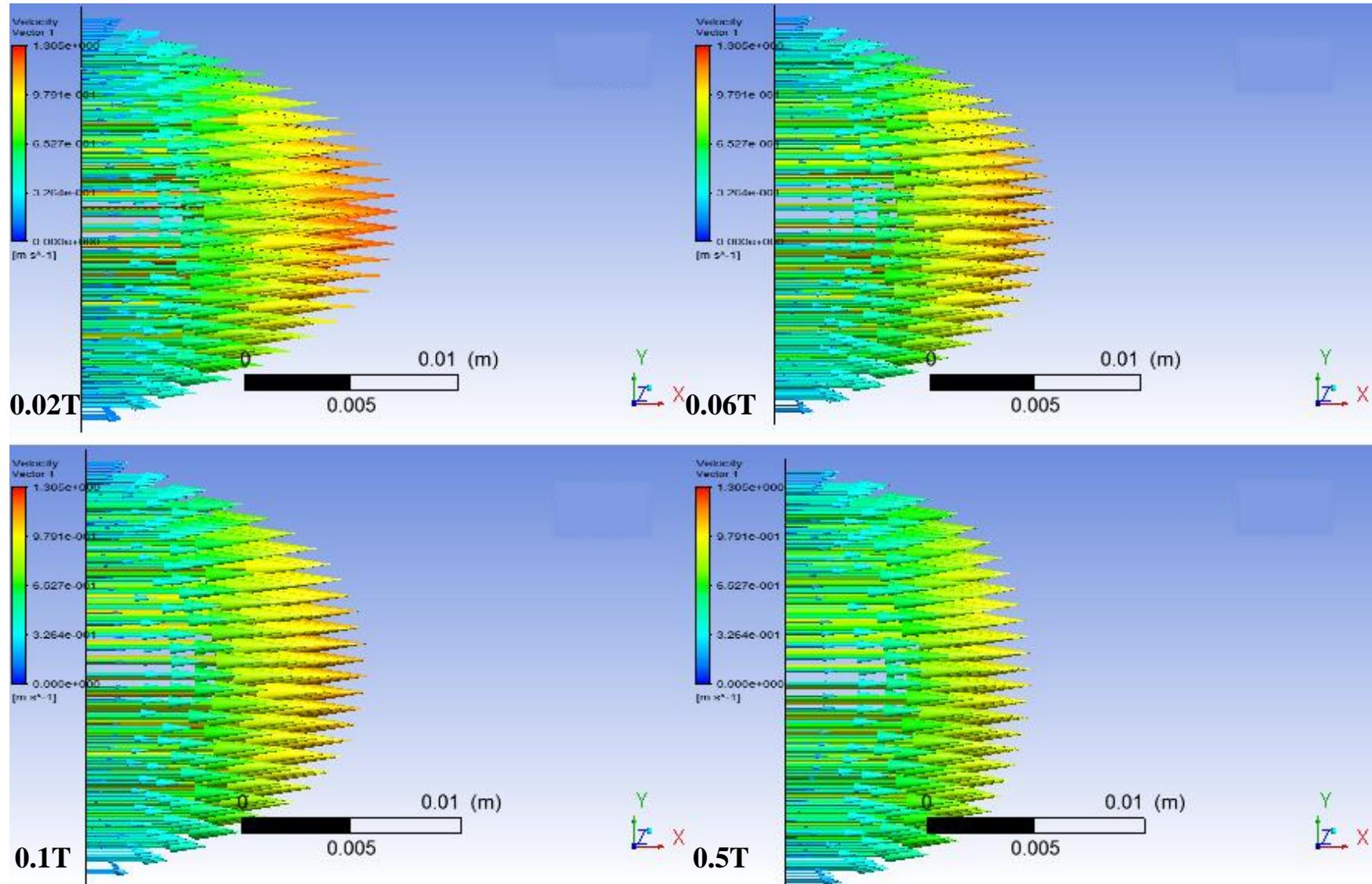


Figura 12. Vectores numéricos de velocidad bajo diferentes intensidades de campo magnético para $d=20$ mm.

3. Resultados

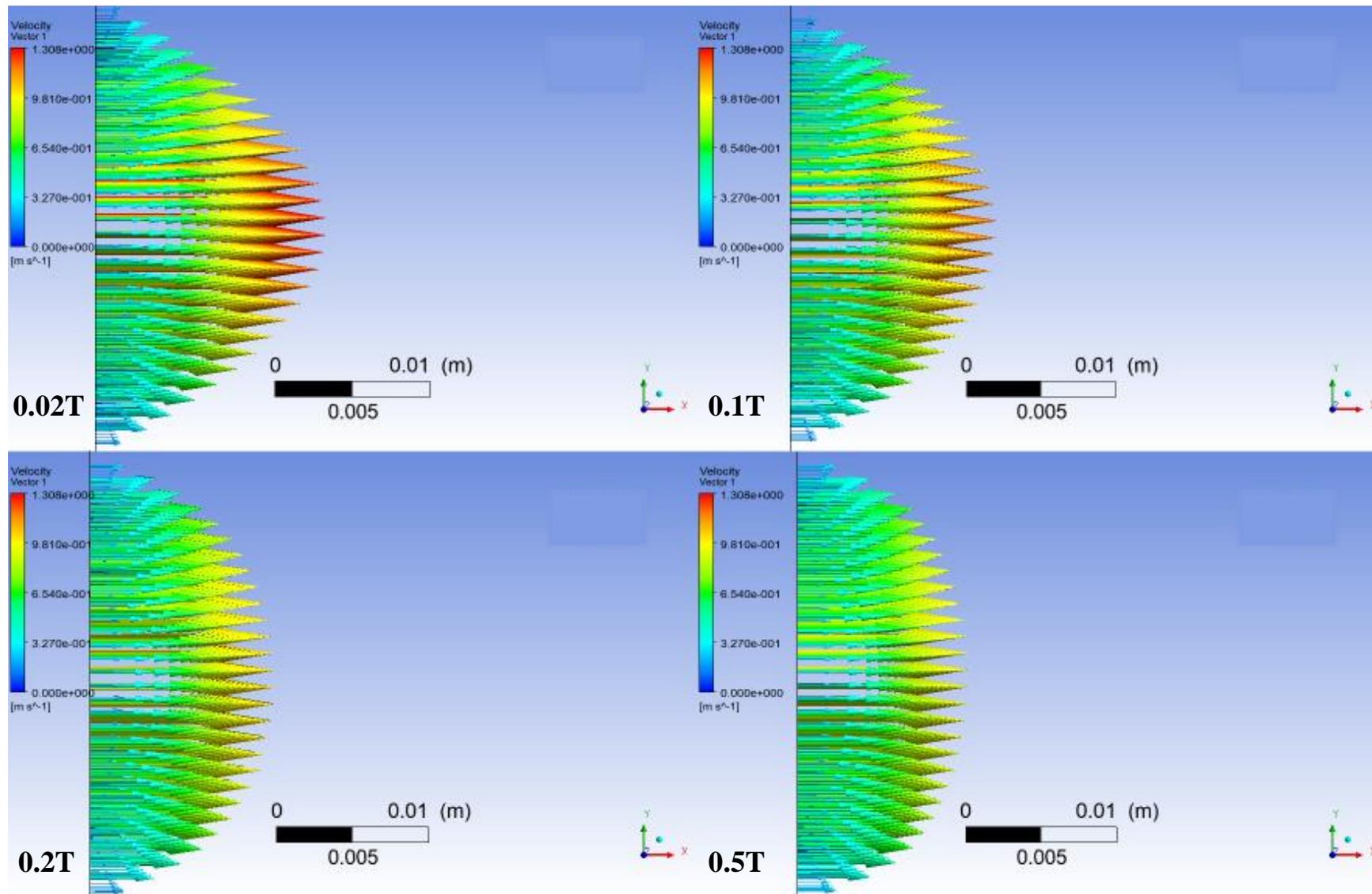


Figura 13. Vectores numéricos de velocidad bajo diferentes intensidades de campo magnético para $d=30$ mm.

3. Resultados

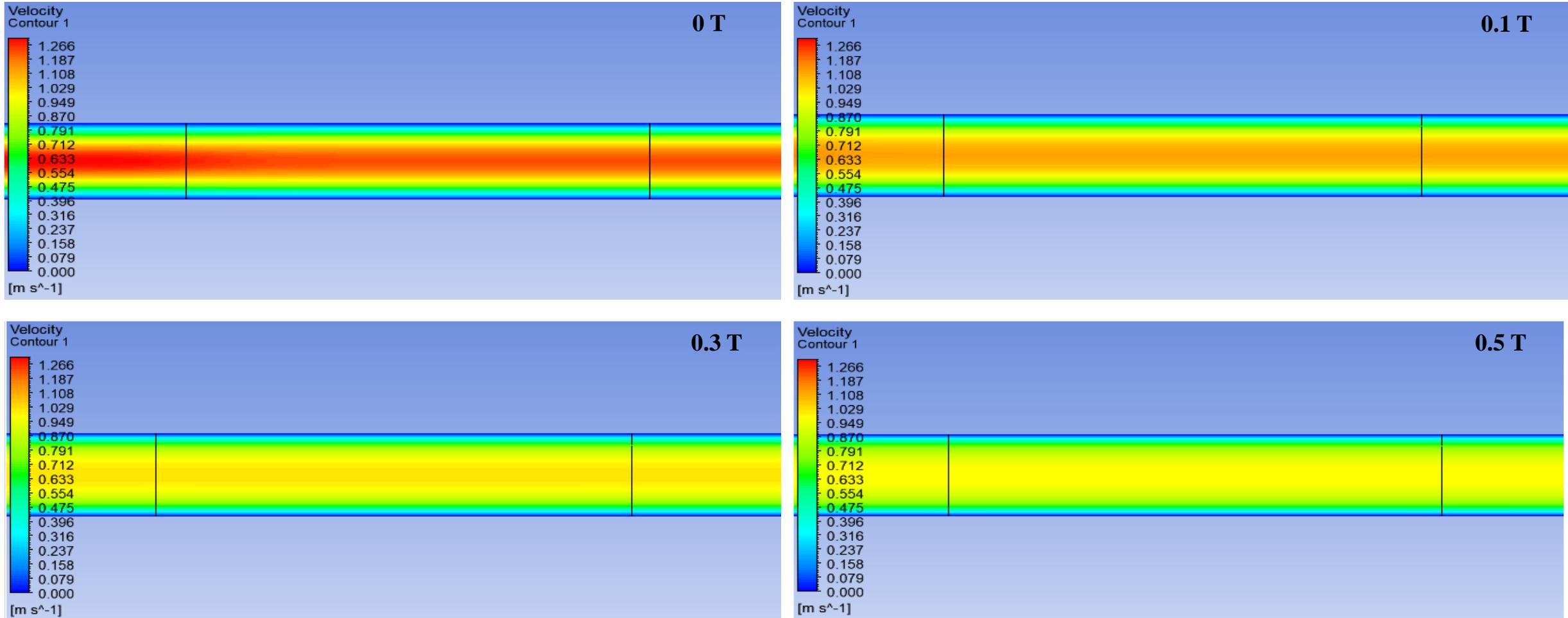


Figura 14. Contornos de velocidad aplicando en el modelo viscoso la intensidad del campo magnético.

3. Resultados

Variaciones de presión

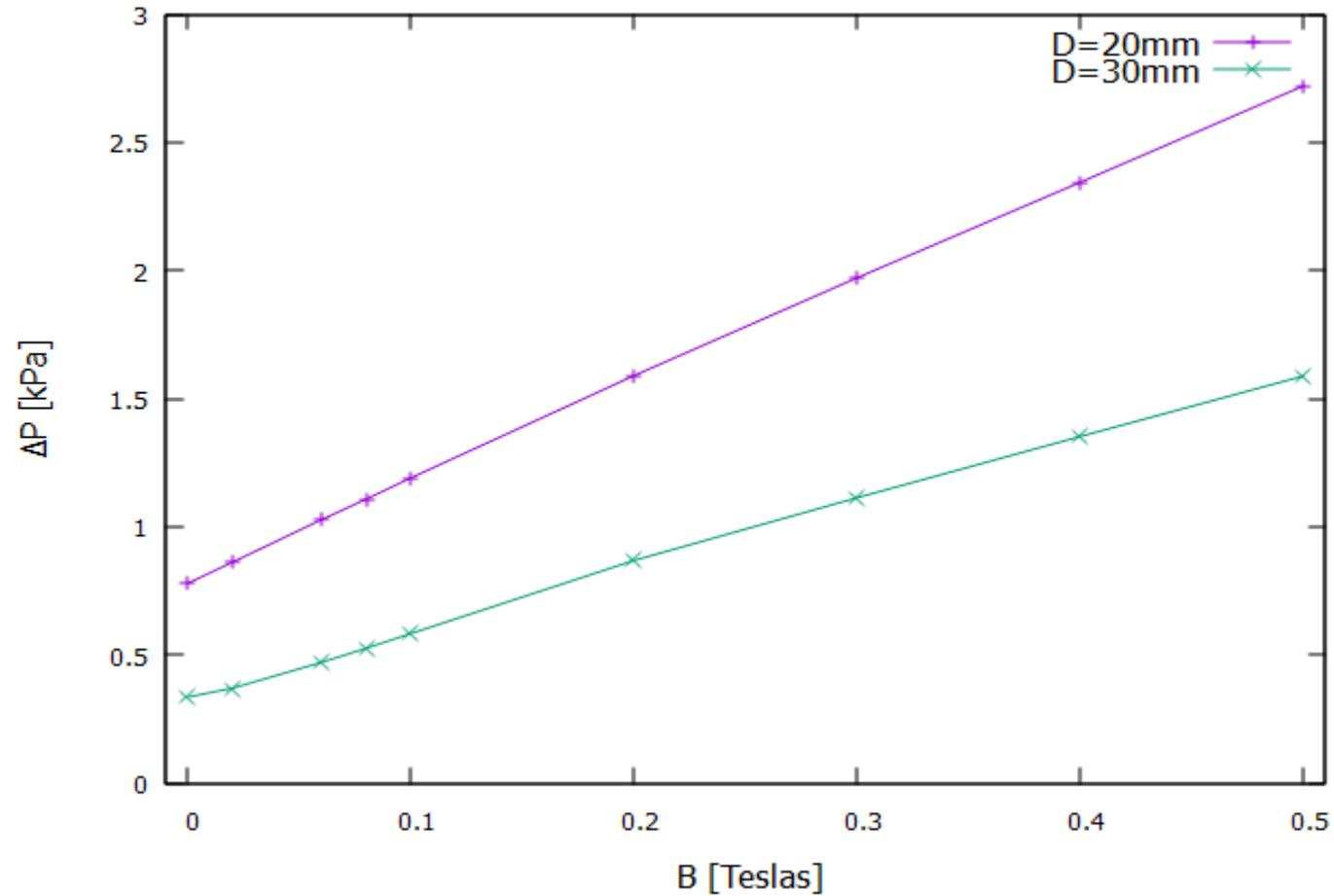
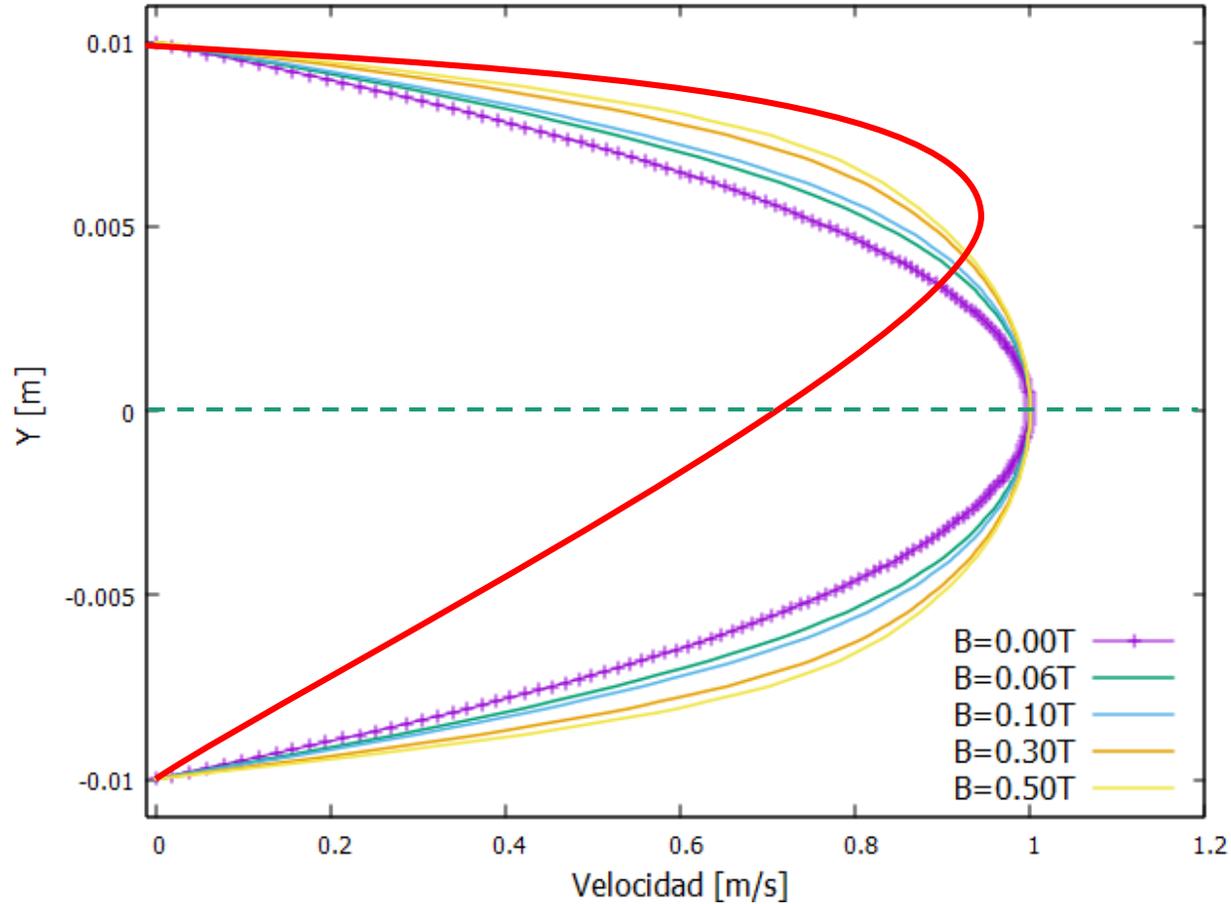


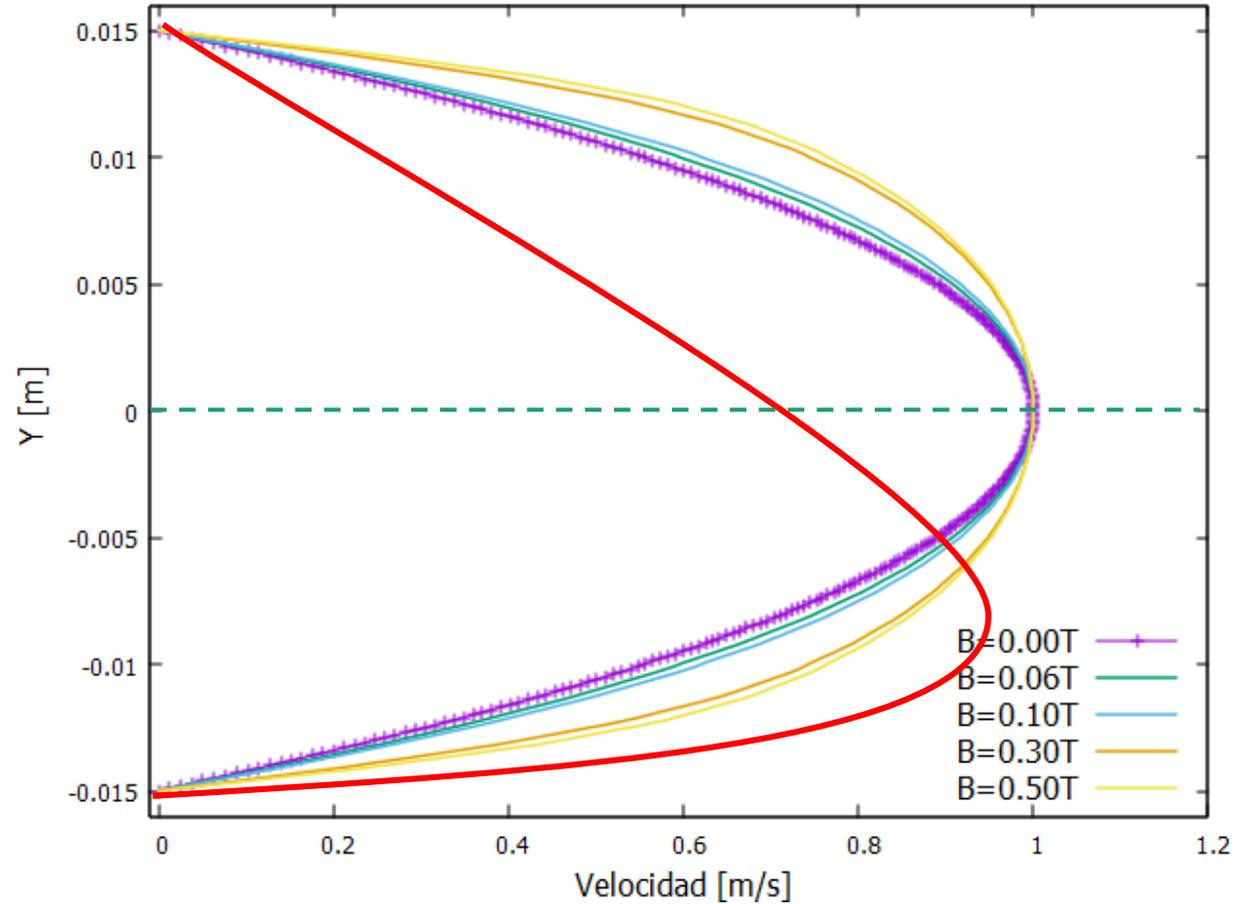
Figura 15. Variaciones de presión en función del aumento de la intensidad del campo magnético.

3. Resultados

Normalización del perfil de velocidad



a)



b)

Figura 16. Normalización del perfil de velocidad. a) $d=20\text{mm}$ y b) $d=30\text{mm}$.

4. Conclusiones



El aumento de la intensidad del campo magnético, ha causado:

- ✓ **Disminución de velocidades** de flujo para el fluido MR.
- ✓ **Aumento de presión.**

Ya que al aplicar un campo magnético, las partículas tienden a polarizarse y alinearse con el campo, disminuyendo la distancia entre moléculas y, en consecuencia, se está aumentando la resistencia de las moléculas a desplazarse. Así, la viscosidad de estos fluidos aumenta en función de la intensidad del campo aplicado.

5. Referencias

El Wahed AK and Wang HC (2019) Performance Evaluation of a Magnetorheological Fluid Damper Using Numerical and Theoretical Methods With Experimental Validation. *Frontiers in Materials* 6: 27. doi:10.3389/fmats.2019.0002

Elsaady W, Oyadiji SO and Nasser A (2020) A one-way coupled numerical magnetic field and CFD simulation of viscoplastic compressible fluids in MR dampers. *International Journal of Mechanical Sciences* 167: 105265. doi:10.1016/j.ijmecsci.2019.105265

Gedik, E. (2017) Experimental Investigation of Magnetohydrodynamic Flow in Circular Pipes and Numerical Analysis With Computational Fluid Dynamics. *Journal of Applied Fluid Mechanics*. 10. 801–11. doi:10.18869/acadpub.jafm.73.240.26830.

Li S, Meng W, Wang Y (2017) Numerical and experimental studies on a novel magneto-rheological fluid brake based on fluid–solid coupling. *Science Progress*. 103(1). doi:10.1177/0036850419879000



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BIMES is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/booklets)