

Estudio computacional de separadores ciclónicos de partículas.

Ayala Espinoza, Hernán Paúl

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico

Ing. Guerrero Hinojosa, Byron Andrés, PhD

08 de marzo de 2024



ÍNDICE.

01

INTRODUCCIÓN

- Antecedentes.
- Justificación.
- Objetivos.

02

METODOLOGÍA

- Información preliminar.
- Generalidades
- Modelos CAD

03

MALLADO

- Convergencia de malla.
- Evaluación del mallado.

04

SIMULACIÓN

- Modelos numéricos.
- Condiciones de frontera.
- Validación de datos.

05

RESULTADOS

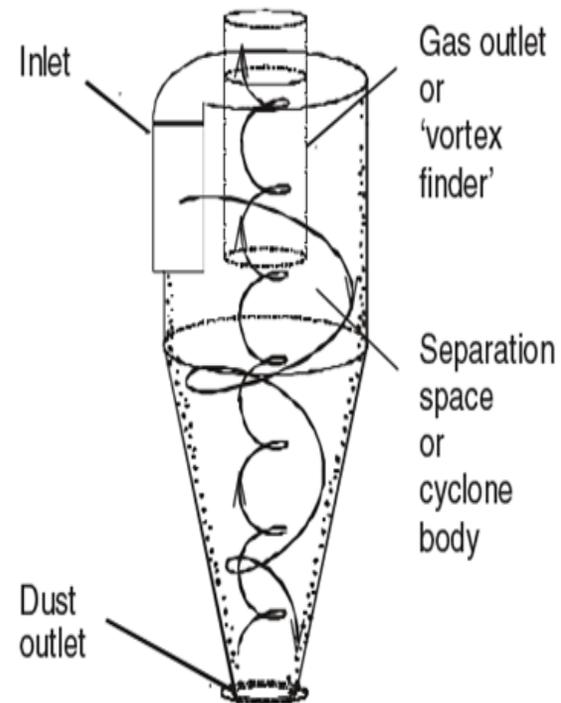
06

CONCLUSIONES



Antecedentes

Los separadores ciclónicos de partículas son dispositivos esenciales para desviar las partículas sólidas de un flujo de gas o aire. Estos equipos permiten separar las partículas de diferentes tamaños y densidades mediante la fuerza centrífuga generada por la rotación del fluido en un ciclón, permitiendo que el flujo del gas limpio salga por la parte superior, mientras que las partículas son acumuladas y descargadas por la parte inferior.



Justificación

La justificación e importancia del proyecto radica en optimizar el diseño de los separadores ciclónicos de partículas con diferentes configuraciones geométricas, de forma que se asegure un rendimiento confiable, permitiendo a su vez la reducción de costos, junto con la mejora de la calidad y eficiencia de los procesos industriales que utilizan estos dispositivos.

Objetivos

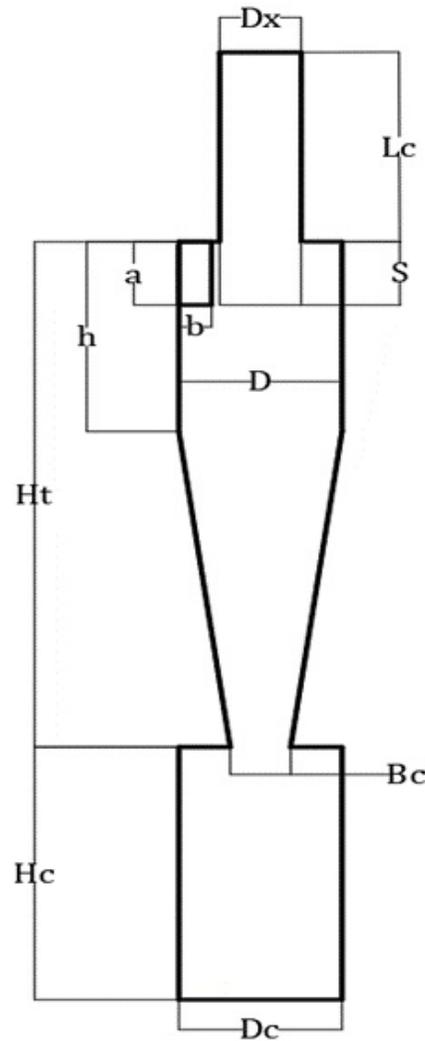
Objetivo General.

- Estudiar numéricamente el desempeño de tres configuraciones de separadores ciclónicos de partículas.

Objetivo Específico.

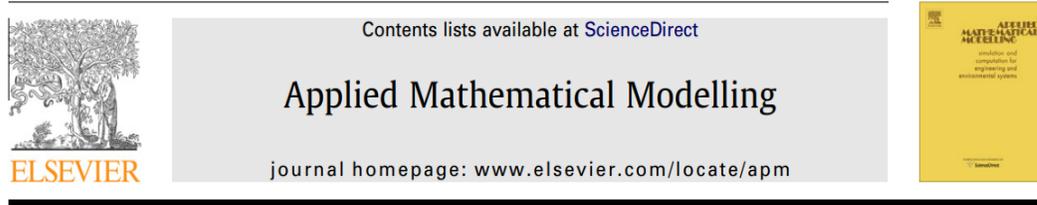
- Analizar los parámetros geométricos que permiten optimizar la eficiencia de un separador ciclónico de partículas.

Información preliminar



Dimensiones	1D3D	2D2D	Stairmand
a/D	0.5	0.5	0.5
b/D	0.25	0.25	0.2
D_x/D	0.5	0.5	0.5
H_t/D	4	4	4
h/D	1	2	1.5
S/D	0.625	0.625	0.5
B_c/D	0.25	0.25	0.375
H_c/D	2	2	2
D_c/D	1	1	1

Generalidades



The effect of cyclone inlet dimensions on the flow pattern and performance

Khairy Elsayed*, Chris Lacor

Vrije Universiteit Brussel, Department of Mechanical Engineering, Research Group Fluid Mechanics and Thermodynamics, Pleinlaan 2, 1050 Brussels, Belgium



A CFD study of the effect of cone dimensions on sampling aerocyclones performance and hydrodynamics

T.G. Chuah^a, Jolius Gimbut^b, Thomas S.Y. Choong^a



Numerical investigation on the swirling vortical characteristics of a Stairmand cyclone separator with slotted vortex finder

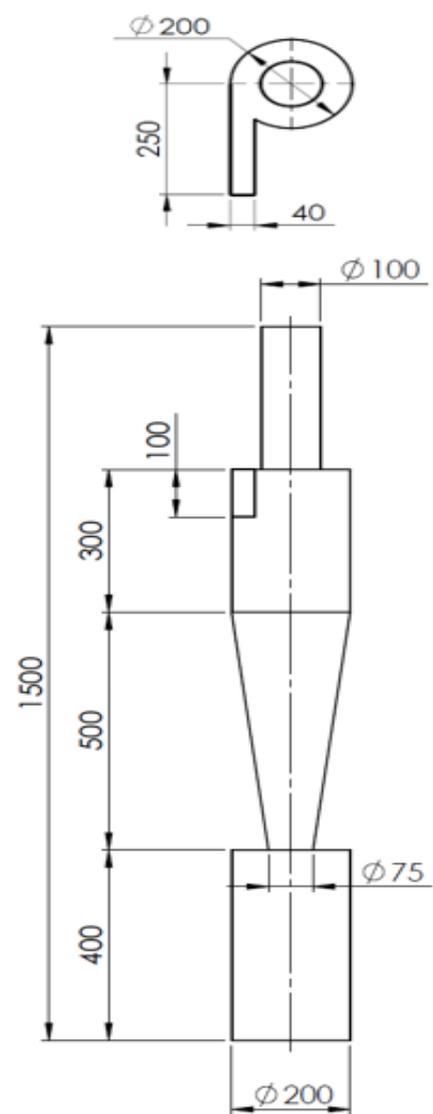
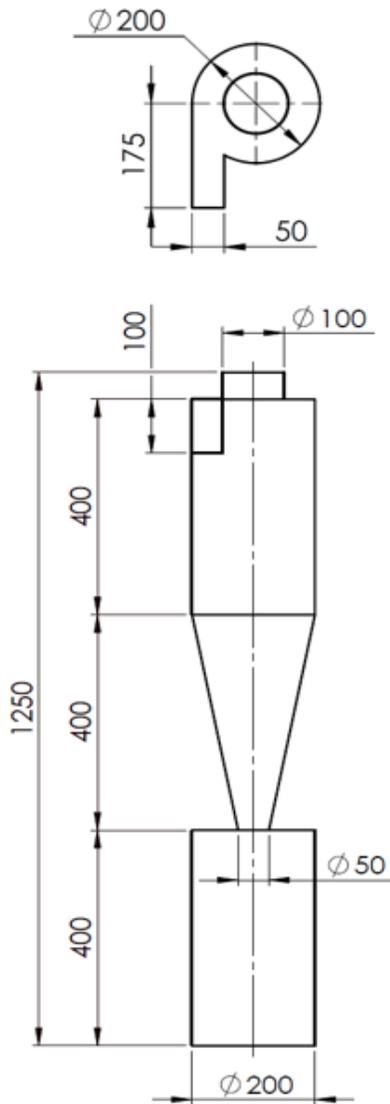
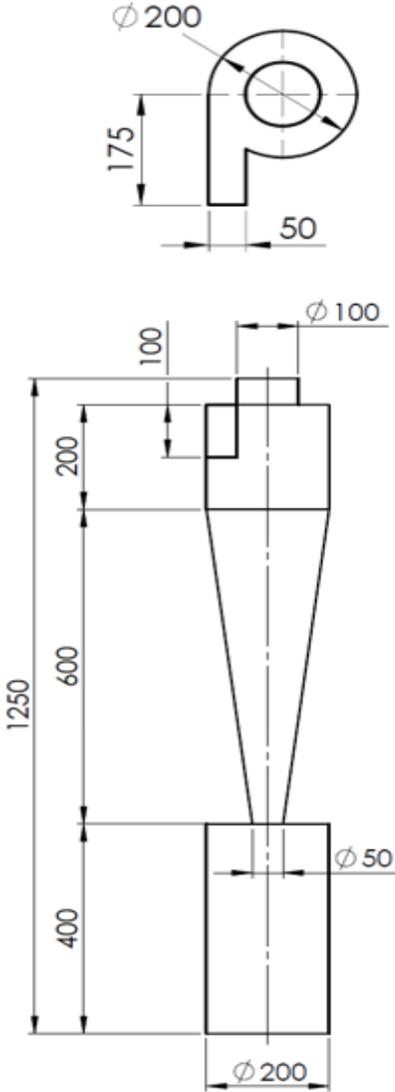
Ming Guo^a, Hao Xue^c, Jian Pang^d, Dang Khoi Le^a, Xun Sun^b, Joon Yong Yoon^e



Multi-objective optimization of a Stairmand cyclone separator using response surface methodology and computational fluid dynamics

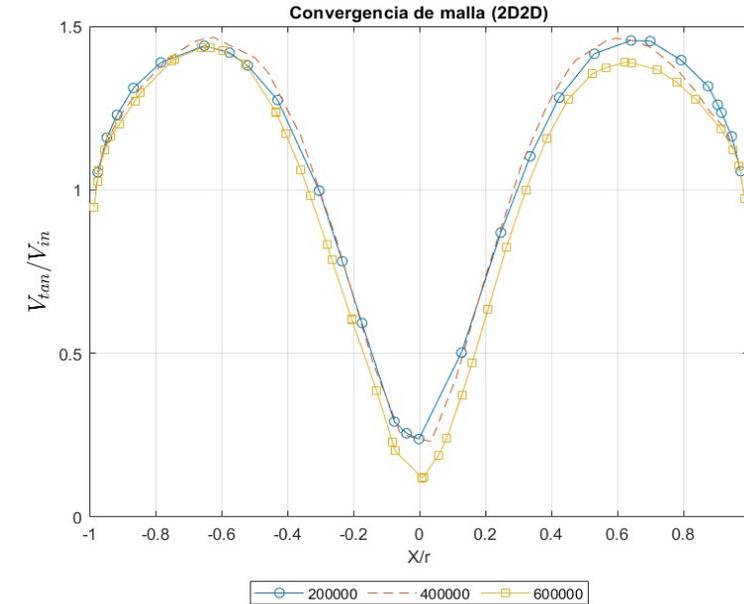
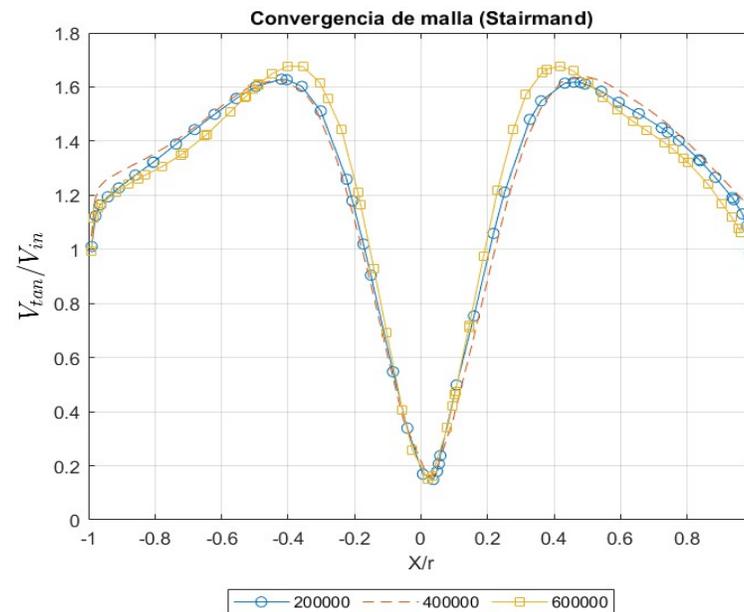
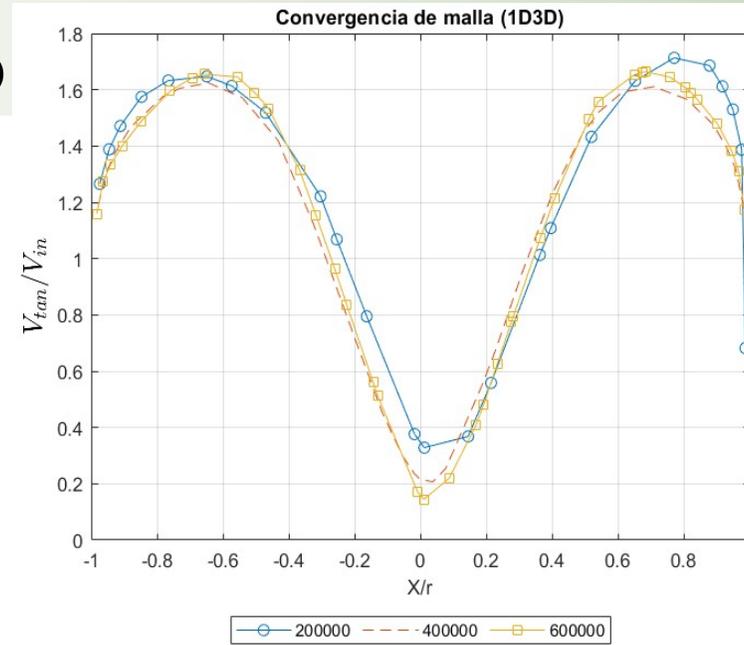
Xun Sun^a, Sung Kim^{a,b}, Seung Deok Yang^c, Hyun Soo Kim^a, Joon Yong Yoon^d

Modelos CAD



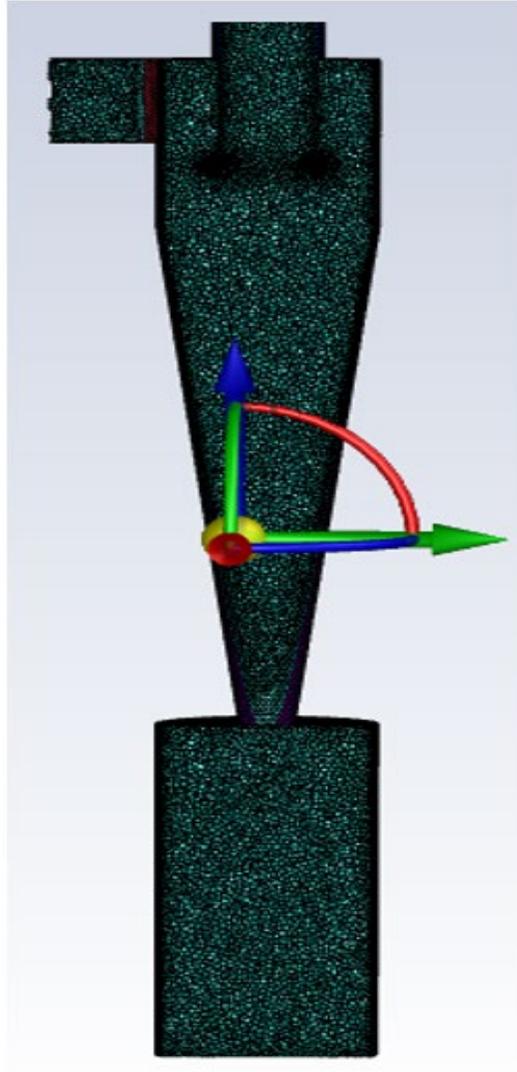
Convergencia de mallado

Mallado	Criterio	Diseños		
		1D3D	2D2D	Stairmand
Grueso	RA	9.08	10.19	10.25
	Or	0.20	0.23	0.20
	Ob	0.035	0.035	0.035
Medio	RA	10.17	10.38	10.99
	Or	0.26	0.21	0.14
	Ob	0.034	0.035	0.031
Fino	RA	11.76	10.36	10.25
	Or	0.21	0.21	0.23
	Ob	0.033	0.031	0.032

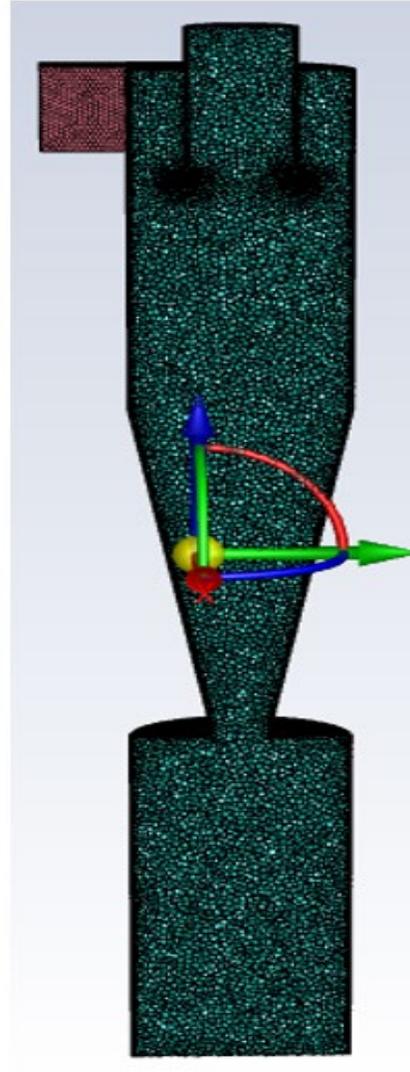


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

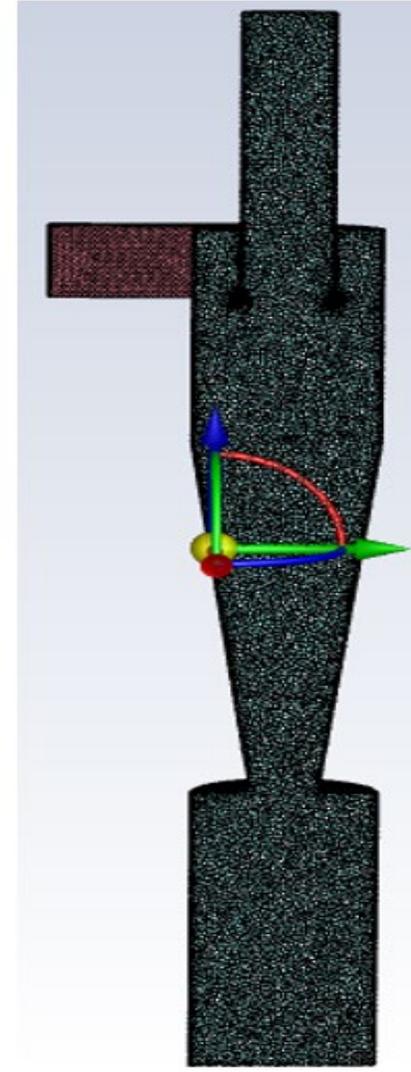
Mallado



1D3D



2D2D



Stairmand

Mallado



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Modelos numéricos

Modelo de Turbulencia (RSTM)

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial t}(\rho \overline{u'_i u'_j})}_{\text{Derivada temporal}} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u_k \overline{u'_i u'_j})}_{\text{Convección}} = D_{T,ij} + D_{L,ij} + P_{ij} + G_{ij} + \phi_{ij} - \varepsilon_{ij} + F_{ij} + S_{user}$$

$$D_{T,ij} = -\frac{\partial}{\partial x_k} \left[\rho \overline{u'_i u'_j u'_k} + \rho (\delta_{kj} \overline{u'_i} + \delta_{ik} \overline{u'_j}) \right]$$

$$D_{L,ij} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\mu \frac{\partial}{\partial x_k} (\overline{u'_i u'_j}) \right]$$

$$P_{ij} = -\rho \left(\overline{u'_i u'_k} \frac{\partial u_j}{\partial x_k} + \overline{u'_j u'_k} \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \right)$$

$$G_{ij} = \rho \beta (g_i \overline{u'_j \theta} + g_j \overline{u'_i \theta})$$

$$\phi_{ij} = p \left(\frac{\partial u'_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u'_j}{\partial x_i} \right)$$

$$\varepsilon_{ij} = 2\mu \overline{\frac{\partial u'_i}{\partial x_k} \frac{\partial u'_j}{\partial x_k}}$$

$$F_{ij} = -2\rho \Omega_k (\overline{u'_j u'_m} \varepsilon_{ikm} + \overline{u'_i u'_m} \varepsilon_{jkm})$$

Modelos numéricos

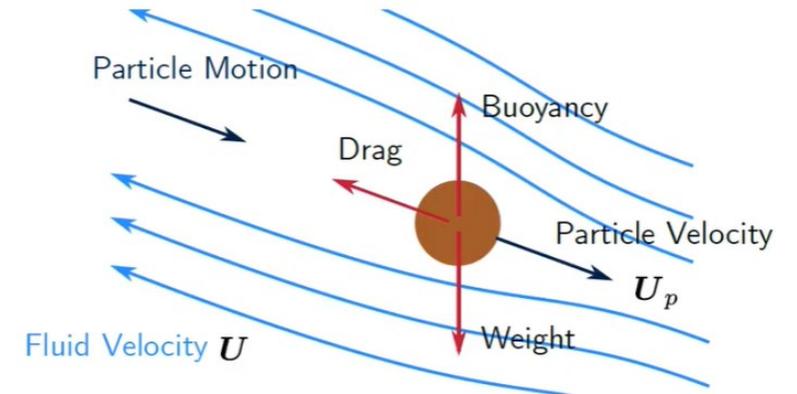
Modelo DPM

$$\frac{\partial u_{pi}}{dt} = \underbrace{F_D(u_i - u_{pi})}_{\text{Fuerza de arrastre}} + \underbrace{\frac{(\rho_p - \rho)g_i}{\rho_p}}_{\text{Fuerza neta}} + F_i$$

$$F_D = \frac{18\mu}{\rho_p d_p^2} \frac{C_D R_e}{24}$$

$$R_e = \frac{\rho d_p |u_p - u|}{\mu}$$

$$C_D = 0.5195 - \frac{1662.5}{Re} + \frac{5.4167 \times 10^6}{Re^2}; \quad Re \geq 10000$$



Propiedades	Valor
Densidad [kg/m ³]	2700
Diámetro mín. [m]	1e-6
Diámetro máx. [m]	5e-6
Propagación	3.5
Número de diámetros	10

Modelos numéricos

Modelo DPM

$$u = \bar{u} + u'$$

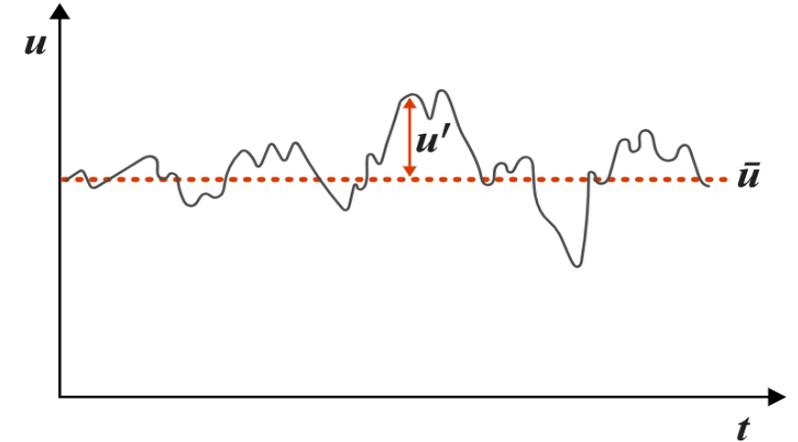
$$u' = \zeta \sqrt{\overline{u' \cdot u'}}$$

$$v' = \zeta \sqrt{\overline{v' \cdot v'}}$$

$$w' = \zeta \sqrt{\overline{w' \cdot w'}}$$

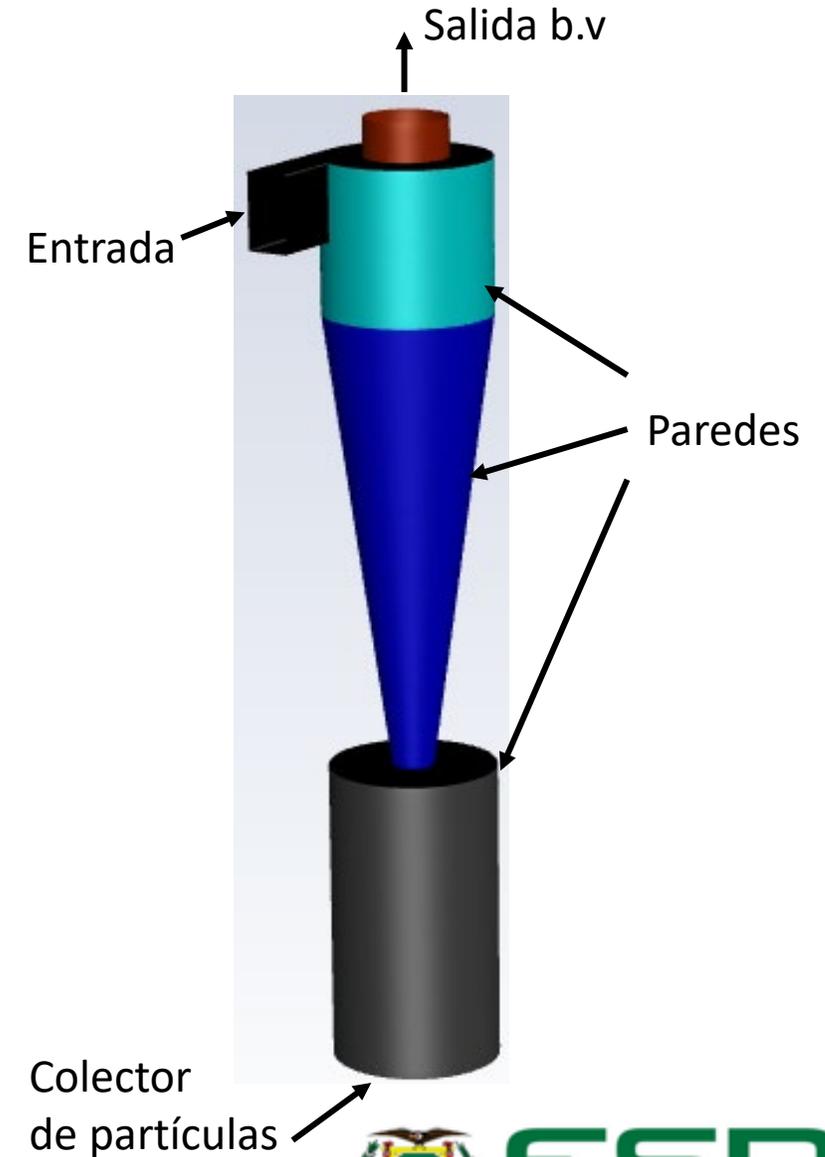
$$T_L = C_L k / \varepsilon$$

$$\tau_e = -T_L \ln(r)$$



Condiciones de contorno

Sección	Condiciones de contorno	
	Categoría	DPM
Entrada tangencial.	Velocidad de entrada	Escape
Salida del buscador de vórtice	Salida de presión	Escape
Colector de partículas	Pared	Atrapar
Paredes	Pared	Reflejar.



Simulación



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

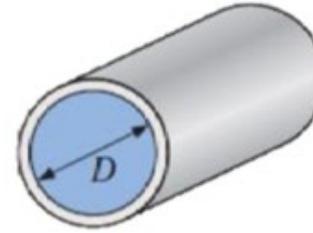
Condiciones de contorno.

Intensidad de turbulencia.

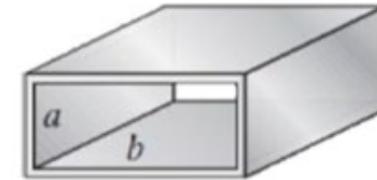
$$I = 0.16(Re)^{-1/8}$$

$$Re = \rho \frac{v_{in} D_h}{\mu}$$

Diámetro hidráulico



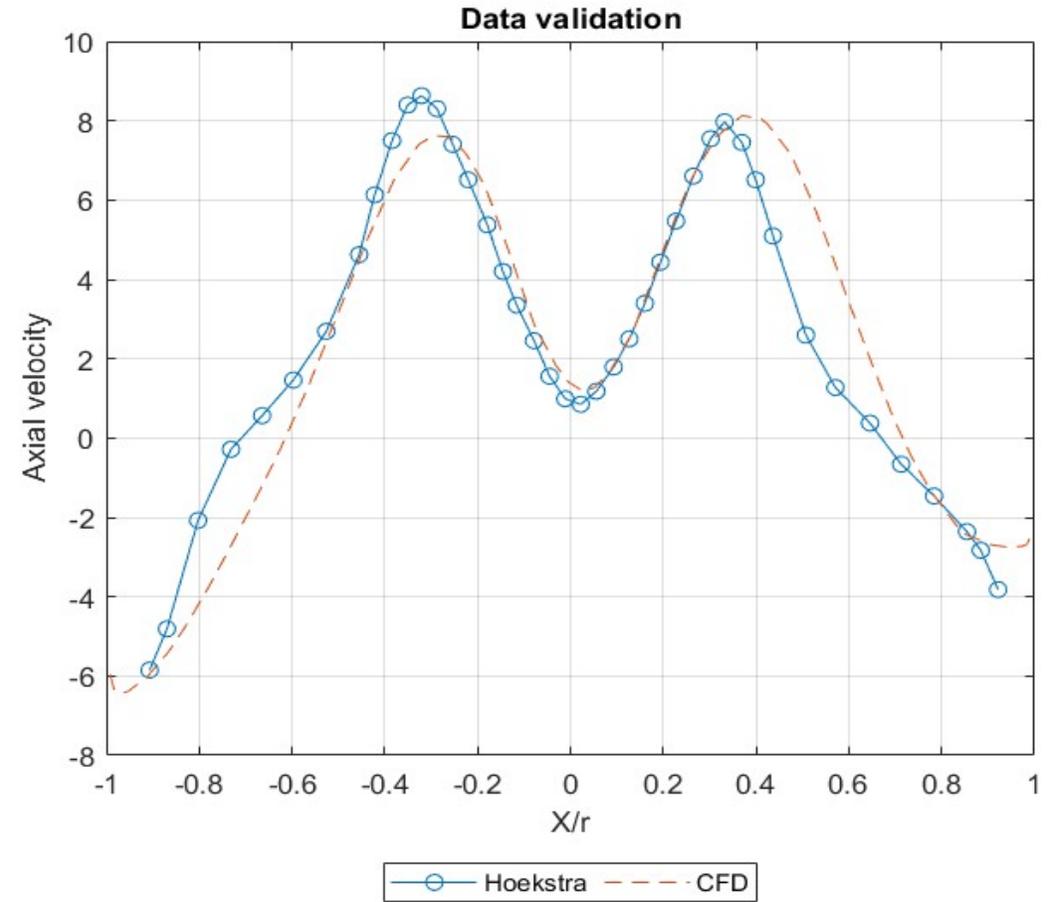
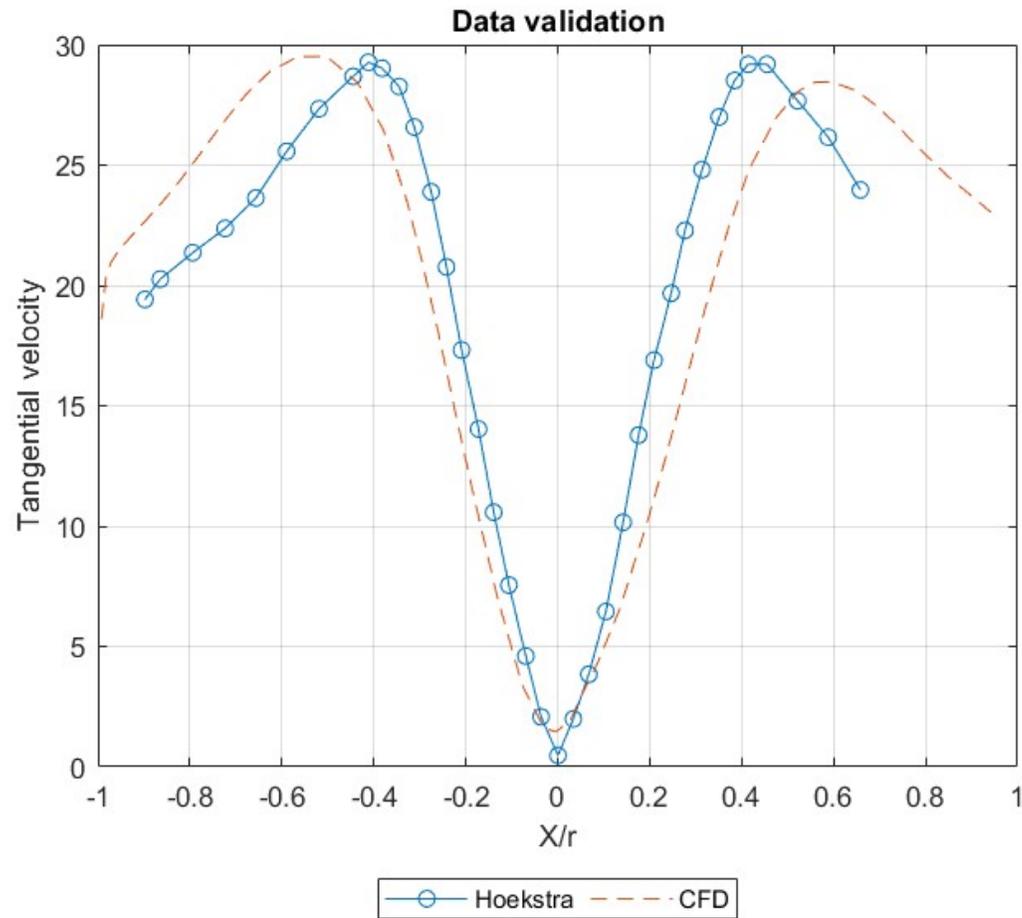
$$D_h = \frac{4(\pi D^2/4)}{\pi D} = D$$



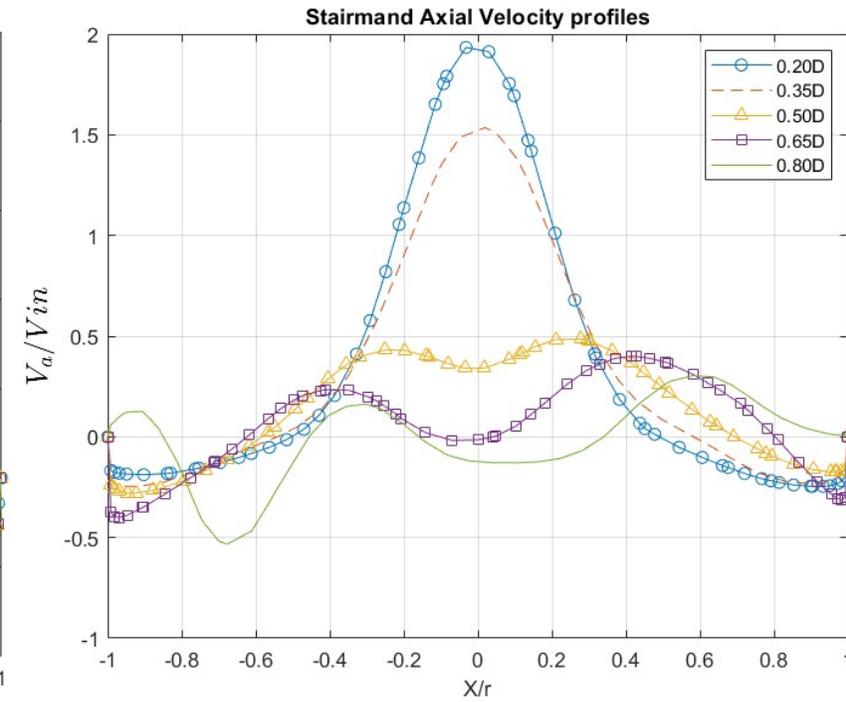
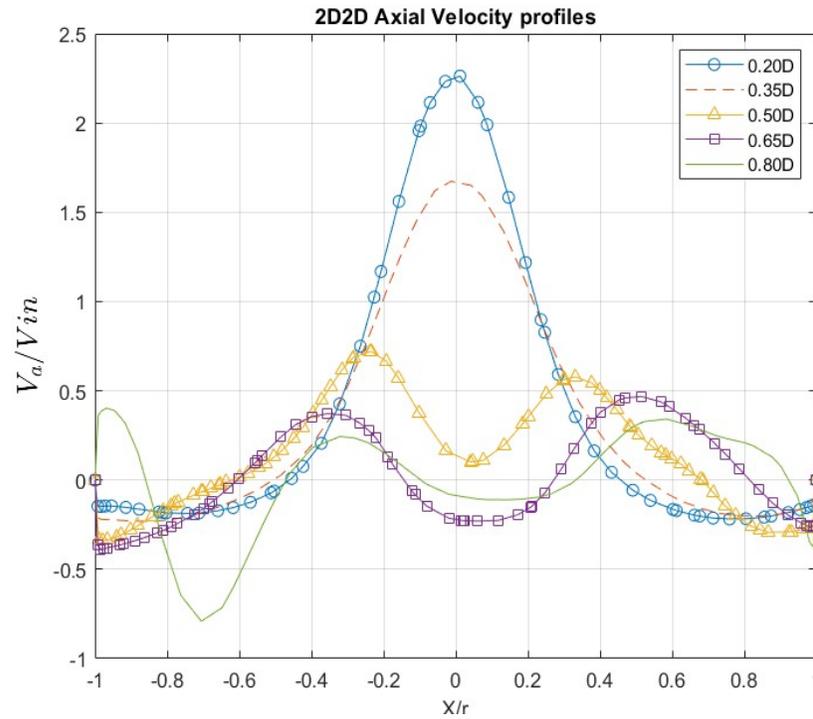
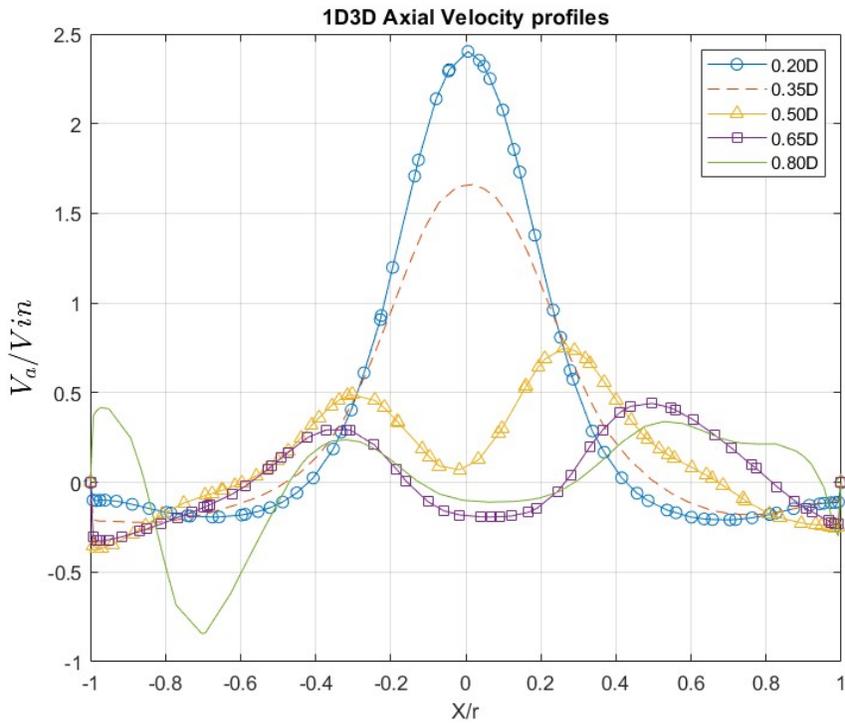
$$D_h = \frac{4ab}{2(a+b)} = \frac{2ab}{a+b}$$

Parámetros	Sección							
	Circular [ϕ (m)]					Rectangular (m x m)		
	0.04	0.07	0.10	0.13	0.16	0.1x0.05	0.1x0.04	
DH [m]	0.04	0.07	0.10	0.13	0.16	0.06667	0.05714	
IT [%]	4.46102	4.15962	3.97824	3.84989	3.75125	4.18504	4.26652	

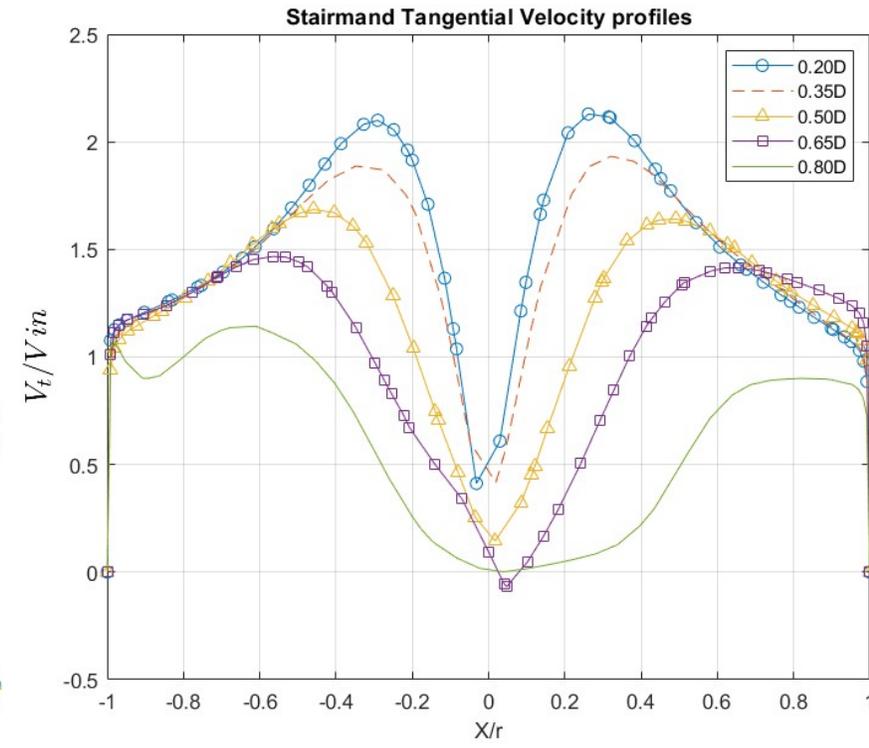
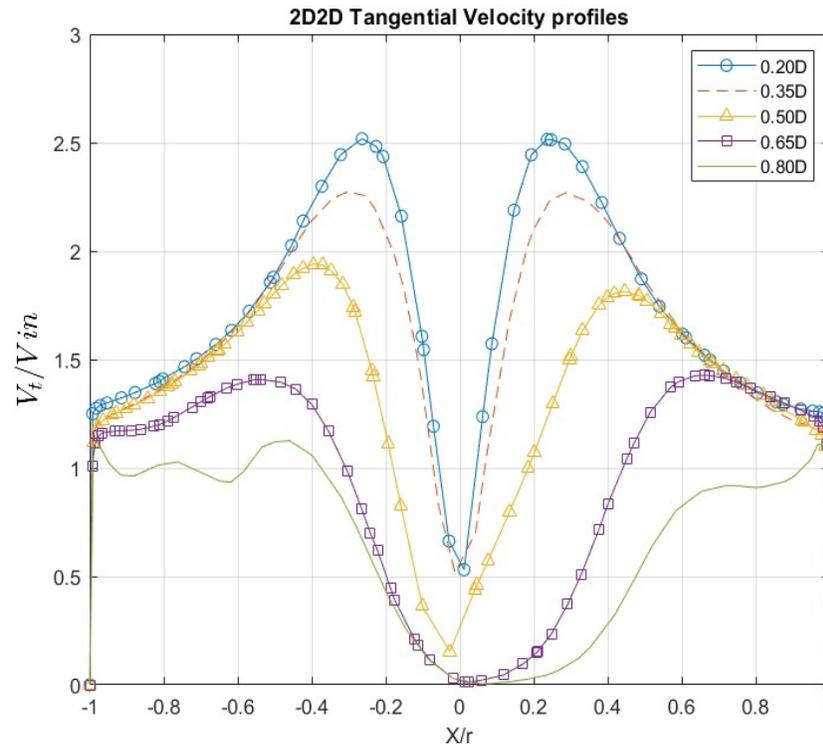
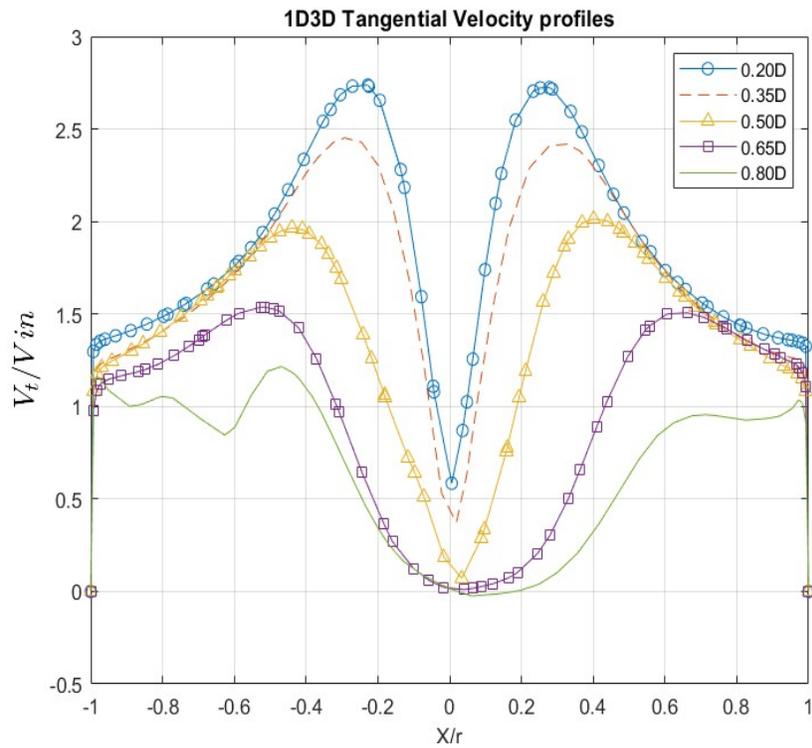
Validación de datos.



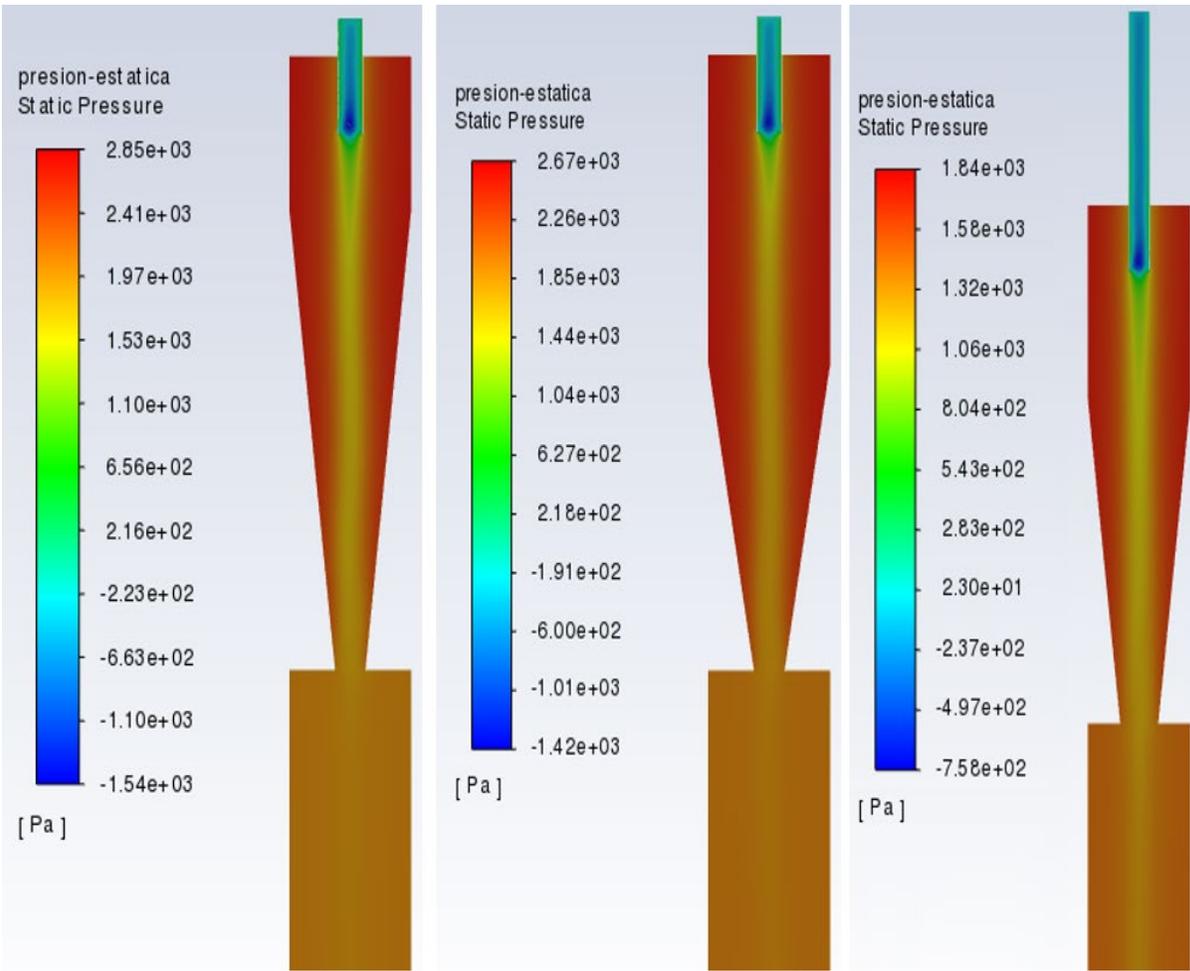
Velocidad axial.



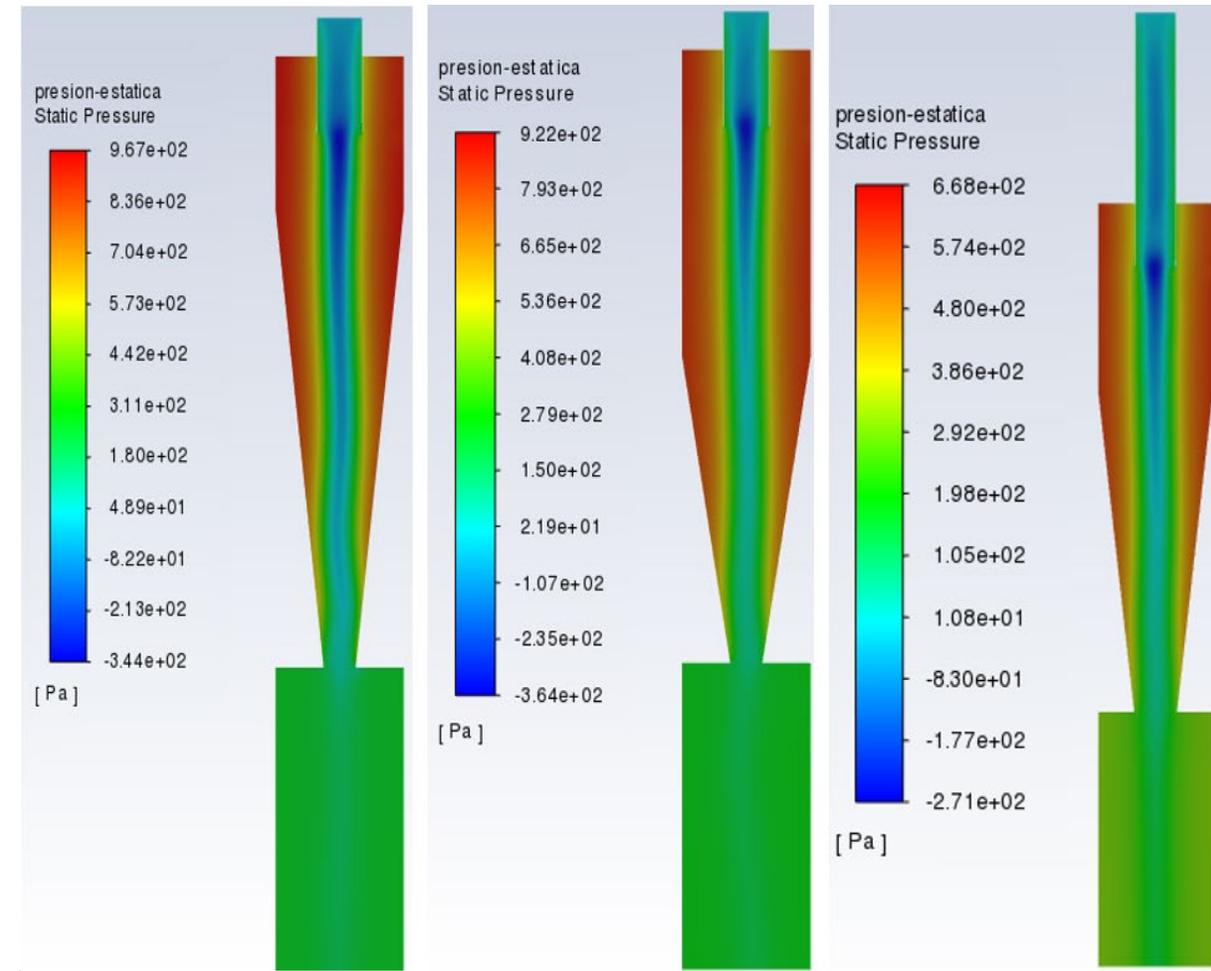
Velocidad tangencial.



Contornos de presión estática

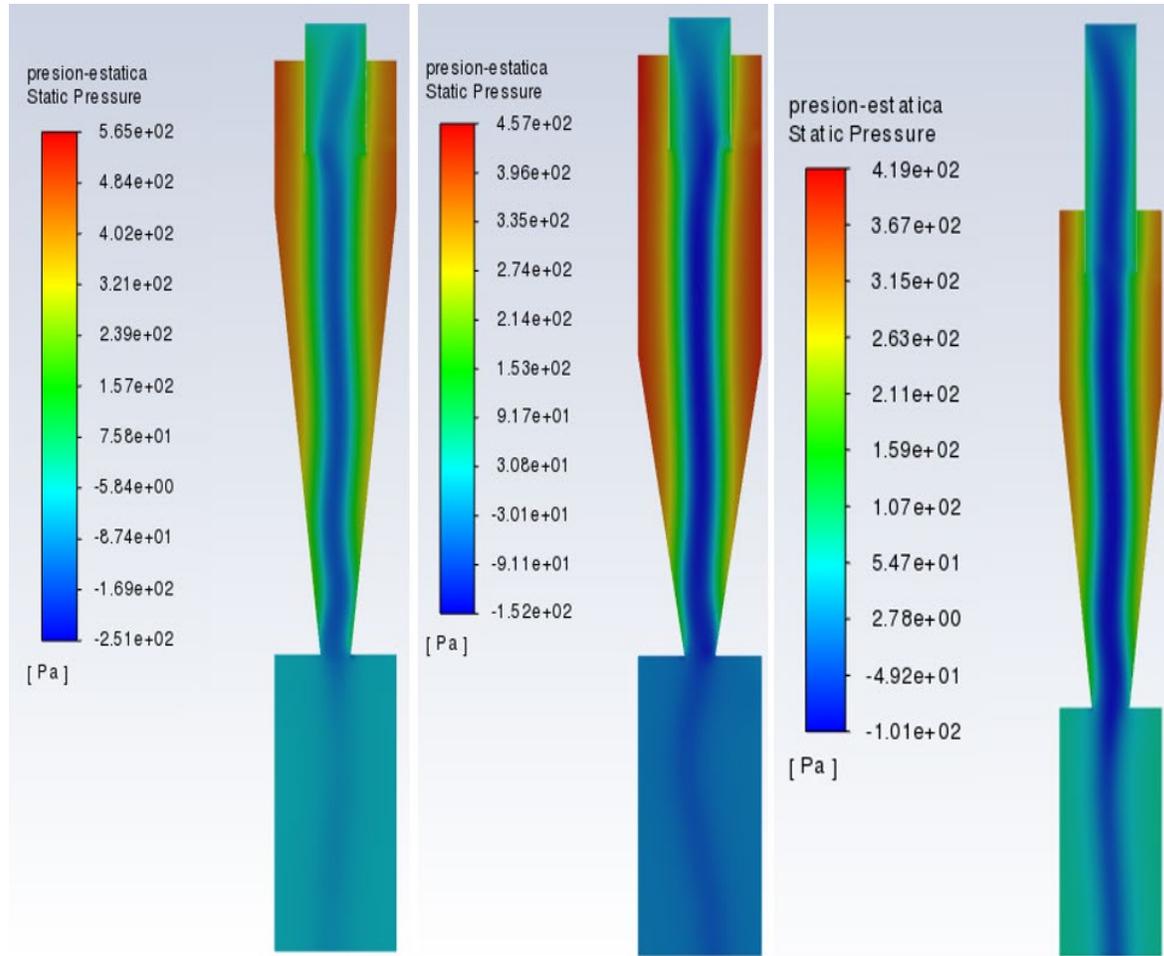


$Dx = 0.04$ m

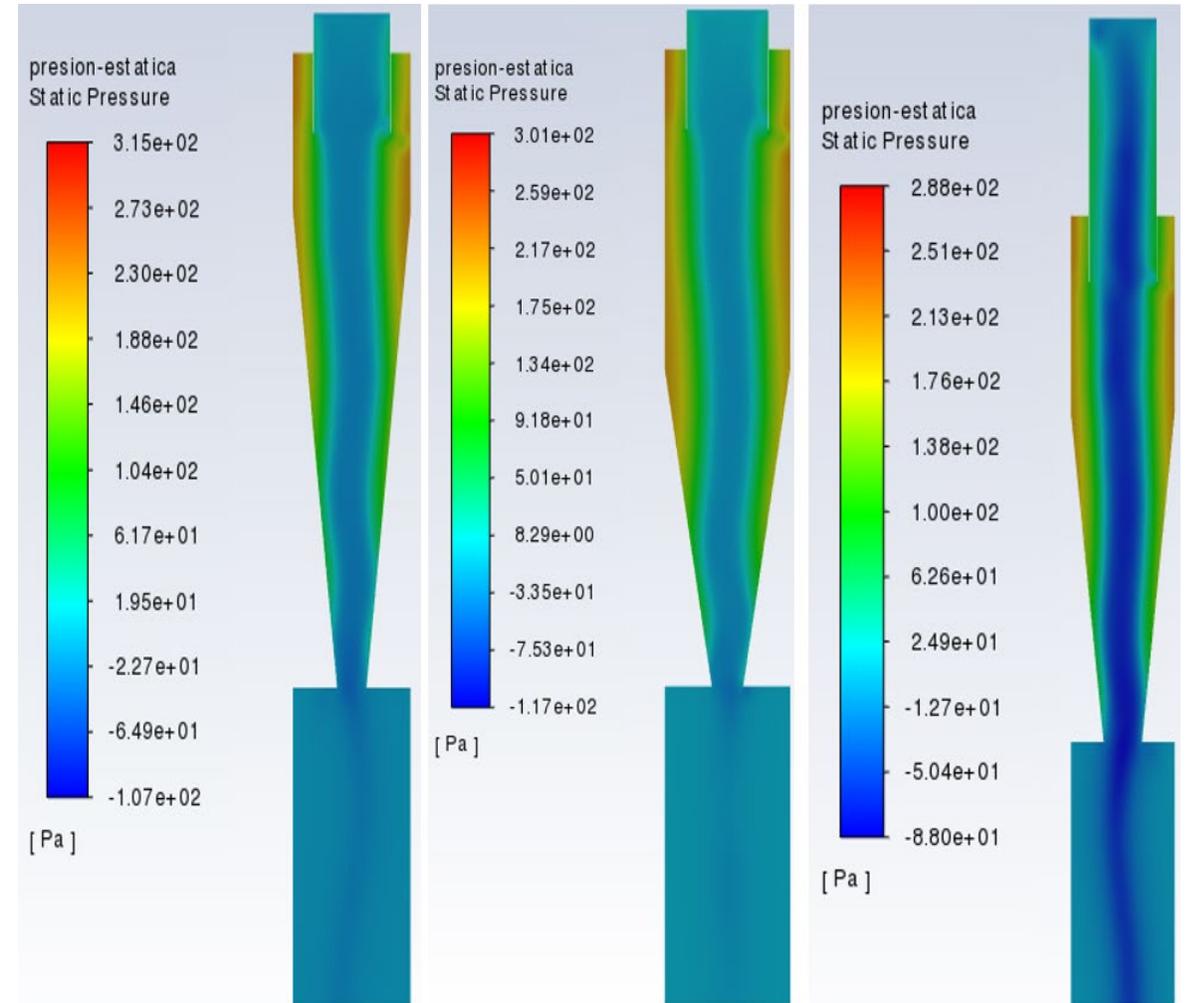


$Dx = 0.07$ m

Contornos de presión estática

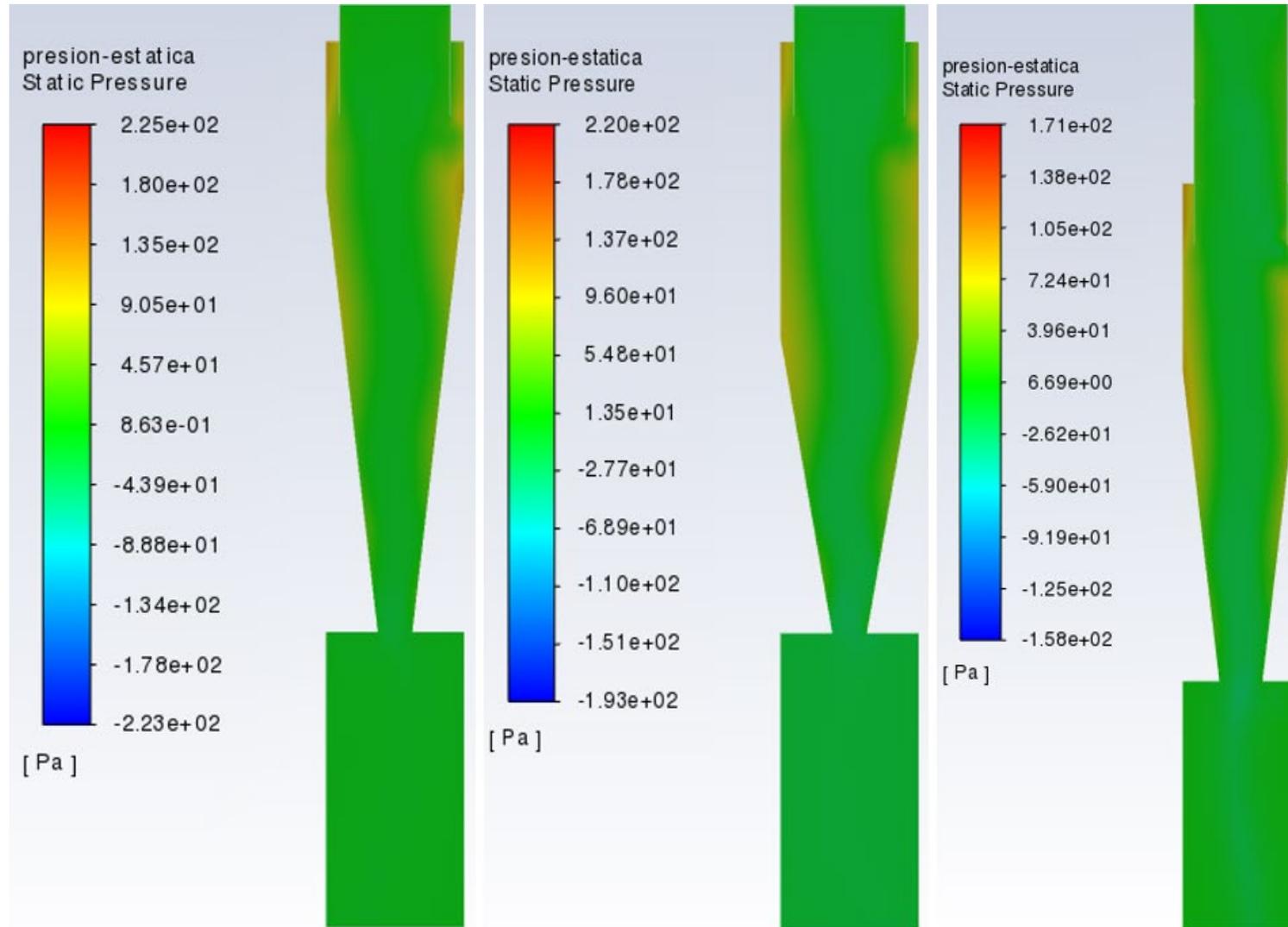


$Dx = 0.1 \text{ m}$



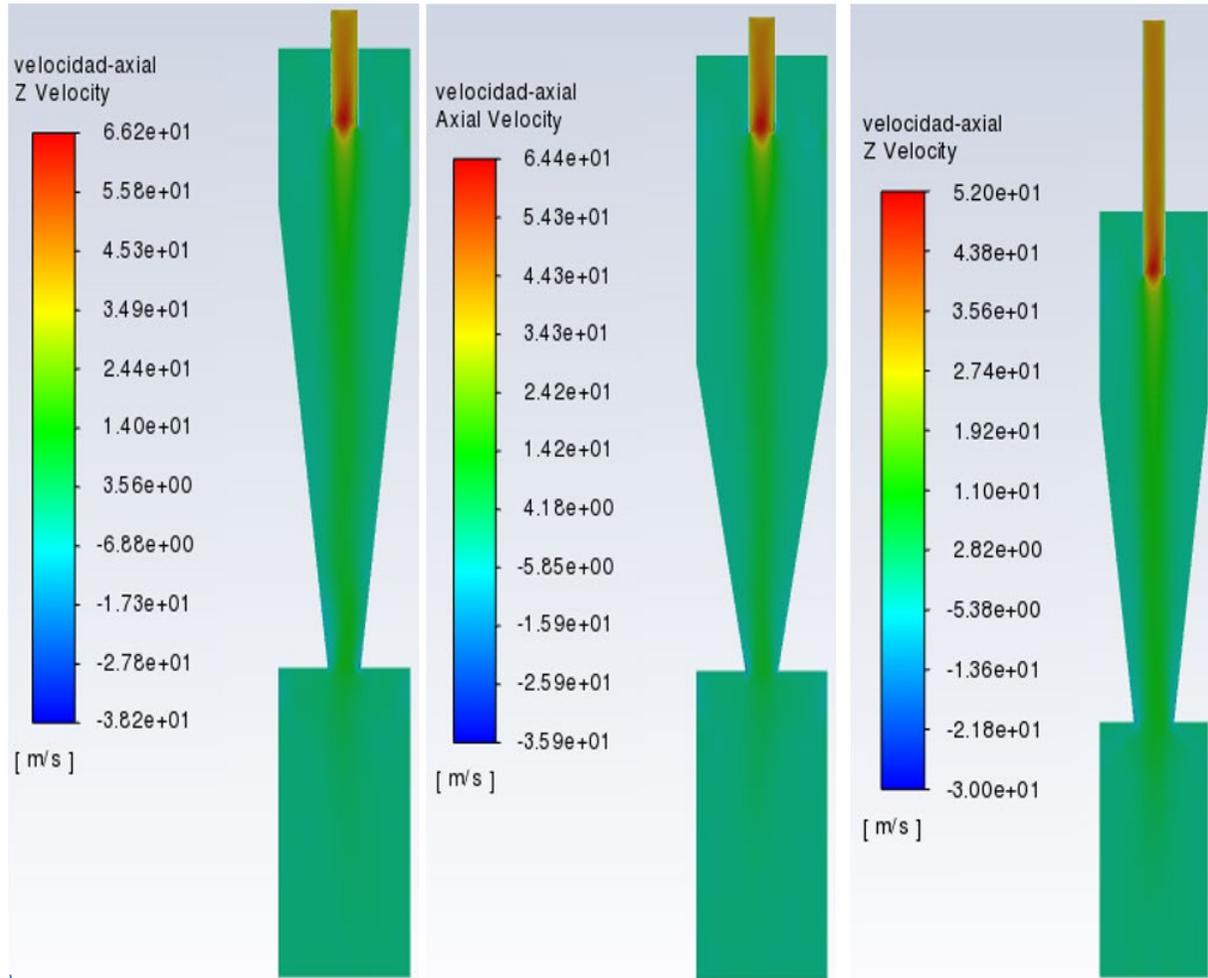
$Dx = 0.13 \text{ m}$

Contornos de presión estática

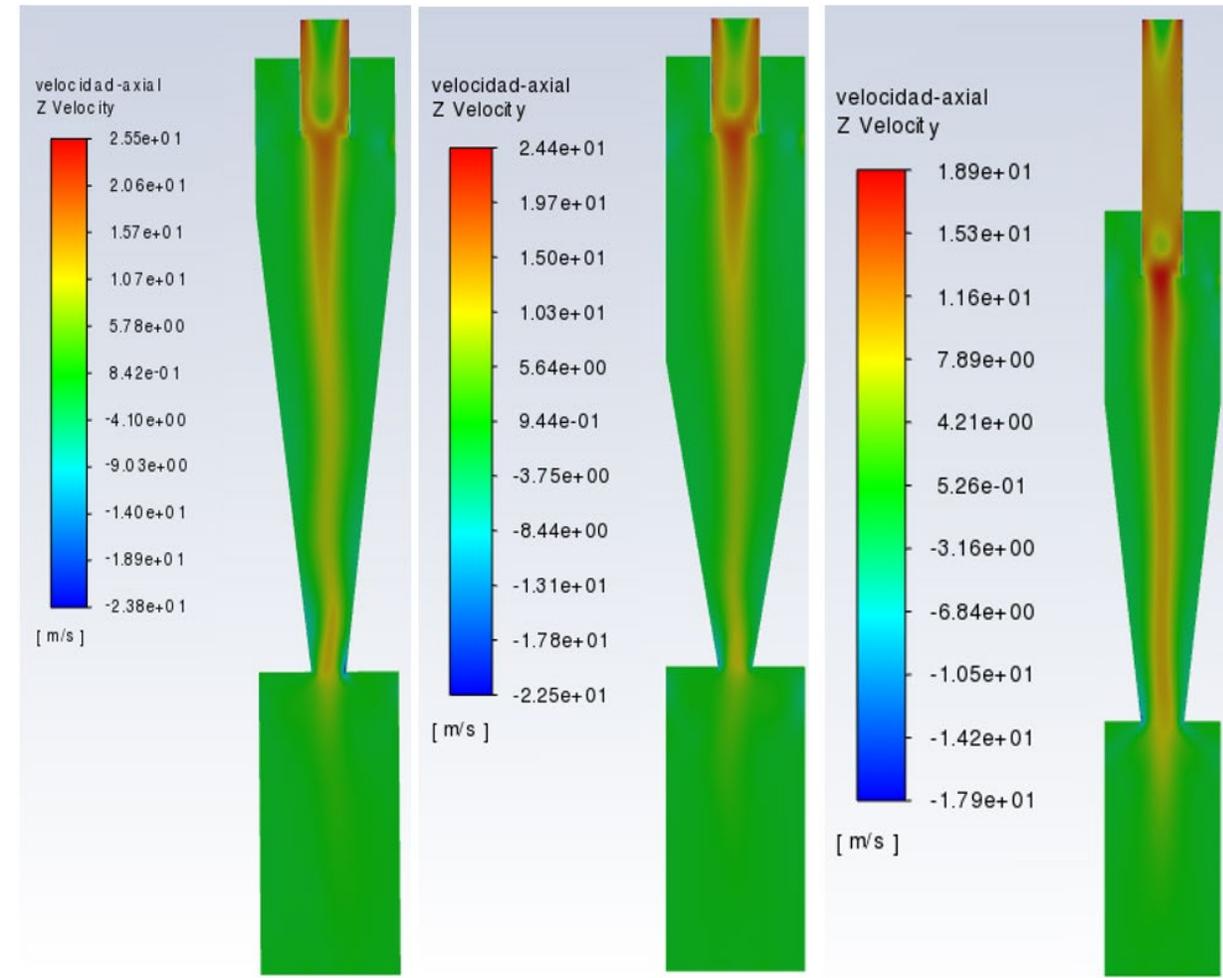


$$Dx = 0.16 \text{ m}$$

Contornos de velocidad axial

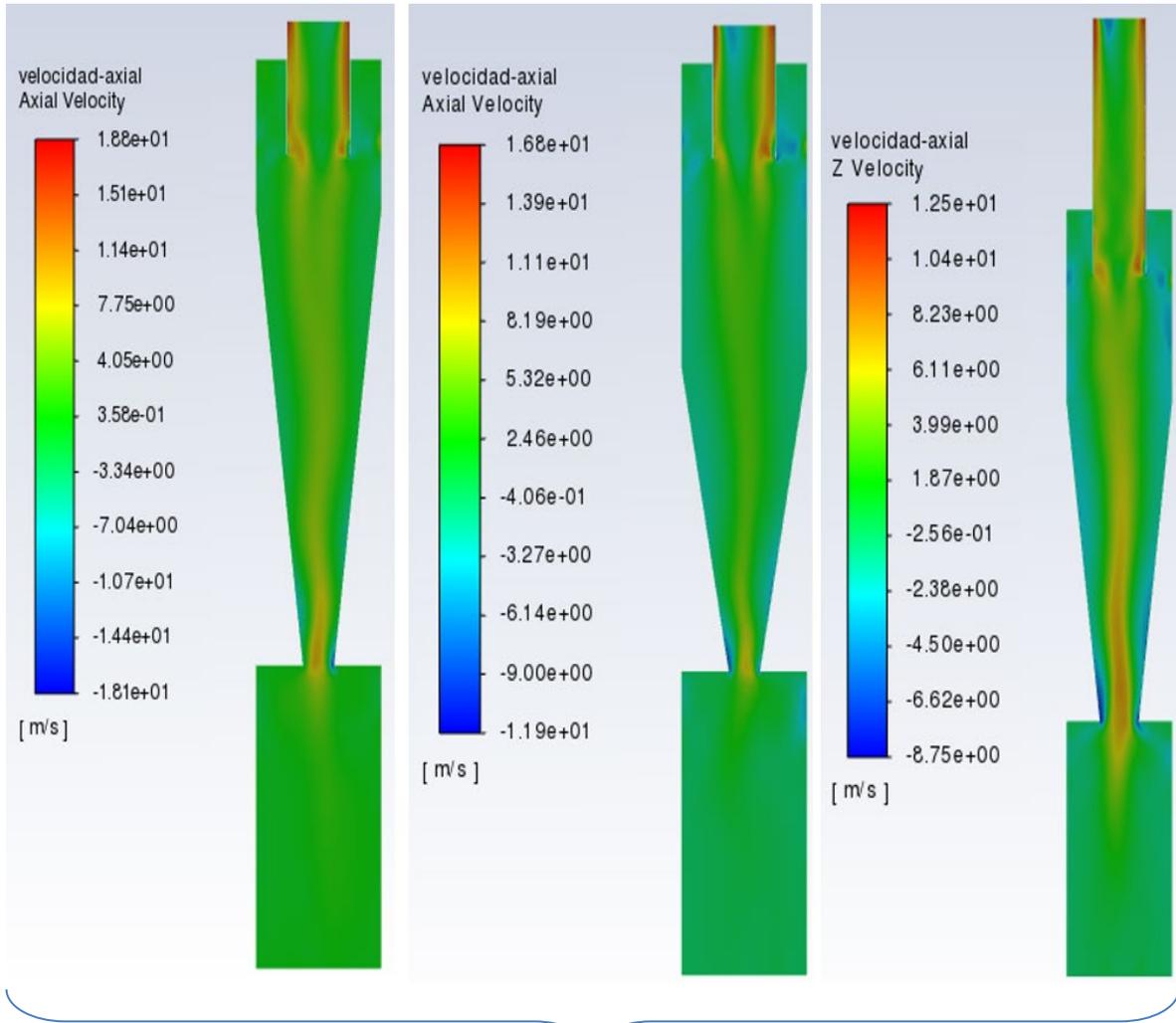


$Dx = 0.04$ m

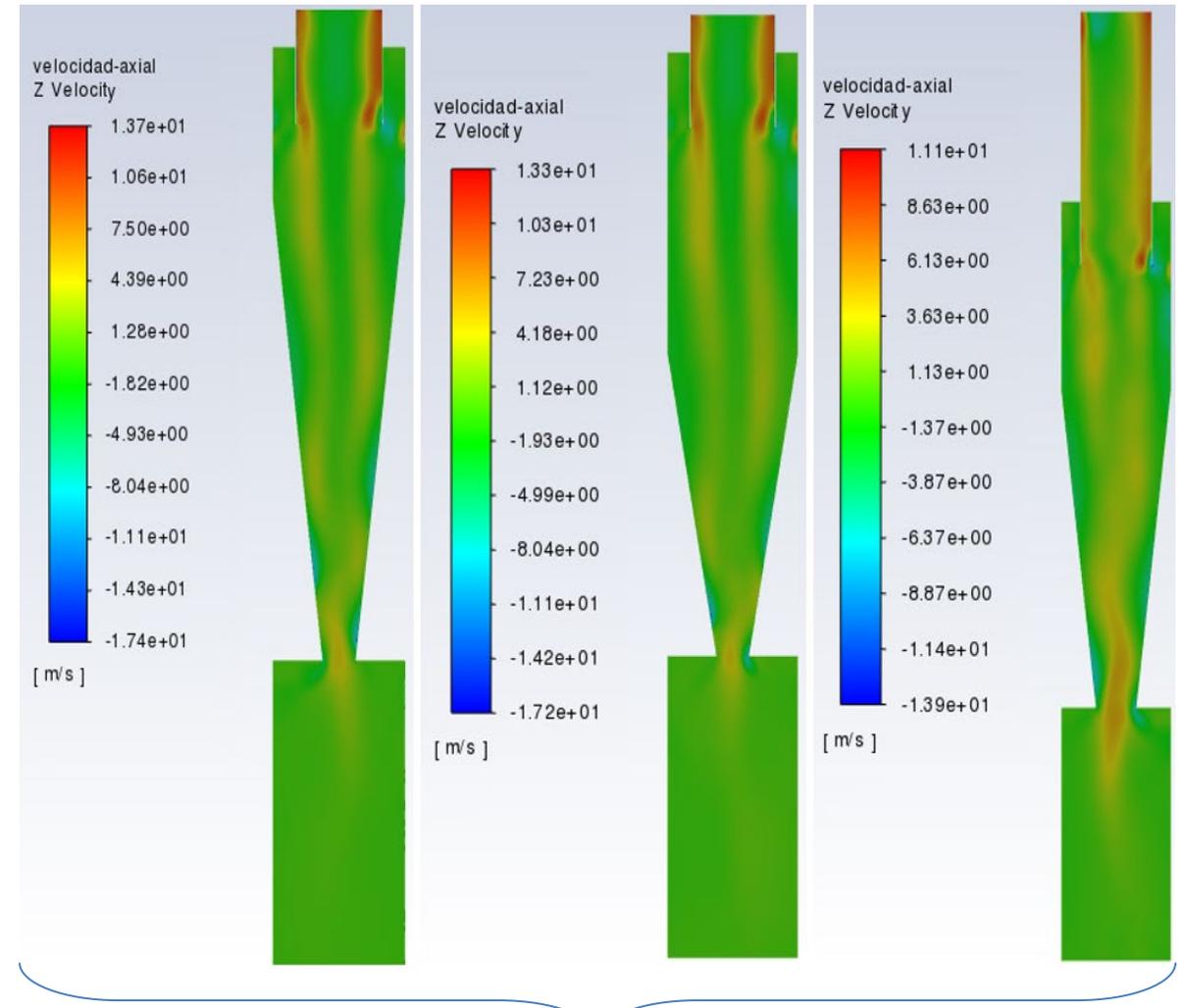


$Dx = 0.07$ m

Contornos de velocidad axial

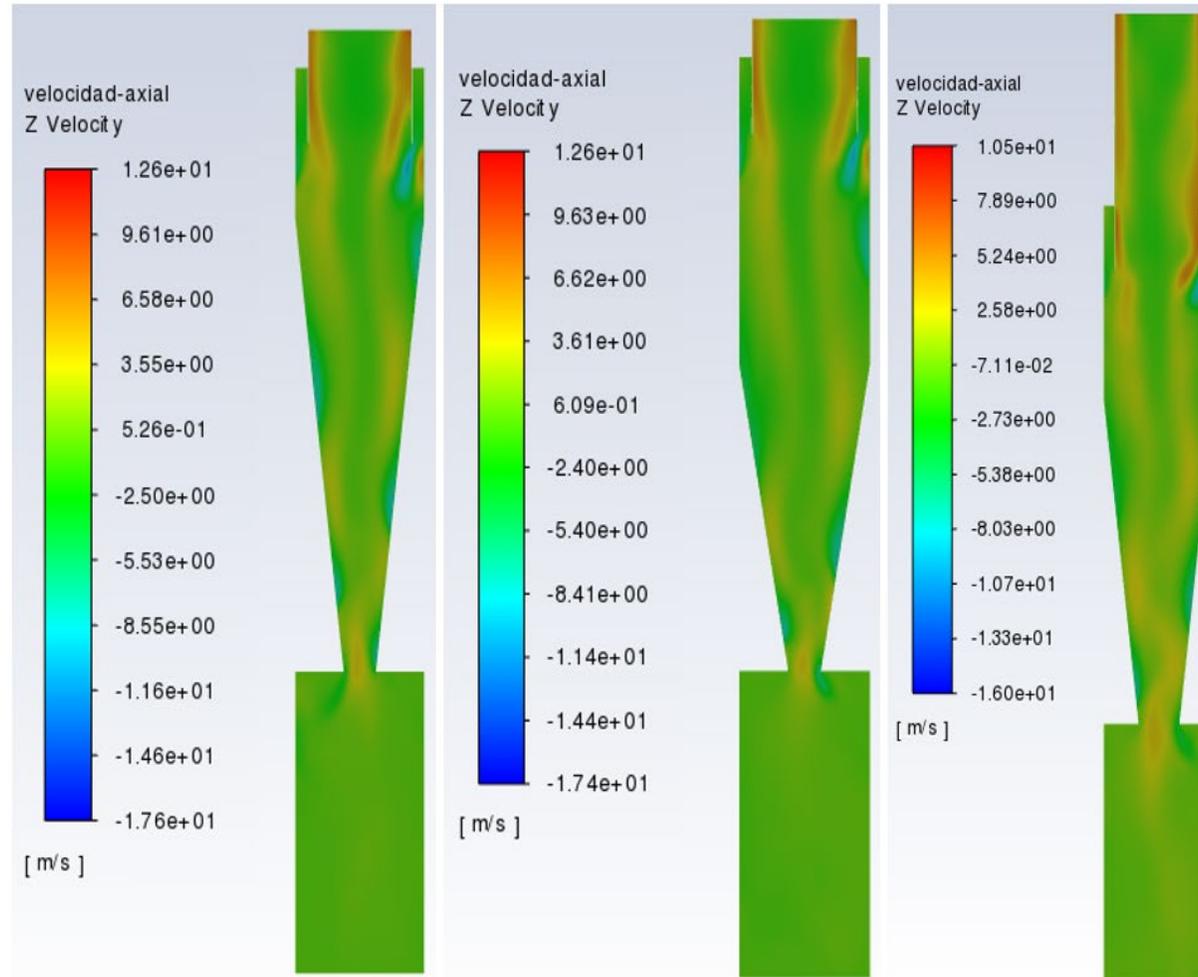


$Dx = 0.1$ m



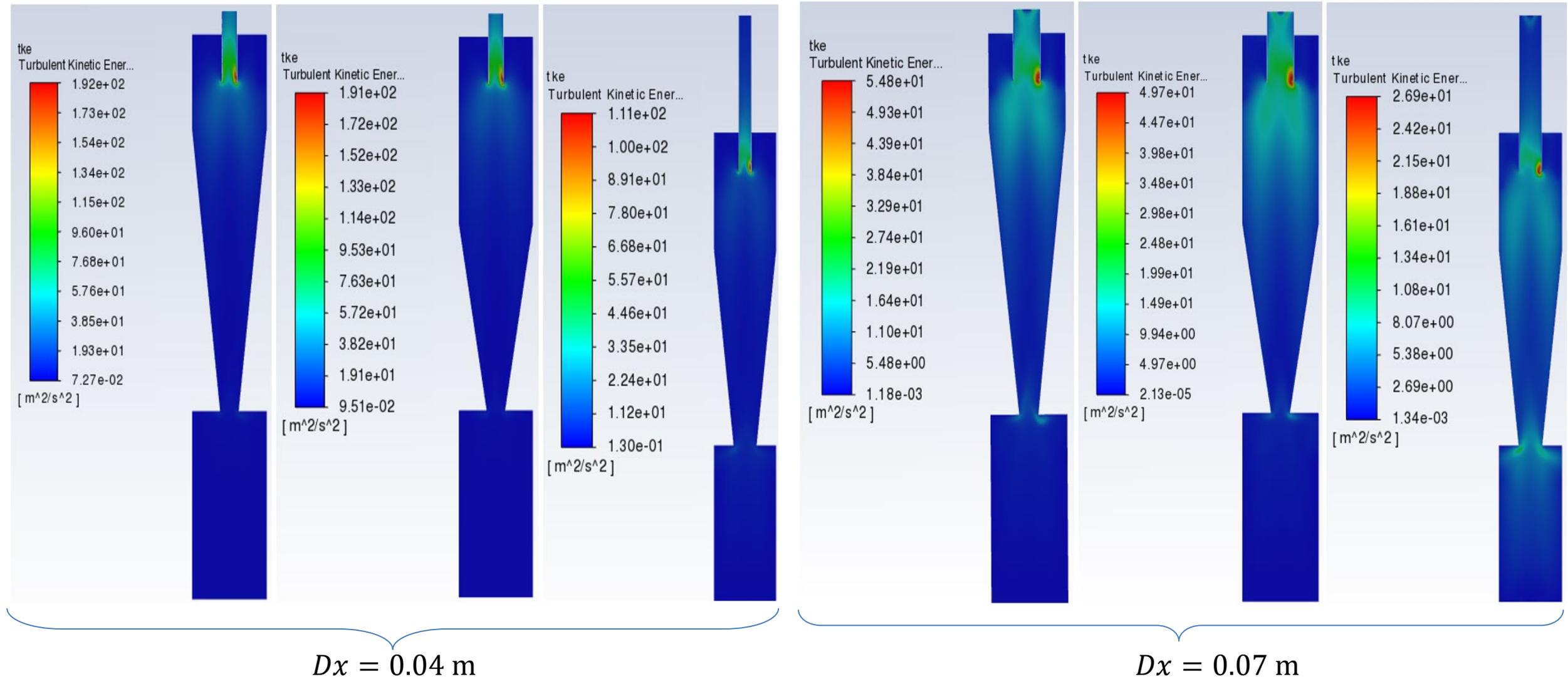
$Dx = 0.13$ m

Contornos de velocidad axial

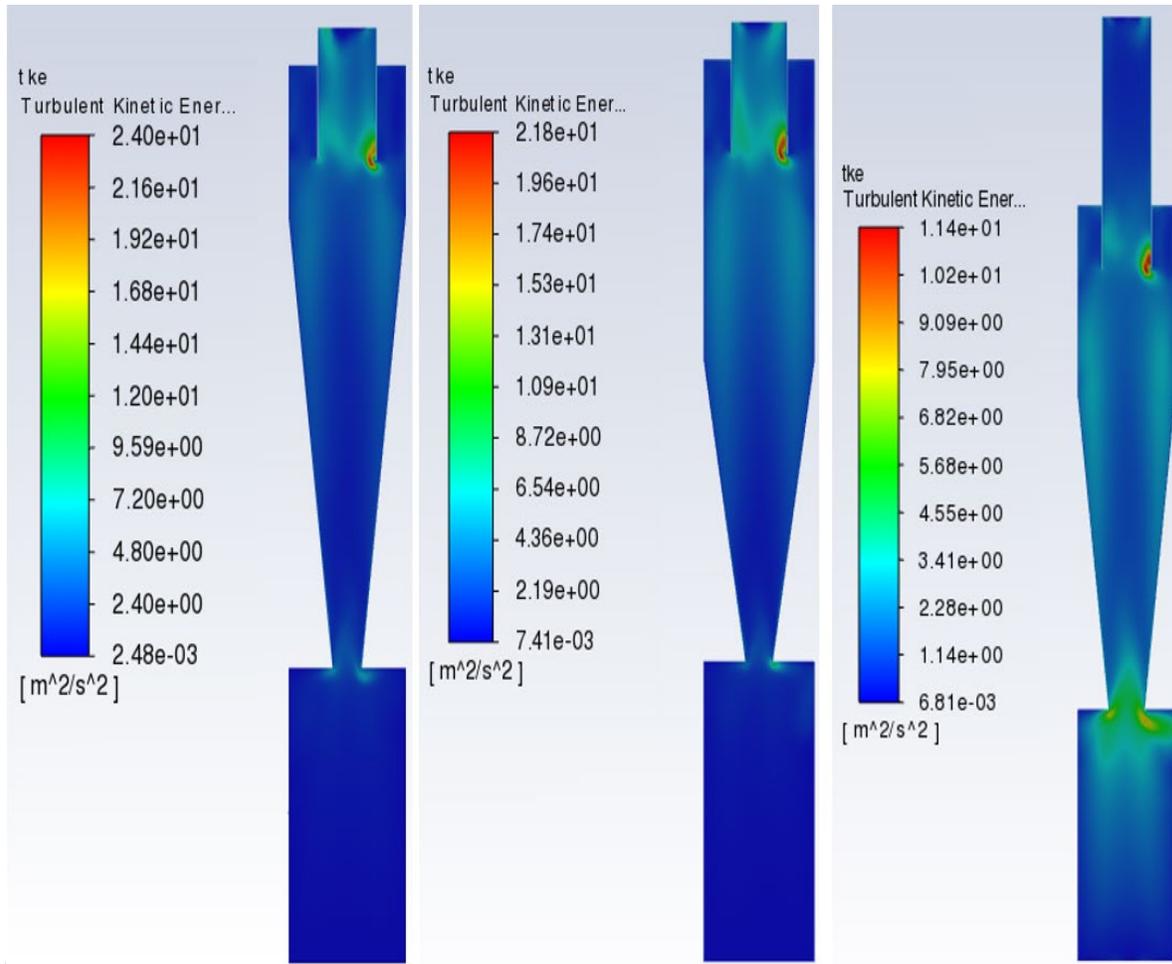


$$Dx = 0.16 \text{ m}$$

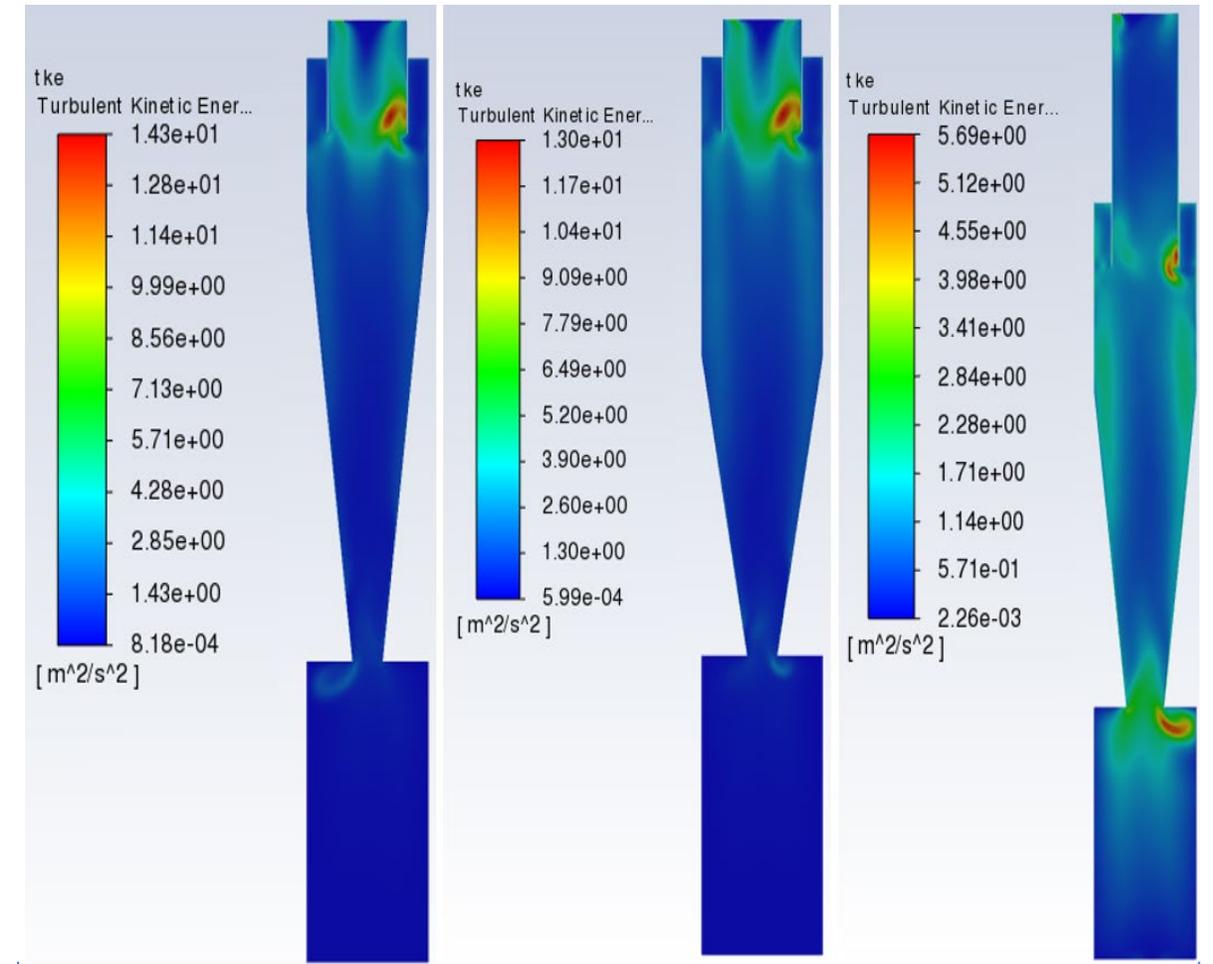
Contornos de TKE



Contornos de TKE

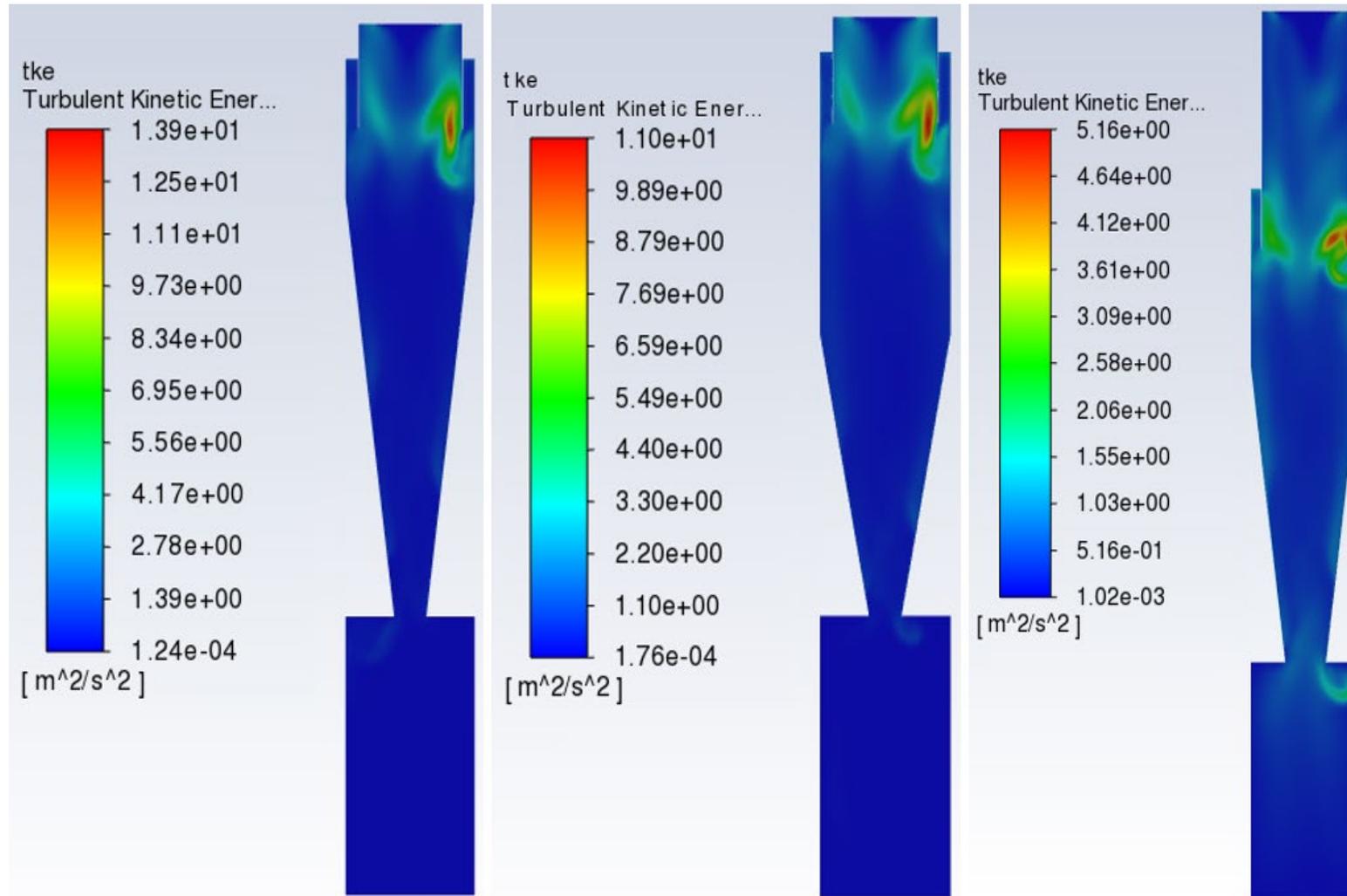


$Dx = 0.10 \text{ m}$



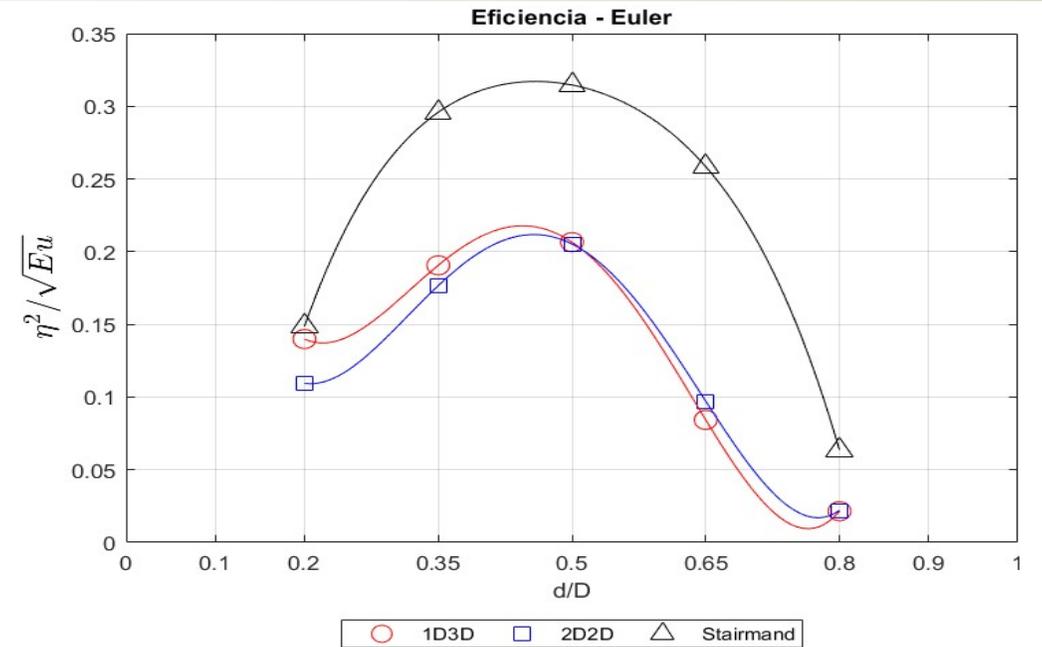
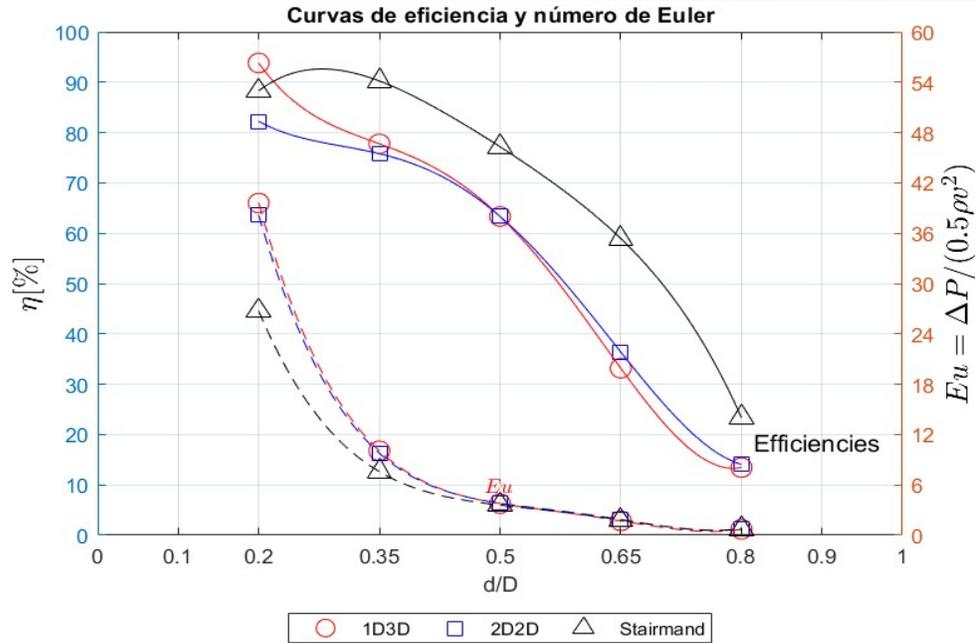
$Dx = 0.13 \text{ m}$

Contornos de TKE



$Dx = 0.16 \text{ m}$

Conclusiones



Relación de diámetros	Eficiencias (η)			Euler (Eu)		
	1D3D	2D2D	Stairmand	1D3D	2D2D	Stairmand
0.2D	93.83	82.23	88.29	39.6028	38.1787	26.7363
0.35D	77.77	75.80	90.25	10.0674	9.7689	7.5768
0.5D	63.32	63.33	77.18	3.7674	3.8167	3.5842
0.65D	33.18	36.4	58.94	1.7062	1.8591	1.8066
0.8D	13.44	14.07	23.36	0.7051	0.8057	0.7367

Modelos	η^2 / \sqrt{Eu}				
	0.20D	0.35D	0.50D	0.65D	0.80D
1D3D	0.13990085	0.19061912	0.20656568	0.08428328	0.02151095
2D2D	0.10943337	0.17662611	0.20529412	0.09717407	0.02205461
Stairmand	0.14864524	0.29590376	0.31464067	0.25846043	0.06357534