



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE MECATRÓNICA

05/08/2026



TRABAJO INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA

“Diseño, construcción y validación numérica de un separador ciclónico para aplicaciones académicas”

**AUTORES: ESTEVEZ BURBANO JAVIER ALDAIR
RAMIREZ LUCIO LUIS ENRIQUE**

DIRECTOR: ING. CALVOPÍÑA ENRÍQUEZ HÉCTOR ALEJANDRO, MGTR.



CONTENIDO

1

- **Capítulo I : Generalidades**
- Antecedentes, Justificación, Alcance y Objetivos

2

- **Capítulo II : Estado del arte**
- Fundamentación teórica, Clasificación y CFD aplicada a ciclones

3

- **Capítulo III : Metodología**
- Modelado geométrico y Configuración CFD, Optimización multiobjetivo

4

- **Capítulo IV : Resultados**
- Construcción y pruebas del prototipo, Comparación CFD-Experimental

5

- **Capítulo V :**
- Conclusiones, Recomendaciones y Trabajos Futuros



Antecedentes

Antecedentes

Justificación

Problema

Objetivos

Fundamentos Teóricos

CFD Aplicada a Ciclones

Metodología Aplicada

Diseño Mecánico

Diseño Electrónico

Pruebas de
Funcionamiento

Comparación CFD-
Experimental

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros

Autor	Aporte principal	Relación con la investigación
Elsayed y Lacor (2010)	Optimización geométrica mediante CFD.	Base para el diseño del ciclón.
Elsayed y Lacor (2013)	Influencia del <i>vortex finder</i> .	Parámetros geométricos críticos.
Brar et al. (2015)	Efecto de la longitud del ciclón.	Optimización dimensional.
Sun et al. (2017)	Optimización multiobjetivo con RSM y CFD.	Metodología similar a la propuesta.
Morin et al. (2020)	Validación experimental y CFD.	Comparación numérica-experimental.
Izadi et al. (2021)	Algoritmos metaheurísticos para optimización.	Optimización multiobjetivo.
Pandey et al. (2022)	Influencia de la geometría del cono.	Diseño geométrico.
Guo et al. (2022)	Optimización del <i>vortex finder</i> .	Mejora del desempeño.
Pandey et al. (2022)	Reducción de erosión y caída de presión.	Diseño eficiente.
Elsayed et al. (2022)	Optimización con LES.	Diseño avanzado mediante CFD.



Justificación e Importancia

Técnica

- Optimización del desempeño de separadores ciclónicos.
- Integración de CFD y optimización multiobjetivo.

Académica

- Desarrollo de un prototipo didáctico.
- Apoyo a prácticas de laboratorio e investigación.

Científica

- Validación entre simulaciones CFD y resultados experimentales.
- Análisis del comportamiento del flujo interno.

Institucional

- Fortalecimiento de la infraestructura experimental.
- Base para futuras investigaciones

Antecedentes

Justificación

Problema

Objetivos

Fundamentos Teóricos

CFD Aplicada a Ciclones

Metodología Aplicada

Diseño Mecánico

Diseño Electrónico

Pruebas de
Funcionamiento

Comparación CFD-
Experimental

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



Planteamiento del Problema

Problema identificado

- El desempeño de los separadores ciclónicos depende significativamente de su geometría y de las condiciones de operación.
- Los diseños convencionales presentan un compromiso entre alta eficiencia de separación y baja caída de presión.
- En el ámbito académico existe una escasez de prototipos experimentales que permitan validar modelos CFD y apoyar el proceso de enseñanza.

Consecuencias

- Dificultad para optimizar el diseño de separadores ciclónicos.
- Limitaciones para validar resultados numéricos mediante experimentación.
- Menores oportunidades para el aprendizaje práctico en ingeniería.

Necesidad

Desarrollar un separador ciclónico optimizado, construido y validado experimentalmente, que integre simulación CFD y optimización multiobjetivo para aplicaciones académicas.

Antecedentes

Justificación

Problema

Objetivos

Fundamentos Teóricos

CFD Aplicada a Ciclones

Metodología Aplicada

Diseño Mecánico

Diseño Electrónico

Pruebas de
Funcionamiento

Comparación CFD-
Experimental

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros

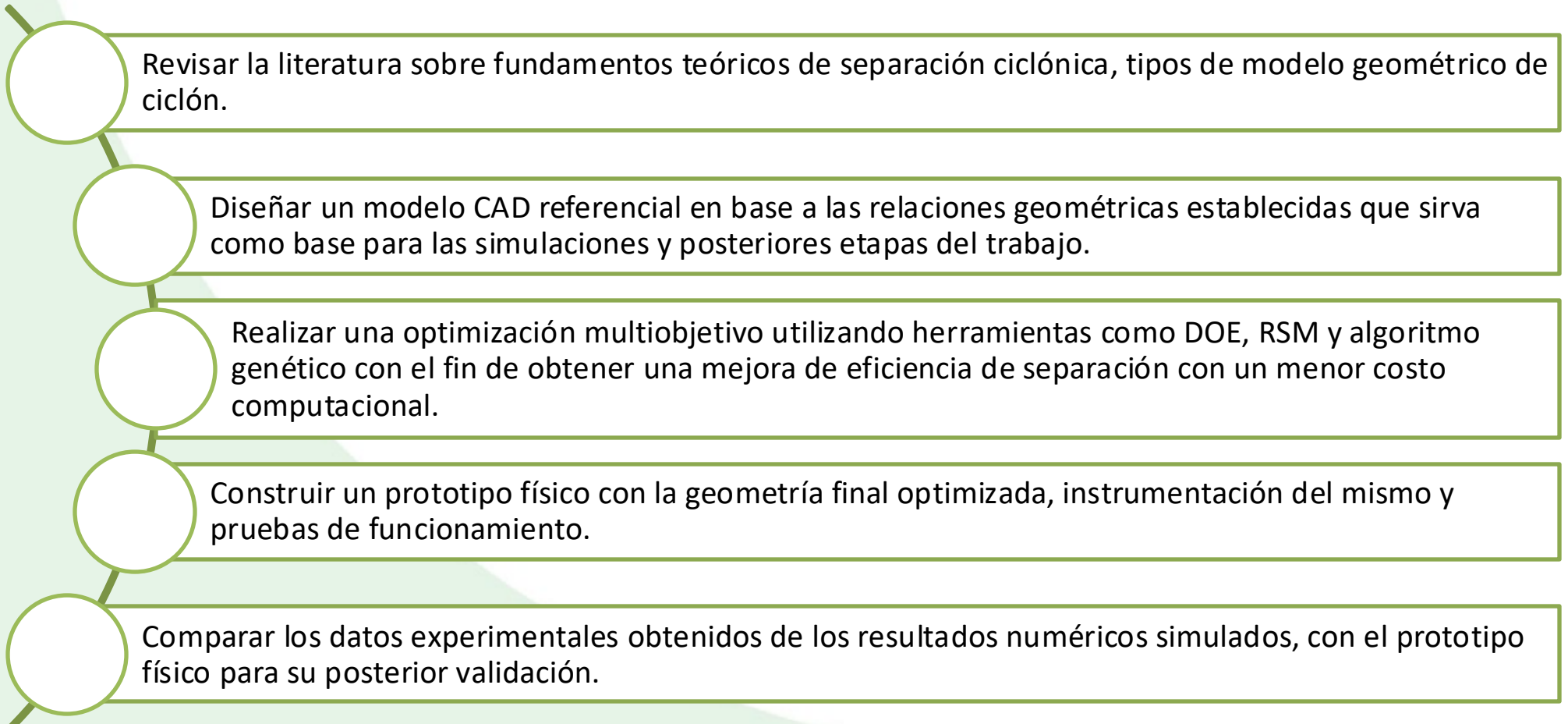


Objetivos

General

Diseñar, optimizar, construir y validar numéricamente un separador ciclónico para aplicaciones académicas.

Específicos



Antecedentes

Justificación

Problema

Objetivos

Fundamentos Teóricos

CFD Aplicada a Ciclones

Metodología Aplicada

Diseño Mecánico

Diseño Electrónico

Pruebas de
Funcionamiento

Comparación CFD-
Experimental

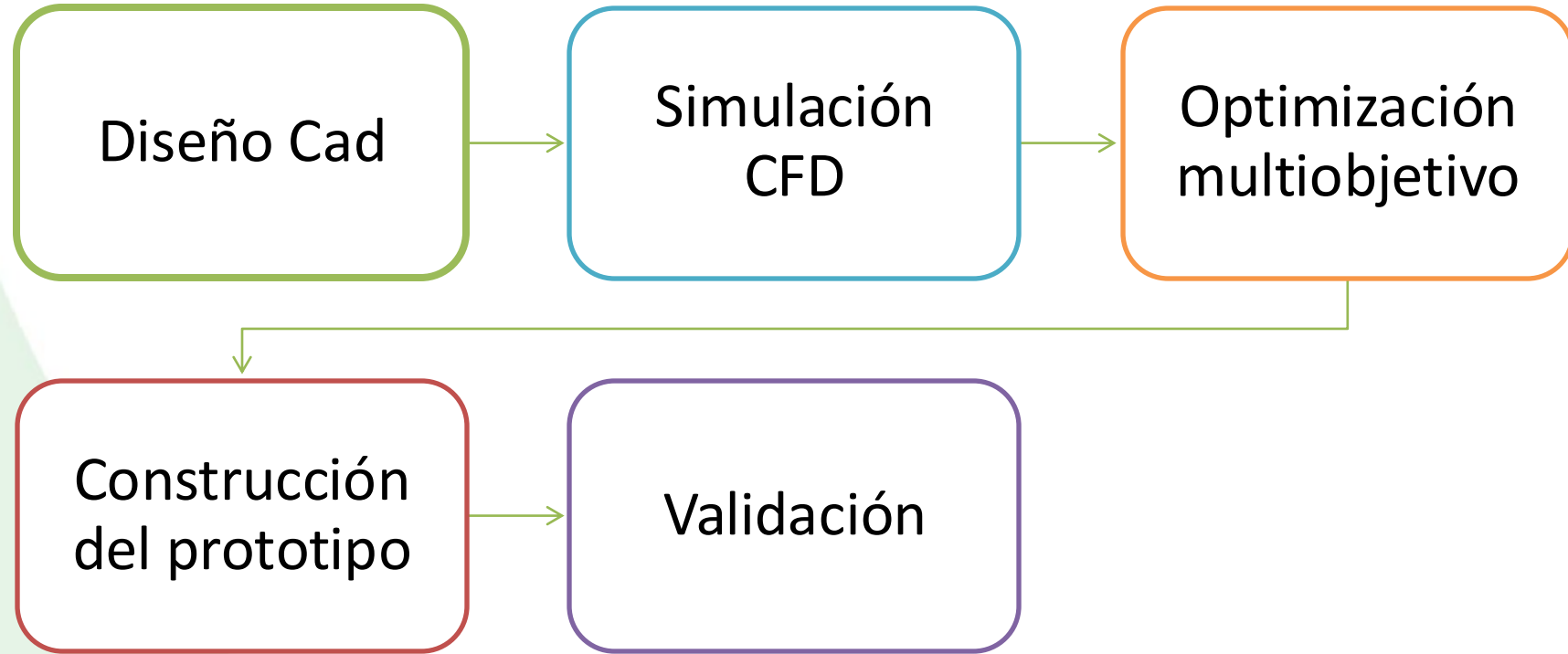
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



Alcance



Limitaciones

- Las pruebas se realizaron bajo condiciones de operación específicas.
- El estudio se enfocó en aplicaciones académicas y no en escalamiento industrial.
- Un solo tipo de partícula.

Antecedentes

Justificación

Problema

Objetivos

Fundamentos Teóricos

CFD Aplicada a Ciclones

Metodología Aplicada

Diseño Mecánico

Diseño Electrónico

Pruebas de
Funcionamiento

Comparación CFD-
Experimental

Conclusiones

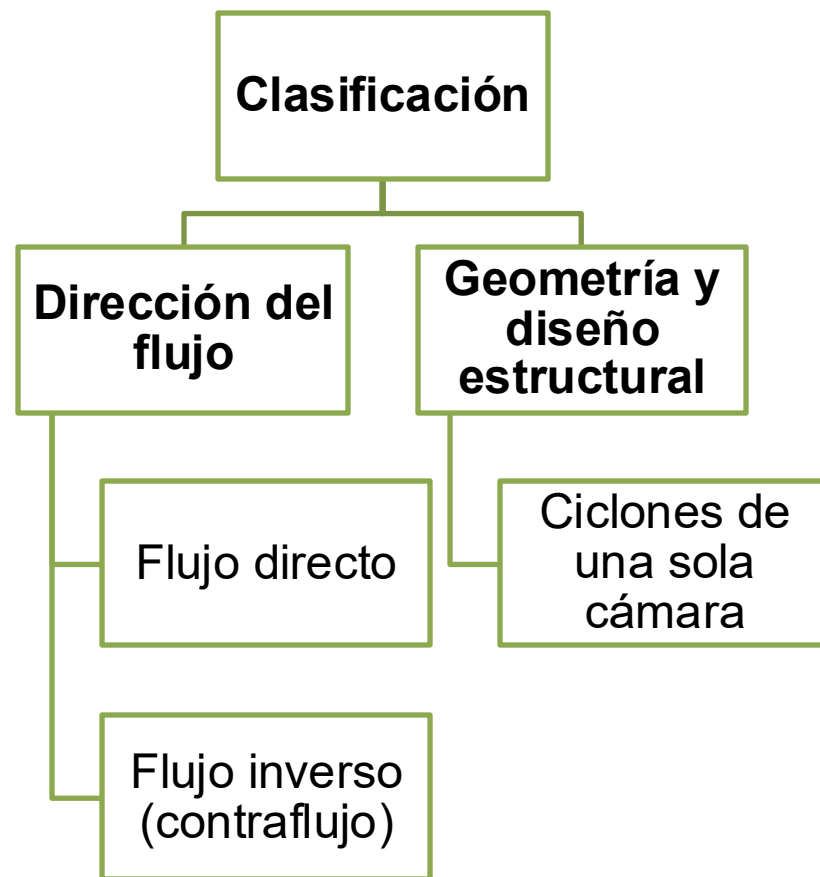
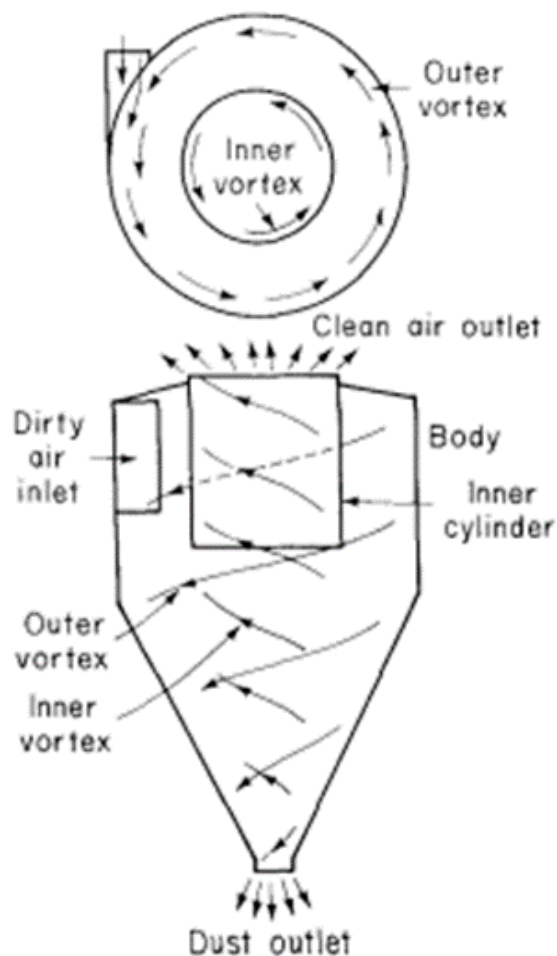
Recomendaciones

Trabajos Futuros



Fundamentos Teóricos y Clasificación

Los separadores ciclónicos son dispositivos mecánicos utilizados para separar partículas sólidas suspendidas en una corriente de gas mediante la acción de la fuerza centrífuga.





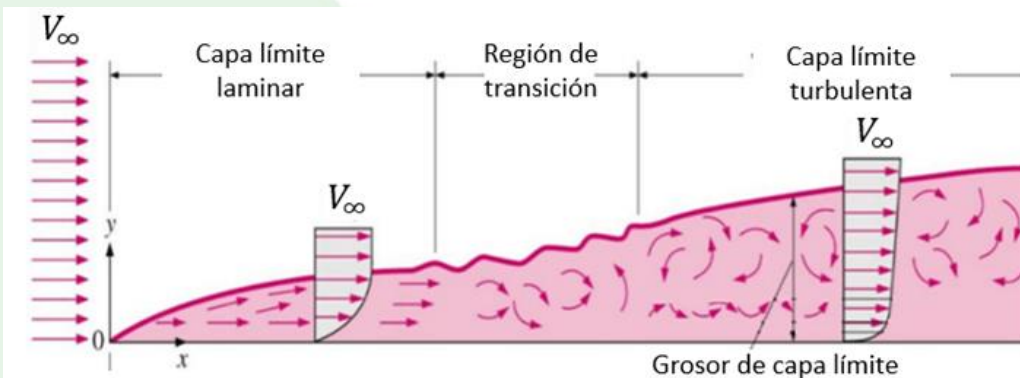
CFD Aplicada a Ciclones

Ecuaciones gobernantes

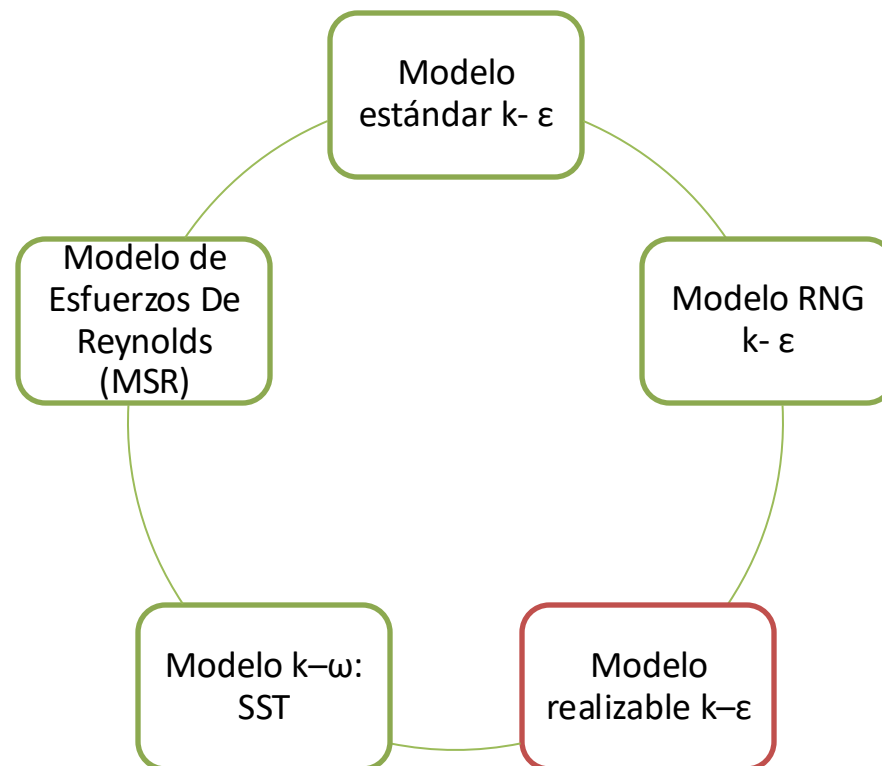
Descomposición de la velocidad instantánea en una media y una componente fluctuante

Navier-Stokes promediadas por Reynolds (RANS)

Capa límite



Modelos de turbulencia



Antecedentes

Justificación

Problema

Objetivos

Fundamentos Teóricos

CFD Aplicada a Ciclones

Metodología Aplicada

Diseño Mecánico

Diseño Electrónico

Pruebas de
Funcionamiento

Comparación CFD-
Experimental

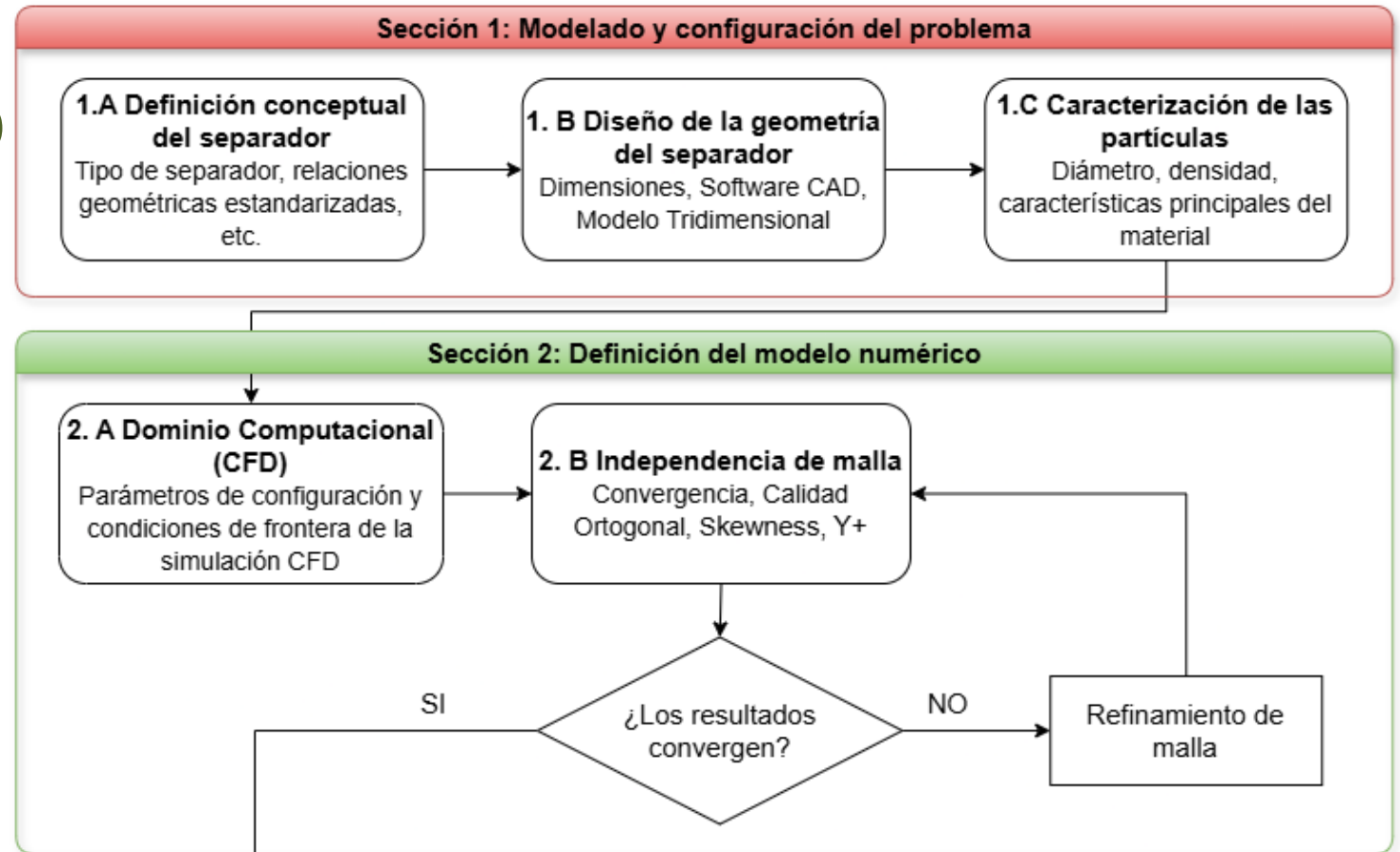
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



Diagrama Metodológico



Antecedentes

Justificación

Problema

Objetivos

Fundamentos Teóricos

CFD Aplicada a Ciclones

Metodología Aplicada

Diseño Mecánico

Diseño Electrónico

Pruebas de
Funcionamiento

Comparación CFD-
Experimental

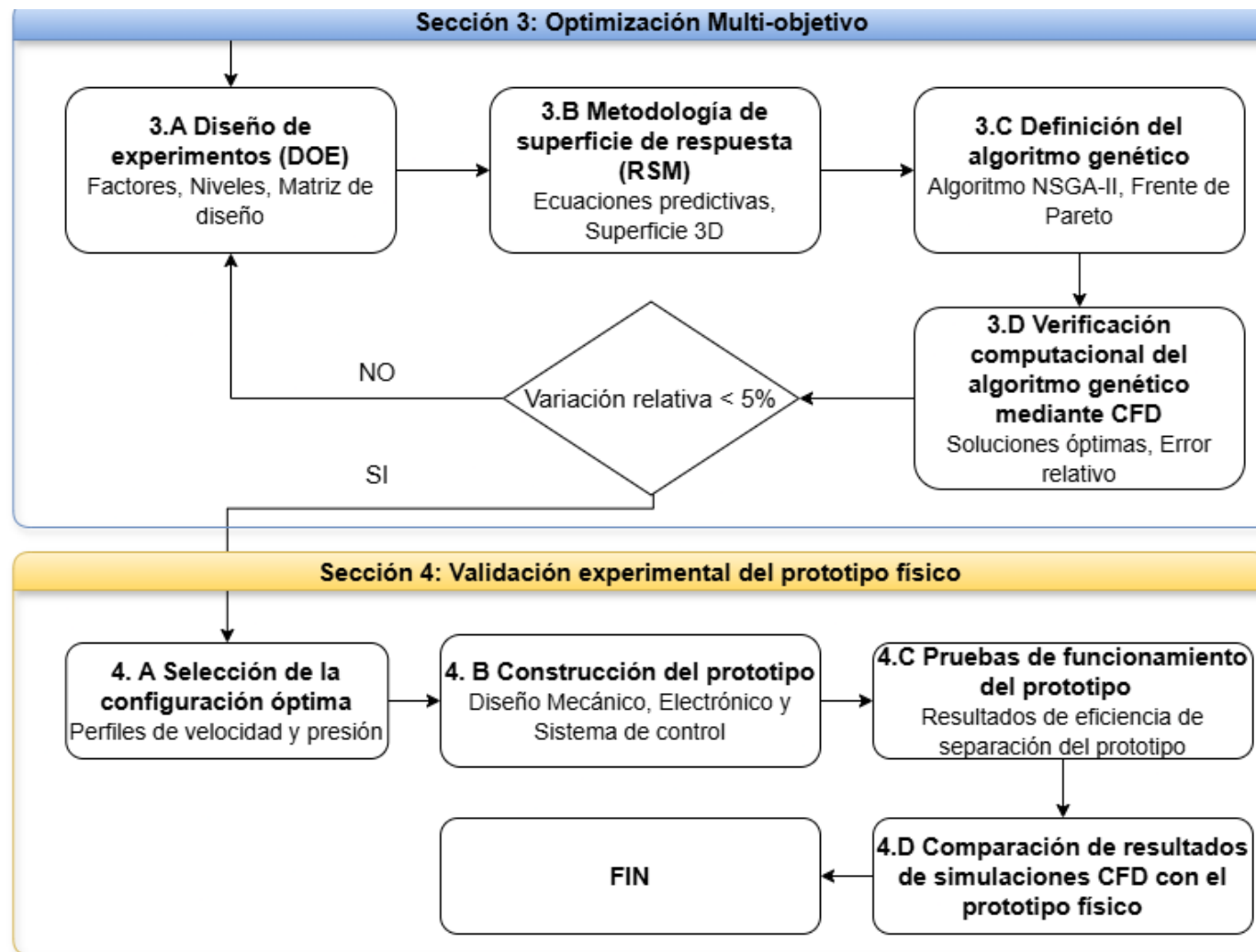
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



Diagrama Metodológico



Antecedentes

Justificación

Problema

Objetivos

Fundamentos Teóricos

CFD Aplicada a Ciclones

Metodología Aplicada

Diseño Mecánico

Diseño Electrónico

Pruebas de
Funcionamiento

Comparación CFD-
Experimental

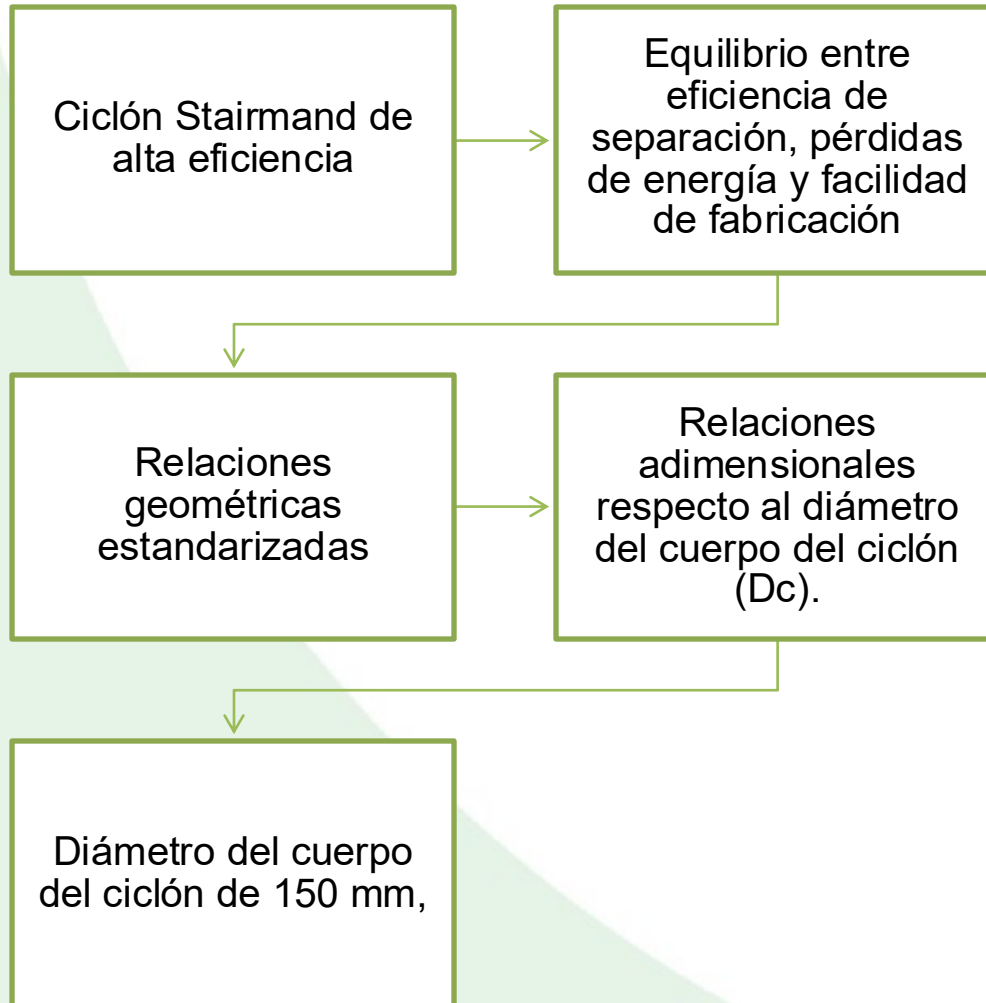
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



Diseño de la geometría separador



Dimensión	Nomenclatura	Ciclón Stairmand
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0
Altura de la entrada	a/Dc	0.5
Ancho de la entrada	b/Dc	0.2
Altura de la salida	Lv/Dc	0.5
Diámetro de la salida	Dv/Dc	0.5
Altura parte cilíndrica	Lc/Dc	1.5
Altura parte cónica	z/Dc	2.5
Altura total del ciclón	H/Dc	4.0
Diámetro salida de partículas	Du/Dc	0.375

Parámetro	Símbolo	Valor (mm)
Diámetro del cuerpo	Dc	150
Altura del tubo de entrada	a	75
Ancho del tubo de entrada	b	30
Longitud del detector de vórtices	Lv	75
Diámetro del detector de vórtices	Dv	75
Longitud de la parte cilíndrica	Lc	225
Longitud del cono	z	375
Altura total del ciclón	H	600
Diámetro de la espiga	Du	56

Antecedentes

Justificación

Problema

Objetivos

Fundamentos Teóricos

CFD Aplicada a Ciclones

Metodología Aplicada

Diseño Mecánico

Diseño Electrónico

Pruebas de
Funcionamiento

Comparación CFD-
Experimental

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



Diseño de la geometría separador

Desarrollo del modelo tridimensional
mediante técnicas CAD



Software Autodesk Inventor



Revisión dimensional para las medidas
coincidan con los valores obtenidos



Se empleó el modelo .step para
generar el dominio computacional
utilizado en las simulaciones mediante
ANSYS



Antecedentes

Justificación

Problema

Objetivos

Fundamentos Teóricos

CFD Aplicada a Ciclones

Metodología Aplicada

Diseño Mecánico

Diseño Electrónico

Pruebas de
Funcionamiento

Comparación CFD-
Experimental

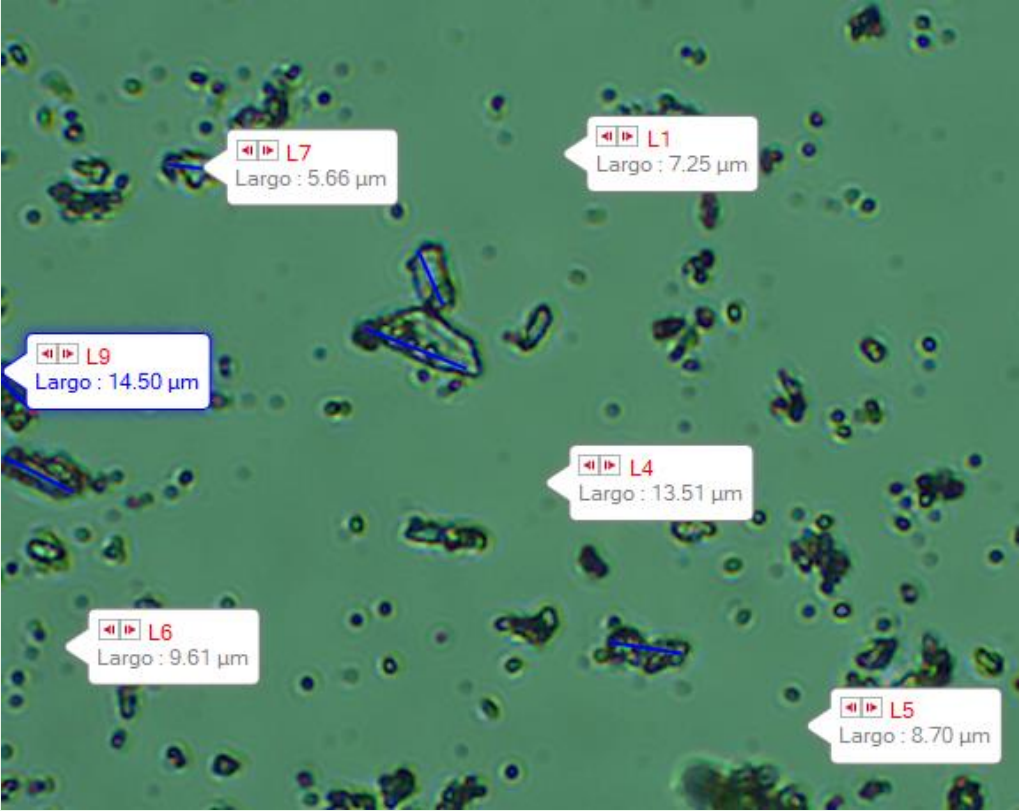
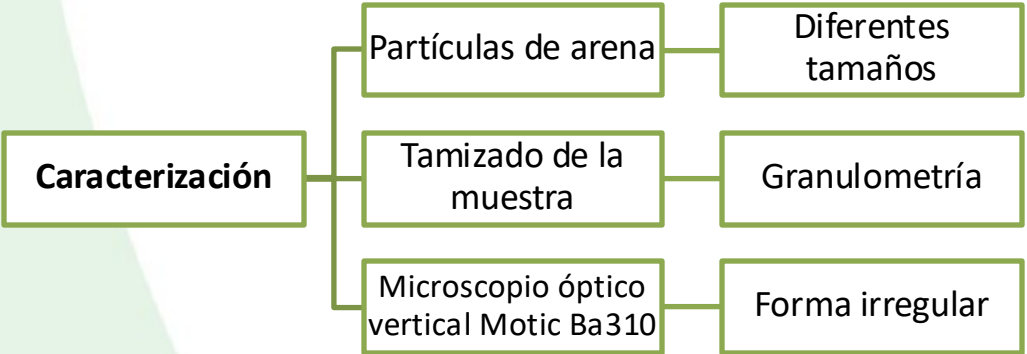
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



Caracterización de las partículas



	Tamaño de partículas muestra 1 (μm)	Tamaño de partículas muestra 2 (μm)
	12.04	14.32
	5.66	9.63
	7.25	10.30
	14.5	5.21
	9.61	7.02
Promedio	13.57	5.57
	10.27	11.7
	8.7	12.5
	4.41	8.19
	9.56	9.38
	9.56	9.38
Promedio Final	9.47	

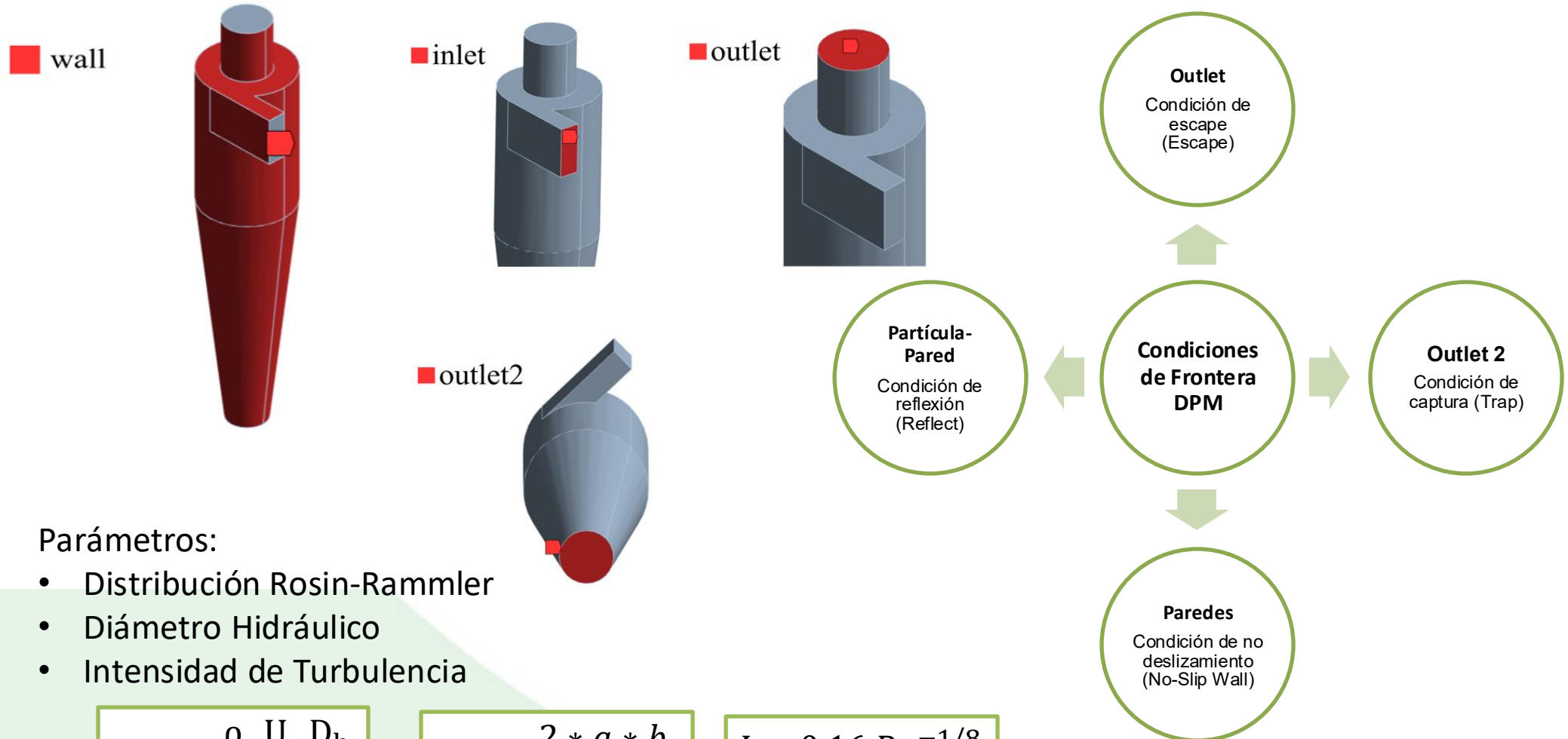
	Masa (kg)	Volumen (m³)	Densidad (Kg/m³)
Prueba 1	0.413	5.09×10^{-4}	813.01
Prueba 2	0.426	5.09×10^{-4}	836.77
Prueba 3	0.414	5.09×10^{-4}	813.21
Prueba 4	0.420	5.09×10^{-4}	824.99
Promedio	821.99		

- Antecedentes
- Justificación
- Problema
- Objetivos
- Fundamentos Teóricos
- CFD Aplicada a Ciclones
- Metodología Aplicada**
- Diseño Mecánico
- Diseño Electrónico
- Pruebas de Funcionamiento
- Comparación CFD-Experimental
- Conclusiones
- Recomendaciones
- Trabajos Futuros



Configuración CFD

Denominación de Secciones



Parámetros:

- Distribución Rosin-Rammler
- Diámetro Hidráulico
- Intensidad de Turbulencia

$$Re = \frac{\rho U D_h}{\mu}$$

$$Dh = \frac{2 * a * b}{a + b}$$

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



Configuración CFD

- Antecedentes
- Justificación
- Problema
- Objetivos
- Fundamentos Teóricos
- CFD Aplicada a Ciclones
- Metodología Aplicada**
- Diseño Mecánico
- Diseño Electrónico
- Pruebas de Funcionamiento
- Comparación CFD-Experimental
- Conclusiones
- Recomendaciones
- Trabajos Futuros

Modelo	Viscoso	$K - \epsilon$ realizable
	Fase discreta	On
Condiciones de frontera de entrada	Velocidad de entrada	14 m/s
	Intensidad de turbulencia	5%
	Diámetro hidráulico	0.043 m
	DPM Type	Reflect

FileDomainPhysicsUser-DefinedS

Mesh

Display...InfoUnits...CheckQualityScale...TransformMake Polyhedra

Outline ViewTask Page

Filter Text

Setup

General

Models

Multiphase (Off)

Energy (Off)

Viscous (SST k-omega)

Radiation (Off)

Heat Exchanger (Off)

Species (Off)

Discrete Phase (On)

Solidification & Melting (Off)

Virtual Blade Model (Off)

Acoustics (Off)

Structure (Off)

Eulerian Wall Film (Off)

Potential/Electrochemistry (Off)

Battery Model (Off)

Materials

Motion Definitions

Cell Zone Conditions

General

Mesh

Solver

Time

Gravitational Acceleration

Scale...Check...Display...Units...

Type

Pressure-BasedDensity-Based

SteadyTransient

Gravity

X [m/s²] 0

Y [m/s²] -9.81

Z [m/s²] 0

Viscous Model

Model

Model Constants

k-epsilon Model

Near-Wall Treatment

Options

User-Defined Functions

Prandtl Numbers

OKCancelHelp

Quick

Turbomac

Mesh

es information



Independencia de Malla



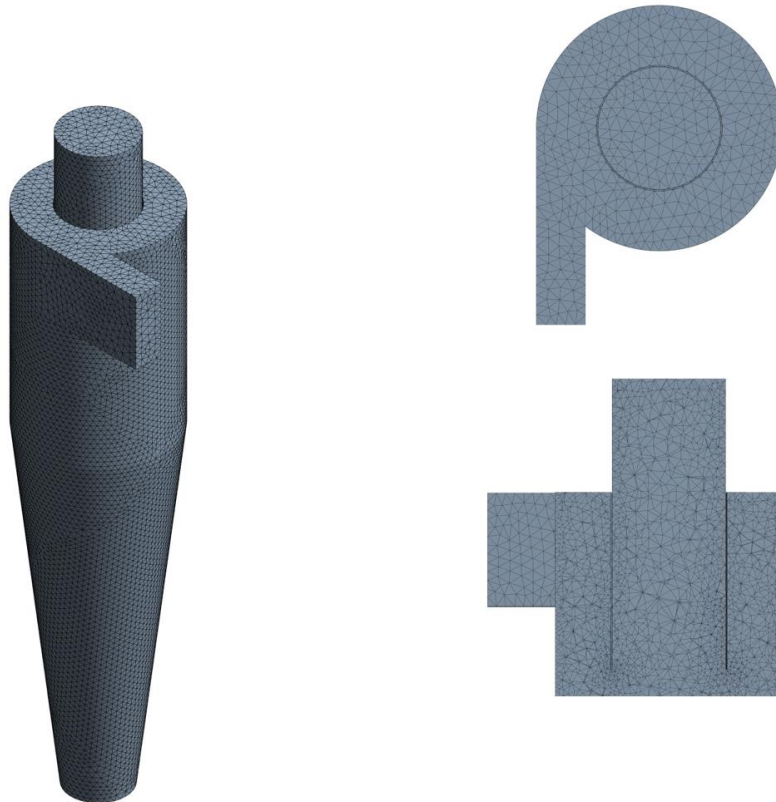
Diferentes
niveles de
refinamiento

Variables de
respuesta

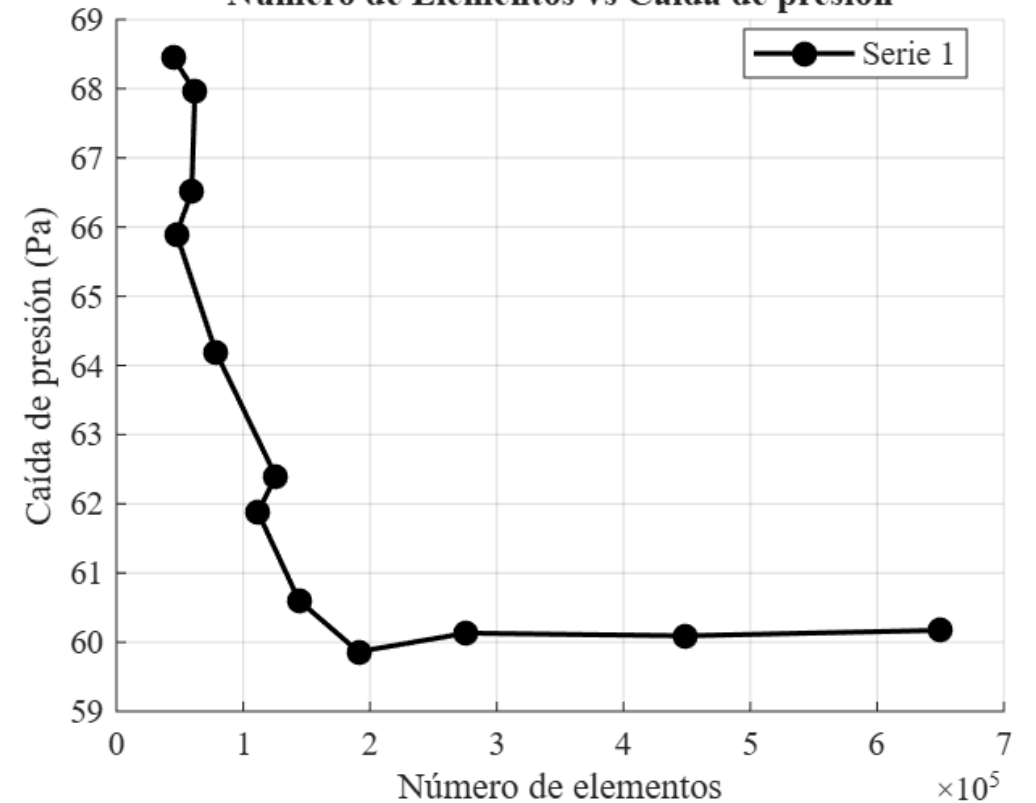
Tetraédrico

Número de
elementos

Convergencia



Número de Elementos vs Caída de presión



Antecedentes

Justificación

Problema

Objetivos

Fundamentos Teóricos

CFD Aplicada a Ciclones

Metodología Aplicada

Diseño Mecánico

Diseño Electrónico

Pruebas de
Funcionamiento

Comparación CFD-
Experimental

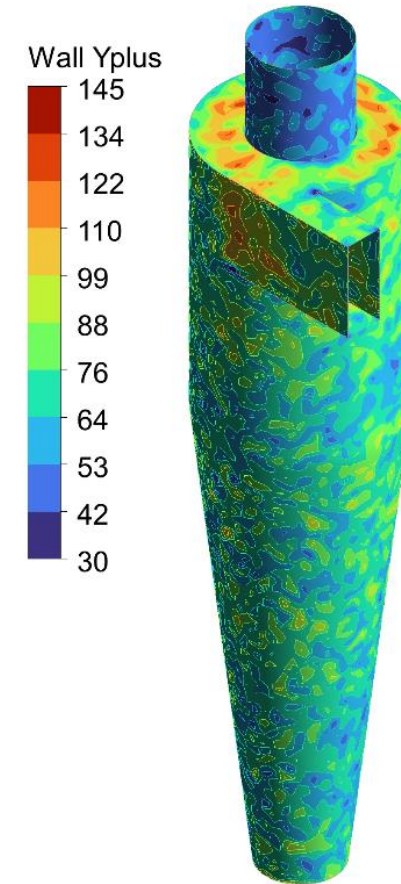
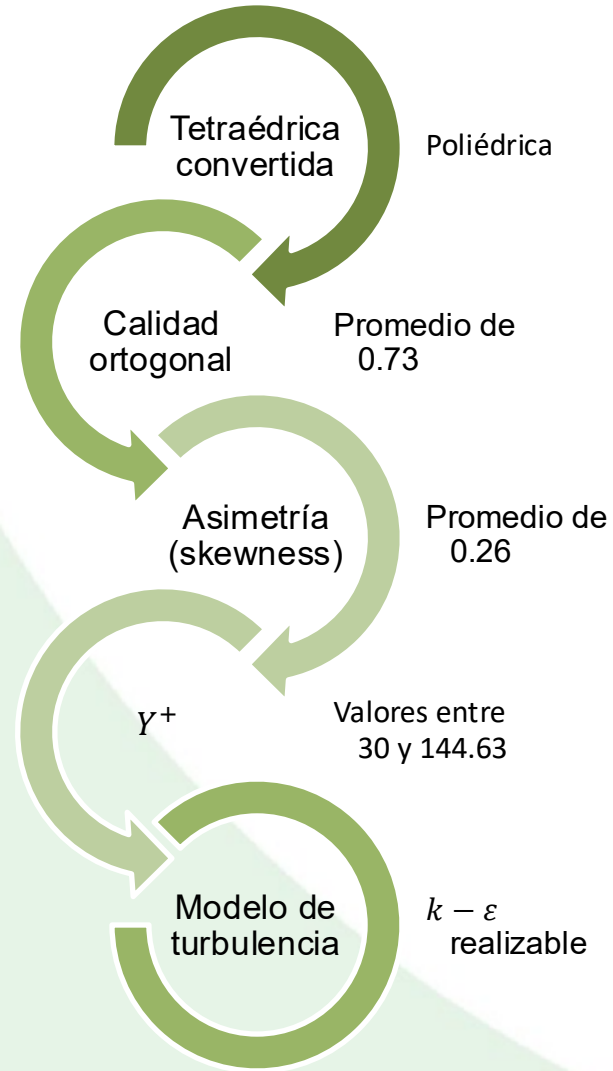
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



Independencia de Malla



Skewness mesh metrics spectrum:

Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Orthogonal Quality mesh metrics spectrum:

Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

Antecedentes

Justificación

Problema

Objetivos

Fundamentos Teóricos

CFD Aplicada a Ciclones

Metodología Aplicada

Diseño Mecánico

Diseño Electrónico

Pruebas de
Funcionamiento

Comparación CFD-
Experimental

Conclusiones

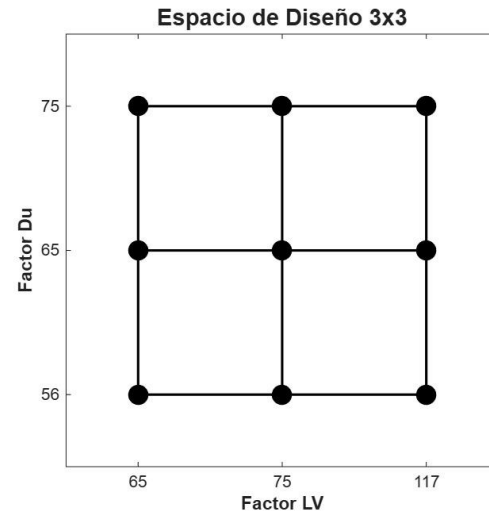
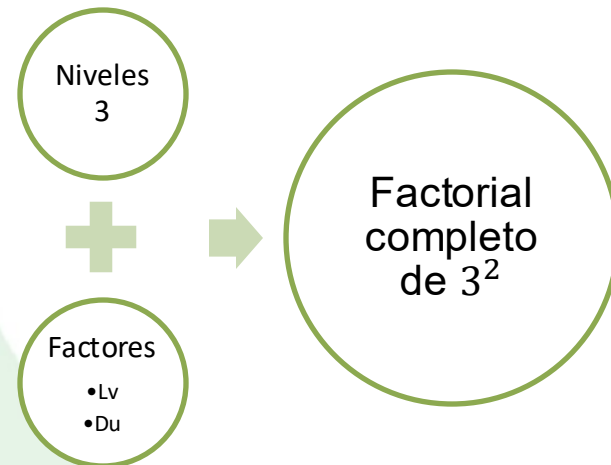
Recomendaciones

Trabajos Futuros

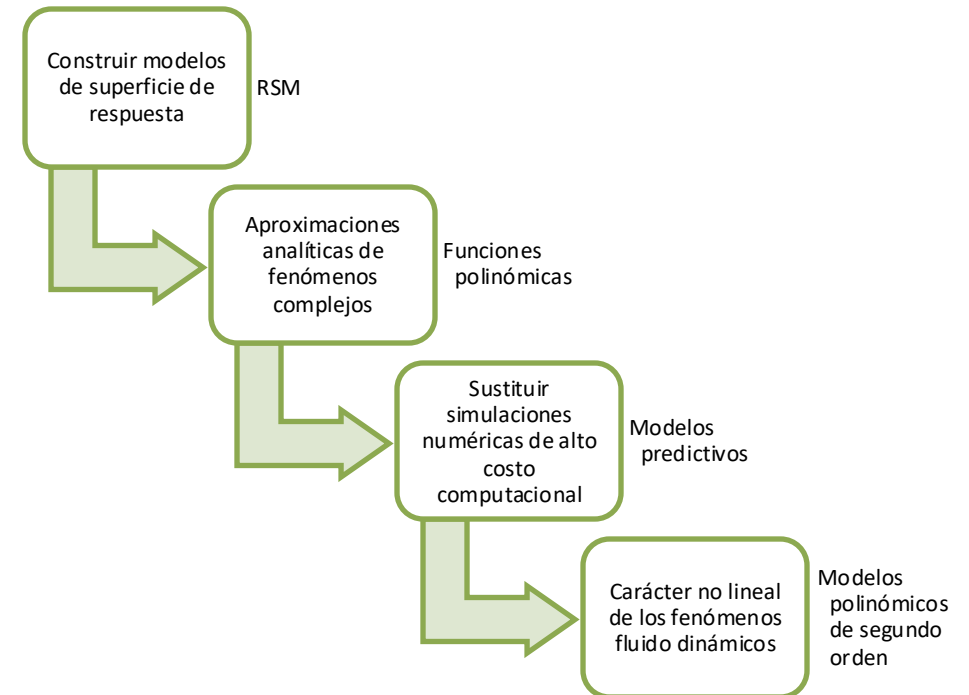


Optimización Multiobjetivo

Diseño de Experimentos (DOE)



Metodología de Superficie de Respuesta (RSM)



$$\eta = 93.8267 + 0.3581L_{v,norm} + 2.1184D_{u,norm} - 0.3689L_{v,norm}^2 - 0.4082L_{v,norm}D_{u,norm} - 0.0945D_{u,norm}^2$$

$$\Delta P = 82.6784 - 0.0601L_{v,norm} + 9.0051D_{u,norm} - 0.1782L_{v,norm}^2 + 0.1120L_{v,norm}D_{u,norm} - 0.0736D_{u,norm}^2$$

Antecedentes

Justificación

Problema

Objetivos

Fundamentos Teóricos

CFD Aplicada a Ciclones

Metodología Aplicada

Diseño Mecánico

Diseño Electrónico

Pruebas de
Funcionamiento

Comparación CFD-
Experimental

Conclusiones

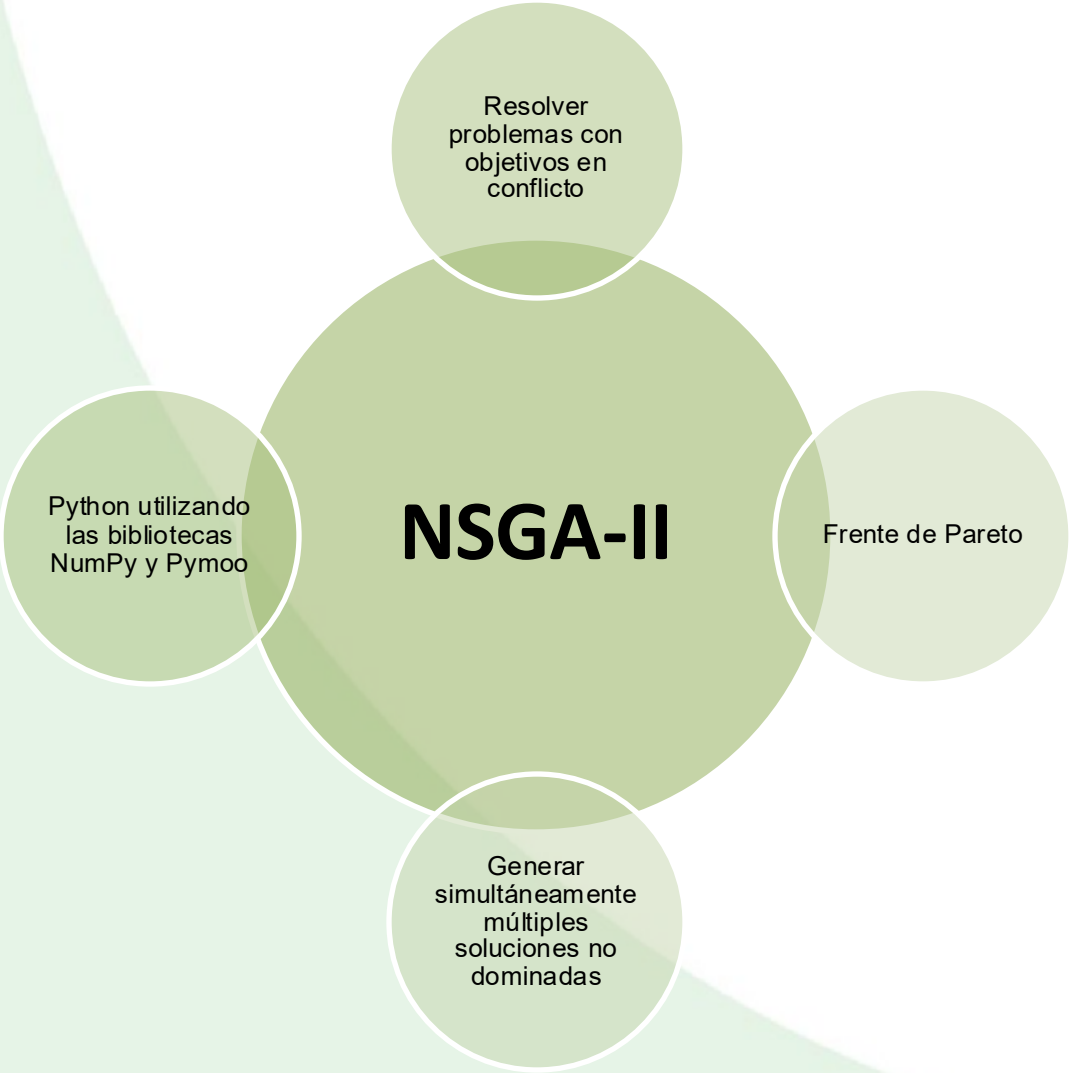
Recomendaciones

Trabajos Futuros



Optimización Multiobjetivo

Algoritmo Genético NSGA-II



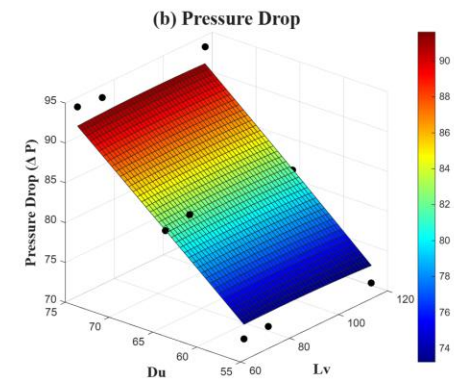
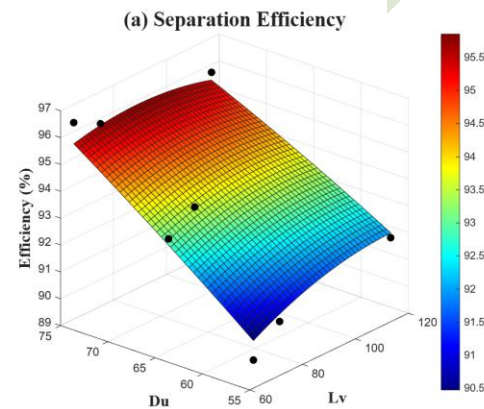
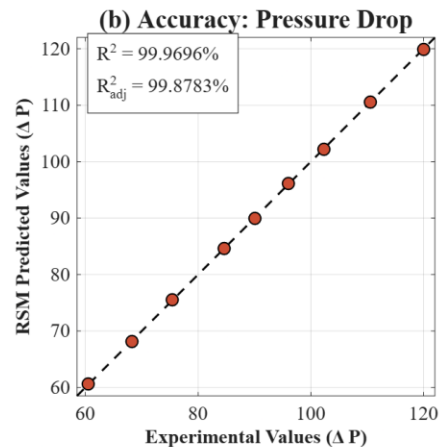
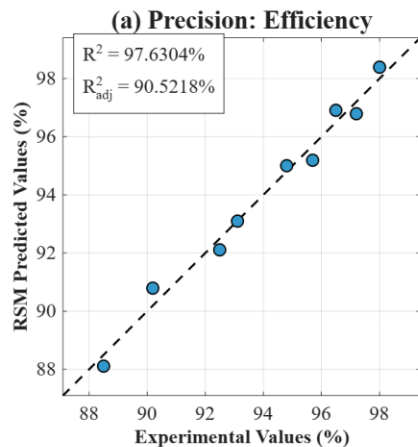
Parámetros	Descripción técnica y parametrización
Objetivos	Minimización de la pérdida de carga y maximización de la eficiencia de recolección
Dimensión poblacional	1000 soluciones geométricas evaluadas concurrentemente por ciclo.
Condición de finalización	A lo largo de 500 generaciones sucesivas.
Variables de decisión	parámetros continuos: Longitud de buscador de vórtices (<u>L_v</u>) y diámetro de la espiga inferior (<u>D_u</u>).
Intervalo de búsqueda	Intervalo operativo para el buscador: [65, 117] mm / Intervalo operativo para la descarga: [56, 75] mm
Estrategia de inicialización	Generación de la población base mediante muestreo por hipercubo Latino (LHS) para asegurar una dispersión homogénea.
Recombinación genética (Crossover)	Operador de cruce binario simulado (SBX) configurado con una probabilidad del 90% e índice de distribución de 15 [24], [26].
Alteración paramétrica (Mutación)	Operador de mutación polinómica (PM) aplicado con una probabilidad del 20% en índice de distribución de 20 [24], [25].

- Antecedentes
- Justificación
- Problema
- Objetivos
- Fundamentos Teóricos
- CFD Aplicada a Ciclones
- Metodología Aplicada**
- Diseño Mecánico
- Diseño Electrónico
- Pruebas de Funcionamiento
- Comparación CFD-Experimental
- Conclusiones
- Recomendaciones
- Trabajos Futuros



Optimización Multiobjetivo

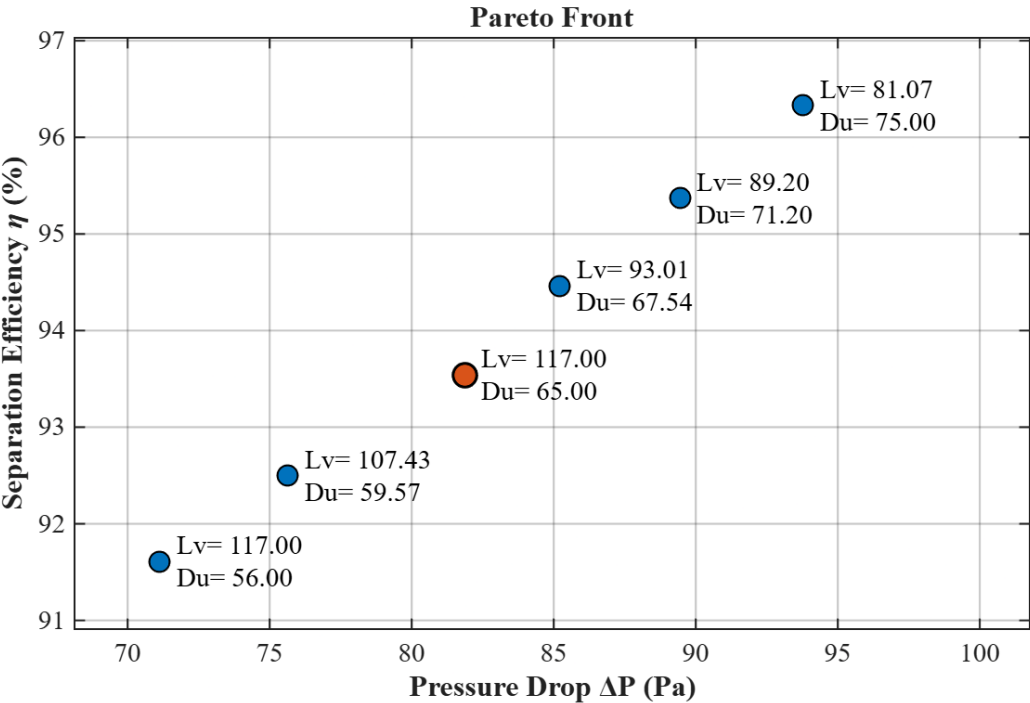
Validación estadística del modelo y Superficies
Predichas





Optimización Multiobjetivo

Frente de Pareto



Los modelos de segundo orden se utilizaron como funciones objetivo dentro del algoritmo NSGA-II

Se evaluó miles de soluciones potenciales y aplicó mecanismos de selección, cruce y mutación

Cada punto del frente corresponde a una geometría factible

Verificación computacional del NSGA-II con CFD

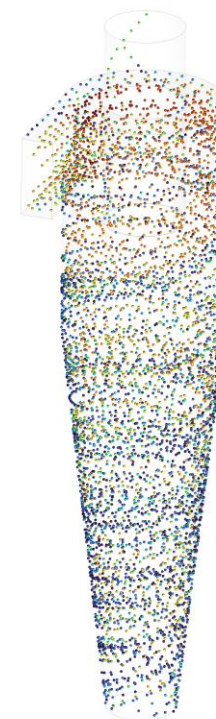
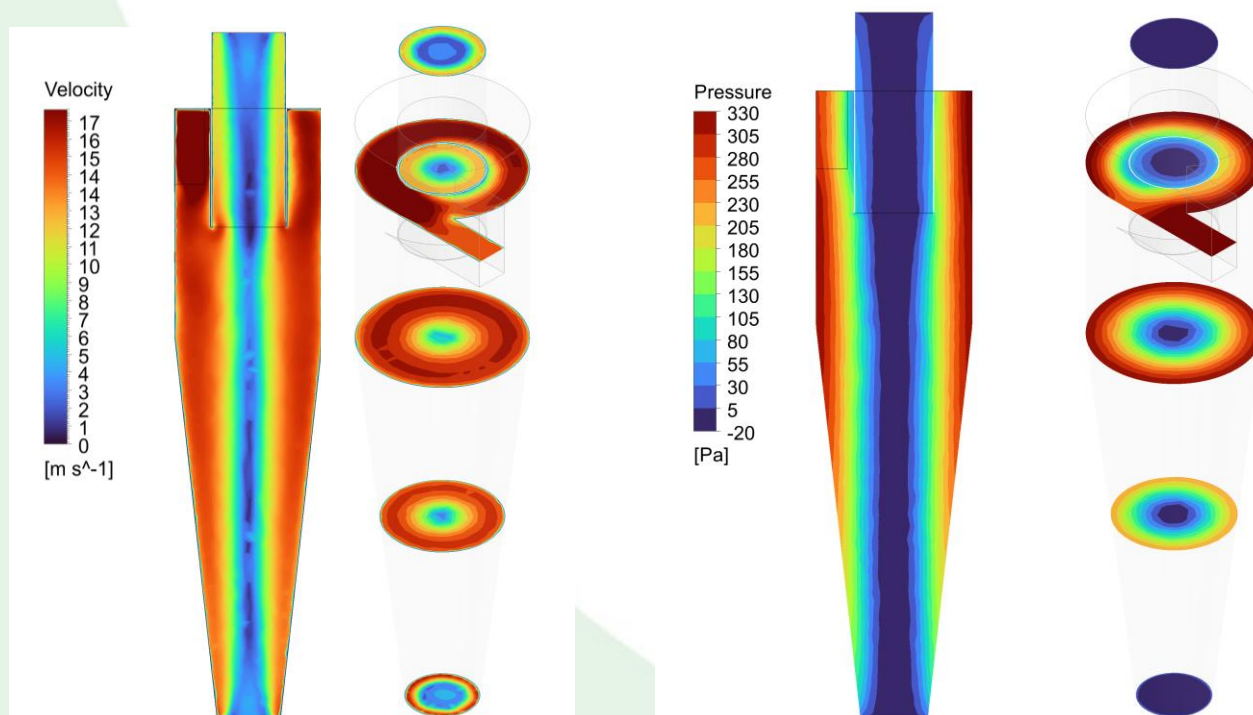
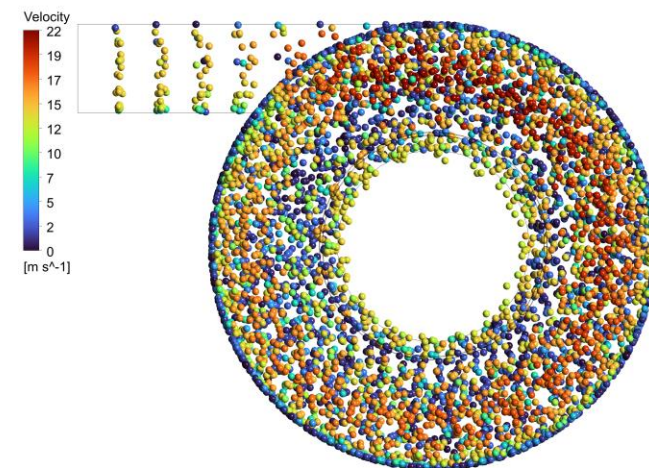
Lv	Du	Eficiencia NSGA-II (%)	Eficiencia simulación CFD (%)	Variación relativa eficiencia (%)	Caída de presión NSGA-II (Pa)	Caída de presión simulación CFD (Pa)	Variación relativa caída de presión (%)
117.00	56.00	91.61	91.84	0.25	71.13	71.01	0.17
107.43	59.57	92.50	91.45	1.15	75.64	75.62	0.03
117.00	65.00	93.54	93.00	0.58	81.86	81.87	0.01
93.01	67.54	94.46	93.57	0.95	85.20	84.60	0.71
89.20	71.20	95.37	94.78	0.62	89.44	88.91	0.60
81.07	75.00	96.33	96.18	0.16	93.76	93.46	0.32

- Antecedentes
- Justificación
- Problema
- Objetivos
- Fundamentos Teóricos
- CFD Aplicada a Ciclones
- Metodología Aplicada**
- Diseño Mecánico
- Diseño Electrónico
- Pruebas de Funcionamiento
- Comparación CFD-Experimental
- Conclusiones
- Recomendaciones
- Trabajos Futuros



CFD configuración óptima

Se seleccionó la configuración $L_v = 117$ y $D_u = 65$ mm debido a que representa la mejor solución de compromiso entre ambos objetivos



Antecedentes

Justificación

Problema

Objetivos

Fundamentos Teóricos

CFD Aplicada a Ciclones

Metodología Aplicada

Diseño Mecánico

Diseño Electrónico

Pruebas de
Funcionamiento

Comparación CFD-
Experimental

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



Construcción del prototipo

Diseño Mecánico

Acero ASTM A36 de 1.4 mm

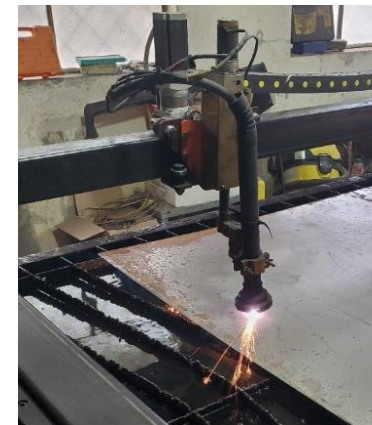
Corte por plasma CNC en chapa metálica

Unión por soldadura de tipo MIG

Proceso de acabado para las superficies,
pulido

Pruebas de hermeticidad y posterior
resoldadura

Tratamiento de pintura electroestática



Antecedentes

Justificación

Problema

Objetivos

Fundamentos Teóricos

CFD Aplicada a Ciclones

Metodología Aplicada

Diseño Mecánico

Diseño Electrónico

Pruebas de
Funcionamiento

Comparación CFD-
Experimental

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



Construcción del prototipo

Diseño Mecánico

Antecedentes

Justificación

Problema

Objetivos

Fundamentos Teóricos

CFD Aplicada a Ciclones

Metodología Aplicada

Diseño Mecánico

Diseño Electrónico

Pruebas de
Funcionamiento

Comparación CFD-
Experimental

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



Prototipo físico final





Construcción del prototipo

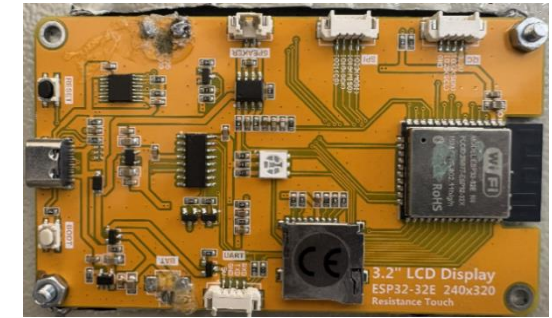
Diseño Electrónico y Sistema de Control

Unidad central de procesamiento e interfaz HMI

ESP-WROOM-32



Pantalla HMI con ESP32-S2



Subsistema de instrumentación y adquisición de datos

Anemómetro digital modelo UT363



Celda de Carga y Módulo Acondicionador HX711



1Kg

HX711

Antecedentes

Justificación

Problema

Objetivos

Fundamentos Teóricos

CFD Aplicada a Ciclones

Metodología Aplicada

Diseño Mecánico

Diseño Electrónico

Pruebas de

Funcionamiento

Comparación CFD-

Experimental

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



Construcción del prototipo

Diseño Electrónico y Sistema de Control

Elementos de Mando y Señalización

Selector de 2 posiciones



Pulsador parado de emergencia



Luces piloto



Etapas de Actuación y Potencia

Módulo de Relés



Actuador Motor de Succión (Aspiradora)

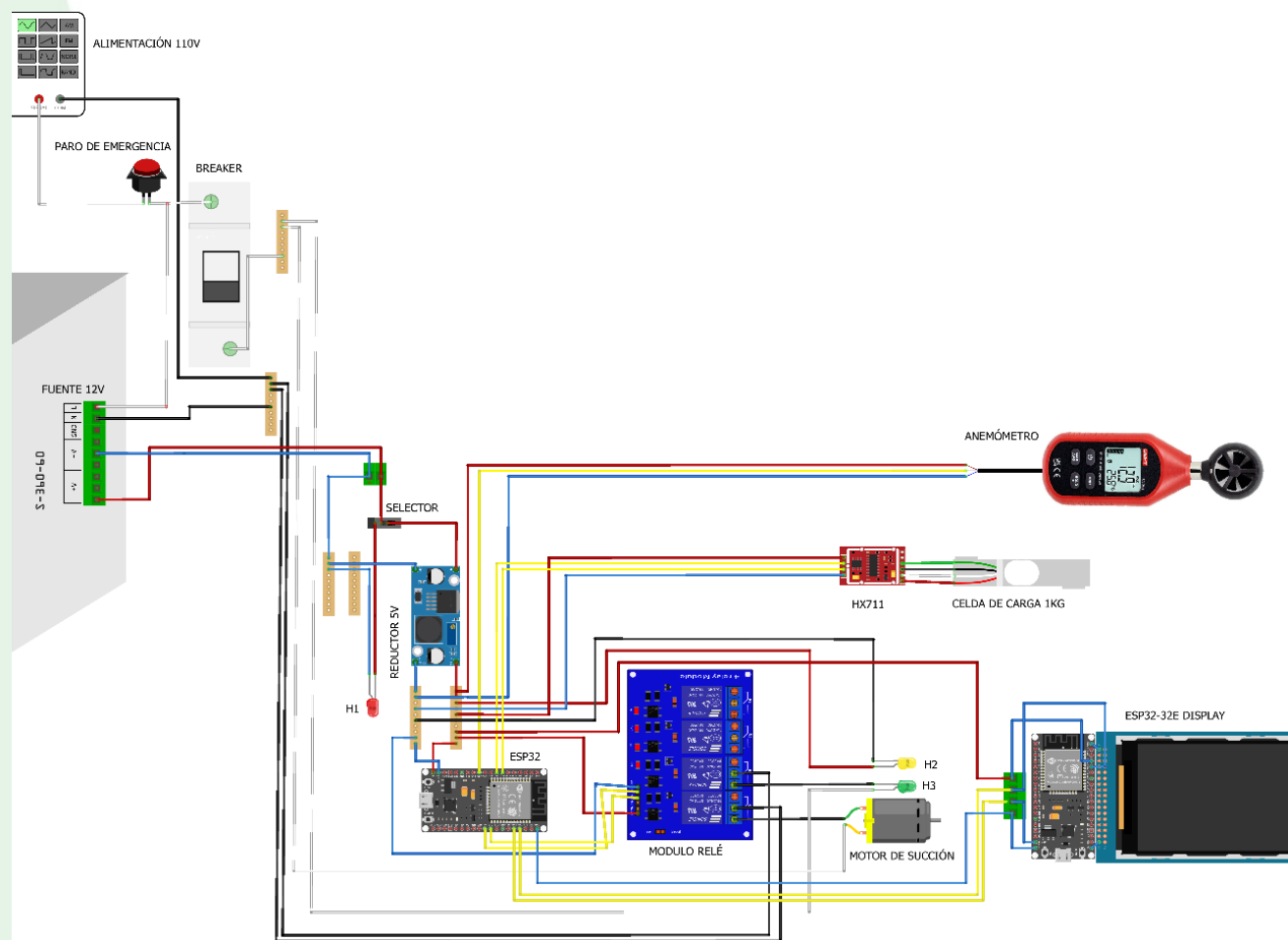




Construcción del prototipo

Esquema de Interconexión Eléctrica y Electrónica

Consumo Energético



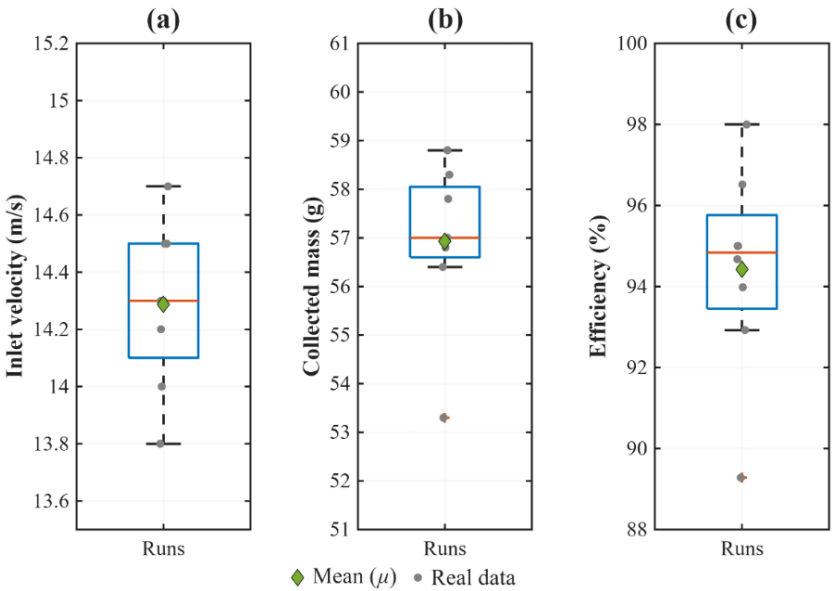


Construcción del prototipo

Pruebas de funcionamiento del prototipo

- Antecedentes
- Justificación
- Problema
- Objetivos
- Fundamentos Teóricos
- CFD Aplicada a Ciclones
- Metodología Aplicada
- Diseño Mecánico
- Diseño Electrónico
- Pruebas de Funcionamiento**
- Comparación CFD-Experimental
- Conclusiones
- Recomendaciones
- Trabajos Futuros

Prueba	Velocidad entrada (m/s)	Masa de entrada (g)	Masa colectada (g)	Eficiencia (%)
1	14.50	59.70	53.30	89.29
2	14.30	61.50	57.80	93.98
3	14.70	60.00	57.00	95.00
4	14.00	60.00	56.80	94.67
5	13.80	60.40	58.30	96.52
6	14.20	60.70	56.40	92.92
7	14.50	60.00	58.80	98.00
8	14.30	60.00	57.00	95.00
Promedio	14.20		56.93	94.42
Desviación estándar.	0.29		1.67	2.59





Comparación CFD-Experimental

- Error porcentual del 1.51% entre la eficiencia obtenida de forma experimental y la predicha por la simulación CFD
- Diferencia entre resultados numéricos - experimentales inferior al 5%
- Los valores corroboran la efectividad de los modelos sustitutos basados en la metodología aplicada
- Replicaron con exactitud el vínculo entre los parámetros de diseño y las variables de respuesta.

Parámetro	Simulación CFD	Prototipo físico
Velocidad de entrada (m/s)	14	14.2
Densidad de la partícula (kg/m ³)	822	822
Tamaño de la partícula (m)	9.5e-06	9.47e-06
Eficiencia (%)	93.00	94.42
Porcentaje de error de eficiencia	1.51%	



Capítulo V :

Conclusiones

- Se desarrolló y validó una metodología que integra CFD, optimización multiobjetivo (NSGA-II) y metodología de superficie de respuesta (RSM), permitiendo optimizar el diseño de separadores ciclónicos de manera eficiente y con menor costo computacional.
- La simulación numérica presentó una alta concordancia con los resultados experimentales, obteniendo una eficiencia experimental del 94.42 % y un error de solo 1.51 % respecto al modelo CFD, lo que confirma la confiabilidad de la metodología desarrollada.
- La optimización identificó como configuración óptima un buscador de vórtices de 117 mm y un diámetro de descarga de 65 mm, logrando el mejor equilibrio entre eficiencia de separación, caída de presión y estabilidad del flujo.
- El trabajo realizado proporciona un prototipo optimizado y una metodología reproducible, con potencial de aplicación en la enseñanza, la investigación y el desarrollo de futuros separadores ciclónicos.

Antecedentes

Justificación

Problema

Objetivos

Fundamentos Teóricos

CFD Aplicada a Ciclones

Metodología Aplicada

Diseño Mecánico

Diseño Electrónico

Pruebas de
Funcionamiento

Comparación CFD-
Experimental

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



Capítulo V :

Recomendaciones

Antecedentes

Justificación

Problema

Objetivos

Fundamentos Teóricos

CFD Aplicada a Ciclones

Metodología Aplicada

Diseño Mecánico

Diseño Electrónico

Pruebas de
Funcionamiento

Comparación CFD-
Experimental

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros

- Aislamiento mecánico: Separar físicamente la etapa de pesaje de la aspiradora para evitar que las vibraciones afecten a la celda de carga, garantizando así la fiabilidad en el cálculo de la eficiencia de separación.
- Calibración periódica: Ajustar rutinariamente el anemómetro y la balanza para evitar la acumulación de errores de medición, un paso indispensable ante reubicaciones del equipo o jornadas experimentales prolongadas.
- Refinamiento de malla: Explorar configuraciones más rigurosas cerca de las paredes (controlando el parámetro Y^+) y probar distintos modelos de turbulencia para optimizar los tiempos de convergencia y la precisión de futuras simulaciones.
- Pruebas de sellado: Garantizar la total hermeticidad en las uniones del separador para prevenir fugas de aire que puedan alterar la caída de presión y comprometer el desempeño aerodinámico del sistema.



Capítulo V :

Trabajos Futuros

Antecedentes

Justificación

Problema

Objetivos

Fundamentos Teóricos

CFD Aplicada a Ciclones

Metodología Aplicada

Diseño Mecánico

Diseño Electrónico

Pruebas de
Funcionamiento

Comparación CFD-
Experimental

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros

- Diversificación granulométrica: Evaluar el equipo con partículas de diferentes tamaños y densidades para demostrar la fiabilidad y versatilidad del separador frente a distintos escenarios.
- Variables operativas: Someter el prototipo a diferentes velocidades de entrada del fluido para comprender a profundidad su impacto en la eficiencia de separación y la caída de presión.
- Automatización integral: Desarrollar un esquema de control de lazo cerrado que regule de forma autónoma la potencia del motor, la inyección de partículas y el pesaje del material.
- Integración IoT y telemetría: Implementar protocolos de comunicación para el registro de datos en la nube, facilitando el monitoreo y análisis remoto desde cualquier dispositivo.



GRACIAS

POR SU ATENCIÓN

