



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA  
MECÁNICA ELÉCTRICA**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**ANÁLISIS FLUIDINÁMICO CON SOFTWARE CFD**

**DEL CICLÓN DE ENTRADA SIMPLE DE**

**SEPARACIÓN DE GAS PARA DETERMINAR EL**

**RENDIMIENTO Y PERDIDA DE CARGA**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER EN**

**INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**Autor :**

**Solano Timana Wilmer Eduardo**

<https://orcid.org/0000-0002-4039-3035>

**Asesor:**

**Mg. Vives Garnique Juan Carlos.**

<https://orcid.org/0000-0003-0988-9881>

**Línea de Investigación:**

**Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente**

**Pimentel – Perú**

**2021**

**ANÁLISIS FLUIDINÁMICO CON SOFTWARE CFD  
DEL CICLÓN DE ENTRADA SIMPLE DE  
SEPARACIÓN DE GAS PARA DETERMINAR EL  
RENDIMIENTO Y PERDÍDA DE CARGA**

Autor:

---

Solano Timana Wilmer Eduardo

Jurado

---

Presidente(a) del jurado de tesis  
Mg. Gastiaburú Morales Silvia Yvone

---

Secretario(a) del jurado de tesis  
Mg. Vives Garnique Juan Carlos

---

Vocal del jurado de tesis  
Mg. Alvarado Silva Carlos Alexis

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación va dedicada a mi madre , por el apoyo continuo que me a otorgado antes ,durante y después de mi formación profesional, confiando en mis capacidades para poder llegar al objetivo satisfactorio de culminar mi carrera profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la fuerza para lograr mis objetivos y darme la sabiduría para resolver las diferentes adversidades que se han presentado a lo largo de mi vida .

Agradezco a cada docente por haberme ofrecido cada enseñanza las cuales me ayudaran a forjar una base para el mejoramiento tanto personal como profesional . En gran medida le agradezco al asesor de tesis por la grata paciencia y profesionalismo de resolver nuestras dudas e interferencias durante el desarrollo de este trabajo de

Agradezco a mis padres por ayudarme a crecer profesionalmente y en gran medida a mi madre por ser mi guía y la ayuda necesaria para poder mejorar mis capacidades intelectuales y personales .

# ANÁLISIS FLUIDINÁMICO CON SOFTWARE CFD DEL CICLÓN DE ENTRADA SIMPLE DE SEPARACIÓN DE GAS PARA DETERMINAR EL RENDIMIENTO Y PERDIDA DE CARGA

## FLUIDYNAMIC ANALYSIS WITH CFD SOFTWARE OF THE GAS SEPARATION SIMPLE INPUT CYCLONE TO DETERMINE THE PERFORMANCE AND HEAD LOSS

Wilmer Eduardo Solano Timana<sup>a</sup>

### **RESUMEN**

*En la realización de esta investigación se tomó un modelo matemático , los cuales se tomaron en cuenta la fórmula el análisis de un separador ciclónico de entrada simple .*

*Dentro de esta investigación se tuvo en cuenta parámetros de entrada y parámetros de salida aplicando conocimientos del programa de CFD en este caso el análisis fue realizado mediante en software SolidWorks .*

*El software es un sistema amigable para ingenieros de distintas ramas que ofrece un entorno de fácil comprensión .*

*Como objetivos tenemos : Analizar el comportamiento fluidodinámico mediante un software CFD de entrada simple para determinar su rendimiento y pérdida de carga .*

*Como objetivo específico final :Determinar los parámetros del volumen de control del separador ciclónico .*

*Finalmente la forma utilizada para cuantificar la variabilidad en los patrones de flujo (tamaño de las partículas turbulentas) utilizada en este trabajo es sencilla y aprovecha las características de los softwares utilizados en la visualización de dichos patrones, mientras que al mismo tiempo permite no sólo obtener información cualitativa de los patrones de flujo a través de la observación de las imágenes, sino también información cuantitativa (dimensiones aproximadas de las estructuras turbulentas) en un mismo proceso.*

*Palabras claves : Separado ciclónico , eficiencia de separación , rendimiento , perdida de carga ,vórtice , modelos matemáticos*

---

<sup>a</sup> Adscrito la Escuela Académica profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica , Universidad Señor de Sipán, Pimentel ,Perú, email: [stimanawilmered@crece.uss.edu.pe](mailto:stimanawilmered@crece.uss.edu.pe), código ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4039-3035>

## **Abstract**

In carrying out this research, a mathematical model was taken, which took into account the formula for the analysis of a single inlet cyclone separator

Within this research, the entry and exit parameters were taken into account, applying the knowledge of CFD programs. In this case, the analysis was performed with SolidWorks software.

The software is a friendly system for engineers of different branches that offers a friendly and easy-to-understand environment.

As objectives we have: Analyze the dynamic behavior of fluids using simple input CFD software to determine their performance and pressure drop.

as a specific end goal: Determine the cyclone separator control volume parameters.

Finally, the form used to quantify the variability in the flow patterns (turbulent particle size) used in this work is simple and takes advantage of the characteristics of the software used to visualize said patterns, at the same time that it allows not only to obtain qualitative information from the flow patterns through image observation, but also quantitative information (approximate dimensions of turbulent structures) in the same process.

**Keywords:** cyclonic separation, separation efficiency, throughput, pressure drop, vortex, mathematical model

## ÍNDICE

<b>I.INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
1.1. Realidad Problemática	11
1.2. Antecedentes	11
1.2.1. Nivel Internacional	11
1.2.2. Nivel Nacional	12
1.2.3. Nivel local	13
1.3. Teorías relacionadas	13
1.3.1. Modelos de separadores ciclónicos	13
1.3.2. Calidad del aire	14
1.3.3. Separación Ciclónica	14
1.3.4. Modelos de simulación de turbulencia:	14
1.3.5. Eficiencia de separación de partículas	15
1.3.6. Perfil de velocidades en un ciclón	16
1.3.7. Rango de operación de los ciclones	16
1.4. Formulación del problema	17
1.5. Justificación del trabajo de investigación	17
1.5.1. Justificación Tecnológica	17
1.5.2. Justificación Económica	18
1.5.3. Justificación Social	18
1.5.4. Justificación Ambiental	18
1.6. Hipótesis	18
1.7. Objetivos	18
1.7.1. Objetivo General	18
1.7.2. Objetivo Específico	18
<b>II . MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>19</b>
2.1. Tipo y Diseño de Investigación.	19
2.2. Variables.	19

2.2.1. Independientes.-----	19
2.2.2. Dependientes.-----	19
2.3. Operacionalización de variables -----	19
2.3.1. Técnicas de recolección de datos -----	20
2.3.2. Validez y confiabilidad-----	20
2.4. Métodos de análisis de datos-----	20
2.5. Aspectos éticos-----	20
<b>III. -RESULTADOS -----</b>	<b>22</b>
3.1. Propósito del trabajo -----	22
3.2. Turbulencia-----	22
3.3. Caso de estudio -----	22
3.4. Métodos Numéricos -----	25
3.5. Análisis Dimensionales -----	25
3.5.1. Desarrollo de Objetivos -----	25
3.6. Modelo matemático -----	26
3.6.1. Eficiencia fraccionaria del modelo de koch y Ligh-----	26
3.6.2. Perdida de carga (sheperd y Lapple) -----	27
3.7. Flujo de gas-----	28
<b>IV.CONCLUSIONES -----</b>	<b>32</b>

## ÍNDICE DE FIGURA

Fig. 1 Movimiento de la partícula en el interior del separador ciclónico( fuente: Wikipedia ).	15
Fig. 2 Dirección tangencial del separador ciclónico (sites.google.com).....	16
Fig. 3 Curva del Grado de Eficiencia para un tamaño de corte $p_{50}=5$ (Warren L y Julián C, 1981. p. 1100).....	17
Fig. 4 Dimensionamiento de separador ciclónico .....	25
fig. 6.- Croquis del separador ciclónico según tabla del stairmand alta eficiencia representado en milímetros(elaboración propia ).....	27
fig. 7.- Análisis de influencia de entrada en el separador ciclónico(elaboración propia ) .....	28
Fig. 8.- Análisis de velocidad en la parte cilíndrica. (elaboración propia ).....	28
Fig. 9.- separador ciclónico completo ( Elaboración propia ).....	29
Fig. 10 División de regiones según el método matemático de mothes y loffler.....	30
Fig. 11 velocidad en Y .....	31
fig. 12.- Velocidad en z (elaboración propia ).....	32

## **ÍNDICE DE ECUACIONES**

Ecuación 1 .....	23
Ecuación 2 .....	23
Ecuación 3 .....	24
Ecuación 4 .....	24
Ecuación 5 .....	24
Ecuación 6 .....	24
Ecuación 7 .....	24
Ecuación 8 .....	26
Ecuación 9 .....	26
Ecuación 11 .....	26
Ecuación 13 .....	26
Ecuación 14 .....	27
Ecuación 15 .....	27

## **I.-INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad Problemática**

“Los ciclones se utilizan con dos finalidades primordiales: separación de polvo y selección de partículas especiales. Para obtener las metas se puede utilizar ciclones tradicionales, en tanto para la selección, son los más adecuados los ciclones con rendimiento alto” (Pico y Barbosa, 2013,).

Uno de los materiales más contaminantes, es el material particulado una de las causas por la cual los seres vivos están siendo afectados en gran medida en el aire que respiran. la organización mundial de salud fundamenta que la contaminación ambiental tiene un gran número de personas muertas prematuramente algunos estudios realizados en diversos países asocian la tasa de mortalidad mediante enfermedades se debe a la concentración de material particulado( Martin, 2004).

Los resultados del proyecto APHEKOM ("Mejora las capacidades humanas sobre los efectos de la contaminación atmosférica y salud en Europa") dan a conocer una mejoría en la calidad de aire, la convivencia de la población mejorara ampliamente y tendrían más conocimiento sobre los riesgos de este problema ambiental, así a mantener controlada su salud. (Lobato y Castillo, 2015).

El motivo para el objetivo de este análisis de diseño de un ciclón va enfocado para solución y mejora constante para este tipo de estructuras y al rubro al que pertenecen teniendo en cuenta las diferentes clases de modelos enfatiza tizando el tipo de fluido y el flujo que entra al ciclón.

### **1.2. Antecedentes**

#### **1.2.1. Nivel Internacional**

En el proyecto realizado dentro del separado ciclónico para determinar sobre la dimensión de separación que se tiene utilizando un separador de alto rendimiento. La definición de los resultados nos dio a conocer una zona  $v_i / t$  recomendable para el funcionamiento de los separadores ciclónicos conceptualizada basada en la objetividad de circunstancias finales para

los parámetros del contexto operacional: las diferencias dadas por la maquina y la anormalidad de suspensión de las partículas. (Pico y Barbosa, 2013)

Lobato y castillo (2008) En este proyecto se determinó la dimensión de la partícula mediante un sondeo aleatorio en la unión cementera nacional para luego llevar las muestras a un laboratorio por medio de una técnica llamada el tamizado se obtuvo como resultado que el 65,87 % tienen como diámetro mayor a los 53  $\mu\text{m}$  y el 34,13 % menor o igual al 38  $\mu\text{m}$  teniendo estas partículas como principal punto de investigación. Una vez aplicando los cálculos matemáticos de diseño de un separador ciclónico teniendo como base las experiencias profesionales anteriores se determinaron las medidas de la maquina separadora

Bahamontes (2008) Este trabajo realizado anteriormente tiene como finalidad disminuir la contaminación ambiental debido a la exposición de material particulado indeseable que es emitido al aire, en un alto porcentaje, el cual produce efectos a los seres humanos el cual puede dar como consecuencia graves enfermedades y no solo a los seres vivos sino también a la naturaleza creando un ambiente desagradable, creando paisajes desagradables.

Esta investigación analiza el comportamiento hidrodinámico del flujo de aire y la evaporación de las gotas de leche dentro de un proceso de secado por aspersion con separadores ciclónicos. El análisis fue desarrollado bajo la estrategia de dinámica computacional de fluidos usando el software FLUENT de ANSYS. Las simulaciones permitieron la selección de un adecuado separador ciclónico en base al área mojada de las paredes internas del secador. Los resultados indicaron que el tipo de separadores ciclónico afecta las zonas mojadas en las paredes del secador. (Gamiño et al., 2018).

### **1.2.2. Nivel Nacional**

Las máquinas recolectores de partículas que son más requeridas en las empresas arroceras, detallando el proceso de funcionamiento, utilidades y detalles económicos para cada una de las maquinas. La investigación de forma general de la seleccionadora de impurezas. En esta parte se detalla el proceso y los principales parámetros de la definición del sistema, las dimensiones de operación, clasificación de materiales, las primordiales circunstancias de daño que tienen los equipos acompañados de pautas para lo ya mencionado. (Sandoval, 2008).

### **1.2.3. Nivel local**

No existen antecedentes actuales

## **1.3. Teorías relacionadas**

### **1.3.1. Modelos de separadores ciclónicos**

La forma convencional de diseño de ciclones ha sobrevivido en gran medida sin cambios durante más de un siglo. El desarrollo histórico del ciclón se puede encontrar en Crawford (1976), Storch (1979) y Ogawa (1984), donde se discuten muchos tipos de ciclones antiguos e interesantes. Existen varios modelos de ciclones en la literatura, pero los más famosos son los modelos Stairmand (1951) y Lapple (1951). Estos ciclones se desarrollaron a través de pruebas experimentales con el objetivo de optimizar el rendimiento. Sin embargo, según Dirgo y Leith (1985), no existe una base teórica para garantizar que un modelo específico solo tenga características de alto rendimiento. Una aplicación importante de los ciclones es de los ciclones es la recuperación del catalizador en el craqueo catalítico fluido unidades (FCCU). El ciclón de gas en FCCU es generalmente utilizado en un arreglo de celdas múltiples para cumplir Requisitos de recuperación de típicamente más del 99%. En una etapa posterior, un sistema de ciclón de alta eficiencia. se puede usar para eliminar las partículas restantes. El ciclón de gas utilizado en esta etapa funciona a baja carga de sólidos, con las partículas que tienen un diámetro en el rango de 0.1-80  $\mu\text{m}$ . Alta colección se exigen eficiencias (más del 99.9%), por ejemplo, para cumplir con las regulaciones ambientales sobre emisión de polvo y / o para evitar el desgaste excesivo de las palas de la turbina en sistemas de energía / recuperación (Hoekstra et al., 1999). Si se ignora el conducto de entrada, ciclón la geometría es casi asimétrica y una serie de anterior dinámica de fluidos computacional (CFD) los modelos han usado esta función para simplificar el modelo como un caso bidimensional (Duggins y Frith, 1987). Si bien esto reduce en gran medida tiempo computacional, un modelo bidimensional es limitado, ya que la ubicación del conducto de entrada romper la simetría del patrón de flujo. Además, estas simplificaciones geométricas no se pueden utilizar para evaluar cambios en el diseño de entrada o en los buscadores de vórtice compensado. El reciente aumento en la potencia informática y la red capacidades de generación ha permitido el reciente CFD modelos para incluir el tridimensional completa geometría y para ser utilizado para la evaluación de Modificaciones de

diseño. En este trabajo, un estudio de la influencia de geometría de ciclón en una sección de entrada con un 45 ángulo de grado en relación con el cuerpo del ciclón es estudió. El punto de partida se basa en un estudio experimental disponible en la literatura (Patterson y Munz, 1989 y 1996), donde se utilizó la sección de entrada económica. También un estudio comparativo con la simulación numérica se realiza el trabajo de Pérez (2002). Numéricos experimentos para un modelo tridimensional fueron llevados a cabo para flujo de gas y gas sólido utilizando CFX, Un código CFD disponible en el mercado.

### **1.3.2. Calidad del aire**

La presencia o ausencia de varias sustancias (contaminantes) son las que determinan la calidad del aire la cual se estima por medio de la concentración de los contaminantes que pueden ser físicos como los comentados en el anterior apartado o bilógicos debido a la presencia de microorganismos. Los contaminantes también pueden ser detectados a simple vista por el solo hecho de su apariencia física. La calidad del aire es un tema de especial importancia porque afecta la salud humana y a la de los demás seres vivos, es por esto que existen organizaciones como la OMS que la regulan mediante normas las emisiones estándares dependiendo de los lugares a los que las personas u animales estén expuestos para asegurar una correcta calidad de vida en los mismos.

### **1.3.3. Separación Ciclónica**

Los dispositivos más utilizados son los separadores ciclónicos, generalmente llamados ciclones porque son relativamente económicos, fáciles de construir, compactos y de bajo mantenimiento porque no tienen partes móviles (Pinho, 2005).

### **1.3.4. Modelos de simulación de turbulencia:**

Aquí se presentan los principales modelos de turbulencia que se emplean en las simulaciones:

- RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes): Se basan en la premediación de las ecuaciones del fluido, entre los diferentes modelos de este apartado se emplea el modelo k- $\epsilon$ . El modelo k- $\epsilon$  contiene dos ecuaciones de balance en derivadas parciales en las que se interrelacionan la energía cinética del fluido turbulento k .y su velocidad de disipación  $\epsilon$  al sistema de ecuaciones del fluido.

- LES (Large Eddy Simulation): Se basa en un filtrado espacial de las ecuaciones de gobierno del fluido de tal manera que se resuelven computándose las grandes escalas, mientras para sus escalas más pequeñas se asume un modelo que permite considerar de forma aproximada su influencia en la variación general de los parámetros de flujo.

DNS (Direct Numerical Simulation): Este modelo trata de resolver las ecuaciones de Navier-Stokes de una forma directa, sin emplear valores aproximados. El problema principal de este modelo es que el tamaño de las celdas para la solución de la dinámica debe ser tan pequeño que el gasto computacional limita las dimensiones de los escenarios a los cuales puede aplicarse.

### 1.3.5. Eficiencia de separación de partículas

La fracción de los sólidos que son separados a su paso por el ciclón. Comúnmente viene dada en porcentajes sobre la masa de sólidos de entrada. La cual da lugar a la curva de eficiencia fraccional en el que se tiene una baja eficiencia para partículas inferiores a 5 micras, y un aumento hasta del 100% para partículas mayores a 10 micras.

Partículas PM 2.5, PM 10 y Partículas Suspensas Totales (TSP) Son partículas más pequeñas que las sedimentables; las partículas PM10 son un material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10  $\mu\text{m}$ ; las partículas PM 2,5 son un material particulado de diámetro aerodinámico menor a 2,5  $\mu\text{m}$  y las partículas suspendidas totales (TSP), son el material particulado que resulta de sumar los dos tipos de partículas mencionadas anteriormente. (Ibíd., p. 57)

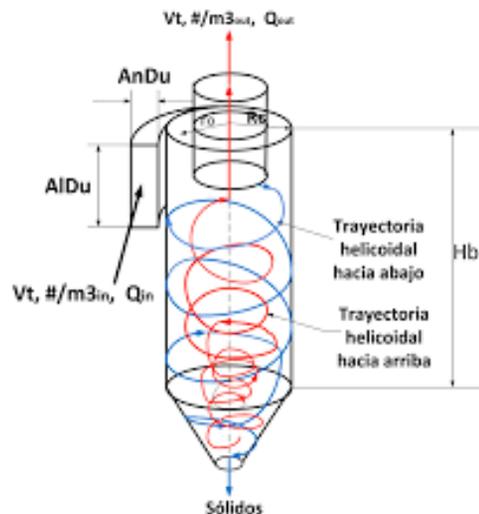


Fig. 1 Movimiento de la partícula en el interior del separador ciclónico( fuente: Wikipedia ).

### 1.3.6. Perfil de velocidades en un ciclón

- **Velocidad tangencial en el ciclón:** La velocidad tangencial de los gases aumenta desde un valor mínimo cerca de la pared hasta un máximo cerca del eje axial del ciclón.

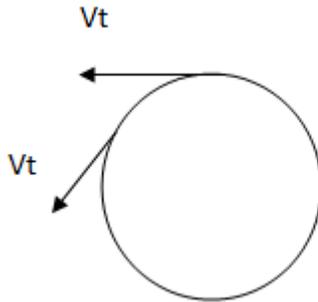


Fig. 2 Dirección tangencial del separador ciclónico (sites.google.com)

- **Velocidad radial en el ciclón:** La velocidad radial es relativamente baja en comparación con las otras dos componentes. En el vórtice exterior se mantiene aproximadamente constante respecto a cualquier sección transversal, siendo su sentido hacia el interior del ciclón. En el vórtice interior la velocidad radial tiene sentido contrario al vórtice externo y su valor aumenta rápidamente al acercarse al cuerpo del ciclón.
- **Velocidad axial en el ciclón:** En el vórtice externo, la velocidad axial de los gases tiene dirección descendente a lo largo del ciclón. Según Liden, esta velocidad es responsable, en mayor medida que la gravedad, del transporte de partículas desde la pared hacia el dispositivo de recogida. El sentido de la velocidad axial se invierte cerca del cuerpo central hasta llegar a valores máximos cerca del buscador de vórtices, en la zona correspondiente al vórtice ascendente. A partir de este punto la velocidad tiende a disminuir hacia el centro del ciclón.

### 1.3.7. Rango de operación de los ciclones

“En los ciclones la eficiencia de separación y la caída de presión varían con la velocidad del flujo de gas en donde se supone que la eficiencia incrementa con el incremento de la velocidad de flujo de gas, pero a través de la figura 4 la realidad es otra, ya que esta curva muestra que la eficiencia cae lejos para altas velocidades de flujo.

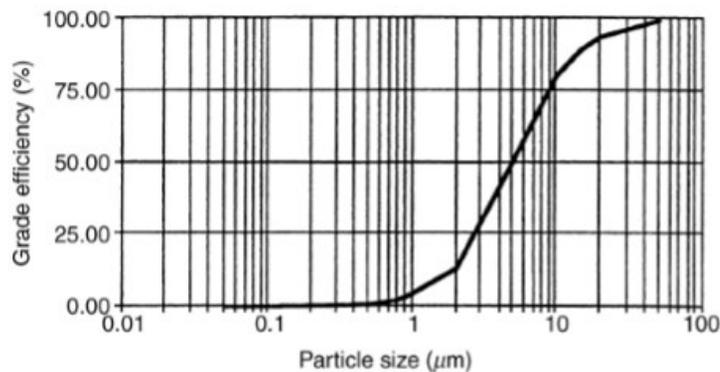


Fig. 3 Curva del Grado de Eficiencia para un tamaño de corte  $p_{50}=5$  (Warren L y Julián C, 1981. p. 1100)

La operación óptima de estos equipos se alcanza entre los puntos de unión del cilindro y del cono hasta casi la mitad del cono, donde la eficiencia máxima de separación se consigue con razonables pérdidas de presión. Entonces si los equipos están correctamente diseñados estos tienen que operar con caídas de presión dentro de los rangos recomendados que para la mayoría de estos equipos en condiciones normales de ambiente está entre 50 y 150mm de columna de agua, es decir de 500 a 1500 Psi, dentro de este rango la eficiencia total incrementa con la caída de presión aplicada.” (Warren L y Julián C, 1981. p. 1100).

#### 1.4. Formulación del problema

¿Cuál es la mejor configuración para el diseño de un separador ciclónico analizando el rendimiento y pérdida de carga?

#### 1.5. Justificación del trabajo de investigación

##### 1.5.1. Justificación Tecnológica

El diseño de un separador ciclónico de alta capacidad. Así mismo es conveniente mencionar que esta investigación producirá un impacto tecnológico para la empresa que requiere este tipo de implemento sobre todo porque además de garantizar una mejor calidad de trabajo también facilitará el desempeño de los trabajadores.

### **1.5.2. Justificación Económica**

las fases de diseño para este separador ciclónico mejorarán la producción obteniendo mejores ganancias; además esto será una inversión agradable para las empresas, además de ser una máquina que se ajustará a las capacidades, necesidades y producción de la región Lambayeque.

### **1.5.3. Justificación Social**

Actualmente en la región Lambayeque para algunos empresarios industriales no tienen claro las consecuencias negativas que pueden generar las partículas que desechan algunas máquinas, lo cual afecta de manera perjudicial a un conjunto de personas a sus alrededores por la mala eliminación de partículas al terminar sus procesos.

### **1.5.4. Justificación Ambiental**

El separador ciclónico posee una alta capacidad al separar las partículas livianas y pesadas, llevado a cabo por la fuerza centrífuga que se encuentra en el interior del separador, siendo que las partículas pesadas se almacenan en la parte inferior del ciclónico y las partículas livianas son expulsadas lo que permite que la contaminación ambiental sea mínima.

## **1.6. Hipótesis**

No aplica de esta investigación

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. Objetivo General**

- Analizar el comportamiento fluidodinámico mediante un software CFD de entrada simple para determinar su rendimiento y pérdida de carga .

### **1.7.2. Objetivos Específicos**

- Determinar los parámetros del volumen de control del separador ciclónico
- Análisis CFD del ciclón de entrada simple
- Comparación de rendimiento y pérdida de carga.

## II.- MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Tipo y Diseño de Investigación.

Aplicada y Explicativa

### 2.2. Variables.

#### 2.2.1. Independientes.

- Análisis fluidinámico con software CDF

#### 2.2.2. Dependientes.

- Ciclón de en entrada simple
- Separación de gas

### 2.3. Operacionalización de variables

*Tabla 1*  
*Operacionalización de Variables*

<b>Variables</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Técnica e instrumento de recolección de datos</b>
<b>Independiente:</b> <b>Análisis flui dinámico con software CDF</b>	Interacción con el software	Parámetros para el modelamiento	Bibliografía especializada
<b>Dependientes</b> <b>Separador ciclónico</b>	Flujo de entrada	m <sup>3</sup> /s	Bibliografía especializada
	Flujo de salida	m <sup>3</sup> /s	Bibliografía especializada

	Temperatura	C°	Bibliografía especializada
<b>Dependiente: Separación de gas</b>	Tamaño Densidad	A*L $kg/m^3$	Bibliografía especializada

### 2.3.1. Técnicas de recolección de datos

- Revisión de bibliografía especializada: artículos científicos, tesis de ingeniería, libros.
- Cálculo analítico.

### 2.3.2. Validez y confiabilidad

La validez de este proyecto se llevará a cabo mediante el Software de simulación de flujo para verificar que el dimensionamiento dado por el algoritmo genérico sea el correcto para cada contexto operacional.

### 2.4. Métodos de análisis de datos

Se tendrá como base algunos cálculos anteriores y teorías descritas anteriormente por autores, con ello utilizando software de programación y de simulación de patrones de flujo determinaremos la fiabilidad del proyecto.

### 2.5. Aspectos éticos

**Tendremos en cuenta los aspectos éticos de profesionalismo del colegio de ingenieros del Perú (CIP) y el código de ética de investigación de la Universidad Señor de Sipán como se muestra en los anexos N° 2 y N° 3.**

**CODIGO DE ETICA DEL COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ (CIP)  
APROBADO EN LA III SECCIÓN ORDINARIA DEL CONGRESO NACIONAL DE  
CONSEJOS DEPARTAMENTALES DEL PERIODO 1998 – 1999 EN LA CIUDAD DE  
TACNA 22, 23 Y 24 DE ABRIL 1999.**

Art. 4 – Los ingenieros reconocerán que la seguridad de la vida, la salud, los bienes y el bienestar de la población y del público en general, así como el desarrollo tecnológico del país dependen de los juicios, decisiones incorporadas por ellos o por su consejo, en dispositivos, edificaciones, estructuras, maquinas, productos y procesos. Por ninguna razón pondrán sus conocimientos al servicio de todo aquello que afecta la paz y la salud.

Art. 12 – Los ingenieros expresaran opiniones en temas de ingeniería solamente cuando ellas se basen en un adecuado análisis y conocimiento de los hechos, en competencia técnica suficiente y convicción sincera.

Código de ética de la universidad señor de Sipán elaborado por la dirección de investigación, revisado por el área de planificación y desarrollo institucional – asesoría legal. Ratificado por el acuerdo de consejo universitario con resolución rectoral N° 0851 – 2017/USS

Art. 7º: Son deberes éticos de los investigadores:

Autonomía.

Responsabilidad.

Profesionalismo.

Compromiso con la sociedad.

Supervisión.

Desarrollo profesional.

Art. 14º: Respeto de los investigados y de lo investigado:

Respetar las condiciones de salud, de integridad física, psicológica y moral de las personas o grupos que participan en el estudio.

Solicitar y obtener el consentimiento expresado e informado de las personas sujetos investigación.

Respetar la idiosincrasia y la cultura de los participantes en la investigación.

Garantizar el bienestar de las personas, animales y plantas, como objeto de investigación.

Garantizar el almacenamiento adecuado de la información obtenida para el estudio.

Aplicar en todo momento los criterios de confidencialidad y anonimato.

Presentar los resultados respetando las normas de Propiedad Intelectual.

### **III. -RESULTADOS**

#### **3.1. Propósito del trabajo**

Los separadores ciclónicos son importantes para cumplir con las regulaciones ambientales sobre emisión de polvo y / o para evitar el desgaste excesivo de las palas de la turbina en los sistemas de energía / recuperación (Hoekstra et al., 1999). Si se ignora el conducto de entrada, la geometría del ciclón es casi asimétrica y varios modelos previos de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) han utilizado esta característica para simplificar el modelo como un caso bidimensional (Duggins y Frith, 1987). Si bien esto reduce en gran medida el tiempo de cálculo, un modelo bidimensional es limitado, ya que la ubicación del conducto de entrada romperá la simetría del patrón de flujo.

#### **3.2. Turbulencia**

La turbulencia consiste en fluctuaciones en el flujo, campo en tiempo y espacio. Es un proceso complejo, principalmente porque es tridimensional, inestable y consiste de muchas escalas. Puede tener un efecto significativo en las características del flujo. La turbulencia ocurre cuando las fuerzas de inercia en el fluido se vuelven significativas en comparación con las fuerzas viscosas, y se caracteriza por un alto número de Reynolds. En principio, las ecuaciones de NavierStokes describen tanto laminar como turbulento fluye sin necesidad de información adicional. Sin embargo, los flujos turbulentos en Reynolds realistas los números abarcan un amplio rango de longitud turbulenta y escalas de tiempo y generalmente involucrarían escalas de longitud mucho más pequeño que la malla de volumen finito más pequeño que puede usarse prácticamente en un análisis numérico. Para permitir que los efectos de la turbulencia sean previstos, una gran cantidad de investigación de CFD ha concentrado en métodos que hacen uso de Modelos de turbulencia. Los modelos de turbulencia han sido desarrollados específicamente para dar cuenta de los efectos de turbulencia sin recurrir a una multa prohibitiva Malla y simulación numérica directa.

#### **3.3. Caso de estudio**

Para realizar el análisis fluido dinámico se determinará algunos parámetros de entrada dada la circunstancia determinada para la realización de este análisis computacional.

Dando por realizado tendremos como para parámetros de entrada los siguientes:

Velocidad de entrada es de 25 m/s

Densidad de la partícula  $1.2 \text{ g/cm}^3$

Temperatura de 350 k°

Viscosidad  $2.1 \times 10^{-5}$

Tipo de modelo: stairmand de alta eficiencia

Caudal  $3.2 \text{ m}^3/\text{s}$

Para el análisis será tomado la tabla de alta capacidad de starimand para tener medidas en función a los parámetros obtenidos anteriormente.

Por lo tanto

**AREA:**

$$A = \frac{3.2 \text{ m}^3/\text{s}}{25 \text{ m/s}} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$A = 0.128 \text{ m}^2$$

Hallando Dc

$$A = a \times b \quad \text{Ecuación 2}$$

$$A = (0.5 \times Dc)(0.2 \times Dc)$$

$$A = 0.1 \times Dc^2$$

Donde

$$A = 0.128$$

$$0.128 = 0.1 \times D_c^2$$

$$\boxed{D_c = 1.13m}$$

Según la tabla por los valores establecidos por Starimand en ciclones de alta capacidad

s = altura de salida del ciclón

$$s = 0.5(1.13) \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\boxed{s = 0.57}$$

D<sub>s</sub> = Diámetro de salida

$$D_s = 0.5(1.13) \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\boxed{D_s = 0.57}$$

h = altura de la parte cilíndrica

$$h = 1.5(1.13) \quad \text{Ecuación 5}$$

$$\boxed{h = 1.695}$$

z = altura parte cónica

$$z = 2.5(1.13) \quad \text{Ecuación 6}$$

$$\boxed{z = 2.825}$$

B diámetro de salida del ciclón partículas

$$B = 0.375(1.13) \quad \text{Ecuación 7}$$

$$B = 0.42$$

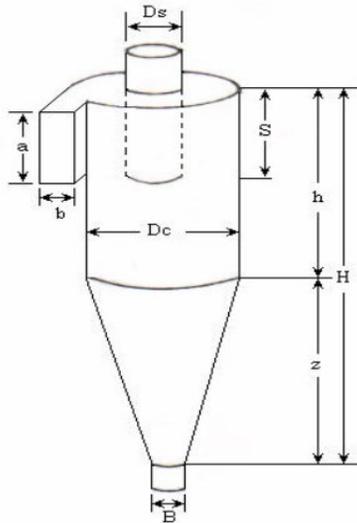


Fig. 4 Dimensionamiento de separador ciclónico

### 3.4. Métodos Numéricos

Las ecuaciones fueron resueltas numéricamente por el método de volumen finito utilizando el código comercial CFD, CFX, en el que se utiliza el método de control de volumen para discretizar la ecuación de transporte. La presión, velocidad, Método y el viento más alto interpolación esquema se utilizaron en todos los numéricos

Experimentos Cuadrícula computacional y condiciones de contorno la geometría del ciclón utilizada se basó en Stairmand alto Eficiencia. configuraciones geométricas se presentan en modelo matemático kosh y licht. Las características geométricas de este ciclón las cuales se presentaron anteriormente en el caso de estudio.

### 3.5. Análisis Dimensionales

Desarrollo del modelo del separador ciclónico fue realizado en software SolidWorks realizando desarrollo de los objetivos mediante un análisis en Flow simulation.

#### 3.5.1. Desarrollo de Objetivos

- Determinar los parámetros del volumen de control del separador ciclónico
  - Velocidad de entrada es de 25 m/s
  - Densidad de la partícula  $1.2 \text{ g/cm}^3$

- Temperatura de 350 k°
  - Viscosidad  $2.1 \times 10^{-5}$
  - Tipo de modelo: stairmand de alta eficiencia
  - Caudal  $3.2 m^3/s$
- Análisis CFD del ciclón de entrada simple

### 3.6. Modelo matemático

#### 3.6.1. Eficiencia fraccionaria del modelo de koch y Ligh

$$\eta_i = 1 - \exp \left\{ -2 \cdot \left[ \frac{G \cdot \tau_i \cdot \dot{V}}{D_c^3} \cdot (n + 1) \right]^{\frac{0.5}{n+1}} \right\} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde

- Factor de configuración

$$G = \frac{8 \cdot k_c}{K_a^2 \cdot K_b^2} \quad \text{Ecuación 9}$$

- Tiempo de relajación

$$\tau_i = \frac{\rho_p \cdot d_{pi}^2}{18 \cdot \mu_f} \quad \text{Ecuación 10}$$

- Diámetro del ciclón

$$D_c$$

- Exponente relacionado con el vórtice

$$n = 1 - \left[ 1 - \frac{(39,4 \cdot D_c)^{0.14}}{2.5} \right] \cdot \left[ \frac{T_f + 273,15}{293,15} \right]^{0.3} \quad \text{Ecuación 11}$$

### 3.6.2. Pérdida de carga (Sheperd y Lapple)

La pérdida de carga es realizada por el modelo matemático de Sherperd y Lappel

$$\Delta_p = \xi_{LAPPLE} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_f \cdot v_c^2$$

Ecuación 12

$$\xi_{LAPPLE} = 16 \cdot \frac{a_c \cdot b_c}{D_c^2}$$

Ecuación 13

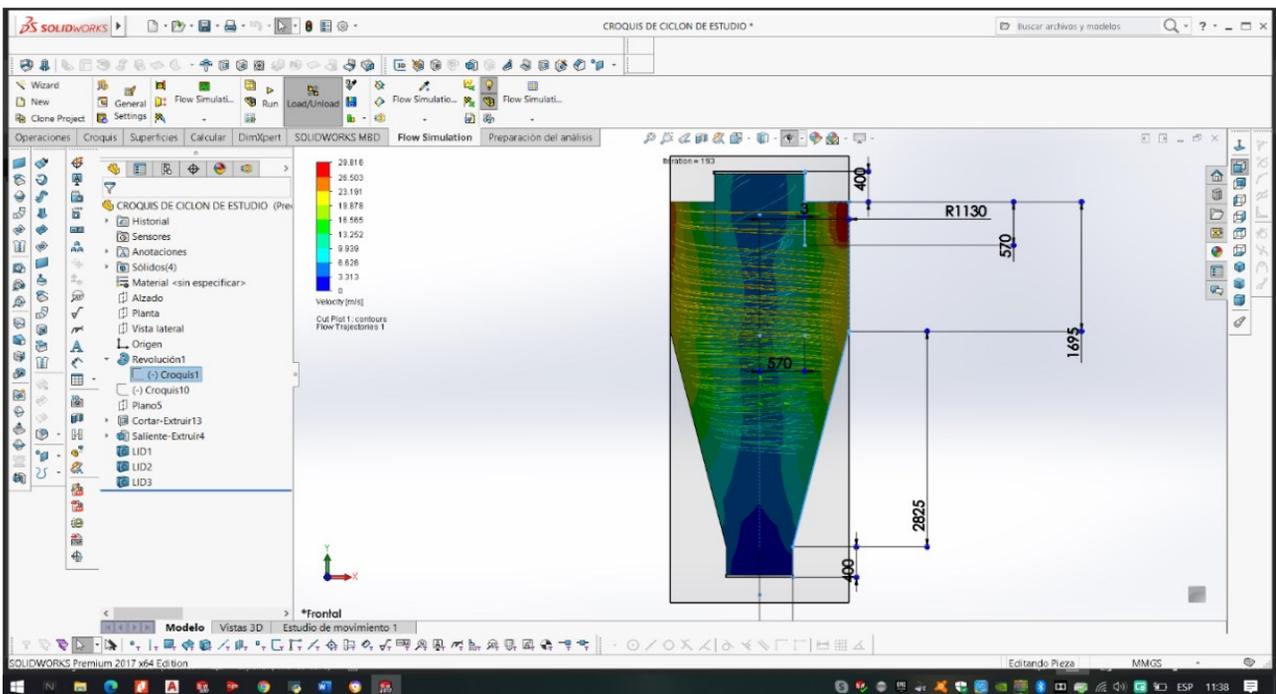


fig. 5.- Croquis del separador ciclónico según tabla del stairmand alta eficiencia representado en milímetros (elaboración propia)

### 3.7. Flujo de gas



fig. 6.- Análisis de influencia de entrada en el separador ciclónico(elaboración propia )

Resultados numéricos para la influencia de la geometría de la sección de entrada simple del ciclón grados ángulo en relación con el equipo se obtuvieron para las velocidades de entrada de gas teniendo en cuenta que la velocidad aumenta en el ingreso de del separador ciclónico 29 m/s reduciéndose la trayectoria en la parte cilíndrica a una velocidad promedio de 22.36 m/s disminuyendo a 20.499 m/s paulatinamente.

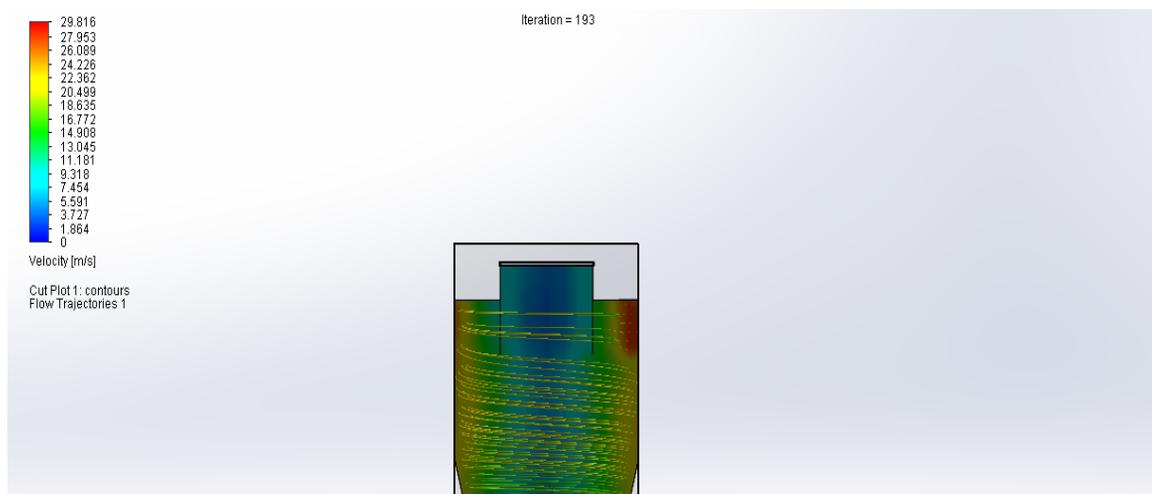


Fig. 7.- Análisis de velocidad en la parte cilíndrica. (elaboración propia )

en la parte cónica tiene una velocidad de 14.90 m/s a 1.864m/s en reducción paulatinamente donde se puede ver la disminución de la velocidad tangencial del gas picos para un flujo de gas con sólidos. característica muy importante sobre la dinámica de fluidos de ciclones porque hay una relación entre pico de velocidad tangencial y la caída de presión (parámetro de rendimiento del ciclón). Estos resultados están en acuerdo con el modelo stairmand de alta eficiencia. Velocidad de entrada de gas de 25 m/s y 29.816 m/ s.

### 1.1 Patrón de flujo de partículas

La separación y la eficiencia de las partículas que ingresan al ciclón en diferentes posiciones varía porque tienen diferentes senderos de flujo diferentes. En base a los resultados calculados, se encuentra que el área de entrada se puede dividir en cuatro regiones para describir este comportamiento, según algunos modelos matemáticos muestra las trayectorias de partículas con diámetro de corte.

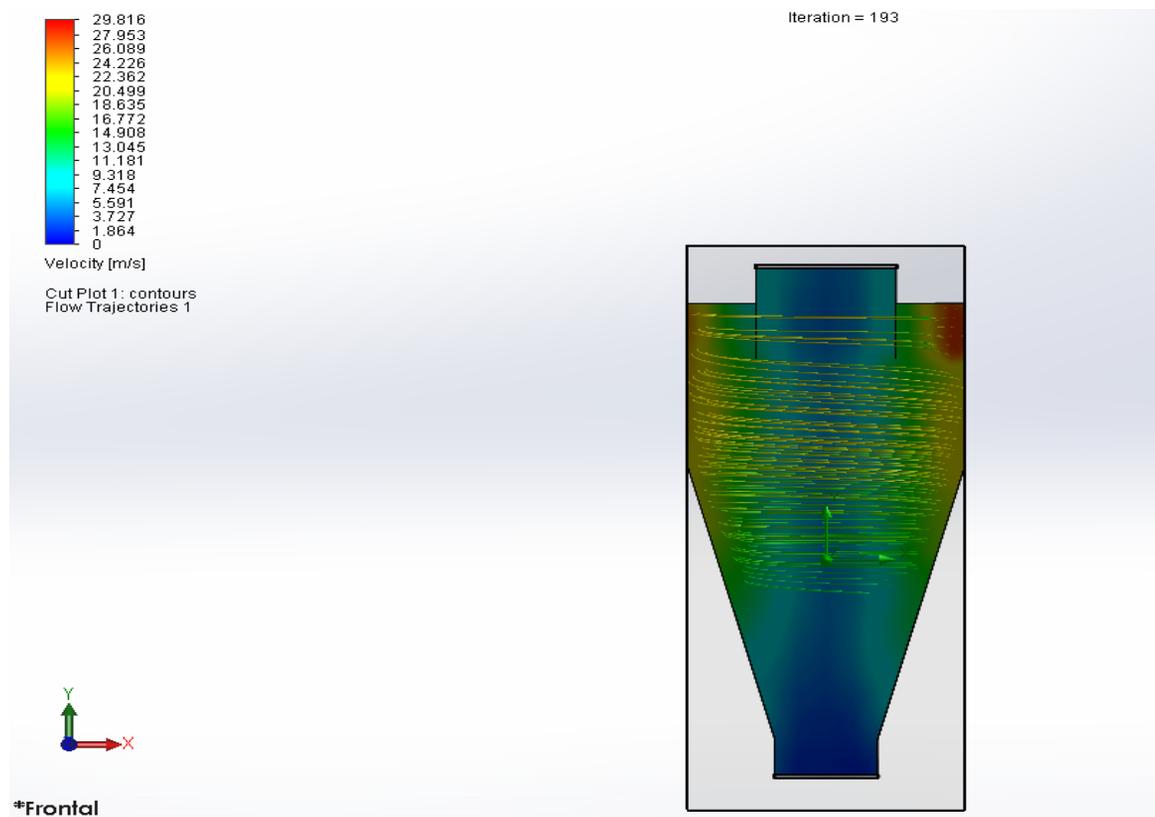


Fig. 8.- Separador ciclónico completo ( Elaboración propia )

$Dp50 = 3 \times 10^{-7}$  m en cuatro áreas diferentes. La partícula de la región 1 escapa directamente del buscador de vórtices debido al flujo de cortocircuito. La partícula de la región 2 tiene movimiento circular debajo del techo y puede formar un techo de polvo giratorio. Una vez que ingresa al vórtice central, no se pueden recoger.

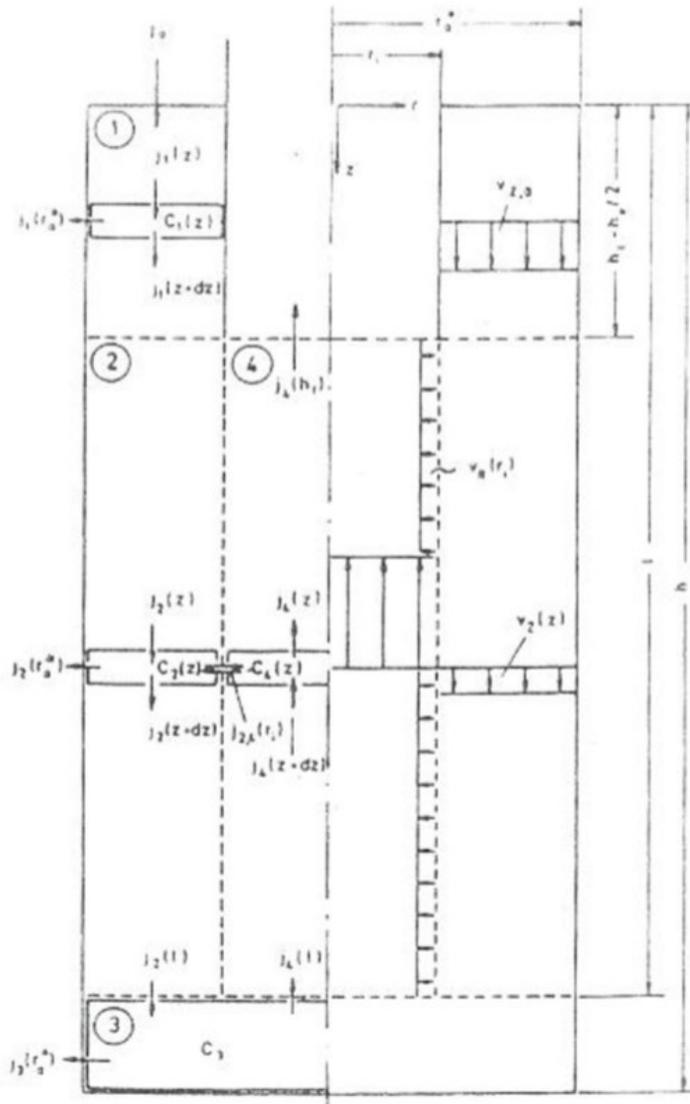


Fig. 9 División de regiones según el método matemático de mothes y loffler.

(Mothes y Löffler, 1988)

## 1.2 Separación y Eficiencia

Los parámetros económicos más importantes de un separador ciclónico son la separación, la eficiencia y la presión. Generalmente, el aumento de la velocidad de entrada de gas aumentará la separación y la eficiencia, pero también aumentará la caída de presión. En este trabajo, se han realizado experimentos físicos y numéricos para encontrar el efecto de velocidad de entrada de gas en la separación y eficiencia y caída de presión. Como se muestra en la Fig. 3, la caída de presión aumenta con la velocidad del gas de entrada, y existe un buen acuerdo entre los resultados pronosticados y medidos. La recolección y la eficiencia pueden mejorarse con el aumento de la velocidad del gas de entrada.

Por lo tanto, los experimentos físicos y numéricos producen resultados cualitativamente comparables. En general, si las partículas ingresan al ciclón desde la parte superior de la entrada, su eficiencia de separación será relativamente baja. Por el contrario, si las partículas ingresan al ciclón desde el fondo de la entrada, su eficiencia de separación será alta. Este factor debe tenerse en cuenta en el diseño de ciclones y el control del rendimiento, aunque más detallados los estudios son necesarios para comprender completamente y cuantificar su efecto.

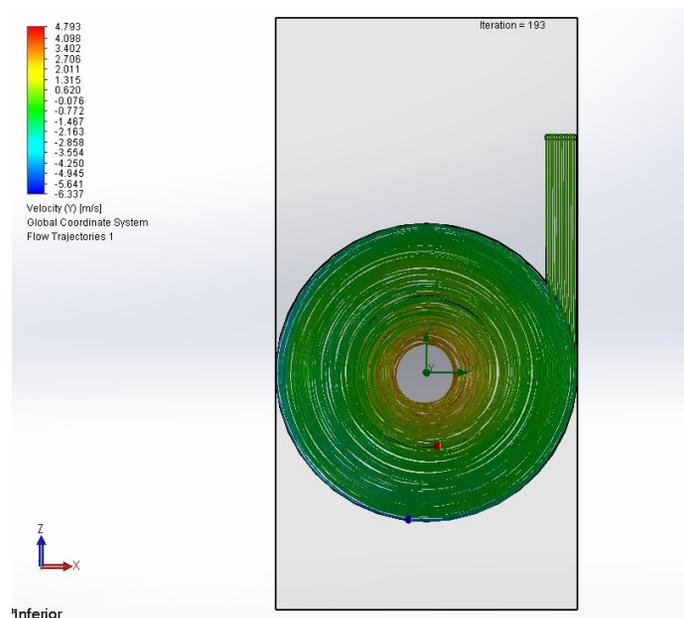


Fig. 10 velocidad en Y

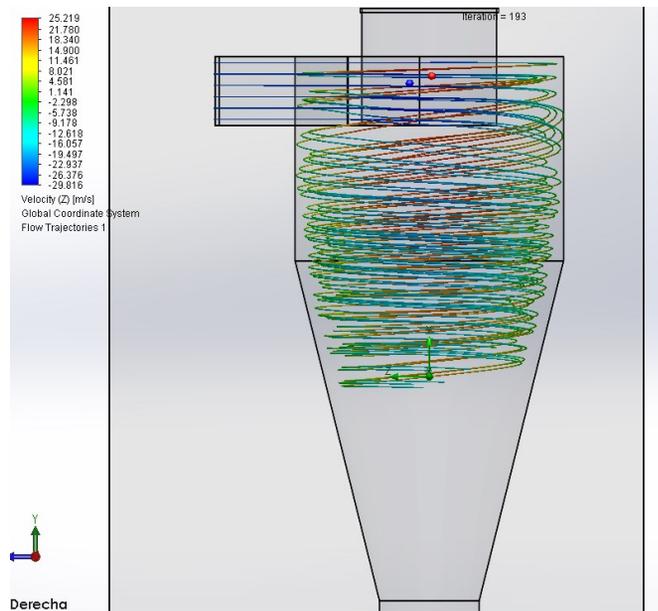


fig. 11.- Velocidad en z (elaboración propia )

#### IV.CONCLUSIONES

Este caso de estudio estrés de Reynolds se ha utilizado para simular el flujo turbulento anisotrópico en un ciclón stairmand . su la aplicabilidad ha sido verificada por el buen acuerdo entre las presiones calculadas y medidas y el flujo campos. Sobre esta base, se ha utilizado un software para predecir el patrón de flujo de partículas en el ciclón y su validez se confirma comparando las trayectorias y las recolecciones de flujo sólido predichas y medidas en las imágenes. las siguientes conclusiones se pueden extraer del presente estudio:

- La colisión entre las corrientes de gas después de correr alrededor de un flujo centrifugo y que el simple hecho de ingresar es la razón principal del flujo turbulento. Probablemente, la forma de disminuir la colisión sea clave para diseñar nuevos ciclones con alta separación y alta eficiencia y baja caída de presión.
- La forma utilizada para cuantificar la variabilidad en los patrones de flujo (tamaño de las partículas turbulentas) utilizada en este trabajo es sencilla y aprovecha las características de los softwares utilizados en la visualización de dichos patrones, mientras que al mismo tiempo permite no sólo obtener información cualitativa de los patrones de flujo a través de la

observación de las imágenes, sino también información cuantitativa (dimensiones aproximadas de las estructuras turbulentas) en un mismo proceso.

- La circulación secundaria en el ciclón se compone de flujo centrífugo influencia. afecta la separación, la eficiencia y la caída de presión en el ciclón.

## REFERENCIAS

Bahamondes, S. J. (2008). *DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SEPARADOR CICLÓNICO PARA LA INDUSTRIA NAVAL*. (Tesis Pregrado). Recuperado de:

<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfcib151d/doc/bmfcib151d.pdf>

Cotrina, J. (2019). *Diseño de una máquina secadora de granos de arroz portátil con capacidad de silo de 7 m<sup>3</sup> para los pequeños productores arroceros de la región Lambayeque – Perú*. (Tesis Pregrado).

Depuración y limpieza IND. (2017). *Separador Ciclónico*. Recuperado de:

<http://depuracionylimpiezaind.blogspot.es/tags/separador-ciclonico/>

Donaldson. (s.f). *Separador Ciclónico Series Df-C: Filtracion De Procesos*. Recuperado de:

<https://www.donaldson.com/content/dam/donaldson/compressed-air-and-process/literature/latin-america/compressed-air-and-gas/filter-housings/industrial-housings/df-c-cyclone-separator/DF-C-Separador-Ciclonico.pdf>

Echeverri, C. (2006). *Diseño óptimo de ciclones*. Revista Ingenieras Universidad de Medellín.

Recuperado de:

[https://www.researchgate.net/publication/262467595\\_Disenio\\_optimo\\_de\\_ciclones](https://www.researchgate.net/publication/262467595_Disenio_optimo_de_ciclones)

EPA. (1998). Hoja de datos – Tecnología de Control de Contaminantes del Aire. Recuperado de:

<https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir1/fcyclons.pdf>

García, J. (2008). “*Efectos de la variación del dimensionamiento del buscador de vórtices en el desempeño de un separador ciclónico*”. México D. F.

Imas Aeromeccanica S.r.l. (s.f). *Ciclones de Reducción*. Recuperado de:

<http://www.imas.it/es/ciclone/Abbattimento.asp>

Jimenez, J. et. al. (2008). *Patrones de flujo en un Sistema de Separación Ciclónico*. México D.

F. recuperado de:

<https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v19n1/art05.pdf>

Lobato, G. E. y Castillo, A. F. (2015). *Diseño Y Construcción De Un Separador Ciclónico D Entrada Tangencial Y Descarga Axial Para Material Particulado De Tamaño Menor 40*. (Tesis pregrado). Recuperado de:

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4852/1/236T0161.pdf>

## **ANEXOS**

### **ANEXO N° 01**

**Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú (CIP)**



## **CÓDIGO DE ETICA DEL CIP**

**APROBADO EN LA III SESIÓN ORDINARIA DEL CONGRESO NACIONAL DE CONSEJOS  
DEPARTAMENTALES DEL PERÍODO 1998 - 1999  
EN LA CIUDAD DE TACNA 22, 23 Y 24 ABRIL 1999**

ANEXO N° 02  
Código de Ética de Investigación de la USS - Continuación



[www.uss.edu.pe](http://www.uss.edu.pe)

# CÓDIGO DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN DE LA USS

VERSIÓN 03

RATIFICADO POR ACUERDO DE CONSEJO UNIVERSITARIO CON RESOLUCIÓN  
RECTORAL N° 0851-2017/USS

CHICLAYO - PERÚ

Version: 03	Código: VRI-CE	F. Implementación:	Página 1 de 29
Elaborado por: Dirección de Investigación	Revisado por: Planificación y Desarrollo Institucional – Asesoría Legal		Ratificado con Resolución Rectoral N° 0851- 2017/USS

## 1 General Information

**Objective of the simulation:** Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut a pulvinar lacus. Vivamus adipiscing adipiscing eleifend. Pellentesque eget ante in ante suscipit gravida in non lorem. Suspendisse hendrerit sagittis lacus non aliquam. Proin pellentesque, lorem quis consequat porta, lectus nunc vestibulum lectus, nec rhoncus libero dui ut felis. Vestibulum eu aliquet tellus. Curabitur suscipit ornare sem. Suspendisse pulvinar pharetra ultrices. Suspendisse a quam massa

### 1.1 Analysis Environment

Software Product: Flow Simulation 2017 SP0.0. Build: 3630  
 CPU Type: Intel(R) Core(TM) i5-8300H CPU @ 2.30GHz  
 CPU Speed: 2304 MHz  
 RAM: 12130 MB / 134217727 MB  
 Operating System: Windows 10 (or higher) (Version 10.0.18363)

### 1.2 Model Information

Model Name: CROQUIS DE CICLON DE ESTUDIO.SLDPRT  
 Project Name: separador ciclonico

### 1.3 Project Comments:

Unit System: SI (m-kg-s)  
 Analysis Type: Internal

## 1.4 Size of Computational Domain

### Size

X min	-1.130 m
X max	1.130 m
Y min	-2.597 m
Y max	3.261 m
Z min	-1.798 m
Z max	2.691 m

## 1.5 Simulation Parameters

### 1.5.1 Mesh Settings

#### 1.5.1.1 Basic Mesh

### Basic Mesh Dimensions

Number of cells in X	10
Number of cells in Y	24
Number of cells in Z	18

#### 1.5.1.2 Analysis Mesh

Total Cell count: 9023  
 Fluid Cells: 9023  
 Solid Cells: 9967  
 Partial Cells: 4340  
 Trimmed Cells: 0

## ANEXO N° 04

## 2 Results

### 2.1 Analysis Goals

#### Goals

Name	Unit	Value	Progress	Criteria	Delta	Use in convergence
GG Min Total Pressure 1	Pa	101293.67	0	0	1.45408366	Off
GG Max Total Pressure 1	Pa	101943.88	0	0	41.7044786	Off
GG Min Total Temperature 1	K	293.17	0	0	0.0260306346	Off
GG Max Total Temperature 1	K	350.32	0	0	0.00202449797	Off
GG Mass (Fluid) 1	kg	13.438	0	0	0.0725361442	Off
GG Friction Force 1	N	3.218	0	0	0.0325779228	Off
GG Friction Force (X) 1	N	-0.854	0	0	0.025811751	Off
GG Friction Force (Y) 1	N	-0.772	0	0	0.0160719225	Off

#### Min/Max Table

Name	Minimum	Maximum
Density (Fluid) [kg/m^3]	1.01	1.20
Pressure [Pa]	101283.78	101620.52
Temperature [K]	293.17	350.28
Temperature (Fluid) [K]	293.17	350.28
Velocity [m/s]	0	29.816
Velocity (X) [m/s]	-25.870	23.755
Velocity (Y) [m/s]	-6.337	4.793
Velocity (Z) [m/s]	-29.816	25.219
Mach Number [ ]	0	0.08
Velocity RRF [m/s]	0	29.816
Velocity RRF (X) [m/s]	-25.870	23.755
Velocity RRF (Y) [m/s]	-6.337	4.793
Velocity RRF (Z) [m/s]	-29.816	25.219
Vorticity [1/s]	9.58e-003	212.37
Relative Pressure [Pa]	-41.22	295.52
Shear Stress [Pa]	5.79e-004	2.79
Heat Transfer Coefficient [W/m^2/K]	0	0
Surface Heat Flux [W/m^2]	0	0
Surface Heat Flux (Convective) [W/m^2]	-1509838.939	8986137.997
Acoustic Power [dB]	0	73.48

### 2.3 Results