



**Universidad Nacional
Federico Villarreal**

*Vicerrectorado de
INVESTIGACIÓN*

**ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO
“PARÁMETROS FÍSICOS EN CONDICIONES ATMOSFÉRICAS QUE
AFECTAN LA CAPACIDAD DE COLECCIÓN DE MATERIAL
GRANULAR EN UN SEPARADOR TIPO CICLÓN PARABOLOIDE EN
BELLAVISTA - REGIÓN CALLAO, 2017”**

**MODALIDAD PARA OPTAR EL GRADO:
MAESTRO EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**AUTOR:
DE LA CRUZ CRUZ MIGUEL ANGEL**

**ASESOR:
MG. TORDOCILLO PUCHUC JUVENAL**

**JURADO:
DRA. NAUPAY VEGA MARLITT FLORINDA
DR. BOLÍVAR JIMÉNEZ JOSÉ LUIS
DR. VIVAR PARRAGA JULIO OSWALDO**

LIMA - PERÚ

2018

DEDICATORIA

A mi familia, que siempre me dieron valores y la confianza de seguir adelante, en especial a Mikaela que me enseñó a ser más curioso y perseverante.

AGRADECIMIENTO

- A mi Asesor de Tesis: Mg. Juvenal Tordocillo Puchuc, que me brindó su apoyo académico valioso, que fue constante y desinteresado para el desarrollo y culminación de la presente Tesis.

- Al Decano de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática: Mg. Roel Mario Vidal Guzmán, por los permisos y facilidades para el uso de las instalaciones y laboratorios de física general.

- Al Jefe de Laboratorio de Física y Química: Dr. Richard Saul Toribio Saavedra por las facilidades y orientaciones para las pruebas con equipo de medidas y toma datos.

- Al Profesor: Dr. Ciro Rodríguez Rodríguez, por haber contribuido desinteresadamente en la ampliación de conceptos de investigación para la presente tesis.

- Al Profesor: Dr. Abel Walter Zambrano Cabanillas, por sus charlas que realizo a mis consultas sobresobre Diseño de Investigación y desarrollo de Tesis.

- A la Profesora: Mg. Carmen Elizabeth Barreto Pio, quien me absolvió a mis preguntas respecto a la contaminación ambiental e investigación.

- Al Profesor Mg. Jorge Santos Andahua, que me absolvió a mis preguntas respecto al diseño y desarrollo de equipos para tratamiento de efluentes gaseosos.

- Al Profesor: Mg. Cesar Victoria Barros, quien me absolvió a mis preguntas sobre metodología de investigación científica y estadística.

- Al Dr. Cesil Miguel Montes Yana, por darme ampliación en los conocimientos respecto a la contaminación de material particulado que afectan en la salud a los habitantes del Callao.

- Al Mg. Abilio Grau Bravo, que me brindo consejos y estímulos constantes para que culmine la presente tesis.

- A la Lic. Janet Mamani Ramos, que me apoyo con su orientación para el desarrollo e interpretación matemática para la presente investigación.

- A la Bach. Elizabeth Madelayne Veinzaga Quinto, quien me brindo orientación sobre manejo de material particulado en laboratorio.

Al Señor: Marden Jack Ventura Sáenz, representante de las empresas: **Innovación e Inversiones Industriales S.A.C** y **C&M Industrial Perú S.A.C**. quien absolvió a mis preguntas referentes a temas de electromecánica y manejo de sensores digitales y analógicos.

RESUMEN

En el presente estudio, se elaboró un equipo cuyo diseño es de un ciclón tipo paraboloidal basado en las características de diseño de un ciclón convencional tipo Stairmand de alta eficiencia. Los indicadores de los parámetros físicos de interés que han sido medidas son; la Frecuencia (F), Velocidad angular (ω), Presión de entrada en el caracol centrifugo (P1), Presión de entrada en el ciclón paraboloidal (P2), Presión de salida en el ciclón paraboloidal (P3), Corriente eléctrica (I) y % Eficiencia, y estas medidas han sido tomadas en el laboratorio de física de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad Nacional del Callao. Encontrándose como ventaja la captura acelerada de material frente a los ciclones convencionales. Encontrando el mayor rendimiento % Eficiencia del equipo a frecuencias en intervalo de 45 Hz y 55Hz. La corriente eléctrica y el % Eficiencia presentan dependencia mutua de aumento y/o disminución. Para las pruebas de datos se usó el chuño con humedad 19.98% y diámetro de partícula menor o igual a 160 μm . Teniendo como la desventaja fugas y pérdidas del chuño en todo el sistema de distribución y en la chimenea de salida del Ciclón Paraboloidal. Se realizó un análisis correlacionar de los indicadores de los parámetros físicos. El coeficiente de determinación fue alto, y en muchos casos cercanos a 1, demostrando que la predicción de la eficiencia de colección está determinada por el comportamiento de los parámetros físicos.

Palabras clave: (Ciclón tipo Stairmand, material particulado, ciclón paraboloidal, eficiencia de colección)

ABSTRACT

In the present study, a team was developed whose design is a paraboloid-type cyclone based on the design characteristics of a conventional high-efficiency Stairmand-type cyclone. The indicators of the physical parameters of interest that have been measured are; Frequency (F), Angular velocity (ω), Input pressure in the centrifugal snail (P1), Input pressure in the paraboloid cyclone (P2), Output pressure in the paraboloid cyclone (P3), Electric current (I) and % Efficiency, and these measures have been taken in the physics laboratory of the Faculty of Natural Sciences and Mathematics of the National University of Callao. Accelerated capture of material against conventional cyclones is an advantage. Finding the highest efficiency % Equipment efficiency at frequencies in the 45 Hz and 55 Hz range. Electric current and % Efficiency are mutually dependent on increase and / or decrease. For the data tests the chuño with humidity 19.98% and particle diameter less than or equal to $160 \mu m$ was used. Having as the disadvantage leaks and losses of the chuño in all the distribution system and in the exit chimney of the Paraboloid Cyclone. A correlation analysis of the indicators of the physical parameters was performed. The coefficient of determination was high and, in many cases, close to 1, demonstrating that the prediction of collection efficiency is determined by the behavior of the physical parameters.

Keywords: (Stiarmand-type cyclone, particulate material, paraboloid cyclone, collection efficiency)

ÍNDICE GENERAL

<i>DEDICATORIA</i>	<i>ii</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i>	<i>iii</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>v</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>vi</i>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	<i>xiii</i>
<i>CAPÍTULO I</i>	<i>16</i>
<i>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i>	<i>16</i>
<i>1.1 Antecedentes</i>	<i>16</i>
<i>1.2 Planteamiento del problema</i>	<i>20</i>
<i>1.3 Objetivos</i>	<i>23</i>
<i>1.4 Justificación</i>	<i>23</i>
<i>1.5 Alcances y limitaciones</i>	<i>24</i>
<i>1.6 Definición de variables</i>	<i>25</i>
<i>CAPÍTULO II</i>	<i>26</i>
<i>MARCO TEÓRICO</i>	<i>26</i>
<i>2.1 Fundamentos y Principio de Funcionamiento del ciclón</i>	<i>26</i>
<i>2.2 Bases teóricas especializadas sobre el tema</i>	<i>38</i>
<i>2.3 Marco conceptual</i>	<i>53</i>
<i>2.4 Hipótesis</i>	<i>57</i>
<i>CAPÍTULO III</i>	<i>59</i>
<i>MÉTODO</i>	<i>59</i>
<i>3.1 Tipo</i>	<i>59</i>
<i>3.2 Diseño de investigación</i>	<i>60</i>
<i>3.3 Estrategia de prueba de hipótesis</i>	<i>64</i>
<i>3.4 variables</i>	<i>64</i>
<i>3.5 Población</i>	<i>66</i>
<i>3.6 Muestra</i>	<i>66</i>

<i>3.7 Técnica de investigación</i>	67
<i>CAPÍTULO IV</i>	87
<i>PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</i>	87
<i>4.1 Contrastación de hipótesis</i>	87
<i>4.2 Análisis e Interpretación</i>	87
<i>CAPÍTULO V</i>	103
<i>DISCUSIÓN</i>	103
<i>5.1 Discusión</i>	103
<i>5.2 Conclusiones</i>	106
<i>5.3 Recomendaciones</i>	109
<i>5.4 Referencias</i>	111
<i>ANEXOS</i>	116

INDICE DE GRÁFICOS

Capítulo IV

4.1 Gráfico N° 01. Ajuste de % Eficiencia (% Efi) vs Frecuencia (F).	91
4.2 Gráfico N° 02. Ajuste de % Eficiencia (% Efi) vs Velocidad Angular (ω).	92
4.3 Gráfico N° 03. Ajuste de % Eficiencia (% Efi) vs Presión 1 (P1).	94
4.4 Gráfico N° 04. Ajuste de % Eficiencia (% Efi) vs Presión 2 (P2).	95
4.5 Gráfico N° 05. Ajuste de % Eficiencia (% Efi) vs Presión 3 (P3).	96
4.6 Gráfico N° 06. Ajuste de % Eficiencia (Efi) vs Corriente de Entrada (I).	98
4.7 Gráfico N° 07. Ajuste de % Eficiencia1 (Efi) vs Corriente de Entrada1 (I).	99
4.8 Gráfico N° 08. Ajuste de % Eficiencia2 (Efi) vs Corriente de Entrada2 (I).	100
4.9 Gráfico N° 09. Ajuste de Temperatura ambiental (Ta) vs % Eficiencia (Efi).	102
4.10 Gráfico N° 10. Ajuste de Presión atmosférica (Patm) vs % Eficiencia (Efi).	103

INDICE DE FIGURAS

Capítulo II

2.1 Figura N° 01. Ilustración de la diversidad de materiales que pueden ser transportados y separados en equipos de separación.	29
2.2 Figura N° 02. Tamaño de partículas de algunos materiales y métodos adecuados para eliminarlos de un efluente gaseoso.	30
2.3 Figura N° 03. Superficie de paraboloides en tres perfiles usando el programa Matlab 2017b.	32
2.4 Figura N° 04. Parábola casi recta en el plano xz usando Matlab 2017b.	34
2.5 Figura N° 05. Curva hélice de paraboloides en tres perfiles usando el programa Matlab 2017b.	35
2.6 Figura N° 06. Curva espiral en el eje xy usando el programa Matlab 2017b.	36
2.7 Figura N° 07. Asociación de tres sistemas monofásicos.	37
2.8 Figura N° 08. Partes de un motor de inducción trifásico.	39
2.9 Figura N° 09. Tipos de tendencias a las gráficas de dispersión.	40
2.10 Figura N° 10. Elemento de un fluido visto desde diferentes formas: a) Sistema de coordenadas fijo inercial, (b) Sistemas de coordenadas respecto al elemento de fluido no inercial.	41
2.11 Figura N° 11. Comportamiento del Vórtice Real.	43
2.12 Figura N° 12. Una partícula cilíndrica con sus equivalentes esféricas.	45
2.13 Figura N° 13. Esquema de un ciclón de entrada tangencial con patrón de flujo en coordenadas cilíndricas.	47

2.14 Figura N° 14. Flujos secundarios causados por el remolino en el ciclón.	48
2.15 Figura N° 15. Comparación del patrón de flujo de entrada entre una ranura y una entrada “envuelta” de 360°.	51
2.16 Figura N° 16. Diseño de un ciclón típico Stairmand.	54

Capítulo III

3.17 Figura N° 17. Pasos para el desarrollo de una investigación cuantitativa	62
3.18 Figura N° 18. Verificación de que una muestra es igual a un elemento de población.	69
3.19 Figura N° 19. Moldes de maderas para el Ciclón Paraboloide.	73
3.20 Figura N° 20. Ciclón paraboloide en proceso de acoplamiento.	74
3.21 Figura N° 21. Ciclón Paraboloide en fibra de vidrio.	74
3.22 Figura N° 22. Caracol centrifugo con toberas de succión y emisión.	75
3.23 Figura N° 23. Placa madre del motor Weg de 0.5 Hp.	76
3.24 Figura N° 24. Acoplamiento motor y caracol centrifugo.	77
3.25 Figura N° 25. Balanza analógica marca Adam Equipment.	78
3.26 Figura N° 26. Analizador de humedad marca H.W.Kessel.	78
3.27 Figura N° 27. Tres sensores de presión baja y una de temperatura marca PASCO.	79
3.28 Figura N° 28. Sensor de presión absoluta (alta) marca PASCO.	79
3.29 Figura N° 29. Sensor de movimiento rotacional marca PASCO.	80

3.30 Figura N° 30. Termómetro infrarrojo y del amperímetro mordaza marca PeakTech.	80
3.31 Figura N° 31. Montaje final del equipo.	81
3.32 Figura N° 32. Variador de Frecuencia marca MOLLER.	82
3.33. Figura N° 33. Tamizado con partículas de chuño en malla de $160 \mu m$.	83
3.34 Figura N° 34. Chuño capturado en el balde y en el Ciclón Paraboloide para $F = 55 \text{ Hz}$.	84
3.35. Figura N° 35. Chuño capturado en el balde y en el Ciclón Paraboloide para $F = 55 \text{ Hz}$.	84

INTRODUCCIÓN

La captura de material particulado presente en el aire es de gran importancia porque permite mantener el ambiente libre de contaminantes. El equipo de captura de material particulado que se usa con mayor frecuencia es el ciclón. Los ciclones remueven el material particulado del efluente gaseoso, basándose en el principio de impactación inercial, generado por la fuerza centrífuga dentro del ciclón. Los ciclones convencionales son empleados especialmente en el campo del control de polución de aire y separación de material particulado. En la actualidad, los ciclones se han vuelto uno de los aparatos más importantes para la remoción de partículas, debido a su fácil construcción y a que no tienen partes móviles, a los bajos costos de operación y a la buena adaptabilidad en los ambientes que son removidos. Por otro lado, la industria demanda material particulado fino que se utiliza en la fabricación de pigmentos, en mezclas asfálticas, en limpieza, en industria de la alimentación, etc. Estos materiales son caros debido a que la separación y clasificación a menudo son procesos relativamente sofisticados (Pico & Barbosa, 2013).

Por tanto, las constantes innovaciones en la industria conllevan a un aumento significativo de emisión de material particulado, y esto a su vez tiende a escapar a la atmósfera dando lugar a la contaminación atmosférica que tiene como principal implicancia en la población expuesta, en ese contexto en las últimas décadas, la investigación tecnológica se ha focalizado en aspectos complementarios de la experimentación física y la parte computacional (Pico & Barbosa, 2013).

En este trabajo se optado por la experimentación física a partir del diseño y se presenta la modificación de un ciclón Stairmand de Alta Eficiencia, modificando su geometría a paraboloides en fibra de vidrio de baja rugosidad, de tal manera permita lograr nuevas condiciones óptimas de funcionamiento, minimizando costos y obteniendo nuevas medidas de eficiencia y la captura del material particulado.

Para llevar a cabo el funcionamiento del Ciclón, se necesita de un sistema electromecánico constituido convencionalmente por; “motor-caracol centrífugo”, con las especificaciones no mostradas en los artículos, luego de varias pruebas se ha tomado un motor con las características mostradas en el anexo 1.24.

Siendo la hipótesis; “los parámetros físicos en condiciones atmosféricas permiten la mayor capacidad de colección de material granular en un separador tipo ciclón paraboloides en Bellavista-Región Callao”, que fue contrastada con los ajustes gráficos y medidas de los coeficientes de determinación de los indicadores de los parámetros físicos y colección de material granular.

En la distribución de los temas en el presente trabajo es como sigue:

En el Capítulo I, se plantean los antecedentes del problema teniendo como base las características del diseño, el armado y resultados en remoción del ciclón paraboloides y

su implicancia en la región callao, con esta información se plantean los objetivos, la justificación, la importancia y las limitaciones de esta investigación.

En el Capítulo II, se presenta la teoría relacionada con los conceptos de ciclón Stairmand de Alta Eficiencia, y los fundamentos físicos relacionado a la construcción, asimismo se plantea la Hipótesis de investigación.

En el Capítulo III, se detalla el proceso que se siguió en la construcción y lo relacionado con el tipo y la metodología la investigación desarrollada.

El Capítulo IV, se presentan los resultados con medidas estadísticas para la presentación de datos e interpretación grafica está presente en toda investigación usando para ello, el uso de softwares usadas en la comunidad científica. En la presente tesis se obtuvo medidas cuyo análisis grafico por su complejidad de ajustes se usó del Lenguaje de Programación Matlab 2017b siendo una manera más didáctica y eficiente para análisis gráfico y estadístico, así como en la presentación de gráficos obtenidos de la toma de datos del ciclón paraboloides de esta investigación.

Finalmente, en el Capítulo V, se presenta la Discusión de los resultados que se obtuvieron, así como las Conclusiones y Recomendaciones, obtenidas en el presente trabajo de investigación para que futuros investigadores pertenecientes a las áreas académicas o áreas industriales, puedan desarrollar el Ciclón Paraboloides o Curvas no convencionales a escala industrial y de esa forma puedan contribuir a mejorar la calidad del aire que la población necesita.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

Aguedo, A. (2008). **Problemática medio ambiental de las canteras de materiales de construcción en Lima.** En esta investigación en base a las inspecciones de campo y el análisis del cumplimiento de las normas legales de seguridad y medio ambiente, concluyen que la polución de polvo producido por las operaciones de chancado, clasificación de los materiales de construcción y durante el transporte originados por los volquetes, produce daños en la salud de los centros poblados cercanos y a la vegetación del entorno.

Ballester, F., Tenías, J. & Pérez, S. (1999). **Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud.** En este trabajo sus autores expresan que los principales efectos de la contaminación atmosférica en la salud, son desde un aumento de la mortalidad total por causas respiratorias y cardiovasculares, debido a las alteraciones del funcionalismo pulmonar y otros síntomas, hasta un incremento en el número de visitas médicas e ingresos hospitalarios. A pesar de existir un amplio consenso respecto al efecto nocivo de la contaminación atmosférica, existen una serie de cuestiones que requieren más investigaciones.

Gawali, S. y Bhambere, M.B. (2015). **Effect of desing and the operating parameters on the performance of cyclone separator-a review.** En su investigación, los autores concluyen que a partir del estudio y análisis de diversos trabajos se observa que la caída de la presión varía con la velocidad de entrada, que es independiente del diámetro del ciclón. Mostraron, que, al disminuir el diámetro del cuerpo del ciclón, la anchura del ciclón y la anchura de entrada del ciclón la eficiencia del ciclón con la temperatura

aumenta. Además, indican que con el aumento de la velocidad de entrada y la densidad de las partículas aumentan la eficiencia de recolección. Y al aumentar la velocidad de entrada la caída de presión aumenta, pero la caída de presión disminuye significativamente con el incremento de la temperatura.

Gutiérrez, C. et al. (2006). **Estudio de los parámetros que afectan la eficiencia de los separadores tipo ciclón.** En este trabajo los autores analizaron un efluente gaseoso con contenido de partículas de forma irregular (hojuelas) y encontró que la eficiencia de separación del ciclón para tratar efluentes gaseosos depende de cuatro variables: densidad, viscosidad, altura del cilindro y altura de entrada tangencial del efluente gaseoso. También con las dimensiones geométricas del ciclón: área, longitud del cilindro, aumenta la longitud del vórtice de las partículas con ello, estas se proyectan más en las paredes del ciclón para que sean capturadas posteriormente.

Jadhav, M (2014). **Design of cyclone and study of its performance parameters.** Diseña y construye un ciclón para un molino de harina. Concluye que la caída de presión depende de la velocidad de entrada simple para un ciclón simétrico. Encontró que la caída de presión aumenta a medida que la velocidad aumenta provocando un aumento en la eficiencia de recolección. Los autores contrastan sus experiencias usando el programa Computacional Fluid Dynamics (CDF).

Faulkner, W. B. y Shaw, B. W (2006). **Efficiency and Pressure Drop of Cyclones Across a Range of Inlet Velocities.** Concluyen en sus investigaciones que las industrias de transformación agrícola, como los elevadores de granos pueden reducir la contaminación del aire, al operar ciclones con velocidades de entrada más bajas y obtener eficiencias de recolección. En la investigación se usó el equipo The Texas A&M Cyclone Design (TCD). Los autores recomiendan que se necesita más investigaciones para determinar nuevos resultados para un mayor diámetro del ciclón.

Mothilal, T. y Pitchandi, K. (2016). **Effect of particles density on holdup mass and heat transfer rate in solid cyclone heat exchanger**. Los autores concluyen la masa de retención aumenta entre un 0,5% a 1,5% con la disminución de la densidad de las partículas, provocando aumento en la rotación y acumulación de las partículas en el interior del ciclón. Observan, que la tasa de transferencia de calor aumenta de 82% a 86% al disminuir de la densidad de las partículas respecto a las temperaturas de aire de entrada, que provoca que las fuerzas de arrastre que actúa sobre las partículas sean menor en comparación con las partículas de alta densidad, llevando un aumento de tiempo de contacto entre el gas y el sólido para que la transferencia de calor aumente. También, encuentran que la velocidad de aire de entrada aumenta la masa de recolección en un 5% y aumenta la transferencia de calor ente 4% a 6,2%.

Oriaku, E. et al (2014), **Correlation between Velocity, Pressure Drop And Collection Efficiency In A Designed Stairmands and Cyclone**. En el presente trabajo los autores concluyen que existe relación entre las variables físicas (velocidad de entrada, presión de entrada, presión de salida y velocidad terminal) y la eficiencia de recolección. Sus medidas obtenidas muestran una correlación de datos cuadrática con coeficiente de correlación (R^2) en el rango de 0.853 a 0.926. Además, mostro que el aumento de la velocidad o presión resulta en un aumento de recolección de partículas hasta un punto (Saltación) donde el aumento adicional de las variables produce una disminución en la recolección de partículas.

Person, E. et al (2014), **Design and analysis of cyclone dust separator**. En su tesis de maestría el autor concluye que el secado por pulverización es posible mediante ciclones, siendo factible en comparación con el secado por aspersion tradicional. Observaron, que de la boquilla de entrada el gas para velocidades bajas que las condiciones operativas típica al ciclón, las gotitas de tamaño de diámetro normalizado de 0,22 y menores (donde el diámetro de gotitas se normaliza contra las gotitas más grandes) podrían secar el ciclón antes del impacto de la pared del ciclón, concluyendo que el secado por pulverización en ciclones solo es aplicable a una pulverización muy fina.

Petip, H. A. et al (2011). **Influencia de la longitud del cono de un ciclón sobre las variables de flujo.** En su trabajo lo realizaron con el programa de fluidodinámica computacional CFD, concluyendo que los ciclones de alta eficiencia con mayor longitud del cono provocan un incremento de la velocidad tangencial y contribuye la disminución de la caída de presión. Indican, que el cono al ser largo a bajas temperaturas de operación genera el incremento en su eficiencia de recolección. Muestran, que, para temperaturas elevadas, la eficiencia de recolección es más relevante en comparación con el aumento de la longitud del cono.

Taiwo, M. et al (2016), **Design and analysis of cyclone dust separator.** En la investigación los autores concluyen que la eficiencia de colección varía mucho con el tamaño de las partículas y el diseño del ciclón recomendando que el investigador que trabaja con ciclones debe saber la cantidad de flujo de aire y las características de la partícula para determinar el tipo de ciclón requerido. Además, comentan, que en la actualidad ya los ciclones nos son considerados de baja eficiencia, debido a que otros investigadores pueden obtener 98% de rendimiento para partículas mayores a $5 \mu m$ y en otras, lograr una eficiencia de 90% para partículas mayores entre $15 \mu m$ hasta $20 \mu m$.

Sakura, G. B. y Leung. A. Y (2015). **Experimental Study of Particle Collection Efficiency of Cylindrical Inlet Type Cyclone Separator.** En su investigación concluyen la eficiencia de recolección está relacionada con las bajas tasas de carga de partículas para un separador ciclónico de tipo cilíndrico. Muestran que el comportamiento de la eficiencia incrementa la recolección con la tasa de carga sólida. Los autores recomiendan extender el estudio para investigar los efectos de carga de partículas a mayores tasas de carga y el tubo de Hopper extendido (ciclón cilíndrico) para analizar la eficiencia de recolección.

Sathish, J. y Gomadural. C. (2014). **Studies on performance of cyclone separator with two tangential gas inlets.** Los autores construyeron un separador ciclónico que tiene adicionalmente una entrada secundaria para el ingreso de caudales que provoca

cambios significativos en la fuerza centrífuga que actúa en las partículas sólidas, alterando la eficacia de recolección del equipo. Proponen nuevos estudios con el equipo desarrollado por ellos para aumentar el rendimiento en la recolección de partículas.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Descripción del problema

Como se sabe, el Callao es una región que goza de altos ingresos generados por su canon, pero tiene pocas áreas verdes razón por la cual, debido al suelo, a la construcción e industrias son fuentes de material particulado que contribuye a que su población padezca el flagelo de la contaminación ambiental. En esta perspectiva comprendemos que el aire es un recurso natural que, recibe diariamente el embate de la contaminación generada por el hombre a través de sus industrias y también debido a la acción de la naturaleza. Esto quiere decir que además del hombre, también la naturaleza contribuye a que tengamos un aire con indeseado nivel de contaminación para la comunidad humana. Siendo una de las más peligrosas partículas contaminantes el denominado **material particulado PM**, que es una mezcla de pequeños sólidos y líquidos aéreos, siendo las fuentes la combustión, los vehículos, las plantas de energía, las industrias, las prácticas agrícolas, la transportación y procesos industriales, que están presentes en la atmósfera de una ciudad, una zona o sitio, donde pueden estar depositados ya sea sobre el suelo y depósitos pero generalmente flotan en el aire (Mihelcic & Zimmerman , 2012). El hecho de flotar en el aire los favorece principalmente debido a su tamaño ya que son muy pequeños tanto que, para hablar de su medida se utiliza el término micrómetro o micra, unidad de longitud equivalente a la millonésima parte de un metro. Al ser respirado estas partículas, provocan daños biológicos en el hombre, tal como acontece en las grandes urbes, y particularmente en el Callao que se será el lugar para las pruebas del ciclón paraboloides.

En esta investigación trata el problema de los **Parámetros Físicos que afectan la capacidad de colección de material granular en los separadores tipo ciclón paraboloidal en Bellavista-Región Callao**. Evidentemente, en el campo de la ingeniería ambiental, se trata de encontrar un equipo ciclónico de un diseño avanzado para lograr su eficiencia en el filtrado y recolección de las partículas contaminantes sólidas. Porque desde la perspectiva de la física e ingeniería existe una relación entre los parámetros físicos y la capacidad de colección en los efluentes gaseosos de los ciclones (Oriaku & Otros, 2014).

En consecuencia, la importancia y originalidad del problema que estudiamos consiste en que los contaminantes atmosféricos provenientes del material granular y particulado más peligrosos pueden ser reducidos por la acción de los aparatos llamados **equipos ciclones o separadores ciclónicos**, que proporciona la ingeniería de recursos del aire. De esta manera, nuestra investigación tiene la finalidad de que, a partir de una problemática de contaminación de alta peligrosidad para su análisis de sus parámetros físicos con la capacidad de recolección, diseñemos y desarrollemos un prototipo de separador muy eficaz que brindará una solución tecnológica avanzada y accesible en el tratamiento de la contaminación atmosférica. Y de esta manera, habremos contribuido a mejorar la calidad de vida de la población.

1.2.2 Formulación del problema

En el distrito de Bellavista-Región Callao, debido a los vientos llega material particulado provenientes del polvo de mineral que generan los embarques que contribuyen a la contaminación atmosférica que a su vez causa muchas enfermedades bronquiales a los habitantes de dicho distrito y también toda la Región Callao. Esto se verifica, con el anuario de las estadísticas ambientales que proporciona el **INEI** que informa que para la región Callao en el 2014 la concentración de material particulado **PM_{2.5}** fue de 22.8 ug/m³ mayor en 15% con respecto al año 2012 (Sánchez,

2015). Existen muchos parámetros físicos que se pueden medir directa o indirectamente para relacionarlas con la capacidad de recolección de material granular. ¿Cómo estos parámetros físicos se relacionan con la capacidad de recolección de material granular en los separadores tipo ciclón paraboloides en Bellavista-Región Callao?

1.2.3 Enunciado del problema general y específico

1.2.3.1 Enunciado del problema general

¿De qué manera los parámetros físicos en condiciones atmosféricas afectan la capacidad de recolección de material granular en un separador tipo ciclón paraboloides en Bellavista-Región Callao?

1.2.3.2 Enunciado del problema específico

- ¿Qué características de funcionamiento debe tener un separador tipo ciclón paraboloides para medir los parámetros físicos?
- ¿Qué condiciones de arranque deben tener los parámetros físicos en condiciones atmosféricas para que afecten la capacidad de recolección del material granular en los separadores tipo ciclón paraboloides?
- ¿Cuál es el comportamiento de los parámetros físicos en condiciones atmosféricas que afectan la capacidad de recolección del material granular en los separadores tipo ciclón paraboloides?

1.2 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar los parámetros físicos en condiciones atmosféricas afectan la capacidad de colección de material granular en un separador tipo ciclón paraboloidal en Bellavista-Región Callao.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar las características para el funcionamiento de un separador tipo ciclón paraboloidal para medir los parámetros físicos.
- Determinar las condiciones de arranque que deben tener los parámetros físicos en condiciones atmosféricas para que afecten la capacidad de recolección del material granular en los separadores tipo ciclón paraboloidal.
- Evaluar el comportamiento de los parámetros físicos en condiciones atmosféricas que afectan con la capacidad de colección de material granular en los separadores tipo ciclón paraboloidal.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación Teórica

La creciente presencia de material particulado afecta a la población ante ello, surgió la necesidad de desarrollar, mejorar y diseñar un nuevo equipo ciclónico de separación de material particulado de bajo costo que fue de fácil armado y buen funcionamiento.

1.4.2 Justificación Práctica

Actualmente se están desarrollando investigaciones con equipos ciclónicos para el tratamiento de material particulado, en la presente tesis se aporta una nueva forma de captura de material particulado que no usa procesos químicos ni biológicos.

1.4.3 Justificación Metodológica

La metodología con los pasos propuestos y desarrollados en la presente tesis, desde la construcción del ciclón paraboloide hasta la presentación de resultados para las conclusiones y recomendaciones es la adecuada.

1.4.4 Justificación Económico-Social

Con los resultados obtenidos en la presente tesis se buscó beneficiar a la población de Bellavista-Región Callao, que actualmente está con problemas de contaminación atmosférica debido al material particulado proveniente de las industrias.

1.5 Alcances y limitaciones

La investigación se desarrolló en el distrito de Bellavista de la Región Callao usando material particulado llamado chuño, obtenido en el mercado “Santa Rosa” ubicado cerca de la Universidad Nacional del Callao, el chuño se tomó al ser un almidón fácil de manejar y no muy toxico en la realización de tomas de datos. La construcción de equipo ciclónico y demás partes de acople se realizaron en laboratorios de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, y en talleres que moldean fibra de vidrio en la Avenida México de la Región Lima. La investigación cumple un periodo comprendido entre 2017 hasta el 2018.

1.6 Definición de variables

1.6.1 Variables independientes

Parámetros físicos, dividido en Capacidad mecánica, capacidad termodinámica y capacidad eléctrica que influyen en el comportamiento de la variable dependiente.

1.6.2 Variable dependiente

La Capacidad de colección de material particulado con influencia de las variables independientes.

1.6.3 Variables Intervinientes

Condiciones atmosféricas que intervinieron en la tesis.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentos y Principio de Funcionamiento del ciclón

2.1.1 Material granular

Es aquella, formada por un conjunto de partículas grandes. Poseen fuerza de interacción que es la fricción, al estar en movimiento en un efluente tiene a disipar la energía debido a la fuerza de fricción que se generan entre ellas o con otro cuerpo sólido. El material granular está presente en la contaminación ambiental (Hoffmann & Stein, 2002).

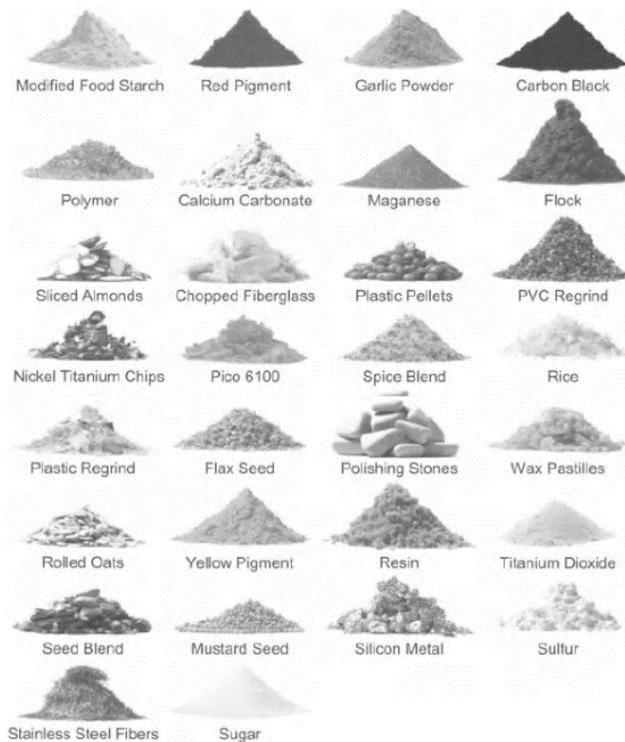
El tamaño de las partículas del material granular varía desde micras hasta mayores de metros, como ejemplos tenemos a los polvos que el tamaño pequeño o partículas grandes como las rocas que pasan los metros. El material granular posee diferentes comportamientos dependiendo del tipo de fuerzas externas que actúa sobre ella. Su comportamiento se asemeja a un sólido o aun líquido o a un gas. Si el material granular está en reposo es un sólido y se comporta como un sólido. Si el material granular se encuentra bajo la acción de la gravedad su comportamiento es como la de un fluido viscoso. Si el material particular está sometido a vibraciones periódicas de alta aceleración se comporta como un gas con colisiones inelásticas. El material granular contiene al material particulado **PM** de todos los tamaños, de forma natural pero la cantidad del material particulado **PM**, aumenta conforme el material granular está en constante interacción y movimiento con el medio (Hoffmann & Stein, 2002).

2.1.2 Remoción de las partículas de los gases

A través del tiempo la contaminación por partículas es perjudicial para la sociedad, provocando en ella enfermedades en las vías respiratorias. La Figura 01 muestra los rangos aproximados de tamaños de una serie de tipo de partículas.

Figura N° 01

Ilustración de la diversidad de materiales que pueden ser transportados y separados en equipos de separación



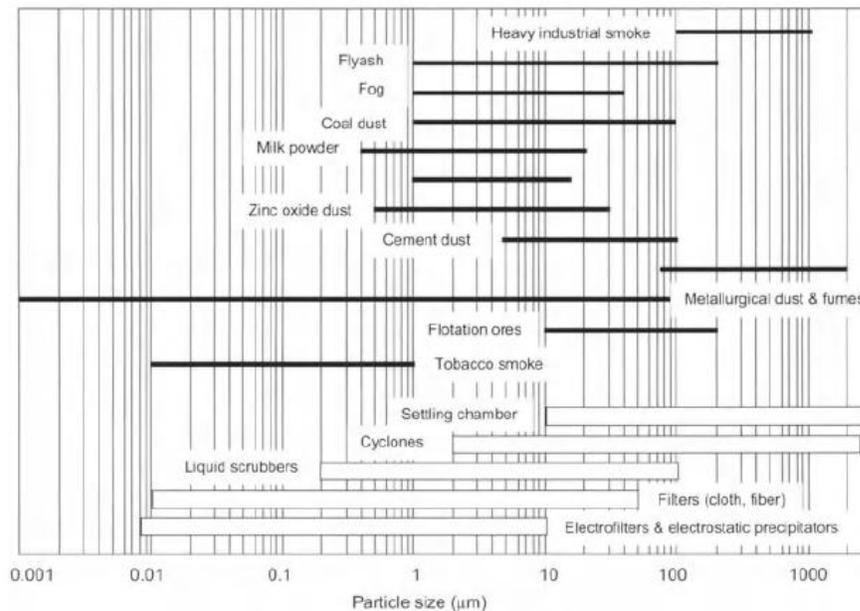
Fuente: Hoffmann y Stein., *Gas Cyclones and Swirl Tubes*. 2002.

Debido a que las corrientes que se generan en el efluente gaseoso varían con el tamaño de las partículas, densidad, forma, viscosidad, erosividad, friabilidad, etc. Se debe seleccionar un equipo de separación que procese desde minerales muy duros, como gránulos, hasta polvo submicroscópico. Estas partículas en un efluente se vuelven muy fluido, algunos tienen compactarse o hacerse pastoso (Hoffmann & Stein, 2002).

En la figura 02, muestra los rangos aproximados de tamaños de una serie de tipos de partículas y los métodos adecuados (populares) para su eliminación de un efluente gaseoso.

Figura N° 02

Tamaño de partículas de algunos materiales y métodos adecuados para eliminarlos de un efluente gaseoso



Fuente: Hoffmann y Stein., *Gas Cyclones and Swirl Tubes*. 2002.

2.1.3 Dispositivos centrífugos o ciclónicos

En comparación con otros métodos, sus ventajas son las siguientes:

- El producto recogido permanece seco y se puede utilizar.
- Bajo costo en mantenimiento.
- Es compacto y fácil de tratar los efluentes gaseosos.
- Puede utilizarse en condiciones extremas, a presiones y temperaturas y con alimentos químicamente agresivos.
- No pese partes móviles.
- Es robusto.
- Produce caída de presión constante.
- Se construye a partir de acero, metales de fundición, aleaciones, aluminio, plásticos, cerámicas, etc.
- Pueden equiparse con un material resistente a la erosión o a la corrosión o repeler las partículas usando recubrimiento interno con teflón (electro-pulidas).
- Pueden ser fabricados a partir de una placa metálica o en el caso de equipos más pequeños se recurre al moldeado de moldes.
- Puede en algunos procesos manejar solidos pegajosos o pegajosos con líquidos.
- A partir de un diseño adecuado, pueden separar solidos o partículas liquidas, algunas veces combinadas.

Algunas desventajas son las siguientes:

- Posee baja eficiencia para tamaño de partículas inferiores a su “tamaño de corte” al bajar las cargas de sólidos.

- Por lo general posee una mayor pérdida de presión que otros tipos de separadores (filtros, depuradores de presión, etc).

- Está sujeta al desgaste erosivo y ensuciamiento si los sólidos que se separan son abrasivos o pegajosos.

-Puede funcionar debajo de las expectativas si no está diseñado y operado correctamente, así como genera problemas de erosión y ensuciamiento.

2.1.4 Paraboloides

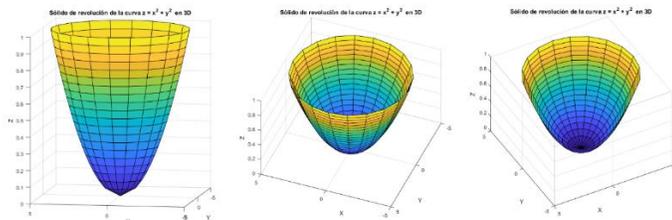
La superficie paraboloides 3D (tres dimensiones) resulta de la rotación de una parábola alrededor de un eje. La ecuación simple de un paraboloides está dada por la fórmula:

$$z = x^2 + y^2 \quad , \quad (1)$$

En la figura 03 muestra la superficie generada por la ecuación (1), para los valores de x e y desde -5 hasta 5.

Figura N° 03

Superficie de paraboloides en tres perfiles usando el programa Matlab 2017b



Fuente: Elaboración propia.

También, el paraboloides se puede representar mediante las siguientes ecuaciones paramétricas de las coordenadas x , y y z con variables t y r :

$$x = r\cos(t) , \quad (2)$$

$$y = r\sin(t) , \quad (3)$$

$$z = r^2 , \quad (4)$$

donde, para tener la figura 3, t toma los valores de 0 a 2π y r toma los valores de 0 a 2

2.1.5 Espiral en un paraboloides

De las ecuaciones paramétricas (2), (3) y (4), modificando estas ecuaciones para obtener una curva en lugar de una superficie se obtiene una curva con ecuaciones:

$$x = t\cos(t) , \quad (5)$$

$$y = t\sin(t) , \quad (6)$$

$$z = t^2 , \quad (7)$$

Se observa, que a medida que t toma valores a partir de $t = 0$, se genera una espiral alrededor de la superficie que se graficó en tres dimensiones.

Se muestran a continuación los siguientes casos:

- Caso 1

Para graficar la curva solo en el plano XZ (en este caso su curva no es espiral), con ecuaciones paramétricas:

$$x = t\cos(t) , \quad (8)$$

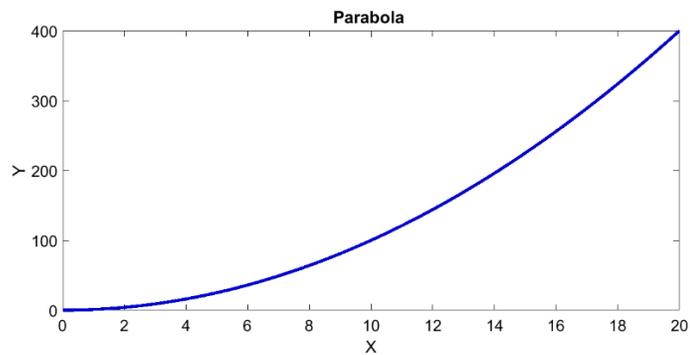
$$y = 0 , \quad (9)$$

$$z = t^2 , \quad (10)$$

La grafica en el plano XZ representa una parábola casi recta, que se extiende desde (0,0,0) hasta (20,0,400) mostrado en la figura 04.

Figura N° 04

Parábola casi recta en el plano xz usando Matlab 2017b



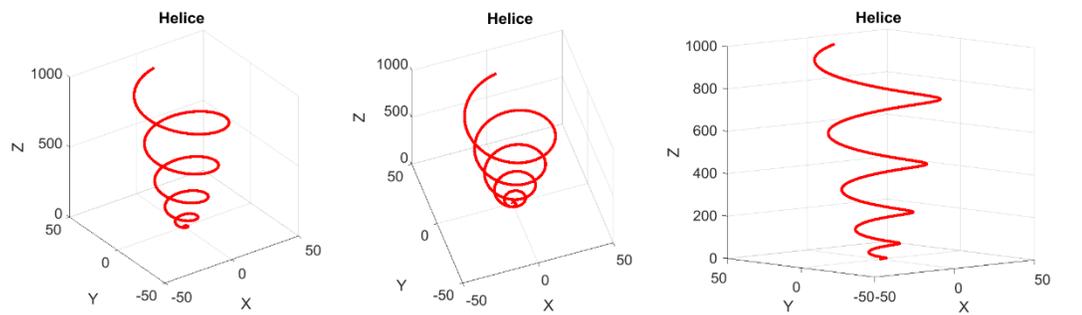
Fuente: Elaboración propia.

- Caso 2

Para graficar una hélice en el intervalo de $t = 0$ hasta $t = 10\pi$, se usa las ecuaciones paramétricas (5), (6) y (7) se obtiene la figura 05:

Figura N° 05

Curva hélice de paraboloides en tres perfiles usando el programa Matlab 2017b



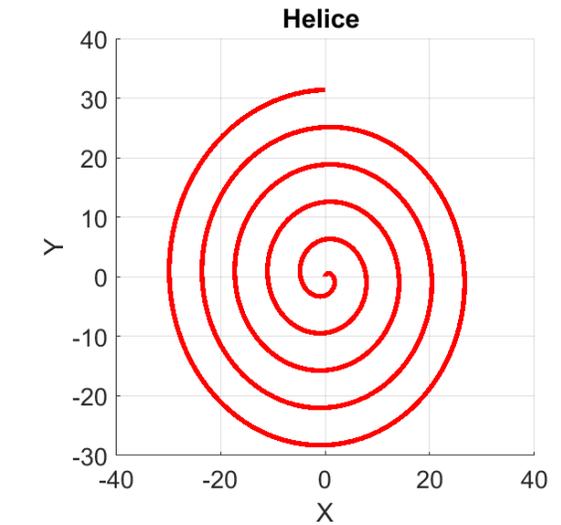
Fuente: Elaboración propia.

- Caso 3

La curva espiral en la figura 06 es a partir de una hélice en el intervalo de $t = 0$ hasta $t = 10\pi$, mirando hacia arriba, representado en eje XY, donde los brazos cortan al eje X.

Figura N° 0 6

Curva espiral en el eje xy usando el programa Matlab 2017b



Fuente: Elaboración propia.

2.1.6 Longitud de la hélice alrededor de un paraboloid

La longitud en tres dimensiones viene dada en términos paramétricos:

$$L = \int_0^t \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} dt , \quad (11)$$

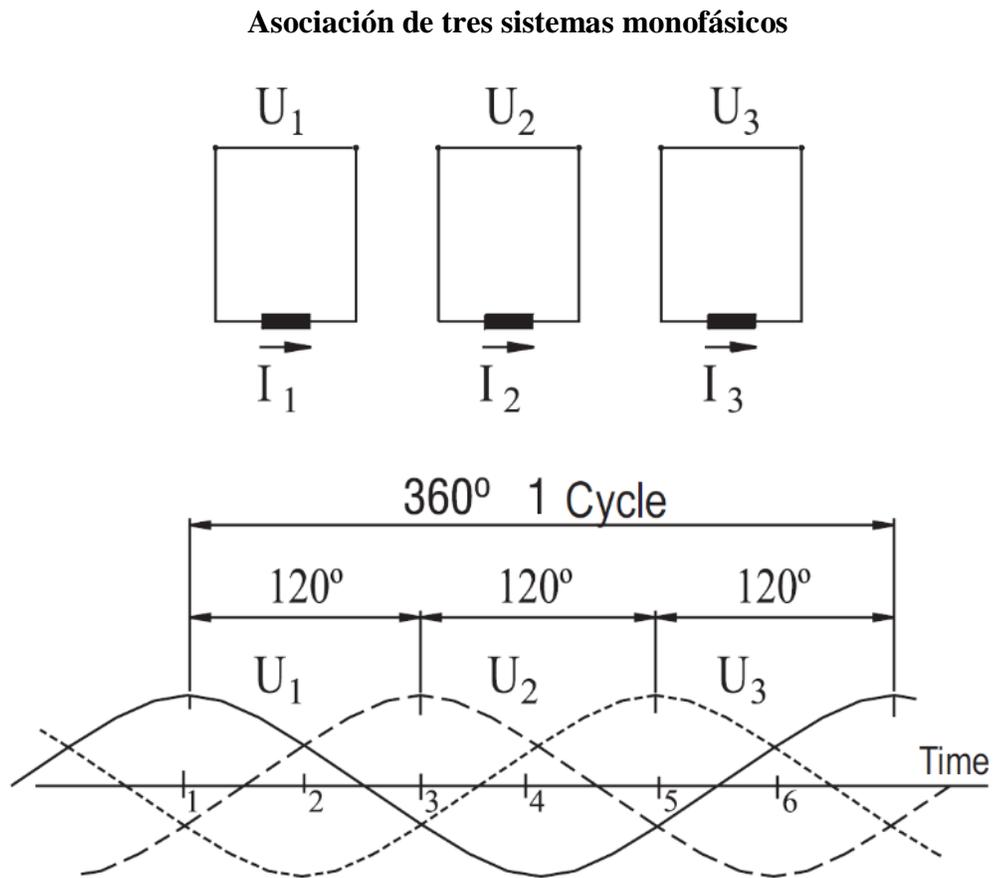
Considerando (5), (6) y (7) la ecuación (10), se expresa en forma reducida:

$$L = \int_0^t \sqrt{1 + 5t^2} dt , \quad (12)$$

2.1.7 Sistemas de corriente alterna trifásica

El sistema trifásico está formado por la asociación de tres sistemas monofásicos de tensiones U_1 , U_2 , U_3 desfasadas entre ellas en 120° , Existe atraso de U_2 respecto a U_1 , de U_3 respecto a U_2 y de U_1 con respecto a U_3 iguales a 120° para un ciclo completo de 360° (Grupo Weg, 2016). Cuando las tensiones tienen el mismo valor eficaz, se tiene la figura 07.

Figura N° 0 7



Fuente: Grupo Weg, **Motores Eléctricos Guía de Especificación.** 2016.

2.1.8 Motor de Inducción Trifásico

El motor de inducción trifásico (figura 08) que se usó en la experiencia está conformada por el estator y el rotor (Grupo Weg, 2016):

a. Estator: conformada por tres partes:

-La carcasa (1) es el soporte estructural del conjunto de construcción en hierro fundido, acero que resiste la corrosión.

-Núcleo de chapas (2) las cuales son de acero magnético.

-Devanado trifásico (8) es un grupo de tres bobinas iguales, una para cada fase, conformando un sistema trifásico equilibrado unida a una red trifásica de alimentación.

b. Rotor:

-Eje (7) transmite la potencia mecánica que desarrolla el motor.

-Núcleo de chapas (3) poseen las mismas características que el núcleo de chapas del estator.

-Barras y anillos de cortocircuito (12) están hechas de aluminio inyectado sobre presión en una única patasza.

También hay otras partes del motor de inducción trifásico:

-Tapa (4)

-Ventilador (5)

-Tapa deflectora (6)

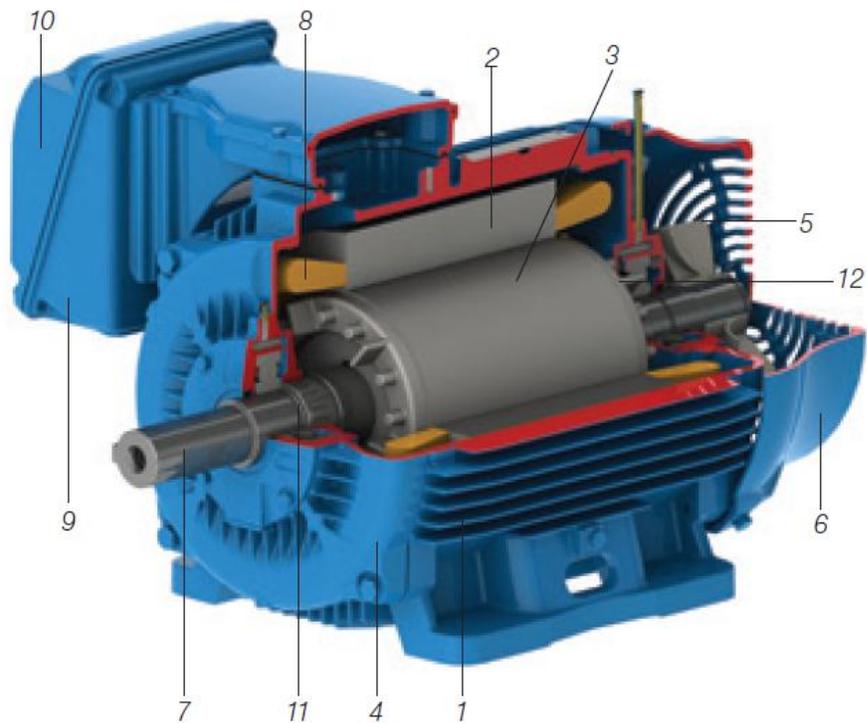
-Caja de conexión (9)

-Terminales (10)

-Rodamientos (11)

Figura N° 0 8

Partes de un motor de inducción trifásico



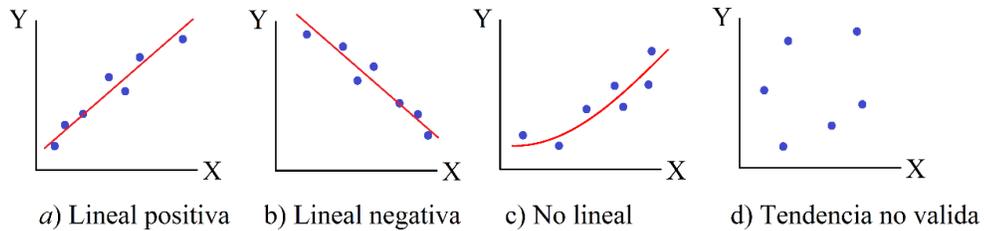
Fuente: Grupo Weg, **Motores Eléctricos Guía de Especificación.** 2016.

2.1.9 Graficas de dispersión

Es la posible visualización de la relación entre dos variables (x,y), analizada en un plano cartesiano con sus datos (x_i, y_i) de las dos variables. La grafica es llamada grafica de dispersión, e indica la relación entre estas dos variables (Córdova , 2009). En la figura 09 muestran los tipos de tendencia en la gráfica de dispersión.

Figura N° 09

Tipos de tendencias a las graficas de dispersión



Fuente: Córdova, *Estadística Descriptiva e Inferencial*. 2009.

2.2 Bases teóricas especializadas sobre el tema

En esta parte, según varios estudios, se define las variables y el desarrollo de las dimensiones de acuerdo con el estilo APA (American Psychological Association).

2.2.1 Flujo de remolino o flujo de vórtice

Está presente en todos los equipos ya sean ciclones, hidrociclones o secadores que actualmente han recibido atención en las industrias en los últimos años (Hoffmann & Stein, 2002). A partir del flujo remolino se derivan el comportamiento y distribución de la velocidad tangencial presente en el ciclón:

a. Flujo de vórtice forzado

Es el flujo remolino que posee la misma distribución de velocidad tangencial comportándose como un sólido giratorio.

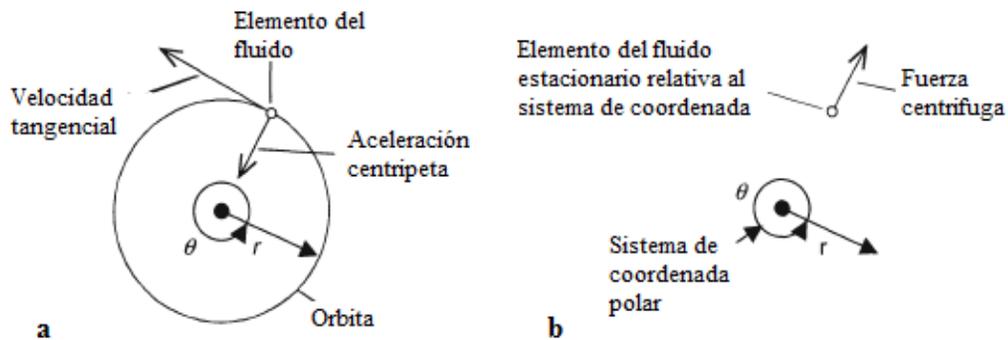
b. Flujo de vórtice libre

Es el flujo remolino cuyo remolino que se forma sin fricción. La velocidad de tangente del remolino es tal que el momento de impulso de los elementos del fluido es igual para todos los radios del ciclón.

Según Hoffmann y Stein, (2002): “La distribución de velocidad tangencial del flujo vórtice real es intermedia entre (a) y (b)”. En la figura 10 muestra las magnitudes cinemáticas y dinámicas el flujo de vórtice en coordenadas polares.

Figura N° 10

Elemento de un fluido vista desde diferentes formas: a) Sistema de coordenadas fijo inercial, (b) Sistemas de coordenadas respecto al elemento de fluido no inercial



Fuente: Hoffmann y Stein., *Gas Cyclones and Swirl Tubes*. 2002.

Con lo expuesto anteriormente la velocidad tangencial se define:

$$v = r \omega , \quad (13)$$

donde, la velocidad angular es definida

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} , \quad (14)$$

En caso de que el flujo de vórtice no tiene viscosidad es decir un caso ideal, entonces la velocidad tangencial está en función de una constante C e inversa al radio de giro, expresada como:

$$v = \frac{C}{r} , \quad (15)$$

A partir de (15) la ecuación de momento lineal debe conservarse para un flujo de vórtice ideal expresada como:

$$L = m C , \quad (16)$$

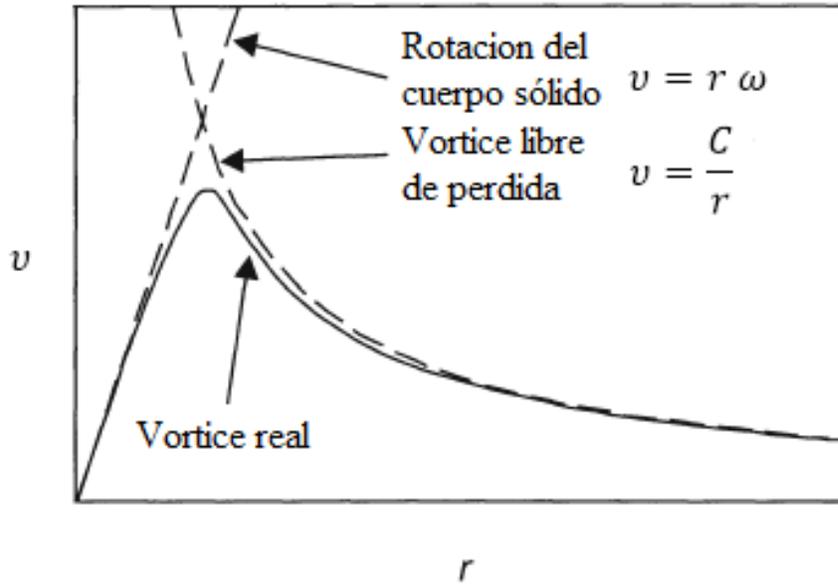
donde, m expresa la masa del elemento del fluido.

2.2.2 Presión estática y dinámica

El comportamiento de un fluido dentro de un ciclón se analiza a partir de la ecuación de Bernoulli que relaciona la presión estática P y presión dinámica $\frac{\rho v^2}{2}$, donde ρ es la densidad del fluido (Hoffmann & Stein, 2002). En la figura 11 el flujo constante sin fricción, a partir de la ley de Navier-Stokes que establece el comportamiento del vórtice libre de pérdidas a partir del vórtice real.

Figura N° 11

Comportamiento del Vórtice Real



Fuente: Hoffmann y Stein., *Gas Cyclones and Swirl Tubes*. 2002.

Cumpléndose a lo largo de una línea de corriente:

$$\frac{p}{\rho} + gh + \frac{v^2}{2} = \text{constante} \quad (17)$$

La ecuación (17) representa las presiones estáticas y dinámicas, también es llamada ecuación de “*cabeza de velocidades*”, algunos autores también la llaman trinomio de Bernoulli. El segundo término de la ecuación (5) izquierda, no tiene importancia en relación con los otros términos cuando se trata de ciclones de gas y tubos de turbulencia, debido a que la densidad del fluido es relativamente baja y las diferencias de alturas no

son muy importantes en los cálculos. Debido a la fricción que hace que la energía mecánica se disipe, hará que el trinomio de Bernoulli disminuya en la dirección del flujo o línea de corriente. Y para un flujo sin fricción (en aproximación) hará que el trinomio de Bernoulli sea casi constante (Hoffmann & Stein, 2002).

2.2.3 Movimiento de partículas

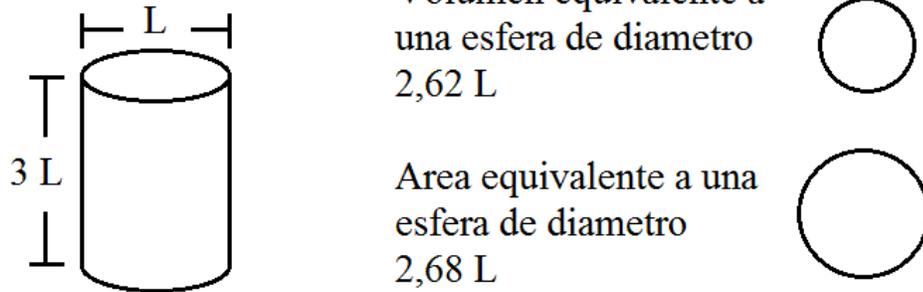
Dentro de un ciclón de gas o tubo de turbulencia, el movimiento de una partícula sólida o líquida está presente en un fluido que se mueve casi siempre en relación al gas con su velocidad terminal, y esta velocidad terminal determina si esta partícula será capturada o perdida. Esta velocidad terminal es similar a la partícula del aire que se asienta debido al campo gravitacional de la tierra, para el ciclón la fuerza centrífuga que se genera en la parte radial del eje del ciclón reemplaza a la fuerza gravitacional de la tierra (Hoffmann & Stein, 2002).

2.2.4 Tamaño de partícula

Tanto del movimiento de la partícula y su separación dentro de un ciclón, depende de su tamaño. El tamaño de una partícula no está definido por su diámetro, al tener este diferente significado (Hoffmann & Stein, 2002). Consideremos a un cilindro de diámetro L y altura $3L$, entonces tendrá equivalentes esféricos en área, volumen y relación de superficie/volumen mostrados en la figura 12.

Figura N° 12

Una partícula cilíndrica con sus equivalentes esféricas



Fuente: Hoffmann y Stein., *Gas Cyclones and Swirl Tubes*. 2002.

Para el uso de ciclones, se utiliza partículas de diámetro equivalente de una esfera que tiene la misma velocidad terminal que una partícula real. En los casos que se aplique la ley de arrastre de Stokes, se llaman diámetro “Stokesiano”, usada en la ciencia de aerosoles. Para una esfera de densidad $1\ 000\ \text{kg/m}^3$ tiene la misma velocidad terminal que la parte real a temperatura, presión normal en un campo de gravedad (Hoffmann & Stein, 2002).

2.2.5 Ley de Vórtice de Navier-Stokes

Para la ecuación de continuidad, según Hoffmann y Stein (2002) señalan; “*Se conserva la materia, es decir no se puede generar materia ni destruir*”. Para un fluido incompresible su ecuación es:

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 , \tag{18}$$

donde \mathbf{v} es el vector velocidad.

La ecuación de conservación de momento indica para un elemento de fluido. El tiempo de la aceleración de la masa por unidad de volumen (izquierda) es igual a la suma de fuerzas que actúan sobre ella, expresada:

$$\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = -\nabla p - \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \rho \mathbf{g} , \quad (19)$$

donde ρ es la densidad, p es la presión, \mathbf{g} es la aceleración de la gravedad y $\boldsymbol{\tau}$ es el tensor de esfuerzo.

Además, del termino $\frac{D}{Dt}$ indica la aceleración de un elemento de fluido en el marco de referencia eulero.

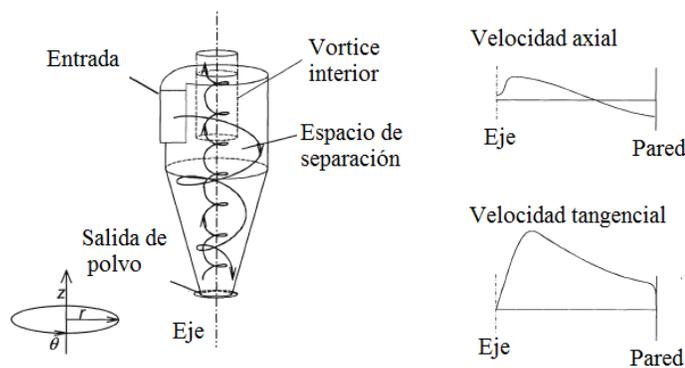
2.2.6 Flujo del gas en los ciclones

En la figura 11 muestra el esquema de un gas en un ciclón de entrada tangencial. Creándose un remolino en el espacio de separación desde la parte de inyección tangencial. El gas fluye hacia abajo en la parte externa del remolino (llamado vórtice exterior) y hacia arriba en el centro (llamado vórtice interior). El flujo descende en la parte exterior del ciclón es importante debido a que la gravedad es dominante que transporta los sólidos recogidos (los que se ubican en la pared interior del ciclón) por el fondo del ciclón. La gravedad solo ayudara para los fluidos que transporta alta carga de sólidos. Durante el desplazamiento hay un movimiento de tipo radial desde el vórtice

exterior al vórtice interior, distribuyéndose no uniformemente con la altura y sobre la longitud del cuerpo del ciclón (Hoffmann & Stein, 2002). En la figura 13 se muestra los perfiles radiales de velocidad axial y velocidad tangencial de un gas.

Figura N° 13

Esquema de un ciclón de entrada tangencial con patrón de flujo en coordenadas cilíndricas



Fuente: Hoffmann y Stein., **Gas Cyclones and Swirl Tubes**. 2002.

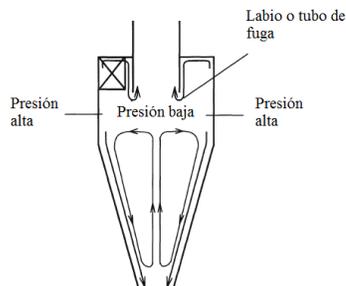
En el esquema del ciclón de entrada tangencial el eje vertical Z coincide con el eje ciclón. Se observa la entrada en la región exterior de las zonas dirigidas hacia abajo hasta ingresar en la región interior de las zonas dirigidas hacia arriba. La región exterior fuerza a que el flujo tenga velocidad hacia abajo para la acumulación de partículas y estas salgan hacia abajo. La velocidad axial muestra inclinación alrededor de la línea central o eje. La velocidad radial es generalmente más pequeña y más difícil de medir con presión por eso no se muestra. Esta velocidad radial está dirigida hacia dentro por

debajo del tubo de vórtice o ciclón, no siendo uniforme con la altura (Hoffmann & Stein, 2002).

El flujo de remolino que se crea cerca de las paredes de las superficies cóncavas del ciclón es inestable. Los gradientes de presión generados por el movimiento del remolino crean “*flujos secundarios*” a lo largo de las paredes. Además, la presión estática aumenta hacia la parte externa del flujo giratorio. Al generarse estas gradientes de presión continúan a través de las capas límite en el techo y en la pared cónica con la velocidad que es baja en estas capas límite. Durante el todo el proceso da como resultado una fuerza dirigida hacia dentro que actúa el gas sobre la pared cercana provocando flujos dirigidos hacia dentro a lo largo del techo ciclónico y en la pared cónica mostrada en la figura 14, de modo que esta fuerza se equilibra por fricción con la pared y el flujo que se abulta (Hoffmann & Stein, 2002).

Figura N° 14

Flujos secundarios causados por el remolino en el ciclón



Fuente: Hoffmann y Stein., **Gas Cyclones and Swirl Tubes.** 2002.

Al ser grande la gradiente de presión esta tiene otros efectos; como los flujos secundarios que se mostró anteriormente, ya que existe una tendencia para que el gas cargado de solidos separe en las paredes y fluya radialmente hacia adentro. Estos comportamientos del fluido son también producidos si encuentra perturbaciones en la pared ya sea en costuras, deformaciones, paredes erosionadas, etc. (Hoffmann & Stein, 2002)

2.2.7 Teoría de Barth

Su teoría está presente en los mejores desarrollos prácticos de ciclones. Consiste en calcular la velocidad de la pared y la velocidad tangencial en el “cilindro de control” (Hoffmann & Stein, 2002). Los pasos son los siguientes:

- Calcular la velocidad de la pared $v_{\theta N}$ desde la velocidad de entrada v_{in} .
- Utilizar lo obtenido para calcular la velocidad tangencial $v_{\theta N}$ en el “cilindro de control”.

En algunas geometrías la velocidad tangencial del gas en la pared puede ser significativamente mayor que la velocidad de entrada debido al estrechamiento del chorro de entrada. En la figura 15, se muestra el patrón de flujo de entrada en un ciclón con una entrada tipo rectangular “ranura” se compara con uno de entrada de 360° o entrada de desplazamiento completo (Hoffmann & Stein, 2002).

La imagen izquierda de la figura 13 el chorro de entrada se comprime contra la pared, dando como resultado una disminución del área disponible para el flujo radiante y un aumento en la velocidad. La teoría de Barth explica esto, definiendo α como una relación del “radio momento de momento” de gas de gas de entrada y el gas que fluye a lo largo de la pared.

$$\alpha = \frac{v_{in}R_{in}}{v_{\theta N}R} , \quad (20)$$

donde, R_{in} es la posición radial desde el centro de la entrada.

Para una entrada de ranura:

$$R_{in} = R - \frac{b}{2} , \quad (21)$$

donde, b es el ancho de la tolva de entrada y R es el radio de la parte interior del ciclón y parte superior cilíndrica.

Barth, sugirió tomar como unidad para una envolvente de entrada y dio datos empíricos, mostrada en una relación algebraica (Hoffmann & Stein, 2002):

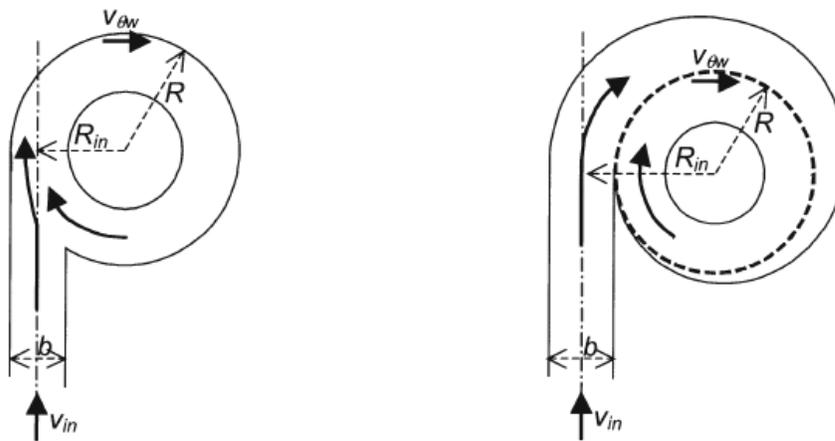
$$\alpha = 1 - 0,4 \left(\frac{b}{R} \right)^{0,5} , \quad (22)$$

La ecuación (22) es válida para entradas de tipo ranura con la relación de áreas de sección transversal de entrada a salida en intervalo 0,9 a 1,8. Se observa que las

ecuaciones (22) y (23) que para un R dado (fijo) y un aumento de b entonces, también incrementa $v_{\theta N}$ (Hoffmann & Stein, 2002).

Figura N° 15

Comparación del patrón de flujo de entrada entre una ranura y una entrada “envuelta” de 360°



Fuente: Hoffmann y Stein., *Gas Cyclones and Swirl Tubes*. 2002.

2.2.8. Potencia eléctrica trifásica

Para las cargas reactivas, es decir un motor trifásico en funcionamiento donde está presente la inductancia, existe desfase entre la tensión y de la corriente, la potencia entrada es:

$$P = \sqrt{3}UI\cos(\phi) , \quad (23)$$

donde; P : Potencia eléctrica trifásica; U : tensión trifásica; I : corriente trifásica; $\cos(\phi)$: factor de potencia.

Las unidades de potencia esta expresada en unidades Watts y/o en HP.

Es importante señalar que la “potencia de trabajo” (potencia mecánica que realiza el motor), indicada en la placa madre de un motor trifásico está en Watts y/o HP cuyo valor va a ser siempre menor a la potencia de alimentación al motor (Potencia eléctrica trifásica o potencia de entrada) debido a que cada motor posee rendimiento y eso hace que la potencia que se mida en la entrada sea mayor a la potencia de trabajo que está en la placa madre del motor (Grupo Weg, 2016).

Se debe tener presente, que, al variar la corriente con un variador de frecuencia, varia la potencia de entrada, la potencia de trabajo y el factor de potencia.

2.2.9 Coeficiente de determinación

Es denotado por r^2 , e indica la cantidad o porcentaje que datos que están en correlación de forma lineal o de otra función. Ejemplo, si $r^2 = 0.92$, indica que 92 puntos están ajustados y que 8 están fuera del ajuste si se tuviese una prueba de 100 pares de punto (Córdova, 2009).

Las propiedades del coeficiente de determinación son las siguientes:

- a. Si $r^2 > 0$, hay una correlación directa positiva, es decir ambas variables independiente X y dependiente Y, es decir, aumentan o disminuyen simultáneamente.

- b. Si $r^2 = 1$, hay una correlación perfecta entre las variables.

- c. Si $r^2 = 0$, no hay correlación entre las variables, es decir las medidas de la variable dependiente (Y) son constantes, aun variando la variable independiente (X).

La “Correlación”, se entiende como la medida numérica a través de r^2 (correlación numérica) y la dependencia de una variable con otra (causa – efecto). Si se conoce el “proceso” donde hay una “correlación” alta de los datos entre las medidas de las variables dependiente e independiente, entonces es un proceso “Causal”, es decir, hay causa (X) y efecto (Y) y esta correlación sea expresada a través de una función matemática, pero si no se conoce el “proceso” y aun así existiera una “correlación numérica” es decir de correlación de datos entre las variables dependientes e independiente, entonces existe una correlación de tipo “Casual”, es decir no hay “correlación” entre las variables de estudio (Córdova , 2009).

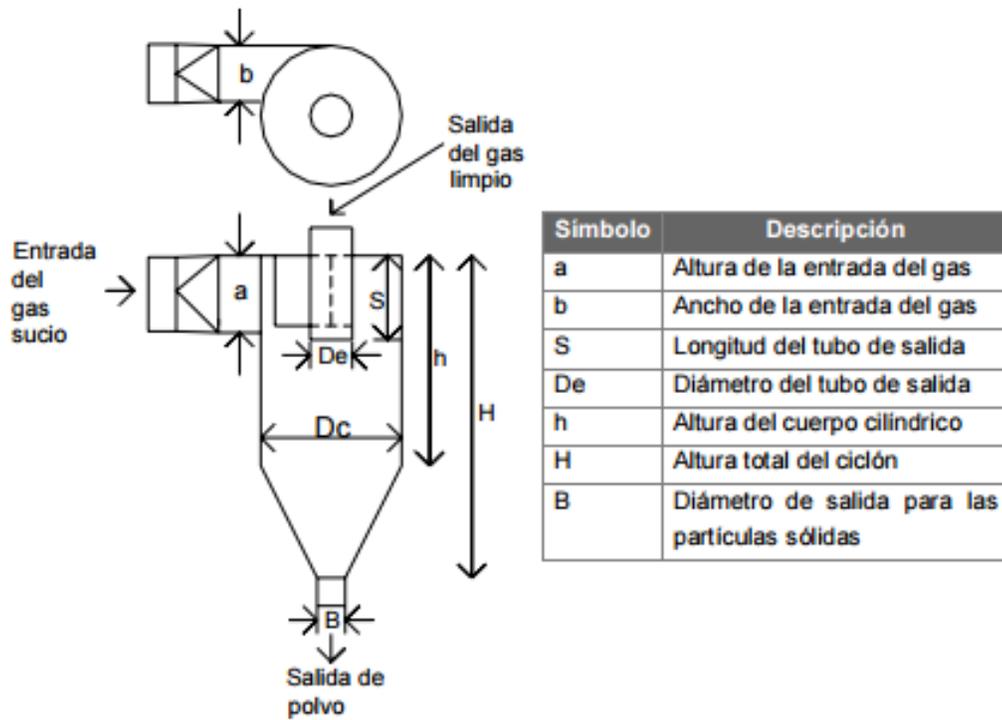
2.2.10 Diseño de un ciclón típico

Existen varios diseños de ciclones, siendo el diseño Stairmand de alta eficiencia (Gutierrez & Otros, 2006). En la figura 16, se muestra las características (diámetro,

altura, etc.) para la construcción de un ciclón Stairmand y en la tabla 01 se muestra las relaciones numéricas que deben poseer las características del ciclón típico.

Figura N° 16

Diseño de un ciclón típico Stairmand



Fuente: Gutiérrez et al. Científica, Instituto Politécnico Nacional.2006

Tabla N° 01

Configuraciones geométricas del ciclón de tipo Stairmand de alta eficiencia.

Relación	Stairmand (1951)
$Ka=a/Dc$	0.500
$Kb=b/Dc$	0.200
S/Dc	0.500
De/Dc	0.500
h/Dc	1.500
H/Dc	4.000
B/Dc	0.375

Fuente: Gutiérrez et al. Científica, Instituto Politécnico Nacional.2006

2.3 Marco conceptual

Muestra la definición conceptual de las variables y sus correspondientes dimensiones a las necesidades prácticas de la investigación (Hernández et al, 2014). Se muestra a continuación cada una de las variables y sus dimensiones.

2.3.1 Parámetros físicos

Son los que definen las características de la materia o fenómeno que se puede elegir para analizarlo. Los parámetros físicos se analizan a partir de sus capacidades que se muestra a continuación:

2.3.1.1 Capacidad mecánica sobre efluente

Es el conjunto de magnitudes (posición, velocidad rotacional, etc.) que sirve para

definir o dar a conocer un estado mecánico del sistema que está en movimiento. Estas magnitudes se pueden medir hasta un cierto límite en un efluente gaseoso. Para la presente investigación se analizará a la magnitud de velocidad en los tipos mostrados a continuación:

a. Velocidad angular o rotacional

Es la velocidad rotacional con la que el impelente del caracol centrifugo (llamado también turbina centrifuga), gira originado succión del efluente para que luego del caracol y entre en el tubo horizontal de entrada (tangencial) del ciclón paraboloide, esta expresada en unidades metros sobre segundo (m/s) en el Sistema internacional y en revoluciones por minutos (RPM) en el sistema inglés.

2.3.1.2 Capacidad termodinámica sobre efluente

Es el conjunto de magnitudes (presión, temperatura, volumen, etc.) que sirve para definir o dar a conocer un estado del sistema que está en equilibrio, cuasi-equilibrio y no equilibrio. Estas magnitudes se pueden medir hasta un cierto límite en un efluente gaseoso. Para la presente investigación se analizará a la magnitud de presión en los tipos mostrados a continuación:

a. Presión de entrada en el caracol centrifugo (P1)

Es la presión del efluente que entra en el caracol centrifugo y que es medida por un sensor digital de presión baja, expresada en unidades de Bar, muy usada en el sistema inglés y en toda la industria.

b. Presión de entrada en el ciclo paraboloide (P2)

Es la presión del efluente que entra en el tubo horizontal tangencial de entrada del ciclón paraboloide medida por un sensor digital de presión baja, expresada en unidades de Bar, muy usada en el sistema inglés y en toda la industria.

c. Presión de salida en el ciclo paraboloide (P3)

Es la presión del efluente que sale en el tubo vertical del ciclón paraboloide medida por un sensor digital de presión baja, expresada en unidades de Bar, muy usada en el sistema inglés y en toda la industria.

2.3.1.3 Capacidad eléctrica sobre el efluente

Son unos conjuntos de medidas de corriente y potencia eléctrica que genera el motor para el funcionamiento del impelente. Están definidas por:

a. Frecuencia

Es la frecuencia que genera el variador de frecuencia sobre el motor esta expresado en Hertz (Hz) y es muy usado en la industria y fue medida directamente con el indicador digital propia del variador de frecuencia.

b. Corriente Eléctrica Trifásica

Es la corriente eléctrica trifásica que alimenta al motor trifásico esta expresado en Amperios (A) y es muy usado en la industria y fue medida sensor digital de mano amperímetro de mordaza.

2.3.1.4 Condiciones atmosféricas

Son unos conjuntos de condiciones normalizadas de temperatura y presión del ambiente. Está relacionada con las características geográficas del lugar y el momento (tiempo). Actualmente, una condición atmosférica muy usada en los equipos y/o centros de monitoreo climático son las lecturas de temperatura ambiente definida por:

a. Temperatura ambiental

Es la temperatura comprendida den el rango aproximado de 16 °C a 30 °C. y fue medida con un sensor digital de temperatura absoluta.

b. Presión Atmosférica

Es la presión cerca de 1 bar sobre el nivel del mar. y fue medida con un sensor digital de presión absoluta.

2.3.2 Capacidad de colección de material granular

Es el conjunto que se puede colectar o separar hasta un cierto límite de un material granular presente en un efluente gaseoso. Depende de la cantidad de materia (masa) contenida en el efluente. La medida de la remoción es definida por:

a. Eficiencia de colección

Es una cantidad porcentual que es la división de la masa granular recogida (masa de captura por el ciclón paraboloides) entre la masa total granular de la muestra de

alimentación, todo multiplicada por 100 (Oriaku & Otros, 2014). Al ser estas dos magnitudes de tipo extensiva de masa entonces la eficiencia de colección es una magnitud de tipo intensiva no permitiendo propiedades aditivas y no posee unidades. La eficiencia de colección es denotada por:

$$\eta = \frac{\text{masa muestra}}{\text{masa de alimentación}} \times 100, \quad (24)$$

La eficiencia de colección o remoción del material granular de un efluente gaseoso de tipo extensiva.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

Los parámetros físicos en condiciones atmosféricas permiten la mayor capacidad de colección de material granular en un separador tipo ciclón paraboloidal en Bellavista-Región Callao.

2.4.2 Hipótesis Específicos

1. A partir de las características de funcionamiento de un separador tipo ciclón paraboloidal se mide los parámetros físicos.

2. Las condiciones de arranque de los parámetros físicos en condiciones atmosféricas afecta en la capacidad de recolección del material granular en los separadores tipo ciclón paraboloides.

3. El comportamiento de los parámetros físicos en condiciones atmosféricas afectan la capacidad de colección de material granular en los separadores tipo ciclón paraboloides.

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1 Tipo

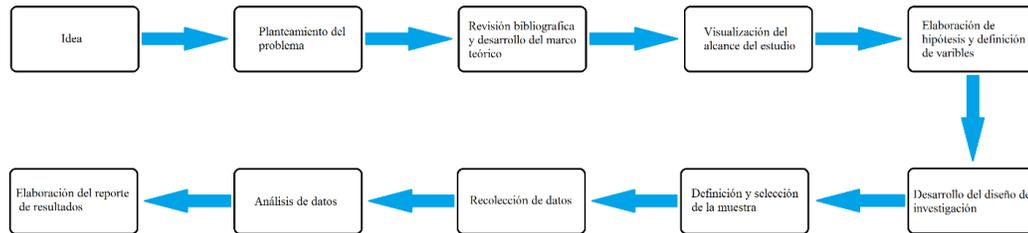
En la presente tesis fue una investigación cuantitativa, es decir medio a las variables (independientes, intervinientes y dependientes) contenidas en las hipótesis. En toda investigación cuantitativa se debe usar instrumentos para medir las hipótesis. Una vez medidas los datos de las variables se guardarán y se analizarán estadísticamente a través de la computadora (Hernandez & Otros, 2014).

Al ser la presente investigación cuantitativa fue “objetiva”, es decir en la toma de datos de las variables de estudio, no se influenciaron por el investigador o personas externas. Según Hernández et al. (2014) señalan: “el investigador no involucra sus antecedentes y experiencias en el análisis. Mantiene distancia de este”.

En el desarrollo de la investigación al ser cuantitativa, se realizó con los pasos mostrados en la Figura 17. También, se incluyeron en el proceso, las teorías estadísticas, físicas y del ambiente para la separación del material granular de un efluente gaseoso para el equipo de ciclón paraboloidal.

Figura N° 17

Pasos para el desarrollo de una investigación cuantitativa



Fuente: Hernandez et al, Metodología de la investigación.2014.

Al ser una investigación cuantitativa se construyó el equipo del ciclón paraboloidal y se realizaron pruebas de funcionamiento por medio de un motor trifásico de 0.5 Hp, para la toma de datos de las variables. La adquisición del material granular (Chuño) se adquirió en el Mercado Santa Rosa, ubicado cerca de la Universidad Nacional del Callao. Las medidas de los datos y el análisis de estos se realizarán in situ en los laboratorios de física general y computacional de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad Nacional del Callao.

3.2 Diseño de investigación

En la presente tesis siguieron pasos ordenados y secuenciales. Según Hernández et al (2014) señalan: “El término Diseño se refiere al plan o estrategia a seguir para obtener la información que se desea. Para el enfoque cuantitativo, el investigador utiliza sus diseños para analizar las certezas de las hipótesis formuladas”.

Al ser la presente investigación un diseño de tipo cuantitativo, en el cual se ajustó ante una eventualidad o cambios que se presentaron en el análisis. Por ejemplo, si en nuestras pruebas con el equipo ciclónico se observa que la medida del parámetro físico de velocidad angular no hubiese afectado en la eficiencia de colección del material granular planteadas en las hipótesis, entonces esta tendría que modificarse o adecuarse (Hernandez & Otros, 2014).

Existen dos tipos de “Diseño experimental”; laboratorio y campo, que están diferenciadas en su realismo, siendo el primero controlado más rigurosamente (detalladamente). En la presente tesis fue de diseño experimental de laboratorio. Según Hernández et al (2014) señala: “En los experimentos de laboratorio y experimentos de campo Los primeros se realizan bajo condiciones controladas, en el cual el efecto de las fuentes de invalidación interna es eliminado, así como otras posibles variables independientes que no son manipuladas o nos interesan. Los experimentos de campos son estudios efectuados en una situación realista en la que una o más variables independientes son manipuladas por el experimentador en condiciones tan cuidadosamente controladas”.

Un ejemplo de diseño experimental de laboratorio fue diseñar un equipo ciclónico parabólico con un caracol centrifugo que lance el efluente gaseoso dentro del ciclón cuyas presiones de entrada y salida fue controlarlo rigurosamente ya que fue una situación construida artificialmente. En cambio, si el equipo ciclónico parabólico con su caracol centrifugo lo hubiésemos llevado al lugar mismo donde se genera el

efluente, entonces hubiese sido un experimento de campo, que es “real” pero su control es menos riguroso por la complejidad del lugar, condición, etc., pero hubiese tenido mayor validez externa en comparación con los experimentos de laboratorio (Hernandez & Otros, 2014).

Se realizó un “Diseño Experimental de laboratorio”, es decir se “manipuló” y “medió” las variables independientes que son las causas, con presencia de las variables intervinientes, con ello sólo “medió” el efecto que es el comportamiento de la variable dependiente, todas ellas se hizo a través de un control, es decir a través de un diseño (Hernandez & Otros, 2014).

Se hizo un “control” (evitó la influencia de las variables extrañas en la variable dependiente) en la investigación, es decir se encontró la relación de causa y efecto de las variables de estudio. Es conocido, que el tipo de “diseño longitudinal”, el cual recolecta datos a través del tiempo o periodos, es aplicado para investigaciones “no-experimentales”. Como nuestra investigación es experimental no se usó el “diseño longitudinal” (Hernandez & Otros, 2014). Un ejemplo fue al analizar el comportamiento (seguimiento) de la colección del material granular (chuño) del equipo ciclónico paraboloidal en cada 5 minutos para cada durante el día, al modificar las variables independientes, pero eso en periodos bien cortos en comparación con periodos que se llevaría a cabo una encuesta a las personas, cuyas respuestas a los encuestadores es cambiante.

La presente investigación fue en un lugar de trabajo fijo que fue el “Laboratorio de Prueba”, ubicado en laboratorio de física general de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad Nacional del Callao.

Finalmente, en la recolección de datos cuantitativos se realizó mediante instrumentos y técnicas de medición para medir las variables contenidas en las hipótesis (Hernandez & Otros, 2014).

Además, el instrumento de la investigación posee la confiabilidad y validez como requisitos importantes. Para el desarrollo de esta investigación se siguió los siguientes procedimientos o pasos:

- a.** Diseño del ciclón paraboloides
- b.** Construcción del ciclón paraboloides
- c.** Construcción del sistema Caracol centrífugo
- d.** Acondicionamiento del laboratorio para Ciclón Paraboloides y Sistema caracol centrífugo.
- e.** Pruebas de funcionamiento del Ciclón Paraboloides y Sistema caracol centrífugo solo con aire (sin chuño).
- f.** Obtención y medida de la muestra de chuño.
- g.** Análisis físico
- h.** Análisis gráfico e interpretación estadística de los datos de las variables

3.3 Estrategia de prueba de hipótesis

Se realizó en base al funcionamiento óptimo de los equipos de medida y al ajuste de correlación en los gráficos donde estaban presente las medidas de los indicadores de las variables independiente, dependiente y interviniente.

3.4 variables

En la presente tesis las variables fueron todas aquellas que se midieron, controlaron y estudiaron. Según Hernandez et al (2014) señalan: **“Una variable es una propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse”**. Para la presente tesis las variables fueron las siguientes:

3.4.1 Variables e indicadores de la investigación

- **Variable dependiente (Y)** = Capacidad de colección de material granular

Dividido en:

X₁ : Capacidad mecánica sobre el efluente

X₂ : Capacidad termodinámica sobre el efluente

X₃ : Capacidad eléctrica sobre el efluente

- **Variables independientes (X)** = Parámetros físicos
- **Variable interviniente (Z)** = Condiciones atmosféricas

3.4.2 Indicadores:

Variable dependiente

Y = Capacidad de colección de material granular

▪ **Indicador:**

- Eficiencia de colección de material granular

Variable independiente

X_1 : Capacidad mecánica sobre el efluente

X_2 : Capacidad termodinámica sobre el efluente

X_3 : Capacidad eléctrica sobre el efluente

▪ **Indicadores:**

- Velocidad angular (ω)
- Presión de entrada en el caracol centrifugo (P1)
- Presión de entrada en el ciclón paraboloides (P2)
- Presión de salida en el ciclón paraboloides (P3)
- Frecuencia (f)
- Corriente eléctrica trifásica (I)

Variable interviniente (Z) = Condiciones atmosféricas

▪ **Indicador:**

- Temperatura ambiental (T)
- Presión atmosférica (P_{atm})

3.5 Población

La población en la presente tesis sólo posee un elemento y fue el Ciclón Paraboloides. Según Córdova (2009) señala: “Se denomina población a un conjunto de elementos que consiste en personas, objetos, etc. En los que se pueden observar o medir una o más características de naturaleza cualitativa o cuantitativa”. Durante las pruebas de funcionamiento del Ciclón Paraboloides analizo a diez masas del chuño, donde ellas no forman la población para la presente tesis, debido a que estas, solo indican el grado y características funcionamiento del Ciclón Paraboloides.

3.6 Muestra

Al ser nuestra población uno, entonces nuestra es la misma cantidad. Según Córdova (2009) señala: “Se denomina muestra a una parte de la población seleccionada de acuerdo con un plan o una regla con el fin de obtener información acerca de la población de la cual proviene”

En la figura 18, se usó el programa STATS™ 2.0 que verificó que la cantidad para el muestreo fue igual a la unidad, es decir la muestra sigue siendo una y es el Ciclón Paraboloides.

Figura N° 18

Verificación de que una muestra es igual a un elemento de población

The screenshot shows the 'Decision Analyst STATS™ 2.0' window. The main title is 'Sample Size Determination (Sample Size for Population Percentage Estimates)'. The interface is divided into two main sections: 'Inputs' and 'Results'.
In the 'Inputs' section, there are four fields:
1. 'Universe Size': A text input field containing the number '1'. Below it, a note reads: 'If universe is less than 99,999, replace 99,999 with the smaller number'.
2. 'Maximum Acceptable Percentage Points of Error': A dropdown menu set to '5%'.
3. 'Estimated Percentage Level': A dropdown menu set to '50%'.
4. 'Desired Confidence Level': A dropdown menu set to '95%'.
At the bottom of the 'Inputs' section are three buttons: 'Calculate', 'Reset', and 'Exit'.
The 'Results' section on the right contains a text area with the text 'The Sample Size Should Be...' and a text input field containing the number '1'.
At the bottom of the window, there is a logo for 'Decision Analyst' with the tagline 'The global leader in analytical research systems' and contact information: '817 640-6166 | www.decisionanalyst.com'.

Fuente: Elaboración en base al programa STATS™ 2.0.

3.7 Técnica de investigación

3.7.1 Instrumentos y recolección de datos

3.7.1.1 Instrumentos

Para la verificación de las hipótesis a través de las medidas cuantitativas de las variables se usó instrumentos que relaciono la teoría conceptual dada en la investigación con lo que sucede en la realidad.

Para la presente investigación, los requisitos que cumplió nuestros instrumentos de medición fueron los siguientes:

3.7.1.1.1 Validación de instrumentos

“La validez, en términos generales, se refiere al grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende medir” (Hernández, R., 2014). Por ejemplo, un instrumento válido para medir la presión de entrada que genera un gas en un equipo ciclónico debe medir la presión de entrada que genera un gas y no que mida la presión de salida u otra magnitud diferente. Es decir que se debe medir lo que se cree que se debe medir para que sea válida, caso contrario no será válida.

Para la presente investigación para tener una validez de los instrumentos se usó la correlación de datos entre las variables, haciendo uso de la estadística descriptiva, usando el lenguaje de programación MATLAB 2017b y la verificación de usar sólo un tamaño de muestra (Ciclón paraboloidal) con el programa STATS™ 2.0.

3.7.1.1.2 Confiabilidad de los instrumentos

En todo el desarrollo de la tesis se usó equipos modernos de recolección de datos garantizando la confiabilidad. Según Hernández et al (2014) señalan: “La confiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo sujeto u objeto produce resultados iguales”. Como ejemplo, tendríamos que, si se lanza un efluente gaseoso de densidad constante, a través de una

bomba con velocidad angular constante, en la entrada de un equipo ciclónico y al medir en este momento con un manómetro esta marca una presión de entrada de 101369,32 Pa, y en un minuto más tarde este incrementa a 101520,75 Pa, dos minutos más tarde indicara una disminución a 101123,45 Pa. Dicho manómetro no sería confiable ya que su aplicación repetitiva produce resultados distintos.

Para nuestra investigación, los instrumentos que se usaran en los equipos que se ubican en el ciclón paraboloides y en el ambiente del laboratorio, fueron los equipos analógicos (balanza), los sensores digitales de medida computarizado (presión, temperatura, velocidad angular) y sensores digitales de mano (temperatura, corriente eléctrica y frecuencia) que “medirán” las magnitudes físicas.

Los pasos metodológicos en detalle que se desarrolló en la investigación fueron los siguientes

a) Diseño del ciclón paraboloides.

Desde la base del ciclón en su forma curva de parábola se usó la ecuación:

$$y = 0.776x^2 , \tag{25}$$

donde, si $x = \frac{Dc}{2}$ se tiene su valor máximo $y_{m\acute{a}x}$:

$$y_{m\acute{a}x} = H - h + 6.180, \quad (26)$$

donde, si $x = \frac{B}{2}$ se tiene su valor mınimo $y_{m\acute{i}n}$:

$$y_{m\acute{i}n} = 6.180, \quad (27)$$

En la tabla N 02 se muestran las configuraciones de dimensiones en base a las medidas dadas en la tabla N 01 . El dise ıo completo con dimensiones se ubica en el anexo (1.2.3).

Tabla N 02

Dimensiones geom etricas del “cicl on paraboloides” en base a la tabla N 01.

Dimensi on	Medida en (cm)
a	7.5 00
b	3.000
s	7.500
De	7.500
Dc	15.000
h	22.500
H	60.000
B	5.6300

Fuente: Guti errez et al. *Cient ıfica, Instituto Polit ecnico Nacional*. 2006

b) Construcción del ciclón paraboloide.

Para la construcción del ciclón parabólico se hizo en base al diseño dado en el apartado anterior. En la figura 19, se muestran los moldes en madera de madera para poder fabricar la fibra de vidrio.

Figura N° 19

Moldes de maderas para el Ciclón Paraboloide



Fuente: Elaboración en base las medidas de la tabla N°2.

En la figura 20, se muestra el ciclón parabólico en fibra de vidrio en proceso de acoplamiento con tuberías y en la figura 21, se muestra el ciclón paraboloide en fibra de vidrio, con entrada y salida formado por tubos de PVC.

Figura 20

Ciclón parabololoide en proceso de acoplamiento



Fuente: Elaboración en base las medidas de la tabla N°2.

Figura 21

Ciclón Parabololoide en fibra de vidrio.



Fuente: Elaboración en base las medidas de la tabla N°2.

c) Construcción del sistema Caracol centrifugo.

Para la succión y lanzamiento del efluente (aire más chuño) sobre el ciclón paraboloidal se usó un caracol centrifugo mostrada en la figura 22.

Figura 22

Caracol centrifugo con toberas de succión y emisión



Fuente: Foto tomada en laboratorio de Física General.

Para el funcionamiento de impelente dentro del caracol se usó un motor trifásico de potencia de trabajo 0.5 Hp marca Weg, cuya placa madre se muestra en la figura 23.

Figura 23

Placa madre del motor Weg de 0.5 Hp



Fuente: Foto tomada en laboratorio de Física General.

El acoplamiento del eje del motor Weg con el eje del caracol centrifugo fue lineal, es decir para reducir las vibraciones y perdidas por transmisión alinearon los ejes lo cerca a la base de soporte haciendo que el sistema tenga centro de masa bajo y por ello mayor estabilidad. El protocolo de pruebas del motor Weg se muestra en anexo 1.2.10.

Para que el eje este gire sin mucha perturbación se usó dos chumaceras unidas al armazón que soporta al motor y al caracol centrífugo. El armado se muestra en la figura 24.

Figura 24

Acoplamiento motor y caracol centrífugo



Fuente: Foto tomada en laboratorio de Física General.

d) Acondicionamiento del laboratorio para Ciclón Paraboloide y Sistema caracol centrífugo.

Para analizar el comportamiento del efluente (aire más chuño) en el laboratorio de Física General de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática (FCNM) se usaron los siguientes equipos de medición; en una balanza analógica y analizador de humedad para el chuño (antes de la succión), para el efluente gaseoso (chuño más aire) y movimiento del impelente del “Caracol”, se usaron los sensores digitales de medida computarizado (presión, temperatura, velocidad angular) y para el funcionamiento del variador de frecuencia y la corriente de alimentación se usó los sensores digitales de mano (amperímetro de mordaza y termómetro infrarrojo) y para temperatura del ambiente con el sensor digital de temperatura. Todos los equipos y sensores usados se muestran en la figura 25, figura 26, figura 27, figura 28, figura 29 y figura 30.

Figura N° 25

Balanza analógica marca Adam Equipment



Fuente: Foto tomada en el laboratorio de física general.

Figura N° 26

Analizador de humedad marca H.W.Kessel



Fuente: Foto tomada en los ambientes Centro Experimental Tecnológico

CET-UNAC.

Figura N° 27

Tres sensores de presión baja y una de temperatura marca PASCO.



Fuente: Foto tomada en el laboratorio de física general.

Figura N° 28

Sensor de presión absoluta (alta) marca PASCO.



Fuente: Foto tomada en el laboratorio de física general.

Figura N° 29

Sensor de movimiento rotacional marca PASCO.



Fuente: Foto tomada en el laboratorio de física general.

Figura N° 30

Termómetro infrarrojo y del amperímetro mordaza marca PeakTech.



Fuente: Foto tomada en el laboratorio de física general.

e) Pruebas de funcionamiento del Ciclón Paraboloidal y Sistema caracol centrífugo sólo con aire (sin chuño).

En la figura 31 se muestra el armado del todo el sistema incluido los sensores digitales marca PASCO. En detalle del sistema ver en Anexo 1.2.4.

Figura N° 31

Montaje final del equipo



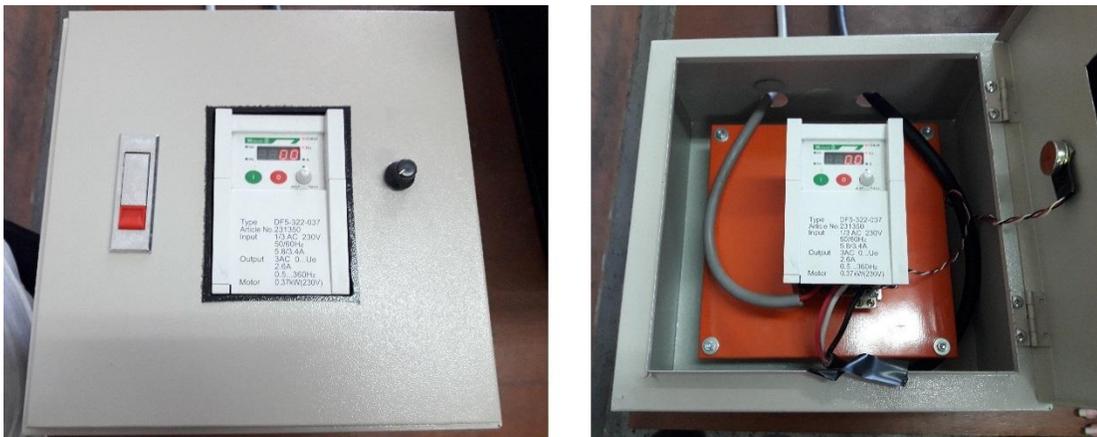
Fuente: Foto tomada en el laboratorio de física general.

Al tener el laboratorio de física generar una red monofásica, se usó el variador de frecuencia que sirvió como medio de llevar la corriente del sistema monofásico a la corriente en un sistema trifásico que era necesario al ser motor trifásico. En la

figura 32 el variador de frecuencia sirvió para controlar al motor a través de frecuencias variables. El diseño completo del sistema se ubica en el anexo 1.2.4; anexo 1.2.5; anexo 1.2.6; anexo 1.27 y anexo 1.2.8.

Figura N° 32

Variador de Frecuencia marca MOLLER



Fuente: Foto tomada en el laboratorio de física general.

f) Obtención y medida de la muestra de chuño.

Antes de ingresar el chuño al sistema del ciclón paraboloide se midió por tamizado el diámetro aproximado de las partículas de chuño, obteniéndose un diámetro menor e igual a $160 \mu m$ (micrómetros). Se tomo una muestra de 20 g y en la rejilla $160 \mu m$ quedando casi 50% de chuño. En la figura 33 se muestra la mayor cantidad que quedo en la rejilla de $160 \mu m$.

Figura N° 33

Tamizado con partículas de chuño en malla de 160 μm



Fuente: Foto tomada en los ambientes Centro Experimental Tecnológico
CET-UNAC.

Con el Analizador de humedad marca H.W.Kessel indico que el chuño tenía 19.98% de humedad (ver figura 26)

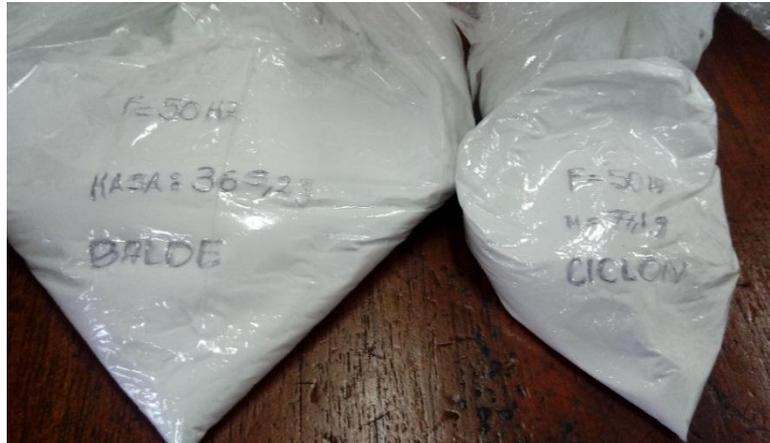
g) Análisis físico

El análisis físico fue realizado entre Enero y Febrero del 2018. Para la recolección de datos se varió la frecuencia, realizándose 10 ensayos con masas 500 g iguales y se midió la masa capturada en el balde que estaba debajo del ciclón y la masa que se acumulaba en la salida inferior del ciclón. Las masas antes de la succión y la masa que capturada el ciclón con el balde se midió con la balanza analógica. En la figura 34 y

en la figura 35 se muestra el chuño capturado en el balde y en el ciclón paraboloidal para las frecuencias de 50 Hz y 55 Hz respectivamente.

Figura N° 34

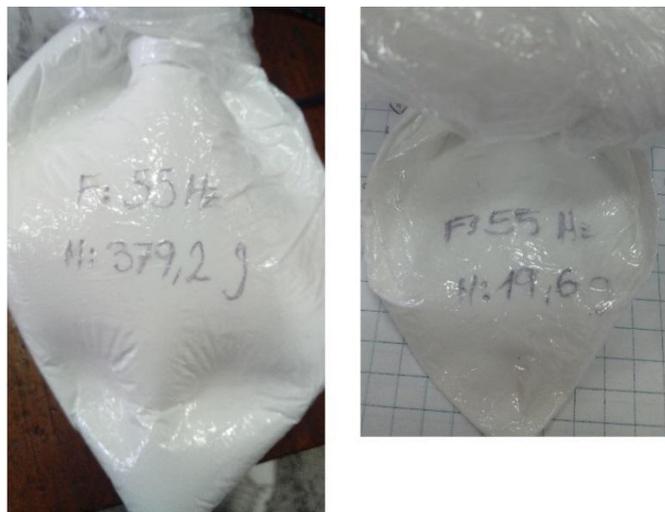
Chuño capturado en el balde y en el Ciclón Paraboloidal



Fuente: Foto tomada en el laboratorio de física general.

Figura N° 35

Chuño capturado en el balde y en el Ciclón Paraboloidal



Fuente: Foto tomada en el laboratorio de física general.

h) Análisis gráfico e interpretación estadística de los datos de las variables

Se obtuvieron las siguientes graficas usando el Matlab 2017b:

- Gráfica de % Eficiencia (Efi) vs Frecuencia

- Gráfica de % Eficiencia (% Efi) vs Velocidad Angular (ω)

- Gráfica de % Eficiencia (% Efi) vs Presión 1 (P1)

- Gráfica de % Eficiencia (% Efi) vs Presión 2 (P2)

- Gráfica de % Eficiencia (% Efi) vs Presión 3 (P3)

- Gráficas de %Eficiencia (Efi) vs Corriente de Entrada (I)

- Gráfica de Temperatura Ambiental (Ta) vs % Eficiencia (Efi)

- Gráfica de Presión Atmosférica (Patm) vs % Eficiencia (Efi)

La estadística fue descriptiva y se mostrara en detalle en el Capítulo IV de la presente tesis.

3.7.1.2 Recolección de datos

Al haber sido la investigación de tipo cuantitativa, implicó la elaboración de un plan detallado de procedimientos a seguir para cumplir los objetivos específicos propuestos que fue dado en la sección 3.7.1.1.

La recolección de datos (medida de los indicadores de las variables) fueron obtenidos por medio de los equipos y sensores de medida (analógicos y digitales) de mano y computarizados.

3.7.2 Procesamiento y Análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de datos se usó una computadora marca HP con Procesador Intel Core i3.

3.7.2.1 Procesamiento

Para el procesamiento de los indicadores de las variables independientes se realizaron:

- Uso del programa Data Studio de la empresa PASCO sirvió para procesar los datos de los sensores digitales de velocidad angular, presión baja que estaban conectados a la interfase controladas por la computadora, cuyos datos se guardó en extensión “.ds”.

- A partir valores de frecuencia del variador de frecuencia al tener su propio indicador se apuntó en un cuadernillo de trabajo la secuencia de 15 Hz, 20 Hz, 25Hz, 30 Hz, 35

Hz, 40 Hz, 45 Hz, 50 Hz, 55 Hz y 60 Hz que hizo funcionar el motor en intervalos de 6 minutos para cada frecuencia.

- Uso el Amperímetro de Mordaza al tener su propio indicador se apuntó en el cuadernillo de trabajo los valores de corriente que marcaba a medida que se variaba la frecuencia del variador de frecuencia.

Para el procesamiento de los indicadores de las variables dependiente se realizó:

- Uso de la balanza digital para determinar la suma de la masa de chuño dentro del balde y la masa de chuño atrapada en el ciclón a medida que variaba la frecuencia del variador de frecuencia cuyos datos fueron apuntados en el cuadernillo de trabajo.

Para el procesamiento de los indicadores de las variables intervinientes se realizó:

- Uso del programa Data Studio de la empresa PASCO sirvió para procesar los datos de los sensores digitales de presión alta y temperatura que estaban conectados a la interfase controladas por la computadora, cuyos datos se guardó en extensión “.ds”.

3.7.2.2 Análisis de datos

Para el análisis de datos se usó la herramienta “Curve Fitting Toolbox” del software Matlab 2017b. Los pasos para el análisis de datos fueron los siguientes:

- Construcción de la tabla donde estén todos los valores de los indicadores de las variables.

- Graficas del indicador de la variable independiente con cada indicador de la variable independiente con su ajuste respectivo y su medida del coeficiente de determinación.

- Graficas de la variable interviniente respecto a la variable dependiente, con su ajuste de curva respectivo y su medida del coeficiente de determinación.

El análisis en las medidas de los datos durante todo el proceso en detalle, que se realizó en detalle se muestra en el Capítulo IV de la presente tesis.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Contrastación de hipótesis

Según la tabla N° 03, se puede apreciar que el porcentaje de eficiencia en colección de material particulado esta entre 45 Hz y 55 Hz, es decir el porcentaje de eficiencia es disminuye conforme la frecuencia se acerca a 60 Hz, similar a lo estudiado por Oriaku et al (2014), y también se obtiene que en la parte interna de la curva del Ciclón Paraboloides acelera la acumulación de material particulado, por ende se confirma la hipótesis inicial.

4.2 Análisis e Interpretación

A partir de los datos tomados sensores y equipos de medidas, se mostró lo obtenido en la Tabla N°3.

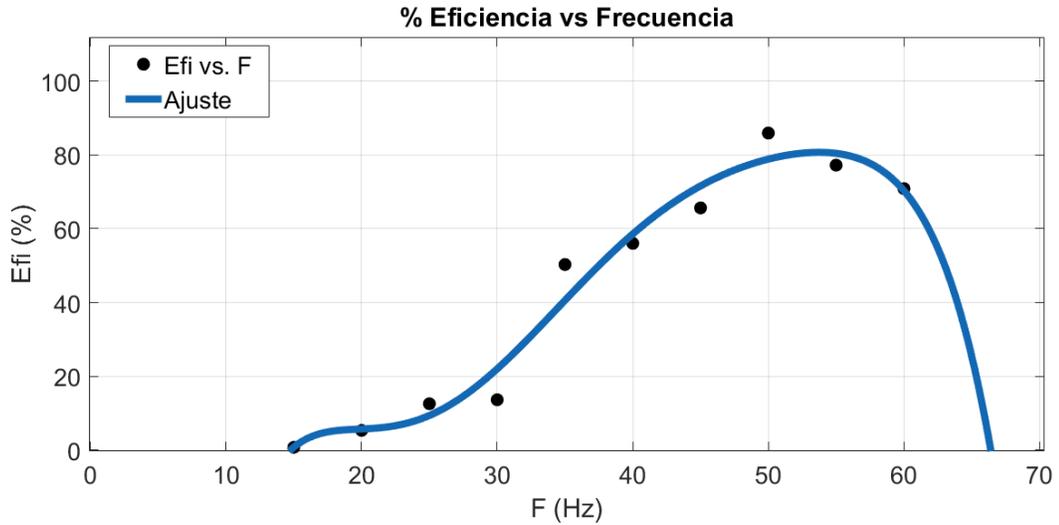
Tabla N° 3**Medidas de los parámetros físicos**

F (Hz)	I (A)	P ₁ (Bar)	P ₂ (Bar)	P ₃ (Bar)	W (RPM)	Efi (%)	Ta (C°)	Patm (Bar)
15	1,29	-0,000330	0,00106	0,0003520	998,000	0,78	26,1	1.004
20	1,45	-0,000704	0,00142	0,0004610	1279,000	5,36	26,0	1.003
25	1,54	-0,001070	0,00163	0,0007927	1594,630	12,58	26,5	1.004
30	1,63	-0,001590	0,00205	0,0008120	1989,960	13,66	26,3	1.004
35	1,67	-0,001940	0,00244	0,0008450	2236,200	50,30	26,2	1.003
40	1,75	-0,002450	0,00291	0,0009420	2583,570	56,04	26,1	1.003
45	1,80	-0,002760	0,00306	0,0010600	2810,809	65,64	26,1	1.003
50	1,72	-0,003830	0,00337	0,0011800	3101,780	85,92	26,5	1.003
55	1,57	-0,004040	0,00418	0,0017300	3330,000	77,22	26,2	1.004
60	1,48	-0,005450	0,00512	0,0020100	3551,000	70,86	26,1	1.004

Fuente: Elaboración en base a las medidas tomadas en la presente investigación.

Gráfico N° 01

Ajuste de % Eficiencia (% Efi) vs Frecuencia (F)



Fuente: Elaboración en base al uso de Curve Fitting Tool del Matlab 2017b

Del gráfico N° 01 su ecuación matemática que relaciona a las variables, con sus constantes y su coeficiente de determinación (r^2) de ellas fue:

$$y = p1(x)^6 + p2(x^5) + p3(x^4) + p4(x^3) + p5(x^2) + p6(x) + p7, \quad (28)$$

$$p1 = -3.706 \times 10^{-7}$$

$$p2 = -8.724 \times 10^{-5}$$

$$p3 = -8.268 \times 10^{-3}$$

$$p4 = 3.983 \times 10^{-1}$$

$$p5 = -10.12$$

$$p6 = 129$$

$$p7 = -645$$

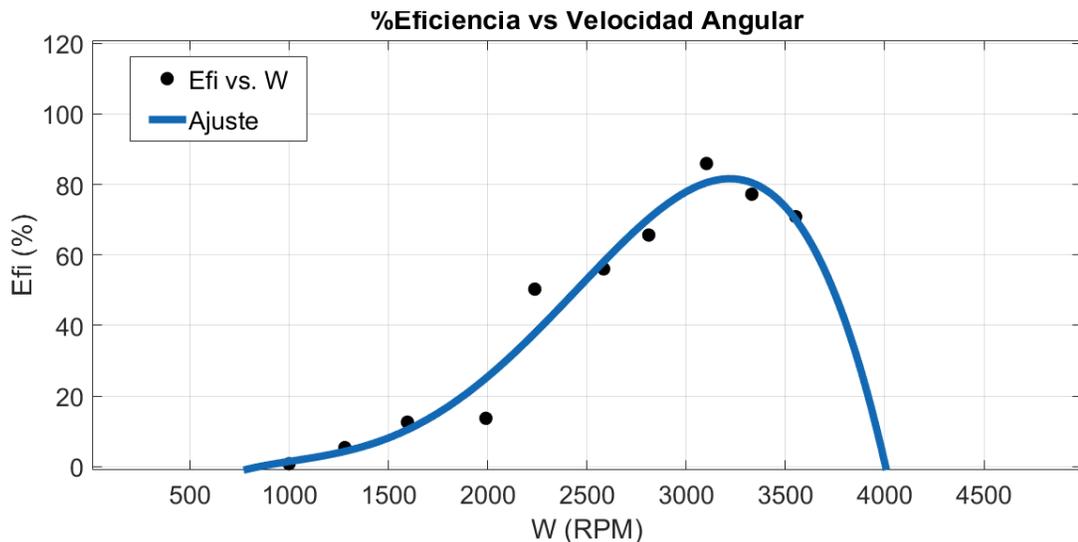
$$r^2 = 0.9709$$

donde, $y = \%Efi$, $x = F$ y $p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7$ son las constantes de la ecuación de ajuste polinomial.

En el gráfico 01, se encontró la correlación fue no lineal entre el % Efi y la frecuencia, con ajuste polinómico de grado 6, con coeficiente de determinación alto $r^2 = 0.9709$. Se observa a partir del ajuste, que la máxima remoción fue entre 45 Hz hasta 60 Hz. El sentido del proceso en el gráfico es hacia la derecha.

Gráfico N° 02

Ajuste de % Eficiencia (% Efi) vs Velocidad Angular (ω)



Fuente: Elaboración en base al uso de Curve Fitting Tool del Matlab 2017b

Del gráfico N° 02 su ecuación matemática que relaciona a las variables, con sus constantes y su coeficiente de determinación (r^2) de ellas fue:

$$y = p1(x)^4 + p2(x^3) + p3(x^2) + p4(x) + p5 , \quad (29)$$

$$p1 = -8.587 \times 10^{-12}$$

$$p2 = 5.959 \times 10^{-8}$$

$$p3 = -1.287 \times 10^{-4}$$

$$p4 = 1.218 \times 10^{-1}$$

$$p5 = -42.7$$

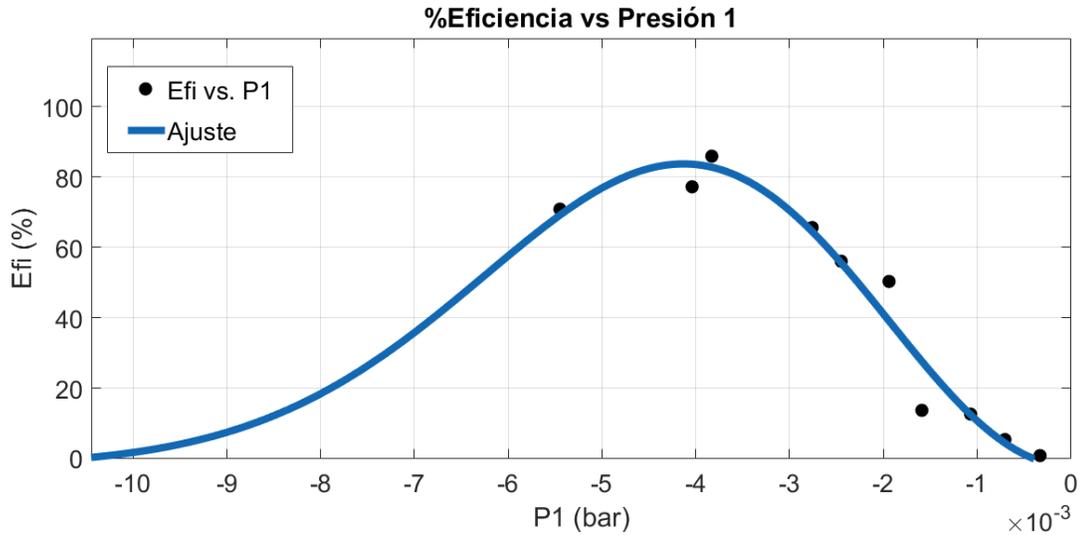
$$r^2 = 0.9623$$

donde, $y = E_{fi}$, $x = F$ y $p1, p2, p3, p4, p5$ son las constantes de la ecuación de ajuste polinomial.

En el gráfico 02, se encontró la correlación no lineal entre el % de remoción y la velocidad angular ω , con ajuste polinómico de grado 4, con coeficiente de determinación alto $r^2 = 0.9623$. Se observa a partir del ajuste, la máxima remoción fue entre 3000 RPM hasta 3500 RPM. El sentido del proceso en el gráfico es hacia la derecha.

Gráfico N° 03

Ajuste de % Eficiencia (% Efi) vs Presión 1 (P1)



Fuente: Elaboración en base al uso de Curve Fitting Tool del Matlab 2017b

Del gráfico N° 03 su ecuación matemática que relaciona a las variables, con sus constantes y su coeficiente de determinación (r^2) de ellas fue:

$$y = a(x)^2 \times e^{(-b(x^2))} + c, \quad (30)$$

$$a = 1.368 \times 10^7$$

$$b = 5.857 \times 10^4$$

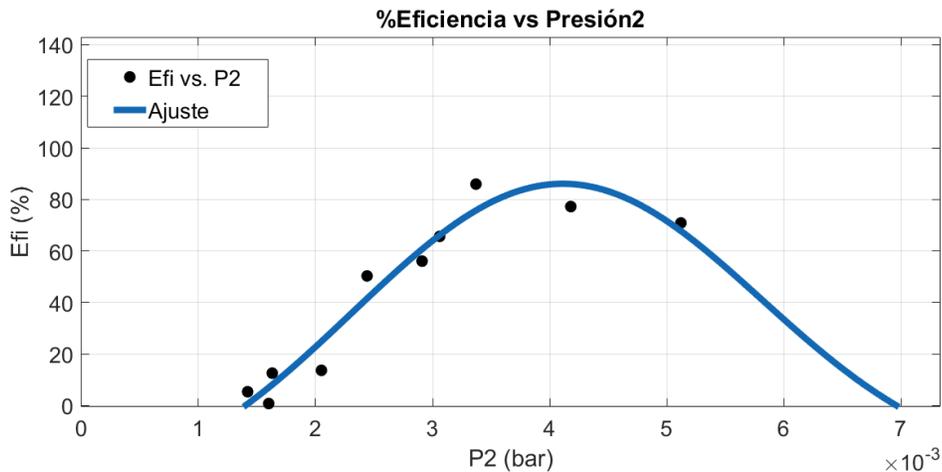
$$c = -2.226$$

$$r^2 = 0.9601$$

donde, $y = \% \text{ Efi}$, $x = P1$ y a, b, c son las constantes de la ecuación de ajuste exponencial. En el gráfico 03, se encontró la correlación no lineal entre el $\% \text{ Efi}$ y la presión $P1$, con ajuste exponencial, con coeficiente de determinación alto $r^2 = 0.9601$. Se observa a partir del ajuste, la máxima remoción fue entre -0.005 Bar hasta -0.003 Bar . Se observa que los valores de las presiones $P1$ son negativas para que haya succión del caracol centrífugo hacia el efluente gaseoso (aire + chuño). El sentido del proceso en el gráfico es hacia la izquierda

Gráfico N° 04

Ajuste de % Eficiencia (% Efi) vs Presión 2 (P2)



Fuente: Elaboración en base al uso de Curve Fitting Tool del Matlab 2017b

Del gráfico N° 04 su ecuación matemática que relaciona a las variables, con sus constantes y su coeficiente de determinación (r^2) de ellas fue:

$$y = a(x)^2 \times e^{(-b(x^3))} + c, \quad (31)$$

$$a = 1.271 \times 10^7$$

$$b = 9.584 \times 10^6$$

$$c = -24.29$$

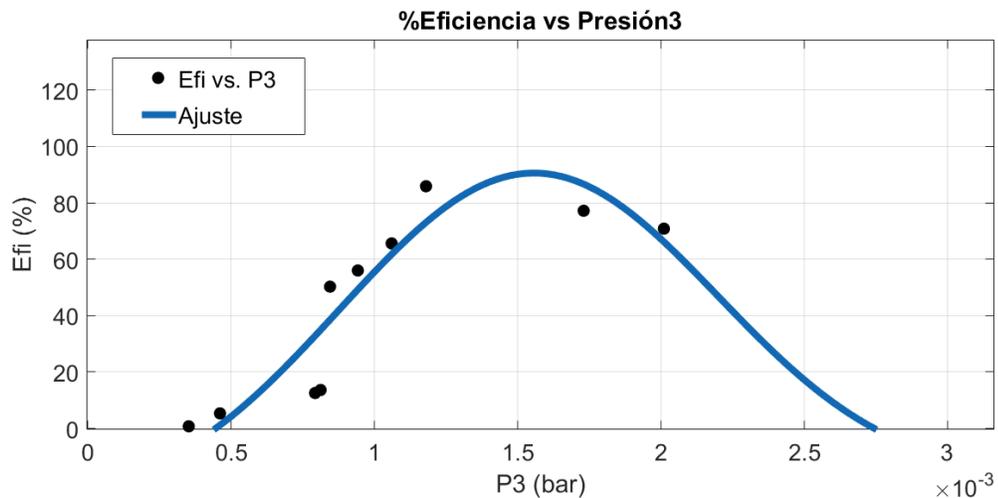
$$r^2 = 0.9478$$

donde, $y = \text{Efi}$, $x = P2$ y a, b, c son las constantes de la ecuación de ajuste exponencial.

En el gráfico 04, se encontró la correlación no lineal entre el % Efi y la presión P2, con ajuste exponencial, con coeficiente de determinación alto $r^2 = 0.9478$. Se observa a partir del ajuste, la máxima remoción fue entre 0.003 Bar hasta 0.005 Bar. El sentido del proceso en el gráfico es hacia la derecha.

Gráfico N° 05

Ajuste de % Eficiencia (% Efi) vs Presión 3 (P3)



Fuente: Elaboración en base al uso de Curve Fitting Tool del Matlab 2017b

Del gráfico N° 05 su ecuación matemática que relaciona a las variables y su coeficiente de determinación (r^2) de ellas fue:

$$y = a(x)^2 \times e^{(-b(x^3))} + c, \quad (32)$$

$$a = 8.639 \times 10^7$$

$$b = 1.767 \times 10^8$$

$$c = -16.87$$

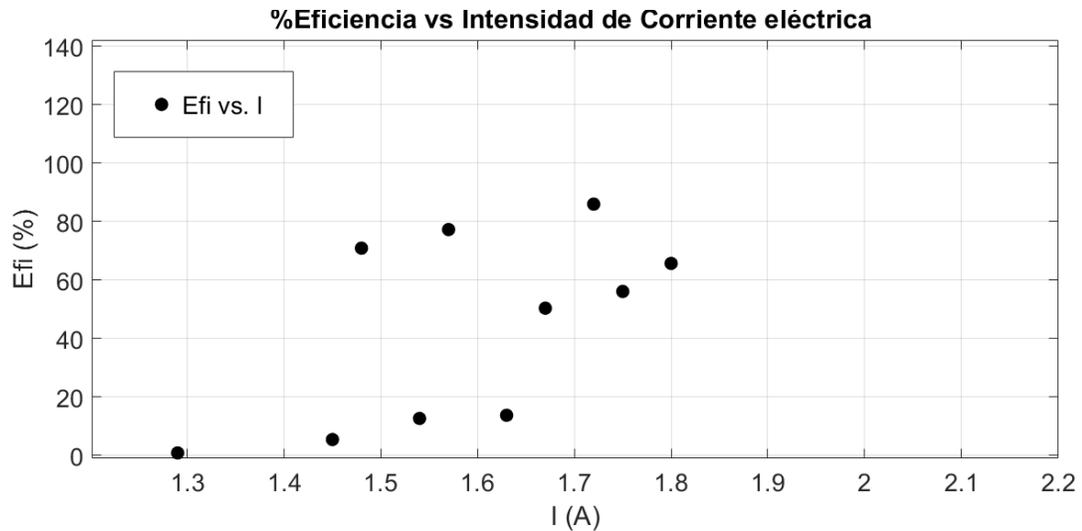
$$r^2 = 0.8523$$

donde, $y = \text{Efi}$, $x = \text{P3}$ y a, b, c son las constantes de la ecuación de ajuste exponencial.

En el gráfico 05, se encontró la correlación no lineal entre el % de Eficiencia y la presión P3, con ajuste exponencial, con coeficiente de determinación alto $r^2 = 0.8523$. Se observa a partir del ajuste, la máxima remoción fue entre 0.001 Bar hasta 0.002 Bar. El sentido del proceso en el gráfico es hacia la derecha.

Gráfico N° 06

Ajuste de % Eficiencia (Efi) vs Corriente de Entrada (I)

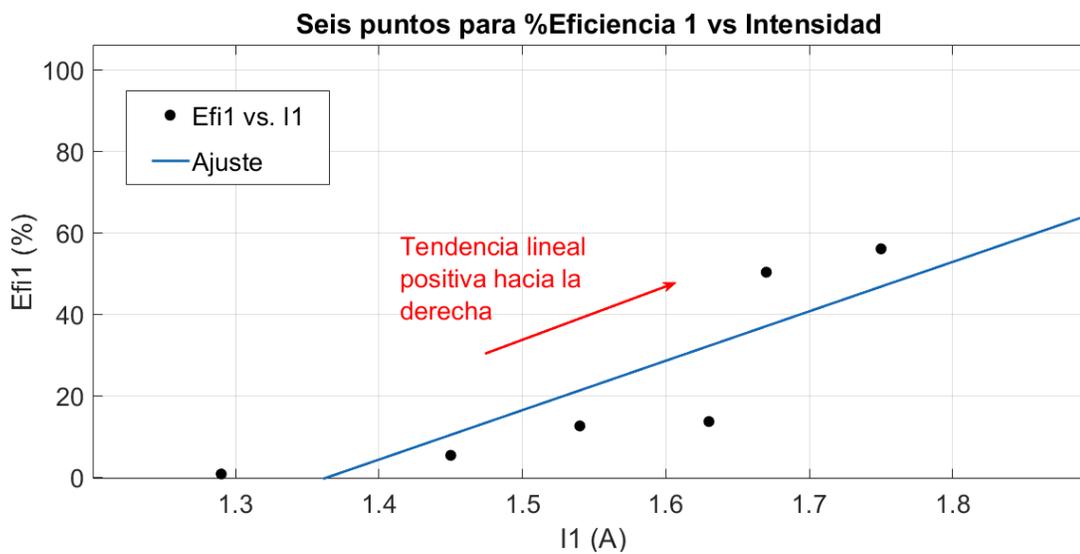


Fuente: Elaboración en base al uso de Curve Fitting Tool del Matlab 2017b

Del gráfico N° 06, se tiene dos procesos; un proceso que es hacia la derecha en el cual la corriente I aumenta casi de igual manera que el % de Eficiencia y otro proceso que es hacia la izquierda donde la corriente y el % de Eficiencia disminuyen. A continuación, para analizar el comportamiento creciente “hacia la derecha”, se tomó seis primeros pares de dato y se realizó su ajuste lineal mostrada en la gráfica 07. De igual forma para analizar el comportamiento hacia la izquierda, se tomó los cuatro últimos pares de dato (lo mínimo que permitía el Curve Fitting Tool del Matlab 2017b) y se realizó su ajuste polinómico mostrado en el gráfico 08.

Gráfico N° 07

Ajuste de % Eficiencia1 (Efi) vs Corriente de Entrada1 (I)



Fuente: Elaboración en base al uso de Curve Fitting Tool del Matlab 2017b

Del gráfico N° 07 su ecuación matemática que relaciona a las variables, con sus constantes y su coeficiente de determinación (r^2) de ellas fue:

$$y = p1(x^2) + p2(x^1) + p3 \quad , \quad (33)$$

$$p1 = -649.4$$

$$p2 = 2128$$

$$p3 = -1659$$

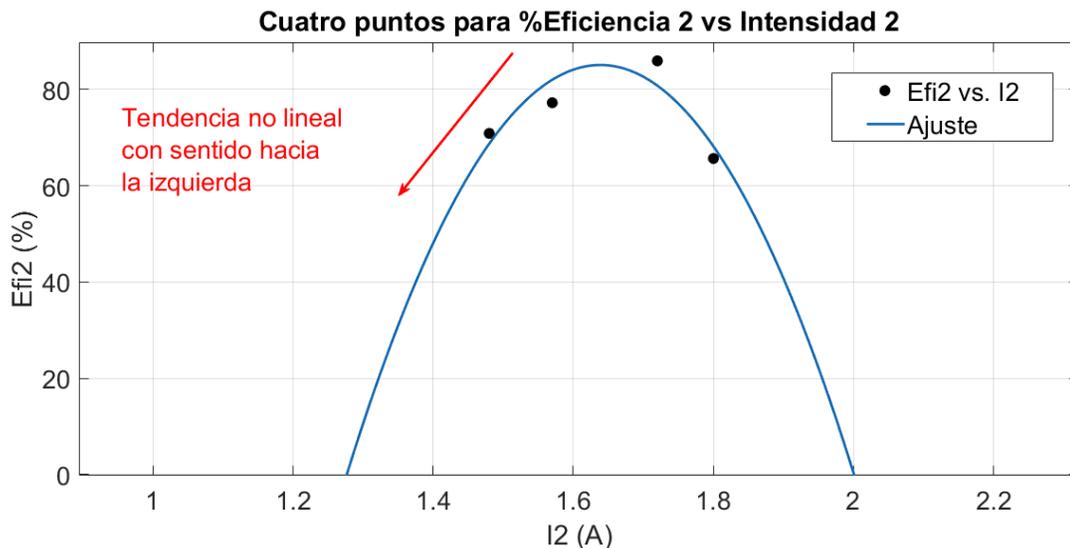
$$r^2 = 0.7363$$

donde, $y = \%Efi1$, $x = I1$ y $p1$ y $p2$ son las constantes de la ecuación de ajuste polinomial de tipo lineal.

En el gráfico 08, se encontró “solo para los cuatro primeros pares de datos” la correlación polinómica (tipo cuadrática) entre el % de Eficiencia2 y la Corriente entrada2, con ajuste polinómico de grado 1, con coeficiente de determinación alto $r^2 = 0.7171$. El sentido del proceso en el gráfico es hacia la derecha.

Gráfico N° 08

Ajuste de % Eficiencia2 (Efi) vs Corriente de Entrada2 (I)



Fuente: Elaboración en base al uso de Curve Fitting Tool del Matlab 2017b

Del gráfico N° 08 su ecuación matemática que relaciona a las variables, con sus constantes y su coeficiente de determinación (r^2) de ellas fue:

$$y = p_1(x) + p_2, \quad (34)$$

$$p_1 = 121.3$$

$$p_2 = -165.5$$

$$r^2 = 0.7171$$

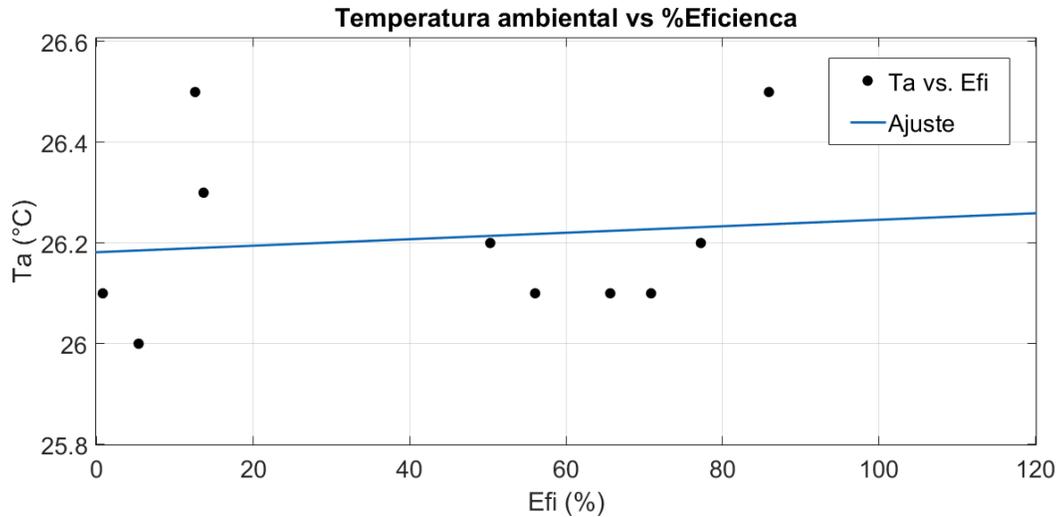
donde, $y = \text{Efi}2$, $x = I2$ y p_1 y p_2 son las constantes de la ecuación de ajuste polinomial de tipo lineal.

En el gráfico 08, se encontró “solo para los seis primeros pares de datos” la correlación lineal entre el % de Eficiencia1 y la Corriente entrada1 I, con ajuste polinómico de grado 1, con coeficiente de determinación alto $r^2 = 0.7363$. El sentido del proceso en el gráfico es hacia la izquierda.

En el gráfico 9 y el gráfico 10 se muestra que tanto la temperatura ambiental y presión atmosférica al ser sus valores los indicadores de las variables intervinientes no influyen directamente al % Eficiencia, mostrando linealidad paralela al eje % Eficiencia.

Gráfico N° 09

Ajuste de Temperatura ambiental (Ta) vs % Eficiencia (Efi)



Fuente: Elaboración en base al uso de Curve Fitting Tool del Matlab 2017b

Del gráfico N° 09 su ecuación matemática que relaciona a las variables, con sus constantes y su coeficiente de determinación (r^2) de ellas fue:

$$y = p1(x) + p2 \quad , \quad (35)$$

$$p1 = 0.0006448$$

$$p2 = 26.18$$

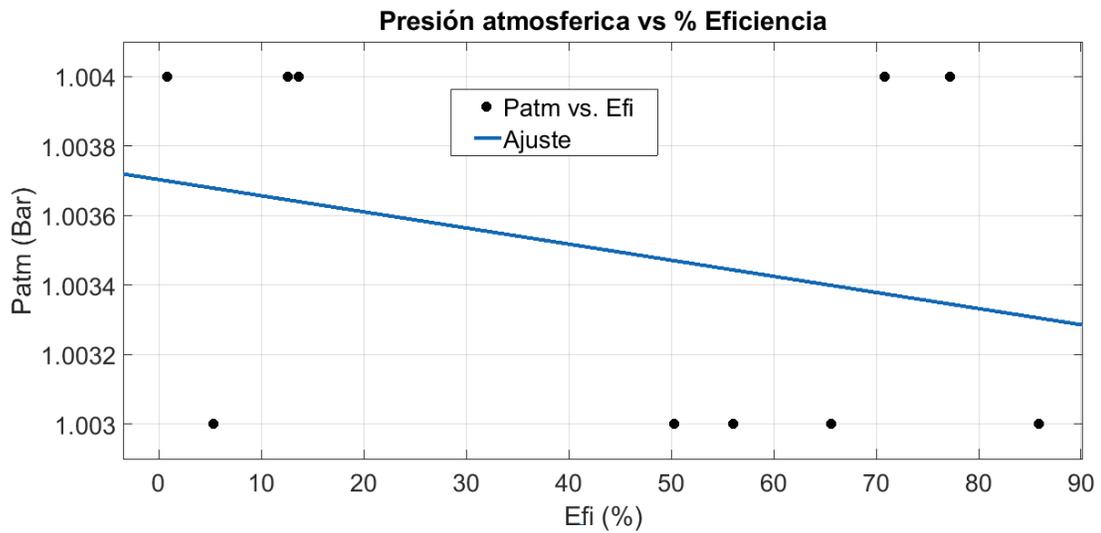
$$r^2 = 0.01469$$

donde, $y=Pa$, $x=\% Efi$ y $p1$ y $p2$ son las contantes de la ecuación de ajuste polinomial de tipo lineal paralela al ele % Efi.

En el gráfico 09, se encontró que el coeficiente de determinación bajo $r^2 = 0.01469$ entre la Ta vs % Efi, lo cual indica que no hay correlación entre esas variables.

Gráfico N° 10

Ajuste de Presión atmosférica (Patm) vs % Eficiencia (Efi)



Fuente: Elaboración en base al uso de Curve Fitting Tool del Matlab 2017b

Del gráfico N° 10 su ecuación matemática que relaciona a las variables, con sus constantes y su coeficiente de determinación (r^2) de ellas fue:

$$y = p1(x) + p2 \quad , \quad (36)$$

$$p1 = -4.638 \times 10^{-6}$$

$$p_2 = 1.004$$

$$r^2 = 0.08178$$

donde, $y=Patm$, $x=Efi$ y p_1 y p_2 son las constantes de la ecuación de ajuste polinomial de tipo lineal paralela al eje % Efi.

En el gráfico 10, se encontró que el coeficiente de determinación bajo $r^2 = 0.08178$ entre la Patm vs % Efi, lo cual indica que no hay correlación entre esas variables.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1 Discusión

En este capítulo se presenta las discusiones más relevantes de la presente, entendiéndose por discusión según Hernández et al. (2014) señala: “Son lecciones que se aprendieron con el estudio y si los hallazgos confirman o no el conocimiento previo”.

5.1.1 Discusiones Generales

- Al analizar estadísticamente desde grafica N° 01 hasta la gráfica N° 08, se obtuvo coeficientes de determinación r^2 son altos y cercanos a 1, en el cual se observó que los indicadores de los parámetros físicos de las variables independiente están “relacionados” con el indicador de la variable dependiente (%Eficiencia). Estos resultados son similares a lo encontrado por Gutiérrez et al (2006) y por Oriaku et al (2014).
- En la gráfica N°6, se usó una magnitud eléctrica que es la corriente eléctrica I, que esta influenció directamente con el % Eficiencia, haciendo que, entre ellas, aumenten y disminuyan juntas. Esta comparación realizada es nueva al usarse una magnitud de tipo eléctrica, que esta no es usada, en los artículos referenciados en la presente tesis.

5.1.2 Discusiones Específicas

- A partir de las características del ciclón paraboloides, al usar la ecuación parabólica de revolución con la configuración Stairmand se obtuvo la tabla N° 02 que hizo que el ciclón paraboloides tenga la medida de longitud alargada H mayor respecto a las medidas de su diámetro mayor D_C y sus diámetros menores D_e y B , ello provocó que al aumentar la frecuencia F , los valores de las presiones P_2 y P_3 sean bajos (ver tabla N° 03), también provocó que la disminución de las caídas de presiones entre P_3 y P_2 sean bajas en todo el proceso. Lo obtenido en la presente tesis es similar a lo encontrado por Petip et al (2011) para un ciclón convencional.
- En la gráfica N° 02 se usa la velocidad angular inicial de 998 RPM encontrándose con el menor porcentaje de remoción de 0.78%, que se puede medir indirectamente con la balanza. Lo medido presenta valores muy menores de inicio de porcentaje de eficiencia, en comparación con el encontrado por Oriaku et al (2014) que empieza a partir de 1500 RPM con porcentaje de eficiencia de 70.34%.
- Desde gráfica N° 01 hasta la gráfica N° 08 el comportamiento de los indicadores es de forma independiente con el porcentaje de eficiencia, aun

teniendo “relación teórica” entre los indicadores de las variables independientes. Todos estos indicadores varían directamente con el tamaño de las partículas del chuño de $160 \mu\text{m}$ de la dimensión del diseño del ciclón paraboloidal, similar a lo planteado por Taiwo et al (2016).

5.2 Conclusiones

A partir de lo determinado en el Capítulo IV y en el Capítulo V se concluyó:

5.2.1 Conclusiones Generales

- Que, a partir de las pruebas realizadas con Ciclón Paraboloide desarrollado en la presente tesis, se determinó que los parámetros físicos; Velocidad Angular, Presion1 (Succión en el caracol), Presiones2 (entrada en el ciclón), Presión 3(salida del ciclón) y frecuencia, que al ser los indicadores de las variables independientes afectó la capacidad de colección de material particulado en su % de Eficiencia, siendo esta última el indicador de la variable dependiente. En el gráfico N° 01, gráfico N° 02, gráfico N° 03, gráfico N° 04 y gráfico N° 05 y se ajustaron con funciones polinómicas y exponenciales de manera que las curvas de ajustes empiecen desde eje de las variables independientes y vuelvan a regresar a cortar al eje de la misma variable, ello garantiza que el indicador de la variable dependiente tanto al inicio y al final de un proceso completo (al tener mucho más pares de datos) debe ser cero en valor.
- Se ha determinado que las medidas realizadas, sólo el segundo indicador de la tercera variable independiente, la corriente eléctrica esta correlacionado en todo sentido con el indicador de la variable dependiente % eficiencia, es decir si una aumenta la otra también, si una disminuye la otra también. En la gráfica N°07

se observó que esa correlación tenía una reversa (en sus cuatro ultimo pares de datos), no permitiendo el ajuste en todo ese gráfico, ante ello, habiéndose realizado el análisis en el gráfico N° 08 y gráfico N° 09 para no perder la esencia del comportamiento de esas variables.

5.2.3 Conclusiones Especificas

- Se ha determinado que las características del ciclón al ser “paraboloide” contribuye a un aumento en la captura de material particulado cuando se lo somete a frecuencias entre 50 Hz y 60 Hz. Se observo que la captura máxima de material particulado no es 60 Hz en el funcionamiento del motor, para nuestro caso que tiene en parecido con lo determinado por (Oriaku & Otros, 2014). Se obtuvo mayor acumulación experimental de material particulado a una frecuencia de 50Hz en valor total incluyendo lo capturado en la sección de salida del ciclón paraboloide (Figura N° 33) en el cual se acumuló material particulado de masa considerable. Esa acumulación de material particulado se debió a que la forma parabólica acelera la espiral en la bajada del material particulado, lo hace tan rápido, que al chocar entre ellas forman una capa adherente sobre el ciclón que vence la fuerza de gravedad sobre ellas.
- Se ha determinado que las condiciones de arranque, es decir las condiciones iniciales optimas influye para que se obtenga la remoción de material

particulado. Se empezó con 15 Hz y colección de material era poca, a partir de 40 Hz recién se obtuvo la colección de material adecuado.

- Se determinó que el comportamiento de los parámetros físicos de las variables independientes es de forma individual influyen con respecto a la variable dependiente. Se sabe que teóricamente las presiones se pueden determinarse a partir de la frecuencia de giro, o que la velocidad angular es determinada por la frecuencia, pero en la tesis se determinó que su comportamiento es de forma individual y se ve con detalle con sus datos mostrados en la tabla 3 y en sus ajustes en el gráfico 01, gráfico N° 02, gráfico N° 03, gráfico N° 04, gráfico N° 05, gráfico N° 07 y gráfico N° 08. La modificación de comportamiento individual de las variables independientes se puede realizar a partir de la modificación de la parte geométrica del ciclón paraboloidal, el material de las toberas, etc., haciendo que no tengan “dependencia teórica” entre las variables independientes. Así mismo, se comprueba que el comportamiento de condiciones atmosféricas indicadas en la tabla N° 03, al ser indicadores de las variables intervinientes no modifican en gran medida al indicador de la variable dependiente mostradas en la gráfica 9 y gráfica 10. Sólo las variables intervinientes condicionan a las variables dependiente e interviniente de forma simultánea, con respecto al lugar y estación (verano) en el que se realizó la investigación, no obligando que los pares de datos obtenidos sean igual en otro lugar (otro laboratorio) y estación (otoño, invierno o primavera).

5.3 Recomendaciones

A partir de las conclusiones indicadas, se recomienda:

5.3.1 Recomendaciones Generales

- Aplicar correctamente el ajuste entre los pares de datos, teniendo presente el comportamiento del fenómeno, de manera que se realice el ajuste indicado que correlacione a las variables. En especial se debe tener cuidado en el comportamiento de la variable dependiente que se quiere medir ya que en la presente tesis tiende a regresar a su valor inicial.
- Tener en consideración que algunas variable independiente también pueden tener comportamiento como el de la variable dependiente en regresar a su valor inicial, ya que en la presente tesis estuvo en todo el proceso. Si el proceso grafica tiene “reversa”, se recomienda separar los pares de datos en dos gráficas y analizar las gráficas de forma individual y ver el comportamiento estadístico de las variables.

5.3.1 Recomendaciones Específicas

- Se debe aumentar las dimensiones del ciclón paraboloides en base a las características dadas por Stiarmand (Tabla N° 01), eso reduciría la acumulación

de material particulado dentro del ciclón, permitiendo una mayor caída por gravedad hacia el contenedor ubicado debajo del ciclón paraboloide (Anexo 1.2.4). Así mismo, se recomienda para futuras investigaciones, el uso de la curva cicloide en revolución, ya que se sabe que de todas las curvas la cicloide es la que acelera más (hace recorrer en el menor tiempo) a partículas que se mueven sobre ella.

- Se recomienda si se avanza con la presente tesis, empezar la toma de datos, a partir de frecuencias cercanas a 40 Hz para que a partir de ella se mida la capacidad de colección de material particulado y de esa forma se tenga el intervalo de trabajo adecuado para su funcionamiento del ciclón paraboloide. De igual forma para futuros desarrollos de ciclones sea cual fuese su geometría se debe empezar con datos iniciales de frecuencia no muy bajas como se realizó en la presente tesis.
- Se sugiere que se debe analizar el comportamiento de las variables independientes de forma individual, aunque entre ellas existiese una “dependencia teórica”, en la experiencia se demuestra que son en sí individuales, porque dependen de la geometría de la parte geométrica del ciclón paraboloide, el material de las toberas, etc. Para futuras investigaciones se recomienda registrar a las variables intervinientes con sus datos, indicando el lugar, estación u otra característica que contribuyan al análisis adecuado de datos.

5.4 Referencias

5.4.1 Referencias Bibliográficas

Aguedo, A. A. (2008). *Problemática medio ambiental de las canteras de materiales de construcción en Lima*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica.

Arellano, J. A., & Guzman, J. E. (2011). *Ingeniería Ambiental*. México: Alfa Omega Grupo Editor.

Ballester, F., Tenias, J., & Pérez, S. (1999). *Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud*. OMS.

Bansal, R. K. (2015). *Fluid Mechanics and Hydraulic Machines*. New Delhi: Lakshmi Publications. Revised Ninth Edition.

Bird, R., Stewart, W., & Lightfoot, E. (2006). *Fenómenos de Transporte* (Segunda ed.). México: Editorial Limusa.

Cabrejos, F. (2014). La tesis de postgrado: concepción del marco teórico. *Revista Pueblo y Continente*. Universidad Privada Anteno Orego, 25: 317-324.

Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2012). *Mecánica de Fluidos* (Segunda ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.

Córdova , M. (2009). *Estadística Descriptiva e Inferencial* (Quinta ed.). Lima: Moshera S.R.L.

Echeberri, C. A. (2006). Diseño Óptimo de ciclones. *Ingenierías Universidad de Medellin*, 5, 123-139.

Faulkner, W. B., & Shaw, B. W. (2006). Efficiency and Pressure Drop of Cyclones Across a Range of Inlet Velocities. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 22, 154-161.

Funk, P. A., & Baker, K. (2013). Dust cyclone Technology- A Literature Review. *The Journal of Cotton Science*, 17, 40-51.

Funk, P. A., & Otros. (2000). Entrance Velocity Optimization for Modified Dust Cyclones. *The Journal of Cotton Science*, 4, 178-182.

Gawali , S., & Bhambere , M. B. (2015). Effect of desing and the operating parameters on the performance of cyclone separator- a review. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 4, 244-248.

Goñi, J. C. (2014). *Maquinas hidráulicas y térmicas* (Segunda reimpresión ed.). Lima: Fondo editorial Universidad de Lima .

Gutierrez, C., & Otros. (2006). Estudio de los parámetros que afectan la eficiencia de separación de los separadores tipo ciclón. *10*, 59-63.

Hernandez , R., & Otros. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.

Hoffmann, A. C., & Stein, L. E. (2002). *Gas Cyclones and Swirl Tubes*. Berlín: Springer-Verlag.

Jadhav, M. (2014). Design of cyclone and study of its performance parameters. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research* , 3, 247-252.

Lee, H.-H. (2017). *Programming and Engineering Computing With MATLAB 2017*. Kansas: SDC Publications.

Mahender, C., & Praveena, A. (s.f.). Desing and analysis of cyclone separator. *International Journal & Magazine of Engineering, Technology, Management and Research*, 3, 836-845.

Mihelcic, J. R., & Zimmerman , J. B. (2012). *Ingniería Ambiental*. México : Alfa Omega Grupo Editor.

Mothilal, T., & Pitchandi, K. (2016). Effect of particles density on holdup mass and heat transfer rate in solid cyclone heat exchanger. *ARPAN Journal of Engieering and Aplied Sciences*, 11, 1293-1297.

Oriaku , E., & Otros. (2014). Correlation between Velocity, Pressure Drop And Collection Efficiency In A Designed Stairmands and Cyclone. *American Journal of Engineering Research*, 3, 120-126.

Person , N. (2014). *Spray Drying in Cyclone Separators*. Thesis for Degree of Master of Science , Chalmers University of Technology Gothenburg. Sweden.

Petip, H., & Otros. (2011). Influencia de la longitud del cono de un ciclón sobre las variables de flujo. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3, 103-108.

Pico, L., & Barbosa, M. (2013). Análisis de la Condiciones de Operación de un Ciclón de Alta Eficiencia a través de Simulador de Flujo. *Asociación Argentina de Mecánica Computacional*, 32, 2517-2529.

Pullicino, M. (2007). *Termodinamique*. Paris: Editeur Nathan.

Rodland, T. (2011). *Experimental and Theotical Study on the Effect of Wall Roughness on phenomenon "End of the Vortex" in Swirl"*. Master Thesis in Process Technology. Department of Physics and Technology, University of Bergen, Norway.

Sakura, G. B., & Leung, A. Y. (2015). Experimental Study of Particle Collection Efficiency of Cylindrical Inlet Type Cyclonne Separator. *International Journal of Environmental Scienie and Development*, 6, 160-164.

Sánchez , A. (2015). *Perú: Anuario de Estadísticas ambientales 2015*. Instituto Nacional de Estadística e Informática, Lima.

Sathish, J., & Gomadurai, C. (2014). Studies on performance of cyclone separator with two tangential gas inlets. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3, 10261-10268.

Stewart, J. (2012). *Cálculo de varias variables* (Séptima ed., Vol. 1). México: Cengage learning.

Stewart, J. (2012). *Cálculo de varias variables* (Séptima ed., Vol. 2). México: Cengage learning.

Taiwo, M., & Otros. (2016). Design and analysis of cyclone dust separator. *American Journal of Engineering Research*, 5, 130-134.

Wang , L., & Otros. (2003). Effect of Air Density on Cyclone Performance and System Design. *American Society of Agricultural Engineers*, 46, 1193-1201.

White, F. M. (2008). *Mecánica de Fluidos* (Sexta ed.). España: McGraw-Hill Interamericana.

5.4.2 Referencias Electrónicas

Grupo Weg. (2016). Motores Eléctricos Guía de Especificación. Obtenido de <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacion-50039910-manu>

The MathWork, Inc. (2017). *Curve Fitting Toolbox User's Guide Matlab 2017b*. Obtenido de www.mathworks.com/help/pdf_doc/curvefit/curvefit.pdf

ANEXOS

1. Ficha técnica de los Instrumentos

1.1 Para La Validación de instrumentos

1.1.3 Código Matlab 2017b para la figura 3

```
x=0:1:20;  
r=sqrt(x);  
subplot(1,2,1)  
plot(r)  
cylinder(r)  
title('solido de revolución de la curva  $z=x^2+y^2$  en 3D')
```

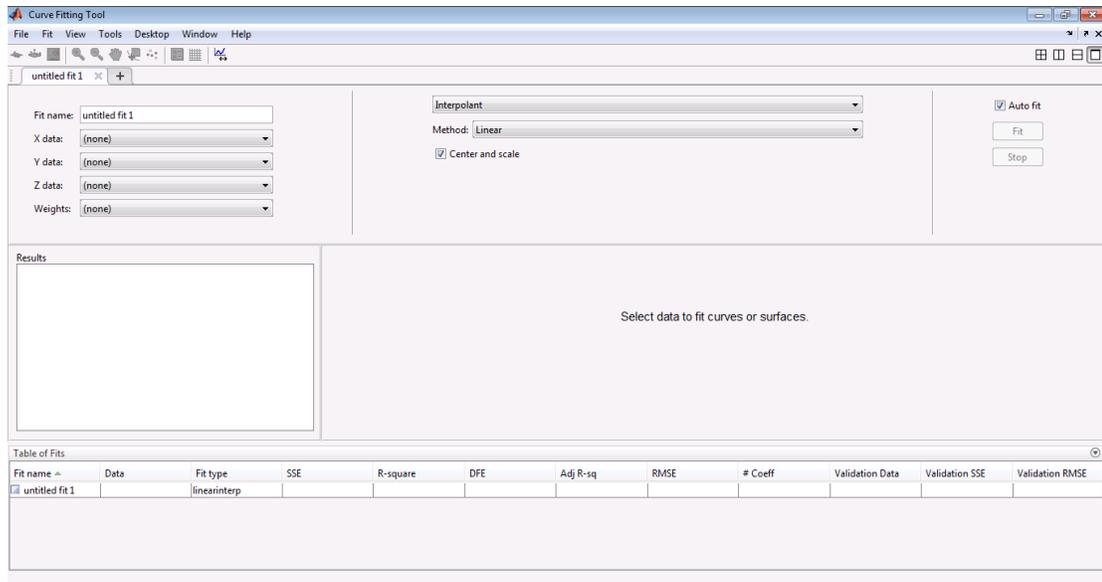
1.1.2 Código Matlab 2017b para figura 4

```
x=0:0.1:20;  
y=x.^2  
plot(x,y,'r','linewidth',4);  
axes(0,20,0,400)  
grid on  
axis square
```

1.1.3 Código Matlab 2017b para figura 5

```
t=0:pi/50:10*pi;  
x=t.*sin(t)  
y=t.*cos(t)  
z=t.^2  
plot3(x,y,z,'r','linewidth',4);  
grid on  
axis square
```

1.1.4 Mascara de la aplicación “Curve Fitting Tool” del programa Matlab 2017b que se usó para la estadística de todos los gráficos del Capítulo IV



1.2 Para la Confiabilidad de instrumentos

1.2.1 Certificado de calibración Termómetro infrarrojo marca PeakTech.

PeakTech
Prüf- und Messtechnik GmbH

Werkskalibrierschein
Factory Calibration

Prüfling Device under Test	InfraRed Thermometer
Modell Model	PeakTech 4945
Seriennummer Serial - Number	170325241~170325440
Datum der Kalibrierung Calibration date	23.03. 2017
Temperatur Environment Temperature	25.0°C ±2,0°C
Luftfeuchtigkeit Humidity	55% ±20%RH

Verwendete Kalibriergeräte Calibration Equipment	
Hersteller Manufacturer	HART
Modellbezeichnung Model Number	4181

Kalibriert durch:
Calibrated by: *Li menglong*

PeakTech Prüf- und Messtechnik GmbH - Gerstenstieg 4 - DE-22926 Ahrensburg / Germany

+49-(0) 4102-42343/44 +49-(0) 4102-434 16

info@peaktech.de www.peaktech.de

1.2.2 Certificado de calibración del amperímetro mordaza marca PeakTech.

PeakTech

Prüf- und Messtechnik GmbH

Werkskalibrierschein Factory Calibration

Prüfling Device under Test	Clamp Multimeters
Modell Model	PeakTech 1610
Seriennummer Serial - Number	160304651~160304800
Datum der Kalibrierung Calibration date	08.04. 2016
Temperatur Environment Temperature	25.0°C ±2,0°C
Luftfeuchtigkeit Humidity	55% ±20%RH

Verwendete Kalibriergeräte

Calibration Equipment	
Hersteller Manufacturer	FLUKE
Modellbezeichnung Model Number	9100

Kalibriert durch:

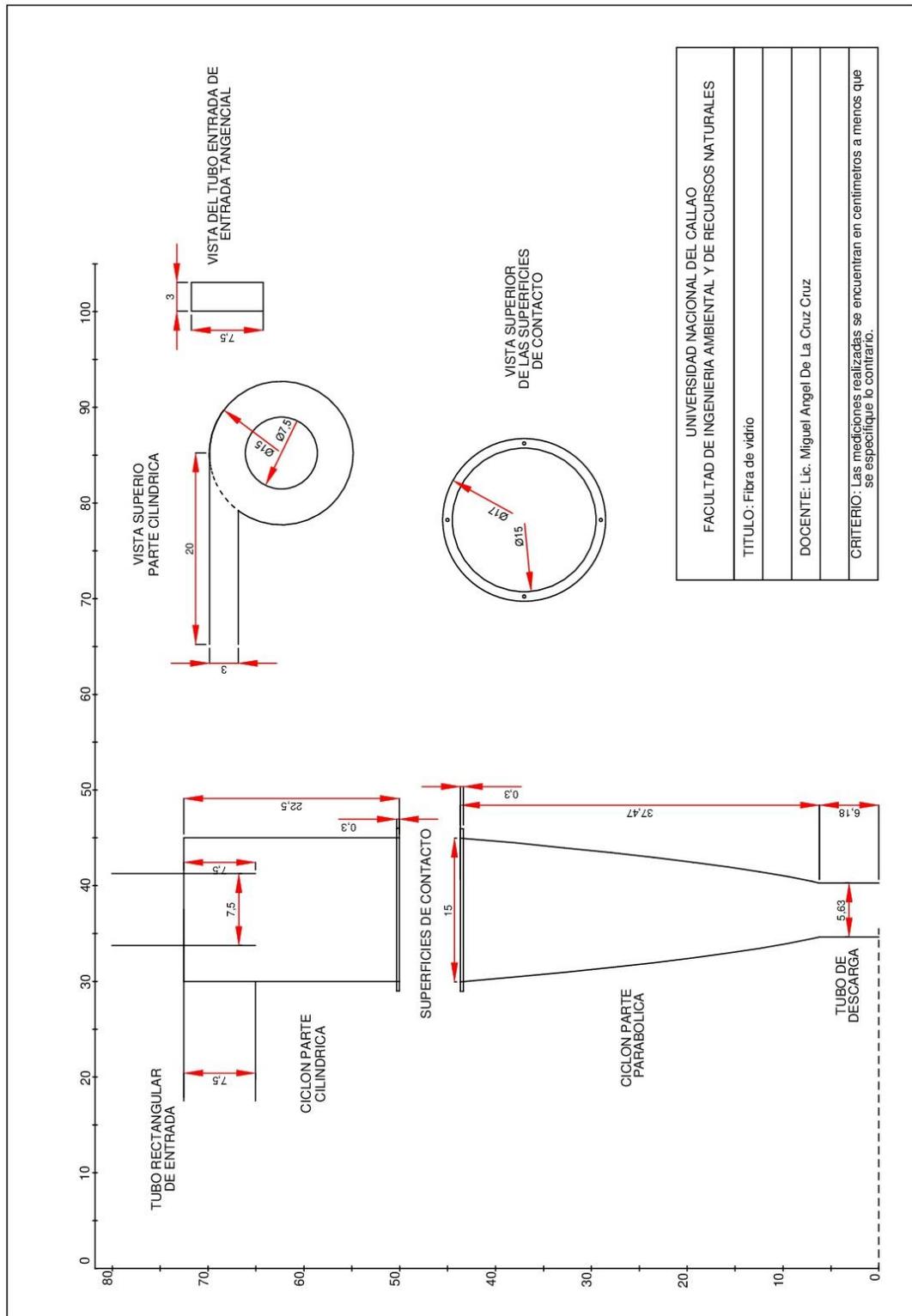
Calibrated by: *Li menglong*

PeakTech Prüf- und Messtechnik GmbH - Gerstenstieg 4 - DE-22926 Ahrensburg / Germany

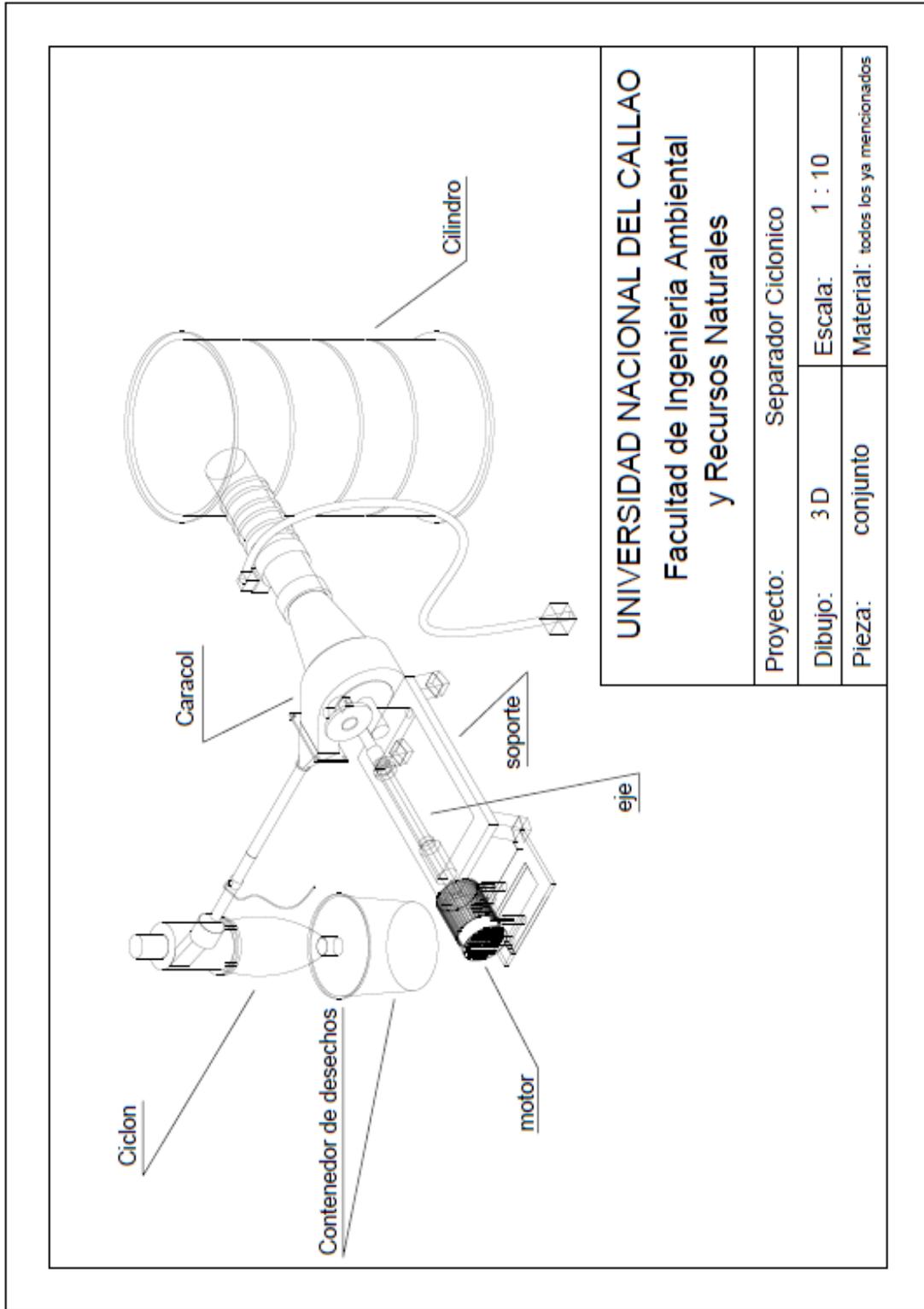
☎ +49-(0) 4102-42343/44 ☎ +49-(0) 4102-434 16

✉ info@peaktech.de 🌐 www.peaktech.de

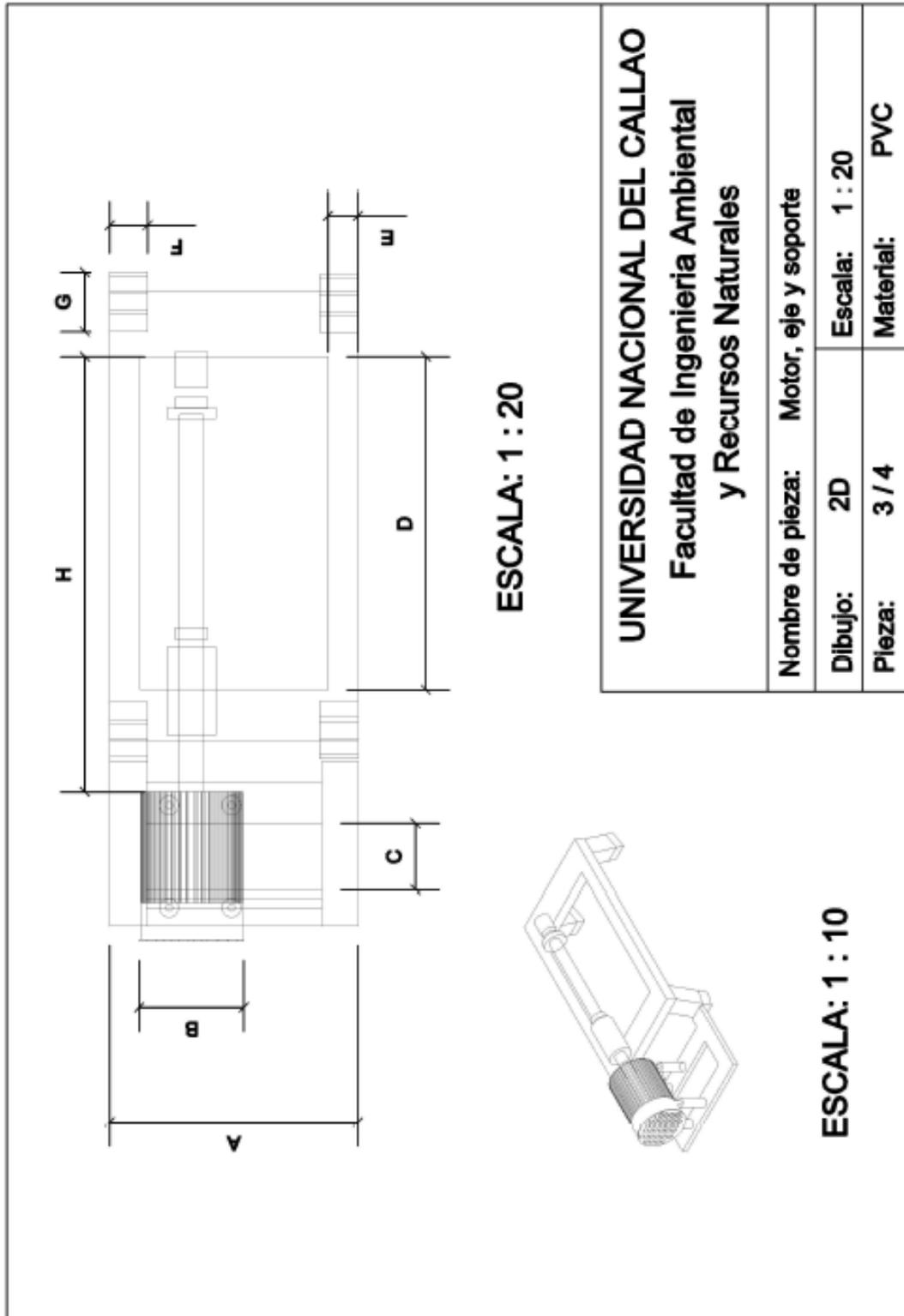
1.2.3 Diseño del ciclón paraboloide en 2D (dos dimensiones)



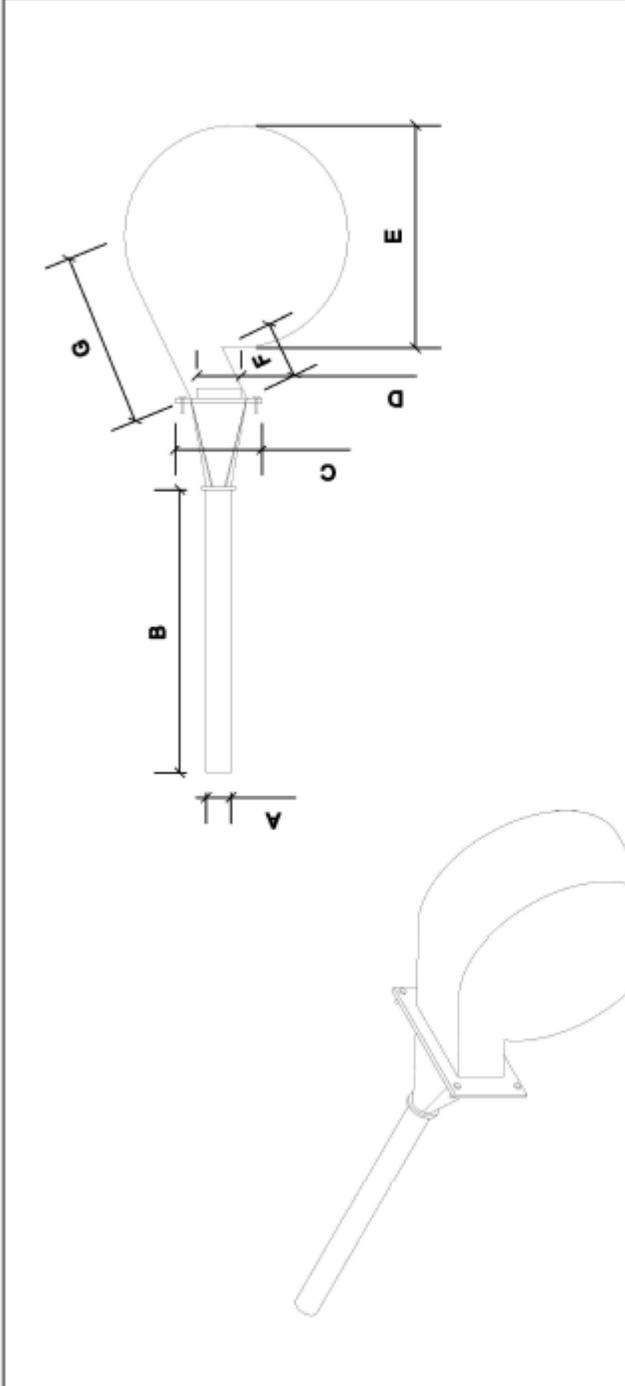
1.2.4 Diseño del ciclón paraboloide en 3D (tres dimensiones)



1.2.5 Diseño de ubicación y medidas del sistema motor, eje y soporte



1.2.6 Diseño de ubicación y medidas del caracol centrifugo

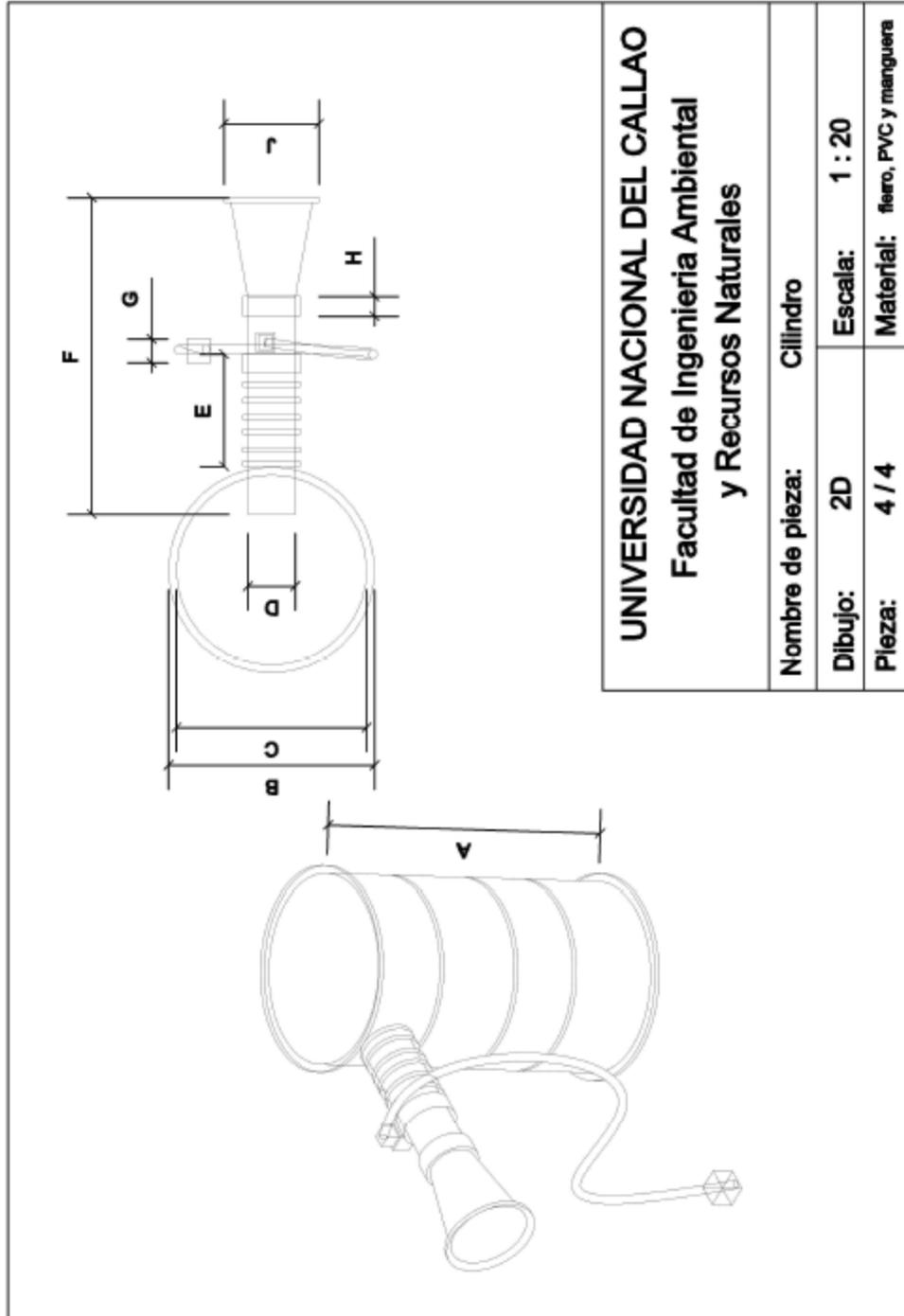


The technical drawing shows a centrifugal snail with a cylindrical handle of length B and diameter A. The snail shell is attached to the handle at a distance C from the handle's end. The shell has a maximum diameter E and a height D. The shell's profile is defined by a curve with a radius G. A detail view F shows the connection between the handle and the shell.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
Facultad de Ingeniería Ambiental
y Recursos Naturales

Nombre de pieza:	Caracol	
Dibujo:	2D	Escala: 1 : 5
Pieza:	2 / 4	Material: fierro y manguera de fierro

1.2.7 Diseño de ubicación y medidas del cilindro



1.2.8 Medidas de los elementos del sistema electromecánico y ciclónico

Tabla N° 04

Dimensiones del Caracol

Caracol (cm)
A=5.08
B=77.5
C=16
D=11
E=28
F=3.5
G=10

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 05

Dimensiones del Motor, eje y soporte

Motor, eje y soporte (cm)
A=19.4
B=13
C=10
D=22
E=2.7
F=2.4
G=3.5
H=23.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 06

Dimensiones del Motor, eje y soporte

Cilindro (cm)
A=90
B=57.5
C=54
D=5.08
E=97
F=136.5
G=3.7
H=5.8
J=20

Fuente: Elaboración propia

1.2.9 Constancia 003-2018-D-FCNM-UNAC



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

DECANATO

"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

CONSTANCIA

Nº 003-2018-D-FCNM-UNAC

EL DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO, quien suscribe, deja **CONSTANCIA:**

Que, el Lic. MIGUEL ÁNGEL DE LA CRUZ CRUZ, ha realizado Pruebas de Medida en la toma de datos para su tesis titulada "PARÁMETROS FÍSICOS EN CONDICIONES ATMOSFÉRICAS QUE AFECTAN LA CAPACIDAD DE COLECCIÓN DE MATERIAL GRANULAR EN UN SEPARADOR TIPO CICLÓN PARABOLOIDE EN BELLAVISTA-REGION CALLAO, 2017" en los laboratorios de Física General de esta Unidad de Estudios.

Se expide la presente constancia, a solicitud del interesado para los fines que considere pertinentes.

Callao, 02 de marzo 2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

Mg. Roel Mario Vidal Guzmán
DECANO

RMVG/Patricia
 Archivo.

2. Definición de términos

Se muestra en base al estilo APA:

2.1 Temperatura

Se define como la sensación de calor de los cuerpos. Sus mediciones pueden ser a través de termómetros de bulbo de mercurio, termocuplas, pirómetros y otros. (Goñi, 2014).

2.2 Potencia

Se define como el trabajo realizado en un determinado tiempo y se determina de varias formas. (Goñi, 2014).

2.3 Presión

Es la variable termodinámica más importante de la dinámica de fluidos. Las variaciones de presiones o diferencias de presiones son las responsables del flujo de fluidos. (White, 2008).

2.4 Correlación de datos experimentales

Se busca la función que relaciona por medio de un análisis de regresión de datos. Si es afortunado los datos se pueden correlacionar linealmente. Si no, puede se puede hacer regresión lineal sobre coordenadas log-lineal o log-log, ajustes de curvas polinómicas, etc. (Cengel & Cimbala, 2012)

2.5 Caracol centrifugo o soplador centrifugo

Se identifica por con facilidad por su carcasa en forma de caracol llamada “voluta” está formado por un rodete o rotor (impelente) que al giran entra el fluido axialmente por la parte central hueca y es lanzado radialmente hacia fuera en su voluta (difusor de salida rectangular). (Cengel & Cimbala, 2012).

2.6 Estadística descriptiva

Se denomina al conjunto de métodos estadísticos que se relacionan con el resumen y descripción de los datos, como tablas, gráficas y el análisis mediante algunos cálculos. (Córdova , 2009).

2.7 Estadística inferencial o inferencia estadística

Se denomina al conjunto de métodos con los que se hacen la generalización o la inferencia sobre una población utilizando una muestra. La inferencia puede contener conclusiones que pueden no ser cierta en forma absoluta, por lo que es necesario que estas sean dadas con una medida de confiabilidad que es la probabilidad. (Córdova , 2009).

2.8 Reporte de investigación

Para desarrollar el reporte siempre debemos seguir un estilo de publicación, el cual nos indica como citar las referencias en el texto del informe e incluirlas en la bibliografía (lista de referencias), así como la manera de presentar tablas, figuras, ecuaciones y

otros elementos. Es una forma que las cualidades académicas han desarrollado para construir estándares homogéneos en la redacción de reportes y dar créditos a las fuentes originales consultadas, así como comunicarle al lector donde puede localizarlas. Los principales estudios de publicación son; APA (American Psychological Association), Vancouver, Harvard, Chicago y MLA (Modern Language Association). Cada uno tiene sus propias reglas y pueden encontrarse manuales sobre el estilo específico. (Hernandez & Otros, 2014)

2.9 Matlab

Combina un entorno de escritorio perfeccionado para el análisis iterativo y los procesos de diseño con un lenguaje de programación que expresa las matemáticas de matrices y arrays directamente. (The MathWork, Inc, 2017).

2.10 Curve Fitting Toolbox

Es una colección de funciones de MATLAB® que proporciona un punto de acceso central para aplicaciones de ajuste de curvas. Su ventana de herramientas proporciona rutinas para preprocesamiento de datos, así como para crear, comparar, analizar y administrar modelos. La funcionalidad de Curve Fitting Toolbox está disponible a través de una interfaz visual intuitiva o en la línea de comando. Además, las funciones de la ventana de herramientas se implementan en el lenguaje abierto de MATLAB. Esto le da acceso al código fuente, que le permite aprender y personalizar algoritmos existentes o propios. (The MathWork, Inc, 2017).