



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Proyecto Técnico previo a la obtención del título de Ingeniería Industrial**

***Título:** “Estudio y Diseño de un Ciclón para el Control de Partículas para una Empresa Productora de Libros en la ciudad de Guayaquil”*

***Title:** "Study and Design of a Cyclone for the Control of particles for a Book Production Company in the city of Guayaquil"*

**Autores**

DARWIN ANTONIO PILAY GUERRA

LEONARDO FABIÁN GAVIDIA GARCÍA

**Director:**

Ph.D Armando Fabrizzio López Vargas

Guayaquil, agosto del 2020

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA

Yo Darwin Antonio Pilay Guerra, declaro que soy el único autor de este trabajo de titulación titulado **“ESTUDIO Y DISEÑO DE UN CICLÓN PARA EL CONTROL DE PARTÍCULAS PARA UNA EMPRESA PRODUCTORA DE LIBROS EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”** los conceptos aquí desarrollados, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad del autor.



---

Darwin Antonio Pilay Guerra  
C.I.: 1314609809

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA

Yo Leonardo Fabián Gavidía García, declaro que soy el único autor de este trabajo de titulación titulado **“ESTUDIO Y DISEÑO DE UN CICLÓN PARA EL CONTROL DE PARTÍCULAS PARA UNA EMPRESA PRODUCTORA DE LIBROS EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”**. Los conceptos aquí desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad del autor.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'LEONARDO GAVIDIA', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat cursive.

Leonardo Fabián Gavidía García  
C.I.: 0921796017

## DECLARACIÓN DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Quien suscribe, en calidad del trabajo de titulación titulado “**ESTUDIO Y DISEÑO DE UN CICLÓN PARA EL CONTROL DE PARTÍCULAS PARA UNA EMPRESA PRODUCTORA DE LIBROS EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL**”, por medio de la presente, autorizo a la UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA DEL ECUADOR a que haga uso parcial o total de esta obra con fines académicos o de investigación.



---

Darwin Antonio Pilay Guerra

C.I.: 1314609809

## DECLARACIÓN DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Quien suscribe, en calidad del trabajo de titulación titulado **“ESTUDIO Y DISEÑO DE UN CICLÓN PARA EL CONTROL DE PARTÍCULAS PARA UNA EMPRESA PRODUCTORA DE LIBROS EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”**, por medio de la presente, autorizo a la UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA DEL ECUADOR a que haga uso parcial o total de esta obra con fines académicos o de investigación.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'L' and 'G' that overlap. The name 'LEONARDO GAVIDIA' is written in a smaller, cursive script across the middle of the signature.

---

Leonardo Fabián Gavidia García

C.I: 0921796017

## DECLARACIÓN DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Quien suscribe, Ph.D. Armando Fabrizzio López Vargas en calidad de director de trabajo de titulación titulado **“ESTUDIO Y DISEÑO DE UN CICLÓN PARA EL CONTROL DE PARTÍCULAS PARA UNA EMPRESA PRODUCTORA DE LIBROS EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”**, desarrollado por los estudiante Darwin Antonio Pilay Guerra y Leonardo Fabián Gavidia García previo a la obtención del Título de Ingeniería Industrial, por medio de la presente certifico que el documento cumple con los requisitos establecidos en el Instructivo para la Estructura y Desarrollo de Trabajos de Titulación para pregrado de la Universidad Politécnica Salesiana. En virtud de lo anterior, autorizo su presentación y aceptación como una obra auténtica y de valor académico.

Dado en la ciudad de Guayaquil, Julio 2020.



---

Ph.D Armando Fabrizzio López Vargas  
Docente Director Técnico del Proyecto

## **DEDICATORIA**

Mi dedicatoria es a Dios por permitirme llegar a este día y alcanzar una de mis metas tan anheladas mi presente trabajo de titulación va dedicado a mis padres Consuelo García & Víctor Ortiz ya que con esfuerzo, dedicación y perseverancia han sido parte esencial en mi formación sin ellos no hubiera sido posible. También dedico el presente trabajo a mi esposa que me ha brindado el apoyo en un sin número de circunstancias, sin embargo, siempre estuvo en cada una de las circunstancias con sus palabras de aliento y estímulo.

Y como no dedicarles este trabajo a mis hijos Ian & Iliana ya que ellos me dieron ese impulso y motivación para seguir adelante día a día.

Leonardo Fabián Gavidia García

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a Dios por permitirme llegar a uno de los momentos más importante de mi vida profesional. A mis padres debido a que ellos son los pilares fundamentales en mi formación y crecimiento como persona, brindándome su cariño y apoyo sin importar en qué situación me encuentre. Me han brindado cada valor como persona, mi perseverancia por conseguir cada uno de mis objetivos sin importar la circunstancia.

A mis hermanos y mi familia en general debido a que siempre están presente con cada uno de sus consejos y ayuda en los momentos difíciles, acompañándome en cada paso que he dado sin dejarme caer.

Por último, dedico este trabajo a los docentes y compañeros de la Universidad Politécnica Salesiana por brindarme su ayuda en mi formación profesional con cada uno de sus consejos y conocimiento siendo parte fundamental en cada año de mi carrera universitaria.

Darwin Antonio Pilay Guerra

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, a mi madre Yely Guerra, a mi padre Darwin Pilay y a cada persona de mi familia por apoyarme incondicionalmente en mi formación como persona y profesional. Gracias por ser los principales motores de mis metas, agradezco a mis padres por cada uno de sus consejos y confianza que me brindaban cada día que pasaba, por su gran esfuerzo y agotador trabajo ayudándome a no desistir de mis metas.

Doy gracias a cada docente de la Universidad Politécnica Salesiana por instruirme con su sabiduría en mi formación como profesional, especialmente a mi director de tesis el PhD. Armando Fabrizzio López. por guiarme a la culminación de mi trabajo brindándome su guía, conocimiento y paciencia en cada duda que presentaba.

Por último, agradezco a mi compañero de tesis y mis compañeros de aula, gracias a ellos eh crecido en mi formación profesional y laboral con diferentes consejos logrando alcanzar mis metas.

Darwin Antonio Pilay Guerra

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis abuelos Ángel García & Fernanda Molina ellos ya no están en este mundo, sin embargo, fueron en su momento quienes me enseñaron desde muy pequeño valores como la sencillez el respeto, la honestidad y sobre todo la humildad para alcanzar las metas deseadas.

Doy gracias a la Universidad Politécnica Salesiana por permitirme culminar mis estudios y ser un gran profesional. De tal forma me gustaría agradecer a los docentes por ser excelentes profesionales impartiendo conocimiento aportando día a día con su conocimiento.

Deseo también poder extender mis agradecimientos al PhD. Armando Fabrizzio López quien ha sido mi profesor y director de tesis ya que, con su visión, consejo y otros aspectos cotidianos me han ayudado a instruirme y ser cada día mejor.

Y por último deseo agradecer a mi compañero de tesis que sin duda es una gran persona también a mis compañeros de clase que en estos últimos semestres fueron esenciales y mis compañeros de trabajo ellos también fueron fundamentales ya que siempre me colaboraron en diversas actividades académicas y otras en el ámbito laboral.

Leonardo Fabián Gavidia García

## RESUMEN

El siguiente documento trata sobre el Estudio y Diseño de un Ciclón para el Control de Partículas para una Empresa Productora de Libros en la ciudad de Guayaquil, con un enfoque en la reducción del impacto ambiental que genera la empresa debido a las partículas emitidas por el papel, en donde se busca realizar mejoras no solo el aspecto ambiental sino también en la parte de producción como es la reducción de tiempos muertos entre otros aspectos, lo que permitirá a la vez a la empresa tener un control adecuado a lo largo del proceso.

Para ello se busca determinar el costo total de un sistema de extracción de partículas, posteriormente se dimensionan los equipos que conforman el ciclón de extracción de partículas, para finalmente realizar un análisis entre los cálculos realizados y la simulación del diseño realizada mediante la aplicación de un software. Los llamados ciclones convencionales se utilizan en el proceso de purificación del aire, pero los materiales de alta eficiencia son más adecuados para obtener materiales de un tamaño de partícula particular, este último está diseñado para eliminar más partículas pequeñas.

La empresa objeto de estudio está dedicada a la fabricación de textos escolares y guías telefónicas y el cual tiene como misión la promoción de contenido de calidad fortaleciendo la diversidad y la pluralidad en la población general. La misma se encuentra ubicada a lo largo del Km 1.5 Av. Carlos Julio Arosemena, la misma busca satisfacer aproximadamente la demanda de 17 millones de libros lo cual se distribuye a lo largo del país en entidades públicas y privadas. En este sentido el proyecto en esta ofrecerá una presentación con referencia al estudio y diseño de un ciclón para el control de partículas, permitiendo la reducción de contaminantes y optimización el tiempo de recolección.

En el mismo se llegó a la conclusión de que para el tipo de proceso que realiza la empresa es factible cambiar el sistema actual de recolección de partículas con un ciclón de entrada tangencial y descarga axial debido a que puede aumentar su nivel de eficiencia de recolección de partículas en un 96% reduciendo los niveles de agentes contaminantes en el aire, gracias a la implementación de este tipo de ciclón se tienen ventajas como reducción en los tiempos de paros por recolección o limpieza del polvillo entre otros.

**Palabras claves:** material particulado, ciclón de partículas, impacto ambiental, descarga axial, agentes contaminantes.

## ABSTRACT

The following document deals with the Study and Design of a Cyclone for the Control of Particles for a Book Production Company in the city of Guayaquil, with a focus on reducing the environmental impact that the company generates due to the particulate material emitted by the paper, where it seeks to make improvements not only in the environmental aspect but also in the production part, contributing, for example, to reducing downtime, which will also allow the company to have adequate control throughout the process.

For this, the aim is to determine the total cost of a particle extraction system, subsequently the equipment that makes up the particle extraction cyclone is dimensioned, to finally carry out an analysis between the calculated ones and the design simulation carried out by applying a software. So-called conventional cyclones are used in the air purification process, but high-efficiency materials are more suitable for obtaining materials of a particular particle size, the latter being designed to remove more small particles.

The company under study is dedicated to the manufacture of school textbooks and telephone directories and whose mission is to promote quality content, strengthening diversity and plurality in the general population. It is located along Km 1.5 Av. Carlos Julio Arosemena, it seeks to satisfy approximately the demand for 500,000 books, which is distributed throughout the country in public and private entities. In this sense, the project in this will offer a presentation with reference to the study and design of a cyclone for the control of particles, allowing the reduction of contaminants and optimization of the collection time.

In it, it was concluded that for the type of process that the company performs, it is feasible to change the current particle collection system with a tangential inlet cyclone and axial discharge because it can increase its level of collection efficiency. particles by 96% reducing the levels of pollutants in the air, thanks to the implementation of this type of cyclone, there are advantages such as reduction in the times of stops for collection or cleaning of dust, among others.

**Keywords:** particulate material, particulate cyclone, environmental impact, axial discharge, polluting agents

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

### **Arena:**

Impurezas presentes en los fluidos. Elemento de frecuente aparición en los crudos, de efecto abrasivo. Su impacto es evidente cuando se trabaja con velocidades altas en los orificios de descarga de los líquidos demasiado pequeños.

### **Balance de materiales:**

Cálculo comparativo para apreciar la cantidad de materia que entra o contiene un sistema, la cantidad extraída y el remanente en el mismo.

### **Captador ciclónico**

Es un equipo que se usa para separar partículas sólidas suspendidas en el aire, gas o flujo de líquido, sin el uso de un filtro de aire, utilizando un vórtice para dicha separación

### **Fase**

Es una porción de un sistema con una composición estructura química definida, que es homogénea, físicamente distinta y mecánicamente separable, en referencia a otra fase de la misma mezcla. Ejemplo: crudo, agua y gas representan un sistema de tres fases (trifásico) dos fases líquidas y una de gas.

### **Fase gaseosa**

Región formada únicamente por el gas.

### **Fase líquida**

Región formada únicamente por el líquido.

### **Fluido**

Sustancia cuyas moléculas tienen entre sí poca o ninguna coherencia, capaz de desplazarse bajo mínima presión.

### **Fluido bifásico**

Aquel formado por dos fases.

**Flujo multifásico**

Mezcla compleja de hidrocarburos de diferentes fases.

**Fuerza de arrastre (FD):**

Causada por el movimiento relativo de la fase continua.

**Fuerza gravitacional**

Aquella que domina el proceso de separación. Cuando se trabaja por debajo de la velocidad crítica del gas, las fuerzas de gravedad controlan el movimiento del gas en el separador

**Material particulado.**

También es llamado PM y se refiere a una mezcla de gotas líquidas y partículas sólidas que se encuentran en el aire

**Vórtices del captador ciclónico**

Es la parte del captador en donde ocurre un flujo turbulento en rotación espiral con trayectorias de corriente cerradas. Como vórtice puede considerarse cualquier tipo de flujo circular

**Viscosidad**

La viscosidad de un fluido es una medida de su resistencia a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción

## GLOSARIO DE ABREVIATURAS

$A_{De}$ : Área de entrada del ducto ( $m^2$ )

$a$ : Altura de entrada

$B$ : Diámetro de salida de las partículas (m)

$b$ : Ancho de entrada

$D$ : Diámetro de tubo

$D_C$ : Diámetro del ciclón

$D_s$ : Diámetro de salida del ciclón (m)

$D_p$ : Diámetro de la partícula (m)

$G$  Factor de configuración

$g$ : Gravedad ( $m/s^2$ )

$H$ : Altura total del ciclón (m)

$h$ : Altura de la parte cilíndrica del ciclón (m)

$K$ : Constante para ciclones de entrada tangencial

$Kb$ : Relación del ancho de entrada con respecto al diámetro del ciclón

$KL$ : Factor de dimensiones lineales

$L$ : Longitud natural del ciclón (m)

$l$ : Longitud de la tubería

$N$  Número de vórtices

$n$ : Exponente del vórtice

$NH$  Número de cabezas de velocidad

$N_t$ : Eficiencia

$\rho$ : Densidad

$\rho_a$ : Densidad del aire

$P_d$ : Presión dinámica

$P_d$ : Pérdida de presión dinámica

$\rho_p$ : Densidad del papel

$P_t$ : Pérdida de presión total

$P_{pa}$ : Pérdida de presión en accesorios

$P_{pd}$ : Pérdida de presión dinámica

$P_{pp}$ : Pérdida de presión en las paredes

$S$  : Altura de salida del ciclón (m)

$T$  : Temperatura

$T_i$  : Tiempo de relajación de partículas (s)

$V_e$  : Velocidad de entrada (m/s)

$V_i$  : Velocidad de entrada del ciclón (m/s)

$V_R$  : Volumen del ciclón evaluado sobre la longitud natural (m<sup>3</sup>)

$V_s$  : Velocidad de saltación (m/s)

$V_{sc}$  : Volumen del ciclón de salida (m<sup>3</sup>)

$W$  : Velocidad equivalente (m/s)

$\gamma$  : Coeficiente de resistencia

$Z$  : Altura parte cónica

$z$  : Altura de la parte cónica del ciclón (m)

$\mu$  : Viscosidad

$\Delta P$  : Cambio de presión (Pa)

$\delta$  : Factor de resistencia

## CONTENIDO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA .....	II
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA .....	III
DECLARACIÓN DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR .....	IV
DECLARACIÓN DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR .....	V
DECLARACIÓN DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	VI
DEDICATORIA.....	VII
DEDICATORIA.....	VIII
AGRADECIMIENTO .....	IX
AGRADECIMIENTO .....	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT .....	XII
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	XIII
GLOSARIO DE ABREVIATURAS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	25
CAPITULO I.....	27
EL PROBLEMA .....	27
1.1. Antecedentes .....	27
1.2. Justificación .....	27
1.3. Delimitación.....	28
1.4. Problema de investigación .....	30
1.4.1. Formulación del problema .....	30
1.5. Objetivos de la investigación. ....	30
1.5.1. Objetivo general.....	30
1.5.2. Objetivos específicos .....	30
1.6. Beneficiarios .....	31
CAPITULO II .....	32
MARCO TEÓRICO.....	32

2.1.	Antecedentes investigativos .....	32
2.2.	Fundamentación legal .....	33
2.2.1.	Constitución del Ecuador .....	33
2.2.2.	OIT 148 .....	34
2.3.	Fundamentación teórica .....	35
2.3.1.	El papel .....	35
2.3.2.	Contaminantes del aire .....	36
2.3.3.	Sistemas de captación de polvo .....	37
2.3.4.	Tecnologías de control para emisiones de material particulado .....	41
2.3.5.	Ciclón de partículas .....	42
2.3.6.	Eficiencia del ciclón de partículas .....	43
2.3.7.	Mantenimiento de un ciclón .....	44
2.3.8.	Funcionamiento de un ciclón .....	45
2.3.9.	Partes de un ciclón .....	46
2.3.10.	Teoría de funcionamiento .....	46
2.3.11.	Flujo del ciclón .....	47
2.3.12.	Ecuación del traslado de partículas mediante fluido .....	48
2.3.13.	Ventajas y desventajas de un ciclón de partículas .....	48
2.3.14.	Tipos de ciclones .....	49
2.3.15.	Eficiencia de la familia de los ciclones tangenciales y descarga axial ...	53
2.3.16.	Medición del polvo por el método gravimétrico .....	55
2.3.17.	Fundamentos de la granulación .....	56
2.3.18.	Análisis granulométrico por tamizado .....	56
2.3.19.	Clasificación del material particulado .....	57
2.3.20.	Aplicaciones industriales .....	58
2.3.21.	Características del diseño .....	59
	CAPÍTULO III .....	61
	MARCO METODOLÓGICO .....	61

3.1.	Enfoque de la investigación .....	61
3.2.	Tipo de investigación .....	62
3.3.	Métodos.....	62
3.3.1.	Deductivo – Inductivo.....	62
3.3.2.	Analítico - Sintético .....	62
3.4.	Diseño del sistema de extracción .....	62
3.4.1.	Análisis del material particulado a remover.....	63
3.5.	Selección del tipo de ciclón .....	64
3.6.	Cálculos de las medidas del captador de partículas .....	66
3.6.1.	Diámetro del ciclón.....	67
3.6.2.	Dimensiones del ciclón de partículas .....	68
3.7.	Cálculo de la eficiencia del ciclón .....	74
3.7.1.	Velocidad equivalente.....	74
3.7.2.	Velocidad de saltación .....	75
3.7.3.	Relación entre velocidades.....	76
3.7.4.	Volumen del ciclón evaluado a la salida.....	76
3.7.5.	Longitud natural del ciclón .....	77
3.7.6.	Factor de dimensiones lineales .....	78
3.7.7.	Volumen del ciclón evaluado sobre la longitud natural .....	79
3.7.8.	Factor dimensional de las proporciones volumétricas del ciclón.....	80
3.7.9.	Relación entre la altura de entrada y el diámetro del ciclón .....	80
3.7.10.	Relación entre la base y el diámetro del ciclón.....	81
3.7.11.	Exponente del vórtice.....	82
3.7.12.	Tiempo de relajación.....	82
3.7.13.	Eficiencia del ciclón.....	83
3.8.	Caída de presión.....	83
3.9.	Selección del extractor .....	84
	CAPÍTULO IV .....	89

PROPUESTA .....	89
4.1. Materiales del ciclón .....	89
4.2. Simulación del funcionamiento del ciclón de partículas.....	90
4.2.1. Análisis de la simulación y los cálculos obtenidos .....	91
4.3. Costo total del ciclón de partículas. ....	93
CONCLUSIONES .....	96
RECOMENDACIONES .....	97
BIBLIOGRAFÍA.....	98
ANEXOS.....	102

## INDICE DE TABLAS

Tabla1 Contaminantes y período de tiempo .....	37
Tabla2 Aspectos de un ciclón de entrada tangencial y descarga axial.....	50
Tabla 3 Eficiencia de separación .....	53
Tabla4 Eficiencia de separación del ciclón de alta eficiencia.....	53
Tabla5 Eficiencia de separación del ciclón de alta capacidad .....	53
Tabla6 Características de los ciclones de alta eficiencia .....	54
Tabla7 Características de los ciclones de alta capacidad.....	54
Tabla8 Nomenclatura de un ciclón .....	65
Tabla9 Medidas del ciclón.....	74
Tabla10 Mano de obra directa .....	94
Tabla11 Materiales directos de construcción.....	94
Tabla12 Mano de obra indirecta .....	95
Tabla13 Costos indirectos.....	95
Tabla14 Costo total del ciclón de partículas .....	95

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la empresa.....	29
Figura 2 Captador de polvo tipo Campana .....	38
Figura 3 Sistemas de ductos externos .....	39
Figura 4 equipo de filtrado de polvo.....	40
Figura 5 Funcionamiento de recolección de partículas.....	42
Figura 6 Vortices del ciclón.....	45
Figura 7 Partes de un ciclón.....	46
Figura 8 Ciclón de entrada tangencial y descarga axial.....	50
Figura 9 Ciclón de entrada y descarga axial .....	51
Figura 10 Ciclón de entrada tangencial y descarga axial.....	52
Figura 11 Ciclón de entrada axial y descarga periférica.....	52
Figura 12 Distribución de tamaño de partículas .....	57
Figura 13 Ciclones en serie.....	59
Figura 14 Sistema de descarga de un ciclón .....	60
Figura 15 Polvillo de papel.....	63
Figura 16 Espesor del papel.....	64
Figura 17 Curva de eficiencia de un ciclón de alta eficiencia .....	65
Figura 18 Diseño de un ciclón de alta eficiencia .....	66
Figura 19 Diámetro del ciclón .....	68
Figura 20 Ancho y alto de entrada del ciclón .....	69
Figura 21 Altura de salida del ciclón .....	69
Figura 22 Diámetro de salida del ciclón .....	70
Figura 23 Altura de la parte cilíndrica del ciclón .....	71
Figura 24 Altura de la parte cónica del cilindro .....	71
Figura 25 Altura total del cilindro .....	72
Figura 26 Diámetro de salida del ciclón .....	73
Figura 27 Volumen del ciclón evaluado de salida .....	77
Figura 28 Longitud natural del ciclón.....	78
Figura 29 Factores de las dimensiones lineales .....	79
Figura 30 Relación entre el diámetro y altura del ciclón .....	81
Figura 31 Relación entre base y diámetro del ciclón .....	81

Figura 32 Tuberías de transportes de partículas .....	85
Figura 33 Ventilador centrífugo instalado .....	88
Figura 34 Propiedades del acero inoxidable .....	89
Figura 35 Trabajo del ciclón de partículas.....	91
Figura 36 Funcionamiento del polvillo dentro del ciclón .....	92
Figura 37 Flujo de entrada del polvillo.....	92
Figura 38 Flujo de salida del sistema.....	93

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Cabina de almacenamiento del polvillo .....	102
Anexo 2 Material particulado dentro de la empresa .....	102
Anexo 3 Almacenamiento del polvillo .....	103
Anexo 4 Almacenamientos del polvillo.....	104
Anexo 5 Ductos de recolección .....	105
Anexo 6 Maquina procesadora de libros .....	106
Anexo 7 Recolección de polvillo.....	107
Anexo 8 Esquemas del sistema de extracción .....	108
Anexo 9 Modelado del ciclón de partículas.....	109
Anexo 10 Capacidad de aspiración.....	110
Anexo 11 Producción de libros.....	111
Anexo 12 Dimensiones del ciclón .....	112

## INTRODUCCIÓN

Las empresas fabricantes nacionales especializados en la producción de libros generan un impacto significativo en sus costos y en la contaminación ambiental debido a que poseen bajo desarrollo tecnológico, dado que muchos de los procesos en la cadena de producción son inadecuados. Uno de los principales problemas que presenta este tipo de industria es que casi todo comenzó a nivel artesanal, por lo que la producción es baja o moderada, y con el tiempo muchos fueron creciendo según la demanda y aumentando los niveles de producción. Dicho esto, pocas empresas han adquirido máquinas modernas de mayor capacidad y continúan usando máquinas más antiguas o a menudo defectuosas. Como resultado, se pierde una cantidad significativa de partículas en el medio ambiente, lo que causa contaminación a la empresa y sus sectores cercanos, lo que provoca la pérdida directa de materiales lo que conlleva a su vez a que las personas puedan diversos problemas para la salud a corto y mediano plazo.

Una manera para poder reducir la contaminación y pérdida de materia prima en este tipo de empresas es la implementación de sistemas de recuperación de material particulado, a través del uso de extractores para direccionar el material sólido del ambiente hacia equipos de separación (como ciclón y filtro de mangas), con la finalidad de disminuir el exceso de partículas en el ambiente de trabajo, y también lograr la recuperación de materia prima perdida en los procesos, de tal forma incrementar los niveles de producción en este tipo de industria.

Los llamados ciclones convencionales se utilizan en el proceso de purificación del aire, pero los materiales de alta eficiencia son más adecuados para obtener materiales de un tamaño de partícula particular, este último está diseñado para eliminar más partículas pequeñas. Teniendo en cuenta la relación ciclónica, se clasifican como ciclones convencionales de alta eficiencia y capacidad, dependiendo la eficiencia de separación del tipo de ciclón utilizado. Los ciclones en este sentido cumplen la función de separadores de gas sólido que usan la aceleración centrífuga como la fuerza impulsora para la separación.

Los ciclones se han usado tradicionalmente en un sinnúmero de empresas para capturar partículas de grandes dimensiones ( $dp > 10 \mu\text{m}$ ). Sin embargo, también puede usar estos dispositivos para capturar partículas de 10 micras, 2.5 micras e incluso  $1 \mu\text{m}$  de diámetro y cambiar sus dimensiones. Esto le permite ser utilizado en tareas de monitoreo ambiental de partículas. El uso generalizado de este dispositivo requiere no solo un modelo matemático para evaluar su funcionamiento, sino también un método simple y efectivo. Sin embargo, los primeros modelos presentados para predecir la eficiencia de estos instrumentos se basaron en una simplificación que no incluía todos los parámetros que afectaban la operación, del mismo modo, el diseño de estos separadores se basó principalmente en relaciones empíricas de varias dimensiones con referencia al dimensionamiento del ciclón.

Considerando la información presentada es necesario recalcar que las empresas están obligadas a cumplir con las normas actuales de seguridad, salud ocupacional y medioambiental durante todo el proceso de fabricación. Por lo tanto, las compañías productoras de libros no son una excepción y necesitan implementar un sistema para extraer partículas en el procesamiento o fabricación de los libros.

En este contexto la empresa la empresa objeto de estudio está dedicada a la fabricación de textos escolares y guías telefónicas y el cual tiene como misión la promoción de contenido de calidad fortaleciendo la diversidad y la pluralidad en la población general se encuentra ubicada a lo largo del Km 1.5 Av. Carlos Julio Arosemena, la misma busca satisfacer aproximadamente la demanda de 17 millones de libros lo cual se distribuye a lo largo del país en entidades públicas y privadas. En este sentido el proyecto ofrecerá una presentación con referencia al estudio y diseño de un ciclón para el control de partículas, permitiendo la reducción de contaminantes y optimización el tiempo de recolección.

# **CAPITULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1. Antecedentes**

La empresa objeto de estudio de la presente investigación está dedicada a la fabricación de textos escolares y guías telefónicas la cual tiene como misión la promoción de contenido de calidad fortaleciendo la diversidad y la pluralidad en la población general. Esta se encuentra ubicada a lo largo del Km 1.5 Av. Carlos Julio Arosemena y tiene como objetivo principal satisfacer aproximadamente la demanda de 17 millones de libros lo cual se distribuye a lo largo del país en entidades públicas y privadas.

En el ámbito de las industrias papeleras el almacenamiento de las partículas que emiten en la conversión de la materia prima ya sea este cartón, papel, etc. es uno de los puntos más importantes debido a que puede producir un gran impacto no solo en el aspecto ambiental sino también en el ámbito social. Hoy en día este tipo de industrias invierten miles de dólares para evitar la contaminación que estas puedan provocar en el medio ambiente. (Vidal-Daza & Pérez-Vidal, 2018)

El ciclón de partículas o también llamado ciclón colector entre otros nombres es de suma importancia dentro de este tipo de industria debido a que su finalidad es remover el material particulado de mayor tamaño lo cual ayuda a prevenir un impacto ambiental entre otros factores de suma importancia. (Paulo & Díaz, 2015)

Es indispensable llevar a cabo un diseño acorde al material que se emplea en la construcción de textos escolares y guías telefónicas, teniendo como uno de los objetivos principales reducir el impacto ambiental garantizando seguridad para todos, para ello es necesario tener en consideración que uno de los factores de gran importancia en el diseño de un ciclón de partículas es la eficiencia de colección que esta pueda presentar, este puede cambiar de acuerdo en función del tamaño de la partícula que se va a recolectar.

En este sentido el proyecto ofrecerá una presentación con referencia al estudio y diseño de un ciclón para la recolección de partículas que son producidas en la empresa, permitiendo la reducción de contaminantes y optimizando el tiempo de recolección.

### **1.2. Justificación**

En la ciudad del Guayaquil se encuentra Medio Públicos E.P. que actualmente desarrolla la actividad de la fabricación de textos. La principal causa para el desarrollo del presente proyecto se da por la falta de implementación de un ciclón recolector de partículas dentro de la industria, esto permitirá captar y almacenar de manera más ágil y eficaz las partículas de la materia prima a procesar siendo en este caso el papel.

Otras de las finalidades son de ayudar a la empresa a disminuir su contaminación en el aire y reducir pérdidas en el área de producción debido a que el volumen que presenta en el área de producción es muy grande por lo cual al no contar con un sistema óptimo de recolección se presentan constantemente los paros de producción obligados.

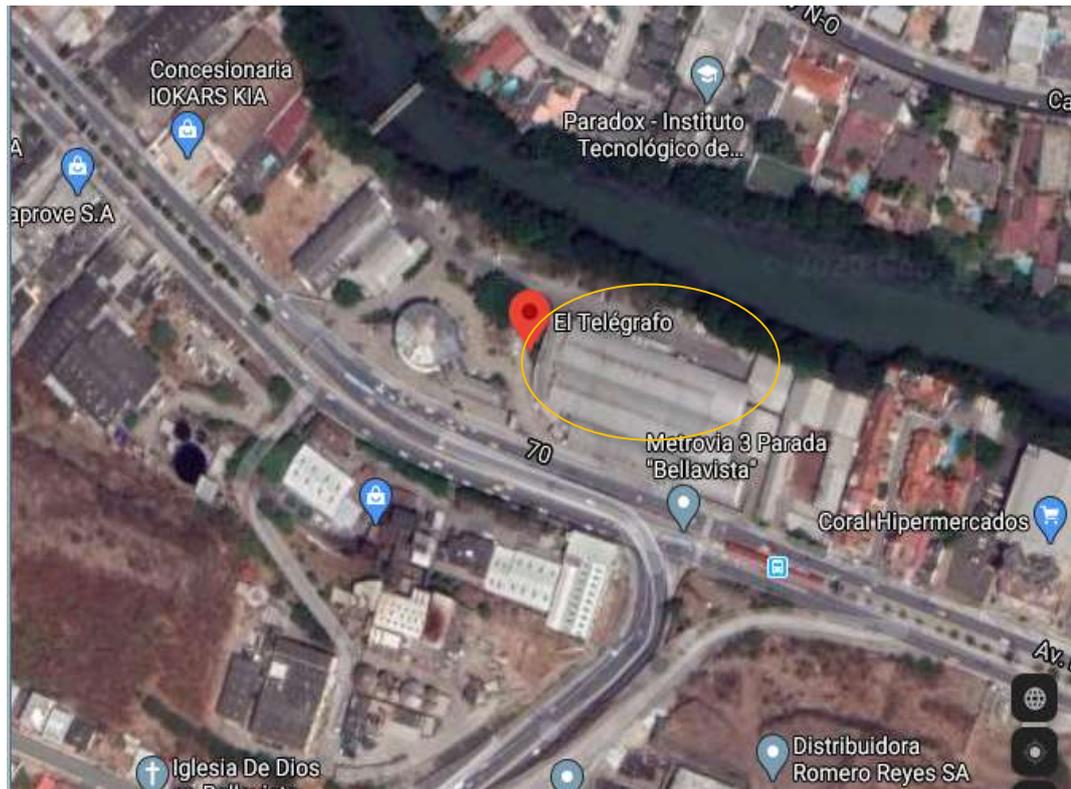
Los ciclones se los considera como equipos muy sencillos con una gran utilidad sin embargo no son de grande versatilidad por la falta de acoplamiento en distintas operaciones presentado como una desventaja la falta de flexibilidad en el momento que ocurra cambios en la concentración de distinto material particulado ya sea este el polvo, etc. En un sistema de un ciclón de recolección de partículas el principio de funcionamiento se enfoca simplemente en la separación de las partículas lo cual es producida por la fuerza centrífuga es uno de los tantos aspectos a considerar.

Entre otros aspectos que pudieran servir de justificación del siguiente trabajo se pueden mencionar los siguientes: primeramente contribuirías positivamente en la salud de los trabajadores de la empresa al eliminar o recoger gran parte de los residuos generados en el proceso que pudieran ser nocivos para la salud de los colaboradores e incluso para la comunidad adyacente; en segundo lugar disminuiría en gran medida la contaminación ambiental que este tipo de empresa pudiera producir y por ultimo podría mejorar la eficiencia del proceso al recuperar materia prima que pudiera ser reinsertada al proceso de producción.

Teniendo en consideración lo mencionado anteriormente se realiza este proyecto a través de un estudio tomando como base los diversos factores, tiempo, dimensiones y capacidades de producción.

### **1.3. Delimitación**

La delimitación espacial del presente proyecto se amolda a la compañía Medios Públicos E.P. la cual se dedica a la fabricación de textos escolares y guías telefónicas, esa se encuentra ubicada en el Km 1.5 Av. Carlos Julio Arosemena como se muestra en la figura 1.



*Figura 1* Ubicación de la empresa

Fuente: Google Maps.

Con referencia a la delimitación temporal de esta investigación se realizará en un tiempo máximo de seis meses una vez aprobado el anteproyecto, se considera un lapso suficiente para realizar un diseño más estable y fiable, de tal forma permite realizar el estudio de los procesos de producción obteniendo una retroalimentación para brindar las mejoras necesarias.

Con respecto a la delimitación de forma académica que se utilizara en el proyecto son los conocimientos obtenidos en la materia de:

- Resistencia de materiales
- Energía y medio ambiente
- Proyectos Industriales
- Elemento de Máquinas
- Contabilidad de costos
- Administración de proyectos
- Fundamento de materiales
- Dinámica
- Estática

## **1.4. Problema de investigación**

El presente tiene su enfoque en la reducción del impacto ambiental que genera la empresa debido a las partículas emitidas por el cartón, en donde se busca realizar mejoras no solo el aspecto ambiental sino también en la parte de producción contribuyendo por ejemplo a la reduciendo de tiempos muertos, lo que permitirá a la vez a la empresa tener un control adecuado a lo largo del proceso.

Otra de las problemáticas identificada en esta empresa es la mala manipulación y almacenamiento del material particulado provocando un incremento en el costo de producción por un mal aislamiento de las partículas del papel omitiendo que pudiera ser reutilizado para otras actividades.

Por esta razón, se realizará un estudio a nivel técnico para poder diseñar y escoger el ciclón correcto para dicho material, el micraje del material es de suma importancia ya que al ser manipulado de forma idónea se lo puede emplear en otras actividades satisfaciendo de manera eficiente y eficaz el impacto que pueda presentar a nivel general.

### **1.4.1. Formulación del problema**

¿Con el estudio y diseño de un captador ciclónico de material particulado que pudiera ser implementado en una empresa productora de libros en la ciudad de Guayaquil se reduciría el impacto ambiental que esta genera?

## **1.5. Objetivos de la investigación.**

### **1.5.1. Objetivo general**

Realizar un estudio y diseño de un captador ciclónico de material particulado para una empresa productora de libros en la ciudad de Guayaquil.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Determinar el costo total de un sistema de extracción de partículas.
- Dimensionar los equipos que conforman el ciclón de extracción de partículas.
- Realizar un análisis entre los cálculos y la simulación del diseño realizada mediante la aplicación de un software.

## **1.6. Beneficiarios**

Los principales beneficiarios en la elaboración del proyecto técnico son los directivos de la empresa Medios Públicos E.P. ya que contarían con un diseño práctico y útil para que el rendimiento de captación y almacenamiento sea eficaz y excelente, garantizándoles condiciones laborales óptimas para un buen desarrollo en la elaboración de sus productos.

Otro de los beneficiarios es el personal del área operativa de dicha empresa salvaguardando su salud reduciendo y evitando enfermedades respiratorias debido al material particulado presente

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes investigativos

Chequeando la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil no se pudo hallar una tesis que tenga como referencia al estudio y diseño de un ciclón para el control de partículas para una empresa productora de libros, sin embargo, al revisar encontramos diferentes tesis que realizan el diseño en otras áreas tales como la recolección de partículas de pintura electrostática en el año 2012 en una industria metalmeccánica.

Examinado en diferentes universidades del país y en el exterior se puede encontrar un ilimitado de tesis que tienen como referencia el diseño de un ciclón de partículas.

El objetivo principal de la tesis en relación fue realizar un pre diseño del ciclón de partículas y seleccionar el tipo de ciclón correcto que pueda beneficiar a la empresa productora de libros reduciendo los niveles de contaminación. La disimilitud de los proyectos hace énfasis en las diferentes exigencias específicas de cada empresa o cada sector en la que utilizan este tipo de mecanismo.

En este sentido el autor Haya (2008) en su trabajo titulado: Diagnóstico ambiental y propuestas de mejora del desempeño ambiental de la planta concentradora Huari SAC, estableció que la planta de enriquecimiento opera bajo sistemas convencionales de trituración, flotación, procesamiento de azufre y óxido de plomo y minerales de zinc, en ella realizó un diagnóstico preliminar del desempeño ambiental de la planta de enriquecimiento de Huari e identificó resultados específicos con el objetivo de identificar impactos ambientales significativos que pueden surgir de las actividades de la planta de enriquecimiento de Huari y a partir de ellos realizar sugerencias para la prevención, modificación y mitigación.

Otro estudio similar realizado por Breffe (2012) en su trabajo de investigación acerca de un sistema de captación de polvo de cal en la empresa Pedro Sotto Alba, en el demostraron que los niveles de cal en el aire existían por encima de los estándares establecidos. De manera similar, demuestra que, según la teoría provista, se puede diseñar un sistema de recolección de polvo que disminuya la concentración de cal en el aire por debajo de los estándares establecidos.

Por su parte Arroyo (2014) en su trabajo llamado “Mejoramiento del sistema de captación de polvo y ventilación en una planta minera” propone objetivos para la necesidad de implementar un sistema de ventilación de los orificios de despacho de concentrado, y para las modificaciones y propuestas de equipo necesarias para mejorar la recolección y ventilación de polvo, a fin de lograr estándares aceptables de exposición a contaminantes. En él propone modificar y rediseñar de acuerdo con los requisitos actuales de control ambiental y salud ocupacional de los sistemas de ventilación para el estado inicial de la mina.

## **2.2.Fundamentación legal**

Hace referencia al marco legal ambiental que se debe de cumplir, por dicha razón se detallan las diferentes reglas o normativas que tienen un gran peso en el ámbito ambiental, siendo este de nivel local o en nivel de todo el país.

En Ecuador en el año 1999 fue promulgada la **Ley de Gestión Ambiental**. Esta ley y su Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental tienen aplicación para contaminantes comunes mediante la aplicación de lo contenido en el Texto Unificado de Legislación Secundaria Ambiental 14, por la Norma de Calidad de Aire Ambiente o Nivel de Inmisión. El objetivo principal de esta norma es mantener la salud de las personas, la calidad del aire circundante, el bienestar de los ecosistemas y el medio ambiente en general. El método aprobado por el Ministerio de Medio Ambiente de Ecuador para los contaminantes de partículas (PM<sub>2.5</sub>) es por método gravimétrico. En la página 5, la media aritmética del monitoreo continuo de 24 horas no debe exceder los 50 microgramos por metro cúbico (50 µg / m<sup>3</sup>). Este contaminante está incluido en la lista de normas para contaminantes en aire limpio.

Mientras tanto, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) comenzó a estandarizar la calidad del aire ambiente a fines de la década de 1960 y desde entonces ha estado revisando y actualizando periódicamente sus encuestas y regulaciones. Estas normas se han establecido para proteger la salud pública. La EPA es un punto de referencia mundial para hacer cumplir las leyes que protegen el medio ambiente. Esto incluye la calidad del aire, pero el equipo utilizado aquí no ha sido aprobado por esta agencia. Además, los objetos de equipo en este estudio no han sido validados dentro de las regulaciones ecuatorianas, ya que las regulaciones ecuatorianas se basan en gran medida en las regulaciones estadounidenses. Recientemente, la EPA ha apoyado los sistemas de vigilancia<sup>16</sup> que trabajan en conjunto con organizaciones ambientales nacionales interesadas en comprender la calidad del aire. El texto unificado de la ley secundaria del Ministerio del Medio Ambiente fue aprobado por primera vez por la Orden Administrativa No. 3,399 el 28 de noviembre de 2002, y publicado en el Registro Oficial No. 725 el 16 de diciembre de 2002.

### **2.2.1. Constitución del Ecuador**

**Art. 14.-** Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

**Art. 15.-** El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto.

La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

A través de estos artículos el estado ecuatoriano busca garantizar el derecho de vivir en un ambiente sano y libre de contaminación para el resguardo de la vida humana, la fauna, la flora y los recursos naturales.

### **2.2.2. OIT 148**

**Artículo 3** A los efectos del presente convenio:

- a. la expresión contaminación del aire comprende el aire contaminado por sustancias que, cualquiera que sea su estado físico, sean nocivas para la salud o entrañen cualquier otro tipo de peligro.

### **Artículo 7**

1. Deberá obligarse a los trabajadores a que observen las consignas de seguridad destinadas a prevenir y limitar los riesgos profesionales debidos a la contaminación del aire, el ruido y las vibraciones en el lugar de trabajo, y a asegurar la protección contra dichos riesgos.

2. Los trabajadores o sus representantes tendrán derecho a presentar propuestas, recibir informaciones y formación, y recurrir ante instancias apropiadas, a fin de asegurar la protección contra los riesgos profesionales debidos a la contaminación del aire, el ruido y las vibraciones en el lugar de trabajo.

### **Artículo 9**

En la medida de lo posible, se deberá eliminar todo riesgo debido a la contaminación del aire, al ruido y a las vibraciones en el lugar de trabajo:

- a. mediante medidas técnicas aplicadas a las nuevas instalaciones o a los nuevos procedimientos en el momento de su diseño o de su instalación, o mediante medidas técnicas aportadas a las instalaciones u operaciones existentes, o cuando esto no sea posible.

### **Artículo 10**

Cuando las medidas adoptadas en virtud del artículo 9 no reduzcan la contaminación del aire, el ruido y las vibraciones en el lugar de trabajo a los límites especificados en virtud del artículo 8, el empleador deberá proporcionar y conservar en buen estado el equipo de protección personal apropiado. El empleador no deberá

obligar a un trabajador a trabajar sin el equipo de protección personal proporcionado en virtud del presente artículo.

## **Artículo 11**

1. El estado de salud de los trabajadores expuestos o que puedan estar expuestos a los riesgos profesionales debidos a la contaminación del aire, el ruido y las vibraciones en el lugar de trabajo deberá ser objeto de vigilancia, a intervalos apropiados, según las modalidades y en las circunstancias que fije la autoridad competente. Esta vigilancia deberá comprender un examen médico previo al empleo y exámenes periódicos, según determine la autoridad competente.

2. La vigilancia prevista en el párrafo 1 del presente artículo no deberá ocasionar gasto alguno al trabajador.

3. Cuando por razones médicas sea desaconsejable la permanencia de un trabajador en un puesto que entrañe exposición a la contaminación del aire, el ruido o las vibraciones, deberán adoptarse todas las medidas compatibles con la práctica y las condiciones nacionales para trasladarlo a otro empleo adecuado o para asegurarle el mantenimiento de sus ingresos mediante prestaciones de seguridad social o por cualquier otro método.

4. Las medidas tomadas para dar efecto al presente Convenio no deberán afectar desfavorablemente los derechos de los trabajadores previstos en la legislación sobre seguridad o seguros sociales.

El OIT Convenio 148 es un convenio que procura la protección de los trabajadores contra los riesgos de la contaminación del aire, ruido y vibraciones a las que puedan estar expuestos en sus sitios de trabajo.

### **2.3.Fundamentación teórica**

En este capítulo se procede a detallar los distintos conceptos básicos y de suma importancia que se emplean en un ciclón captador de partículas.

Los ciclones de partículas o también denominados colectores basan su función principal en la captación, sedimentación, separación, entre otros procesos que reducen la dispersión del material en el medio ambiente. (Veira, 2003)

#### **2.3.1. El papel**

El papel es uno de los productos más utilizados a nivel mundial, este producto es elaborado con fibras o la pulpa de que se encuentran en las plantas, en la actualidad su fabricación parte de elementos biodegradables o elementos que no puedan presentar

un impacto ambiental. Hoy en día el consumo del papel en el mundo es alrededor 268 millones de toneladas de forma anual.

Sin embargo, la producción a nivel mundial del papel es a base de la madera, cabe recalcar que en un 33.3 % de la madera a nivel mundial es utilizada para la fabricación de la fibra. (Verónica, 1997)

La fibra es esencialmente el elemento más importante en la fabricación del papel, sin embargo, se le debe de agregar otros compuestos químicos lo cual permite alterar todas sus propiedades físicas y mecánicas, así mismo mejoran su calidad entre otros aspectos. La calidad del papel es medida esencialmente a partir del gramaje que presenta.

Para la elaboración del papel se inicia con la separación de las fibras de las celulosas que se encuentran mezcladas por la lignina lo cual en base a esta separación se obtiene lo que comúnmente se conoce como pulpa del papel. Cualquier método por utilizarse ya sea este por el método del alcalino o el método del sulfito se utilizan compuestos químicos.

El proceso que generalmente es empleado se denomina método del sulfito o también conocido como proceso Kraft ya que este método le brinda al papel un gramaje adecuado, así mismo le brinda buenas propiedades, sin embargo, en este método se incluyen impactos ambientales ya sea este la emisión de gases, aguas residuales, entre otros, estos contaminantes pueden resultar tóxicos para todos los seres vivos.

Luego de la separación de las fibras para obtener la pulpa se aumenta la deslignificación añadiendo la oxigenación antes de ser tratado en el blanqueamiento. En un proceso cerrado la pasta se procesa en un lavado eficiente, luego de llegar al tamizado se busca blanquear la pasta a través de un blanqueado sin cloro, se utilizan parte de aguas alcalinas.

El proceso busca utilizar toda la pasta procesada lo cual se tiene un control y recuperación de algún elemento o líquido derramado, al obtener una pasta blanqueada se procesan a unos tanques con una gran capacidad lo cual permiten la cocción, a partir de esto son procesadas a bobinas de papel refinando el papel aumentando la temperatura o aplicando distintos tratamientos térmicos se trata de mezclar aditivos así permitiendo la formación de hojas

### **2.3.2. Contaminantes del aire**

Hoy en día la principal problemática es la contaminación del aire lo cual es de suma preocupación no solo a nivel local sino a nivel global. Se lo considera como el principal factor de incidencia en la salud del ser humano, cabe recalcar que cada año millones de personas presentan enfermedades que van desde un punto severo hasta un punto crónico a nivel respiratorio.

“Los gases son agentes contaminantes debido a que presentan un sin número de partículas de muy bajo peso molecular lo cual se une al aire puro con una gran facilidad produciendo un gas tóxico que se lo denomina frecuentemente como monóxido de carbono” (Chimbo Lorena, 2012)

El nivel de pureza del aire se establece por la presencia o ausencia de agentes contaminantes estos dos grandes aspectos son los que deciden la calidad del aire. Los contaminantes se pueden estimar de forma físicas o biológica es decir los agentes no pueden ser observados con facilidad debido a que mayormente son microorganismos. La calidad del aire es de suma importancia debido a que no solo influye mucho en la vida de las personas sino también en la salud de todos los seres vivos, por dicha razón ay organismos como por ejemplo la OMS que establecen normativas o reglas para salvaguardas la salud de todos los seres vivos.

En la tabla 1 se detallan los niveles de alerta, alarma y de emergencia según la calidad del aire. (Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, 2011)

Tabla1 Contaminantes y período de tiempo

<b>CONTAMINANTE Y PERIODO DE TIEMPO</b>	<b>ALERTA</b>	<b>ALARMA</b>	<b>EMERGENCIA</b>
<b>Monóxido de Carbono: Concentración promedio en 8 horas (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	15000	30000	40000
<b>Ozono Concentración promedio en 8 horas (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	200	400	600
<b>Dióxido de nitrógeno Concentración promedio en 1 horas (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	1000	2000	3000
<b>Dióxido de azufre Concentración promedio en 24 horas (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	200	1000	1800
<b>Materia Particulado PM 10 Concentración en 24 horas (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	250	400	500
<b>Material Particulado PM 2,5 Concentración en 24 horas (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	150	250	350

Elaboración propia

Fuente: Norma Ecuatoriana de Calidad del aire

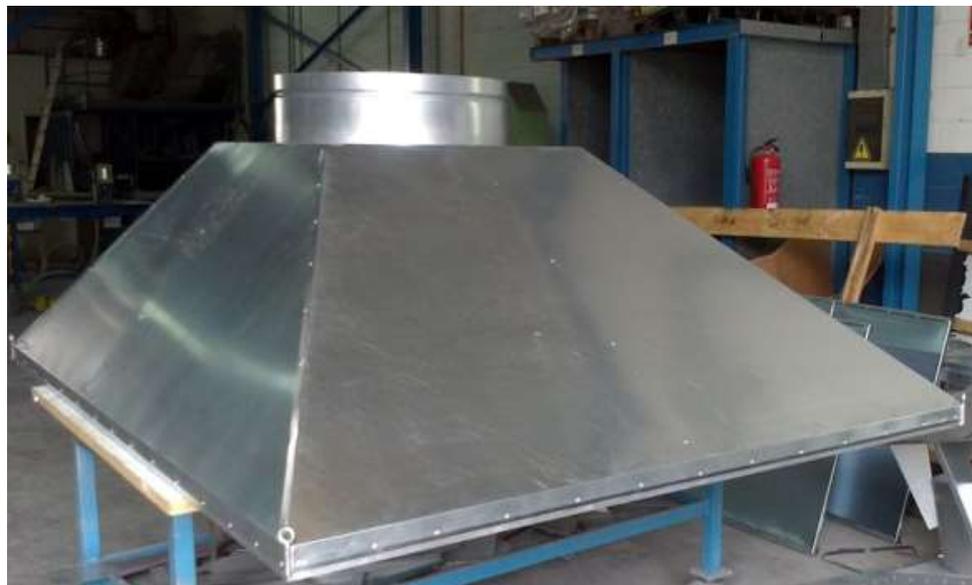
### 2.3.3. Sistemas de captación de polvo

Es un mecanismo de recolección de polvo que ayuda a extraer el aire que contiene partículas de polvo o varias sustancias del proceso mediante el movimiento del aire

hacia un dispositivo de filtración que separa las partículas de polvo o sustancias de la corriente de aire.

Este tipo de sistema de extracción de polvo se constituye generalmente de los siguientes componentes:

**Hoods de Captación:** En los sistemas de recolección de polvo, la campana es un elemento del sistema que atrapa el polvo en la zona de dispersión y evita que los contaminantes se filtren al medio ambiente. La campana necesita crear un campo de flujo de aire efectivo para capturar el polvo y transportarlas a ellas. Las campanas de vacío se pueden dividir en dos categorías. El capó que encierra el proceso de "envolver el capó" y el capó exterior, el "capó exterior". La primera encierra total o parcialmente el punto del proceso o generación de contaminantes. El segundo, por otro lado, está cerca de la fuente de contaminantes, pero no lo encierra. En la figura 2 es posible observar el elemento del captador de partícula tipo campana.



*Figura 2* Captador de polvo tipo Campana

Fuente: (Atosdin S.L., 2020)

**Sistema de ductos de transporte de la corriente de aire con contaminantes:** La función de los diversos conductos presentes en el sistema de control de polvo es transportar aire contaminado desde el área de recepción al colector de polvo a través de la caída de presión proporcionada por el ventilador. La chimenea es muy importante asegurarse de que el flujo de aire tenga una velocidad que no permita la acumulación de partículas de polvo en el conducto. Como resultado, opera a la velocidad de transporte más baja dependiendo de las características del material.

Los conductos conectados a la campana de succión se denominan ramas y alimentan los conductos sub-principales. El conducto principal será el conducto que transporta todo el flujo de aire del sistema al colector de polvo. Dependiendo de su aplicación, los conductos pueden estar hechos de diferentes materiales, como

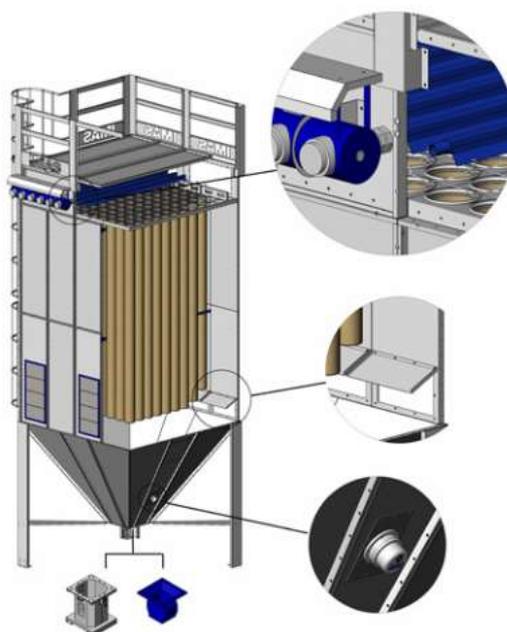
hierro galvanizado, acero inoxidable, aluminio. Además, en algunas aplicaciones es común encontrar ramas con conductos flexibles hechos de polímero. En la figura 3 se visualiza un sistema de ductos externo.



*Figura 3* Sistema de ductos externos

Fuente: (Zbigniew Kapelańczyk, 2006)

**Equipo de filtrado:** Los colectores de polvo son un elemento del sistema cuya función es separar los contaminantes del aire puro antes de descargarlos a la atmósfera. Existen muchos tipos de recolectores en la industria y la elección depende del tipo de contaminante y su concentración. El más simple es un ciclón o un colector de inercia de tipo ciclón. Utiliza el efecto centrífugo inducido por un tubo o cámara cilíndrica para separar partículas de polvo normalmente gruesas del aire. Su máxima eficiencia es del 60%. En la figura 4 se muestra un equipo filtrador de polvo comúnmente utilizado



*Figura 4 equipo de filtrado de polvo*

Fuente: (IMAS AEROMECCANICA, 2015)

Otros colectores son colectores húmedos, precipitadores electrostáticos y colectores de tela, también conocidos como filtros de bolsa. En la industria de trituración y trituración, el dispositivo de recolección utilizado es un filtro de bolsa debido a la presencia de finas partículas y la alta eficiencia que proporcionan estas máquinas es superior al 99%. Los filtros de bolsa consisten en una serie de bolsas en forma de bolsa, generalmente cilíndricas, hechas de fibra sintética (poliéster) o natural, que se colocan en una carcasa de forma y dimensiones similares llamadas armaduras.

Cuando el aire contaminado ingresa al dispositivo, corre mediante la tela y las partículas de polvo quedan retenidas en el exterior de la funda. El manguito requiere una limpieza constante para evitar una gran acumulación de polvo que puede causar grandes caídas de presión en el filtro.

Un sistema de limpieza separa el polvo de la funda y mantiene la funda filtrada. La válvula giratoria permite la eliminación del polvo que se genera en la parte inferior del filtro debido a la separación del polvo del manguito causado por el sistema de limpieza. Otra función de la válvula es garantizar la estanqueidad del filtro y evitar la entrada de aire desde el exterior.

**Chimenea de descarga de aire limpio:** La chimenea es un conducto que conecta la salida del ventilador y dirige el flujo de aire filtrado en la dirección deseada. Hay dos formas diferentes de chimenea. La primera es cuando el aire se expulsa horizontalmente hacia un lado y la segunda es cuando el aire se expulsa verticalmente hacia arriba. Este último tipo de chimenea se caracteriza por una campana para que cuando el ventilador no esté funcionando, el conducto no penetre en ningún tipo de

material y pueda causar oxidación o acumulación en el impulsor o la estructura del ventilador. Hay una posibilidad.

#### 2.3.4. Tecnologías de control para emisiones de material particulado

Las tecnologías utilizadas para controlar la liberación de partículas de fuentes fijas corresponden a:

- **Ciclón:** estos son los colectores de polvo más utilizados. Los ciclones eliminan las partículas generadas por las fuerzas centrífugas en base al principio de colisiones inerciales. Son idóneos para dividir material particulado con diámetros  $> 5 \mu\text{m}$  con eficiencias de hasta 90%. En algunos casos, se pueden separar partículas mucho más pequeñas.
- **Multiciclón:** son básicamente un conjunto de ciclones pequeños y muy eficientes que han sido recopilados por un recolector común. Al igual que los ciclones ordinarios, separan las partículas del gas que se procesa mediante centrifugación. 95-98% de eficiencia del multiciclón para el polvo que contiene partículas de 80-120 micras
- **Depurador Venturi:** El Depurador pulveriza un pequeño chorro de líquido (generalmente agua) a grandes velocidades dentro del acelerador Venturi. El líquido se atomiza y se fusiona con el fluido de gas en la zona de expansión. El depurador Venturi puede lograr un 99% de eficacia dentro de la eliminación de material particulado de pequeñas dimensiones. Sin embargo, un inconveniente de este elemento es la generación de aguas residuales. La eficiencia de recolección de Venturi Scrubber es más del 70-99%, dependiendo de la aplicación. La eficiencia de recolección es generalmente mayor para PM, con diámetros aerodinámicos de aproximadamente 0.5-5 mm. Algunos depuradores tipo Venturi están contruidos para mantener la velocidad de la corriente de gas y la caída de presión con una garganta ajustable.
- **Precipitador electrostático:** este dispositivo de control de partículas utiliza fuerzas eléctricas para mover partículas de una corriente de gas a una placa colectora. Las partículas se cargan forzándolas a través de la corona, una región donde fluyen los iones gaseosos. El campo eléctrico que empuja las partículas cargadas contra la pared es generado por un electrodo que se mantiene a un alto voltaje en el centro de la línea de flujo. La eficiencia de este dispositivo depende de factores como la humedad de los gases de escape, la resistividad de los gases mixtos y las partículas. Esto permite que grandes corrientes de gas se procesen a altas temperaturas, aumentando la eficiencia de la recolección de material particulado.
- **Filtro de manga:** considerado como el dispositivo más típico para la separación de gases sólidos. Su función es recoger las partículas sólidas transportadas por la corriente de aire y pasarlas a través del tejido. Los filtros son generalmente estructuras porosas compuestas de materiales fibrosos que tienden a retener

partículas a medida que el gas que transporta las partículas pasa a través del espacio vacío del filtro.

### 2.3.5. Ciclón de partículas

Los ciclones de partículas por lo general se encargan de transportar o remover una gran cantidad de material particulado, se fundamenta en el principio de emplear la inercia debido a que retira parte del flujo del gas, lo cual es producido por la potencia centrifuga. Los ciclones trabajan produciendo una abertura doble en el interior del cuerpo, esta funciona primordialmente como una especie de cuarto en la cual la fuerza gravitacional acelerada es asentada pero no como tal, esta es sustituida con la aceleración centrifuga recolectando de tal forma las partículas. La figura 5 ilustra el funcionamiento de recolección de partículas.

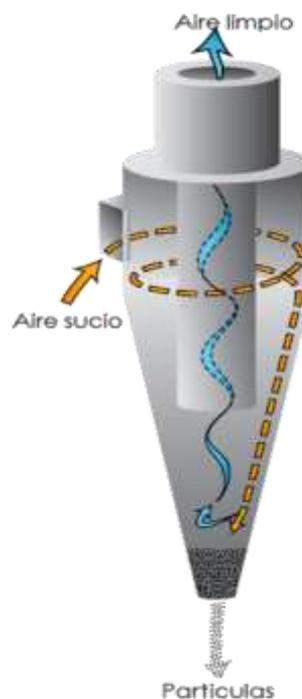


Figura 5 Funcionamiento de recolección de partículas

Fuente: Tomado de (Manuntecao e suprimentos, 2018)

Los ciclones son los primordiales para dividir partículas con dimensiones que superan los  $5 \mu\text{m}$ ; sin embargo, existen partículas con diámetros inferiores en casos especiales que también pueden ser divididas.

Por lo general un ciclón es una de las herramientas que presentan un bajo costo en el almacenamiento de material, se lo puede apreciar desde su ámbito económico como en el ámbito de funcionamiento. Básicamente son fabricaciones simples que en cierto punto tienen ventajas como un fácil y rápido mantenimiento, su fabricación puede realizarse con una variedad de materiales dependiendo la demanda de este incluyendo el medio ambiente donde realizara su función. Otro aspecto en su diseño es a la

temperatura que este trabajara ya que puede construirse a soportar altas y bajas temperaturas.

Los ciclones son fabricados o diseñados no solamente para la recolección de partículas en las industrias, frecuentemente cumplen con especificaciones para un correcto cumplimiento de normativas que permiten reducir la contaminación en el aire, así también funcionan con un importante propósito como un pre limpiador para cualquier tipo de maquinaria.

En muchas industrias los ciclones cumplen papeles sumamente importantes debido que mediante este sistema se procede a recuperar y reciclar diferentes productos que en cierto punto pueden ser procesados para fabricar otro producto, como por ejemplo en una industria de alimentos, en una industria química lo utilizan para producir catalizadores, en las industrias metalmeccánica o fundiciones se emplean los ciclones para el reciclado de catalizadores. (Cooper David, 1994)

### **2.3.6. Eficiencia del ciclón de partículas**

La eficiencia en la recolección de partículas es sin duda alguna el principal aspecto a considerar en el diseño de un ciclón ya que es su principal función de trabajo, se puede presentar distintas problemáticas en su funcionamiento sino se considera aspectos tales como: la dimensión de la partícula a reciclar, el tipo de material que se va a procesar, etc.

Para aumentar el nivel de eficiencia de un ciclón se debe de considerar los siguientes aspectos:

- Las dimensiones de las partículas.
- La densidad de la partícula a procesar.
- La distancia de la estructura del ciclón.
- Las revoluciones a las que trabaja en ciclón.
- La dimensión entre el diámetro de entrada de las partículas con relación a la salida del gas.

De la misma forma existen factores que perjudican el diseño y funcionamiento de los ciclones los cuales son:

- El diámetro y longitud del cuerpo.
- La salida del material procesado.
- La viscosidad del gas que se emplea.
- El sector de almacenamiento y traslado del gas.
- Escape de aire en el proceso.

Para observar la eficiencia de un ciclón de partículas influye el incremento o el trabajo con material particulado que presente una densidad alta, ya que al tener material particulado con volumen pequeño afectara en su funcionamiento, sin embargo

un incremento en densidad de las partículas representa un crecimiento en la masa del material el cual produce un potenciamiento en la fuerza centrífuga la cual mejorara el impacto hacia las paredes del separador produciendo una mayor eficiencia del mecanismo. (Gutiérrez Torres Claudia, 2006)

Los ciclones tienen diferentes márgenes de los cuales se los puede dividir en tres grupos con el fin de verificar la eficiencia con la que está diseñado los ciclones y estos son: ciclón convencional, ciclón de alta capacidad y el ciclón de alta eficiencia.

El margen que maneja los ciclones convencionales se encuentra entre un 70 % a un 90% en el material particulado, del 0 al 40% son para las MP 2.5 por lo general este material particulado es observado con microscopio debido a que las partículas son muy pequeñas y por último las MP10 rigen en un rango de 30 a 90 % estas son fáciles de captar debido a que sus dimensiones son mucho más gruesas.

La diferencia entre los ciclones de alta eficiencia y los ciclones convencionales se debe a que estos son estrictamente planteados para tener un mayor control sobre las partículas más pequeñas presentes en el ambiente. Un ciclón de alta eficiencia puede remover en un 90% las partículas con diámetro de hasta 5  $\mu\text{m}$ , si se procesan partículas con dimensiones más grandes el nivel de eficiencia es mucho más alto. El margen que presentan los ciclones de alta eficiencia es: del 80 al 99% para el material particulado con dimensiones estándares, del 20 al 70% para las MP2.5 el porcentaje de efectividad con referencia al ciclón convencional aumenta y como último punto las MP10 se encuentran entre un 60 al 95%.

Los ciclones de alta capacidad presentan una gran desventaja con referencia a los otros ciclones debido a que solo remueven partículas mayores a 20  $\mu\text{m}$ . La tolerancia para el material particulado es de 80 al 99%, el MP2.5 rige en un margen del 0 al 10% y para el MP10 posee un rango del 10 al 40%.

### **2.3.7. Mantenimiento de un ciclón**

Una de las grandes problemáticas que presentan este elemento de separación de partículas es la mala realización de mantenimiento lo cual tiende a producir un desgaste en cada una de sus piezas, este desgaste es realizado debido al rápido trabajo que realiza el ciclón en el momento de separar las partículas.

Las principales acciones de mantenimiento que se deben de realizar para la conservación del equipo son las siguientes:

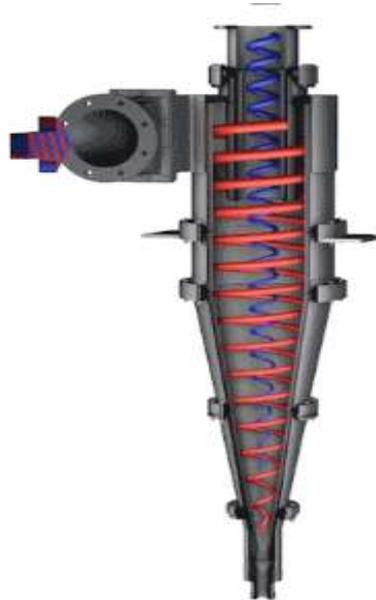
- Limpieza general realizada a presión de aire del material almacenado dentro del sistema.
- Chequeo y lubricación de elementos de transporte (ventilador, rodamientos, etc.)
- Chequeo de atascos de partículas en el ventilador u otra parte del ciclón.

El mantenimiento y limpieza que comúnmente se emplea es mediante un sistema de aire o agua que es expulsada a altos niveles de presión, por lo general se lo realiza

por pequeñas acumulaciones de material particulado que no pudo ser separado, el principal objetivo de este tratamiento es romper y eliminar los atascos de las partículas evitando grandes broches. (Cemento, 2008)

### 2.3.8. Funcionamiento de un ciclón

El funcionamiento o método de trabajo que emplea un ciclón es mediante la unión del gas con elementos solidos lo cual entra por la parte superior del sistema, a partir de eso ingresa un gas comprendiendo un doble vórtice, el cual a raíz de este primer momento se convierte en un espiral que caen a las paredes externas del cilindro de una manera descendente y se traslada de forma ascendente en la parte central del cilindro. En la figura 6 se observan los vórtices del sistema.



*Figura 6* Vortices del ciclón

Fuente: (AKW, 2018)

En el trabajo del ciclón el gas ingresa desde el cuerpo superior de forma tangente, una vez ingresado adquiere una forma de espiral y se traslada de manera descendente hasta llegar a la parte cónica del sistema, las partículas son arrojadas por la parte inferior cónica del ciclón, en el mismo instante se realiza un proceso similar donde asciende en el centro del tubo en forma de espiral un diámetro más pequeño arrojando aire debido a una gran velocidad de forma tangencial por la que trabaja, la parte inferior recibe las partículas debido a la reducción del tamaño del cono lo cual es deslizada por efecto de la gravedad.

El diseño ideal de un ciclón de partículas en la parte cónica del sistema exige una variación en la dirección del vórtice descendente, debido a que el vórtice ascendente se encuentra en el centro del sistema produce una mayor velocidad de forma tangencial recolectando la mayor cantidad de partículas en el cono del sistema. (Echeverri, 2006)

### 2.3.9. Partes de un ciclón

Un Captador ciclónico que está constituido principalmente por un cilindro vertical que posee fondo cónico, este tiene una entrada tangencial que generalmente es rectangular. En él la corriente de gas cargada con partículas sólidas se introducen de forma tangencial en el recipiente cilíndrico a una velocidad aproximada de 15 a 30 m/s. Posterior a ello sale gas limpio a través de una abertura centrada que se encuentra en la parte superior.

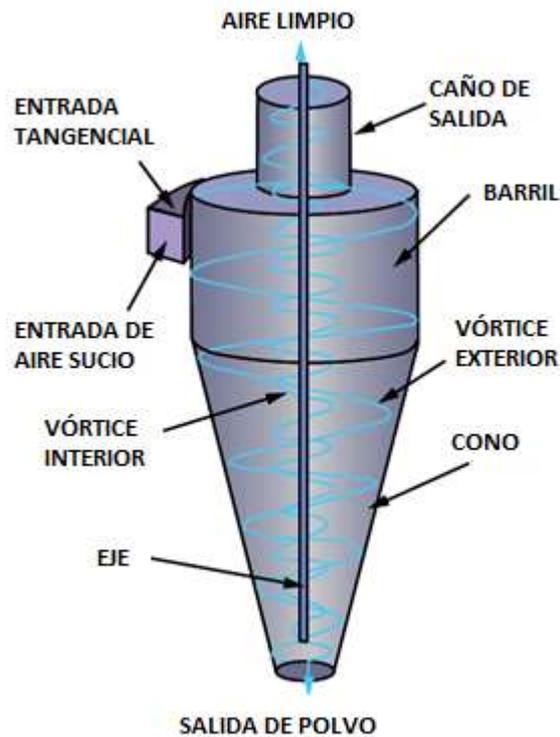


Figura 7 Partes de un ciclón

Fuente: (Molinero Miller, 2019)

### 2.3.10. Teoría de funcionamiento

En el momento de iniciar el trabajo de un ciclón las partículas que se encuentran en el ambiente son absorbidas de manera muy rápida, por lo general las primeras partículas en ser captadas con las del polvo y aire debido a su composición, debido a esto en el momento que las partículas son ingresadas ganan velocidades terminales de precipitación, al presentarse material particulado con dimensiones pequeñas se puede emplear la Ley de Stokes indicando que en el momento que se aplica cualquier tipo de fuerza a una partícula en un ambiente continuo se acelera hasta alcanzar una velocidad que sea idéntica a la fuerza aplicada. En la ecuación 1 se detalla la velocidad radial centrífuga la cual es:

$$V_{tr} = \frac{\omega^2 D_p^2 (\rho_p - \rho)}{18\mu} \quad \text{ec.1}$$

El cual expresa lo siguiente:

$V_{tr}$ : Velocidad radial centrífuga

$\omega$ : Velocidad angular

$D_p$ : Diámetro de partícula

$\rho_p$ : Densidad de la partícula

$\rho$ : Densidad del fluido

Partiendo de la ecuación de la velocidad radial se conoce que la velocidad angular es equivalente a la velocidad tangencial de la partícula con relación al radio, esto se lo puede observar en la ecuación 2:

$$\omega = \frac{V_{tan}}{r} \quad \text{ec.2}$$

Al realizar un reemplazo de términos la ecuación final queda expresada de la siguiente manera:

$$V_{tr} = \frac{D_p^2 g (\rho_p - \rho)}{18\mu} \frac{V_{tan}^2}{gr} = V_t \frac{V_{tan}^2}{gr} \quad \text{ec.3}$$

El cual  $V_t$  hace referencia a la velocidad terminal gravitacional de precipitación. Partiendo de este principio al aumentar la velocidad terminal gravitatoria incrementará como tal la velocidad terminal radial lo cual la partícula se alojará fácilmente en las paredes del ciclón. La ecuación puede generar dificultades si no se tiene en cuenta que la velocidad radial se encuentra en función de la velocidad tangencial y gravitatoria. (Willian, 2018)

### 2.3.11. Flujo del ciclón

El flujo con el que se trabaja dentro del sistema es de forma rotacional elevando los niveles de presión, la caída de presión total resulta de la composición con las pérdidas de entrada y salida del ciclón.

La reducción de la presión en el interior del ciclón es debido al movimiento del gas dentro del sistema por el mediante el número de Euler vinculado la caída y velocidad de presión se lo detalla mediante la ecuación 4.

$$Eu = \frac{\Delta P}{\rho_f \left(\frac{V^2}{2}\right)} \quad \text{ec.4}$$

Detallando que:

$Eu$ : Numero de Euler

$\rho_f$ : Densidad del gas

$V$ : Velocidad del gas

El número de Euler utiliza la relación entre las presiones son netamente constantes en el diseño de un ciclón con geometrías establecidas. Para conocer la velocidad del gas con la que trabaja dentro del ciclón se emplea la ecuación 5 donde se basa por las dimensiones del cuerpo del ciclón detallando:

$$V_g = \frac{4q}{\pi D^2} \quad \text{ec.5}$$

La ecuación representa la velocidad del gas donde q es el caudal volumétrico que se encuentra dentro del sistema y D es el diámetro interior del ciclón. (Geankoplis, 1998)

### 2.3.12. Ecuación del traslado de partículas mediante fluido

Se tiene una partícula con su masa correspondiente (m), esta se traslada mediante el fluido debido a la fuerza superficial (Fs). Se tiene una velocidad producida por la partícula con una referencia al fluido, (Fe) es la fuerza de impulso que actúa sobre la partícula y finalmente (Fr) como la fuerza de retardo de la partícula. Al obtener todas las fuerzas y realizar una igualdad de términos la fuerza total de acción de la partícula es  $F_s - F_e - F_r$ , a raíz de las fuerzas que funcionan en el funcionamiento del ciclón existe también una aceleración del material particulado que es  $dv/dt$ , basados en las leyes de Newton obtenemos la ecuación 6 la cual es:

$$F = \frac{f}{gc} \times \frac{dv}{dt} = F_s - F_e - F_r \quad \text{ec.6}$$

En la ecuación 7 detallamos la fuerza externa que es relacionada entre el producto de la aceleración y la masa de la partícula.

$$F_c = \frac{m \times a}{gc} \quad \text{ec.7}$$

### 2.3.13. Ventajas y desventajas de un ciclón de partículas

El funcionamiento de un ciclón presenta diversas ventajas y desventajas, este sistema de remoción de material se diferencia de los demás por su eficiencia ante los agentes contaminantes altos (partículas).

Las ventajas que presentan el diseño de un ciclo son:

- Presentan un bajo costo de inversión
- Su diseño no presenta partes móviles lo cual permite su bajo costo en el mantenimiento y operación del sistema
- Presunta una limitación debido al material que va a utilizarse en su construcción, es decir sus rangos de temperatura de trabajo depende de la resistencia del material.
- Requiere de poco espacio para su operación

Todo sistema posee desventajas lo cual no los hace 100% factible, en un ciclón sus inconvenientes son:

- No puede manipular partículas pegajosas o de algún material que se aglomeren
- Pierde eficiencia de trabajo al manipular partículas menores a 10  $\mu\text{m}$ .

Todos aspectos son muy importantes en el diseño del sistema por el motivo que trata de remover la mayor cantidad de material particulado para evitar la contaminación ambiental y reducir las problemáticas de salud respiratoria en los seres vivos. (Emison)

#### **2.3.14. Tipos de ciclones**

En la actualidad existen cuatro tipos de ciclones diferenciándose cada una por su capacidad eficiente de captación de partículas los cuales son:

- Ciclón de entrada tangencial y descarga axial.
- Ciclón de entrada y descarga axiales
- Ciclón de entrada tangencial y descarga periférica
- Ciclón de entrada axial y descarga periférica

Uno de los aspectos más considerables en el diseño de un ciclón de partículas es la velocidad tangencial debido a que genera la fuerza centrífuga, el cual permite la separación de las partículas con el aire que esta genera debido a que la gravedad no interviene en gran magnitud en la separación de partículas pequeñas.

##### ***a) Ciclón tipo entrada tangencial y descarga axial***

Los ciclones de entrada tangencial y descarga axial son el tipo de ciclón comúnmente diseñado y fabricado en las empresas, estos se pueden fabricar con diámetros grandes que por lo general rigen en el margen entre los 600 y 915mm debido a su bajo costo y una gran eficiencia de su trabajo, en la figura 8 se detalla el diseño del ciclón.



Figura 8 Ciclón de entrada tangencial y descarga axial

Fuente: (Dena, 2015)

En el diseño de este tipo de ciclón se debe de considerar una serie de aspecto para el correcto desempeño de este, se busca maximizar la eficiencia de trabajo en la separación del material particulado con realización al gas que ingresa en el sistema. En la tabla 2 detallamos cada aspecto a considerar.

Tabla2 Aspectos de un ciclón de entrada tangencial y descarga axial

Aspectos	Rango
Dimensión del ciclón (diámetro)	0-1 m
Velocidad en la entrada	15-27,5 m/s
Velocidades	< 1.30 m/s
Caída de presión	< 2486,1 Pa

Elaboración propia

**b) Ciclón de entrada y descarga axiales.**

La principal que rigen con los demás ciclones se da en que los diámetros de su diseño son de menor dimensiones estos se encuentran entre un diámetro de los 25 y 305 mm. En el momento de su funcionamiento presenta grandes problemáticas debido a que su capacidad de almacenaje es menor sin embargo su eficiencia es mucho más rentable. (Laboratory, s.f.)

En la figura 9 se observa el diseño del ciclón de entrada y descarga axial.



*Figura 9* Ciclón de entrada y descarga axial

Fuente: (Maquinaria Miguel Urbano, 2014)

***c) Ciclón de entrada tangencial y descarga periférica***

En este diseño de ciclón el aire es arrojado limpiamente de forma axial por la parte superior del sistema, el material particulado es recolectado y arrojado de forma periférica por la corriente que emite el gas. La principal problemática de este tipo de ciclón se da en la mala eficiencia que presente en el momento de su trabajo debido a que no expulsa todas las partículas, en la figura 10 se observa el diseño del ciclón.



*Figura 10* Ciclón de entrada tangencial y descarga axial.

Fuente: (Orbes Agrícola S.A.C, 2019)

***d) Ciclón de entrada axial y descarga periférica***

El ciclón de entrada axial y descarga periférica poseen una alta capacidad y se emplean principalmente por problemáticas con el gas ya que este sufre un retardo dentro del ciclón perjudicando su eficiencia de trabajo, se observa en la figura 11 a continuación sobre el diseño de este tipo de sistema.



*Figura 11* Ciclón de entrada axial y descarga periférica

Fuente: (Eichhorn, 2019)

El ciclón de entrada tangencial y descarga axial que son los establecidos en este proyecto se clasifican en tres familias según su eficiencia:

- Ciclones de alta eficiencia

- Ciclones de alta capacidad
- Ciclones convencionales

### 2.3.15. Eficiencia de la familia de los ciclones tangenciales y descarga axial

Uno de los principales aspectos es la eficiencia con la que se desempeñan los ciclones tangenciales y descarga axial lo cuales son los más utilizados a nivel de industrias. En la tabla 3 se detalla el rango de porcentaje de eficiencia de transporte con relación a las partículas.

Tabla 3 Eficiencia de separación

Ciclón de alta eficiencia	Eficiencia de separación		
	PM	PM 2.5	PM 10
	80% - 99%	20%-70%	60%-95%

Elaboración propia

Fuente: (Londoño, 2006)

La eficiencia de los ciclones convencionales se lo detalla en la tabla 4

Tabla4 Eficiencia de separación del ciclón de alta eficiencia

Ciclón convencional	Eficiencia de separación		
	PM	PM 2.5	PM 10
	70% - 90%	0%-40%	30%-90%

Elaboración propia

Fuente: (Londoño, 2006)

Como último punto tenemos los ciclones de alta capacidad, en la tabla 5 se detalla la eficiencia que presenta este tipo de ciclón.

Tabla5 Eficiencia de separación del ciclón de alta capacidad

Ciclón de alta capacidad	Eficiencia de separación		
	PM	PM 2.5	PM 10
	80% - 90%	10%-40%	0%-10%

Elaboración propia

Fuente: (Londoño, 2006)

El gran ciclón asegura la eliminación de partículas de más de 20  $\mu\text{m}$ , incluso si se produce una pequeña recolección de partículas. En la tabla 6 y 7 se observa las distintas características de los ciclones.

Tabla6 Características de los ciclones de alta eficiencia

Descripción	Abreviatura	Tipo de ciclón		
		Stairmand	Swift	Echeverri
<b>Diámetro del ciclón</b>	Dc/Dc	1	1	1
<b>Altura de entrada</b>	a/Dc	0.5	0.44	0.5
<b>Ancho de entrada</b>	b/Dc	0.2	0.21	0.2
<b>Altura de salida</b>	S/Dc	0.5	0.5	0.625
<b>Diámetro de salida</b>	Ds/Dc	0.5	0.4	0.5
<b>Altura parte cilíndrica</b>	h/Dc	1.5	1.4	1.5
<b>Altura parte cónica</b>	z/Dc	2.5	2.5	2.5
<b>Altura total del ciclón</b>	H/Dc	4	3.9	4
<b>Diámetro de salida</b>	B/Dc	0.375	0.4	0.375
<b>Factor de configuración</b>	G	551.22	698.65	585.71
<b>Cabezas de velocidades</b>	NH	6.4	9.24	6.4
<b>Numero de vórtice</b>	N	5.5	6	5.5

Elaboración propia

Fuente: (Londoño, 2006)

Tabla7 Características de los ciclones de alta capacidad

Descripción	Abreviatura	Tipo de ciclón	
		Stairmand	Swift
<b>Diámetro del ciclón</b>	Dc/Dc	1	1
<b>Altura de entrada</b>	a/Dc	0.75	0.8
<b>Ancho de entrada</b>	b/Dc	0.375	0.35
<b>Altura de salida</b>	S/Dc	0.875	0.85
<b>Diámetro de salida</b>	Ds/Dc	0.75	0.75
<b>Altura parte cilíndrica</b>	h/Dc	1.5	1.7
<b>Altura parte cónica</b>	z/Dc	2.5	2
<b>Altura total del ciclón</b>	H/Dc	4	3.7
<b>Diámetro de salida</b>	B/Dc	0.375	0.4
<b>Factor de configuración</b>	G	29.70	30.48
<b>Cabezas de velocidades</b>	NH	8	7.96
<b>Numero de vórtice</b>	N	3.7	3.4

Elaboración propia

Fuente: (Londoño, 2006)

### 2.3.16. Medición del polvo por el método gravimétrico

a) Método de ensayo para la recolección de muestras de partículas suspendidas

De acuerdo con Carrasco (2004), el método consiste en hacer pasar a través de un filtro un caudal de aire determinado, usando para ello un equipo portátil, que se le coloca al trabajador. La concentración de las partículas suspendidas (mg/m<sup>3</sup>) en el ambiente de trabajo, son calculadas a partir del volumen de aire aspirado y la cantidad de polvo que es recolectado en el filtro.

Para la toma de muestra de polvo es necesario contar con los siguientes equipos:

- Unidad de captación.
- Filtro de 37 mm de diámetro que cumpla con las características adicionales indicadas.
- Porta filtro de polietileno de dos o tres cuerpos de 37 mm de diámetro interior.
- Soporte metálico o de celulosa para filtro de 37 mm de diámetro.
- Ciclón de Nylon o equivalente de 10 mm de diámetro interior, con una salida para su conexión a la entrada de la porta filtro.
- Dispositivo con adaptador para el acople del ciclón al porta filtro.
- Tubo flexible de polietileno de 6,4 mm de diámetro interior y de 1 m de longitud.
- Bomba de aspiración portátil para toma de muestra de tipo personal, que garantice un intervalo de caudal de aire de 1 L/min a 2,5 L/min.
- Medidor de flujo que permita determinar el caudal con una presión de  $\pm 5\%$ .
- Un regulador de flujo.

b) Los pasos para la medición del polvo suspendido son:

- Preparación de la unidad de captación.
- Calibración del equipo de medición de flujo.
- Preparación del ciclón y conexiones.
- Toma de muestra.
- Análisis de la muestra.

c) Determinación de la concentración

Para calcular el volumen de aire aspirado, se hace uso de la siguiente expresión:

$$V = Q * t \quad \text{ec.7}$$

Donde:

$V$  : Volumen de aire aspirado (pie<sup>3</sup>)

$Q$ : Caudal de aire aspirado (pie<sup>3</sup>/min)

$t$  : Sumatoria de los intervalos (min)

Para el cálculo de la concentración se utiliza la siguiente ecuación:

$$C = \frac{(P_f - P) * 10}{V(2.5)} \quad \text{ec.8}$$

Donde:

$C$  : Concentración, (lb/pie<sup>3</sup>)

$P$  : Peso final del filtro (lb)

$P_f$ : Peso inicial del filtro (lb)

$V$  : Volumen de aire aspirado (pie<sup>3</sup>)

### **2.3.17. Fundamentos de la granulación**

Existen algunas características deseadas en la acumulación de polvos granulados, de las cuales se mencionan a continuación:

- Los granos deben poseer un rango de tamaño definido.
- Una proporción adecuada de elementos en función de la formulación realizada.
- Suficiente fuerza para resistir manejo mecánico sin una ruptura significativa de los granos individuales.
- No se compacte severamente durante su transporte o almacenamiento.
- Fluya libremente para facilidad en la carga y descarga de vagones, barcas y del propio equipo de aplicación.

La granulación óptima solo se puede obtener con un seguimiento idóneo del granulador. Además, se debe producir una cantidad de finos y gruesos que se encuentren dentro de los valores que pueden ser manejables por los equipos. En el caso contrario, estos se estarían sobrecargando, con el peligro de que se genere taponamiento o descontrol durante la operación.

### **2.3.18. Análisis granulométrico por tamizado**

Es la proporción de partículas según los tamaños de abertura de los tamices utilizados y expresados como porcentajes de la masa, que pasan o son retenidos en los tamices de abertura seleccionados, con relación a la masa total de la muestra. La práctica se trata de someter una porción de muestra seca a un proceso de tamizado, con la finalidad de determinar las especificaciones de las partículas que la componen. La distribución de los tamaños es expresada en términos del porcentaje de masa, que pasa o se retiene en cada tamiz.

### 2.3.19. Clasificación del material particulado

El material particulado es una combinación de partículas sólidas finas y gotas líquidas suspendidos en el aire. Se presenta de dos formas: sólido en forma de polvo, ceniza u hollín; y líquido como aerosol o sólidos suspendidos en mezclas líquidas. Su tamaño varía de 0.01 a 100.0, se divide en polvo fino (menor de 100 de diámetro), polvo grueso (mayor de 100 de diámetro), vapores (0.011-0.00 de diámetro) y neblinas (0.1-10.0 de diámetro). (Geovanna & Angel, 2015). En la figura 12 podemos observar la distribución de tamaño de partículas.

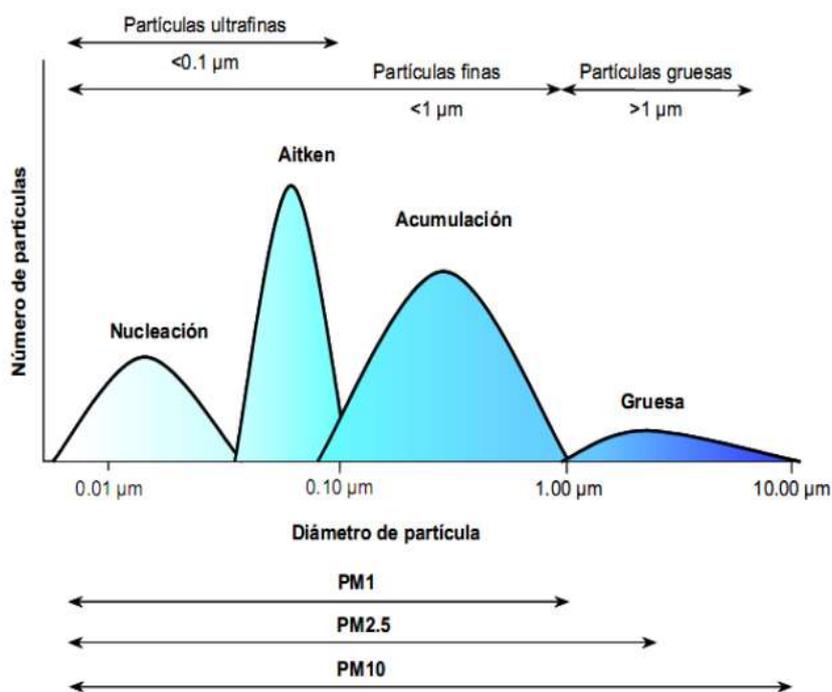


Figura 12 Distribución de tamaño de partículas

Fuente: (Viana, 2003)

#### 1) Partículas gruesas (PM10)

Se refiere al grupo de partículas de diámetro menor a las de 10 micras. Por lo general estas partículas poseen su origen en procesos de erosión de la superficie terrestre o forman parte de las emisiones marinas y debido a su tamaño suelen alcanzar la superficie de sedimentación.

Las partículas más grandes (de 10 a 100) se generan en forma mecánica; algunas provienen de fuentes industriales. La mayor parte de estas partículas son removidas gracias a la sedimentación por la gravedad. Las PM10 pueden permanecer en la atmósfera desde minutos hasta horas y pueden llegar hasta una distancia de 10 Km.

## **2) Partículas finas (PM 2,5)**

Son las partículas con un diámetro inferior a 1 o inferior a 2,5 respectivamente a las partículas finas se las determinan como PM2.5. En general son las consideradas más nocivas para la salud humana, además de su composición se encuentran elementos tóxicos, como metales pesados. Las partículas finas lo constituyen cenizas, partículas orgánicas y partículas generadas por condensación de otros contaminantes en la atmosfera. Al ser tan pequeñas, su tiempo de resistencia en suspensión en la atmosfera es elevado y pueden ser transportados a miles de kilómetros de su origen.

Los ciclones son diseñados para muchas aplicaciones. Generalmente, los ciclones por sí solos no son idóneos para regir con las reglamentaciones más estrictas en el ámbito de contaminación del aire, pero tienen un propósito importante como pre limpiadores antes del equipo de control final más caro, tal como los precipitadores electrostáticos o los filtros de tela. Además del uso en tareas de control de la contaminación, los ciclones se emplean en diversos tipos de procesos, como, por ejemplo, para la recuperación y reciclado de productos alimenticios y materiales de proceso tales como los catalizadores. Disminución de material particulado en calderas, retiro del aire en redes de procesos neumáticos.

### **2.3.20. Aplicaciones industriales**

Los ciclones se usan ampliamente para recolectar materiales útiles o vendibles después de las operaciones de secado por pulverización en las industrias alimentaria y química y después de las operaciones de molienda, molienda y cocción en las industrias química y de minerales.

También encontramos ciclones para aplicaciones de mezcla de polvos en el procesamiento de alimentos. Son diversos y diversos, con ingredientes y adiciones tales como mezcla de granos pre triturados, ingredientes de mezcla de harina, preparación de mezclas para mezclas de pudín y confitería, formulaciones de preparación de bebidas, varias instantáneas, productos deshidratados embebidos, etc.

En las industrias de metales ferrosos y no ferrosos, los ciclones se usan a menudo como el primer paso para controlar las emisiones de PM en las plantas. Sinterización (plantas que producen aglomerados por calentamiento sin fusión), tostadores (tipos de hornos para calentar materiales inorgánicos que tienen acceso al aire y cambian sin fundirse), hornos (tipos de hornos de calcinación)

El ciclón elimina la materia particulada del proceso de descomposición del fluido, lo que facilita el reciclaje del catalizador. Las unidades de combustión industriales y comerciales que usan madera y / o combustibles fósiles generalmente usan múltiples ciclones (generalmente después de torres de absorción húmeda, PE o filtros de tela) y son más eficientes que un solo ciclón. Recolecte PM fino (<2.5 µm) con. En algunos casos, la ceniza recolectada puede reinyectarse en la cámara de combustión para mejorar la eficiencia del control de la materia particulada. En casi todos los casos, el

material separado de las partículas más pequeñas se envía a la línea de proceso donde se retira o reinyecta (para madera) para mejorar la combustión.

### 2.3.21. Características del diseño

Para llevar a cabo un buen diseño y obtener todos los requisitos necesarios, es decir, el ciclón cumple con el propósito para el que fue diseñado, como la separación de núcleos de trigo, harinas, almidones, la separación de contaminantes. Los requisitos de diseño deben ser muy claros, con especial énfasis en esto. Pueden surgir problemas debido a una mala selección, como el peso específico del material a separar.

Los ciclones generalmente están diseñados para cumplir con ciertos límites de caída de presión bien definidos. En instalaciones normales que funcionan a presión atmosférica, los límites de los ventiladores determinarán con mayor frecuencia la caída de presión máxima permitida correspondiente a las velocidades de entrada del ciclón en el rango de 15.2 a 27.4 m / s. Por lo tanto, los ciclones generalmente están diseñados para una velocidad de entrada de 22 m / s, pero no tiene que seguir estrictamente este valor.

Con la separación de partículas, la eficiencia de recolección cambia solo relativamente poco con las condiciones de operación cambiantes. El principal elemento de diseño utilizado para controlar la eficiencia de la cosecha es el diámetro del ciclón. Un ciclón de diámetro pequeño que funciona con una caída de presión constante logra la mayor eficiencia.

Sin embargo, los ciclones de diámetro pequeño requieren múltiples unidades en paralelo para lograr la capacidad especificada. En tales casos, los ciclones individuales descargan el polvo en una tolva receptora común. El diseño final implica una compensación entre la eficiencia de la recolección y la complejidad del instrumento. Es costumbre diseñar un solo ciclón para una capacidad dada y usar múltiples unidades en paralelo solo si la eficiencia de cosecha esperada es insuficiente para una sola unidad. En la figura 13 podemos observar los ciclones en serie.



*Figura 13* Ciclones en serie

Fuente: (Manuntecaco e suprimentos, 2018)

Los ciclones en serie se justifican en aquellos casos en que el polvo tiene las siguientes propiedades:

- Cuando tiene una distribución amplia de tamaños, incluyendo una porción importante de partículas más finas que  $15\ \mu\text{m}$ , en cuyo caso se utiliza un solo ciclón de diámetro grande para recoger la fracción de partículas gruesas y reducir la carga para una unidad con un diámetro más pequeño.
- Cuando tiene una tendencia marcada a flocularse en el equipo que precede a los ciclones, al igual que en estos mismos.

*a) Elementos de recepción y traslado*

Los elementos responsables de recibir y transportar el material particulado se encuentran en la parte inferior del cono, y la tolva generalmente está posicionada para recibir el material particulado recogido. La tolva debe ser lo suficientemente grande como para evitar que el eyector se abra con demasiada frecuencia. Debido a que el aire que ingresa desde el fondo del ciclón puede causar la resuspensión del material recolectado.

Para la extracción continua de polvo acumulado, se utilizan comúnmente válvulas de estrella giratorias, válvulas de doble cierre, compuertas deslizantes manuales, tornillos sin fin y válvulas de contrapeso. Como se muestra en la figura 14.



*Figura 14* Sistema de descarga de un ciclón

Fuente: (Secado Spray, 2011)

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

El desarrollo de la investigación requiere la aplicación correcta de la metodología de acuerdo con los datos a obtener y el fin de la investigación. La investigación exploratoria permite desarrollar el primer acercamiento al problema de investigación permitiendo tener un contexto del escenario de la problemática.

La investigación descriptiva, permite ahondar en el objeto de estudio llegando a obtener datos característicos que permitan identificar la causa principal y solución a proveer. La investigación experimental, se basa en el método el que el investigador infiere en el comportamiento de la variable con el objetivo de determinar comportamientos, en esta se desarrollan muestras y se contraponen con la hipótesis (Psicología y mente, 2019).

Otra metodología que permite usarse como soporte para la investigación es la documental o bibliográfica la cual permite obtener de datos confiables de fuentes investigativas que ayuden al proceso investigativo. En ella se pueden obtener datos que el investigador no puede realizar por alguna limitación existente.

Todas las metodologías presentadas responden a un objetivo, pero su aplicación solo depende su fin y utilidad en la problemática a estudiar. En los siguientes temas se desarrollarán la ruta metodológica que el proyecto deberá tomar con el fin de realizar el estudio y diseño de un captador ciclónico de material particulado para una empresa productora de libros en la ciudad de Guayaquil.

#### **3.1. Enfoque de la investigación**

Para los métodos seleccionados, los enfoques investigativos se centran en el tipo de dato e información a obtener.

El enfoque cuantitativo, permite realizar revisiones numéricas sobre los desperdicios y promedios de tiempos para determinar los niveles de contaminación y de material particulado en el área de producción de la empresa objeto de estudios. Los datos se ponderarán y calcularán para determinar los resultados de los procesos actuales de forma objetivo y libre de sesgo. También se analizarán las percepciones de los colaboradores los cuales sus resultados se ponderarán para determinar las causas a mejorar.

El enfoque cualitativo, permite ahondar en el proceso de investigativo el cual permitirá determinar a detalle las actividades en la producción de los libros, actores del proceso y flujo para determinar lo que está ocurriendo en la práctica y donde se produce mayo material particulado. El primer vistazo del escenario de estudio se realizará de forma cualitativa para tener un vistazo global de los procesos fuera del análisis de sus resultados de eficiencia y percepción de los trabajadores.

### **3.2.Tipo de investigación**

Teniendo en cuenta el problema identificado y la disponibilidad de las herramientas de esta investigación, se hizo uso de la investigación aplicada debido a que la tecnología que presenta el diseño está orientado a contribuir con el confort de la planta, de la misma manera este tipo de investigación tiene por objetivo dar respuesta a un determinado problema o planteamiento, enfocándose en la búsqueda y consolidación de conocimiento para la aplicación y, por ello, para el enriquecimiento del desarrollo cultural y científico del investigador.

### **3.3.Métodos**

#### **3.3.1. Deductivo – Inductivo**

La inducción y la deducción se complementan mutuamente: mediante la inducción se establecen generalizaciones a partir de lo común en varios casos, luego a partir de esa generalización se deducen varias conclusiones lógicas, que mediante la inducción se traducen en generalizaciones enriquecidas, por lo que forman una unidad dialéctica. (Rodríguez & Pérez, 2017)

Mediante la inducción se hace un razonamiento de casos particulares para pasar a un conocimiento general donde se refleje la relación común que hay en los factores individuales que inciden en la generación del material particulado en la empresa objeto de estudio. Posterior a ello mediante la deducción se obtienen las conclusiones prácticas relativas al comportamiento de los casos particulares.

#### **3.3.2. Analítico - Sintético**

El método analítico-sintético utiliza el análisis y la síntesis como unidad para que entre ambos y mediante razonamientos y argumentaciones, se pueda llegar a la verdad. El análisis se produce mediante la síntesis de las propiedades y características de cada parte del tema estudiado, mientras que la síntesis es realizada sobre la base de los resultados de análisis. (Rodríguez & Pérez, 2017)

Este método es empleado para facilitar el análisis y la clasificación de la información recabada de las fuentes que proporcionaron los datos acerca de la empresa y su situación actual respecto a la generación de material particulado que podría de alguna manera incidir en la salud de sus trabajadores o en el funcionamiento óptimo de la misma.

### **3.4.Diseño del sistema de extracción**

El tipo de diseño a seleccionar se lo emplea en base a las micras del papel sus características y el tipo de eficiencia y capacidad que se requiere: Como se lo ha

mencionado existen tres tipos de ciclones de la familia de entrada tangencial y descarga axial.

Para poder obtener un buen diseño con un alto rendimiento que pueda cumplir con los objetivos establecidos que es la separación de material particulado del polvillo del papel, debido a que si no se escoge el ciclón adecuado puede surgir grades inconvenientes.

Por lo general los ciclones se diseñan y se construyen en base que satisfagan las limitaciones que presentan factores como la caída de presión. Los ciclones son uno de los sistemas que generan menos costos en la recolección de polvillo, pueden ser diseñados de un sinnúmero de materiales y las presiones de operaciones suelen ser muy altas.

### **3.4.1. Análisis del material particulado a remover**

En la empresa Medios Públicos se tiene una maquina Muller Martini que es de la sección encolado y de gran importación en la fabricación de libros, durante la realización de libros produce grandes cantidades de partículas debido a la gran velocidad que es procesado el papel, por tal motivo se esparcen en el medio ambiente. Estas partículas son conocidas como polvillo que se acumulan a la atmosfera y se mezclan con otros componentes del ambiente siendo este perjudicial para el personal que desempeña sus actividades dentro de la empresa. La inhalación de este tipo de partículas produce enfermedades respiratorias, una de la causa menor puede ser una rinitis o una inflamación de la membrana mucosa hasta una bronquitis en cierto caso. (ISTAS, 2019)

En la empresa Medios Públicos se pudo denotar que la expansión de material particulado emitido por el papel se da en un gran porcentaje en los primeros procesos de fabricación de libros esto se deja ver en la figura 15.



*Figura 15 Polvillo de papel*

Fuente: Autor

### 3.5. Selección del tipo de ciclón

De acuerdo con las características de las familias de los ciclones de entrada tangencial y descarga axial se seleccionó el ciclón de alta eficiencia el cual es idóneo para partículas que tienen más de 5  $\mu\text{m}$ . En la figura 16 se puede observar el grosor de papel en milésimas de pulgadas lo cual nos ayudara a obtener las micras del papel.



Figura 16 Espesor del papel

Fuente: Autor

Para la fabricación de libros se utiliza un papel de 70  $\text{gr/m}^2$  con un espesor de 3.5 milésimas de pulgada a través de este dato se puede obtener las micras del papel mediante la siguiente ecuación:

$$0.005 \times 0.035" \times \frac{25.4 \text{ mm}}{1"} = 0.0444 \text{ mm} \times \frac{1000 \mu\text{m}}{1\text{mm}} = 44.4\mu\text{m}$$

Los datos obtenidos nos ayudan a escoger el tipo de ciclón correcto para la eliminación de partículas. En este caso seleccionamos el diseño de entrada tangencial y descarga de la familia de alta eficiencia debido a que la eficiencia de remoción es de un 80-99 % sobre las partículas de 44.4 micrómetros, estas son las partículas que presentan en la muestra inicial.

En la figura 17 se puede observar la eficiencia del ciclón de alta eficiencia con referencia al diámetro de la partícula a remover, la gran ventaja para el diseño de esto ciclones se da que presenta una alta eficiencia y una baja caída de presión.

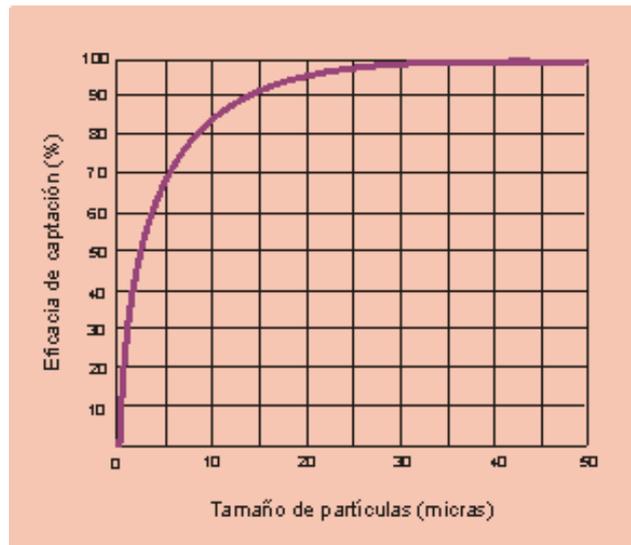


Figura 17 Curva de eficiencia de un ciclón de alta eficiencia

Fuente: (Chemical Technology Lab)

Se ha seleccionado el ciclón de entrada tangencial y descarga axial de tipo de alta eficiencia Stairmand se lo escogió debido a que es idóneo para una alta eficacia de separación de material particulado y se ajustó a las necesidades de la empresa. Se toma en cuenta las características de los ciclones de alta capacidad para su diseño correspondiente.

La nomenclatura para utilizar se la puede observar en la tabla 8 la cual se observa de la siguiente manera.

Tabla 8 Nomenclatura de un ciclón

Descripción	Abreviatura
<b>Diámetro del ciclón</b>	Dc
<b>Altura de entrada tangencial</b>	a
<b>Ancho de entrada tangencial</b>	b
<b>Altura de salida</b>	s
<b>Diámetro de salida</b>	Ds
<b>Altura parte cilíndrica</b>	h
<b>Altura parte cónica</b>	z
<b>Altura total del ciclón</b>	H
<b>Diámetro salida partículas</b>	B

Elaboración propia

Fuente: (Londoño, 2006)

En la figura 18 se observa cada una de las dimensiones a calcular del ciclón de alta capacidad Stairmand.

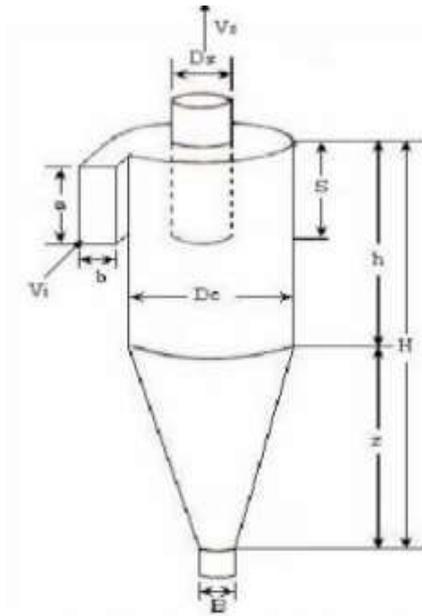


Figura 18 Diseño de un ciclón de alta eficiencia

Fuente: (Londoño, 2006)

### 3.6. Cálculos de las medidas del captador de partículas

Los cálculos por realizar para determinar las dimensiones del sistema de extracción de partículas se lo deben formular de forma cautelosa y con muchos detalles, una de las principales normativas a considerar son las necesidades de la empresa Medios Públicos.

Se consideran variables que permiten diseñar un sistema eficaz por tal motivo se detallan los parámetros de suma importancia los cuales son:

**Caudal de aire:** Por lo general los caudales son predeterminados para el diseño de un ciclón este tiene un rango entre 0.5 a 12 m<sup>3</sup>/s.

**Diámetro del ciclón:** Es uno de los principales factores para cambiar la eficacia del sistema, mientras el diámetro es de menor dimensión y si su caída de presión presenta un cambio se da un incremento de eficiencia.

**Temperatura:** La temperatura con la que trabaja es la que se encuentra presente en el ambiente por lo general a 28 grados centígrados que es la que se presenta en la ciudad de Guayaquil y se limita en su interior por los materiales de construcción.

**Velocidad de entrada:** la velocidad de entrada es seleccionado debido a los datos técnicos de ciclones que va de 15 a 27 m/s.

**Concentración de partículas:** Las concentraciones de partículas tienen un rango entre 2 a 230 g/m<sup>3</sup> dependiendo del tipo de ciclón a diseñar.

### 3.6.1. Diámetro del ciclón

El ciclón de material particulado se lo puede realizar con diferentes tipos de materiales dependiendo de la utilización y al ambiente en el que estará funcionando. En este caso se opta por recomendar un acero inoxidable AISI 304, este tipo de material es idóneo por ser muy eficiente en la corrosión y los ataques químicos del medio ambiente con espesores de 0,40 a 15mm y presenta un bajo costo en el mercado. (Dipac, 2016)

Para realizar el cálculo del diámetro del ciclón se debe de seleccionar una velocidad de entrada, por lo general esta se encuentra en un intervalo de 15,2 a 17,4 m/s. La velocidad de entrada que emplearemos será de 25m/s de acuerdo con los datos técnicos de la empresa. De igual manera se definió el valor del caudal de 5,8 m<sup>3</sup>/s, con estos datos se determinó el diámetro del ciclón mediante la siguiente ecuación:

$$A_{De} = \frac{Q}{V_e}$$

Estableciendo que:

$A_{De}$ : Área de entrada del ducto (m<sup>2</sup>)

$V_e$ : Velocidad de entrada (m/s)

De acuerdo con las características establecidas en la tabla 6 se tomó los datos de referencia para la altura de entrada y ancho de entrada arrojando la siguiente ecuación:

Altura de entrada del ciclón de alta capacidad:

$$a : 0.5 D_c$$

Ancho de entrada del ciclón de alta capacidad:

$$b : 0.2 D_c$$

Despejando e igualando el área se obtiene las siguientes ecuaciones:

$$0,5 D_c \times 0,2 D_c = \frac{Q}{V_e} = \frac{5,8 \text{ m}^3/\text{s}}{25 \text{ m/s}} = 0,23 \text{ m}^2$$

$$0,5 D_c \times 0,2 D_c = 0,23 \text{ m}^2$$

Obteniendo la ecuación:

$$D_c = \sqrt{\frac{0,23 \text{ m}^2}{0,1}} = 1,51 \text{ m}$$

El diámetro obtenido cumple con los parámetros establecidos, para la fabricación de un ciclón de entrada tangencial y descarga axial de alta eficiencia. En la figura 19 se puede observar el diámetro del ciclón.

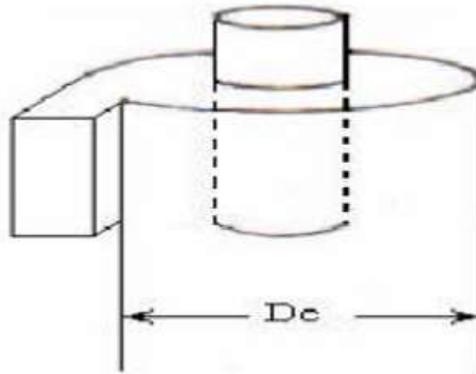


Figura 19 *Diámetro del ciclón*

Fuente: (Hoffmann, Groot, Peng, Dries, & Kater, 2001)

### 3.6.2. Dimensiones del ciclón de partículas

Con el diámetro obtenido del ciclón se pueden obtener las diversas medidas para el ciclón de partículas.

#### *e) Altura y ancho de entrada*

Se utiliza la tabla acerca las características del ciclón de la alta capacidad para dimensionar el ancho y altura de entrada.

La altura de entrada se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$\frac{a}{D_c} = 0,5$$

Determinando que:

$a$  : Altura de entrada (m)

$D_c$  : Diámetro del ciclón (m)

Obteniendo:

$$a = 0,5 \times 1,57 \text{ m} = 0,785 \text{ m}$$

El ancho del ciclón de partículas se obtiene de la ecuación:

$$\frac{b}{D_c} = 0,2$$

Determinando que:

$b$  : Ancho de entrada (m)

$D_c$ : Diámetro del ciclón (m)

Obteniendo:

$$b = 0,2 \times 1,57 \text{ m} = 0,314 \text{ m}$$

En la figura 20 se puede observar las dimensiones del ancho y alto de entrada del ciclón.

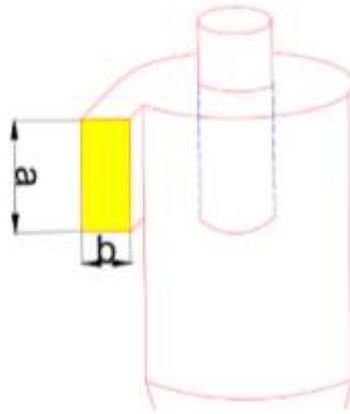


Figura 20 Ancho y alto de entrada del ciclón

Fuente: (Lobato & Castillo, 2015)

**f) Altura y diámetro de salida del ciclón**

La altura de salida del ciclón se la calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\frac{S}{D_c} = 0,5$$

Determinando que:

$S$  : Altura de salida del ciclón (m)

$D_c$  : Diámetro del ciclón (m)

Obteniendo:

$$S = 0,5 \times 1,57m = 0,785 m$$

En la figura 21 se puede observar la altura de salida del ciclón.

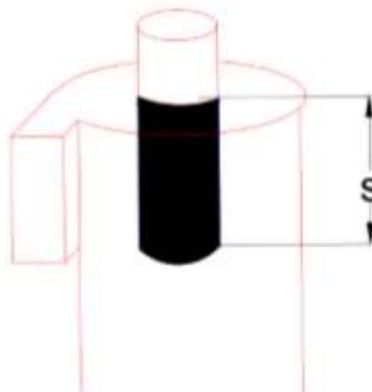


Figura 21 Altura de salida del ciclón

Fuente: (Lobato & Castillo, 2015)

El diámetro de salida del ciclón se da debido a la ecuación:

$$\frac{D_s}{D_c} = 0,5$$

Determinando que:

$D_s$  : Diámetro de salida del ciclón (m)

$D_c$  : Diámetro del colon (m)

Obteniendo:

$$D_s = 0,5 \times 1,57m = 0,785m$$

El diámetro de salida del ciclón lo posemos observar en la figura 22.

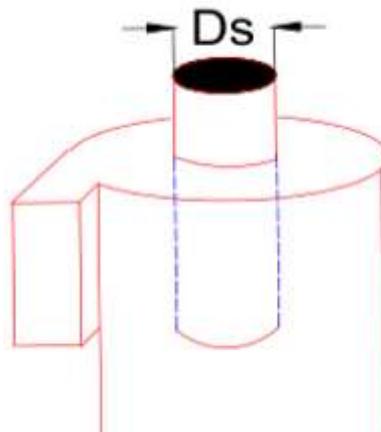


Figura 22 Diámetro de salida del ciclón

Fuente: (Lobato & Castillo, 2015)

### ***g) Altura de la parte cilíndrica y cónica del ciclón***

La altura de la parte cilíndrica del ciclón se da a partir de la siguiente ecuación:

$$\frac{h}{D_c} = 1,5$$

Determinando que:

$h$  : Altura de la parte cilíndrica del ciclón (m)

$D_c$  : Diámetro del ciclón (m)

Obteniendo:

$$h = 1,5 \times 1,57m = 2,355m$$

En la figura 23 se puede observar la altura de la parte cilíndrica del ciclón.

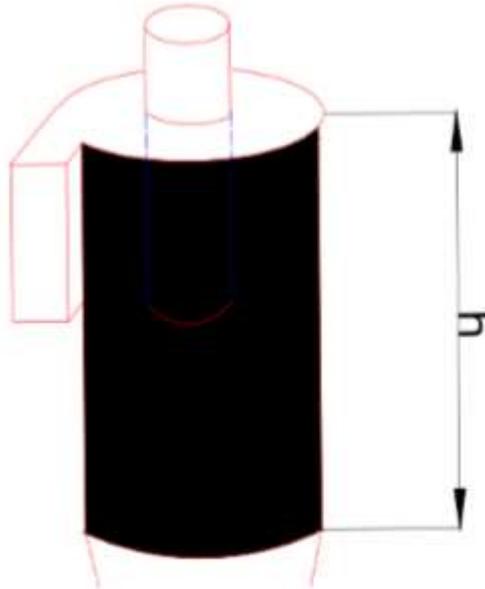


Figura 23 Altura de la parte cilíndrica del ciclón

Fuente: (Lobato & Castillo, 2015)

La altura de la parte cónica se la obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$\frac{z}{D_c} = 2,5$$

Determinando que:

$z$  : Altura de la parte cónica del ciclón (m)

$D_c$  : Diámetro del ciclón (m)

Obteniendo:

$$z = 2,5 \times 1,57m = 3,925m$$

En la figura 24 se puede observar la altura de la parte cónica del cilindro:

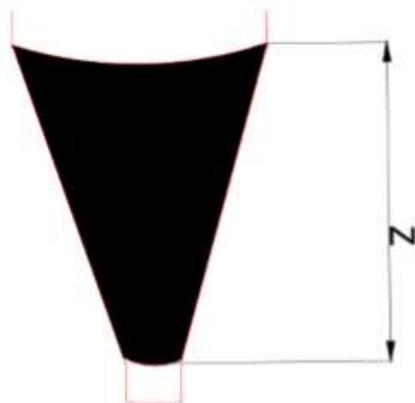


Figura 24 Altura de la parte cónica del cilindro

Fuente: (Lobato & Castillo, 2015)

***h) Altura total del ciclón y diámetro de salida de partículas***

La altura total del ciclón se da por la siguiente ecuación:

$$\frac{H}{D_c} = 4$$

Determinando que:

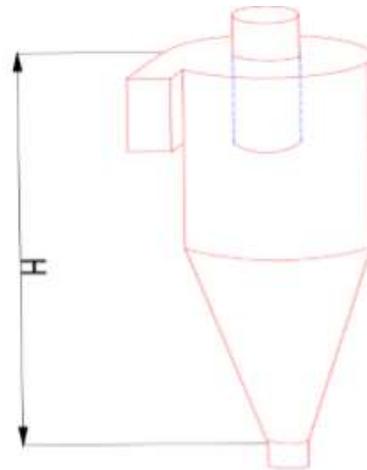
$H$  : Altura total del ciclón (m)

$D_c$  : Diámetro del ciclón (m)

Obteniendo:

$$H = 4 \times 1,57m = 6,28m$$

En la fig. 25 se puede observar la altura total del cilindro:



*Figura 25* Altura total del cilindro

Fuente: (Lobato & Castillo, 2015)

El diámetro de salida de las partículas se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{B}{D_c} = 0,375$$

Determinando que:

$B$  : Diámetro de salida de las partículas (m)

$D_c$  : Diámetro del ciclón (m)

Obteniendo:

$$B = 0,375 \times 1,57m = 0,588m$$

En la fig. 26 se visualiza el diámetro de salida del ciclón.



Figura 26 Diámetro de salida del ciclón

Fuente: (Lobato & Castillo, 2015)

Los valores adicionales de un ciclón de alta eficiencia son tomados de la tabla 6 de las características del ciclón de alta eficiencia tipo Stairmand los cuales son:

Factor de configuración:

$$G = 551,22$$

Número de cabezas de velocidades:

$$NH = 6,4$$

Numero de vórtices:

$$N = 35,5$$

En la tabla 9 podremos observar todos los datos obtenidos acerca las medidas del ciclón de partículas a diseñar.

Tabla9 Medidas del ciclón

Abreviatura	Característica	Medida (m)
D <sub>c</sub>	Diámetro del ciclón	1,57
A	Altura de entrada	0,785
B	Ancho de entrada	0,314
S	Altura de salida	0,785
D <sub>s</sub>	Diámetro de salida	0,785
H	Altura parte cilíndrica	2,355
Z	Altura parte cónica	3,925
H	Altura total del ciclón	6,28
B	Diámetro de salida de la partícula	0,588
G	Factor de configuración	551,22
NH	Número de cabezas de velocidad	6,4
N	Numero de vórtices	35,5

Elaboración propia

### 3.7.Cálculo de la eficiencia del ciclón

Para realizar el cálculo de la eficiencia de un ciclón se debe de analizar u análisis entre la velocidad inicial o la velocidad de entrada del ciclón con respecto a la velocidad de saltación del material articulado, si al realizar el análisis y el resultado es menor a 1.35 quiere decir que no existe una resuspensión del material particulado dentro del ciclón, para realizar este análisis de sebe de calcular la velocidad equivalente del material particulado y así partir en la cálculo de la velocidad de saltación.

#### 3.7.1. Velocidad equivalente

La velocidad equivalente es aquella con la que las partículas ingresan al ciclón, la corriente de gas que transporta el polvillo es el aire, se tiene en cuenta factores tales como viscosidad, densidad del material particulado, se trabaja a la temperatura ambiente de Guayaquil de 28 grados centígrados. Los datos del material particulado son:

$$\rho = \text{densidad del aire } 1,22 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\rho_P = \text{densidad del papel } 689,65 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\mu = \text{viscosidad del gas } 1,9 \times 10^{-5} \frac{Kg}{ms}$$

La velocidad equivalente se la determina mediante la siguiente ecuación:

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 \times g \times \mu \times (\rho_P - \rho)}{3 \times \rho^2}}$$

Detallando que:

$W$  : Velocidad equivalente (m/s)

$g$  : Gravedad ( $m/s^2$ )

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 1,9 \times 10^{-5} \text{ Kg/ms} \times (689,65 \text{ Kg/m}^3 - 1,22 \text{ Kg/m}^3)}{3 \times 1,22 \text{ Kg/m}^3}}$$

$$W = 0,519 \text{ m/s}$$

### 3.7.2. Velocidad de saltación

Un factor de suma importancia es la velocidad de entrada debido si a que la velocidad es baja no permite que la eficiencia sea de un alto porcentaje debido a que aprovecha la neutralización mediante la fuerza centrífuga, para esto se tiene la velocidad de saltación lo cual ayuda a la suspensión de las partículas ya almacenadas dentro del ciclón.

La velocidad de saltación del sistema de extracción de partículas toma datos como son el diámetro de entrada, velocidad inicial, entre otros aspectos. La ecuación para determinar la velocidad de saltación es:

$$V_s = \frac{4.9 \times W \times K_b^{0.4} \times D_c^{0.067} \times \sqrt[3]{V_i^2}}{\sqrt[3]{1 - K_b}}$$

Relación del ancho de entrada con respecto al diámetro del ciclón.

$$K_b = \frac{b}{D_c} = \frac{0,785m}{1,57m} = 0,5$$

Donde:

$V_s$  : Velocidad de saltación (m/s)

$W$  : Velocidad equivalente (m/s)

$Kb$  : Relación del ancho de entrada con respecto al diámetro del ciclón

$V_i$  Velocidad de entrada del ciclón (m/s)

Obteniendo el valor de:

$$V_s = \frac{4.9 \times 0,519m/s \times 0,5^{0.4} \times 1,57^{0,067} \times \sqrt[3]{25^2}}{\sqrt[3]{1 - 0,5}}$$

$$V_s = 22,06 m/s$$

### 3.7.3. Relación entre velocidades

La relación de velocidades se basa en un principio de relación el cual estimula que si el resultado es inferior a 1,35 no presenta una resuspensión de las partículas y se da por medio de la siguiente ecuación:

$$\frac{V_i}{V_s} = \frac{25}{22,06} = 1,13$$

Al obtener un valor de  $1,13 < 1,35$  se determina que no existe una resuspensión de material particulado dentro del ciclón de partículas

### 3.7.4. Volumen del ciclón evaluado a la salida

En este aspecto se emplea el volumen de la parte cilíndrica del ciclón de partículas menos el volumen de salida mediante la siguiente ecuación:

$$V_{sc} = \frac{\pi}{4} \left( S - \frac{a}{2} \right) \times (D_c^2 - D_s^2)$$

Detallando que:

$V_{sc}$  : Volumen del ciclón de salida ( $m^3$ )

$S$  : Altura de salida del sistema de extracción de partículas (m)

$D_c$  : Diámetro del ciclón (m)

$D_s$  : Diámetro de salida (m))

Reemplazando los datos obtenemos lo siguiente:

$$V_{sc} = \frac{\pi}{4} \left( 0,785m - \frac{0,785m}{2} \right) \times ((1,57m)^2 - (0,785m)^2)$$

$$V_{sc} = 0,53m^3$$

En la figura 27 se deja ver el volumen del ciclón evaluado de salida.

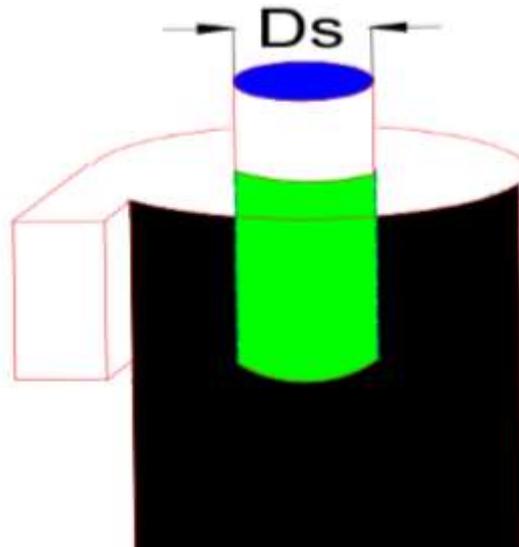


Figura 27 Volumen del ciclón evaluado de salida

Fuente: (Lobato & Castillo, 2015)

### 3.7.5. Longitud natural del ciclón

Es la distancia tomada desde la altura superior del ciclón hasta el inicio del vórtice, la obtenemos mediante la siguiente ecuación:

$$L = 2,3 \times D_s \times \sqrt[3]{\frac{Dc^2}{a \times b}}$$

Detallando que:

$L$  : Longitud natural del ciclón (m)

$H$  : Altura total del ciclón (m)

$S$  : Altura del canal de salida del ciclón (m)

Se debe de cumplir la siguiente condición:

$$L < H - S$$

Considerandos estos aspectos obtenemos la longitud natural del ciclón arrojando como resultado lo siguiente:

$$L = 2,3 \times 0,785m \times \sqrt[3]{\frac{0,785^2}{0,785 \times 0,314}}$$

$$L = 2,45m$$

Realizamos la condición para garantizar que se emplee el vórtice.

$$L < 6,28 - 0,785$$

$$2,45 < 5,46$$

Al realizar la condición se pudo verificar que, si la cumplió, comparando que la longitud natural del ciclón sea inferior a la relación calculada entre la altura total del ciclón y la altura de este esto se puede observar en la figura 28.

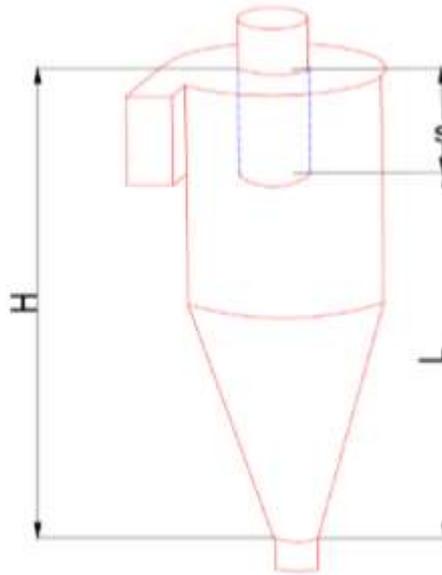


Figura 28 Longitud natural del ciclón

Fuente: (Lobato & Castillo, 2015)

### 3.7.6. Factor de dimensiones lineales

El factor de dimensiones lineales se lo obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$KL = Dc - (Dc - B) \times \frac{S + L - h}{z}$$

Detallando que:

$Dc$  : Diámetro del ciclón (m)

$B$  : Diámetro de salida de partículas (m)

$S$  : Altura del ducto de salida (m)

$L$ : Longitud natural del ciclón (m)

$h$  : Altura de la parte cilíndrica del ciclón (m)

$z$  : Altura de la parte cónica del ciclón (m)

Reemplazando los valores obtenemos:

$$KL = 1,57m - (1,57m - 0,58875m) \times \frac{0,785m + 2,45m - 2,355m}{3,925m}$$

$$KL = 1,35m$$

En la figura 29 observamos las dimensiones lineales.

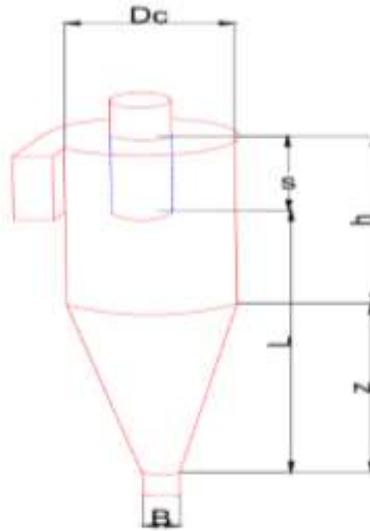


Figura 29 Factores de las dimensiones lineales

Fuente: (Lobato & Castillo, 2015)

### 3.7.7. Volumen del ciclón evaluado sobre la longitud natural

El volumen de ciclón evaluado sobre la longitud natural del sistema se lo obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$VR = \frac{\pi}{4} \times Dc^2 \times (h - S) + \frac{\pi}{12} \times Dc^2 \times (L + S - h) \times \left[ 1 + \frac{KL}{Dc} + \left( \frac{KL}{Dc} \right)^2 \right] - \frac{\pi}{4} \times (Ds)^2 \times L$$

Detallando que:

$Dc$  : Diámetro del ciclón (m)

$h$  : Altura de la parte cilíndrica (m)

$S$  : Altura del ducto de salida (m)

$L$  : Longitud natural del ciclón (m)

$KL$  : Factor de dimensiones lineales

$Ds$  : Diámetro de salida del ciclón (m)

Reemplazando los valores obtenemos:

$$VR = \frac{\pi}{4} \times 1,57^2 \times (2,3555 - 0,785) + \frac{\pi}{12} \times 1,57^2 \times (2,45 + 0,785 - 2,355) \times \left[ 1 + \frac{1,35}{1,57} + \left( \frac{1,35}{1,57} \right)^2 \right] - \frac{\pi}{4} \times (0,785)^2 \times 2,45$$

$$VR = 3,32 \text{ m}^3$$

### 3.7.8. Factor dimensional de las proporciones volumétricas del ciclón

El factor dimensional de las proporciones volumétricas del ciclón se da mediante la siguiente ecuación:

$$Kc = \frac{V_{sc} + \frac{VR}{2}}{Dc^3}$$

Detallando que:

$V_{sc}$  : Volumen del ciclón evaluado sobre la salida ( $m^3$ )

$VR$  : Volumen del ciclón evaluado sobre la longitud natural ( $m^3$ )

$Dc$  : Diámetro del ciclón (m)

Reemplazando los valores obtenemos:

$$Kc = \frac{0,53 + \frac{3,32}{2}}{1,57^3}$$

$$Kc = 0,56 m^3$$

### 3.7.9. Relación entre la altura de entrada y el diámetro del ciclón

La relación entre la altura de entrada y el diámetro del ciclón se da a partir de la siguiente ecuación:

$$Ka = \frac{a}{Dc}$$

Detallando que:

$a$  : Altura de entrada del ciclón

$Dc$  : Diámetro del ciclón

Reemplazando los valores obtenemos:

$$Ka = \frac{0,785}{1,57} = 0,5$$

En la figura 30 se observa la relación entre altura y diámetro del ciclón.

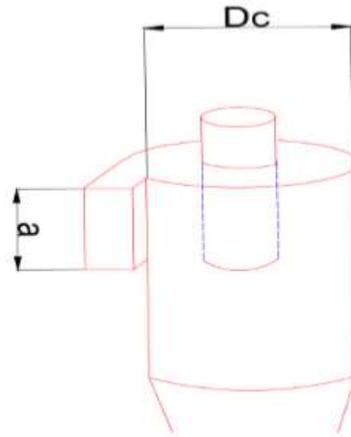


Figura 30 Relación entre el diámetro y altura del ciclón

Fuente: (Lobato & Castillo, 2015)

### 3.7.10. Relación entre la base y el diámetro del ciclón

La relación entre la base y el diámetro del ciclón se da a partir de la siguiente ecuación:

$$Kb = \frac{b}{Dc}$$

Detallando que:

$b$  : Ancho de entrada del ciclón

$Dc$  : Diámetro del ciclón

Reemplazando los valores se obtiene:

$$Kb = \frac{0,314}{1,57} = 0,2$$

En la figura 31 se puede observar la reacción que existe entre la base y el diámetro del ciclón.

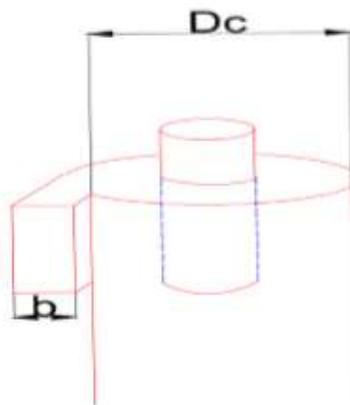


Figura 31 Relación entre base y diámetro del ciclón

Fuente: (Lobato & Castillo, 2015)

### 3.7.11. Exponente del vórtice

El exponente del vórtice se da al realizar la relación entre la velocidad tangencial y el radio de giro, el rango que rige es entre de 0,5 a 0,7 en un ciclón donde no presente fricciones en las paredes internas del sistema, esta se da a partir de la siguiente ecuación:

$$n = 1 - (1 - 0,67 \times Dc^{0,14}) \times \left(\frac{T}{283}\right)^{0,3}$$

Detallando que:

$n$  : Exponente del vórtice

$T$  : Temperatura (28 grados centígrados)

$Dc$  : Diámetro del ciclón

Reemplazando los valores en la ecuación obtenemos:

$$n = 1 - (1 - 0,67 \times 1,57^{0,14}) \times \left(\frac{301,15 K}{283}\right)^{0,3}$$
$$n = 0,65$$

El valor obtenido es 0,65 lo cual está en el rango de los ciclones.

### 3.7.12. Tiempo de relajación

El tiempo de relajación hace referencia al tiempo que se necesita para que el polvillo alcance la velocidad de caída lo cual se emplea la siguiente ecuación:

$$Ti = \frac{\rho_p(Dp)^2}{18 \times \mu}$$

Detallando que:

$\rho_p$  : Densidad de la partícula (Kg/m<sup>3</sup>)

$Dp$  : Diámetro de la partícula (m)

$\mu$  : Viscosidad del aire (kg/ms)

El tiempo de relajación que se obtuvo partiendo del siguiente calculo:

$$Ti = \frac{689,65 Kg/m^3 (44,4 \times 10^{-6} m)^2}{18 \times (1,9 \times 10^{-5} \frac{Kg}{ms})}$$
$$Ti = 3,975 \times 10^{-3} s$$

El tiempo de relajación nos muestra el tiempo necesario que necesita el polvillo para alojarse en el sistema de extracción, cuando este ya esté dentro del sistema.

### 3.7.13. Eficiencia del ciclón

La eficiencia del ciclón se la calcula mediante las ecuaciones de Leith y Licht, en la eficiencia se estimula que todas las partículas van a hacer removidas al cien por ciento por lo general influyen sus propiedades, las dimensiones del ciclón, etc. La ecuación es la siguiente:

$$ni = 1 - e \left[ -2 \times \left( \frac{G \times Ti \times Q(n+1)}{Dc^3} \right)^{\frac{0,5}{(n+1)}} \right]$$

Detallando que:

$G$  : Factor de configuración

$Ti$  : Tiempo de relajación de partículas (s)

$Q$  : Caudal (m<sup>3</sup>/s)

$n$  : Exponente del vórtice

$Dc$  : Diámetro del ciclón

Mediante la ecuación de eficiencia obtenemos el siguiente resultado:

$$ni = 1 - e \left[ -2 \times \left( \frac{551,22 \times (3,975 \times 10^{-3}) \times 5,8 \text{ m}^3/\text{s} (0,65+1)}{(1,57 \text{ m})^3} \right)^{\frac{0,5}{(0,65+1)}} \right]$$

$$ni = 0,96 \times 100 = 96\%$$

La eficiencia del ciclón se encuentra en un rango del 96% lo cual lo hace efectivo las dimensiones del sistema de extracción de partículas para la industria.

### 3.8. Caída de presión

Uno de los aspectos más relevante en el diseño de un ciclón de partículas es la caída de presión, para obtener dicho valor se calcula el número de cabezas de velocidad a través de la siguiente ecuación:

$$N_H = K \times \frac{a \times b}{D_s^2}$$

Detallando que:

$K$  : Constante para ciclones de entrada tangencial, esta toma el valor de 16

$a$  : Alto de entrada del ciclón (m)

$b$  : Ancho de entrada del ciclón (m)

$D_s$  : Diámetro de salida (m)

Mediante la ecuación del número de cabezas de velocidades obtenemos:

$$N_H = 16 \times \frac{0,785 \times 0,314}{0,785^2}$$

$$N_H = 6,17$$

Una vez obtenido el número de cabezas, se calcula la caída de presión empleando la siguiente formula:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \times \rho \times Vi^2 \times N_H$$

Detallando que:

$N_H$  : Número de cabezas de velocidades

$\Delta P$  : Cambio de presión (Pa)

$\rho$  : Densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)

$Vi$  : Velocidad inicial (m/s)

Si al realizar el cálculo el valor de la caída de presión es mayor a 2488,1 Pa, se debe de diseñar otro tipo de ciclón.

Reemplazando los valores obtenemos el siguiente resultado:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \times 1,22Kg/m^3 \times 25^2m/s \times 6,17$$

$$\Delta P = 2352,31 Pa$$

El valor obtenido es menor a 2488,1 Pa lo cual cumple con los parámetros establecidos para el diseño de un ciclón de partículas de entrada tangencial y descara axial de alta eficiencia.

### 3.9. Selección del extractor

El sistema actual con el que se encuentran trabajando es con un ventilador centrífugo ya que este es el ventilador con mayor eficiencia para este tipo de trabajo. Para hallar el equipo ideal se requiere de obtener datos tales como la caída de presión.



Figura 32 Tuberías de trasportes de partículas

Fuente: Autor

Para obtener la potencia del motor y seleccionar el motor correspondiente se necesita obtener la presión total del sistema. Para esto se necesita la pérdida de presión dinámica de las tuberías lo cual se lo obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$P_d = \frac{V^2 \times \rho_a}{2}$$

Donde:

$P_d$ : Perdida de presión dinámica

$\rho_a$ : Densidad del aire

Al reemplazar los valores obtenemos:

$$P_d = \frac{(25 \text{ m/s})^2 \times (1,9992 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})}{2}$$

$$P_d = 622,5 \text{ Pa}$$

Luego de obtener la perdida de presión en la tubería se obtiene la perdida de presión de las paredes mediante la siguiente ecuación:

$$P_{pp} = l \times \frac{\gamma}{D} \times P_d$$

Donde:

$l$ : Longitud de la tubería

$D$ : Diametro de tubo

$\gamma$  : Coeficiente de resistencia

$P_d$ : Presión dinámica

$P_{pp}$ : Perdida de presión en las paredes

De acuerdo con los datos técnicos que se observan en el anexo 12, las tuberías instaladas su longitud es de 55 m y su diámetro de 27 cm.

Se obtiene el coeficiente de resistencia a través de la siguiente formula:

$$\gamma = 0,0125 + \frac{0,011}{D} = 0,165$$

Reemplazando la ecuación de pérdida de presión de las paredes obtenemos:

$$P_{pp} = 55 \times \frac{0,165}{0,27} \times 622,5$$

$$P_{pp} = 2092,2 Pa$$

Existen tres codos de 90 grados en el recorrido de las tuberías lo cual obtenemos la pérdida de presión de los accesorios mediante la siguiente ecuación:

$$P_{pa} = \delta \times P_d$$

Donde:

$P_{pa}$ : Perdida de presión en accesorios

$\delta$ : Factor de resistencia (0,15)

$P_d$ : Perdida de presión dinámica

Reemplazando la ecuación obtenemos:

$$P_{pa} = 0,15 \times 625,5$$

$$P_{pa} = 93,37 Pa$$

Al tener tres codos en el sistema se obtiene el valor total el cual es:

$$P_{pa} = 93,37 \times 3 = 280,1 Pa$$

Obteniendo las distintas perdidas de presión de las tuberías que influyen en el recorrido del material obtenemos la perdida de presión total mediante la siguiente ecuación:

$$P_T = P_d + P_e + P_{pp} + P_{pa}$$

Donde:

$P_t$ : Perdida de presión total

$P_d$ : Perdida de presión dinámica

$P_{pp}$ : Perdida de presión en las paredes

$P_{pa}$ : Perdida de presión de los accesorios

Reemplazando los valores en la ecuación obtenemos:

$$P_t = 622,5 + 150 + 280,1 + 2092,2$$

$$P_t = 3144,8 Pa$$

Se debe de tener en cuenta que existe un valor de sobrecarga en el sistema de 1,25 lo cual el resultado final de la pérdida de presión es:

$$P_t = 3144,8 \times 1,25 = 3931 Pa$$

Al obtener la caída de presión de todo el sistema de tuberías, con esto podemos obtener la caída de presión de todo el sistema de extracción, esto se da mediante la suma de caída de presión de la red de tuberías y la del ciclón de partículas a través de la siguiente ecuación:

$$\Delta P_{Total} = \Delta hf + \Delta P$$

Donde:

$\Delta P_{Total}$ : Caída de presión total

$\Delta hf$ : Caída de presión de las tuberías

$\Delta P$ : Caída de presión del ciclón

Mediante esta ecuación obtenemos lo siguiente:

$$\Delta P_{Total} = 3931 + 2352,31$$

$$\Delta P_{Total} = 6283,31 Pa \approx 638,6 mmH_2O$$

La potencia que necesita el ventilador se basa en la caída de presión y el caudal el cual debe de emplear, esto se emplea mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{Q \times \Delta P}{N_t}$$

Donde:

$Q$  : Caudal que genera

$\Delta P$ : Caída de presión

$N_t$ : Eficiencia

Se toma un valor constante con referencia a la eficiencia es de 0,7 empleando la ecuación obtenemos:

$$P = \frac{21000 \frac{m^3}{h} \times 6283,3 \frac{N}{m^2} \times \frac{1 h}{3600s}}{0,7}$$

$$P = 52360,8 W \approx 70 HP$$

Con la potencia obtenida se corrobora que se puede utilizar el ventilador centrífugo instalado en las instalaciones de la empresa el cual posee las siguientes características:

Marca: ABB

Modelo: IE1

Caudal: 21000 m<sup>3</sup>/h

Potencia: 70 kw

Eficiencia: 0.89

Voltio: 440 V

En la figura 33 podemos observar el sistema instalado.



*Figura 33 Ventilador centrífugo instalado*

Fuente: autor

## CAPÍTULO IV

### PROPUESTA

#### 4.1. Materiales del ciclón

Existe una gran variedad de materiales a utilizar en el diseño de un ciclón de partículas, el material adecuado para este tipo de ciclón son las planchas de acero inoxidable AISI 304, este es un material de gran calidad que es utilizado en diversos sectores de la industria.

Para este tipo de ciclón es necesario utilizar una plancha de acero inoxidable con espesor de 3mm brindándoles mayor estabilidad, esta plancha ofrece resistencia a la corrosión y una larga duración. En la figura 34 se puede observar las propiedades físicas y químicas del acero inoxidable. (Dipac Manta, 2012)

Tipo de estructura	Tipo de Composición	Descripción de acuerdo a JIS*	Descripción de acuerdo a AISI**	Descripción de acuerdo a DIN***	COMPOSICIÓN QUÍMICA %					
					C	Si max	Mn	P max	S max	Ni
Austenítico	17 Cr-5Ni-7Mn	SUS 201	201		0,15 max	1,00	5,50 ~ 7,50	0,06	0,030	3,50 ~ 5,5
	18 Cr-6Ni-10Mn	SUS 202	202		0,15 max	1,00	7,50 ~ 10,00	0,06	0,030	4,00 ~ 6,00
	17Cr-7Ni	SUS 301	301	4310	0,15 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	6,00 ~ 8,00
	18Cr-8Ni-highC	SUS 302	302	4300	0,15 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	8,00 ~ 10,00
	18Cr-8Ni	SUS 304	304	4301	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	8,00 ~ 10,50
	18Cr-8Ni-extra-low-C	SUS 304 L	304L	4306	0,030 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	9,00 ~ 13,00
	18Cr-12Ni	SUS 305	305	3955	0,12 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	10,50 ~ 13,00
	23Cr-12Ni	SUS 309 S	309 S	4845	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	12,00 ~ 15,00
	25Cr-20Ni	SUS 310 S	310 S		0,08 max	1,50	2,00 - max	0,04	0,030	19,00 ~ 22,00
	18Cr-12Ni-2,5Mo	SUS 316	316	4401	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	10,00 ~ 14,00
	18Cr-12Ni-7,5Mo-extra-low-C	SUS 316 L	316 L	4404	0,030 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	12,00 ~ 15,00
	18Cr-12Ni-2Mo-2Cu	SUS 316 J1		4505	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	10,00 ~ 14,00
	18Cr-13Ni-3,5Mo	SUS 317	317	4402	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	18,00 ~ 15,00
	18Cr-13Ni-3,5Mo-extra-low-C	SUS 317 L	317 L		0,030 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	11,00 ~ 15,00
	18Cr-8Ni-Ti	SUS 321	321	4541	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	9,00 ~ 13,00
	18Cr-9Ni-Nb	SUS 347	347	4550	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	9,00 ~ 13,00
Ferrítico	13Cr-Al	SUS 405	405	4002	0,08 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	16Cr	SUS 429	429	4009	0,12 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
	18Cr	SUS 430	430	4016	0,12 max	0,75	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	18Cr-Mo	SUS 434	434	4113	0,12 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
Martensítico	13Cr-low Si	SUS 403	403	4024	0,15 max	0,50	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	13Cr	SUS 410	410	4000	0,15 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	13Cr-high C	SUS 420 J2	420	4021	0,26 ~ 0,40	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
	18Cr-high C	SUS 440 A	440 A		0,60 ~ 0,75	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
Endurecido por precipitación	17Cr-7Ni-1Al	SUS 631	631		0,09 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	6,50 ~ 7,75

Figura 34 Propiedades del acero inoxidable

Fuente: (Dipac Manta, 2012)

Para la sujeción del ciclón de partículas se debe de utilizar perfiles de acero, brindándole estabilidad al sistema de extracción de partículas. Para la construcción de la estructura se emplea perfiles cuadrados de acero lo cual le proporcionándole la correcta sujeción del ciclón de partículas.

Las herramientas de soldadura empleado en la fabricación del equipo son los siguientes:

- Electrodo 6011
- Cables de conexión
- Soldadora tipo Lincoln
- Porta electrodo
- Careta de soldadura

El electrodo 6011 es la soldadura idónea para la unión de las partes del sistema de extracción de partículas debido a sus características, este tipo de soldadura posee un revestimiento celuloso, posee una eficaz y rápida salificación del metal de acuerdo la numeración del electrodo posee la siguiente descripción:

- 60= 60000 lbs/pul<sup>2</sup>
- 1= toda posición
- 1= corriente alterna o corriente continua

El electrodo 6011 es el correcto para ser empleado en todas las aplicaciones de soldadura en acero al carbono. (Indura)

Se utilizarán materiales que se encuentran ya en el sistema natural de extracción de partículas, sin embargo, se debe de realizar mantenimientos y reconstrucciones de elementos como bombas de vacío, ventilador, filtros entre otros para optimizar el buen desempeño y extracción del material particulado.

#### **4.2.Simulación del funcionamiento del ciclón de partículas**

Se realizó una simulación con las dimensiones y cálculos obtenidos para determinar la factibilidad y realizar un análisis comparativo detallando los beneficios corroborando la información obtenida.

Para la simulación del diseño que se realizó se utilizó el software solidwork debido a que ofrece soluciones intuitivas para cada fase del diseño. Cuenta con un completo conjunto de herramientas que le ayuden hacer más eficaz y productivo en el desarrollo de sus productos en todos los pasos del proceso de diseño.

Solidwork permitió reducir considerablemente el tiempo de diseño lo cual proporciona ahorros de tiempos y en costeo al ser un sistema muy eficiente. Mediante este software se puede evaluar el rendimiento del diseño del sistema de partículas, gracias a su simulación obtenemos un alto nivel de análisis.

Para el sistema de extracción de partículas en solidwork, se utilizaron aspectos como:

- Densidad de la partícula
- Caudal del flujo
- Velocidad inicial
- Eficiencia del ciclón
- Temperatura

Estos son varios de los aspectos que se tomaron en cuenta en la simulación a parte de las dimensiones obtenidas en la figura 35 se puede observar el modelado del ciclón de partículas.

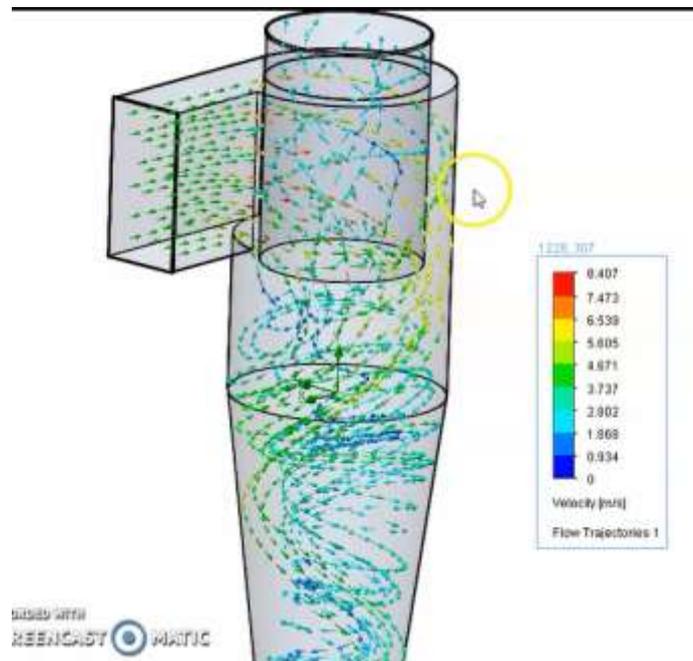


Figura 35 Trabajo del ciclón de partículas

Fuente: Autor

Las dimensiones empleadas utilizadas en el diseño son las que se obtuvieron previamente en los cálculos. Se puede verificar el funcionamiento del ciclón con referencia al material que se va a separar, se observa el polvillo que ingresa a través de la entrada del ciclón separando las partículas cumpliendo la teoría de funcionamiento donde mediante las paredes del ciclón se van desplazando las partículas del ciclón en el interior del sistema expulsa el aire mediante la parte central hacia la parte superior.

#### 4.2.1. Análisis de la simulación y los cálculos obtenidos

Se realizó un análisis comparativo entre los cálculos obtenidos y la simulación realizada, como se indicó una de las principales problemáticas es la mala y errónea separación de las partículas, en este caso no ocurrió aquello debido a que las dimensiones del ciclón y el material con el que se lo puede construir permite que el polvillo circule de manera eficiente sin pegarse en las paredes del sistema, esto se en la selección del ciclón de partículas ya que existe mayor eficiencia con particular mayor a 5 micras en un ciclón de entrada tangencial y descarga axial de alta eficiencia. En la figura 36 se observa como el polvillo es atrapado en el sistema y descargadas sin adherirse en las paredes del sistema.

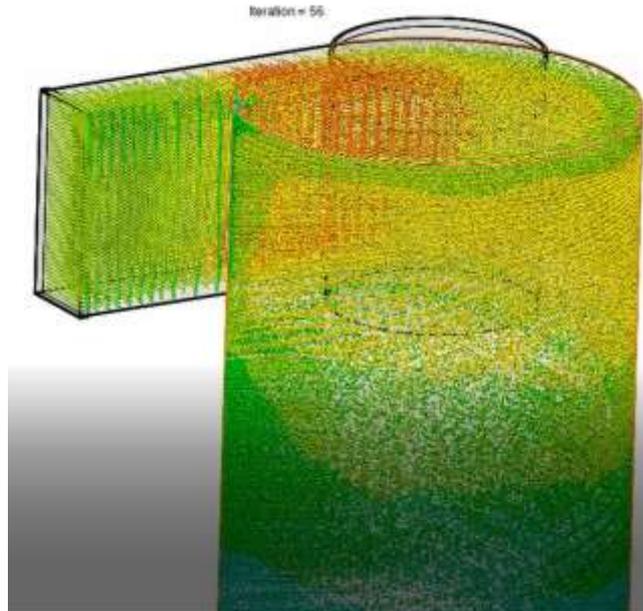


Figura 36 Funcionamiento del polvillo dentro del ciclón  
Fuente: Autor

En la figura 37 se puede observar el flujo de entrada con el que se trabaja dentro del sistema, cabe recalcar que el caudal de un ciclón tiene un rango de 0.5 a 12 m<sup>3</sup>/s, estableciendo un flujo de 5,8 m<sup>3</sup>/s con una velocidad de 25 m/s manteniéndose constante la separación de partículas de 44 micras en el instante de ingresar en el sistema, no presentando irregularidades o algún tipo de variación en el momento de trabajo.

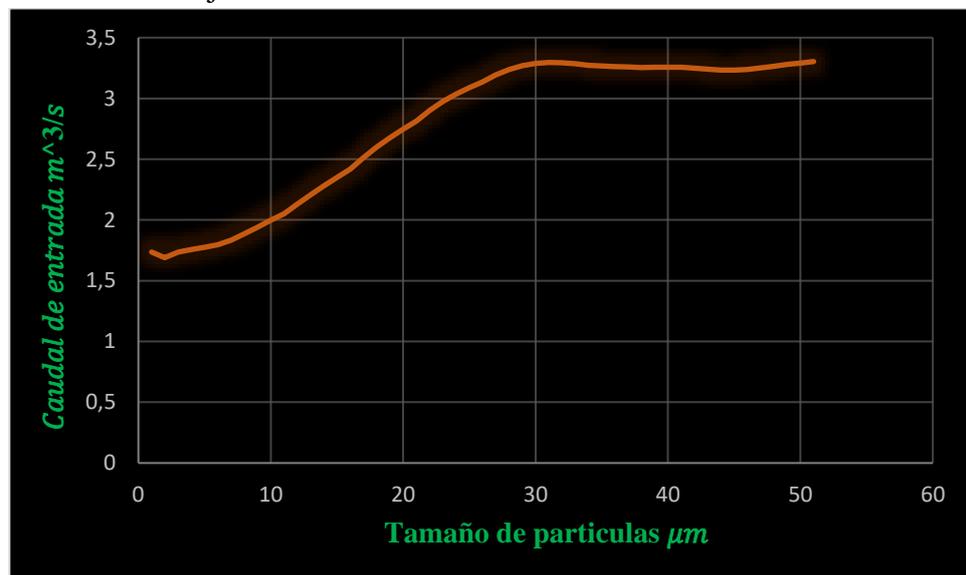


Figura 37 Flujo de entrada del polvillo  
Fuente: Autor

Uno de los aspectos que se simularon fue el flujo del material particulado en la salida del ciclón, se tuvo en cuenta las dimensiones del ciclón, el diámetro de salida es de 0,785 m y las relaciones de velocidades donde se dedujo que no existía una resuspensión de velocidades dándole mayor flujo a la salida de partículas.

En la figura 38 se puede observar la eficiencia del ciclón lo cual fue simulada con los datos establecidos como fueron el diámetro del ciclón el caudal entre otros se puede observar que a partir de las 5 micras va incrementando el nivel de eficiencia como lo indica su teoría fundamental. Al ser más de 40 micras la gráfica muestra que el porcentaje de eficiencia se acerca al 100 % los cálculos obtenidos nos dan un rango del 96% lo cual existe una pequeña diferencia en variaciones. Simulando el sistema de extracción hace referencia a que las dimensiones son las óptimas para su construcción.

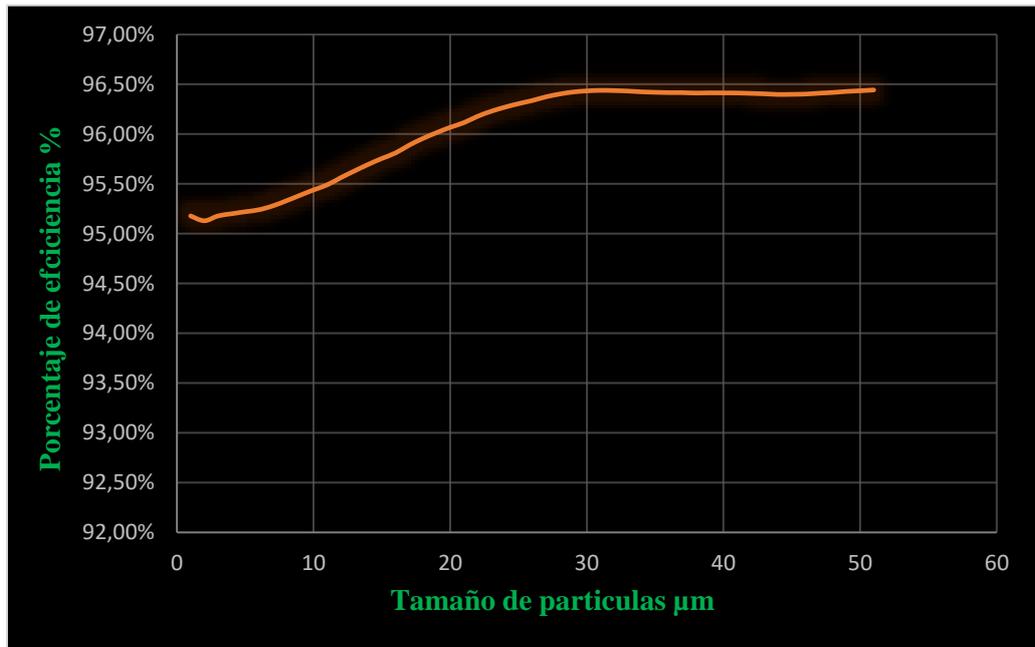


Figura 38 Flujo de salida del sistema

Fuente: Autor

#### 4.3.Costo total del ciclón de partículas.

Se empleó un análisis para detallar el costo total para la realización de un sistema de extracción de partículas, en la tabla 10 se puede observar el coste de la mano de obra directa.

Tabla10 *Mano de obra directa*

<b>DISEÑO DEL SISTEMA</b>			
<b>Responsable</b>	<b>Tiempo estimado (h)</b>	<b>Costo hora hombre</b>	<b>Total</b>
<b>Diseñador</b>	\$12	\$7,08	\$84,96
<b>Subtotal</b>			<b>\$84,96</b>
<b>CONSTRUCCIÓN Y ARMADO DEL SISTEMA</b>			
<b>Soldador</b>	\$24	\$6,50	\$156
<b>Operador</b>	\$56	\$3,10	\$173,6
<b>Subtotal</b>			<b>\$329,6</b>
<b>TOTAL, DE MANO DE OBRA DIRECTA</b>			<b>\$414,56</b>

Fuente: Autor

En la tabla 11 que se muestra a continuación se detallan los materiales directos para la construcción del ciclón de partículas detallando el costo de cada material y cantidad a utilizar.

Tabla11 *Materiales directos de construcción*

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor (uni.)</b>	<b>Total</b>
<b>Plancha ASI 304</b>	7 planchas	\$77,4	\$541,8
<b>Tubos cuadrados</b>	4 tubos	\$12	\$48
<b>Pernos</b>	100 pernos	\$0,05	\$5
<b>Soldadura</b>	3 libras	\$3,50	\$10,5
<b>Material eléctrico</b>	Varios	\$115	\$115
<b>Pintura electrostática</b>	3 cajas	\$75	\$225
<b>Motor mantenimiento</b>	1 motor	\$256	\$256
<b>Mantenimiento sistema de extracción</b>	1	\$ 125,82	\$125,82
<b>Pintura anticorrosiva</b>	5 galones	\$ 14,75	\$73,75
<b>Filtros</b>	1 filtro	\$80,25	\$80,25
<b>Subtotal</b>			<b>\$1481,12</b>

Fuente: Autor

En la tabla 12 que se expone a continuación se detalla la mano de obra indirecta, es recomendable contratar a un personal capacitado para la realización de instalaciones, pintura, etc.

Tabla12 *Mano de obra indirecta*

<b>Responsable</b>	<b>Tiempo estimado (h)</b>	<b>Costo hora hombre</b>	<b>Total</b>
<b>Electricista</b>	\$8	\$7	\$58
<b>Pintor</b>	\$8	\$4	\$48
<b>Subtotal</b>			<b>\$106</b>

Fuente: Autor

Existen costos indirectos como energía eléctrica, agua entre otros aspectos que se consideran en el momento de realizar la construcción del equipo debido a que son gastos generados dentro de la fabricación del sistema de extracción de partículas, en la tabla 13 a continuación se detalla el costeo indirecto.

Tabla13 *Costos indirectos*

<b>Aspectos</b>	<b>Tiempo (días)</b>	<b>Total</b>
<b>Agua, energía eléctrica, aire comprimido, suelda eléctrica, soldadoras, etc.</b>	15	\$200

Fuente: Autor

Una vez detallados y determinados los diferentes costos y mano de obra se tiene el costo total de la fabricación de un sistema de extracción de partículas (ciclón de alta eficiencia) e la tabla 14 se expresa el valor total.

Tabla14 *Costo total del ciclón de partículas*

<b>Parámetros</b>	<b>Total</b>
<b>Mano de obra directa</b>	\$414,56
<b>Materiales de construcción</b>	\$1481,12
<b>Mano de obra indirecta</b>	\$106
<b>Costo indirecto</b>	\$200
<b>TOTAL</b>	<b>\$2257,12</b>

Fuente: Autor

## CONCLUSIONES

Se presentan las conclusiones relacionadas con los objetivos planteados en el capítulo 1:

Considerando el objetivo general del presente documento se realizó el estudio y diseño correspondiente se determinó que para el tipo de proceso que realiza la empresa es factible cambiar el sistema actual de recolección de partículas con un ciclón de entrada tangencial y descarga axial de tipo Stairmand debido a que puede aumentar su nivel de eficiencia de recolección de partículas en un 96% reduciendo los niveles de agentes contaminantes en el aire, gracias a la implementación de este tipo de ciclón se tienen ventajas como reducción en los tiempos de paros por recolección o limpieza del polvillo entre otros.

Con referencia al primero objetivo específico: “determinar el costo total de un sistema de extracción de partículas”, se empleó un análisis del costo total para la implementación de un sistema de extracción de partículas, en donde se observó los costes aproximados de los elementos que intervienen como por ejemplo la mano de obra y los costos directos e indirectos. A partir de ellos, se realizó un análisis final en donde se determinó que el coste total del sistema de extracción de partículas es 2.2257, 12 \$.

Al momento de dimensionar los equipos pertenecientes al sistema de extracción, se concluyó que el diámetro del ciclón debe de ser de 1,51 metros para evitar la acumulación de material en las paredes del sistema, realizando los cálculos de potencia se concluyó que para este tipo de material se necesita el trabajo de un motor de 70 HP para el traslado del polvillo de 44,4 micras evitando la re-suspensión del material dentro del ciclón.

En cuanto al último objetivo, se concluyó mediante la simulación en el programa Solidwork que a partir de las 40 micras alcanza un nivel de eficiencia del 96,5 % variando en un 0,5 % más del cálculo obtenido demostrando que este sistema es idóneo para este tipo de partículas, se observó que el caudal mínimo de entrada es de 3,5 m<sup>3</sup>/s, partiendo de este dato el sistema empieza a alcanzar su nivel de eficiencia previsto.

## RECOMENDACIONES

- Implementar el sistema de extracción de partículas haciendo conciencia acerca la problemática de contaminación en la fábrica afectando al personal y al medio ambiente.
- Realizar cada año un mantenimiento preventivo brindándole mayor durabilidad al sistema y evitar daños a cortos plazos.
- Realizar un estudio y análisis en otras áreas de las industrias de tal manera que se pueda implementar otro tipo de extracción de partículas reduciendo en gran volumen la contaminación de este.
- Realizar un control ambiente al menos dos veces al mes, obteniendo datos que permitan verificar el correcto funcionamiento del sistema.
- Almacenar y gestionar el trato de eliminación de polvillo con otras empresas certificadas permitiendo así la buena eliminación del material particulado
- Realizar un mantenimiento preventivo al túnel de traslado de material particulado evitando atasco y deterioro en el ducto de transporte.
- Utilizar los materiales detallados como el acero inoxidable que permiten mayor durabilidad y evita diversos problemas tales como la corrosión entre otros.

## BIBLIOGRAFÍA

- AKW. (2018). *Hidrociclones AKA-VORTEX*. Obtenido de AKW Equipmente+Process Desing: <https://akwauv.de/de/hydrozyklone-aka-vortex-2/>
- Arroyo, C. (2014). *Mejoramiento del sistema de captación de polvo y ventilación en una planta minera*. Lima: CINYDE S.A.C. .
- Atosdin S.L. (2020). *campana idustrial*. Obtenido de Atosdin S.L ventilación de naves: <https://www.atosdin.es/campana-industrial/>
- Bahamondes, J. (2008). *DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SEPARADOR CICLÓNICO PARA LA INDUSTRIA NAVAL*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Bahamondes, J. (2008). *DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SEPARADOR CICLÓNICO PARA LA INDUSTRIA NAVAL*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- BCF Enviroment. (17 de Enero de 2018). *Equipos y dispositivos básicos en un colector de polvo Pulse-Jet*. Obtenido de <https://rolldenindustries.com>: <https://rolldenindustries.com/2018/01/17/equipos-y-dispositivos-basicos-en-un-colector-de-polvo-pulse-jet/>
- Brefe del Pozo, O. (2012). *Diseño de un sistema de captación de polvo de cal en la empresa Pedro Sotto Alba*. Cuba: Instituto Superior Minero Metalúrgica.
- Carrasco, S. (2004). *Rediseño del Sistema de Aspiración de una Planta de Roca Parcialmente Acidulada*. Valencia: Universidad de Carabobo.
- Cemento, C. d. (2008). *Guía de Buenas Prácticas para la Prevención de Riesgos Laborales en el Sector Cementero Español*. Madrid: Oficemen.
- Chemical Technology Lab. (s.f.). *Chevic*. Obtenido de [http://www.diquima.upm.es/old\\_diquima/Investigacion/proyectos/chevic/catalogo/CICLONES/Func6.htm](http://www.diquima.upm.es/old_diquima/Investigacion/proyectos/chevic/catalogo/CICLONES/Func6.htm)
- Chimbo Lorena, O. L. (2012). *Diseño de un Sistema Extractor de Gases y Polvos del Proceso de Reconstrucción de Turbinas Hidráulicas y Manejo pra Cotrol de Impacto Ambiental*. *Trabajo de Grado. Ingenieria Mecánia*. Chimborazo.
- Cooper David, F. A. (1994). *Air Pollution Control: A Desing Approach*. New York : Waveland Press.
- Dena. (Enero de 2015). *Dena inovación, tecnología y experiencia para un aire mas limpio*. Obtenido de Ciclón separador: <http://www.sistemasdeaspiracionesdena.es/tld/www.sistemasdeaspiracionesdena.es/files/cicl%C3%B3n%20depolvorador%20modelo%20cy.pdf>
- Dipac. (2016). *Dipac Productos de aceros*. Obtenido de <http://www.dipacmanta.com/>

- Dipac Manta. (2012). *Planchas de acero inoxidable*. Obtenido de file:///C:/Users/Municipio%20de%20Gye/Downloads/planchas-inox%20(1).pdf
- Donaldson. (15 de Febrero de 2019). *Colectores de polvo* . Obtenido de <https://www.donaldson.com/>: <https://www.donaldson.com/es-mx/industrial-dust-fume-mist/equipment/dust-collectors/baghouse/>
- Duaquima. (06 de 06 de 2016). *Descripción de un clicon* . Obtenido de [diquima.upm.es](http://www.diquima.upm.es): [http://www.diquima.upm.es/old\\_diquima/Investigacion/proyectos/chevic/catalogo/CICLONES/Descr6.htm](http://www.diquima.upm.es/old_diquima/Investigacion/proyectos/chevic/catalogo/CICLONES/Descr6.htm)
- Echeverri, L. (2006). Diseño Optimo de Ciclones. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 123-129.
- Eichhorn, P. (12 de Agosto de 2019). *Ara-Schwyz*. Obtenido de Siebruch (prensa de deformación): <https://araschwyz.ch/content.php?category=schlammbehandlung>
- Emison. (s.f.). *Ciclones*. Obtenido de file:///E:/TESIS/REFERENCIAS/Flujo%20del%20ciclón.pdf
- Geankoplis. (1998). Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. *Editorial continental*, 11-38.
- Geovanna, L., & Angel, C. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SEPARADOR CICLÓNICO DE* . Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS .
- Gutiérrez Torres Claudia, B. S. (2006). Estudio de los parámetros que afectan la eficiencia de separación de los separadores tipo ciclón. *Científica*, 59-63.
- Haya, D. (2008). *Diagnóstico ambiental y propuestas*. Huancayo: UNCP.
- Hoffmann, A., Groot, M. d., Peng, W., Dries, H. W., & Kater, J. (2001). Advantages and risks in increasing cyclone separator length. *AIChE Journal*, 2452-2460.
- IMAS AEROMECCANICA. (2015). *IMAS AEROMECCANICA Filtrros con manga*. Obtenido de <http://www.imas.it/es/filtriManiche.asp>
- ISTAS, C. (2019). Polvo en suspensión ¿Más peligrosos de lo que parece? *Edipag*, I(1), 1-30.
- Laboratory, C. T. (s.f.). *Diquima*. Obtenido de [http://www.diquima.upm.es/old\\_diquima/Investigacion/proyectos/chevic/catalogo/CICLONES/PAG8.htm](http://www.diquima.upm.es/old_diquima/Investigacion/proyectos/chevic/catalogo/CICLONES/PAG8.htm)
- Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. (2011). Quito.

- Lobato, F. G., & Castillo, C. Á. (2015). *Diseño y construcción de un separador ciclónico de entrada tangencial y descarga axial para material particulado de tamaño menor a 40 um*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Londoño, C. A. (2006). Diseño Óptimo de Ciclones. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín* , 124-131.
- Manuntecao e suprimentos. (9 de 5 de 2018). *Los separadores ciclónicos eliminan los contaminantes del aire*. Obtenido de <https://www.manutencao.esuprimentos.com.br/separadores-de-ciclone-removem-poluente-do-ar/>
- Maquinaria Miguel Urbano. (2014). *Maquinarias para la limpieza, clasificación y selección de productos agrícolas*. Obtenido de [http://www.miguelurbano.es/wp-content/uploads/2015/01/Catalogo\\_Maquinaria\\_Miguel\\_Urbano.pdf](http://www.miguelurbano.es/wp-content/uploads/2015/01/Catalogo_Maquinaria_Miguel_Urbano.pdf)
- Moliner Miller. (18 de Abril de 2019). *Ciclones y sus válvulas rotativas*. Obtenido de millerspanish.com: <http://millerspanish.com/ciclones-y-sus-valvulas-rotativas.html>
- Orbes Agrícola S.A.C. (2019). *Herhas Filtrado Profesional*. Obtenido de <https://orbesagricolasac.com/tienda/wp-content/uploads/2018/03/catalogo-filtros.compressed.pdf>
- Paulo, C., & Díaz, M. (2015). *DISEÑO ÓPTIMO DE UN PROCESO DE SEPARACIÓN DE PARTICULAS FINAS*. Buenos Aires: Proceedings of VII CAIQ.
- Psicología y mente. (2019). *Los 15 tipos de investigación*. Obtenido de <https://psicologiaymente.com/miscelanea/tipos-de-investigacion>
- Rodríguez, A., & Pérez, A. (2017). *Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento*. Artemisa: Universidad de Artemisa.
- Secado Spray. (2011). *Válvulas rotativas para secaderos por automatización* . Obtenido de <http://secadospray.blogspot.com/2006/03/spray-dryer-rotary-valve.html>
- Veira, A. F. (2003). Colector de partículas . *Dialnet*, 181-186.
- Verónica, O. (1997). *Impactos de la producción de papel*. Buenos Aires: Mansilla .
- Viana, M. d. (2003). *Niveles, composición y origen del material particulado atmosférico en los sectores norte y este de la península Ibérica y Canarias*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Vidal-Daza, O. A., & Pérez-Vidal, A. (2018). Estimación de la Dispersión de Contaminantes Atmosféricos Emitidos por una Industria Papelera Mediante el Modelo AERMOD. *Ingeniería*, 31-47.

Willian, G. (2018). *Diseño e implementación de un equipo separador de partículas sólidas (ciclón) en la industria de caucho*. Quito.

Zbigniew Kapelańczyk. (2006). *Instalwent*. Obtenido de Instalwent:  
<http://www.instalwent.pl/>

## ANEXOS

### *Anexo 1* Cabina de almacenamiento del polvillo



Fuente: Autor

### *Anexo 2* Material particulado dentro de la empresa



Fuente: Autor

**Anexo 3 Almacenamiento del polvillo**



Fuente: Autor

*Anexo 4 Almacenamientos del polvillo*



Fuente: Autor

*Anexo 5 Ductos de recolección*



Fuente: Autor

*Anexo 6 Maquina procesadora de libros*



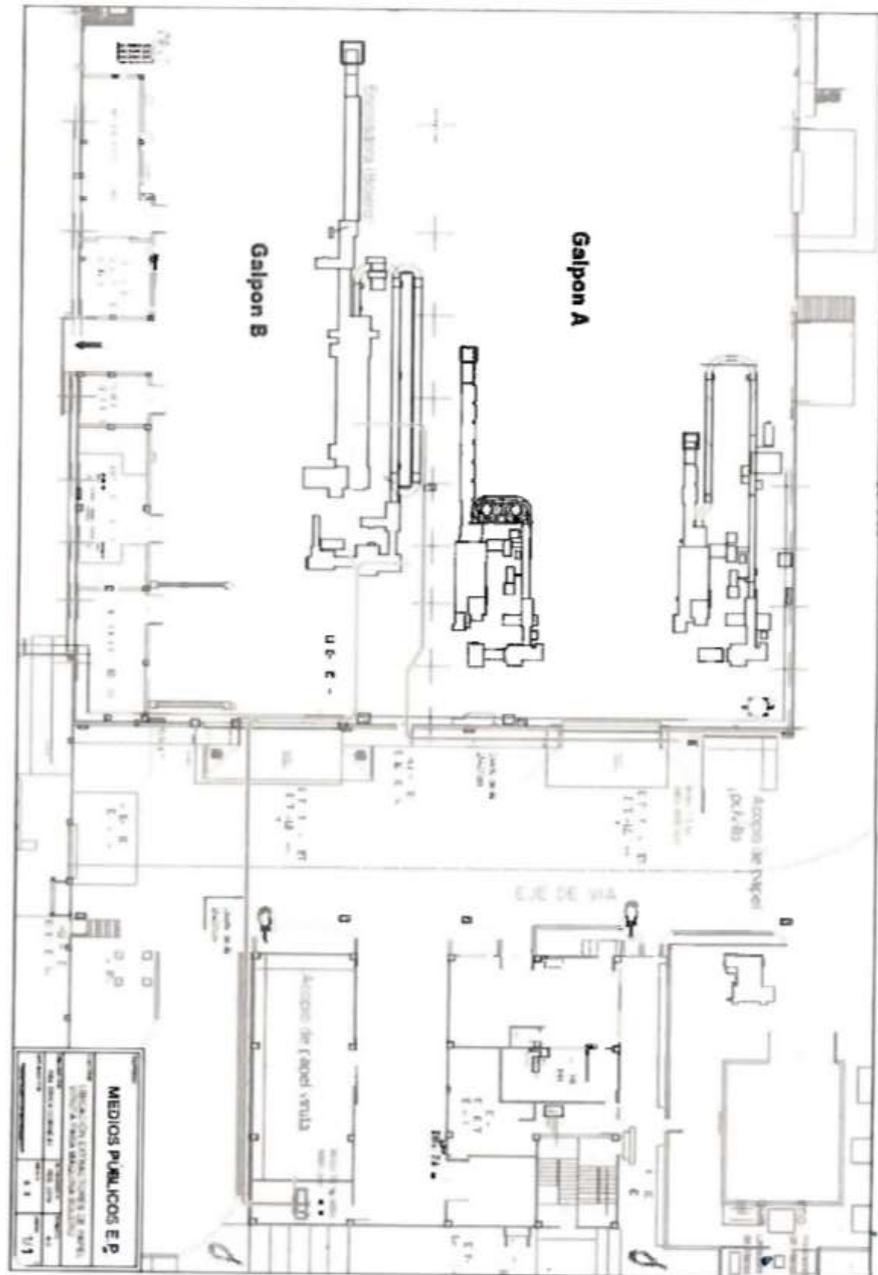
Fuente: Autor

**Anexo 7 Recolección de polvillo**



Fuente: Autor

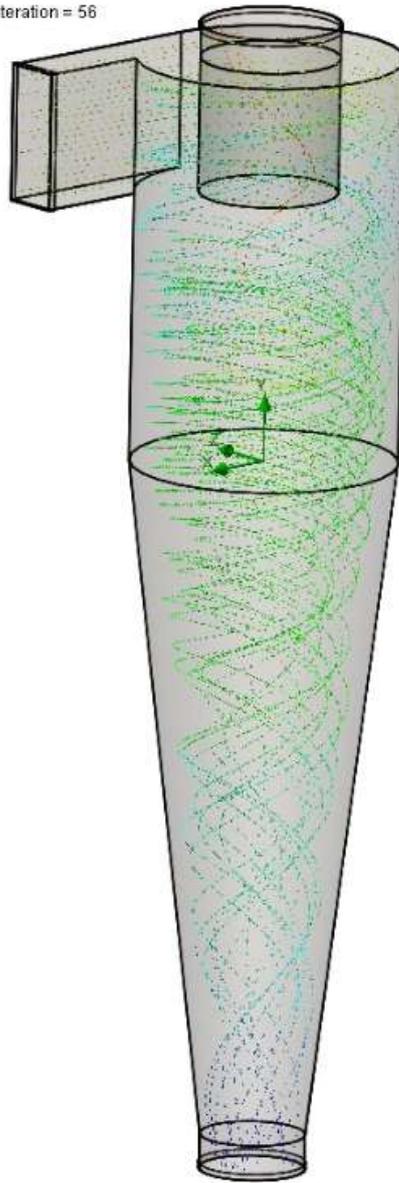
Anexo 8 Esquemas del sistema de extracción



Fuente: Autor

**Anexo 9 Modelado del ciclón de partículas**

Iteration = 56



Fuente: Autor

## Anexo 10 Capacidad de aspiración

### Requerimientos a la aspiración de retales



Los tubos de las instalaciones de aspiración deben presentar conductibilidad eléctrica y estar provistos de toma de tierra.

Aspiración de retales	
Caudal de aire	21000m <sup>3</sup> /h
Vacío estático	190 mm CA (CA = columna de agua) 1900 Pa
Velocidad del aire de aspiración	25 m/s
Diámetro interior	200 mm



### Capacidad de aspiración requerida



Los tubos de la instalación de aspiración han de ser conductores eléctricos y poseer toma de tierra.

Grupo	Volumen de aire	Baja presión mínima (presión estática)	Diámetro de tubos	Velocidad de cauda
Estación de fresado	1500 Nm <sup>3</sup> /h	1500 Pa 150 mmWS	150 mm	24 m/s
Tratamiento del lomo por estación	1000 Nm <sup>3</sup> /h	1500 Pa 150 mmWS	125 mm	12 m/s
Estación de cepillos	1000 Nm <sup>3</sup> /h	1500 Pa 150 mmWS	125 mm	16 m/s
Estación encoladora	1200 Nm <sup>3</sup> /h	150 Pa 15 mmWS	250 mm	7 m/s

Pablo Méndez

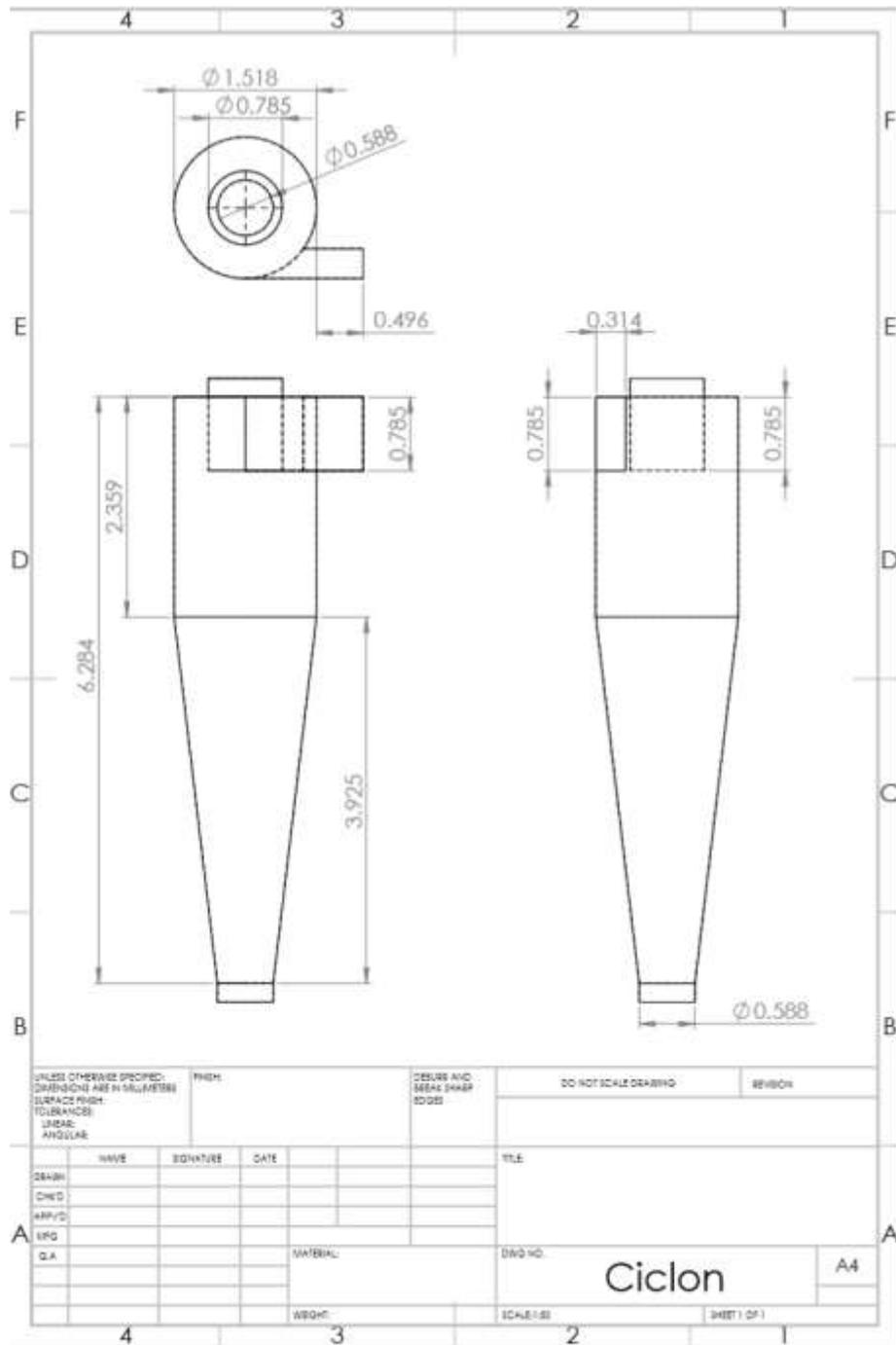
Fuente: Autor

**Anexo 11 Producción de libros**



Fuente: Autor

Anexo 12 Dimensiones del ciclón



Fuente: Autor