



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
EN MECATRÓNICA**

**TEMA:**

**“CICLÓN COLECTOR DE ASERRÍN PARA CARPINTERÍAS ARTESANALES”**

**AUTOR: SEBASTIÁN ANDRÉS SERRANO BRUCIL**

**DIRECTOR: ING. VÍCTOR ALFONSO ERAZO ARTEAGA. MSc**

**IBARRA - ECUADOR**

**2023**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1004738223		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Serrano Brucil Sebastián Andrés		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ibarra		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:saserranob@utn.edu.ec">saserranob@utn.edu.ec</a>		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>		<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0989580162

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	Ciclón colector de aserrín para carpinterías artesanales
<b>AUTOR (ES):</b>	Sebastián Andrés Serrano Brucil
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	27/07/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero en Mecatrónica
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	MSc. Víctor Alfonso Erazo Arteaga

#### 2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 27 días del mes de julio de 2023

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: Sebastián Andrés Serrano Brucil

## CERTIFICACIÓN

Ibarra, 27 de julio de 2023

MSC. VÍCTOR ALFONSO ERAZO ARTEAGA,  
DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICA:

En calidad de tutor del trabajo de grado titulado: **“CICLÓN COLECTOR DE ASERRÍN PARA CARPINTERÍAS ARTESANALES”** que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Sebastián Andrés Serrano Brucil, bajo mi supervisión. Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.



MSc. Víctor Alfonso Erazo Arteaga

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Tribunal Examinador del trabajo de titulación "CICLÓN COLECTOR DE ASERRÍN PARA CARPINTERÍAS ARTESANALES" elaborado por el señor Sebastián Andrés Serrano Brucil, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



Ing. Víctor Erazo, MSc.  
DOCENTE  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

MSc. Víctor Alfonso Erazo Arteaga  
DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



PhD. David Alberto Ojeda Peña  
ASESOR DE TRABAJO DE GRADO

## **DEDICATORIA**

En especial a mi familia, padres y hermano con la promesa de mejorar cada día.

S.S

**AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres por el apoyo incondicional durante el transcurso del tiempo y a todos los docentes que compartieron su conocimiento durante mi formación académica.

S.S

## RESUMEN

El siguiente trabajo de titulación trata sobre el diseño de un ciclón colector de aserrín para carpinterías artesanales, con el fin de reducir la emisión que se tiene en el producto producido por el serrado de madera. La acumulación de aserrín dentro del espacio de trabajo causa varios problemas como afecciones respiratorias en largas exposiciones, riesgo inflamable entre otros.

Se busca diseñar un colector de aserrín ciclónico que permita ser utilizado de manera efectiva en las carpinterías artesanales. Se presenta la solución considerando las necesidades requeridas en las carpinterías de tipo artesanal, seleccionando los diferentes tipos de ciclones de acuerdo con lo requerido. Para realizar la simulación estableciendo el flujo de aire que será proporcionado por un ventilador centrífugo. Finalmente se diseña el ciclón y la estructura de soporte.

Se realizan los planos como resultado del diseño, donde se representa las diferentes partes del ciclón colector con la finalidad de que pueda ser aplicado en posibles proyectos en el futuro.

**ABSTRACT**

The following thesis work deals with the design of a cyclone sawdust collector for artisanal carpentry shops, aiming to reduce the emissions generated during wood sawing processes. The accumulation of sawdust within the workspace causes several issues, such as respiratory problems during prolonged exposures and flammability risks, among others.

The objective is to design a cyclonic sawdust collector that can be effectively used in artisanal carpentry shops. The proposed solution takes into account the specific needs of artisanal carpentry shops, selecting different types of cyclones based on the requirements. A simulation is conducted to establish the airflow, which will be provided by a centrifugal fan. Finally, the cyclone and its supporting structure are designed.

The resulting design includes detailed plans that represent the different parts of the sawdust collector cyclone, facilitating its potential application in future projects.

**CONTENIDO**

DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT.....	VIII
CONTENIDO .....	IX
ÍNDICE DE FIGURA.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XV
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XVI
CAPÍTULO I .....	1
1.1.    El problema.....	1
1.2.    Objetivos.....	2
1.3.    Alcance .....	3
1.4.    Justificación.....	3
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	5
2.1.    Antecedentes.....	5
2.2.    Carpinterías.....	6
2.3.    Tipos de madera.....	7
2.3.1.  Madera natural.....	8

2.3.2.	Madera artificial .....	8
2.4.	Aserrín .....	8
2.4.1.	Características del aserrín.....	9
2.5.	Peligros del aserrín .....	11
2.5.1.	Enfermedades respiratorias .....	11
2.6.	Sistemas de extracción de polvo.....	12
2.6.1.	Precipitación electrostática (ESP) .....	12
2.6.2.	Por medios de filtración .....	15
2.6.3.	Separadores centrífugos .....	17
2.7.	Ciclones .....	17
2.7.1.	Principio de funcionamiento .....	17
2.7.1.	Partes del ciclón separador de polvo .....	18
2.8.	Ventiladores.....	19
2.8.1.	Ventiladores axiales .....	19
2.8.2.	Ventiladores centrífugos .....	19
2.8.3.	Características de los ventiladores .....	20
CAPÍTULO III METODOLOGÍA .....		21
3.1.	Marco metodológico.....	21
3.1.1.	Primera etapa: Recolección bibliográfica .....	21
3.1.2.	Segunda etapa: Diseño del sistema de recolección .....	21

3.1.3.	Tercera etapa: Diseño del ciclón y estructura de soporte.....	22
3.1.4.	Cuarta etapa: desarrollo de planos. ....	22
3.2.	Materiales .....	22
CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y RESULTADOS .....		23
4.1.	Restricciones de diseño .....	23
4.1.1.	Voz del cliente.....	23
4.1.2.	Voz del ingeniero .....	24
4.2.	Dimensionamiento del ciclón colector .....	24
4.3.	Eficiencia del ciclón colector .....	26
4.3.1.	Velocidad equivalente .....	27
4.3.2.	Velocidad de saltación .....	29
4.3.3.	Exponente del vórtice.....	30
4.3.4.	Tiempo de relajación.....	31
4.3.5.	Eficiencia del ciclón.....	31
4.3.6.	Velocidad de salida .....	32
4.4.	Caída de presión .....	33
4.5.	Tubería para la recolección.....	34
4.5.1.	Caudal de la tubería.....	34
4.5.2.	Caída de presión en el sistema de tuberías.....	35
4.6.	Pérdida total de presión .....	37

4.7.	Selección del extractor.....	37
4.8.	Simulación de funcionamiento del ciclón .....	39
4.9.	Diseño del tanque .....	44
4.9.1.	Selección de material .....	44
4.10.	Diseño de la estructura .....	45
4.10.1.	Cálculo de esfuerzo en los elementos .....	47
4.10.2.	Simulación de esfuerzos de elemento calculado analíticamente.....	51
4.10.3.	Comparación de resultado simulación y resolución analítica. ....	53
4.10.4.	Simulación de la estructura .....	53
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		58
5.1.	Conclusiones.....	58
5.2.	Recomendaciones .....	59
REFERENCIAS.....		60
ANEXOS .....		67

**ÍNDICE DE FIGURA**

Figura 1 Carpintería artesanal .....	6
Figura 2 Aserrín, producto del serrado de madera.....	9
Figura 3 Principio de funcionamiento de ESP .....	13
Figura 4 Funcionamiento de ESP en seco y húmedo.....	14
Figura 5 Funcionamiento de un colector tipo Bag house .....	15
Figura 6 Colector de cartucho.....	16
Figura 7 Principio de funcionamiento ciclón colector.....	17
Figura 8 Partes del ciclón.....	18
Figura 9 Ventilador axial .....	19
Figura 10 Ventilador centrífugo.....	20
Figura 11 Dimensiones del ciclón.....	26
Figura 12 Curva característica ventiladores centrífugos de media presión .....	38
Figura 13 Características técnicas ventiladores centrífugos CSB-T.....	39
Figura 14 Definición de lids en el ciclón .....	40
Figura 15 Definición de condiciones de borde .....	41
Figura 16 Parámetros de partícula .....	42
Figura 17 Resultado de simulación.....	43
Figura 18 Eficiencia de captación.....	44

Figura 19 Diseño del ciclón .....	45
Figura 20 Diseño de la estructura .....	46
Figura 21 Estructura con elementos acoplados.....	47
Figura 22 Soporte del ciclón.....	48
Figura 23 Diagrama de cuerpo libre de tubo de soporte del ciclón .....	49
Figura 24 Diagrama de fuerza cortante y momento flector .....	50
Figura 25 Tensión máxima .....	52
Figura 26 Factor de seguridad.....	52
Figura 27 Modelo de la estructura con cargas .....	54
Figura 28 Esfuerzos en la estructura.....	55
Figura 29 Tensión máxima en placa de soporte.....	56
Figura 30 Factor de seguridad de la estructura .....	57

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Herramientas eléctricas utilizadas en las carpinterías.....	7
Tabla 2 Tamaño de partículas madereras.....	9
Tabla 3 Densidades aparentes del aserrín .....	10
Tabla 4 Propiedades del aserrín de pino .....	10
Tabla 5 Voz del cliente .....	23
Tabla 6 Voz del ingeniero.....	24
Tabla 7 Dimensionamiento del ciclón .....	25
Tabla 8 Presión según altura sobre metros sobre el nivel del mar .....	28
Tabla 9 Factores de resistencia por reducción y ampliación .....	36
Tabla 10 Parámetros para selección de extractor.....	38
Tabla 11 Comparación de resultados .....	53

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1 Características de los ciclones de alta eficiencia.....	67
Anexo 2 Esquema eléctrico .....	68
Anexo 3 Tubería flexible .....	69
Anexo 4 Tubo cuadrado catálogo DIPAC .....	71
Anexo 5 Especificaciones lámina catálogo DIPAC.....	72
Anexo 6 Planos CAD.....	73

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **1.1. El problema**

Según [1] hay un total de 13,779 números de Registro Único de Contribuyentes (RUC) vigentes que corresponden a empresas dedicadas a la elaboración de mobiliario en madera. Del conjunto de estas empresas, el 82,2% están ubicadas en las provincias de Pichincha, Guayas, Azuay, Manabí, Tungurahua, Imbabura, Loja y Santo Domingo de los Tsáchilas. Con base a los datos presentados, se puede deducir que los talleres dedicados a la producción de mobiliario en madera en la provincia de Imbabura ocupan un importante lugar en la industria ecuatoriana.

En la provincia de Imbabura y el cantón Ibarra existen dos tipos de fábricas, las de transformación primaria que abarcan a los aserraderos, fábrica de tableros y pasta de papel. Las fábricas de transformación secundaria como carpinterías, fábricas de muebles, talleres artesanales entre otros establecimientos [2].

Los talleres existentes en la provincia de Imbabura generan aserrín o serrín que son las partículas resultado del serrado de la madera o demás operaciones que se realicen en esta [3].

Cotidianamente las carpinterías artesanales, acumulan los desechos madereros dentro del área de trabajo, a diferencia de otras industrias las cuales poseen sistemas de recolección específicas para las herramientas que generan estos residuos. Esto se debe a que las pequeñas carpinterías de tipo artesanal tienen una evidente e inadecuada gestión de los residuos de madera, generados durante la etapa de serrado, por lo que la condición de

trabajo de estas es dentro de un ambiente laboral contaminado por el polvo de madera, lo cual genera molestia, deterioro en el bienestar del personal y la contaminación ambiental [4].

Como señala [5], se observaron asociaciones fuertes y consistentes con el cáncer de la cavidad nasal y los senos paranasales en investigaciones realizadas en individuos cuyos trabajos estaban vinculados a la exposición al polvo de madera. Además [6] Indica que la inhalación de polvo de madera en el entorno laboral ha sido vinculada con diversos impactos entorno al sistema respiratorio, las cuales son provocadas por material particulado mayor a 10 micras, mayoritariamente quedan alojadas en la nariz, donde tiene la posibilidad de desencadenar afecciones localizada. Además, cuando tienen menor magnitud son capaces de llegar a los pulmones y allí pueden ocasionar complicaciones al mismo.

De acuerdo con estudios realizados por industrias madereras en Suecia, Canadá y Norteamérica señalaron que 13.5% de los sujetos expuestos al polvo de madera, padecen de afecciones respiratorias [7]. De esta forma se puede señalar que la exposición al aserrín causa serias complicaciones en la salud del personal que labora en los talleres artesanales, más aún cuando no se cuenta con el equipo de protección personal adecuado.

Por lo cual se realizará un diseño de un ciclón colector de aserrín para carpinterías artesanales, que permita disminuir este desecho y la acumulación de este en el ambiente, minimizando las afecciones que pudiese llegar a causar en las personas involucradas en operaciones de serrado de madera.

## **1.2. Objetivos**

### **Objetivo general**

- Diseñar un colector de aserrín para carpinterías de tipo artesanal.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar parámetros técnicos y el principio de funcionamiento del ciclón ideal en carpinterías artesanales.
- Diseñar el tipo de ciclón adecuado para la captación de restos madereros.
- Seleccionar un ventilador centrífugo para el colector.
- Realizar las especificaciones técnicas y planos.

### **1.3. Alcance**

Diseñar un sistema ciclónico colector de aserrín que permitirá disminuir la emisión de restos madereros en el entorno de trabajo. Esto se determinará por el principio de funcionamiento y las características técnicas del ciclón recolector.

El proyecto se basa en la captación de restos madereros como el aserrín en carpinterías de tipo artesanal cuya infraestructura es reducida. Por lo cual los parámetros a considerarse son diferentes a las grandes industrias madereras, además se realizará las especificaciones técnicas y planos correspondientes.

### **1.4. Justificación**

La industria maderera en conjunto con los talleres artesanales son de gran importancia ya que solventan problemas comunes en la sociedad a través del procesamiento y modificación de madera como producto base, resultando en la elaboración o reparación de artículos de madera.

Según [2] la industria de primera transformación no tiene un desarrollo significativo en el cantón, aunque cuenta con cierta cantidad de aserraderos. Sin embargo, la industria de segunda transformación, si tiene una representación importante. Por lo tanto, se puede asegurar que dentro del cantón existe un mayor número de carpinterías artesanales en

comparación a la cantidad de aserraderos. Estos establecimientos artesanales no cuentan con medidas necesarias para mitigar la acumulación y recolección de aserrín producido durante el trabajo en las carpinterías y estos a su vez generan graves afecciones durante una prolongada exposición sin equipo de protección personal.

Con lo descrito anteriormente está claro que, en las pequeñas industrias, talleres madereros necesitan un sistema de recolección eficiente que mitigue todos los problemas que conlleva la acumulación de este residuo a largo plazo en el área de trabajo. Ya que en los pequeños establecimientos no cuentan con un capital económico necesario y tampoco tiene el apoyo gubernamental ni social para que se logre mejores condiciones de trabajo.

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

El ciclón colector es aplicado ampliamente con el propósito de gestionar la contaminación de partículas suspendidas en el contexto de aplicaciones industriales. Debido a sus características favorables, como la fabricación relativamente simple, los bajos costos de operación y la alta compatibilidad con condiciones adversas.

En el 2018 [8] presentan el diseño de un sistema de extracción de polvo y viruta de madera para la carpintería de la fundación Salesiana “PACES”. Elaboran alternativas tecnológicas para la extracción de polvos. De manera que sea posible seleccionar la tecnología que mejor se adapte en los procesos llevados a cabo dentro de la carpintería del proyecto PACES. Finalmente realizan la selección del extractor óptimo y el diseño adecuado de un separador ciclónico considerando las condiciones necesarias. Por otra parte, Castillo y otros en el 2018 [9] exponen la instrumentación de un colector de polvos ciclónicos para el monitoreo y control de su eficiencia. Se implementa una serie de sensores que muestran variables involucradas durante el funcionamiento del separador ciclónico además se tenga la posibilidad de modificar el flujo de aire por una acción de control. Se logró dimensionar el ciclón con lo que se determinó la eficiencia de colección que otorga de acuerdo con su construcción. Echeverri en el 2006 [10] muestra el diseño óptimo de ciclones, donde expone los criterios generales para diseñar ciclones en el control de partículas y presenta la noción de velocidad de saltación como un parámetro crucial para un adecuado funcionamiento de los ciclones.

En el 2006 [11] muestra las recomendaciones para el mejoramiento de los sistemas de extracción neumática de residuos de madera. En el cual se presentan diversas soluciones prácticas que pueden implementarse en lugares donde se han instalado sistemas de captación neumática de

residuos granulares de madera en sistemas que han sido identificados con deficiencias en su diseño, y las soluciones propuestas buscan abordar estas problemáticas de manera práctica.

[12] en 2013 presenta el cálculo, diseño y fabricación de colector de polvo. El proyecto presenta los factores imprescindibles para elaborar el diseño de un recolector de polvo teniendo en cuenta la selección del ventilador centrífugo lo que permite una correcta captación de partículas.

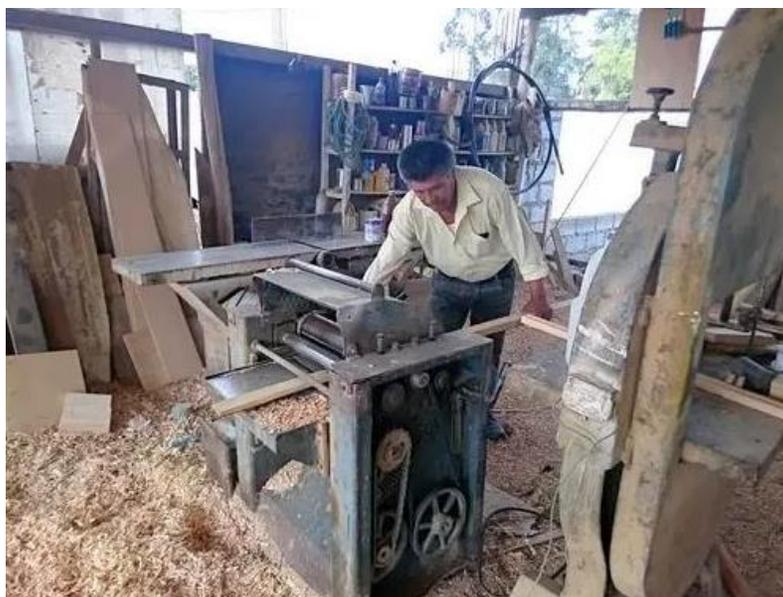
## 2.2. Carpinterías

Un carpintero es el artesano cuya labor es la revitalización, ejecución y diseño de objetos en los distintos tipos de madera, las cuales son combinadas con varios materiales para la elaboración del producto final. Entre sus obras se encuentran diversos tipos de muebles y accesorios [13].

Por lo tanto, una carpintería es el taller donde se realizan los trabajos de un carpintero, realizar la transformación de madera en bienes materiales, la Figura 1 es un claro ejemplo de una carpintería de tipo artesanal

### Figura 1

*Carpintería artesanal* [14].



Dentro de los talleres se utilizan diversas herramientas para el trabajo con madera, existen varias herramientas manuales y eléctricas que son indispensables para la fabricación de artículos. Las máquinas eléctricas permiten realizar operaciones más complejas, a diferencia de las manuales, consecuentemente generan mayor cantidad de aserrín, desperdicios madereros. Las herramientas eléctricas comúnmente presentes en los talleres carpinteros son expuestos en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Herramientas eléctricas utilizadas en las carpinterías.*

Herramientas	Utilización
Sierra circula de mesa	Permite cortar madera en piezas largas a medida y diferentes tipos de juntas.
Lijadora	Ayuda al acabado superficial de la madera
Taladro	Permite realizar perforaciones
Tupi	Se utiliza para fresar, agujerear diferentes áreas en la madera, fresado de perfiles.
Torno convencional	Realiza el desbaste de madera mediante del giro de la madera, creando principalmente ejes con diversas formas y tamaños
Sierra de banda	Permite realizar cortes más precisos en formas irregulares.

### 2.3. Tipos de madera

Dentro de las carpinterías se usa distintos tipos de madera ya sea natural o artificiales para la elaboración de diferentes tipos de muebles u objetos.

### ***2.3.1. Madera natural***

Es la madera que se obtiene directamente de los árboles luego de ser talados y se clasifican en:

- **Maderas duras:**

Se obtienen de árboles que presentan un crecimiento lento, por lo que tardan tiempo en alcanzar la madurez para ser talados, presentan una mayor resistencia que las maderas blandas, algunas maderas duras son la caoba, teca, roble, olivo, nogal y cerezo [15].

- **Maderas blandas**

Son maderas cuyo árbol presenta un crecimiento más rápido, su precio es menor y su resistencia es menor como son el pino y cedro [15].

### ***2.3.2. Madera artificial***

No es directamente obtenida del tronco de árboles, sino que sufre una transformación por procesos industriales dándole diferentes características, comercialmente se distribuyen en láminas de distinto grosor como son el aglomerado, mdf, aglomerado chapado, contrachapado y triplex [15].

## **2.4. Aserrín**

Dentro de los establecimientos se requiere de procesos de transformación de materia prima en productos, para ello se realiza diversas técnicas de trabajo, como son el serrado, el cepillado y el lijado de madera. Estas técnicas generan inevitablemente desperdicios como son el aserrín o polvo de madera. El aserrín, mostrado en la Figura 2, se describe como un grupo de material particulado el cual se suelta de la madera cuando es serrada y manipulada durante los procesos de transformación [16].

## Figura 2

*Aserrín, producto del serrado de madera [17].*



### 2.4.1. Características del aserrín

- **Tamaño de aserrín.**

En la Tabla 2 se menciona los residuos generados en las carpinterías de diversos tamaños.

**Tabla 2**

*Tamaño de partículas madereras [18].*

Residuos	Tamaño (mm)
Lijaduras	<1
Aserrín	1-10
Virutas	1-12
Corteza desmenuzada	1-100

- **Densidad del aserrín.**

Se hace referencia a la evaluación del nivel de compresión del aserrín. es decir, masa por unidad de volumen [19].

En un estudio realizado en la generación de aserrín por diferentes herramientas de corte indica los siguientes valores expresados en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Densidades aparentes del aserrín [20].*

Herramientas de corte	Densidades ( $g/cm^3$ )
Sierra circulares	$0,20 \pm 0,89$
Motosierras	$0,28 \pm 16$
Sierra de cinta	$0,14 \pm 0,50$

*Nota.* Densidades aparentes del aserrín producido por diferentes herramientas de corte.

Además, se tiene la densidad real que expresa el valor real de la masa sobre el volumen de la materia obviando los espacios de aire existentes en el material.

En la Tabla 4 se presenta las distintas características del aserrín de pino, ya que el pino es una madera comúnmente usada en las carpinterías artesanales.

**Tabla 4**

*Propiedades del aserrín de pino [21].*

Densidad real en seco $kg/m^3$	Densidad real en húmedo $kg/m^3$	Densidad aparente en seco $kg/m^3$	Densidad aparente en húmedo $kg/m^3$	Porosidad total %
1400	1100	310	940	91

*Nota.* La mezcla estudiada corresponde a corteza 20% y aserrín 80%.

- **Capacidad de ignición.**

Los incendios y las explosiones por el polvo son una de las mayores amenazas en muchas industrias donde se forman capas de polvo y/o nubes durante los procesos de serrado, que son

capaces de ignición. La temperatura mínima para una posible ignición en el aserrín generado de madera seca y fresca es de 300 °C [22].

## **2.5. Peligros del aserrín**

El aserrín representa un peligro para la salud si se llega a aspirar en periodos prolongados, puede ocasionar diversos problemas de salud, principalmente enfermedades respiratorias.

El aserrín que es producido por las máquinas de carpintería puede ser causante de lesiones a los ojos, ya sea arrojado en el serrado de la madera, o por el propio trabajador al tocarse la cara por cualquier situación, provocando el ingreso de aserrín acumulado en el rostro hacia los ojos [23].

También el hacinamiento del polvo de madera puede crear riesgo de incendios o explosiones. A medida que se realizan trabajos de serrado con la madera el polvillo generado por estos procesos tiende a acumularse en el área de trabajo y en las máquinas cercanas a la zona de trabajo y sus alrededores, esto provoca obstrucción en la ventilación, lo que puede generar sobrecalentamientos ya que atrapa al calor. Si se origina suficiente calor el aserrín podría arder lo que generaría un incendio [23].

### ***2.5.1. Enfermedades respiratorias***

Los peligros que representa la inhalación de polvo de madera afectan principalmente al sistema respiratorio. El personal que labora dentro del área de trabajo está expuesto al polvillo de madera, al ser aspirado, se aloja en la cavidad nasal, la garganta y otras vías respiratorias, una persona al estar expuesta por prolongados periodos de tiempo es propensa a sufrir enfermedades respiratorias, tiene una amplia relación con cáncer en la cavidad nasal y senos paranasales [5].

Las partículas diminutas son capaces de llegar a los pulmones y ser causantes varias afecciones crónicas [6].

El artículo presentado por [24] exponen enfermedades respiratorias no malignas a la exposición de partículas de madera, como son la disminución en la función pulmonar, rinoconjuntivitis, Epec, entre otros, mediante la redacción de varios trabajos investigativos. Con lo anteriormente mencionado se puede decir que el polvo de madera en el ambiente representa un factor de riesgo en las personas involucradas en el área de trabajo.

## **2.6. Sistemas de extracción de polvo**

En la industria existen diversos sistemas de extracción para el polvo de madera, ya que ayudan en la disminución de polución por aserrín dentro del área de trabajo, esto a su vez minimiza los factores de riesgo que conlleva la acumulación de este en los distintos establecimientos que generan algún tipo de material particulado [25].

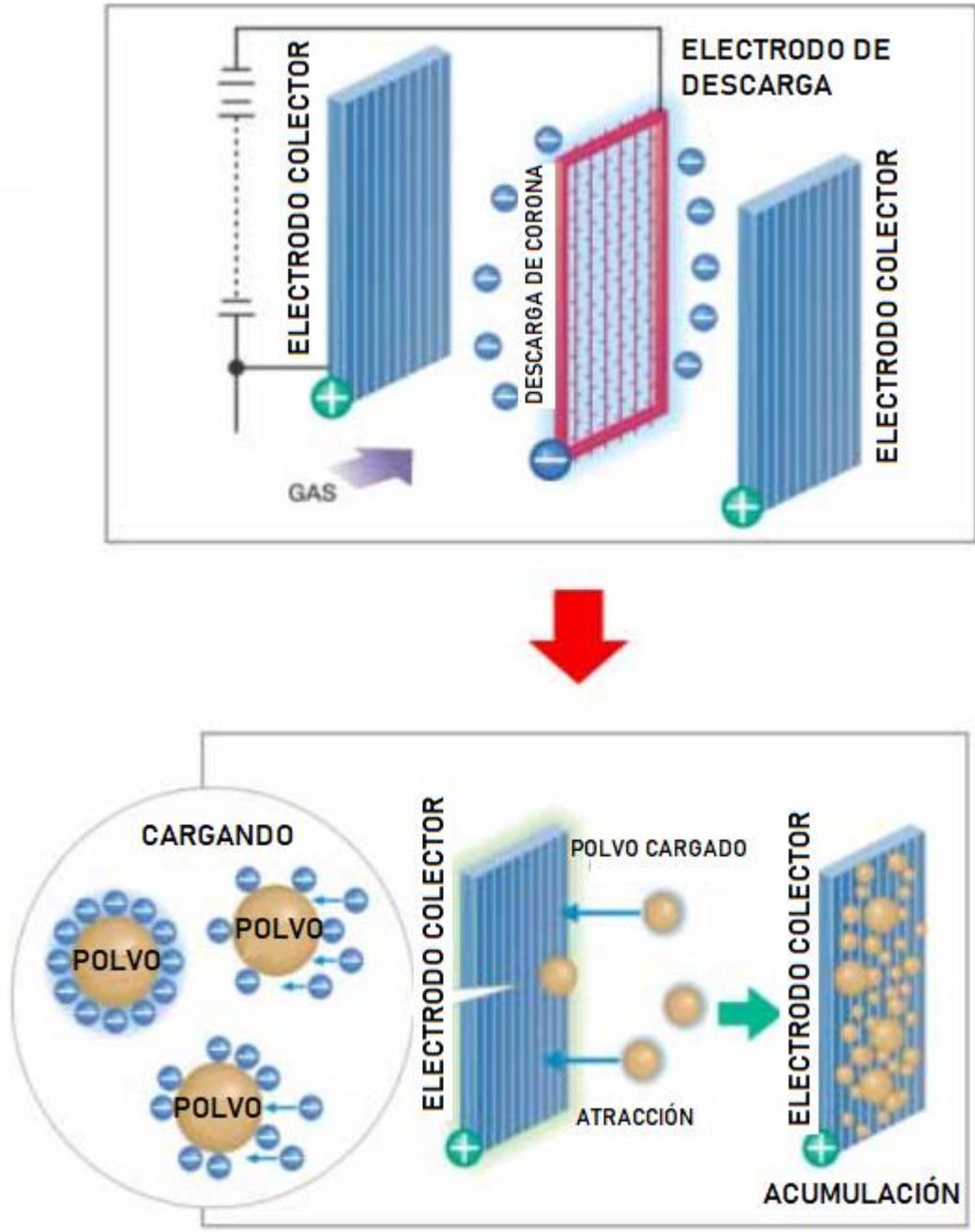
### ***2.6.1. Precipitación electrostática (ESP)***

Son sistemas de recolección que utilizan fuerzas de tipo electrostáticas para separar las partículas de los gases de salida, principalmente las partículas tienden a moverse por una región donde se encuentran electrodos los cuales producen un campo eléctrico, y así cargan las partículas de polvo, esto permite que se adhieran a una superficie de recolección. Cuando el polvo es recolectado, la superficie comienza a vibrar de modo que las partículas caigan y posteriormente sean recolectadas en una tolva [26]. La Figura 3 muestra este proceso.

Las partículas que son recogidas durante este proceso como todo sistema de extracción deben desecharse; en específico este tipo de recolección por precipitación electrostática puede eliminar el material particulado de las placas en seco o pueden deshacerse por medio de un lavado con agua en las placas, esto significa que los ESP tiene una clasificación por el medio de limpieza [27].

**Figura 3**

*Principio de funcionamiento de ESP [27].*

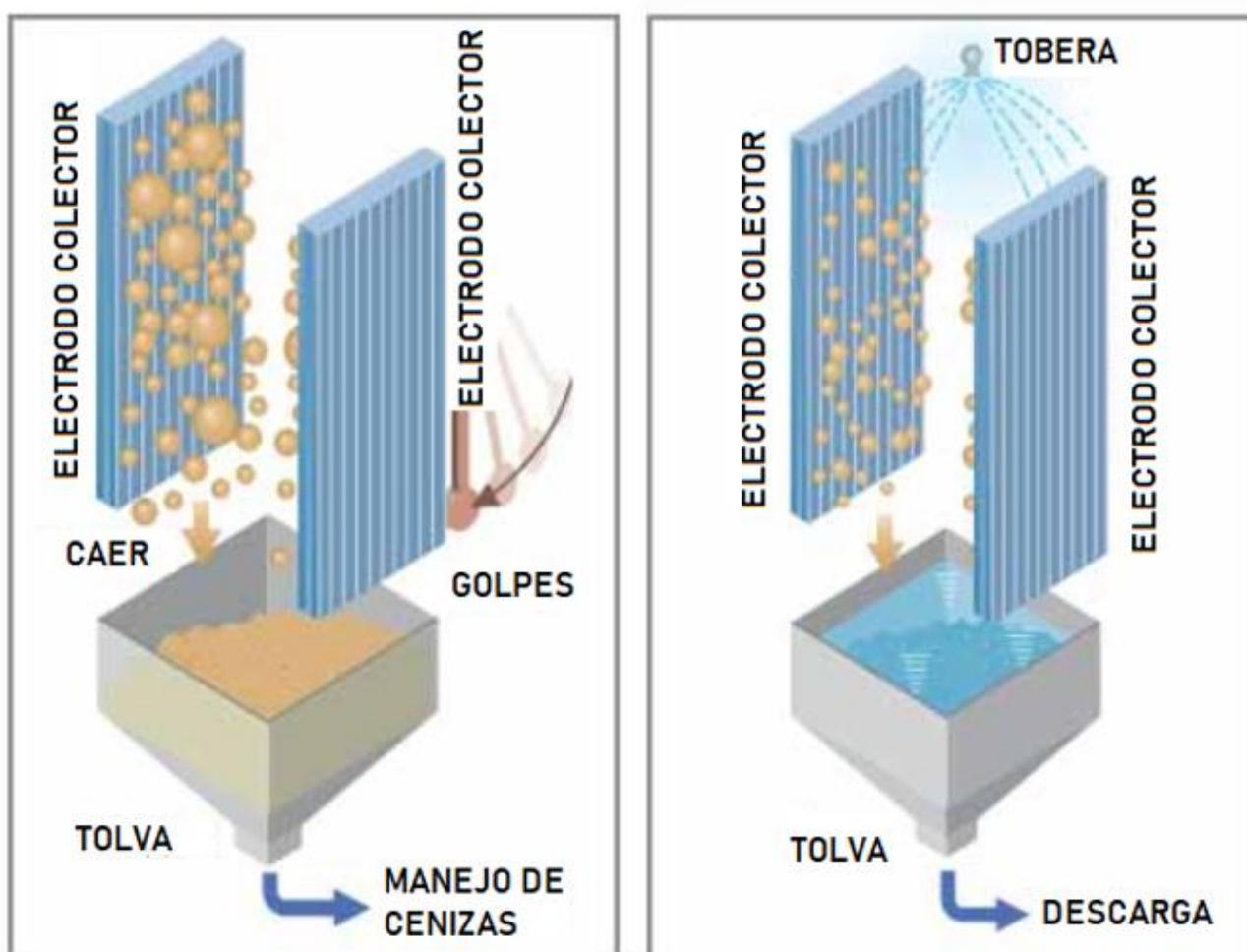


**Tipos de ESP.** Se puede clasificar en ESP en seco y en húmedos que se expone en la Figura 4, la principal diferencia radica en el proceso para limpiar las placas de recolección.

Los ESP en seco, se limpian por medio de impulsos mecánicos como vibraciones de las placas lo que permite que las partículas atrapadas se desprendan. Los ESP húmedos desprenden las partículas adheridas por medio de un enjuague con agua en las placas recolectoras, se emplean típicamente cuando las corrientes de gas contienen partículas pegajosas con baja resistividad [28].

#### Figura 4

*Funcionamiento de ESP en seco y húmedo [27].*



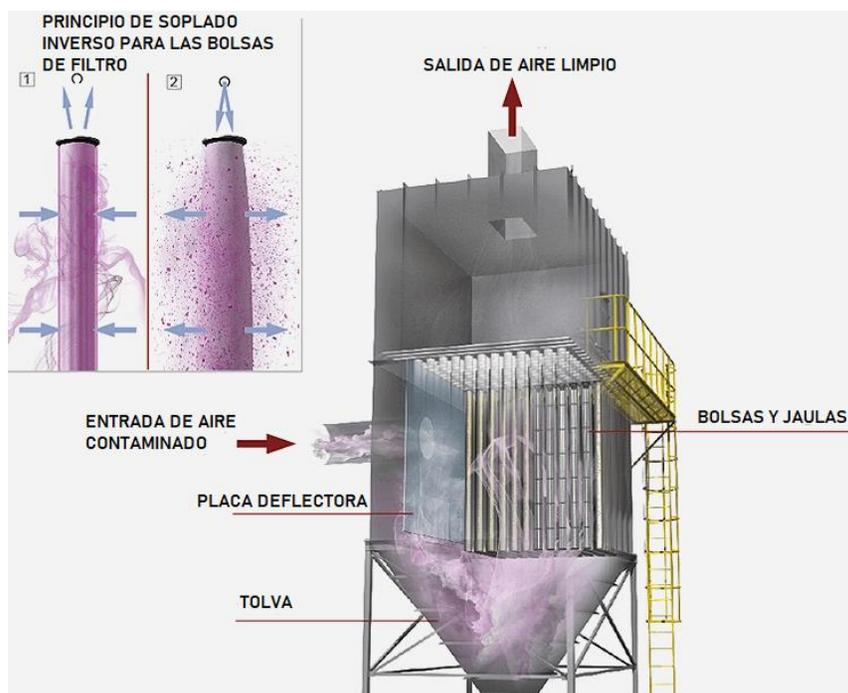
### 2.6.2. Por medios de filtración

Estos sistemas utilizan principalmente pantalla o filtros de distintos materiales con lo que separan físicamente las partículas del flujo de gas, existen varios tipos de colectores que utilizan este sistema [25].

**Filtro (bag house).** Son dispositivos que incorporan varios conductos de filtros de tela o bolsas para recolectar y separar los residuos. Están diseñados para atraer flujos de gas con partículas, polvo por medio de los conductos en los cuales filtran y atrapan el gas o aire contaminado en los filtros [29]. En el transcurso de la operación el polvo va acumulándose en la tela formando una especie de torta de polvo y es responsable de un gran porcentaje de filtrado, impidiendo el paso de polvo al lugar de trabajo. Las bolsas van limpiándose continuamente por agitación, flujo de aire inverso o pulsos de aire[25]. En la Figura 5 se presenta el ciclo de funcionamiento.

#### Figura 5

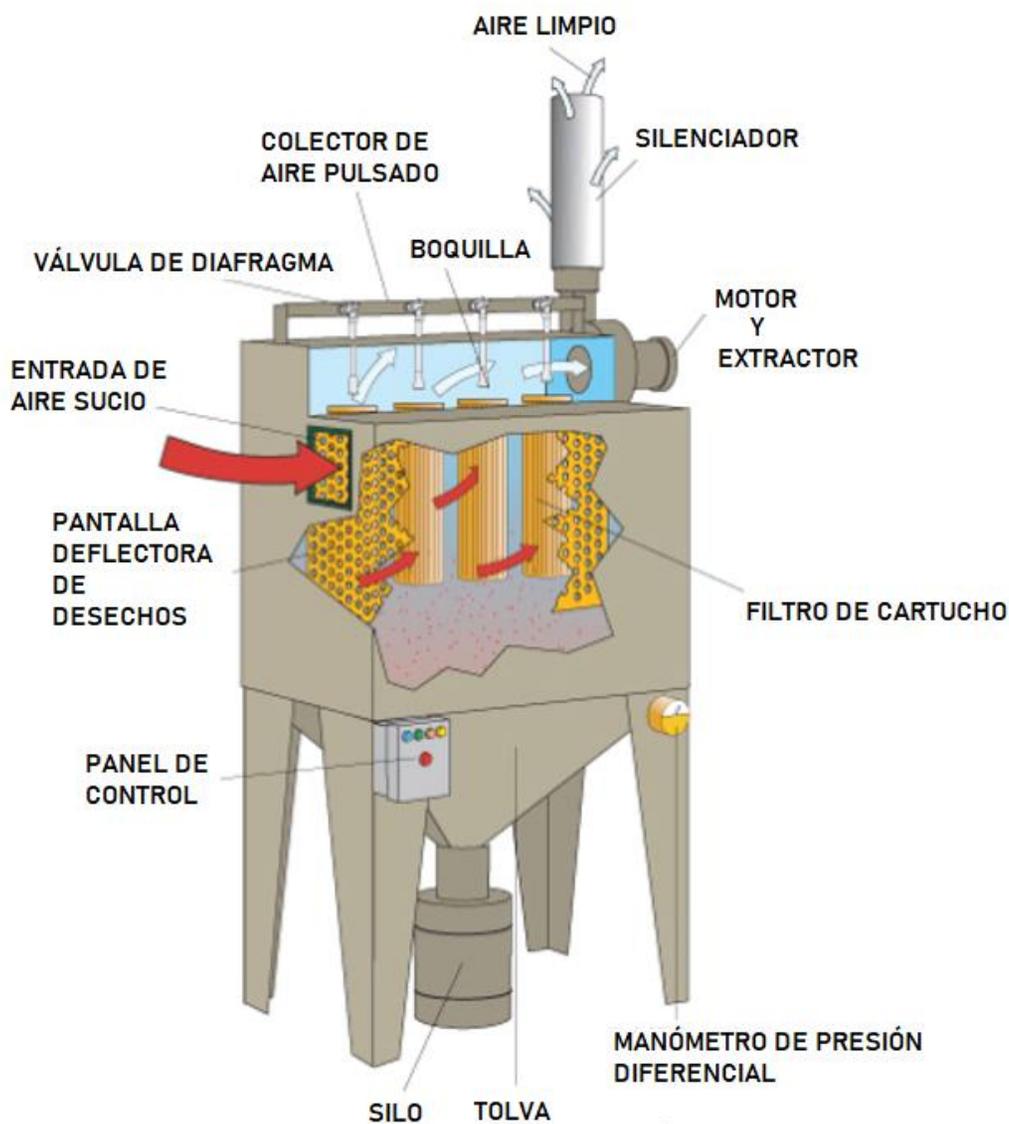
*Funcionamiento colector tipo Bag house [30].*



**Colectores de polvo de cartucho.** Utilizan insertos cilíndricos de metal perforado recubiertos con material filtrante no tejido corrugado. Una vez instalado, se sella un extremo del cartucho y el extremo abierto sirve para una salida limpia, que se muestra en la Figura 6. La filtración se logra forzando una corriente de aire a través del cartucho. Los colectores de cartucho son compatibles con la limpieza por refluo o por chorro pulsante (pulse jet) [25].

### Figura 6

*Colector de cartucho*[25].



### 2.6.3. Separadores centrífugos

Estos sistemas utilizan separación centrífuga, las partículas presentes en el flujo de gas, aire se eliminan por acción de fuerzas centrífugas e inercia [31].

## 2.7. Ciclones

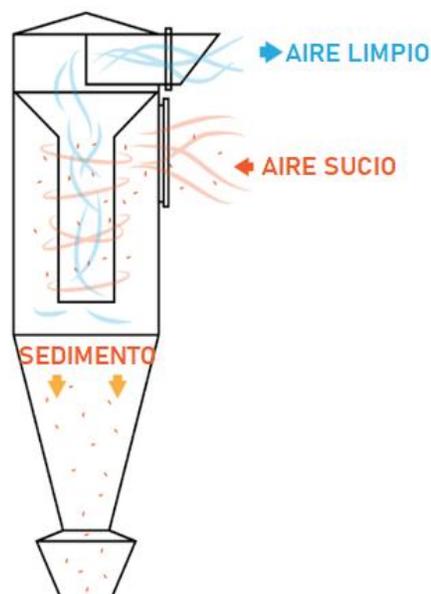
Son sistemas de separación de partículas ampliamente usadas en la industria, ya que su diseño es relativamente sencillo con un bajo coste.

### 2.7.1. Principio de funcionamiento

Su funcionamiento se fundamenta en la entrada de flujo de aire en forma tangencial al ciclón, el flujo de aire forma un vórtice centrífugo el cual entra en el ciclón con forma de cono presentado en la Figura 7. Mientras el vórtice gira hacia abajo, las fuerzas centrífugas permiten que las partículas más grandes caigan a la parte de salida primaria ubicada en la parte inferior. Las partículas más finas son aspiradas hacia el extremo superior [32] [33]. Para que las partículas más finas se no se liberen, se coloca un filtro en la salida superior, disminuyendo la salida de partículas.

### Figura 7

*Principio de funcionamiento ciclón colector [32].*



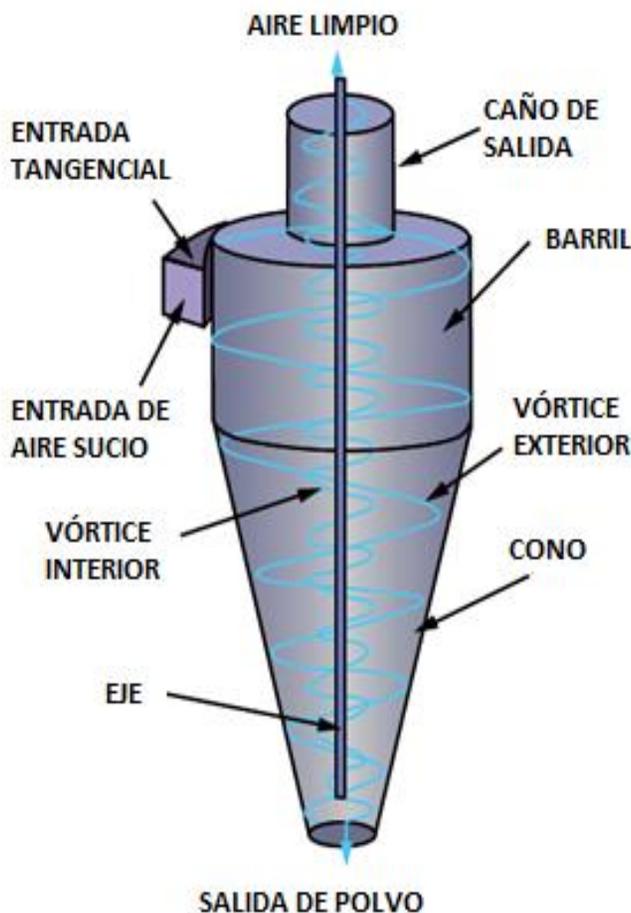
### 2.7.1. Partes del ciclón separador de polvo

Las partes que constituyen al separador ciclónico son relativamente sencillas, ya que no son partes móviles. Consiste en un cilindro vertical con la parte inferior en forma cónica, además de una parte que permita entrada de flujo gas mezclado con polvo, dos tubos de salida, uno en la parte superior y otro ubicado en la parte inferior [34], la cual se observa en la Figura 8.

Las partes externas que permiten la captación del fluido son un ventilador centrífugo y las tuberías que van interconectadas hacia los equipos que generen polvo o desperdicios de este tipo, además de un silo para la recolección del material particulado.

#### Figura 8

*Partes del ciclón [35].*



## 2.8. Ventiladores

Los ventiladores son dispositivos rotatorios capaces de desplazar un determinado volumen de aire, al que se proporciona una presión adecuada, necesaria para que sea capaz de vencer las pérdidas de carga generada en el flujo por los conductos [36].

### 2.8.1. Ventiladores axiales

Son denominados aquellos donde el aire entra y sale de la hélice en dirección de trayectorias a lo largo de superficies en alineación al eje del ventilador [36], esta es mostrada en la Figura 9.

#### Figura 9

*Ventilador axial* [37].



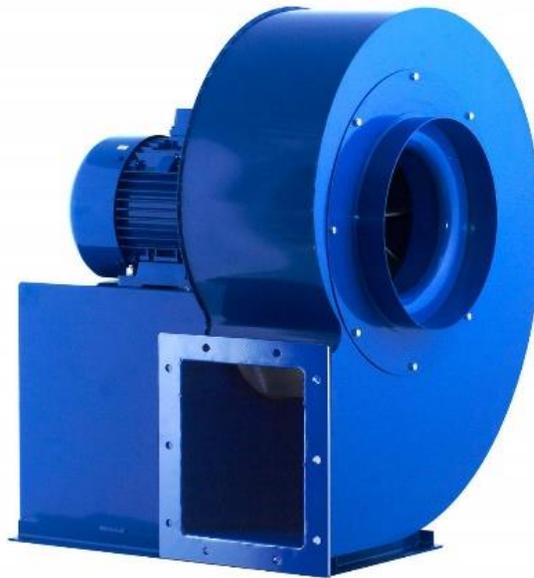
### 2.8.2. Ventiladores centrífugos

Es un aparato mecánico compuesto de diversas partes como el rodete de aletas que giran dentro de una carcasa espiral llamada voluta. La rotación del rodete se lo hace por medio de un

motor, comúnmente eléctrico, siendo su principal funcionalidad el movimiento de aire o un fluido tipo gaseoso [38], se puede visualizar en la Figura 10.

### **Figura 10**

*Ventilador centrífugo* [39].



#### **2.8.3. Características de los ventiladores**

[38] nos muestra las características principales a considerar en ventiladores, los cuales son:

- **Caudal**

Hace referencia a la cantidad de fluido que circula por el ventilador en un lapso determinado de tiempo. Esta característica es puntual solo para los ventiladores de baja y media presión, ya que a altas presiones es necesario considerar la compresibilidad en el fluido [38].

- **Presión**

Esta propiedad se define como la diferencia por presiones medias y totales en las secciones de succión y descarga [38].

## CAPÍTULO III METODOLOGÍA

### 3.1. Marco metodológico

En el presente capítulo se presenta la metodología a aplicarse en el desarrollo de las actividades, con la finalidad de tener una línea de orden en los procesos, cumpliendo los objetivos en el desarrollo del diseño de un ciclón colector de aserrín para carpinterías artesanales.

Donde es primordial considerar aspectos primarios como la problemática a tratar, el fundamento teórico, restricciones para el diseño preliminar, fases de simulación para la validación del diseño, características técnicas del producto, entre otros aspectos [40][41][42].

Las etapas para el presente trabajo se describen a continuación.

#### ***3.1.1. Primera etapa: Recolección bibliográfica***

Se busca información bibliográfica orientada al tema del trabajo actual, en este caso sobre el diseño de ciclones, además de buscar las restricciones y requerimientos en las carpinterías artesanales para que el diseño permita suplir las necesidades que se proponen.

#### ***3.1.2. Segunda etapa: Diseño del sistema de recolección***

Una vez definido los requerimientos se procede al diseño del ciclón con la información recolectada en la etapa anterior. Los puntos para tratarse son el dimensionamiento del ciclón, selección de tuberías, caída de presión y selección del ventilador centrífugo mediante cálculos correspondientes.

Finalmente se procede a realizar una simulación del funcionamiento para observar la captación de material particulado con el diseño propuesto.

### ***3.1.3. Tercera etapa: Diseño del ciclón y estructura de soporte***

Se realiza el proceso de diseño para el ciclón y la estructura de soporte teniendo en consideración los datos obtenidos en la etapa anterior, donde se realiza la selección de materiales y el diseño CAD obteniendo una previsualización del modelo planteado.

Además, se realiza una simulación de esfuerzos por elementos finitos con el fin de conocer la resistencia y el factor de seguridad que tendrá la estructura para el soporte de los diferentes elementos en las posibles condiciones de trabajo.

### ***3.1.4. Cuarta etapa: desarrollo de planos.***

Una vez realizado el diseño CAD y el análisis de esfuerzos, se presentará las especificaciones técnicas obtenidas como resultado del diseño, además se desarrollará el despliegue de planos individuales y de conjunto de los distintos elementos que constan en el sistema de recolección y de la estructura de soporte.

## **3.2. Materiales**

- Computador
- Software CAD
- Internet
- Impresora
- Papel

## CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 4.1. Restricciones de diseño

El presente trabajo está enfocado en suplir las necesidades de las carpinterías de tipo artesanal los cuales son talleres de generalmente pequeños con baja división social, además manejan máquinas y herramientas relativamente simples ya que a diferencia de los productores industriales no cuentan con el mismo alcance económico [43].

#### 4.1.1. Voz del cliente

La voz del cliente son las condiciones que propone el cliente para el diseño de la máquina. En este caso se presentan los deseos del cliente en la Tabla 5 .

**Tabla 5**

*Voz del cliente.*

Deseos del cliente	Descripción
Dimensiones de la máquina	La máquina no puede ser más de 2.5 m alto
Fácil de operar	La máquina para ser operada solo necesita de una sola persona y controles sencillos
Eficiencia	Capaz de recolectar más del 60% de material particulado.
Bajo costo	Debido al limitado presupuesto de los centros artesanales debe ser relativamente accesible
Producto resistente	Todo el sistema debe ser diseñado garantizando la confiabilidad a largo plazo
Eléctrico	Debido a las limitaciones de los centros artesanales el sistema debe trabajar a 110v

#### 4.1.2. *Voz del ingeniero*

Son las condiciones que propone el ingeniero para empezar el proceso de diseño. Estas condiciones son indicadas en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Voz del ingeniero.*

Requerimientos del ingeniero	Descripción
Material	Ideal en acero ASTM A36 ya que es un material resistente y accesible para la manufactura
Aspiración por succión	Uso de ventilador centrífugo
Tipo de ciclón	Ciclón de alta eficiencia

#### 4.2. **Dimensionamiento del ciclón colector**

El ciclón recolector que se selecciona para el presente trabajo de titulación es de alta eficiencia ya que, estos recolectores ciclónicos de alta eficiencia se han diseñado para remover una mayor cantidad de partículas diminutas a comparación a los de tipo convencional, lo que resulta acertado en usos de las carpinterías tipo artesanal, además los ciclones de este tipo son capaces de aspirar material particulado de 5  $\mu\text{m}$ , presentando una eficacia de alrededor del 90% en la recolección, pudiendo lograr mayores eficiencias con partículas de mayor tamaño [31].

[31] indica que para conocer el dimensionamiento de los ciclones se lo realiza por ecuaciones predefinidas de acuerdo con las diferentes familias de ciclones, como se muestra en el Anexo 1.

Los datos se calcularon a partir del Anexo 1, eligiendo el ciclón alta eficiencia tipo Stairmand. Con la finalidad de calcular las dimensiones del ciclón se necesita conocer el diámetro. La restricción para la máquina es que no sea mayor a 2,5 m. Por lo cual se supone la altura del ciclón con 1,20 m ya que usualmente se coloca el ventilador centrífugo sobre el ciclón, además se necesita un silo debajo del ciclón para la recolección de material particulado, lo cual aumentaría el tamaño total de la máquina.

Con las ecuaciones presentadas en el Anexo 1 se procede a calcular el dimensionamiento y estas son mostradas a continuación en la Tabla 7.

**Tabla 7**

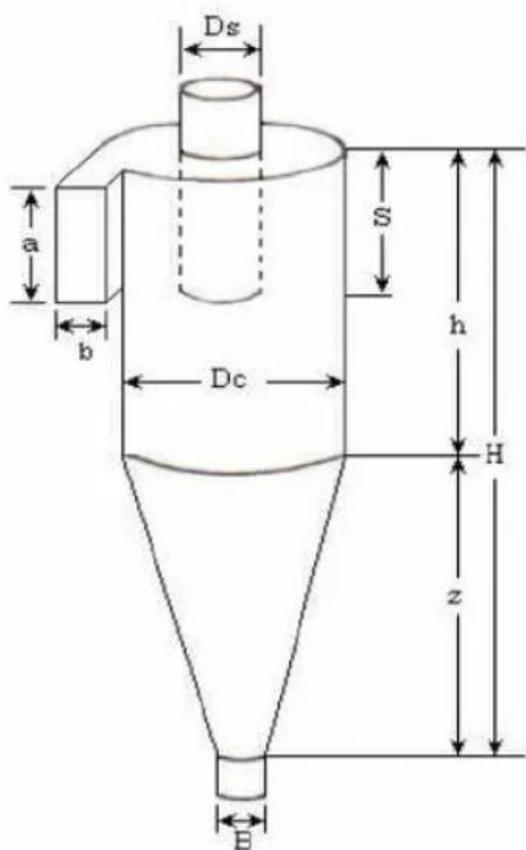
*Dimensionamiento del ciclón.*

Dimensiones	Valores en metros
Altura del ciclón	$H = 1,20 \text{ m}$
Diámetro del ciclón	$D_c = 0,30 \text{ m}$
Altura de entrada	$a = 0,15 \text{ m}$
Ancho de entrada	$b = 0,06 \text{ m}$
Altura de salida	$s = 0,15 \text{ m}$
Diámetro de salida	$D_s = 0,15 \text{ m}$
Altura parte cilíndrica	$h = 0,45 \text{ m}$
Altura parte cónica	$z = 0,75 \text{ m}$
Diámetro salida de partículas	$B = 0,113 \text{ m}$

Se muestra la Figura 11 donde se visualiza el dimensionamiento del ciclón con sus respectivas partes.

**Figura 11**

*Dimensiones del ciclón [31].*



Ítem	Dimensiones
H	Altura del ciclón
Dc	Diámetro del ciclón
a	Altura de entrada
b	Ancho de entrada
S	Altura de salida
Ds	Diámetro de salida
h	Altura parte cilíndrica
z	Altura parte cónica
B	diámetro salida de partículas

#### 4.3. Eficiencia del ciclón colector

Para conocer la eficiencia en el colector ya dimensionado se debe tener presente parámetros, uno de los más importantes es que no exista resuspension, además factores como son la velocidad de entrada, salida, de saltación entre otros [31], los cuales serán calculados a continuación.

### 4.3.1. Velocidad equivalente

Se refiere a la velocidad de ingreso del polvo hacia el ciclón, en el diseño de ciclones la velocidad de entrada es muy importante ya que debido a bajas velocidades ocurre la sedimentación del material particulado atenuando el efecto de la velocidad centrifuga en el ciclón, esto resulta en una disminución en la eficacia para la recolección [31].

Para esto se consideran diferentes factores del aire, en este caso se trabajará para la ciudad de Ibarra en Imbabura. La velocidad equivalente se calcula con la ecuación (1).

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 * g * \mu * (\rho_p - \rho)}{3 * \rho^2}} \quad (1)$$

Donde:

W = Velocidad equivalente (m/s).

g = Gravedad (m/s).

$\mu$  = Viscosidad del gas portador (kg/ms).

$\rho_p$  = Densidad de la partícula (kg/m<sup>3</sup>).

$\rho$  = Densidad del gas portador (kg/m<sup>3</sup>).

#### 4.3.1.1. Densidad del gas portador

El ciclón trabajara con aire como gas portador, la densidad de este varía de acuerdo con la altura ya que a mayor altura disminuirá la presión y por lo tanto afectara a la densidad.

[44] expone que a 0 metros sobre el nivel del mar con temperatura de 20 °C a una humedad relativa de 60% la densidad del aire es de 1,1992 kg/m<sup>3</sup>, la ecuación (2) es usada para el cálculo de la densidad según varíe la altura.

$$\frac{P1}{P2} = \frac{\rho1}{\rho2} \quad (2)$$

Donde:

P1 = presión del aire a 0 metros sobre el nivel del mar (1.013 mbar).

P2 = presión del aire a la altura especificada en metros sobre el nivel del mar (Ibarra a 2.225 m.s.n.m).

$\rho1$  = densidad del aire a 0 metros sobre el nivel del mar.

$\rho2$  = densidad del aire a la altura especificada en metros sobre el nivel del mar.

La presión según la variación de la altura se presenta en la Tabla 8.

### Tabla 8

*Presión según altura sobre metros sobre el nivel del mar [44].*

Altura metros sobre el nivel del mar	Presión atmosférica mbar
0	1.013
200	989
400	966
600	943
800	921
1.000	899
1.500	950
2.000	795
2.500	750
3.000	701

*Nota.* La ciudad de Ibarra se encuentra a 2.225 metros sobre el nivel del mar.

Con la Tabla 8 se identifica la presión para la altura de la ciudad, para la altura se tiene una presión de 774,75 mbar y luego se reemplaza en la ecuación (2) como se observa a continuación.

$$\rho_2 = \frac{774,75 \text{ mbar} * 1,1992 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1.013 \text{ mbar}}$$

Finalmente, tras el desarrollo se obtiene un resultado de  $\rho_2 = 0,9171 \text{ kg/m}^3$

A 1 atm, con temperatura de 20<sup>0</sup> C la cual es el promedio en la ciudad de Ibarra la viscosidad del aire corresponde a  $1,825 * 10^{-5}$ . Valor tomado de [45].

Para la densidad de la partícula se toma el aserrín de pino ya que es una madera comúnmente usada en los centros artesanales el valor de la densidad real es de 1400 kg/m<sup>3</sup> la cual es tomada de la Tabla 4.

Por lo mencionando se obtiene  $W = 0,7350 \text{ m/s}$ .

#### **4.3.2. Velocidad de saltación**

Los investigadores Kalen y Zenz sugirieron la presencia de una “velocidad de saltación” en el ciclón con la cual explican por qué la eficiencia de recolección en ocasiones descendía con incrementos en la velocidad de entrada [31]. Por lo tanto, la velocidad de saltación es un parámetro crucial en el diseño de los recolectores ciclónicos, el cual está dado por la ecuación (3).

$$V_s = \frac{4,9 * W * K_b^{0,4} * D_c^{0,067} * \sqrt[3]{V_i^2}}{\sqrt[3]{1 - k_b}} \quad (3)$$

Donde:

W= Velocidad equivalente (0,7350 m/s).

K<sub>b</sub>= Relación entre el ancho de la entrada y el diámetro del ciclón (b/D<sub>c</sub>).

D<sub>c</sub>= Diámetro del ciclón (0,30 m).

V<sub>i</sub>= Velocidad de entrada del gas en el ciclón (m/s).

En primer lugar, se calcula la relación entre el ancho de la entrada y el diámetro del ciclón.

$$K_b = \frac{0,06 \text{ m}}{0,30 \text{ m}} = 0,2$$

La velocidad de entrada al ciclón recomendada debe localizarse entre 15,2 a 27,4 m/s según [31], por lo cual se tomará una velocidad de entrada de 16 m/s. La velocidad de saltación obtenida es  $V_s = 11,9691 \text{ m/s}$ .

[31] indica que, si la velocidad de entrada supera 1,35 veces la velocidad de saltación, se producirá la resuspensión del material previamente capturado. Una vez obtenido la velocidad equivalente y de saltación se procede a realizar la relación.

$$1,3367 > 1,35$$

Se puede observar que la relación es menor a 1,35 por lo cual no existe resuspension de material, por lo que se procede con los cálculos.

#### **4.3.3. Exponente del vórtice**

Es el resultado de la comparación entre la velocidad tangencial con el radio de giro de un movimiento en forma de vórtice, esta debe estar dentro el rango de 0,5 a 0,7 según [31]. La ecuación (4) es para el cálculo del exponente del vórtice.

$$n = 1 - (1 - 0,67 * D_C^{0,14}) * \left(\frac{T}{283}\right)^{0,3} \quad (4)$$

Donde:

$n$  = Exponente del vórtice

$T$  = Temperatura (20 °C) a kelvin 293,15 K

$D_C$  = Diámetro del ciclón (m)

El resultado para el exponente del vórtice es  $n = 0,5614$  el cual está dentro del rango establecido.

#### 4.3.4. *Tiempo de relajación*

Es el lapso transcurrido para que una partícula llegue a caer en la velocidad terminal como indica [31]. Se evalúa con la ecuación (5).

$$T_i = \frac{\rho_p * D_{pi}^2}{18 * \mu} \quad (5)$$

Donde:

$\rho_p$  = Densidad de la partícula (kg/m<sup>3</sup>).

$D_{pi}$  = Diámetro de la partícula (m).

$\mu$  = Viscosidad del gas (kg/ms).

Tras la resolución se obtiene el resultado para el tiempo de relajación es  $T_i = 4,2618 \times 10^{-4}$  s.

#### 4.3.5. *Eficiencia del ciclón*

Según [31] no existe un método simple para calcular la eficiencia el cual es el porcentaje de masa de material particulado que entra, el cual es separado en el ciclón, ya que las partículas de menor tamaño que presuntamente deberían salir junto con el gas como resultado del choque y barrido con otras partículas de mayor tamaño, estas serán capturadas; mientras que el polvo de mayor dimensión que tenía que ser retenido rebotará contra las paredes del ciclón y saldrá del mismo.

La teoría de Leith y Licht tiene una mayor adaptación acorde al comportamiento experimental de las partículas ya que predice la eficiencia sustentándose en las características del material particulado, del gas y en las correlaciones del ciclón [31].

La eficiencia se calcula con la ecuación (6).

$$n_i = 1 - e \left[ -2 * \left( \frac{G * T_i * Q * (n+1)^{0,5}}{D_c^3} \right)^{\frac{0,5}{n+1}} \right] \quad (6)$$

Donde:

G = factor de configuración del ciclón (551,22) [31].

T<sub>i</sub> = Tiempo de relajación (s).

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s).

n = Exponente del vórtice del ciclón.

Por lo tanto, para conocer el caudal se utiliza la ecuación (7).

$$Area = Q / V_i \quad (7)$$

Se tiene el área de entrada del ciclón igual a 0.009 m y la  $V_i = 16 \text{ m/s}$ , obteniendo como resultado un caudal de  $Q = 0,144 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Posteriormente tras la determinación del valor del caudal se obtiene como resultado un valor para la eficiencia de  $n_i = 0,91621$  lo que equivaldría a 91,621%.

#### **4.3.6. Velocidad de salida**

Para la correspondiente evaluación de la velocidad de salida se utiliza la ecuación (8) [46].

$$VS = \frac{4 * Q}{0,5^2 * \pi * D_c^2} \quad (8)$$

Donde:

Q = caudal m<sup>3</sup>/s.

D<sub>c</sub> = diámetro del ciclón (0,30 m).

Teniendo como resultado la velocidad de salida del ciclón  $VS = 8,148 \text{ m/s}$ .

#### 4.4. Caída de presión

Es una característica fundamental a tener en cuenta en el diseño óptimo de ciclones, ya que está estrechamente relacionada con los costos de funcionamiento, generalmente son aceptadas cuando tienen un valor menor a 2.488,16 pascales según [31].

Para el respectivo cálculo se utiliza la ecuación (9)

$$\Delta P = \frac{1}{2} * \rho * V_i^2 * N_H \quad (9)$$

Donde:

$\Delta P$  = Caída de presión (Pa).

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

$V_i$  = Velocidad inicial (m/s).

$N_H$  = Número de cabezas de velocidades a la entrada del ciclón.

El número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón ( $N_H$ ) se puede calcular utilizando la siguiente ecuación (10).

$$N_H = K * \frac{a * b}{D_S^2} \quad (10)$$

Donde:

K = Es constante, toma el valor de 16 para entrada tangencial [31].

a = Altura de entrada (m).

b = Altura de salida (m).

$D_S$  = Diámetro de salida (m).

El valor resultante para el número de cabezas de velocidad es de  $N_H = 6,4$ . Reemplazando el valor  $N_H$  previamente obtenido en la ecuación (9) se tiene la caída de presión en el ciclón igual a  $\Delta P = 751,288 Pa$ .

## 4.5. Tubería para la recolección.

### 4.5.1. Caudal de la tubería

Primero se calcula el caudal con la tubería ideal que va conectada al ciclón, en este caso se conoce las dimensiones de entrada el cual tiene forma rectangular, se realizará el cálculo equivalente para la selección de la tubería.

Las dimensiones de entrada son:

$$a = 0,15 \text{ m}$$

$$b = 0,06 \text{ m}$$

Por lo tanto, el área de la entrada es igual a  $0,009 \text{ m}^2$ .

A continuación, se presenta la ecuación (11) para el cálculo del área de un círculo:

$$Area = \pi * r^2 \quad (11)$$

Donde:

$r$  = radio.

$$\pi = 3,1416$$

reemplazando el área de entrada del ciclón en la ecuación (11) se obtiene  $r = 0,0535 \text{ m}$ .

Con el radio como resultante se procede a calcular el diámetro de la tubería requerida siendo igual a  $0,107 \text{ m}$

Comercialmente las tuberías se encuentran por pulgadas, para lo cual se selecciona una tubería de diámetro 4 pulgadas en la presentación de tubería flexible para aspiración, lo que equivaldría a  $0,1016 \text{ m}$ . Con la ecuación (11) desarrollada se conoce el área para la tubería la cual equivale a  $8,11 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ .

Con los datos anteriormente obtenidos se reemplaza en la ecuación (7) para el cálculo del caudal en la tubería se tiene  $Q = 0,1298 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 4.5.2. Caída de presión en el sistema de tuberías

Para garantizar el flujo de aire entre los puntos de entrada y salida, debe existir un diferencial de presión, que es generado por un extractor en el sistema de succión. A su vez, el aire en movimiento crea cierta presión llamada presión dinámica [44]. La presión dinámica se calcula con la ecuación (12).

$$Pd = \frac{v^2 * \rho_{aire}}{2} \quad (12)$$

Donde:

V= Velocidad del aire m/s.

$\rho_{aire}$  = densidad del aire kg/m<sup>3</sup>.

g = gravedad m/s<sup>2</sup>.

Tras el cálculo correspondiente el resultante para la presión dinámica es igual a  $Pd = 117,388 Pa$ .

La presión dinámica disminuye en todo el sistema de succión debido a la fuerza de fricción del aire contra la pared de la tubería, esta diferencia de presión es causada por una fuerza de fricción llamada presión estática [44]. Para el cálculo se aplica la ecuación (13).

$$Pe = l * \frac{\lambda}{D} * Pd \quad (13)$$

Donde:

Pe = presión estática.

L = longitud de la tubería.

$\lambda$  = coeficiente de resistencia de tubo.

D = diámetro del tubo.

$P_d$  = Presión dinámica.

Para calcular el coeficiente de resistencia del tubo, se lo realiza con la ecuación (14) [44].

$$\lambda = 0,0125 + \frac{0,0011}{D} \quad (14)$$

Donde:

$\lambda$  = coeficiente de resistencia del tubo, adimensional.

$D$  = diámetro del tubo.

Reemplazando los valores ya obtenidos en las ecuaciones se conoce que  $\lambda = 0,02332$  y la presión estática igual a  $P_e = 80,8313 \text{ Pa}$ .

En los sistemas de aspiración generalmente existen accesorios o elementos como válvulas, codos, reducciones y ampliaciones, estos provocan una pérdida de presión conocida como resistencia unitaria. La resistencia unitaria se calcula mediante un factor de resistencia para cada elemento, multiplicado por la presión dinámica de la tubería, para su resolución correspondiente se utiliza la ecuación (15) [44].

En el presente caso se tiene solo una ampliación de tubería, los factores se presentan en la Tabla 9 .

### **Tabla 9**

*Factores de resistencia por reducción y ampliación* [44].

Ángulo	Factor reducción	Factor ampliación
5°	0,15	0,12
10°	0,25	0,15
15°	0,4	0,16
30°	0,8	0,23

$$ru = z * Pd \quad (15)$$

Donde:

ru = resistencia unitaria.

z = factor resistencia.

Pd = presión dinámica.

Teniendo que el valor para la resistencia unitaria  $ru = 26,999 Pa$ .

#### 4.6. Pérdida total de presión

Una vez calculada los valores para la presión estática, la resistencia unitaria, y la caída de presión del ciclón, se suma todos los valores obtenidos anteriormente para obtener la pérdida total de presión.

$$P_{total} = P_e + ru + \Delta P$$

$$P_{total} = 80,831 Pa + 26,999 Pa + 751,288 Pa$$

$$P_{total} = 859,1183 Pa$$

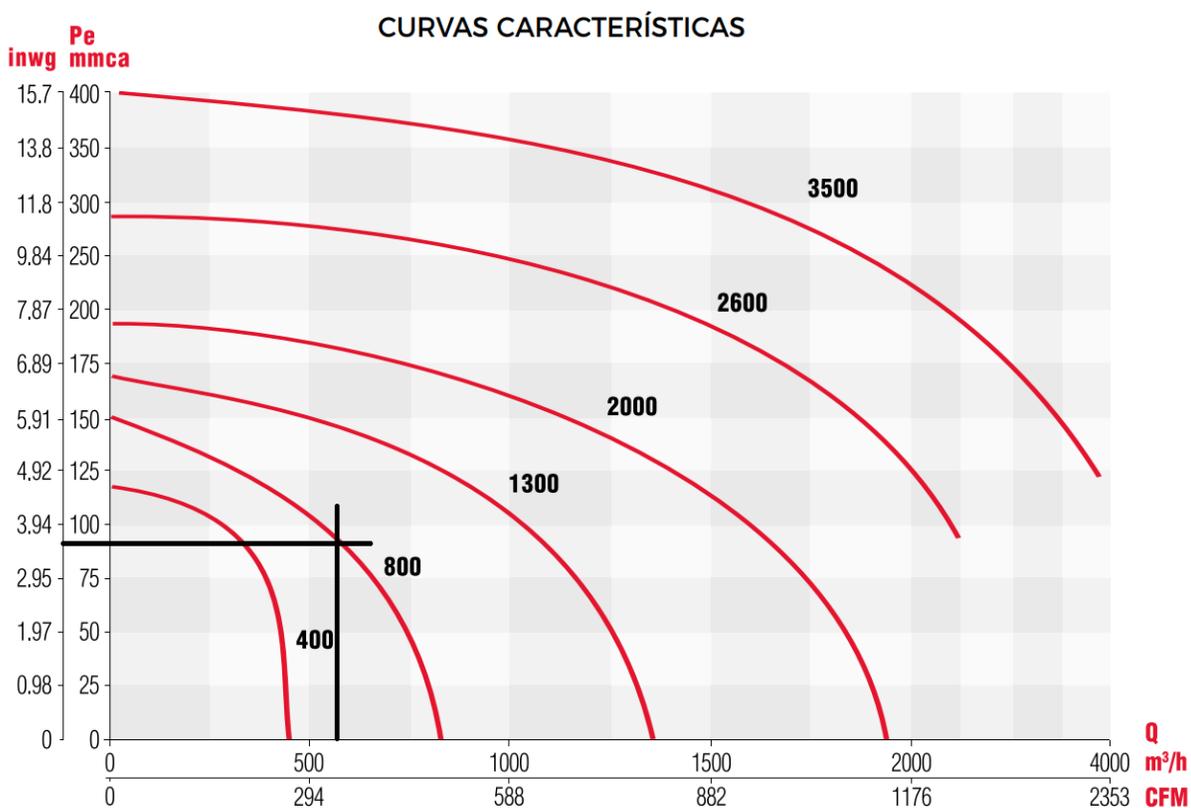
#### 4.7. Selección del extractor

El extractor para el ciclón recolector será un ventilador centrífugo el cual será capaz de aspirar el material particulado llevándolo por una tubería hacia el ciclón. Para el proceso de selección se tiene en cuenta varios aspectos los cuales son la presión para vencer y el caudal requerido, en la Tabla 10 se presentan los parámetros ya calculados en distintas unidades, la principal razón de esto es que la curva característica de los ventiladores está expresada en diferentes sistemas de unidades.

**Tabla 10***Parámetros para selección de extractor.*

Unidades	Caudal	Unidades	Perdida de presión total
m <sup>3</sup> /s	0,144	Pa	859,1183
m <sup>3</sup> /h	518,4	inwg	3,452
cfm	305,118	mmca	7,665

En la Figura 12 se muestra la curva característica de ventiladores centrífugos de alabes radiales, en el cual se presenta diferentes modelos de ventiladores, para la selección se necesita la presión total y el caudal necesario, con los datos de la Tabla 10 se realizó la respectiva selección.

**Figura 12***Curva característica ventiladores centrífugos de media presión*

Se puede observar en la Figura 13 las características del ventilador centrífugo de la serie 800.

### Figura 13

*Características técnicas ventiladores centrífugos CSB-T [47].*

Modelo	Velocidad RPM	Potencia HP	Tensión Volts	Intensidad A	Caudal a descarga libre m <sup>3</sup> /hr / CFM	Potencia sonora dB(A)*	Peso aprox. kg
<b>CSB-400</b>	3515	1/2	127 / 220	9.1 / 3.7	400 / 235	73	17
<b>CST-400</b>	3410	1/2	220 / 440	1.9 / 0.9	400 / 235	73	17
<b>CSB-800</b>	3500	3/4	127 / 220	11.5 / 5.0	800 / 471	75	21
<b>CST-800</b>	3470	3/4	220 / 440	2.5 / 1.25	800 / 471	75	21
<b>CSB-1300</b>	3510	1	127 / 220	10.9 / 5.40	1300 / 765	82	24
<b>CST-1300</b>	3460	1	220 / 440	3.0 / 1.5	1300 / 765	82	24
<b>CST-2000</b>	3495	1 1/2	208 -230 / 460	4.0 / 2.0	2,000 / 1,176	84	37
<b>CST-2600</b>	3480	3	208 -230 / 460	7.4 / 3.7	2,600 / 1,529	86	41
<b>CST-3500</b>	3480	5	208 -230 / 460	11.8 / 5.9	3,500 / 2,059	90	66

Considerando la posibilidad de la adición de diferentes accesorios, o aumento en la longitud del sistema de tuberías, además de la disminución de eficiencia de operación del motor eléctrico a largo plazo, dando como resultando en la reducción del caudal de captación.

Teniendo en cuenta los aspectos anteriormente mencionados se opta por la elección del ventilador de la serie CSB-1300 el cual entrega un caudal de aspiración mayor, lo que permitirá cumplir con los requerimientos mínimos presentados en la Tabla 10.

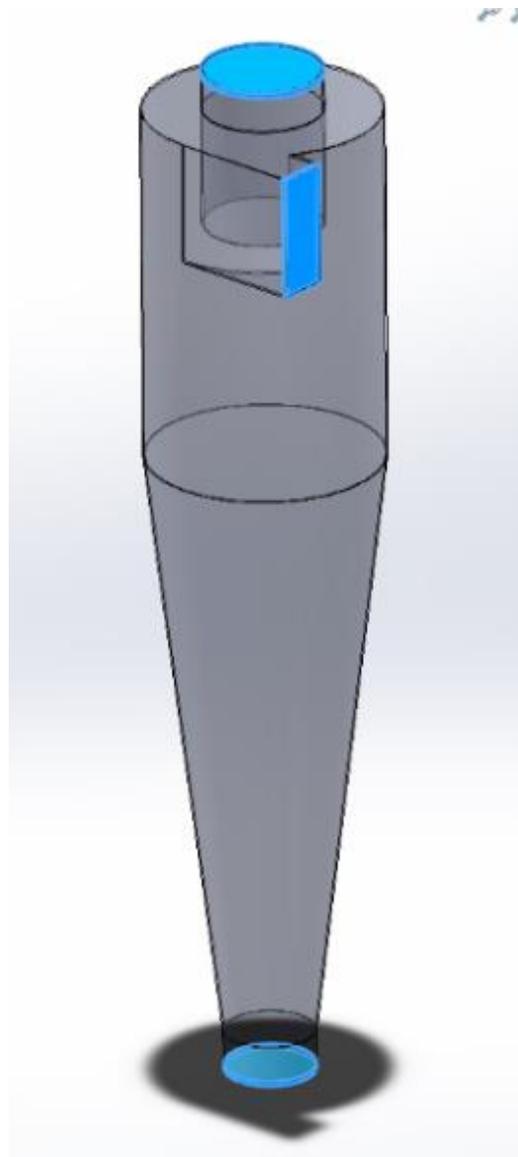
#### 4.8. Simulación de funcionamiento del ciclón

Para la simulación se lo realiza en el software de ingeniería, donde se diseñó el ciclón con las dimensiones previamente calculadas, con los parámetros por defecto en la configuración como son temperatura, y tipo de fluido a trabajar en este caso es aire el cual fluirá dentro del sistema permitiendo mover las partículas de madera a una temperatura de 20<sup>0</sup> C.

Se define como lids o tapas a los tres conductos mostrados en la Figura 14 por las cuales fluirá el aire en el ciclón.

**Figura 14**

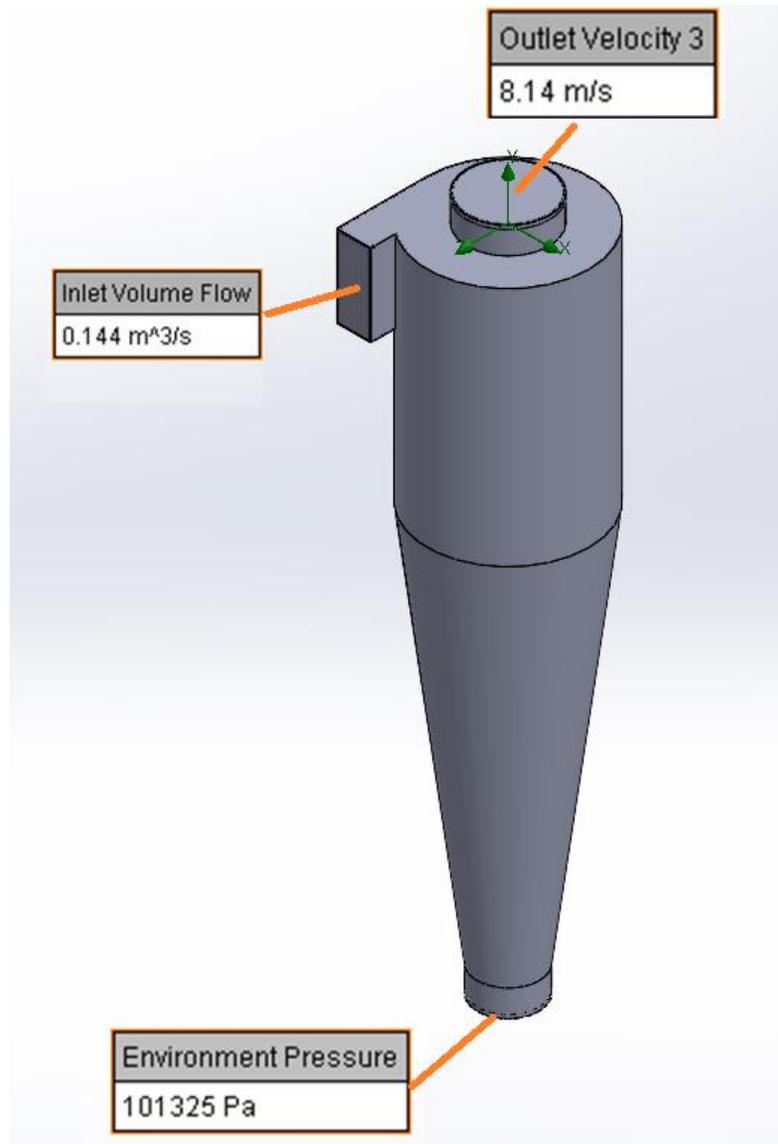
*Definición de lids en el ciclón.*



Luego se coloca las condiciones de borde en la entrada y salida por los lids creados, en este caso se coloca el caudal volumétrico de entrada de  $0,144 \text{ m}^3/\text{s}$  que ya fue calculado anteriormente, en la salida se coloca como velocidad de salida con un valor de  $8,1487 \text{ m/s}$  y en la parte de salida de partículas se establece como abertura de presión con un valor predeterminado de  $101325 \text{ Pa}$  que equivale a  $1 \text{ atm}$ , en la Figura 15 se muestra los parámetros establecidos.

**Figura 15**

*Definición de condiciones de borde.*



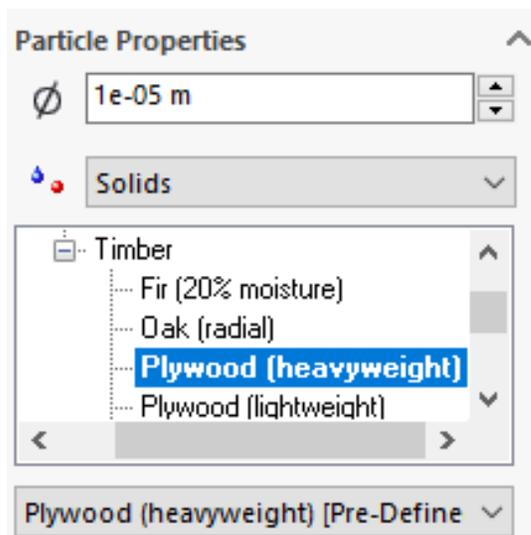
Una vez definido las condiciones de borde se crea un estudio de partículas, donde se elige el tipo de partícula, ya sea solido o liquido además del diámetro de la partícula.

Se elije la opción partícula sólida de tipo plywood, que es más conocido como trípex que es una unión de varias chapas de madera natural y es un material usado dentro de las carpinterías

artesanales. Se establece un diámetro de partícula de  $10\mu\text{m}$  ya que está en el rango de tamaños de polvo de madera que aumenta la probabilidad de enfermedades respiratorias [6], en la Figura 16 se observa los parámetros seleccionados.

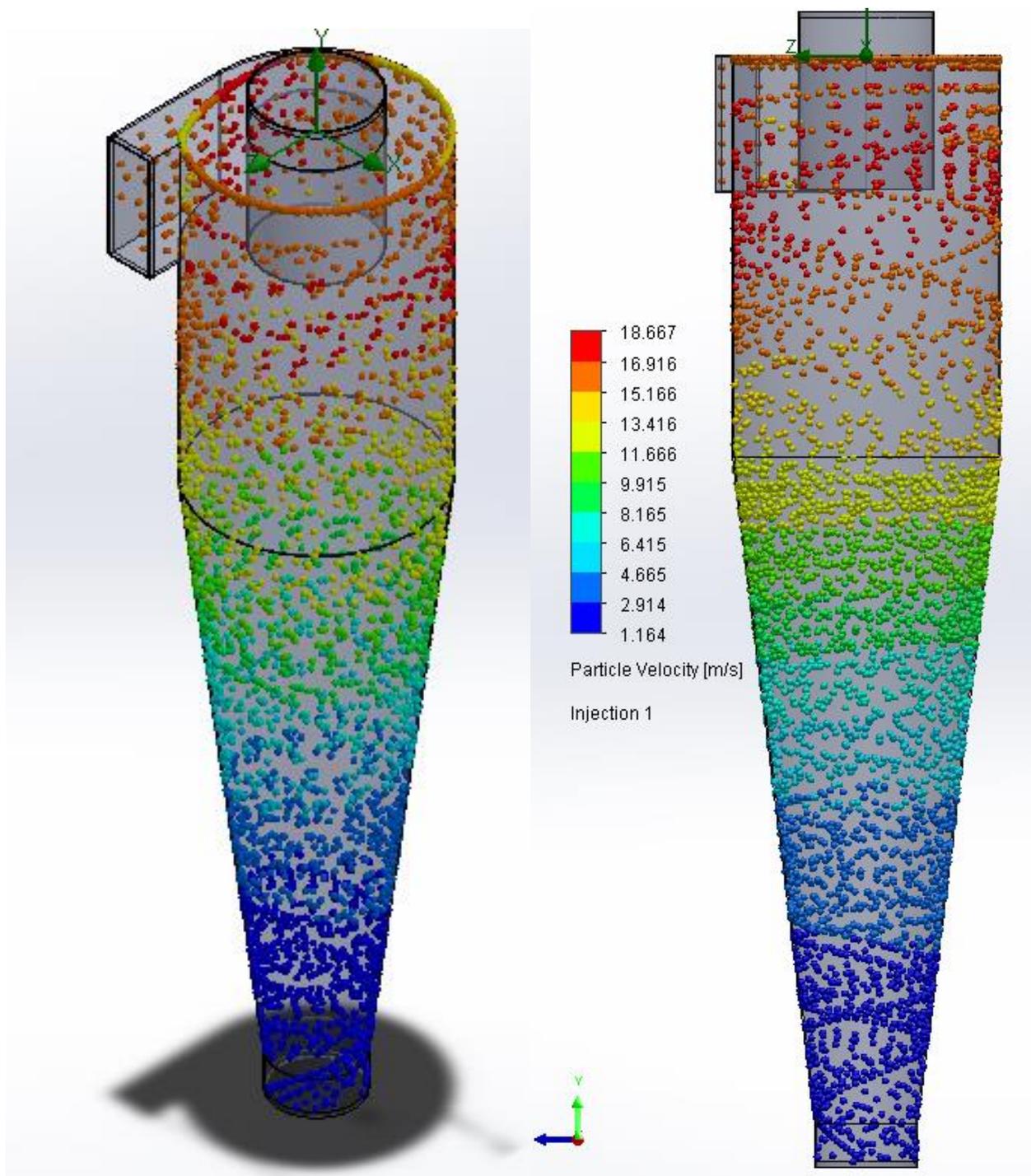
### Figura 16

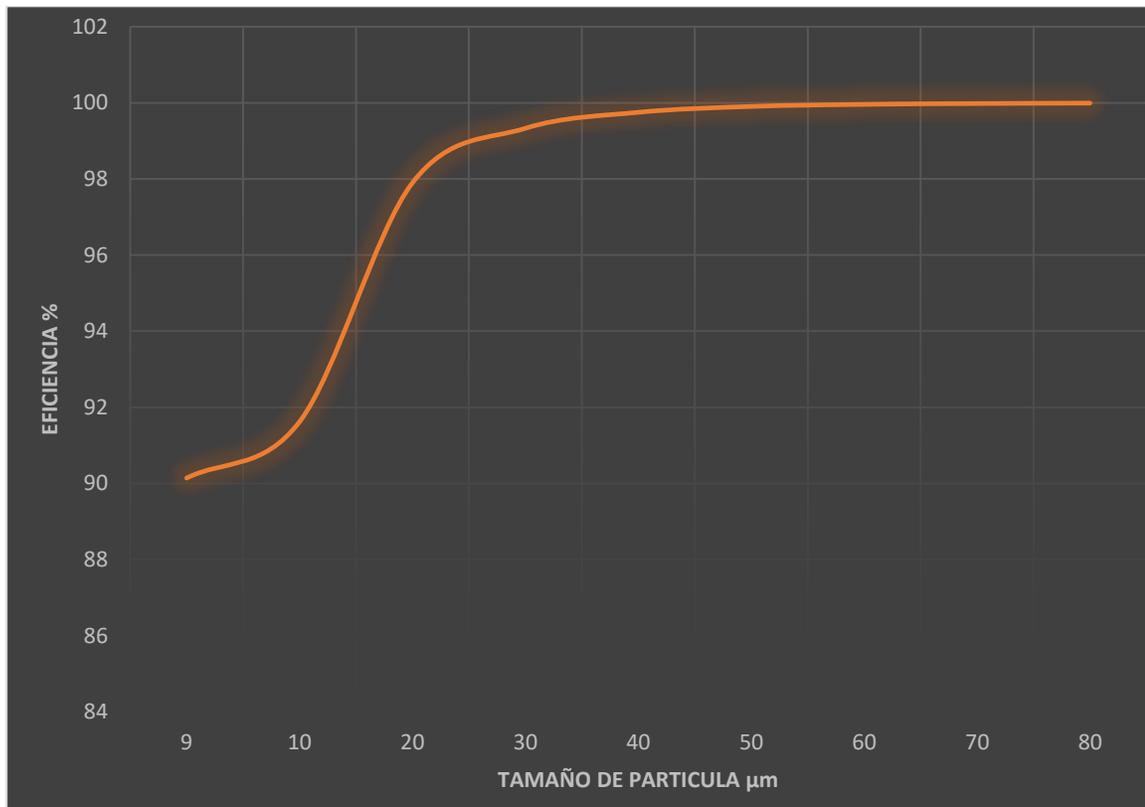
*Parámetros de partícula.*



Una vez establecido todos los parámetros necesarios se inicia la simulación, en la Figura 17 se observa la trayectoria de las partículas al interior del ciclón, además se puede comprobar que en la entrada se tiene una velocidad alrededor de  $16\text{ m/s}$ , misma que fue establecida como velocidad de entrada para que no exista resuspensión de material. Se puede comprobar que el caudal y velocidades de entrada establecidas permiten una correcta captación de material particulado.

En la Figura 18 se puede visualizar el porcentaje de eficiencia de recolección de material particulado donde se observa un porcentaje mayor a  $90\%$  en partículas mayores a  $9\mu\text{m}$ , además se visualiza que en tamaños mayores a  $20\mu\text{m}$  se acerca al  $100\%$  de eficiencia en recolección, esto significaría que supliría las necesidades para las partículas generadas dentro de las carpinterías artesanales y por lo tanto el sistema de extracción es óptimo.

**Figura 17***Resultado de simulación.*

**Figura 18***Eficiencia de captación.*

#### **4.9. Diseño del tanque**

El tanque es diseñado con los datos previamente calculados para su geometría, se plantea utilizar procesos de corte y plegado para la formación del tanque, para su unión permanente se opta realizarlo con soldadura esto permitirá obtener un tanque el cual no tendrá fugas de aire, de presentarse significaría la disminución de la eficiencia de separación del material particulado.

##### ***4.9.1. Selección de material***

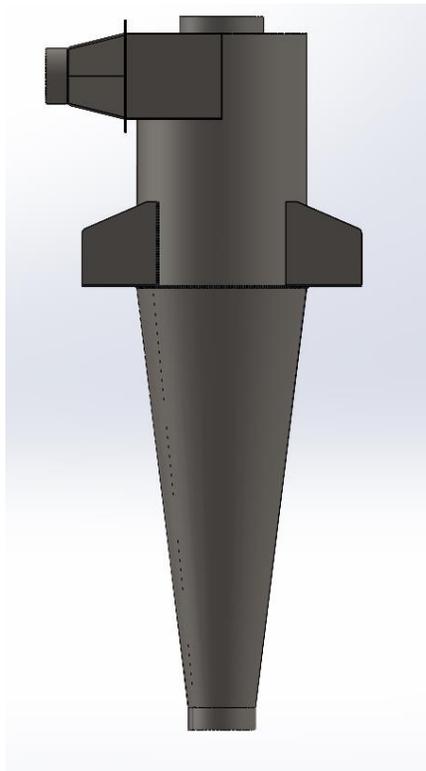
Para la construcción del tanque existen diversas opciones de materiales, en este caso se propone la elección de chapa metálica ASTM A36 el cual es un material ampliamente demandado en el sector local.

El tanque no estará expuesto a grandes cargas externas por lo cual se opta por elegir un espesor de plancha de 1,5 mm, principalmente por la facilidad para realizar la soldadura, ya que la norma AWS D1.3 de soldadura establece que se pueden utilizar espesores menores a 4mm cuando los puntos de resistencia no sean mayores a 550 MPa.

Se presenta la Figura 19 donde se indica el diseño CAD del tanque.

### **Figura 19**

*Diseño del ciclón.*



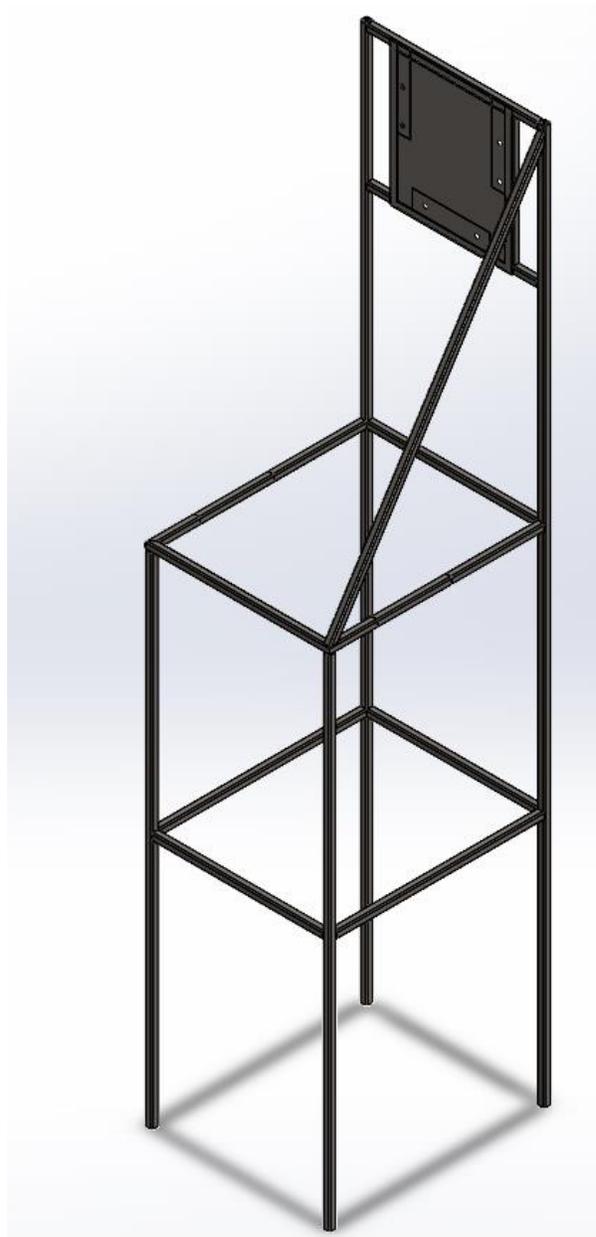
#### **4.10. Diseño de la estructura**

Para el modelado del soporte se considera el material ASTM A36 en la presentación de tubos cuadrados, en base a esta selección se presenta un diseño de la estructura el cual considera principalmente la altura del ciclón, tamaño del silo de alojamiento de material particulado y las dimensiones del ventilador centrífugo, ya que este va ubicado en la parte superior del ciclón.

Se desarrolla el diseño con las características anteriormente mencionadas, en la Figura 20 se observa el diseño estructural propuesto con tubos cuadrados de 20 mm de lado, un grosor de 1,5 mm y una placa de 1,5 mm de espesor en donde se apoyará el ventilador.

### **Figura 20**

*Diseño de la estructura.*

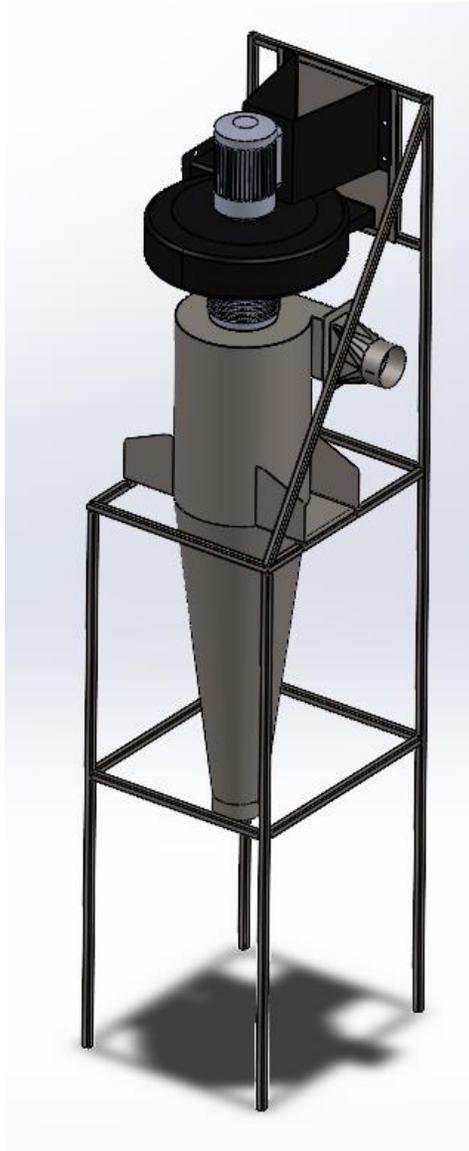


#### *4.10.1. Cálculo de esfuerzo en los elementos*

Se presenta el cálculo analítico para la obtención del factor de seguridad, para conocer las cargas en el bastidor, se muestra la Figura 21 en donde se observa al ciclón y ventilador centrífugo acoplados en la estructura para así considerar los diferentes tipos de carga al que estará expuesto.

#### **Figura 21**

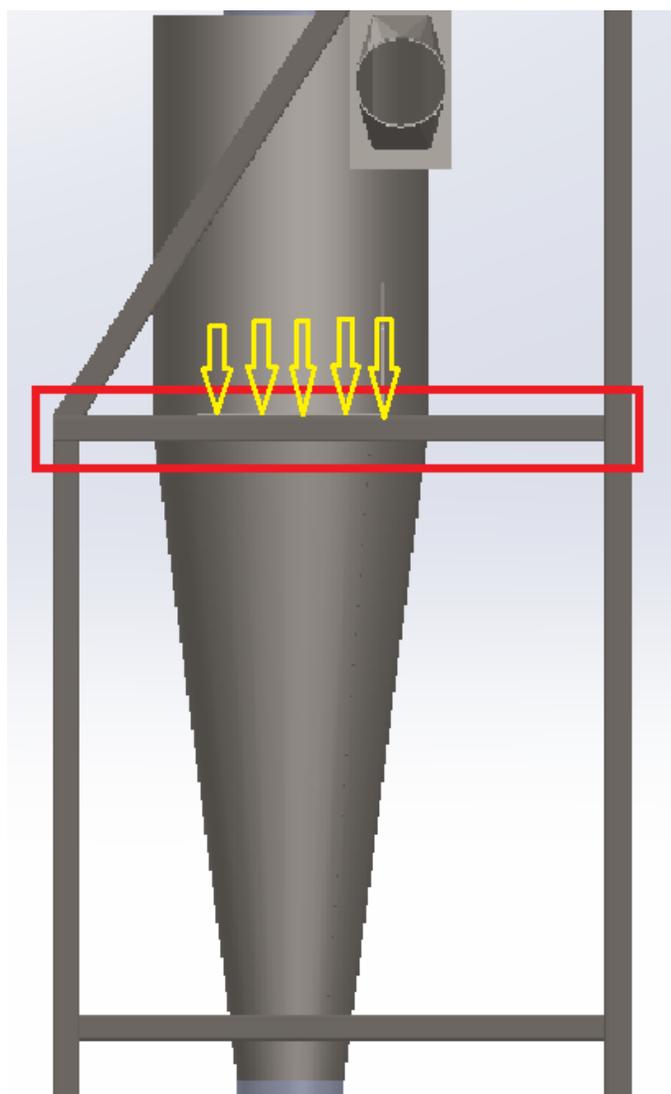
*Estructura con elementos acoplados.*



Se analiza la carga en el elemento que soporta al ciclón el cual tiene un comportamiento de viga con una carga distribuida. En la Figura 22 se muestra el elemento analizar. La masa del ciclón es de 15,5 kg sin accesorios, pero se considera un factor de 25% más, ya que podría aumentar la carga debido a diversos accesorios colocados por el usuario lo que sería equivalente a 18,75 kg o 183,937 N, el cual será soportado en dos vigas.

### Figura 22

*Soporte del ciclón.*

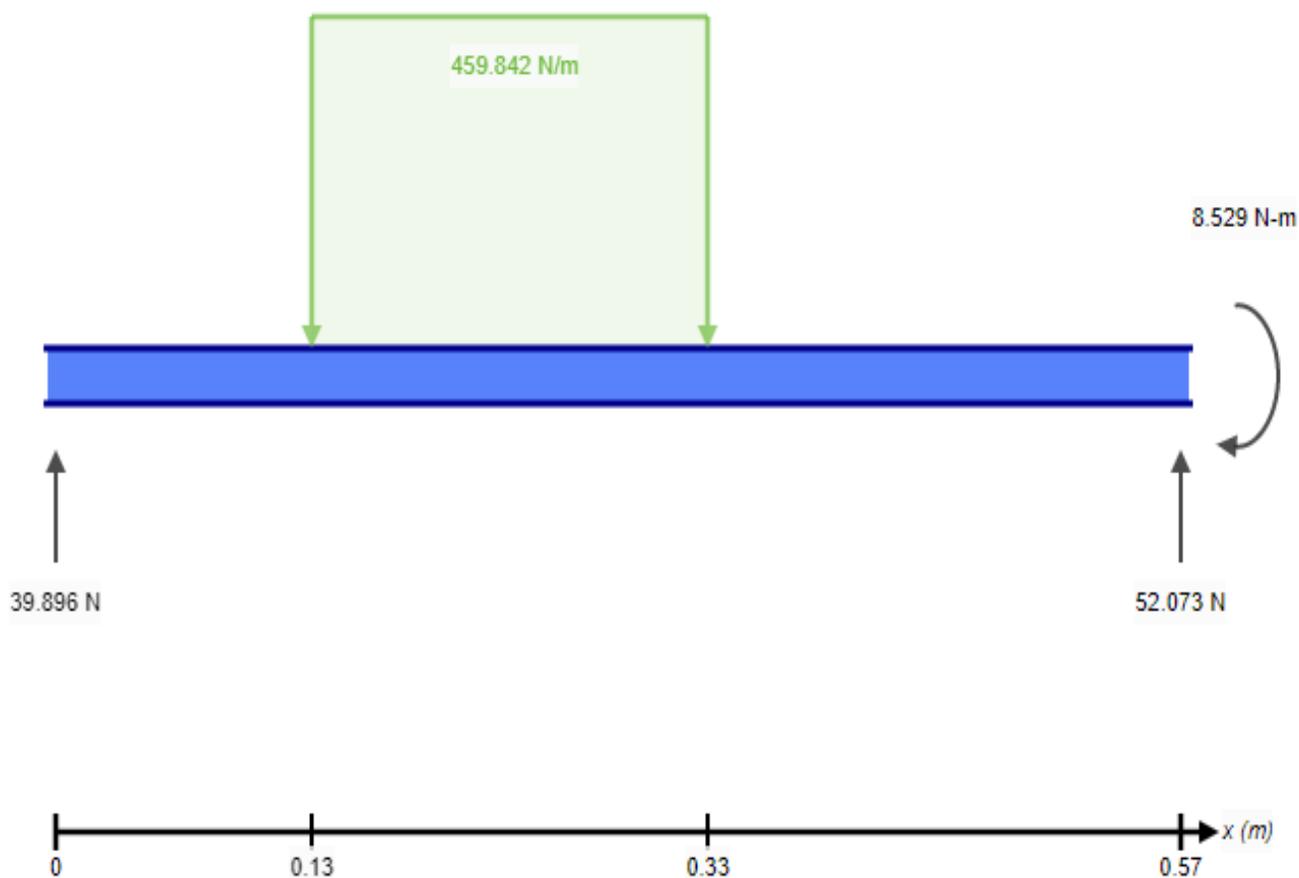


- **Diagrama de cuerpo libre**

Para el análisis se divide la carga en dos debido a la distribución en dos elementos de apoyo obteniendo 91,968 N de carga, para conocer la carga distribuida se divide la carga total sobre la longitud de la estructura, en este caso la longitud de contacto sobre el tubo es de 0,2 m, teniendo como resultado 459,842 N/m, en la Figura 23 se presenta el D.C.L.

**Figura 23**

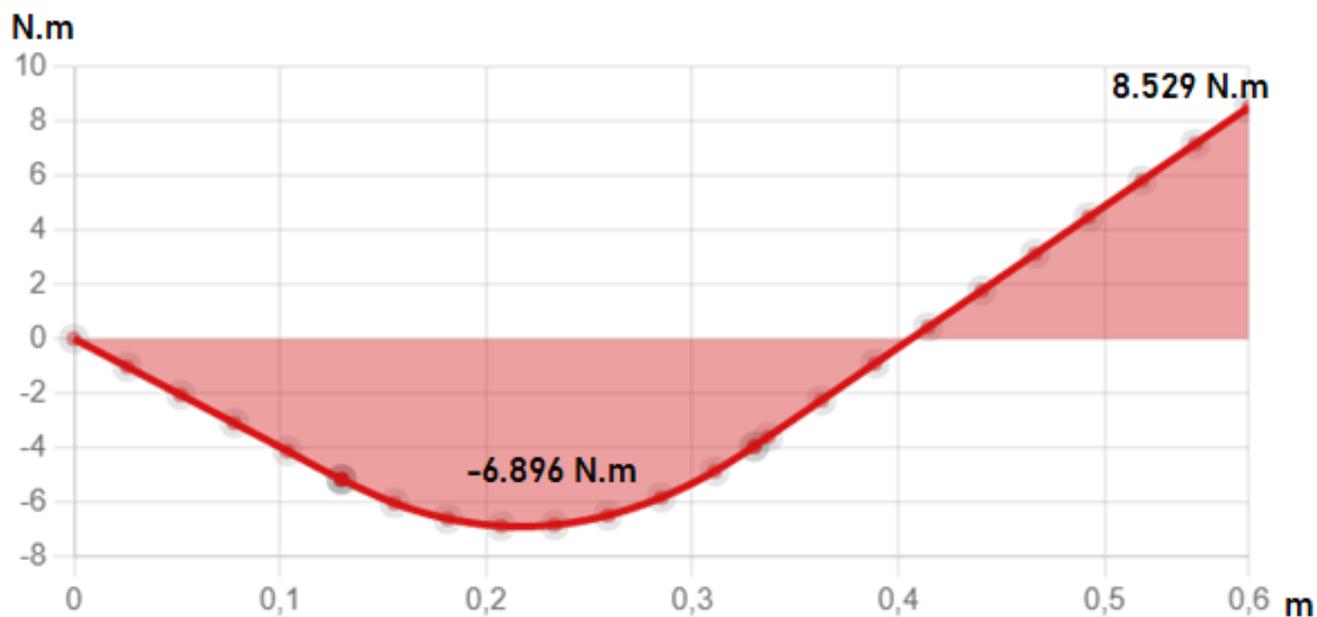
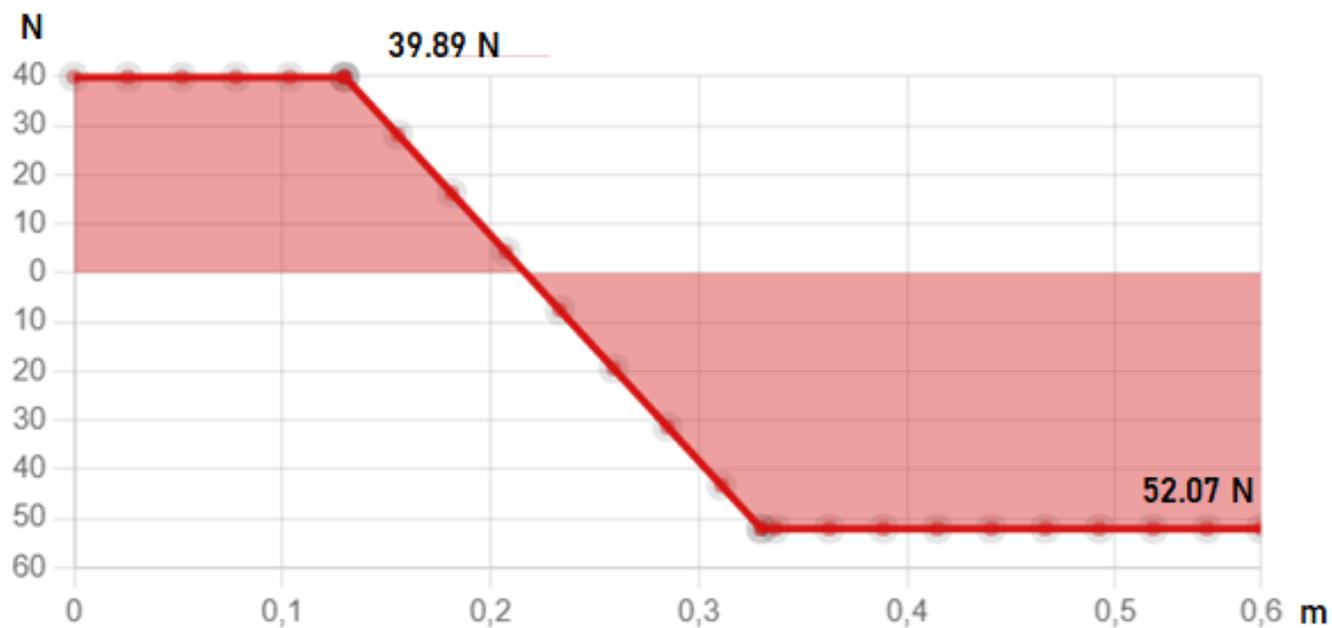
*D.C.L de tubo de soporte del ciclón.*



Una vez obtenido el diagrama de cuerpo libre se procede a la obtención de los diagramas de fuerza cortante y momento flector presentado en la Figura 24.

**Figura 24**

*Diagrama de fuerza cortante y momento flector.*



Luego de obtener el momento máximo se procede a calcular el esfuerzo flector máximo de la viga con la ecuación (16).

$$\sigma_{max} = \frac{M * C}{I} \quad (16)$$

Donde:

$\sigma_{max}$  = esfuerzo flector máximo.

M = momento máximo (8,529 N).

C = Distancia entre el eje neutro hasta la fibra más alejada de la viga correspondiente (0.01 m).

I = Inercia para forma cuadrada (0,58 cm<sup>4</sup>) tomada del catálogo Dipac (anexo).

Obteniendo un valor para el esfuerzo flector máximo igual a  $\sigma_{max} = 14,705$  Mpa.

Luego de obtener el esfuerzo máximo se calcula el factor de seguridad correspondiente con la ecuación (17).

$$N = \frac{Sy}{\sigma_{max}} \quad (17)$$

Donde:

N = Factor de seguridad.

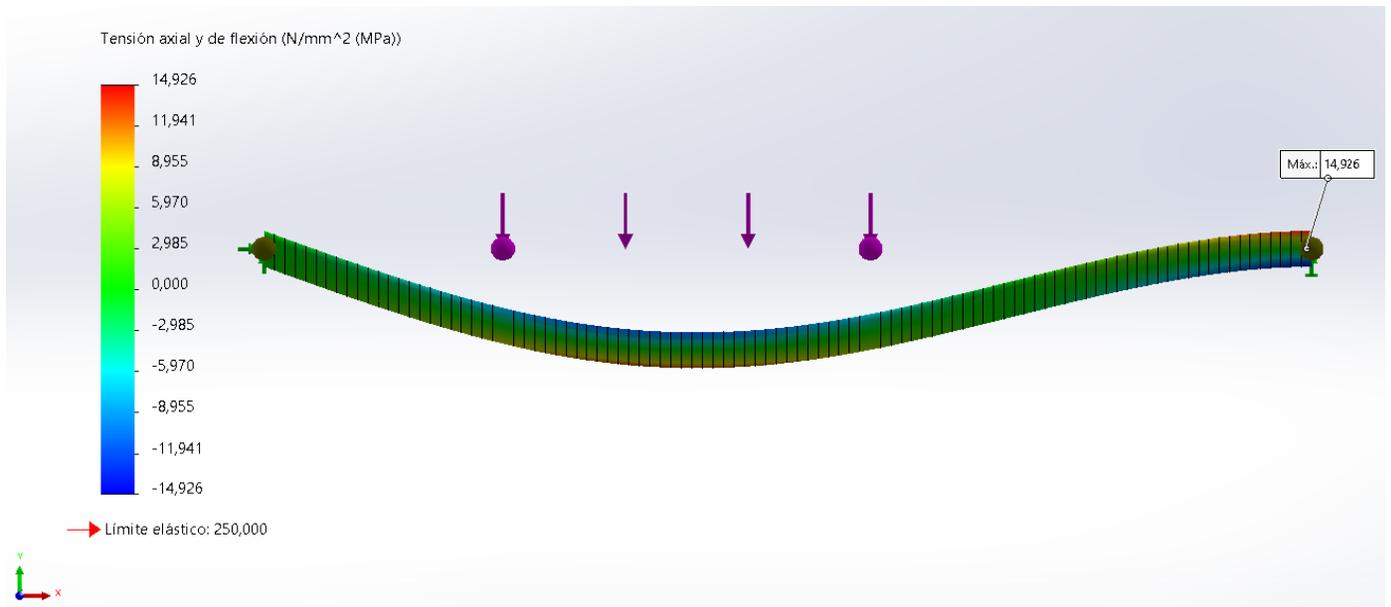
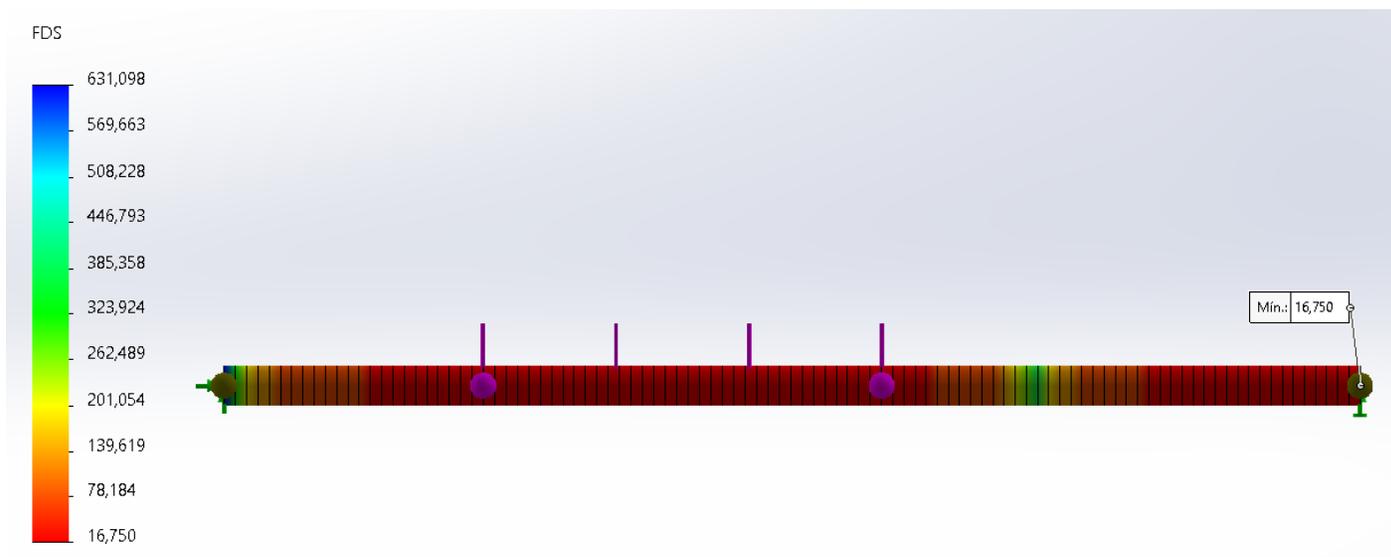
Sy = Esfuerzo a la cedencia del material. Para ASTM A36 (250 Mpa).

Tras el reemplazo se obtiene un factor de seguridad de  $N = 17$ .

#### ***4.10.2. Simulación de esfuerzos de elemento calculado analíticamente***

Se utilizó software de ingeniería para la obtención de tensiones y factor de seguridad por análisis de elementos finitos. Se configuró las condiciones de sujeción, dimensión y carga igual que en la parte analítica.

Se simula la viga obteniendo como resultado el valor de tensión máximo presentado en la Figura 25 con un valor de 14,926 MPa, y un factor de seguridad (Figura 26) de 16,750 el cual es mayor a 1,5 por lo que se considera aceptable.

**Figura 25***Tensión máxima.***Figura 26***Factor de seguridad.*

#### 4.10.3. Comparación de resultado simulación y resolución analítica.

Se realiza la comparación de resultados de simulación y resolución analítica obteniendo un porcentaje de error el cual esta presentado en la Tabla 11.

**Tabla 11**

*Comparación de resultados.*

Pieza	Dato	Cálculo analítico	Simulación	Error
Tubo cuadrado	Esfuerzo	14,705 Mpa	14,926 MPa	1,50%
soporte ciclón	máximo			
	Factor de seguridad	17	16,750	1,47 %

Al realizar la comparación de resultados se obtiene valores de errores menores a 5% lo que se considera valores aceptables.

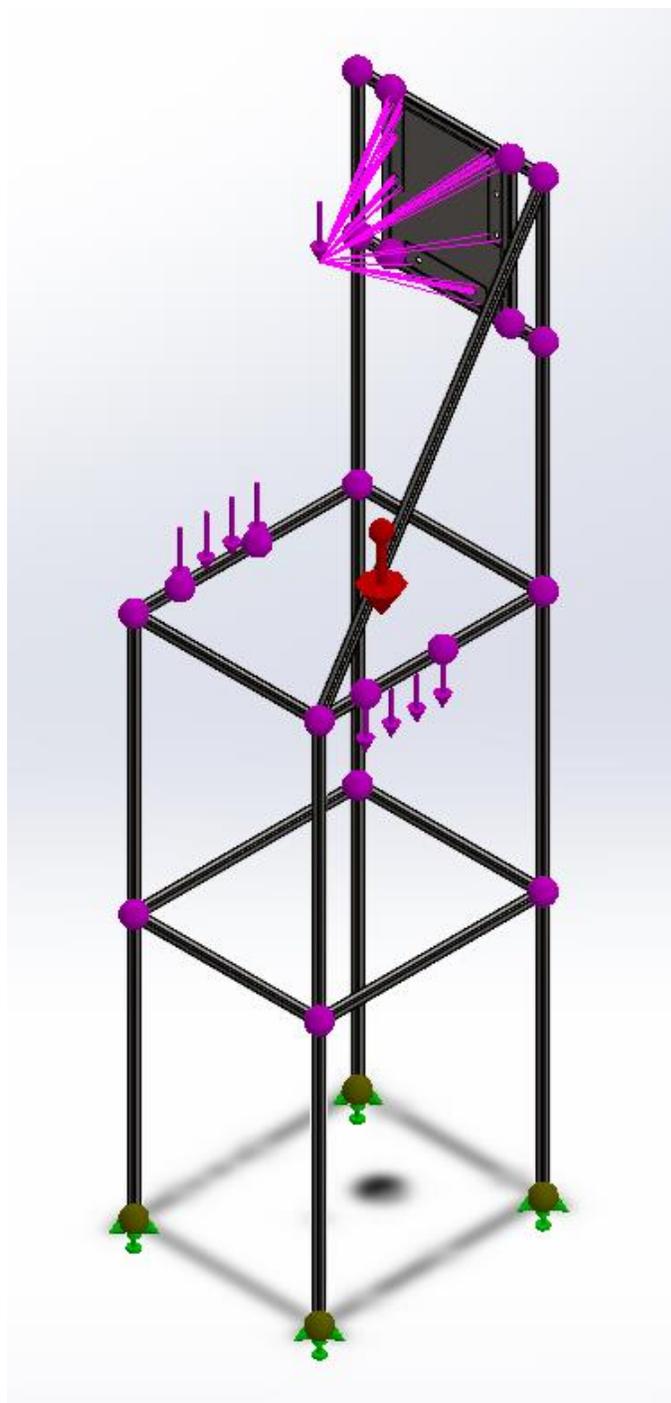
#### 4.10.4. Simulación de la estructura

Tras corroborar que el error es menor al 5% se procede a realizar la simulación de la estructura con las cargas correspondientes a soportar como son el ciclón y el ventilador centrífugo, el cual tiene una masa de 24 kg, se considera un 25% mayor de capacidad considerando diversas situaciones que pudiese presentarse en el uso, esto para garantizar mayor confiabilidad.

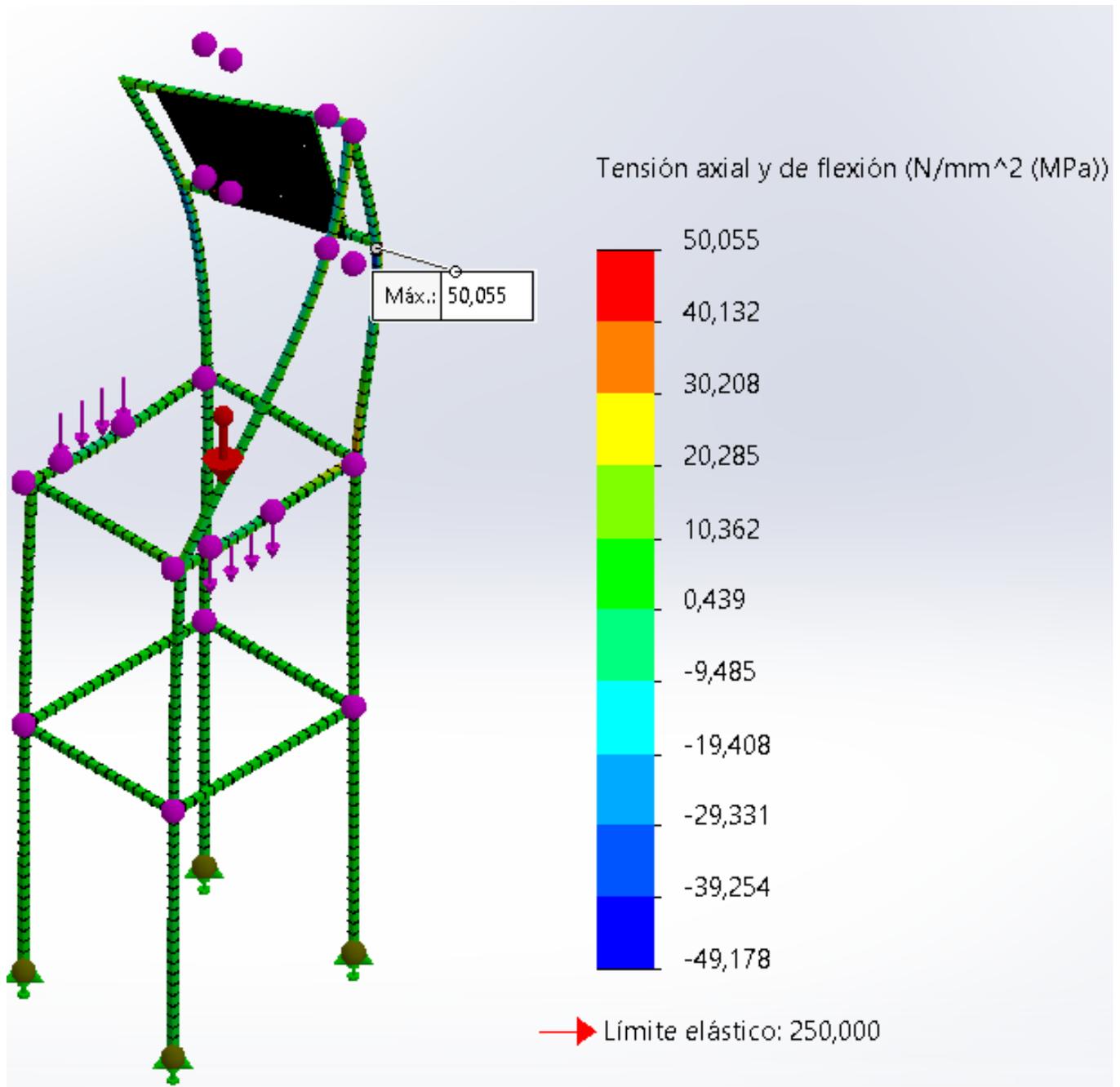
Se realiza el modelo para realizar el análisis de elementos finitos colocando una carga de 459,842 N/m en los laterales para el soporte del ciclón y una carga remota en los tubos que soportaran la base del ventilador igual a 294 N, que se indica en la Figura 27, además de considera el propio peso de la estructura.

**Figura 27**

*Modelo de la estructura con cargas.*



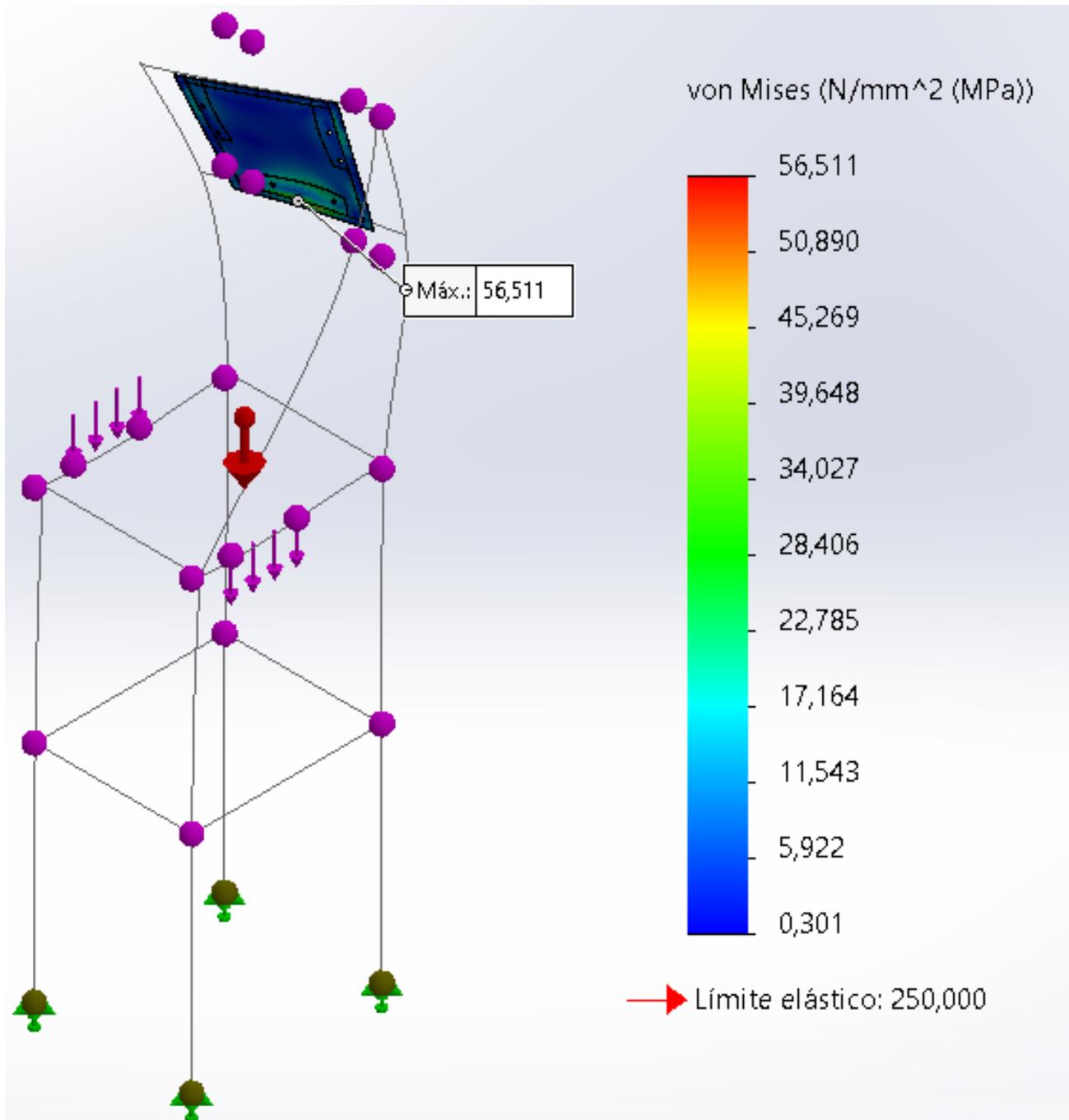
La Figura 28 permite la visualización del resultado de esfuerzos máximos en la estructura obteniendo un valor máximo de 50,055 MPa.

**Figura 28***Esfuerzos en la estructura.*

La Figura 29 muestra la tensión máxima presentada en la placa de soporte del ventilador el cual corresponde a un valor de 56,511.

**Figura 29**

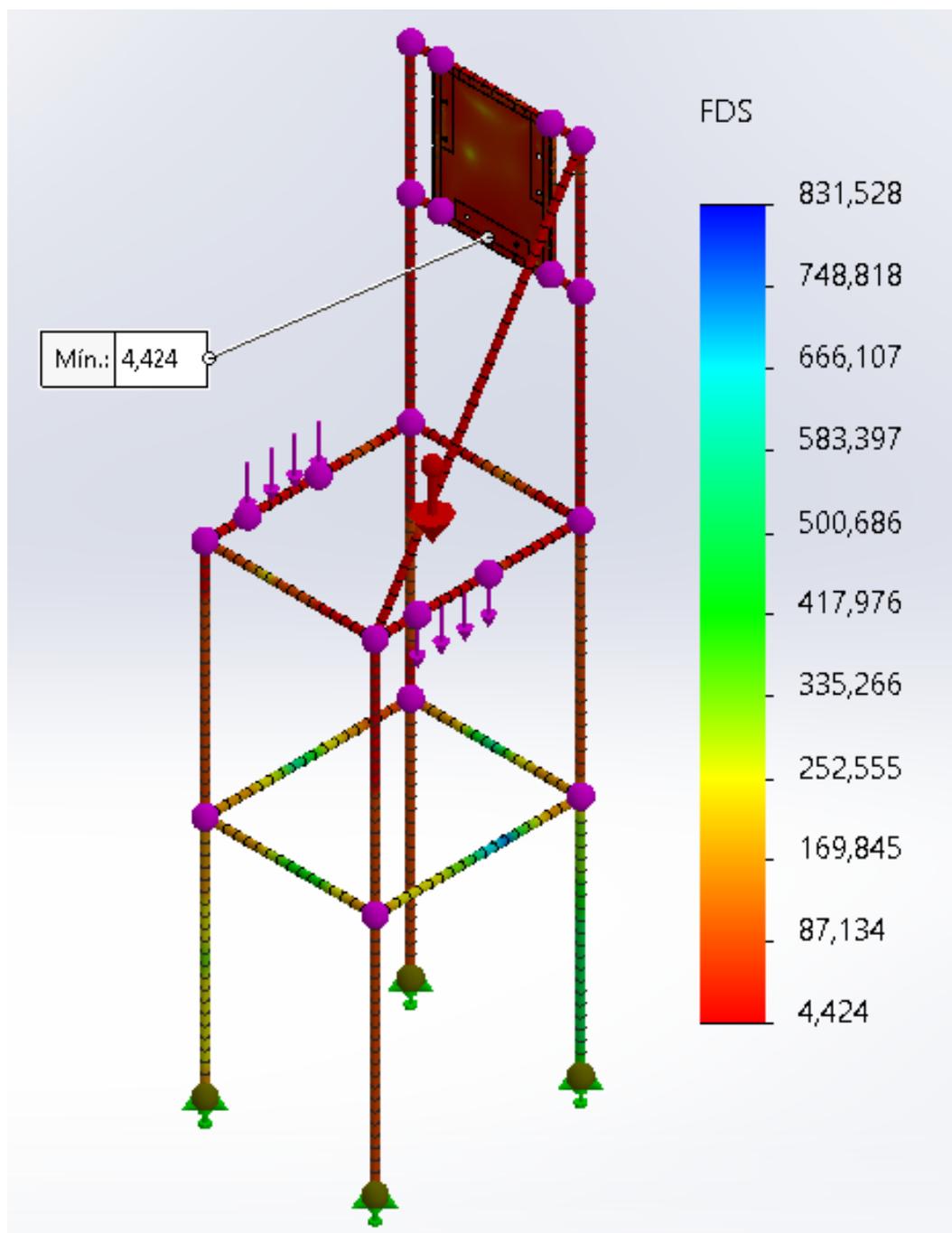
*Tensión máxima en placa de soporte.*



La Figura 30 muestra la simulación para el factor de seguridad siendo el mínimo 4,424, esto representa que la estructura resistirá a las cargas establecidas en el diseño

**Figura 30**

*Factor de seguridad de la estructura.*



## CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

La extracción de partículas por tipo ciclónico presenta ciertas ventajas ya que no constan de elementos complejos a diferencia de otros sistemas, como resultado teniendo un coste moderado, el cual es uno de los principales intereses en las carpinterías artesanales obtener una buena eficiencia a un costo moderado, demostrando que este tipo de extracción puede colectar un porcentaje mayor a 90% en partículas de 9  $\mu\text{m}$  del polvo de madera.

El ventilador centrífugo de alabes radiales brinda la capacidad de succión ideal para el tipo de ciclón elegido, el cual suple los requerimientos establecidos en carpinterías artesanales incluyendo diversas modificaciones que pudiese realizar el usuario en el sistema de tuberías.

Como resultado de la simulación del trabajo del ciclón se pudo observar que las partículas serán colectadas de manera correcta para ser atrapadas en el silo, además se observó que no existirá resuspension de material como se estableció en los cálculos anteriores.

La elección del material tanto para el ciclón como para la estructura de soporte será de acero ASTM A36 ya que es un material fácil de adquirir en la localidad y accesible para la manufactura, se propone unión permanente por medio de soldadura ya que es un proceso sencillo como rápido y permitirá que la estructura tenga rigidez y confiabilidad sin añadir elementos para la unión de estos.

El análisis de factor de seguridad de la estructura de soporte realizada analíticamente al compararla con la simulación por elementos finitos arroja un error de 1,5% por lo que se considera el análisis del resto de elementos de la estructura como valido.

Las dimensiones totales son 2.30 m de alto y una masa de 55 kg aproximadamente cumpliendo con los requisitos propuestos.

## **5.2. Recomendaciones**

La adición de un filtro a la salida del ventilador centrífugo aumentará la eficiencia de recolección, evitando que las partículas de madera escapen de nuevo al ambiente de trabajo, esto dependerá del tamaño mínimo de partículas que se originen dentro de las carpinterías artesanales.

Para la construcción de la máquina se necesita considerar los requerimientos del cliente de manera detallada ya que estos serán fundamentales para el proceso de diseño.

En caso de implementación del diseño es recomendable realizar mantenimientos preventivos los cuales pueden mantener la eficiencia de recolección durante un mayor tiempo además de prolongar la vida útil de sus elementos.

Como silo del sistema se recomienda utilizar contenedores plásticos existentes en el mercado local ya que tiene un costo reducido a comparación de la construcción de un silo metálico.

## REFERENCIAS

- [1] A. M. Sánchez, T. Vayas, F. Mayorga, and C. Freire, “INDUSTRIA DE MUEBLES EN EL ECUADOR.” Accessed: May 31, 2023. [Online]. Available: [https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0CAIQw7AJahcKEwiQ0cOh8aL\\_AhUAAAAAHQAAAAAQAw&url=https%3A%2F%2Fobest.uta.edu.ec%2Fwp-content%2Fuploads%2F2021%2F09%2FIndustria-de-muebles-en-Ecuador.pdf&psig=AOvVaw3KIXa9s8aQYv2xTP1Y2AQv&ust=1685736844216377](https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0CAIQw7AJahcKEwiQ0cOh8aL_AhUAAAAAHQAAAAAQAw&url=https%3A%2F%2Fobest.uta.edu.ec%2Fwp-content%2Fuploads%2F2021%2F09%2FIndustria-de-muebles-en-Ecuador.pdf&psig=AOvVaw3KIXa9s8aQYv2xTP1Y2AQv&ust=1685736844216377)
- [2] Municipalidad de Ibarra, “ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN IBARRA.” 2020. [Online]. Available: [www.ibarra.gob.ec](http://www.ibarra.gob.ec)
- [3] “serrín | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE.” <https://dle.rae.es/serr%C3%ADn#ETHj3BA> (accessed May 31, 2023).
- [4] K. Molina-Lozada, M. Jordán-Muñoz, A. Álvarez-Meythaler, and R. Méndez-Reátegui, “GESTIÓN DE RESIDUOS DE MADERA EN TALLERES ARTESANALES DE LA ZONA CENTRO ANDINA DE ECUADOR: ESTUDIO PRELIMINAR,” vol. 15, pp. 23–36, 2018.
- [5] NCI, “Polvo de madera - NCI.” <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/sustancias/polvo-de-madera> (accessed May 31, 2023).
- [6] Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo de España, “Polvo de madera, un peligro para la salud,” 2011, Accessed: May 31, 2023. [Online]. Available: [https://www.insst.es/documents/94886/375493/Folleto+Polvo+de+madera,+un+peligro+para+la+salud++Año+2011+\(en+catálogo\)](https://www.insst.es/documents/94886/375493/Folleto+Polvo+de+madera,+un+peligro+para+la+salud++Año+2011+(en+catálogo))

- [7] Lady Cardona, C. Murillo, J. Cuervo, and H. Restrepo, “Prevalencia de síntomas respiratorios y alteraciones espirométricas en trabajadores de una empresa maderera de la ciudad de Buga, Colombia.,” *Revista Colombiana de Salud Ocupacional*, 2012, Accessed: May 31, 2023. [Online]. Available: [https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/rc\\_salud\\_ocupa/article/view/4840/4966](https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/rc_salud_ocupa/article/view/4840/4966)
- [8] M. Andrés and U. Jonathan, “DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE POLVO Y VIRUTA DE MADERA PARA LA CARPINTERÍA DE LA FUNDACIÓN SALESIANA “PACES.””
- [9] R. Castillo, H. López, and M. Olvera, “INSTRUMENTACIÓN DE UN COLECTOR DE POLVOS CICLÓNICO PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE SU EFICIENCIA.”
- [10] E. Carlos, “Diseño óptimo de ciclones.” [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-33242006000200011](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242006000200011) (accessed Oct. 29, 2022).
- [11] R. Montero, “Recomendaciones para el mejoramiento de los sistemas de extracción neumática de residuos de madera,” 2006.
- [12] S. Zapata, “CÁLCULO, DISEÑO Y FABRICACIÓN DE COLECTOR DE POLVO.”
- [13] “El carpintero y sus técnicas – Cursos para artesanos – Sinequal.” <https://cursos.sinequal.com/blog/el-carpintero-y-sus-tecnicas/> (accessed Nov. 06, 2022).
- [14] “MADEART - Guía Artesanal del Ecuador.” <https://guiaartesanaldeecuador.com/madeart/#jp-carousel-14186> (accessed Nov. 06, 2022).
- [15] “Guía definitiva de la madera - Woodenson Ecuador.” <https://www.woodenson.ec/blog/guia-definitiva-de-la-madera> (accessed Jun. 01, 2023).

- [16] N. Serret-Guasch, G. Giralt-Ortega, and M. Quintero-Ríos, “Caracterización de aserrín de diferentes maderas,” *Tecnología Química*, vol. 36, no. 3, pp. 395–405, 2016, Accessed: Nov. 06, 2022. [Online]. Available: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852016000300012&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852016000300012&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- [17] “aserrin - Bing images.” [https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=hLQyjxcB&id=7DF43330448468623792FA25F01F9F77091AA586&thid=OIP.hLQyjxcBVetg7ZfQFyH\\_fwHaFj&mediaurl=https%3a%2f%2fth.bing.com%2fth%2fid%2fR.84b4328f170155eb60ed97d01721ff7f%3frik%3dhqUaCXefH%252fA1%252bg%26riu%3dhttp%253a%252f%252fimages.lo canto.cl%252f1465545011%252faserrin-fino\\_2.jpg%26ehk%3dSYPxLxaahtdhpTT%252f5GnCjuW%252bgQeWrQyjevO1yjLo6js%253d%26risl%3d%26pid%3dImgRaw%26r%3d0%26sres%3d1%26sresct%3d1%26srh%3d799%26srw%3d1066&exp=480&expw=640&q=aserrin&simid=608023024370794591&FORM=IRPRST&ck=891B4645970F9C76D2AC5F63C6AB45A0&selectedIndex=5&ajaxhist=0&ajaxserp=0](https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=hLQyjxcB&id=7DF43330448468623792FA25F01F9F77091AA586&thid=OIP.hLQyjxcBVetg7ZfQFyH_fwHaFj&mediaurl=https%3a%2f%2fth.bing.com%2fth%2fid%2fR.84b4328f170155eb60ed97d01721ff7f%3frik%3dhqUaCXefH%252fA1%252bg%26riu%3dhttp%253a%252f%252fimages.lo canto.cl%252f1465545011%252faserrin-fino_2.jpg%26ehk%3dSYPxLxaahtdhpTT%252f5GnCjuW%252bgQeWrQyjevO1yjLo6js%253d%26risl%3d%26pid%3dImgRaw%26r%3d0%26sres%3d1%26sresct%3d1%26srh%3d799%26srw%3d1066&exp=480&expw=640&q=aserrin&simid=608023024370794591&FORM=IRPRST&ck=891B4645970F9C76D2AC5F63C6AB45A0&selectedIndex=5&ajaxhist=0&ajaxserp=0) (accessed Nov. 06, 2022).
- [18] N. Serret-Guasch, G. Giralt-Ortega, and I. Mairet Quintero-Ríos, “Caracterización de aserrín de diferentes maderas Characterization of Sawdust of different Woods.”
- [19] “densidad | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE.” <https://dle.rae.es/densidad> (accessed Jul. 07, 2023).
- [20] B. R. S, “Characterization of Sawdust Produced from Circular, Chain and Band Sawing Machines,” *Bioprocess Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 21–29, 2017, doi: 10.11648/j.be.20170101.14.

- [21] T. Sánchez-Córdova, A. Aldrete, V. M. Cetina-Alcalá, and J. López-Upton, “Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín Growth media characterization based on pine bark and sawdust”.
- [22] M. Pastier, I. Tureková, Z. Turňová, and J. Harangozó, “Minimum Ignition Temperature of Wood Dust Layers,” *Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology*, vol. 21, no. Special-Issue, pp. 127–131, May 2018, doi: 10.2478/rput-2013-0021.
- [23] Departamento de Seguros de Texas, “Peligros y Control del Aserrín”, Accessed: Nov. 06, 2022. [Online]. Available: <https://www.tdi.texas.gov/pubs/videoresourcessp/spt5wooddust.pdf>
- [24] G. Jacobsen, I. Schaumburg, T. Sigsgaard, and V. Schlünssen, “NON-MALIGNANT RESPIRATORY DISEASES AND OCCUPATIONAL EXPOSURE TO WOOD DUST. PART I. FRESH WOOD AND MIXED WOOD INDUSTRY”.
- [25] “Dust Collectors and Dust Collector Filters Selection Guide: Types, Features, Applications | Engineering360.” [https://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing\\_process\\_equipment/air\\_quality/dust\\_collectors](https://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/air_quality/dust_collectors) (accessed Nov. 07, 2022).
- [26] “Electrostatic Precipitators Selection Guide: Types, Features, Applications | Engineering360.” [https://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing\\_process\\_equipment/air\\_quality/electrostatic\\_precipitators](https://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/air_quality/electrostatic_precipitators) (accessed Nov. 07, 2022).
- [27] “Mitsubishi Power | Electrostatic Precipitators (ESP).” <https://power.mhi.com/products/aqcs/lineup/dust-collector> (accessed Nov. 07, 2022).

- [28] “Monitoring by Control Technique - Electrostatic Precipitators | US EPA.”  
<https://www.epa.gov/air-emissions-monitoring-knowledge-base/monitoring-control-technique-electrostatic-precipitators> (accessed Nov. 07, 2022).
- [29] “Industrial Dust Extraction Systems & Their Varying Types | CPE Filters.”  
<https://cpef.com/blog/understanding-types-industrial-dust-extraction-systems/> (accessed Nov. 07, 2022).
- [30] “Baghouse Dust Collector - Airex Industries.” <https://www.airex-industries.com/en/products/dust-collector/baghouse> (accessed Nov. 07, 2022).
- [31] C. A. Echeverri, “Diseño óptimo de ciclones.” [Online]. Available:  
<https://www.researchgate.net/publication/262467595>
- [32] “Custom Industrial Cyclone Dust Collectors from Imperial Systems.”  
<https://www.isystemsweb.com/dust-collection-equipment/cyclone-dust-collectors/>  
(accessed Nov. 08, 2022).
- [33] M. W. A. Arif *et al.*, “International Journal of Nanoelectronics and Materials Design and Development of Domestic Cyclone Dust Collector System Using TRIZ And CCD Method.”
- [34] “Cyclone Dust Separator: How Does It Work? | CPE Filters.”  
<https://cpef.com/blog/cyclone-dust-separator-how-does-it-work/> (accessed Nov. 08, 2022).
- [35] “[ Miller Magazine Spanish.” <https://millerspanish.com/blog/ciclones-y-sus-valvulas-rotativas-222> (accessed Jun. 01, 2023).
- [36] Soler & Palau, “Manual de ventilación,” pp. 87–88, 2020, Accessed: Nov. 08, 2022.  
[Online]. Available: <http://www.solerpalau.co/home/wp-content/uploads/2020/02/Manual-de-Ventilacion-SP.pdf>

- [37] “Ventiladores Axiales | Tecnovapor Ecuador.” <https://tecnovapor.com.ec/axiales.html> (accessed Nov. 17, 2022).
- [38] J. Lahidalga, “Ventiladores centrífugos.” Accessed: Nov. 08, 2022. [Online]. Available: [https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias\\_y\\_tecnologia/059095.pdf](https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/059095.pdf)
- [39] “Ventiladores centrífugos industriales - Kinextec.” <https://kinextec.com/producto/ventiladores-centrifugos-industriales/> (accessed Nov. 08, 2022).
- [40] B. Gámez, C. Flores, F. Cabrera, and J. Cabrera, “Design of a biomechanics prosthesis for child,” 2016.
- [41] F. Valencia, X. Lima, D. Ojeda, and D. Ortiz, “Prótesis de rodilla externa mecatrónica,” *Biomecánica*, Jan. 2015, doi: 10.5821/sibb.23.1.4821.
- [42] T. M. Pablo and C. S. Marco, “Prototipo Compacto de Codo con Movimientos Integrados de Flexión-Extensión y Prono-Supinación: Diseño Mecánico.”
- [43] “Artesanos del Ecuador • EcuadorStores.” <https://ecuadorstores.com/es/artesanos-del-ecuador/> (accessed Jun. 06, 2023).
- [44] C. Sáenz, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE VIRUTA CONTROLADO PARA LA INDUSTRIA ‘MADERAS EQUINOCCIO MADEQUISA CIA LTDA.’”
- [45] Y. A. Çengel and J. M. Cimbala, “Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones,” Primera edición.2006.
- [46] “Diseño ciclónico - Guía paso a paso - Powderprocess.net.” [https://powderprocess.net/Equipments%20html/Cyclone\\_Design.html](https://powderprocess.net/Equipments%20html/Cyclone_Design.html) (accessed Jun. 14, 2023).

- [47] Soler & Palau, *Catálogo general*. Accessed: Jul. 19, 2023. [Online]. Available: [https://www.solerpalau.co/ASW\\_CO/recursos/cata/General.pdf](https://www.solerpalau.co/ASW_CO/recursos/cata/General.pdf)

## ANEXOS

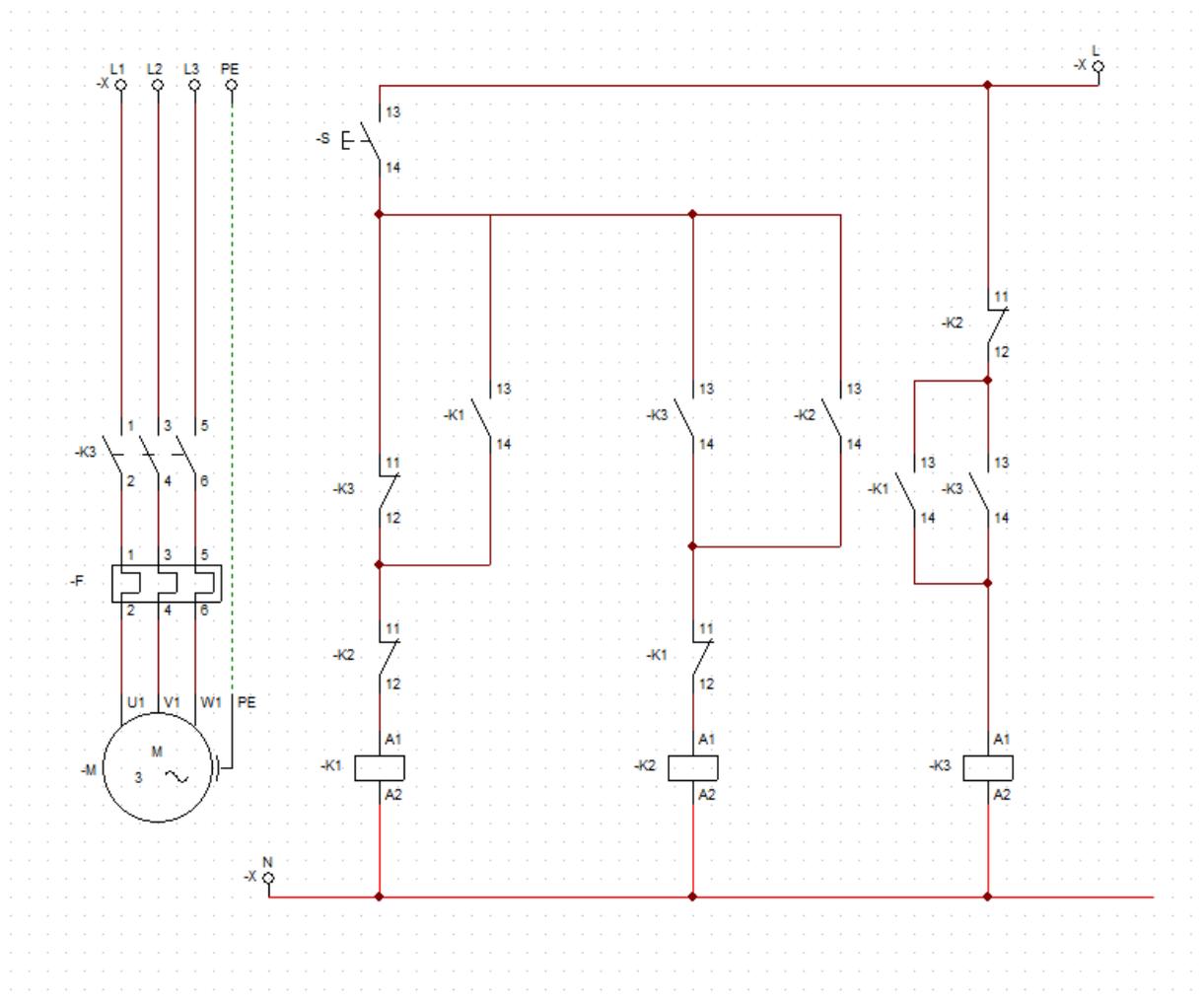
## Anexo 1

*Características de los ciclones de alta eficiencia [31].*

Dimensión	Nomenclatura	Ciclón tipo Stairmand	Ciclón tipo Swift	Ciclón tipo Echeverri
Diámetro del ciclón	Dc /Dc	1,0	1,0	1,0
Altura de entrada	a/Dc	0,5	0,44	0,5
Ancho de entrada	b/Dc	0,2	0,21	0,2
Altura de salida	S/Dc	0,5	0,5	0,625
Diámetro de salida	Ds/Dc	0,5	0,4	0,5
Altura parte cilíndrica	h/Dc	1,5	1,4	1,5
Altura parte cónica	z/Dc	2,5	2,5	2,5
Altura total ciclón	H/Dc	4,0	3,9	4,0
Diámetro salida de partículas	B/Dc	0,375	0,4	0,375
Factor de configuración	G	551,22	698,65	585,71
Número cabezas de velocidad	NH	6,4	9,24	6,4
Número de vórtices	N	5,5	6,0	5,5

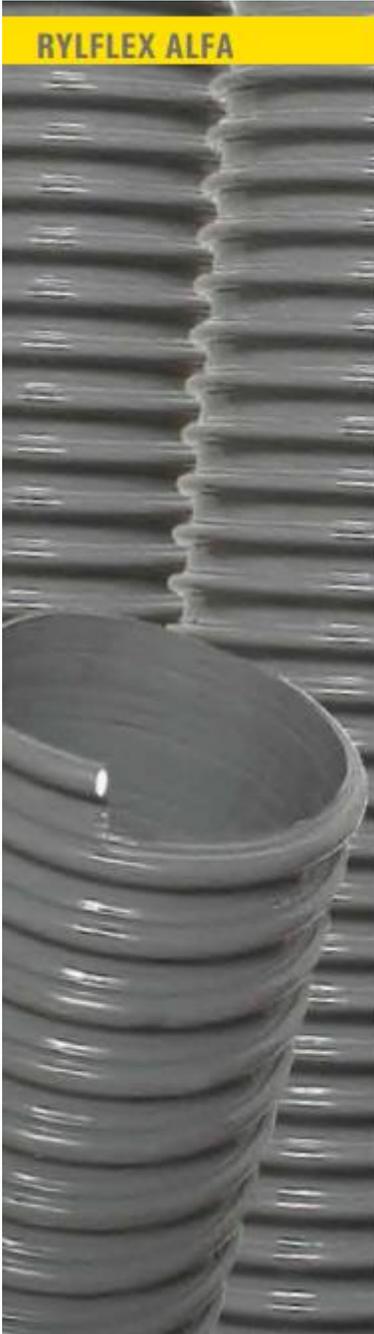
## Anexo 2

Esquema eléctrico.



## Anexo 3

### Tubería flexible catalogo.



**RYLFLEX ALFA**

- **Aplicaciones:**  
Succión de aire y partículas en suspensión.
- **Material:**  
PVC, con espiral PVC rígida
- **Espesor:** 1,1 a 1,7 mm.
- **Color:** Gris.
- **Longitud rollos:**  
Diam. 20 mm. a 80 mm. / 25-50 mts.  
Diam. 90 mm. a 125 mm. / 30 mts.  
Diam. 140 mm. a 250 mm. / 20 mts.  
Diam. 300 mm. / 10 mts.
- **Rango Temperatura:**  
0°C. hasta + 60°C.
- **Propiedades:**  
Construcción sólida.  
Interior liso.

DATOS TÉCNICOS						
Código	Diam. mm.	Precio Euro/m	Peso Kg/m	Radio Giro mm.	Presión Serv. (Bar)	Depresión Serv. (Bar)
6001	20	1,90	0,21	30	2,00	0,64
6002	25	2,31	0,26	37	2,00	0,64
6003	30	2,71	0,29	40	1,80	0,64
6004	32	3,03	0,30	45	1,80	0,62
6005	35	3,24	0,32	52	1,80	0,61
6007	40	3,75	0,37	60	1,80	0,61
6008	45	4,54	0,49	67	1,80	0,61
6009	50	5,60	0,51	75	1,80	0,61
6011	60	6,23	0,69	90	1,50	0,52
6012	70	7,10	0,80	105	1,50	0,49
6013	75	8,81	0,86	112	1,50	0,41
6014	80	9,70	0,92	120	1,30	0,41
6015	90	10,27	0,98	135	1,30	0,41
6016	100	11,62	1,03	150	1,30	0,35
6017	110	12,96	1,20	165	1,00	0,35
6018	120	13,98	1,35	180	0,80	0,31
6019	125	14,88	1,40	185	0,80	0,31
6020	140	16,96	1,64	210	0,50	0,31
6021	150	19,04	1,78	225	0,50	0,24
6022	160	21,04	1,95	240	0,50	0,24
6024	200	27,48	2,75	300	0,30	0,12
6025	250	38,04	3,50	350	0,20	0,10

## INDUSTRIALES

## AROFLEX AIRE VACÍO

## Sectores



Aspiración y transporte de partículas en suspensión en plantas industriales, altamente abrasivas.

## Aplicaciones:

- Paso de aire
- Aspiración de partículas
- Aplicaciones generales en la industria

- **Tubo y cubierta:** Poliuretano termoplástico
- **Refuerzo:** Espiral en polímero de alta resistencia mecánica.
- **Propiedades:** Construcción anillada que permite alta flexibilidad. El poliuretano ofrece la máxima resistencia a la abrasión y a la fatiga por flexión.

Temperatura:  $-41^{\circ}\text{F}$  a  $+140^{\circ}\text{F}$  ( $-5^{\circ}\text{C}$  a  $+60^{\circ}\text{C}$ ).

Diámetros: Desde  $1.1/2''$  a  $6''$ .

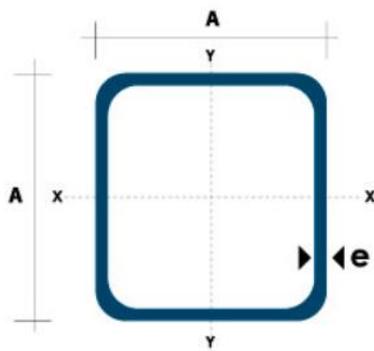
Colores: Plateado traslúcido.

Presión: 60 PSI



## Anexo 4

*Tubo cuadrado catálogo DIPAC.*

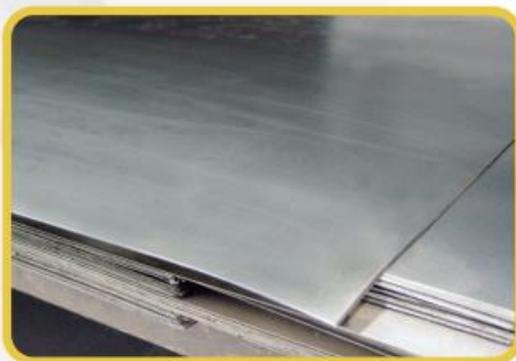


Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	I cm <sup>3</sup>
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84

## Anexo 5

## Especificaciones lámina catálogo DIPAC

## PLANCHAS LAMINADAS AL FRÍO



### Especificaciones Generales:

<b>Norma:</b>	NTE INEN 115
<b>Calidad:</b>	JIS 3141 SPCC SD
<b>Espesores:</b>	0,45mm a 1,90mm
<b>Rollos:</b>	X 1219mm
<b>Planchas:</b>	4 x 8 pies y medidas especiales
<b>Acabado:</b>	Acero negro

Calidad	Designación	Carbón	Manganeso	Fósforo	Azufre	Aluminio
Calidad Comercial	CS TIPO A	0,10	0,6	0,03	0,035	
	CS TIPO B	0,02 a 0,15	0,6	0,03	0,035	
	CS TIPO C	0,08	0,6	0,10	0,035	
Embutido leve	FS TIPO A	0,10	0,5	0,02	0,035	
	FS TIPO B	0,02 to 0,10	0,5	0,02	0,030	
Embutido profundo	DDS	0,06	0,5	0,02	0,025	0,01
	EDDS	0,02	0,4	0,02	0,020	0,01
Estructural SS Grd	30 (230)	0,20		0,040	0,040	
	37 (255)	0,20		0,10	0,040	
	40(275)	0,25		0,10	0,040	
	50(340)	0,40		0,20	0,040	
	50(340)	0,50		0,040	0,040	
	80 (550)	0,20		0,040	0,040	

**Anexo 6***Planos CAD*