



# **Diseño de un sistema de extracción de gases en recintos cerrados utilizando el método de ventilación por depresión**

**Fernando Fabio Velásquez Martínez**

**Javier Andrés Varela Villa**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Barranquilla, Colombia  
2020



# **Diseño de un sistema de extracción de gases en recintos cerrados utilizando el método de ventilación por depresión**

**Fernando Fabio Velásquez Martínez**

**Javier Andrés Varela Villa**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Electromecánico**

Director (a):

Ingeniero Mecánico: WILMAN OROZCO LOZANO

Línea de Investigación:

Diseño Mecánico, Maquinas Hidráulicas

Ciencia de los Materiales y Procesos de Manufactura

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Barranquilla, Colombia

2020



*Lema*

*Los científicos de hoy piensan profundamente en lugar de claramente. Se debe estar cuerdo para pensar con claridad, pero se puede pensar profundamente y estar completamente loco.*

*Nikola Tesla*



## Resumen

Este proyecto describe la propuesta de diseño de un sistema que puede ser utilizado para extraer los gases acumulados que están en el sótano de las instalaciones de la empresa central de embobinados del caribe s. a. s. ubicada en la Ciudad de Barranquilla y así tener una calidad de aire óptima con el fin de que no genere ningún riesgo químico ni afectación de vidas humanas. Los sistemas de extracción de gases son utilizados para absorber los contaminantes presentes en un ambiente hermético donde hay presencia de agentes químicos y volátiles, con esta alternativa de solución se logrará controlar el flujo de aire, la selección del sistema extractor adecuado con las especificaciones correctas y a su vez eliminar el riesgo de contaminación para las personas que laboran en estos lugares. El Resultado Final de este proyecto será lograr el modelamiento computacional del sistema de extracción de gases utilizando el método de ventilación por depresión.

**Palabras clave:** Laminar, turbulento, deformación, ducto, cavitación.

## **Abstract**

This project describes the design proposal of a system that can be used to extract the accumulated gases that are in the basement of the Central Caribbean Bottling Company s. a. s. located in the City of Barranquilla and thus have an air quality optimal so that it does not create any chemical risk or affect human lives. The gas extraction systems are used to absorb the pollutants present in a hermetic environment where there is presence of chemical and volatile agents, with this alternative solution the air flow will be controlled, the selection of the appropriate exhaust system with the correct specifications and in turn eliminate the risk of contamination for the persons working in these places. The final result of this project will be to achieve the computational modeling of the gas extraction system using the depression ventilation method.

**Keywords: Laminar, turbulent, deformation, duct, cavitation.**

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>VII</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XI</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XII</b>
<b>Lista de Símbolos y abreviaturas</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Descripción del proyecto</b> .....	<b>3</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.2 Formulación del problema .....	4
1.2.1 Sistematización de problemas.....	4
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general .....	4
1.3.2 Objetivos específicos .....	4
1.4 Situación actual del área de trabajo .....	5
1.5 Justificación .....	6
1.6 Delimitación .....	6
<b>2. La ventilación y sus parámetros</b> .....	<b>7</b>
2.1 Antecedentes de investigación .....	7
2.2 Marco teórico.....	8
2.2.1 Diseño de sistemas mecánicos .....	9
2.2.2 Mecánica de Fluidos .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.2.3 Sistemas de Ventilación .....	13
2.2.4 Cálculo de sistemas de ventilación.....	14
2.2.5 Consideraciones Mecánicas.....	16
2.2.6 Densidad del aire .....	16
2.2.7 Calculos basicos de caudal .....	16
2.3 Marco legal .....	19
<b>3. Selección del método de investigación</b> .....	<b>21</b>
3.1 Tipo de investigación .....	21
3.2 Método de investigación .....	22
3.3 Técnica de investigación.....	22
<b>4. Diseño y cálculo del sistema de ventilación</b> .....	<b>23</b>
4.1 Metodología aplicada.....	23

---

4.2	Necesidad del cliente .....	24
4.3	Identificación del atributo.....	24
4.4	Objetivo jerárquico .....	25
4.5	Función de un sistema de ventilación localizado por extracción .....	26
4.5.1	Perdida tramo <b>1</b> → <b>A</b> .....	29
4.5.2	Determinación del número de reynold .....	30
4.5.3	Coeficiente de fricción.....	31
4.5.4	Pérdidas en codos de 90 .....	33
4.5.5	Pérdidas en tramos AB .....	33
4.5.6	Análisis tramo BC .....	37
4.5.7	Análisis tramo CD .....	38
4.5.8	Tramo desde D antes del blower .....	40
4.6	Presión dinámica de entrada y salida .....	41
4.6.1	Pérdidas totales a la salida del ventilador .....	41
4.7	Potencia del ventilador .....	42
4.8	Selección del ventilador.....	43
4.9	Soporte .....	45
4.10	Circuito eléctrico del sistema .....	51
4.11	Control de ventilación .....	53
4.12	Diagrama de circuito eléctrico y control automático .....	54
<b>5.</b>	<b>Simulación del ducto.....</b>	<b>60</b>
<b>6.</b>	<b>Presupuesto .....</b>	<b>66</b>
<b>7.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>68</b>
7.1	Conclusiones.....	68
7.2	Recomendaciones.....	69
<b>A.</b>	<b>Anexo: Planos de fabricación.....</b>	<b>71</b>
<b>B.</b>	<b>Anexo: Presupuesto .....</b>	<b>77</b>
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>79</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1-1:</b> Situación actual de la zona de almacenamiento. ....	5
<b>Figura 2-1:</b> Fases del ciclo de vida de un producto. ....	10
<b>Figura 2-2:</b> Tipos de regímenes de fluido Laminar y turbulento.....	11
<b>Figura 2-3:</b> Rugosidad superficial de materiales comunes. ....	12
<b>Figura 2-4:</b> Diagrama de Moody. ....	13
<b>Figura 2-5:</b> Algoritmo de cálculo para un sistema de ventilación.....	15
<b>Figura 2-6:</b> Esfuerzo y deformación en materiales. ....	16
<b>Figura 2-7:</b> Relación esfuerzo deformación.....	17
<b>Figura 2-8:</b> Barras roscadas usadas como soporte.....	18
<b>Figura 4-1:</b> Diagrama de metodología aplicada. ....	23
<b>Figura 4-2:</b> Necesidad del cliente.....	24
<b>Figura 4-3:</b> Identificación y atributos. ....	25
<b>Figura 4-4:</b> Lista de objetivos jerárquicos.....	26
<b>Figura 4-5:</b> Función sistema de ventilación localizada por extracción .....	27
<b>Figura 4-6:</b> Propiedades del aire en condiciones normales.....	30
<b>Figura 4-7:</b> Codo de sección cuadrada y rectangular. ....	33
<b>Figura 4-8:</b> Diagrama de Moody. ....	35
<b>Figura 4-9:</b> Tabla de valores del caudal en CFM .....	44
<b>Figura 4-10:</b> Centro de masa de columna. ....	46
<b>Figura 4-11:</b> Masa ubicada en el centroide. ....	47
<b>Figura 4-12:</b> Sumatoria de momentos.....	48
<b>Figura 4-13:</b> Modelo de soporte .....	51
<b>Figura 4-14:</b> Diagrama de circuito eléctrico y de mando de un motor trifásico. ....	52
<b>Figura 4-15:</b> Elementos de un sistema de control automatizado. ....	54
<b>Figura 4-16:</b> Diagrama de potencia y control automático. ....	54
<b>Figura 5-1:</b> Preparación de la simulación.....	60
<b>Figura 5-2:</b> Condición de frontera de caudal volumétrico en la descarga del ducto..	61
<b>Figura 5-3:</b> Condición de frontera de presión atmosférica en las succiones.....	61
<b>Figura 5-4:</b> Resultados para el campo de presión vista frontal.....	62
<b>Figura 5-5:</b> Campo de presiones vista lateral.....	62
<b>Figura 5-6:</b> Detalle del campo de presiones en el codo de 90°. ....	63
<b>Figura 5-7:</b> Campo de velocidades en el ducto. ....	64
<b>Figura 5-8:</b> Detalle del campo vectorial de velocidades en el codo de 90°. ....	65
<b>Figura 5-9:</b> Resultado del procesamiento de la simulación. ....	65

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 5-1:</b> Caudales establecidos en cada rejilla.....	62
<b>Tabla 6-1:</b> Presupuesto general del proyecto.....	66
<b>Tabla 6-2:</b> Estudio de enfermedades laborales.....	67

# Lista de Símbolos y abreviaturas

## Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$Q$	Caudal de extracción	$\frac{m^3}{s}$	Ec. 4.1
$V$	Velocidad del aire que atraviesa la campana	$\frac{m}{s}$	Ec. 4.1
$X$	Distancia al foco donde se generan los residuos	m	Ec. 4.1
$A$	Área	$m^2$	Ec. 4.1
$Q_{TOTAL}$	Caudal total	$\frac{m^3}{s}$	Ec. 4.3
$Q_{REJILLA}$	Caudal rejilla	$\frac{m^3}{s}$	$\frac{Q_{TOTAL}}{4}$
$V_{EXTRACCIÓN}$	Velocidad de extracción	$\frac{m}{s}$	
$D_{EQUIVALENTE}$	Diámetro equivalente	m	Ec. 4.4
$h_D$	Presión dinámica	mmcda	Ec. 4.7
$L$	Longitud	m	Ec. 4.8
$V_r$	Velocidad real	$\frac{m}{s}$	Ec. 4.9
$POT_a$	Potencia del motor	W	Ec. 4.22
$h_{TV}$	Altura de presión total	mmcda	Ec. 4.23
$h_{EV}$	Altura de presión estática	mmcda	Ec. 4.24
$V_{EFEC}$	Volumen efectivo	$m^3$	Ec. 4.26
$m$	Masa	Kg	Ec. 4.27
$M$	Momento	Nm	Ec. 4.29
$F$	Fuerza	N	Ec. 4.30
$I_n$	Corriente nominal	A	Ec. 4.36
$I_s$	Corriente de servicio	A	Ec. 4.37

---

## Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$\rho$	Densidad del fluido	$\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$	Ec. 4.11
$\mu$	Viscosidad dinámica del fluido	$\frac{\text{Kg}}{\text{ms}}$	Ec. 4.11
$\sigma$	Esfuerzo a tensión	Mpa	Ec. 4.33

## Subíndices

Subíndice	Término
N	Factor de seguridad
$\eta$	Eficiencia
FS	Factor de potencia

## Abreviaturas

Abreviatura	Término
VAV	Volumen de aire variable
MPCC	Método de Perdida de carga unitaria constante
ICA	Índice de calidad de aire

# Introducción

Una de las principales características de la Ingeniería Mecánica es su utilidad e importancia en distintos campos de la Tecnología en la actualidad. Como futuros Ingenieros Mecánicos debemos tener la capacidad de generar conocimiento y productos obtenidos de la investigación aplicada que sean de beneficio para la sociedad y la Industria. La Mecánica se fundamenta en el origen, evolución, movimiento, reposo, estructura y fuerza de todas las máquinas, campos electrónicos y energéticos existentes.

Actualmente en el sótano de las instalaciones de la empresa central de embobinados del caribe s. a. s. ubicada en la Ciudad de Barranquilla-Atlántico, se presentan inconvenientes con una alta acumulación de gases nocivos dentro del sótano, donde se ve afectada la población que llega a este espacio con alto grado de contaminación y donde hay presencia de productos químicos que emanan gases altamente contaminantes en este ambiente de trabajo y donde muchos desconocen los riesgos que representan para la vida.

Teniendo en cuenta que existe la probabilidad de que haya una explosión por acumulación de éstos ya que son altamente inflamables y por esta razón se hace necesario ejecutar un plan de acción para minimizar y controlar este riesgo que está presente y del cual no hay ningún tipo de control.

Para dar solución a esta necesidad se crea este proyecto cuyo objetivo principal es diseñar un sistema de extracción de gases en un recinto cerrado utilizando el método de ventilación por depresión para expulsar todos los gases o químicos que se encuentren acumulados en el recinto. Se determinará el tiempo de extracción de los gases acumulados y se podrá lograr la recirculación de aire natural para minimizar los riesgos de contaminación utilizando la ventilación de aire por medio del método de depresión.

Para este estudio respecto a la metodología se utilizó como técnica la observación simple, se escogió el Método deductivo ya que a través de conclusiones lógicas obtenidas de apreciaciones e hipótesis partimos de lo general (leyes o principios) a lo particular que fue el hecho concreto que nos llevó a la conclusión de desarrollar este proyecto.

# 1.Descripción del proyecto

## 1.1 Planteamiento del problema

Este proyecto será desarrollado para entregar una propuesta de diseño de un sistema automatizado y confiable que pueda ser capaz de extraer gases contaminantes que se encuentren acumulados en un recinto cerrado, basados en los métodos de ventilación por depresión, destacándose por su automatización y bajo consumo energético y también con bajos niveles de ruido, minimizando afectaciones de salud por inhalación de gases contaminantes y también los riesgos de explosión por acumulación de gases. Será puesto a prueba en un sótano donde son almacenados químicos en donde actualmente no se encuentra en funcionamiento ningún dispositivo extractor de aire y es ahí donde esta propuesta tiene el lugar a ser ejecutada por los investigadores de este proyecto, con el fin de que no se elija un sistema deficiente de alto costo, y elevado consumo energético.

Es conveniente desarrollar este sistema ya que nos ayudará a controlar y a minimizar los riesgos de explosiones, intoxicaciones y hasta pérdidas humanas. Actualmente la población mundial ha venido desarrollándose y expandiéndose a lo largo del tiempo, encontramos altos riesgos de intoxicación por alta contaminación del aire que respiramos, sin tener en cuenta que hay tecnologías y métodos que nos pueden ayudar a conocer y mejorar la forma en que trabajamos en un lugar cerrado y con una calidad de aire que no genere afectaciones en nuestra salud. Esta investigación se puede aplicar para espacios tales como: Sótanos de edificios, parqueaderos subterráneos, cuartos de máquinas o almacenamiento de químicos, etc.

Durante las etapas del proyecto de grado se buscará que con la implementación de la propuesta del sistema, las personas logren realizar sus labores en espacios donde hay baja calidad de aire y que con este nuevo sistema sea más fácil ver en tiempo real que calidad de aire se está respirando, ver la puesta en marcha del sistema extractor automáticamente y que se sientan más seguros de que su salud no se vea afectada aun estando presente la fuente de agentes químicos en el entorno. Todo esto con el fin de darle una solución de raíz al problema ya mencionado anteriormente.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cómo diseñar un método de extracción de gases del recinto cerrado utilizando el método de ventilación por depresión y que a la hora de la extracción no genere altos niveles de ruido y no contamine la atmósfera?

### **1.2.1 Sistematización de problemas**

- ¿Cómo utilizar el material adecuado para la fabricación de los ductos?
- ¿Qué tipo de rejilla diseñar para que no genere ruido?
- ¿Cómo Calcular el tiempo que demora en la extracción de los gases?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Diseñar un sistema de extracción de gases en un recinto cerrado utilizando el método de ventilación por depresión para expulsar todos los gases o químicos que se encuentren acumulados en el recinto.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Identificar los requerimientos del sistema de extracción de gases en recintos cerrados utilizando el método de ventilación por depresión.
- Implementar una metodología de diseño para el de extracción de gases en recintos cerrados utilizando el método de ventilación por depresión.
- Realizar los cálculos necesarios para garantizar un funcionamiento óptimo y que no presente inconvenientes para su normal operación.
- Realizar el modelamiento computacional con ayuda del programa SolidWorks.

## 1.4 Situación actual del área de trabajo

La bodega a la cual se le implementará el sistema de ventilación y control automático se encuentra ubicado en la ciudad de barranquilla.

En la bodega de la Fábrica se almacenan variedad de agentes contaminantes, entre los que se puede citar: Thinner, Nitrato de amonio estabilizado, Solvente mineral, entre otros.

El lugar de almacenamiento tiene un ingreso principal en su parte frontal, las medidas son 5.8 m de largo x 2.10 m de alto x 1.5 de ancho. A continuación, se muestra el lugar de almacenamiento y los agentes químicos que se encuentran en este.

**Figura 1-1:** Situación actual de la zona de almacenamiento.



Nombre de la fuente: Autores

Como se observa en la Figura 1-1 el lugar actualmente no posee un sistema de ventilación el cual ayude a evacuar el aire que se encuentra a altas temperaturas y posibles gases contaminantes. Como respuesta a este inconveniente, en el presente proyecto de grado propone el diseño de un sistema de extracción de gases utilizando el método de ventilación por depresión.

## **1.5 Justificación**

Este proyecto será desarrollado para entregar una propuesta de diseño de un sistema automatizado y confiable que pueda ser capaz de extraer gases contaminantes que se encuentren acumulados en un recinto cerrado, basados en los métodos de ventilación por depresión, destacándose por su automatización y bajo consumo energético y también con bajos niveles de ruido, minimizando afectaciones de salud por inhalación de gases contaminantes y también los riesgos de explosión por acumulación de gases. La propuesta va dirigida a un sótano donde son almacenados químicos en donde actualmente no se encuentra en funcionamiento ningún dispositivo extractor de aire y es ahí donde esta propuesta tiene el lugar a ser ejecutada por los investigadores de este proyecto.

Es por ello por lo que el proyecto será encaminado a la realización de una propuesta para que no se elija un sistema deficiente de alto costo, alto niveles de ruido y elevado consumo energético.

## **1.6 Delimitación**

Este proyecto se desarrollará en el sótano de las instalaciones de la empresa central de embobinados del caribe s. a. s. ubicadas en la Ciudad de Barranquilla. Implementando una metodología de diseño para el de extracción de gases en recintos cerrados utilizando el método de ventilación por depresión, realizando los cálculos necesarios para garantizar un funcionamiento óptimo y que no presente inconvenientes para su normal operación. De igual manera aplicando el modelamiento computacional con ayuda del programa SolidWorks.

## **2.La ventilación y sus parámetros**

### **2.1 Antecedentes de investigación**

La Ventilación es aquella técnica que permite sustituir el aire ambiente interior de un local por otro exterior de mejores características. A los seres vivos, personas principalmente, la ventilación resuelve funciones vitales como la provisión de oxígeno para su respiración y el control del calor que producen, a la vez que les proporciona condiciones de confort afectando a la temperatura del aire, su humedad, la velocidad de este y la dilución de olores indeseables. A las máquinas e instalaciones y procesos industriales la ventilación permite controlar el calor, la toxicidad o la potencial explosividad de su ambiente. (Refrinoticias, 2010)

La preocupación por conseguir un aire limpio es compartida por los científicos desde la antigüedad. En la antigua Roma un médico de origen griego llamado Gale que vivió entre el año 129 y el 210 después de Cristo sintetizó una serie de conocimientos al respecto estableciendo una de las primeras corrientes de la medicina llamada el Galenismo. Gale buscaba por todos los medios encontrar lo que llamaba el «buen aire», descubriendo el origen de enfermedades infecciosas como consecuencia de su contaminación.

Otros estudiosos como Florence Nightingale (1820 -1910) insistieron en la necesidad de una ventilación de las estancias, que, junto con la alimentación, la temperatura, la iluminación, la dieta, la higiene o el ruido formaban los elementos básicos para conseguir un ambiente saludable. Para ello consideraba imprescindible que el aire fuera periódicamente renovado como condición indispensable para la recuperación de los pacientes. Estos estudios se enmarcan en los movimientos higienistas que en Europa trajeron consigo la epidemiología y el estudio de enfermedades como el cólera, encabezados por el doctor John Snow.

Todos estos planteamientos influyeron de forma notable en la arquitectura del siglo XX, se empezaron a incluir patinillos por los que circularan los conductos de las instalaciones, mejorando así la habitabilidad de las viviendas. Actualmente es de sobra conocido que el exceso de contaminación en el aire interior está en el origen de muchas enfermedades como las alergias o las infecciones respiratorias. (Siber ventilacion inteligente, 2016)

## **2.2 Marco teórico**

La ventilación es el sistema mecánico en un recinto que trae aire exterior "fresco" y elimina el aire interior "contaminado". En un lugar de trabajo, la ventilación se usa para controlar la exposición a contaminantes en el aire como humos, polvos y vapores, a fin de proporcionar un ambiente de trabajo saludable y seguro. La ventilación se puede lograr por medios naturales (por ejemplo, abriendo una ventana) o por medios mecánicos (por ejemplo, ventiladores o sopladores).

A lo largo de estos años muchas teorías se han puesto sobre la mesa fundamentando el diseño de un sistema de extracción de gases en recintos cerrados utilizando el método de ventilación por depresión, por lo que es importante conocer sobre este tipo de ventilación.

La ventilación por depresión se logra colocando extractores en el local para sacar el aire del interior, provocando una caída de presión respecto a la atmosférica. De esta manera el aire penetra por la diferencia de presión, a través de las distintas aberturas dispuestas con este fin, consiguiendo resultados similares a los de la ventilación por sobre-presión. (Climatizacion10, s.f.)

Con este estudio se quiere demostrar la viabilidad de tener un sistema como el que se plantea. El proceso de aprendizaje con la ejecución del presente proyecto ha sido extenso, se ha recopilado información que ha sido de ayuda para resolver todas las inquietudes que se presentan para darle solución al problema.

En el presente capítulo se expondrán los fundamentos de ingeniería mecánica detrás del proyecto realizado. Iniciaremos mostrando las generalidades de un proceso de diseño mecánico basados en requerimientos del cliente, se continua con la exposición de los

principios básicos de la mecánica de fluidos involucradas en el flujo de gases, para luego tener una sección en la que se muestran en detalle los procedimientos y conceptos del diseño de sistema de ventilación. Finalmente se exponen algunas consideraciones prácticas de elementos de diseño de máquinas asociados con el proyecto.

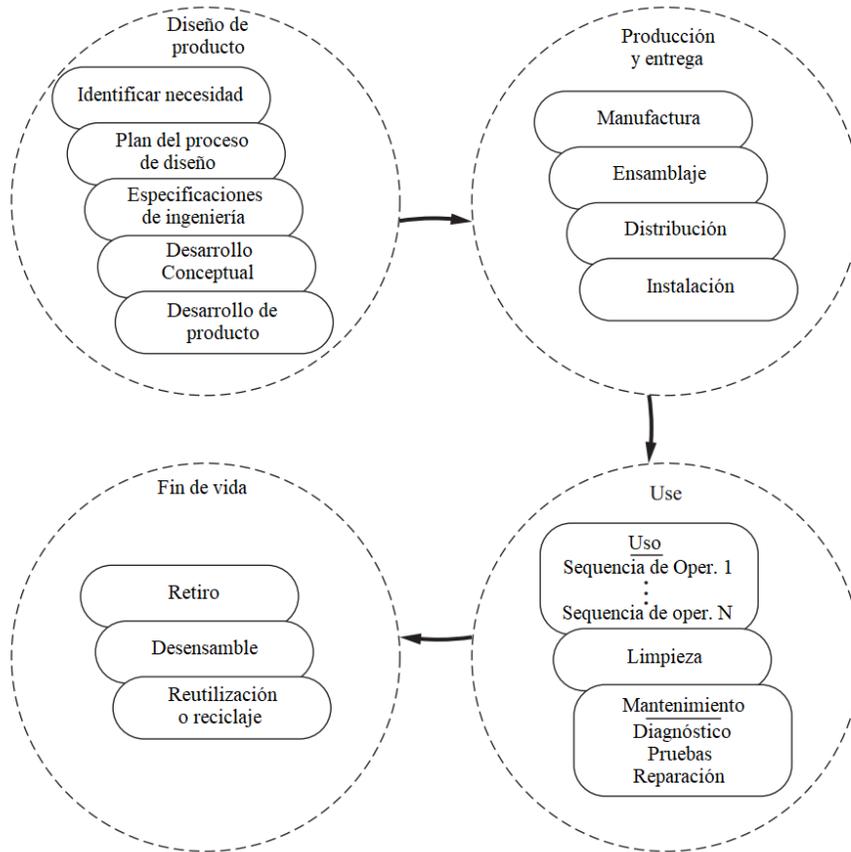
### **2.2.1 Diseño de sistemas mecánicos**

El diseño de máquinas y equipos es una actividad bien estructurada que conlleva a la asimilación de un producto mecánico por parte de una población objetivo. Para ello se parte de la necesidad latente en dicha población objetivo, prosigue el proceso interno de desarrollo y producción para finalmente ser expuesto a los usuarios finales de la manera adecuada. Lo anterior no discrimina entre productos pensados para uso comercial masivo o productos de un solo usuario sin ánimo de lucro.

El ciclo de vida de un producto es la historia de éste desde que se identifica la necesidad hasta que es desechado. Las cuatro áreas del ciclo son: el desarrollo del producto, la producción y entrega, el uso, y el fin de la vida útil. Al ejecutar cada fase es necesario estar consciente de los efectos que tienen las decisiones en las fases subsecuentes. (Ullman, 1991)

El presente trabajo contempla las tres primeras áreas de este ciclo de vida, y en esta sección se va a describir de manera ligera algunos aspectos del proceso de implementación de máquinas utilizados.

**Figura 2-1:** Fases del ciclo de vida de un producto.



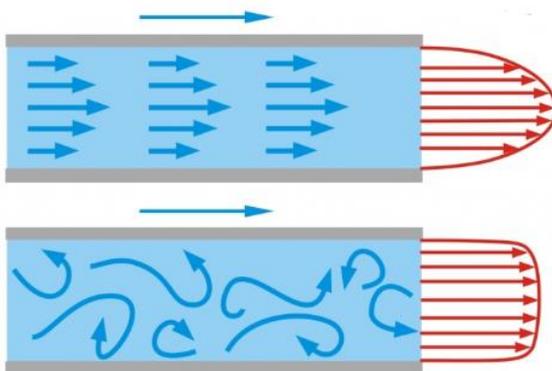
Nombre de la fuente: David G. Ullman. (Ullman, 1991)

### 2.2.2 Pérdida de energía

La pérdida de energía en el flujo depende en gran medida del régimen de dicho flujo, este régimen puede ser laminar o turbulento. El flujo laminar totalmente desarrollado cada partícula de fluido se desplaza a una velocidad axial constante a lo largo de una línea de corriente, y el perfil de velocidad permanece invariable en la dirección del flujo. No hay movimiento en la dirección radial y por lo tanto la componente de velocidad en la dirección normal al flujo y no hay aceleración porque el flujo es estacionario totalmente desarrollado. Por otro lado, el flujo turbulento se caracteriza por sus pasiones aleatorias y rápidas de regiones giratorias de fluido llamadas remolinos a lo largo de flujo dichas fluctuaciones proporcionan un mecanismo adicional para transferir la cantidad de

movimiento y energía. En el flujo turbulento los remolinos giratorios transportan más cantidad de movimiento y energía a otras regiones del flujo, como resultado el flujo turbulento está relacionado con valores mucho más altos de coeficientes de fricción. (Gunt hamburg, 2020)

**Figura 2-2:** Tipos de regímenes de fluido Laminar y turbulento.



Nombre de la fuente: David G. Ullman. (Ullman, 1991)

El comportamiento que toma un fluido dentro de los ductos, así como la fricción que aparece, están relacionadas con el número de Reynolds ( $Re$ ) que es una cantidad adimensional importante en la mecánica de fluidos utilizada para ayudar a predecir patrones. En los números bajos de Reynolds, los flujos tienden a estar dominados por el flujo laminar (en forma de lámina), mientras que en los números altos de Reynolds la turbulencia resulta de diferencias en la velocidad y dirección del fluido, que a veces pueden cruzarse o incluso moverse en sentido contrario a la dirección general del flujo. (Situación de turbulencia). Estas corrientes parásitas comienzan a agitar el flujo, gastando energía en el proceso, lo que para los líquidos aumenta las posibilidades de cavitación. El número de Reynolds tiene amplias aplicaciones, que van desde el flujo de líquido en una tubería hasta el paso de aire sobre el ala de un avión. Se usa para predecir la transición del flujo laminar al turbulento, y se usa para escalar situaciones de flujo similares, pero de diferente tamaño. (Gunt hamburg, 2020)

De manera general el Número de Reynolds se define como;

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2.1)$$

El material es el objeto que más influye en el factor de fricción que se desarrolla en el flujo, luego de haber definido previamente un caudal y una velocidad. La selección de un material conlleva a que las paredes tengan una rugosidad determinada que produce micro vórtices cerca de estas, y produce la pérdida de energía, por tanto, se prefiere el uso de materiales altamente lisos que eviten esta pérdida, de esta forma toda la energía que se pierde será debido al deslizamiento entre capas adyacentes del flujo. (Herramientas de ingeniero, 2019)

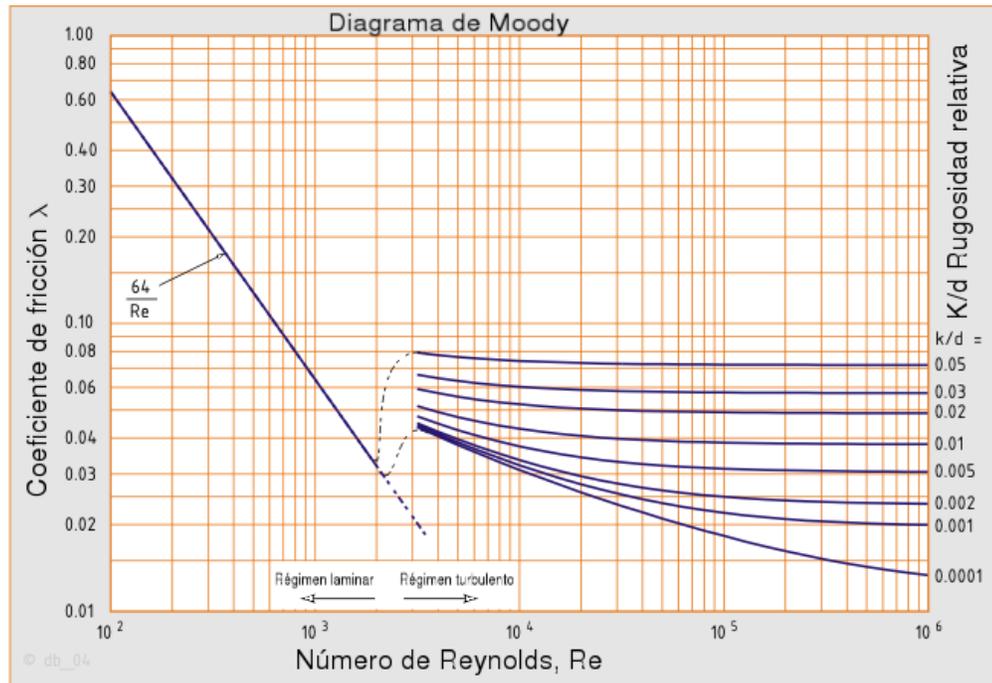
Los materiales más comunes para los sistemas de ventilación son;

**Figura 2-3:** Rugosidad superficial de materiales comunes.

<b>Material</b>	<b>Rugosidad k (mm)</b>
Acero (tubos soldados)	0,03-0,09
Acero (tubos estirados)	0,0024
Acero galvanizado	0,06-0,24
Cobre o latón	0,015
Plásticos (PVC, PE, PP)	0,0015
Poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV)	0,01
Fundición	0,12-0,6
Hormigón	0,3-3

Nombre de la fuente: Herramientas de ingenieros (Herramientas de ingeniero, 2019)

**Figura 2-4:** Diagrama de Moody.



Nombre de la fuente: Herramientas de ingenieros (Herramientas de ingeniero, 2019)

### 2.2.3 Sistemas de Ventilación

Existen muchos tipos de sistemas de ventilación mecánica, cada uno de los cuales se adapta a necesidades particulares (ventilación, extracción de contaminantes, calefacción, refrigeración, aire acondicionado completo, etc.) y a limitaciones tales como espacio disponible, costo, etc. Los sistemas de ventilación se pueden clasificar según su función: solo ventilación o aire acondicionado, incluida la calefacción, enfriar, secar o humedecer el aire. Y también se puede clasificar por la forma en que se cumple la tarea: ventilación por suministro, extracto o ambos, y control de temperatura mediante doble conducto, bobinas locales, volumen de aire variable (VAV), etc. (Awbi, 2007)

Más técnicamente los, tipos de morfología que se le pueden dar a un sistema de ventilación son:

- Ventilación natural.
- Ventilación de solo extracción. (Finalidad de este proyecto)
- Ventilación de solo inyección.

- De inyección-extracción.
- Recirculación.

Cuando se trabaja un sistema de ventilación, los primeros factores para tener en cuenta son las variables cinemáticas involucradas en el proceso. Normalmente estas son cantidades que se establecen a partir de requerimientos del usuario y en consideración de la normativa vigente en sistemas de ventilación.

Cuando un flujo de una sustancia transita por ductos, éste lo hace a una velocidad determinada, dependiendo del caudal establecido y la sección transversal del ducto. La corriente de aire que fluye por un conducto pierde parte de su energía por el rozamiento con las paredes, esta pérdida se corresponde con una disminución de la presión estática entre el inicio y al final del recorrido, y se denomina pérdida de carga primaria. Cuando la corriente de aire fluye a través de un accesorio (codo o estrechamiento) se denomina pérdida de carga secundaria.

Los elementos por considerar en la pérdida de carga son todas las secciones que integran la línea de aire, de esta manera se deben considerar los elementos como secciones rectas de tubería, codos, campanas, cambios de sección, etc. El primer elemento, secciones rectas, son de especial importancia y se denominan pérdidas primarias; en estas secciones el flujo pierde energía debido a la fricción con las paredes y otros efectos de disipación térmica. (Baturin, 1976)

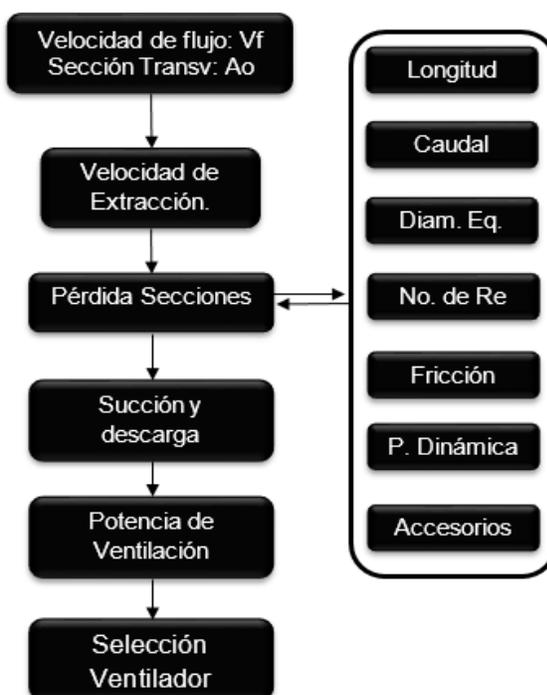
#### **2.2.4 Cálculo de sistemas de ventilación**

Existen varios procedimientos en ingeniería para el cálculo de los ductos de un sistema de ventilación y extracción, como son: el método de pérdida de carga unitaria constante (MPCC). El MPCC es muy sencillo pues se basa en suposiciones de comportamiento y el amplio uso de nomogramas. Aplica para sistemas con presiones inferiores a 70 Pa, con velocidades debajo de 17 m/s y pérdidas de carga menores a 0.1 mmca/m. En este método, las pérdidas de cargas secundarias se traducen a longitudes equivalentes de pérdidas de carga primaria. Esas longitudes se suman a la longitud real del conducto la cual se conoce como longitud equivalente el cociente entre la pérdida de carga total y la longitud equivalente del conducto determina la pérdida de carga unitaria o lo que es lo

mismo la pérdida de carga por unidad de longitud equivalente del conducto la pérdida de carga unitaria suele medirse en pascal es por metro o en milímetros de columna de agua por metro de forma muy resumida este método consiste en calcular la sección de los diferentes tramos de forma que la pérdida de carga unitaria sea constante a lo largo de todo el conducto. (Goberna, 1988)

El procedimiento que se emplea en este trabajo está principalmente basado en la metodología sugerida por Goberna en donde plantea un algoritmo para el cálculo de ductos de la siguiente manera:

**Figura 2-5:** Algoritmo de cálculo para un sistema de ventilación.



Nombre de la fuente: Autores

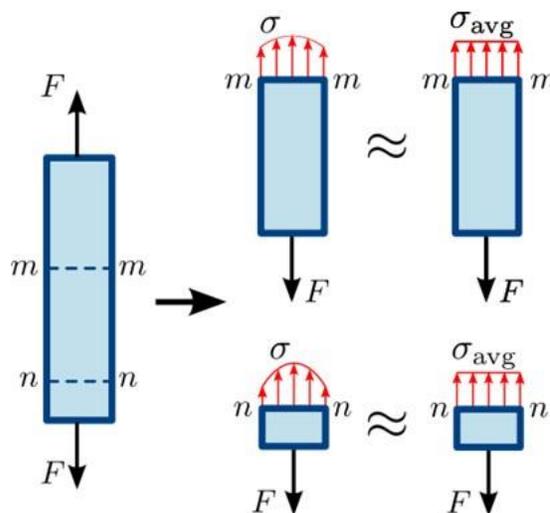
Se decidió usar este método por sobre los métodos por nomograma porque se consigue mantener un dominio de las ecuaciones y los valores numéricos a lo largo del desarrollo, exceptuando el uso del diagrama de Moody. Lo anterior permite llevar fácilmente el desarrollo del cálculo en una hoja de Excel.

## 2.2.5 Consideraciones Mecánicas

Al ser un sistema mecánico, los sistemas de ventilación no están exentos de ser analizados desde el punto de vista de la resistencia mecánica. Si bien la mayoría de los elementos que integran el sistema tienen características bajo Norma como los ventiladores o espesores de pared, aún queda a criterio del ingeniero diseñador decidir el tipo de soportes que va a sujetar la estructura; el tipo de anclaje, si es con columnas, si es con guayas, si se dejan elementos en voladizo entre otras consideraciones.

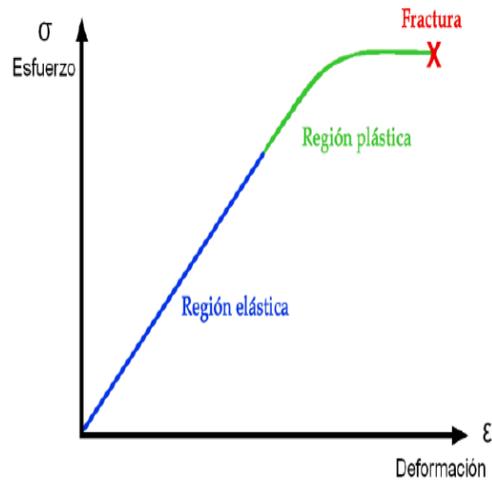
Para las decisiones de resistencia mecánica involucradas en los soportes es clave tener plena conciencia de la mecánica de materiales en especial los conceptos de esfuerzo resistencia y deformación. El esfuerzo es una cantidad física que expresa las fuerzas internas que las partículas vecinas de un material continuo ejercen entre sí, mientras que la deformación es la medida de la distorsión del material. Por ejemplo, cuando una barra vertical sólida soporta un peso superior, cada partícula en una barra es halada por las partículas inmediatamente debajo de ella, provocando así que la barra se alargue ligeramente. Por último, la resistencia es la capacidad de un material en soportar el esfuerzo al que es solicitado. (Ferdinand P. Beer, 1982)

**Figura 2-6:** Esfuerzo y deformación en materiales.



Nombre de la fuente: Lifeder (Zapata, s.f.)

**Figura 2-7:** Relación esfuerzo deformación.



Nombre de la fuente: Researchgate (researchgate, s.f.)

La figura 2-6 muestra como una fuerza aplicada en una barra la tensión ha generado una distribución de fuerza en su sección transversal. El esfuerzo que se manifiesta tiende a separar las partículas del material continuo dado que si se excede cierto límite se produce la falla la Figura 2-7 se muestra la relación que hay entre el esfuerzo que se aplica y la deformación que va sucediendo de material se puede apreciar que hay un límite en el cual las partículas del material no pueden negarse más y Por tanto se produce la separación sujeto o dúctil.

Desde el punto de vista de la ingeniería y del diseño, la variable de criterio para decidir si un espesor o material ha sido escogido adecuadamente es el factor de seguridad. Este relaciona la resistencia del material con el esfuerzo al que está siendo sometido, de esta manera un factor de seguridad superior a 1 indica que el material resiste y por debajo de la unidad indica que el material falla. En la instalación de ductos el elemento más utilizado para sostener son barras roscadas como se muestran en la Figura 2-8.

**Figura 2-8:** Barras roscadas usadas como soporte.



Nombre de la fuente: Autores

## 2.2.6 Densidad del Aire

Efecto de la temperatura sobre las propiedades del aire.

Temperatura $T$ (°C)	Velocidad del sonido $c$ (m/s)	Densidad del aire $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Impedancia acústica característica específica $z_0$ (Pa · s/m)
35	351,88	1,1455	403,2
30	349,02	1,1644	406,5
25	346,13	1,1839	409,4
20	343,21	1,2041	413,3
15	340,27	1,2250	416,9
10	337,31	1,2466	420,5
5	334,32	1,2690	424,3
0	331,30	1,2922	428,0
-5	328,25	1,3163	432,1
-10	325,18	1,3413	436,1
-15	322,07	1,3673	440,3
-20	318,94	1,3943	444,6
-25	315,77	1,4224	449,1

---

## 2.2.7 Conceptos básicos para el cálculo de conductos

Las redes de conductos de aire se pueden clasificar, fundamentalmente, en función de la presión y de la velocidad de los conductos. En función de la velocidad del aire existen los siguientes tipos:

- Conductos de baja velocidad (<12 m/s, entre 6 y 12 m/s).
- Conductos de alta velocidad (>12 m/s).

Para diseñar un conducto hay que tener en cuenta los tres fundamentos básicos que influyen en el diseño y en el objetivo buscado. La red de conductos debe de diseñarse de modo que se consiga llevar un caudal de aire determinado a todos los puntos de impulsión o extracción donde se requiera. Los tres conceptos fundamentales que influyen en este aspecto son:

- Propiedades del aire. Dependen de la temperatura y de la presión, y las propiedades básicas que se utilizan en el diseño de un conducto son la viscosidad y la densidad.
- Diámetro equivalente del conducto. Los conductos utilizados pueden tener diferentes secciones, siendo lo más habitual que sean rectangulares o circulares. La mayoría de métodos de cálculo se basan en conductos circulares. El diámetro equivalente sirve para calcular el conducto, con sección circular, equivalente al estudiado.
- Pérdidas de carga. En el conducto el fluido experimenta una pérdida de presión por rozamiento, también llamada pérdida de carga. Estas pérdidas de carga se dividen en pérdidas en el conducto y pérdidas en singularidades, como por ejemplo codos, cambios de sección o accesorios.

## 2.3 Marco legal

A nivel nacional el MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, es la entidad encargada de determinar las normas ambientales mínimas y las regulaciones de carácter general sobre medio ambiente a las que deberán sujetarse los centros urbanos y asentamientos humanos y en general todo servicio o actividad que pueda generar directa o indirectamente daños ambientales.

Con base a la Resolución 2254 del 01 de NOV 2017- “Por lo cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones” En el Capítulo 4 Art 18. Índice de Calidad del Aire - ICA.” Hace referencia a un valor del ICA el cual nos da un valor de calidad del aire en función de un código de colores al que están asociadas unos efectos generales que deben ser tenidos en cuenta para reducir la exposición a altas concentraciones por parte de la población. Este índice también será utilizado en el pronóstico de la calidad del aire.

## **3. Selección del método de investigación**

### **3.1 Tipo de investigación**

Lo que se busca con el presente estudio es conocer a profundidad todas las áreas involucradas para la ejecución del diseño de un sistema de extracción como el que se plantea. Para resolver todas las dudas y encontrar viabilidad del estudio, fue necesario indagar sobre varios tipos de investigación.

Durante el desarrollo del proyecto se fueron analizando diferentes tipos; descriptivo, exploratorio y explicativo. Con el análisis de cada una de ellas se llegó a lo siguiente: Las teorías fueron fundamentales para inducir y generar conocimiento del tema, sin aún comprender como realmente era posible generar un sistema que cumpliera con las características de extraer gases en recintos cerrados utilizando el método de ventilación por depresión. La investigación se orientó a encontrar los conceptos técnicos y especializados para definir realmente como se debería nombrar el proyecto y cuál iba a ser uno de los objetivos específicos.

En la exploración se obtuvo una aproximación al objetivo y se dieron acercamientos al problema específico, permitiendo comprender cuál era el propósito de esta investigación. Las teorías pasan a un segundo plano y el panorama se torna más familiar dado que ya se amplía el conocimiento y se plantea como realmente son estos tipos de sistemas y cuáles son las pautas que se deben seguir para cumplir con todas las metas establecidas cuando se inició con el estudio. No obstante, no fue suficiente quedarse solo con esto, se debieron tomar medidas más rigurosas para así detallar como realmente funciona el sistema.

Fue fundamental el análisis de los procesos que se ven involucrados en la ejecución del estudio. El apoyo de expertos, como el dueño de la empresa “Empresa central de embobinados del caribe s. a. s.” a quienes se les propone poner en práctica esta investigación, fue vital para el éxito y planteamiento de la situación dado que contaban con todos los recursos y herramientas. Con lo anterior, se decidió que el tipo que más le aplicaba al proyecto es el explicativo. Cuenta con ciertas ventajas que brindan la causa y

efectos de obtener un sistema de extracción de gases en recintos cerrados utilizando el método de ventilación por depresión. Este tipo permite obtener un modelo adaptándole las características que se le desea dar.

### **3.2 Método de investigación**

Se escogió el Método deductivo ya que a través de conclusiones lógicas obtenidas de apreciaciones e hipótesis partimos de lo general (leyes o principios) a lo particular que fue el hecho concreto que nos llevó a la conclusión de desarrollar este proyecto. Según el método deductivo, la conclusión se halla dentro de las propias premisas referidas llevándonos a una conclusión que genera una o varias acciones. Por lo general cuando se aplica el método deductivo, si las premisas son verdaderas, la conclusión será efectivamente válida. Se utilizó la forma de Método deductivo indirecto ya que partimos de una premisa general a una particular y se hicieron comparaciones de ambas antes de tomar una decisión.

### **3.3 Técnica de investigación**

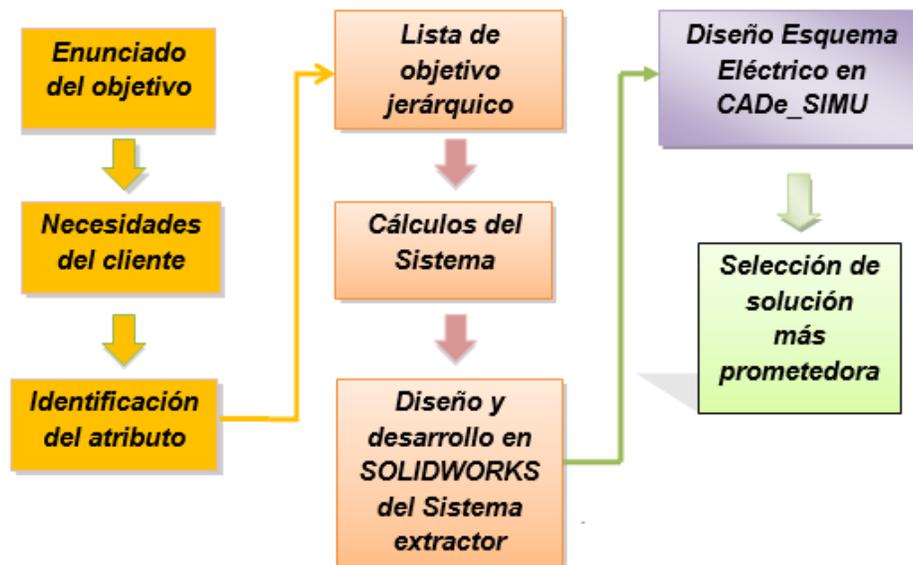
Se utilizó la Técnica de la Observación ya que para obtener la información necesaria para desarrollar el proyecto se tuvieron en cuenta análisis directos realizados en el Sótano de la Empresa objeto de investigación sobre hechos, situaciones que afectan actualmente la salud de los empleados que laboran en esa zona. Se estableció una relación entre sujeto-objeto. Esta técnica nos dio una orientación acerca de la situación observada y de cómo surgió la necesidad de implementar el diseño de este sistema. Se realizaron observaciones individuales y en grupo, en esta observación en equipo participamos los encargados del proyecto y un asesor experto, primero cada uno observó una parte del todo y luego todos para cotejar datos (para más imparcialidad a la hora de establecer el objetivo) diferentes puntos de observar, pero llegando a conclusiones objetivas y concertadas.

## 4. Diseño y cálculo del sistema de ventilación

### 4.1 Metodología aplicada

En la Figura 4-1 tenemos el paso a paso para desarrollar la metodología del diseño y poder llegar a una buena selección del sistema, se tendrá en cuenta las necesidades del cliente y a partir de esto se procederá a realizar la evaluación y cálculos necesarios para el desarrollo del sistema. Se diseñará en SolidWorks el sistema extractor y con ayuda del Programa CADe\_SIMU se desarrollará el circuito eléctrico para el Extractor. Luego de finalizada toda esta etapa se procederá a la selección de la solución más prometedora, dejando los análisis de resultados y recomendaciones.

Figura 4-1: Diagrama de metodología aplicada.



Nombre de la fuente: Autores

## 4.2 Necesidad del cliente

Con base a las necesidades del cliente (Figura 4-2) y también los objetivos que se esperan del proyecto, se comparan cada uno de los requerimientos con respecto a las necesidades de ingeniería que se espera obtener al final. En el siguiente esquema se comparan necesidades y objetos con respecto a las necesidades de ingeniería, explicando en detalle lo que se quiere y lo que se obtendrá luego de su análisis y desarrollo.

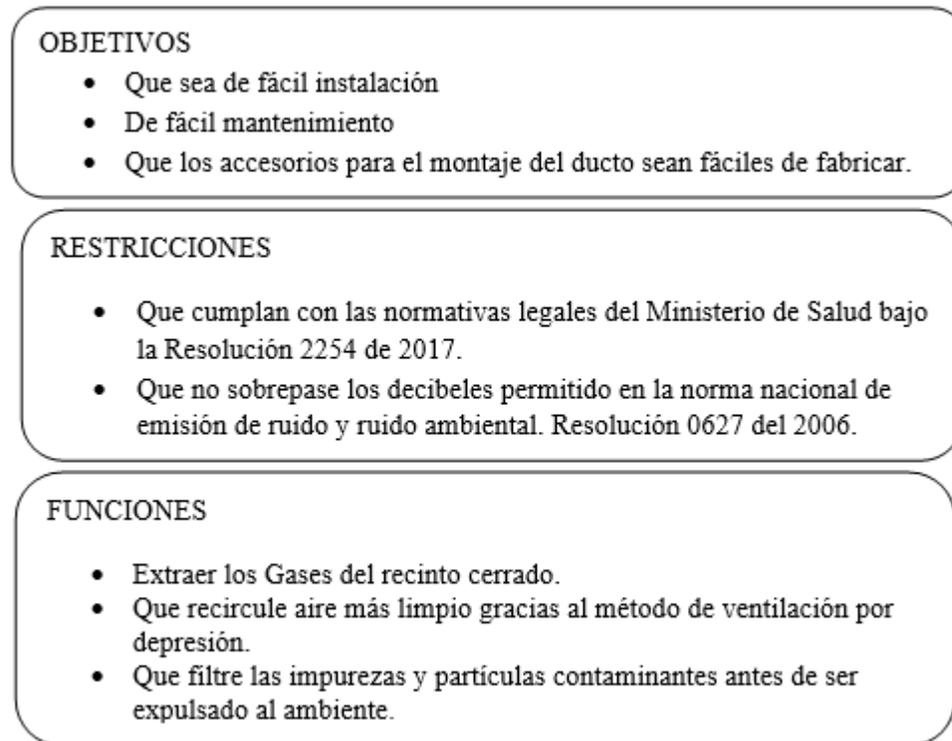
**Figura 4-2:** Necesidad del cliente.



Nombre de la fuente: Autores

## 4.3 Identificación del atributo

A continuación (Figura 4-3), los objetivos y aspectos claves para la instalación y restricciones que deberán cumplirse con respecto a las normativas legales vigentes estipuladas en el Ministerio de Salud y en la Norma Nacional de emisiones de ruido y ruido ambiental permitido en el territorio colombiano. Teniendo claro lo anterior podemos deducir lo siguiente:

**Figura 4-3:** Identificación y atributos.

Nombre de la fuente: Autores

## 4.4 Objetivo jerárquico

En la presente (Figura 4-4) se han incluidos objetivos, enfocados en el éxito del proyecto. En cada uno de ellos se exponen aspectos claves los cuales fueron de ayuda y soporte para lograr entender a profundidad la finalidad del estudio. Se encuentran clasificados de la siguiente manera:

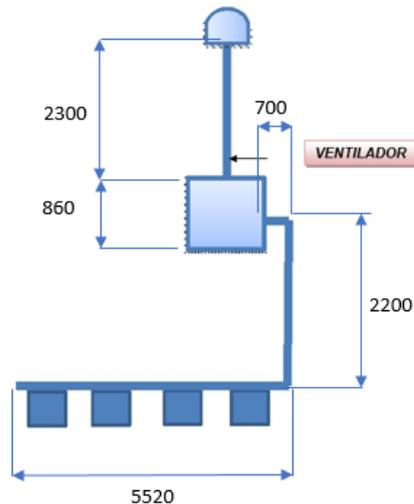
**Figura 4-4:** Lista de objetivos jerárquicos.

1. Costos	2. Diseño	3. Logística	4. Medio Ambiente
1.1 Que tenga bajo costo de inversión. 1.2 Que su mantenimiento sea económico. 1.3 El costo del ducto se económico.	2.1 Que pueda soportar el ducto. 2.2 Que el diseño de la rejilla no produzca ruido. 2.3 Que sus componentes sean fáciles de instalar.	3.1 Que el sistema sea fácil de transportar. 3.2 Que los repuestos sean de fácil adquisición.	4.1 Que no sobrepase el límite de decibeles que puede soportar una persona. 4.2 Colocar un filtro para la salida de los gases. 4.3 Que tenga bajo consumo energético.

Nombre de la fuente: Autores

## 4.5 Función de un sistema de ventilación localizado por extracción

En la Figura 4-5, se puede observar un esquema de donde se encuentra localizado el sistema de ventilación de extracción de gases, comprendido de la siguiente forma: 4 rejillas de entrada por las cuales se le da ingreso a los gases que pasan por el blower y finaliza su proceso expulsándolo y direccionándolo hacia el entorno exterior. Se le adicionó un “gorro chino”, el cual le da la protección en la salida final del ducto.

**Figura 4-5:** Función sistema de ventilación localizada por extracción

Nombre de la fuente: Autores

Es importante mencionar que las dimensiones mostradas en la Figura 4-5 son dimensiones que se pueden ver con mayor claridad en el Anexo A, en este se muestra el acotamiento de cada uno de los tramos que conforman el ducto.

Para hallar la velocidad de paso del aire por los conductores es necesario calcular la velocidad de extracción, lo que se busca es que cuando se desarrolle el proyecto no se tenga problema de ruidos y vibraciones que orienten al fracaso. Se recopilaron una serie de datos, los cuales son primordiales dado que soportan todos los cálculos expuesto a continuación.

Es importante tener en cuenta que los cálculos están desarrollados bajo el criterio que por el ducto pasa aire, esto se hace con el objetivo de optimizar el proceso de cálculo y simulación, de lo contrario se debe tener en cuenta cada uno de los gases que se encuentran almacenados en el lugar, siendo engorroso y complejo el desarrollo de los cálculos.

Se tienen los siguientes datos del sistema:

Volumen del área de estudio: Base\* Altura\* Ancho = 4 m de largo x 2.10 m de alto\* 1.5 m de ancho =  $12,6 \text{ m}^3$

Numero de renovaciones por hora= 10 horas = 36000 seg.

La velocidad del fluido que pasa por el ducto es  $V_{\text{ducto}} = 10 \text{ m/s}$

Dimensiones del ducto = 200 mm de Diámetro

El área del ducto  $A = 0.0314 \text{ m}^2$

TIPO DE LOCAL	RENOVACIONES / HORA (N)
CATEDRALES	0.5
TALLERES DE MECANIZADO	5 - 10
FÁBRICAS	5 - 10
LAVANDERÍAS	20 - 30
FUNDICIONES	20 - 30

Tabla sacada de Siber Ventilación inteligente

Además, se considerará una campana exterior, la cual debido a las rejillas la harán perder un 25% del caudal considerando ciertas relaciones de ancho y longitud, por lo tanto, la ecuación que se debe emplear según el capítulo 2, la figura 2.4 de la investigación sobre el diseño de campanas, es la siguiente.

$$Q \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = \text{Volumen} \times \text{Numero de renovaciones horarias} = 12,6 \text{ m}^3 * 10 \text{ h} = 126 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

(4.1)

Solucionando para la velocidad de extracción;

$$V = \frac{Q_{\text{rejilla}}}{0,75(10.X^2 + A_{\text{rejilla}})}$$

(4.2)

Donde cada rejilla debe aportar  $\frac{1}{4}$  del caudal total por esto;

$$Q = 126 \frac{m^3}{h} = 0,035 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{rejilla} = \left(0,035 \frac{m^3}{s}\right) \left(\frac{1}{4}\right) = 0,009 \frac{m^3}{s}$$

Según lo investigado la distancia mínima al foco es de 1 metro, se obtiene que;

$$V_{extraccion} = \frac{0,009 \frac{m^3}{s}}{0,75 \cdot (10(1m))^2 + \left(\frac{0,0314 m^2}{4}\right)} = 1,20 * 10^{-3} \frac{m}{s}$$

#### 4.5.1 Perdida tramo 1 → A

Esquema de la figura de SolidWorks en donde se observan las pérdidas en los tramos (ver anexos)

Longitud estimada que depende del largo de la rejilla esta es de;

$$L_{1 \rightarrow A} = 25cm$$

Como son rejillas idénticas se tiene que;

$$L_{1 \rightarrow A} = L_{2 \rightarrow B} = L_{3 \rightarrow C} = L_{3 \rightarrow D} = 25cm$$

El caudal de cada tramo fue el calculado anteriormente como;

$$Q_{1 \rightarrow A} = Q_{2 \rightarrow B} = Q_{3 \rightarrow C} = Q_{4 \rightarrow D} = 0,035 \frac{m^3}{s}$$

Es necesario determinar el diámetro circular equivalente de la sección rectangular por esto se emplea la siguiente ecuación;

$$D_{equiv} = 1,265 \cdot \sqrt{\frac{a^3 + b^3}{a + b}}$$

(4.3)

Remplazamos los valores

$$D_{equiv} = 1,265 * \sqrt{\frac{(0,20 \text{ m})^3 + (0,40 \text{ m})^3}{0,20 \text{ m} + 0,40 \text{ m}}} = 0,438 \text{ m}$$

#### 4.5.2 Determinación del número de reynold

Para el cálculo fue necesario indagar varias fuentes de información, el material de apoyo que nos indicó valores exactos para obtener resultados exitosos fue el libro de Cengel de mecánica de fluidos. Los valores de las propiedades del aire en condiciones normales de operación (Figura 4-6), dieron las pautas para el desarrollo de la ecuación que brindara el resultado de numero de Reynold.

**Figura 4-6:** Propiedades del aire en condiciones normales

Aire a 20°C (68°F) y 1 atm

Constante específica del gas*	$R_{\text{aire}} = 0.2870 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ $= 287.0 \text{ m}^2/\text{s}^2 \cdot \text{K}$	$R_{\text{aire}} = 0.06855 \text{ Btu/lbm} \cdot \text{R}$ $= 53.34 \text{ ft} \cdot \text{lb}/\text{lbm} \cdot \text{R}$ $= 1716 \text{ ft}^2/\text{s}^2 \cdot \text{R}$
Razón de calores específicos	$k = c_p/c_v = 1.40$	$k = c_p/c_v = 1.40$
Calores específicos	$c_p = 1.007 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ $= 1007 \text{ m}^2/\text{s}^2 \cdot \text{K}$ $c_v = 0.7200 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ $= 720.0 \text{ m}^2/\text{s}^2 \cdot \text{K}$	$c_p = 0.2404 \text{ Btu/lbm} \cdot \text{R}$ $= 187.1 \text{ ft} \cdot \text{lb}/\text{lbm} \cdot \text{R}$ $= 6\,019 \text{ ft}^2/\text{s}^2 \cdot \text{R}$ $c_v = 0.1719 \text{ Btu/lbm} \cdot \text{R}$ $= 133.8 \text{ ft} \cdot \text{lb}/\text{lbm} \cdot \text{R}$ $= 4\,304 \text{ ft}^2/\text{s}^2 \cdot \text{R}$
Velocidad del sonido	$c = 343.2 \text{ m/s} = 1236 \text{ km/h}$	$c = 1\,126 \text{ ft/s} = 767.7 \text{ mi/h}$
Densidad	$\rho = 1.204 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 0.07518 \text{ lbm/ft}^3$
Viscosidad	$\mu = 1.825 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$	$\mu = 1.227 \times 10^{-5} \text{ lbm/ft} \cdot \text{s}$
Viscosidad cinemática	$\nu = 1.516 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$\nu = 1.632 \times 10^{-4} \text{ ft}^2/\text{s}$

Nombre de la fuente: Cengel (Cengel)

Por lo que el número de Reynolds se calcula para cada tramo como;

$$D_{\text{equiv}} = 1,265 \cdot \sqrt{\frac{a^3 + b^3}{a + b}}$$

(4.4)

Remplazamos los valores;

$$R_e = \frac{\text{DIAMETRO DEL DUCTO} * \text{VELOCIDAD DEL FLUJO} * \text{DENSIDAD DEL FLUIDO}}{\text{VISCOSIDAD}}$$

$$R_e = \frac{0,20 \text{ m} * 1,20 * 10^{-3} \text{ m}/\text{seg} * 1,2041 \text{ kg}/\text{m}^3}{1,82 * 10^{-5} \text{ pa}}$$

$$R_e = 15,878$$

### 4.5.3 Coeficiente de fricción

Este flujo se encuentra en la región de flujo laminar por lo tanto su factor de fricción se determina con la siguiente ecuación;

$$f = \frac{64}{R_e}$$

(4.5)

Reemplazando valores;

$$f = \frac{64}{15,878} = 4,0306$$

Para las pérdidas en cada tramo de la rejilla se tiene la siguiente ecuación (ver Ecuación (4.7)).

La **presión dinámica** para el aire en metros de columna de agua es;

$$h_D = \left( \frac{v}{4,044} \right)^2$$

(4.6)

Reemplazando valores;

$$h_D = \left( \frac{1,20 * 10^{-3} \text{ m/seg}}{4,044} \right)^2 = 8,8 * 10^{-8} \text{ mmcda}$$

Se tiene la;

$$h_{1A} = h_{2B} = h_{3C} = h_{4D} = f \frac{L}{D} \cdot h_D$$

(4.7)

Reemplazando valores;

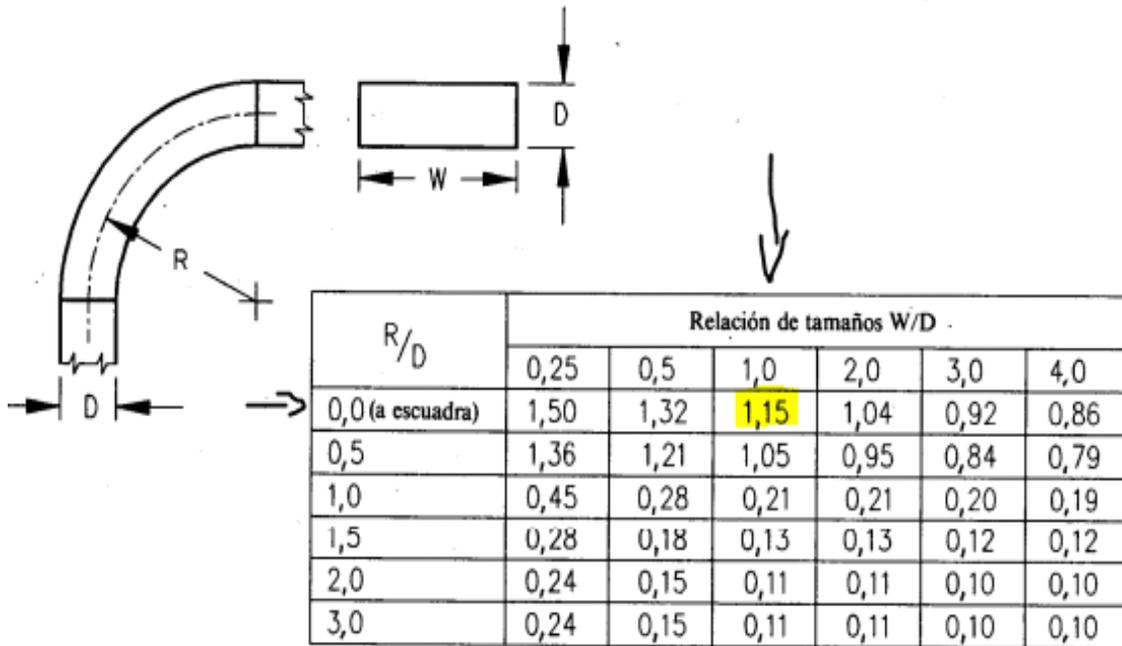
$$h_{1A} = h_{2B} = h_{3C} = h_{4D} = 4,0306 \cdot \frac{0,25 \text{ m}}{0,438 \text{ m}} \cdot 8,8 * 10^{-8} \text{ mmcda} = 2,02 * 10^{-7} \text{ mmcda}$$

Esta pérdida por fricción en estos tramos es insignificante por lo que no se considerara en los cálculos.

### 4.5.4 Pérdidas en codos de 90

Grados tipo escuadra, el conducto tiene 3 de estos;

Figura 4-7: Codo de sección cuadrada y rectangular.



Nombre de la fuente: Cengel (Cengel)

### 4.5.5 Pérdidas en tramos AB

Se conoce el  $Q_{AB}$  y el área del tramo

$$Q_{AB} = 0,009 \frac{m^3}{s}$$

$$A = 0,00785 m^2$$

La **velocidad real** en este tramo es;

$$V_r = \frac{Q_{AB}}{A}$$

(4.8)

Reemplazar valores;

$$V_r = \frac{0,009 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,00785 \text{ m}^2} = 1,146 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La **presión dinámica** para este tramo recto es;

$$h_{DAB} = \left( \frac{V}{4,044} \right)^2$$

(4.9)

Reemplazar valores;

$$h_{DAB} = \left( \frac{1,146}{4,044} \right)^2 = 0,080 \text{ mmcda}$$

El **número de Reynolds** es;

$$R_e = \frac{\rho DV}{\mu} \tag{4.10}$$

El **diámetro circular equivalente** es;

$$D_{equiv,ductos} = 1,265 \cdot \sqrt{\frac{a^3 + b^3}{a + b}}$$

(4.11)

Reemplazar valores;

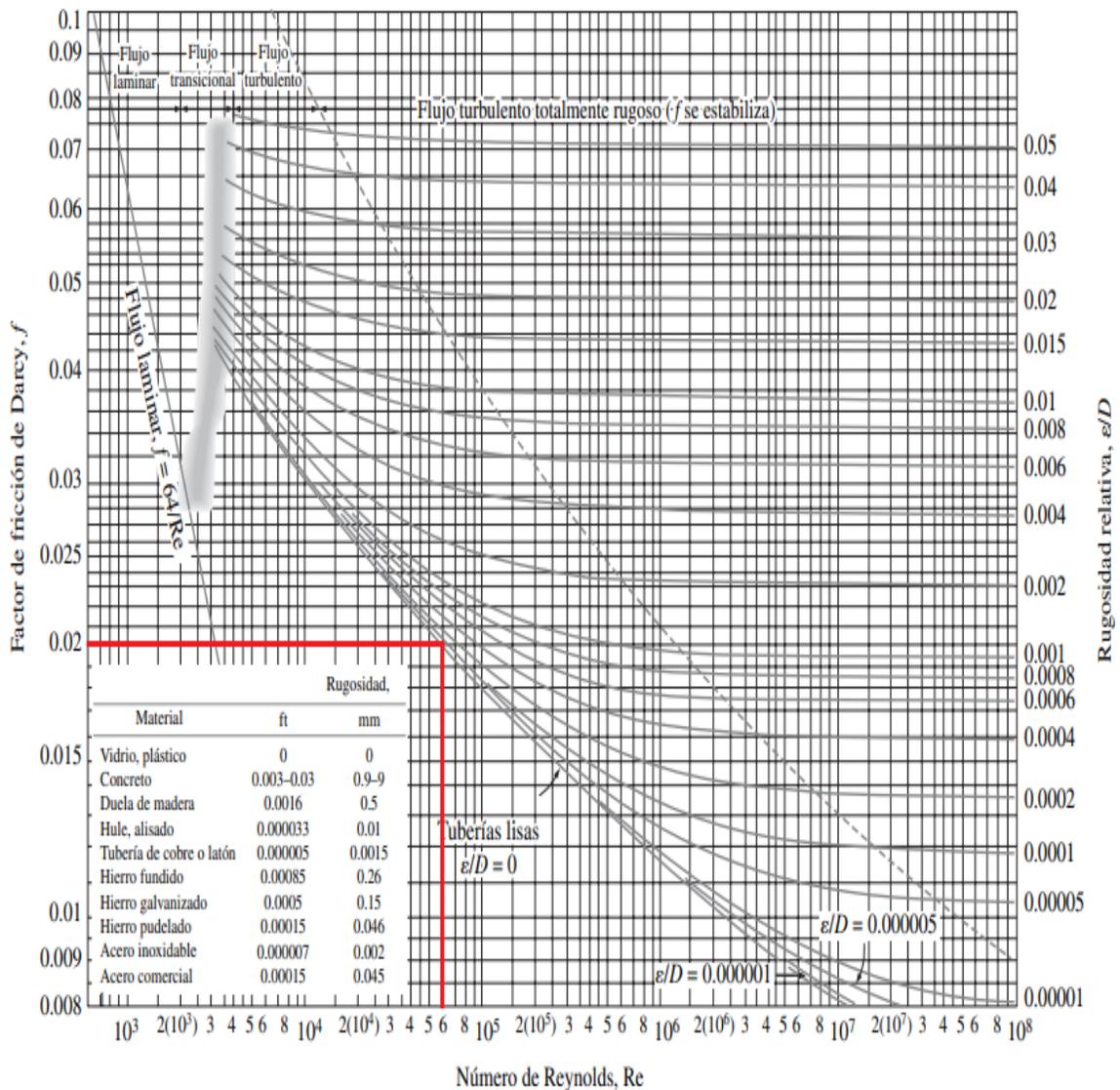
$$D_{equiv,ductos} = 1,265 \cdot \sqrt{\frac{(0,3 \text{ m})^3 + (0,3 \text{ m})^3}{0,3 \text{ m} + 0,3 \text{ m}}} = 0,3795 \text{ m}$$

Partiendo de los valores obtenidos se reemplaza en la Ecuación (4.11)

$$R_e = \frac{\left(1,204 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (0,2 \text{ m}) \left(1,146 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{1,825 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 1,5121 \times 10^4$$

Según el **diagrama de Moody**, para tubería de **fibra de vidrio**, la cual no posee rugosidad, se tiene que el coeficiente de fricción es;

**Figura 4-8:** Diagrama de Moody.



Nombre de la fuente: Cengel (Cengel)

Partiendo de la Figura 4-8 se tiene;

$$f = 0,02$$

Por lo tanto, la **pérdida por fricción** en este tramo es;

$$h_{AB} = f_{AB} \frac{L_{AB}}{D} * h_{DAB}$$

(4.12)

La longitud entre entradas en las campanas se supondrá a 1,6 metros de espaciamiento, por lo tanto;

$$h_{AB} = 4,0306 \cdot \frac{1,6 \text{ m}}{0,2 \text{ m}} \cdot 0,080 \text{ mmcda} = 2,579 \text{ mmcda}$$

Se pueden despreciar las pérdidas de los empalmes ubicadas en B, C y D, debido a que su presión dinámica es muy pequeña.

Se coloca el valor de las perdidas por accesorio en este tramo, el único es el codo de 90°, por esto se tiene;

$$h_{2AB} = h_{DAB} \cdot 1,15 \tag{4.13}$$

Reemplazar valores;

$$h_{2AB} = 2,579 \text{ mmcda} \cdot 1,15 = 2,966 \text{ mmcda}$$

Se ignorarán las perdidas por entrada a la ranura debido a su presión dinámica insignificante en la entrada.

Por lo tanto, la **pérdida total del ramal** es;

$$\Sigma h_{AB} = h_{AB} + h_{2AB} \tag{4.14}$$

Reemplazar valores;

$$\sum h_{AB} = 2,579 \text{ mmcda} + 2,966 \text{ mmcda} = 5,545 \text{ mmcda}$$

#### 4.5.6 Análisis tramo BC

La **velocidad real del tramo** es;

$$V_{BC} = \frac{Q_{AB} + Q_{zB}}{A_{BC}} \quad (4.15)$$

Reemplazar valores;

$$V_{BC} = \frac{0,009 \frac{m^3}{s} + 0,009 \frac{m^3}{s}}{0,00785 m^2} = 2,292 \frac{m}{s}$$

La **presión dinámica** para este tramo recto es; (ver Ecuación (4.10))

$$h_{DBC} = \left( \frac{2,292}{4,044} \right)^2 = 0,321 \text{ mmcda}$$

se reemplaza en la Ecuación (4.11);

$$R_e = \frac{\left( 1,204 \frac{kg}{m^3} \right) (0,3795 m) \left( 2,292 \frac{m}{s} \right)}{1,825 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}} = 5,7384 \times 10^4$$

Según el **diagrama de Moody** (ver Figura 4-8), para tubería de **fibra de vidrio**, la cual no posee rugosidad, se tiene que el coeficiente de fricción es;

$$f = 0,016$$

Para la pérdida de presión se reemplaza en la Ecuación (4.13);

$$h_{BC} = 0,016 \cdot \frac{1,6m}{0,3795m} \cdot 0,321 \text{ mmcda} = 0,0216 \text{ mmcda}$$

Este tramo solo tiene pérdida por fricción por lo que la **pérdida total acumulada** desde el tramo anterior es;

$$\sum h_{AC} = \sum h_{AB} + h_{BC} \quad (4.16)$$

Reemplazar valores;

$$\sum h_{AC} = 5,545 \text{ mmcda} + 0,0216 \text{ mmcda} = 5,5666 \text{ mmcda}$$

#### 4.5.7 Análisis tramo CD

La **velocidad real del tramo** es;

$$V_{CD} = \frac{Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{sC}}{A_{BC}} \quad (4.17)$$

Reemplazar valores;

$$V_{CD} = \frac{0,009 \frac{m^3}{s} + 0,009 \frac{m^3}{s} + 0,009 \frac{m^3}{s}}{0,00785 m^2} = 3,439 \frac{m}{s}$$

La **presión dinámica** para este tramo recto es; (ver Ecuación (4.10))

$$h_{DBC} = \left( \frac{3,439}{4,044} \right)^2 = 0,723 \text{ mmcda}$$

Se reemplaza en la Ecuación (4.11);

$$R_\epsilon = \frac{\left( 1,204 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) (0,3795 \text{ m}) \left( 3,439 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)}{1,825 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 8,61 \times 10^4$$

Según el **diagrama de Moody** (ver Figura 4-8), para tubería de **fibra de vidrio**, la cual no posee rugosidad, se tiene que el coeficiente de fricción es;

$$f = 0,015$$

Para la pérdida de presión se reemplaza en la Ecuación (4.13);

$$h_{CD} = 0,015 \cdot \frac{1,6 \text{ m}}{0,3795 \text{ m}} \cdot 0,723 \text{ mmcda} = 0,487 \text{ mmcda}$$

Este tramo solo tiene pérdida por fricción por lo que la **pérdida total acumulada** desde el tramo anterior es;

$$\sum h_{AD} = \sum h_{AC} + h_{CD} \tag{4.18}$$

Reemplazar valores;

$$\sum h_{AD} = 5,5666 \text{ mmcda} + 0,487 \text{ mmcda} = 6,0543 \text{ mmcda}$$

### 4.5.8 Tramo desde D antes del blower

En este tramo hay 2 codos, 1 filtro, los cuales producen sus respectivas perdidas y un **caudal total** de;

$$Q_{total} = 0,009 \frac{m^3}{s}$$

La velocidad real en este punto es la de diseño; (ver Ecuación (4.9))

$$V_r = \frac{0,009 \frac{m^3}{s}}{0,00785 m^2} = 1,15 \frac{m}{s}$$

La **presión dinámica** para este tramo recto es; (ver Ecuación (4.10))

$$h_{DBC} = \left( \frac{1,15}{4,044} \right)^2 = 0,0803 \text{ mmcda}$$

se reemplaza en la Ecuación (4.11);

$$R_e = \frac{\left( 1,204 \frac{kg}{m^3} \right) (0,3795m) \left( 1,15 \frac{m}{s} \right)}{1,825 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}} = 2,88 \times 10^4$$

Según el **diagrama de Moody** (ver Figura 4-8), para tubería de **fibra de vidrio**, la cual no posee rugosidad, se tiene que el coeficiente de fricción es;

$$f = 0,014$$

La **longitud** es desde el punto D hasta el punto antes del blower, por esto;

$$L = 2,4m$$

Para la pérdida de presión se reemplaza en la Ecuación (4.13);

$$h_{CD} = 0,014 \cdot \frac{2,4m}{0,3795m} \cdot 0,0803 \text{ mmcda} = 0,0071 \text{ mmcda}$$

Por lo tanto, la **pérdida total del ramal** es;

$$\sum h_T = h_{CD} + 2 * 1,15 * h_{DBC} + h_{f\grave{u}ltro} \quad (4.19)$$

Reemplazar valores;

$$\sum h_T = 0,0071 \text{ mmcda} + 2 \cdot 1,15 \cdot 0,0803 \text{ mmcda} + 2 \text{ in} \cdot \frac{2,54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} \cdot \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \text{ cda} = 50,99 \text{ mmcda}$$

En el ventilador esta caída de presión se define como;

$$h_{E\grave{s}} = -50,99 \text{ mmcda}$$

## 4.6 Presión dinámica de entrada y salida

En el blower, es la misma debido a que es la misma velocidad;

$$h_{d\grave{s}} = h_{d\grave{e}} = 6,115 \text{ mmcda}$$

### 4.6.1 Pérdidas totales a la salida del ventilador

Las pérdidas a la salida del ventilador son;

$$h_{E\grave{s}} = h_s + h_{gorro} \quad (4.20)$$

Las **pérdidas por fricción** (ver Ecuación (4.13)) se determinan con las ecuaciones utilizadas para los tramos anteriores;

Por lo tanto, se reemplaza en la Ecuación (4.11);

$$R_e = \frac{\left(1,204 \frac{kg}{m^3}\right) (0,3795m) \left(1,15 \frac{m}{s}\right)}{1,825 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}} = 2,8 \times 10^4$$

Según el **diagrama de Moody** (ver Figura 4-8), para tubería de **fibra de vidrio**, la cual no posee rugosidad, se tiene que el coeficiente de fricción es;

$$f = 0,014$$

La **longitud** es desde la salida del ventilador hasta el exterior por esto;

$$L = 2m$$

Para la pérdida de presión se reemplaza en la Ecuación (4.13);

$$h_{CD} = 0,014 \cdot \frac{2m}{0,3795m} \cdot 6,115 \text{ mmcda} = 0,451 \text{ mmcda}$$

Por lo tanto, para nuestra ecuación de la **presión estática de salida**; (ver Ecuación (4.21))

$$h_{Es} = 0,451 \text{ mmcda} + 1,15 * 6,115 \text{ mmcda} = 7,483 \text{ mmcda}$$

## 4.7 Potencia del ventilador

Para la potencia del motor se tiene;

$$Pot_a = Q \cdot h_{TV} \cdot g \tag{4.21}$$

La altura de presión total entregada por el ventilador al aire se obtiene de la siguiente manera;

$$h_{TV} = (h_{Es} - h_{Ee}) + (h_{Ds} - h_{De}) \tag{4.22}$$

Reemplazando valores se obtiene;

$$h_{TV} = (7,483\text{mmcda} - (-50,99\text{mmcda})) + (6,115\text{mmcda} - 6,115\text{mmcda})$$

$$h_{TV} = 58,473\text{mmcd}$$

Reemplazando en la Ecuación (4.22);

$$Pot_a = 0,9 * 58,473 * 9,81 = 516,26W$$

## 4.8 Selección del ventilador

Para la selección del ventilador tienen los siguientes datos;

$$Q = 0,009 \frac{m^3}{s} * \frac{2118,9\text{CFM}}{1 \frac{m^3}{s}} = 19,07\text{CFM}$$

Para la altura de **presión estática**;

$$h_{EV} = h_{TV} - h_{DS} \tag{4.23}$$

Reemplazando valores se obtiene;

$$h_{EV} = 58,473\text{mmcda} - 6,115\text{mmcda} = 52,358\text{mmcda}$$

Pasando a pulgadas se tiene;

$$h_{EV} = 52,358\text{mmcda} * \frac{1''}{25,4\text{mm}} = 2,06''SP$$

Entonces entrando para el valor del **caudal en CFM** (ver Figura 4-9) y el valor de la **presión estática en pulgadas** en la tabla siguiente se obtiene;

**Figura 4-9:** Tabla de valores del caudal en CFM

CFM	OV	1' SP		2' SP		3' SP		4' SP		5' SP		6' SP		7' SP		8' SP		9' SP		10' SP	
		PPM	RPM	BHP	RPM																
5508	1200	272	1.4	366	2.6	443	4.0														
6426	1400	281	1.8	373	3.2	447	4.6	512	6.2												
7344	1600	291	2.1	380	3.7	452	5.3	516	7.0	573	8.8										
8262	1800	303	2.5	389	4.4	460	6.1	521	8.0	577	9.9	628	11.8								
9180	2000	316	3.0	398	5.0	468	7.0	528	9.0	582	11.1	632	13.2	679	16.4	724	17.6				
10098	2200	330	3.6	409	5.8	478	8.0	535	10.2	589	12.4	638	14.6	684	16.9	728	19.3	765	21.7	800	24.2
11016	2400	344	4.3	420	6.5	485	9.0	544	11.4	596	13.8	645	16.2	690	18.6	733	21.2	773	23.7	812	26.3
11934	2600	359	5.1	432	7.4	496	10.1	553	12.7	604	15.3	652	17.9	696	20.5	738	23.1	778	25.8	817	28.6
12852	2800	375	5.9	445	8.5	506	11.2	562	14.1	613	16.9	660	19.6	704	22.4	745	25.2	785	28.1	822	31.0
13770	3000	391	6.9	459	9.6	518	12.4	572	15.5	622	18.5	669	21.5	712	24.5	753	27.5	792	30.5	829	33.5
14688	3200	408	8.0	473	10.9	530	13.8	583	17.0	632	20.2	677	23.5	720	26.7	761	29.8	799	33.0	836	36.2
15606	3400	425	9.2	487	12.2	543	15.3	594	18.6	642	22.0	687	25.5	729	28.9	769	32.3	807	35.7	844	39.0
16524	3600	442	10.5	502	13.7	557	17.0	606	20.3	653	23.9	697	27.6	738	31.3	778	34.9	816	38.5	852	42.0
17442	3800	459	11.9	518	15.4	571	18.8	619	22.3	664	25.9	707	29.8	748	33.7	787	37.6	824	41.4	860	45.1
18360	4000	477	13.5	533	17.1	585	20.8	632	24.4	677	28.1	718	32.1	758	36.2	797	40.3	833	44.4	869	48.4
19278	4200	495	15.3	550	19.1	600	22.9	646	26.7	689	30.5	730	34.6	769	38.8	807	43.1	843	47.4	878	51.7
20196	4400	513	17.1	566	21.1	615	25.1	660	29.1	702	33.1	742	37.2	780	41.6	817	46.0	853	50.6	887	55.1
21114	4600	532	19.2	583	23.4	630	27.5	674	31.7	716	35.9	755	40.1	792	44.5	828	49.1	863	53.8	897	58.6
22032	4800	550	21.4	600	25.8	645	30.1	689	34.5	730	38.8	768	43.2	805	47.7	840	52.4	874	57.2	907	62.1
22950	5000	569	23.8	617	28.4	661	32.9	704	37.4	744	42.0	781	46.5	817	51.1	852	55.8	886	60.8	918	65.9
23868	5200	588	26.4	634	31.2	678	35.9	719	40.6	758	45.3	795	50.0	831	54.7	865	59.6	897	64.5	929	69.8
24786	5400	607	29.2	652	34.1	694	39.0	734	43.9	773	48.8	809	53.7	844	58.6	877	63.5	910	68.5	941	73.9
25704	5600	626	32.2	670	37.3	711	42.4	750	47.4	787	52.5	823	57.6	858	62.6	891	67.7	922	72.9	953	78.3
26622	5800	645	35.3	688	40.7	728	45.9	766	51.2	803	56.4	838	61.7	872	66.9	904	72.2	935	77.5	966	82.9

Nombre de la fuente: chicagoblower (Chicago, s.f.)

El **valor más cercano** según estos datos y teniendo en cuenta la presión estática se opta por un ventilador **N29Ls**, con características;

Girando a **371,4RPM** y una potencia al eje de **2,69Hp (3Hp)**

La eficiencia de este ventilador será;

$$\eta_v = \frac{516,26W * \frac{0,001341}{1W}}{2.69Hp} = 25\%$$

Significa que el ventilador no estará trabajando ni siquiera al 25% por lo tanto según las condiciones del sistema se puede aumentar el caudal, para así lograr mejoras en la eficiencia.

## 4.9 Soporte

El peso de la estructura en su conjunto se debe determinar teniendo en cuenta las dimensiones del conducto, por esto se tiene para el cálculo del **volumen** de este;

$$V = L_T \cdot A_s \quad (4.24)$$

Reemplazando valores se obtiene;

$$V = (5,20m + 1,60m + 2,00m + 0,40m) \cdot 0,30m \cdot 0,30m = 0,828 m^3$$

Teniendo en cuenta el espesor se tiene;

$$V_e = (5,20m + 1,60m + 2,00m + 0,40m) \cdot 0,28m \cdot 0,28m = 0,72128m^3$$

Por lo tanto, el **volumen efectivo** se obtiene de la siguiente manera;

$$V_{efec} = V - V_e \quad (4.25)$$

Reemplazando valores se obtiene;

$$V_{efec} = 0,828 m^3 - 0,72128m^3 = 0,10672m^3$$

Para hallar la masa total del ducto se debe tener en cuenta la densidad de la fibra de vidrio;

$$\rho_{vidrio} = 2580 \frac{kg}{m^3}$$

La masa total del ducto se obtiene;

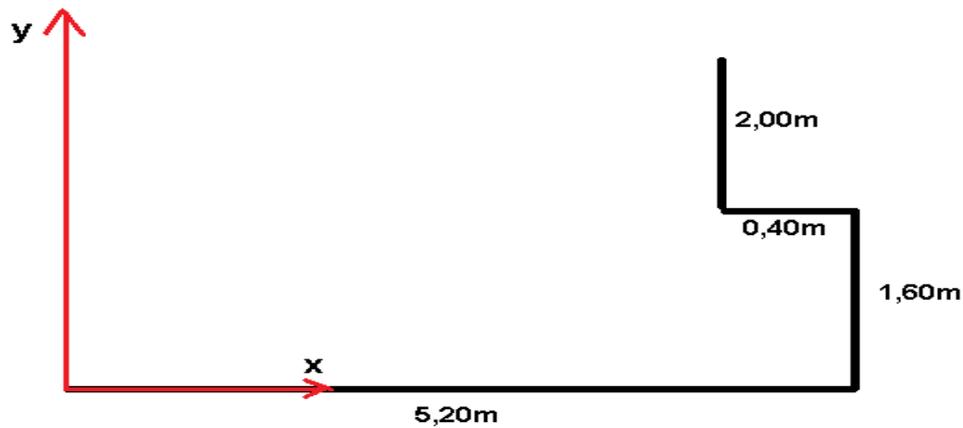
$$m = V_{efec} \cdot \rho_{vidrio} \quad (4.26)$$

Reemplazando valores se obtiene;

$$m = 0,10762m^3 \cdot 2580 \frac{kg}{m^3} = 275,34kg$$

Es necesario encontrar el centro de masa de la columna por lo tanto se tiene la Figura 4-10;

**Figura 4-10:** Centro de masa de columna.



Nombre de la fuente: Autores

Por esto se dividen los ductos en 4 tramos cada uno con su masa independiente y tendrán un **área efectiva** igual a;

$$A_{efec} = 0,3^2 - 0,28^2 = 0,0116m^2$$

Para calcular las masas de los tramos se utiliza la Ecuación (4.25)

$$m_1 = 5,20m \cdot 0,0116m^2 \cdot 2580 \frac{kg}{m^3} = 155,62kg$$

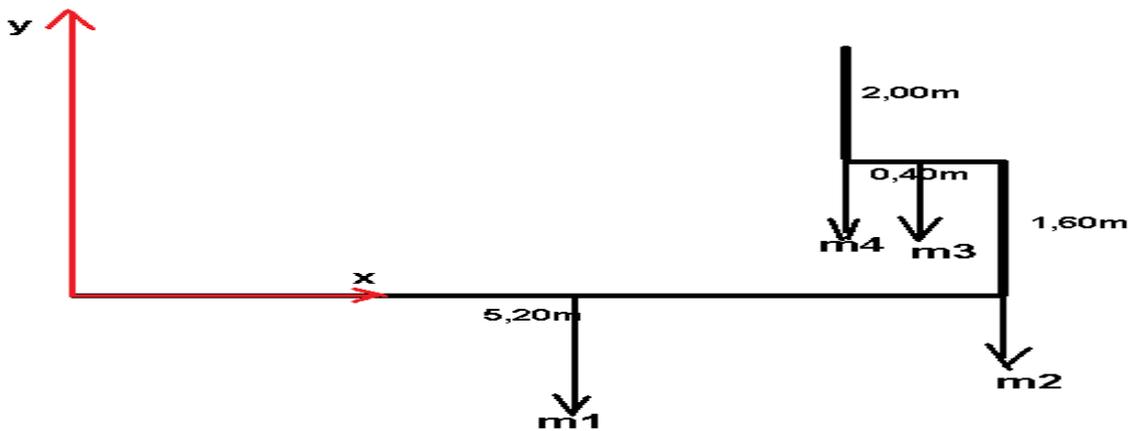
$$m_2 = 1,60m \cdot 0,0116m^2 \cdot 2580 \frac{kg}{m^3} = 47,88kg$$

$$m_3 = 0,40m \cdot 0,0116m^2 \cdot 2580 \frac{kg}{m^3} = 11,97kg$$

$$m_4 = 2m \cdot 0,0116m^2 \cdot 2580 \frac{kg}{m^3} = 59,86kg$$

Cada una de estas masas estarán ubicadas en el **centroide** particular de cada barra;

**Figura 4-11:** Masa ubicada en el centroide.



Nombre de la fuente: Autores

Para el centro de masa para x se tiene;

$$x_{cm} = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3 + m_4 \cdot x_4}{m} \tag{4.27}$$

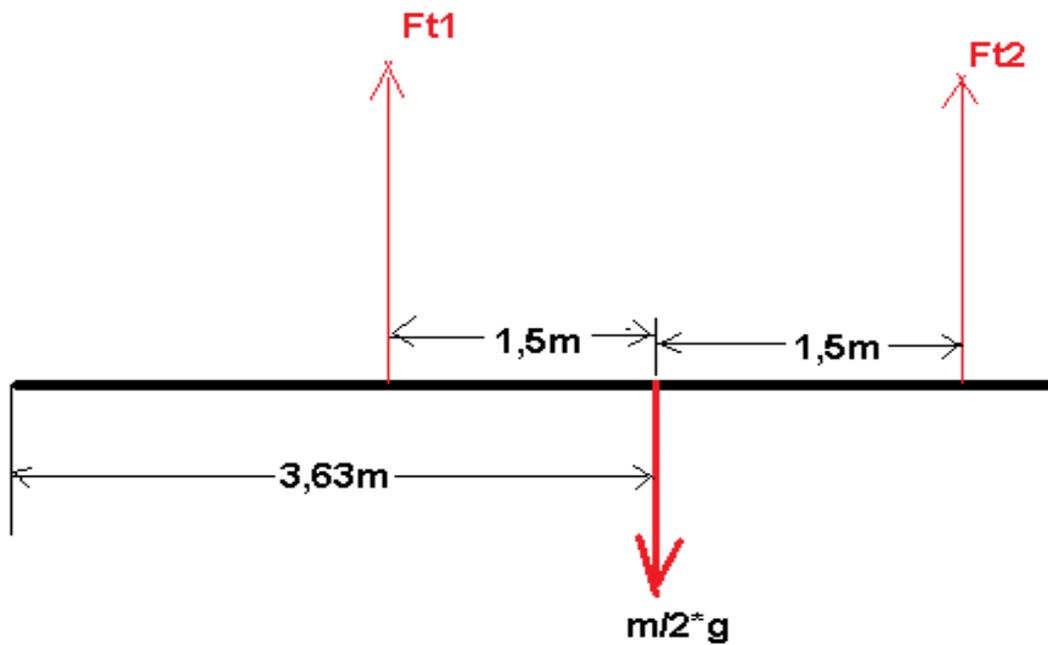
Reemplazando valores se obtiene;

$$x_m = \frac{155,62kg \cdot 2,6m + 47,88kg \cdot 5,20m + 11,97kg \cdot 5m + 59,86kg \cdot 4,8m}{275,34kg} = 3,63m$$

Se tiene entonces una carga puntual de masa ubicada a 3,63metros del eje coordenado supuesto;

La masa en este caso será la mitad por lo que serán un par de varillas por cada tramo;

**Figura 4-12:** Sumatoria de momentos.



Nombre de la fuente: Autores

Por lo tanto, realizando **sumatoria de momento** en el punto donde está la fuerza  $F_{t2}$ , se obtiene;

$$+\circlearrowleft \sum M = 0 ; -F_{t1} \cdot 3 + \frac{m}{2} \cdot g \cdot 1,5 = 0 \quad (4.28)$$

Partiendo de la Ecuación 4.29 se obtiene la **fuerza efectuada en la varilla 1**;

$$F_{t1} = \frac{1,5 \cdot m \cdot g}{3} \quad (4.29)$$

Reemplazando valores se obtiene;

$$F_{t1} = \frac{1,5 \cdot 275,34 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{3} = 674,58 \text{ N}$$

Realizando **sumatoria de fuerzas en el eje y** se obtiene;

$$+\uparrow \sum F_y = 0; F_{t1} - \frac{m}{2} \cdot g + F_{t2} = 0 \quad (4.30)$$

Partiendo de la Ecuación 4.31 se obtiene la **fuerza efectuada en la varilla 2**;

$$F_{t2} = -F_{t1} + \frac{m}{2} \cdot g \quad (4.31)$$

Reemplazando valores se obtiene;

$$F_{t2} = -674,58 \text{ N} + \frac{275,34 \text{ kg}}{2} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 674,58 \text{ N}$$

Ambas parejas de varillas sentirán el mismo esfuerzo.

Suponiendo una **varilla de 3/8** se tiene que el **esfuerzo a tensión** para cada una de las varillas es;

$$\sigma_t = \frac{F_{t2}}{\frac{\pi \left( \frac{3}{8} \text{ in} \cdot \frac{2,54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} \cdot \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right)^2}{4}} \quad (4.32)$$

Reemplazando valores se obtiene;

$$\sigma_t = \frac{674,58N}{\frac{\pi}{4} \left( \frac{3}{8} in \cdot \frac{2,54 cm}{1in} \cdot \frac{1m}{100cm} \right)^2} = 9,47MPa$$

Valor muy seguro ya que el esfuerzo de tensión para un acero al carbono es en promedio;

$$\sigma_y = 500MPa$$

Los factores de seguridad para las varillas se calculan con la Ecuación (4.34);

$$N = \frac{\sigma_y}{\sigma_t} \tag{4.33}$$

Reemplazando valores se obtiene;

$$N = \frac{500}{9,47} = 52,8$$

Bastante seguro, pero se pueden probar con varillas más delgadas;

Con una **varilla de ¼ de pulgada** se obtiene mediante la siguiente forma;

$$\sigma_t = \frac{F_{t2}}{\frac{\pi}{4} \left( \frac{1}{4} in \cdot \frac{2,54 cm}{1in} \cdot \frac{1m}{100cm} \right)^2} \tag{4.34}$$

Reemplazando valores se obtiene;

$$\sigma_t = \frac{674,58N}{\frac{\pi}{4} \left( \frac{1}{4} in \cdot \frac{2,54 cm}{1in} \cdot \frac{1m}{100cm} \right)^2} = 21,3MPa$$

Valor muy seguro ya que el esfuerzo de tensión para un acero al carbono es en promedio;

$$\sigma_y = 500MPa$$

Para el factor de seguridad para **varilla de ¼ de pulgada** se aplica Ecuación (4.34);

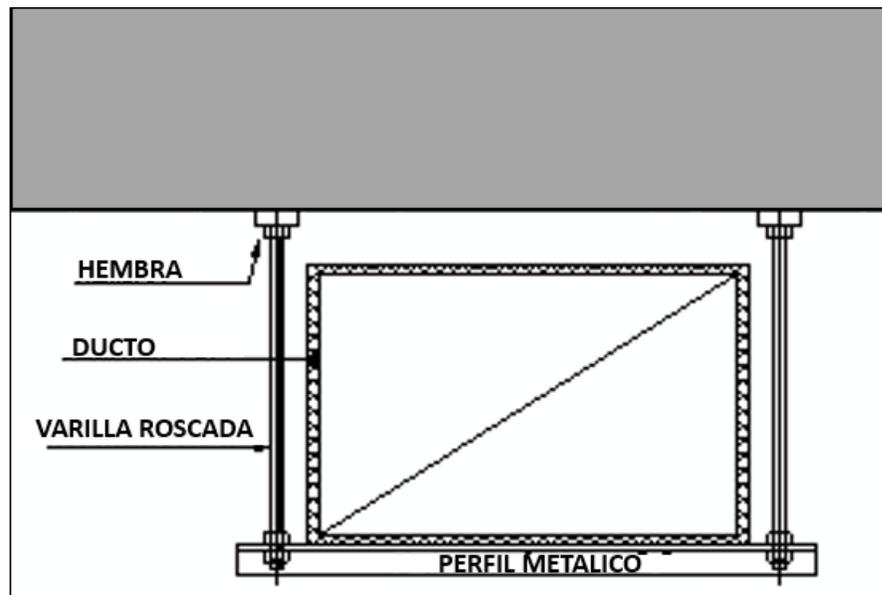
$$N = \frac{500}{21,3} = 23$$

Con este valor se garantiza que no habrá fractura en las varillas roscadas, con un margen bastante grande para soportar otras cargas adicionales al diseño inicial.

Selección;

Varillas roscadas de  $\frac{1}{4}$  de pulgada de acero al carbono.

**Figura 4-13:** Modelo de soporte



Nombre de la fuente: Bloques AutoCAD (bloquesautocad, s.f.)

## 4.10 Circuito eléctrico del sistema

Para el cálculo de corriente que consume el motor trifásico de 3 HP, voltaje de 220 V, factor de potencia de 0.94 y un factor de servicio de 1.25 se tiene;

$$I_n = \frac{746 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \quad (4.35)$$

Reemplazando valores se obtiene;

$$I_n = \frac{3 \cdot (746 \text{ W})}{\sqrt{3}(220 \text{ V})(0.85)(0.94)} = 7.35 \text{ A}$$

Teniendo en cuenta el factor de servicio se tiene una corriente de servicio;

$$I_s = I_n \cdot F_s \quad (4.36)$$

Reemplazando valores se obtiene;

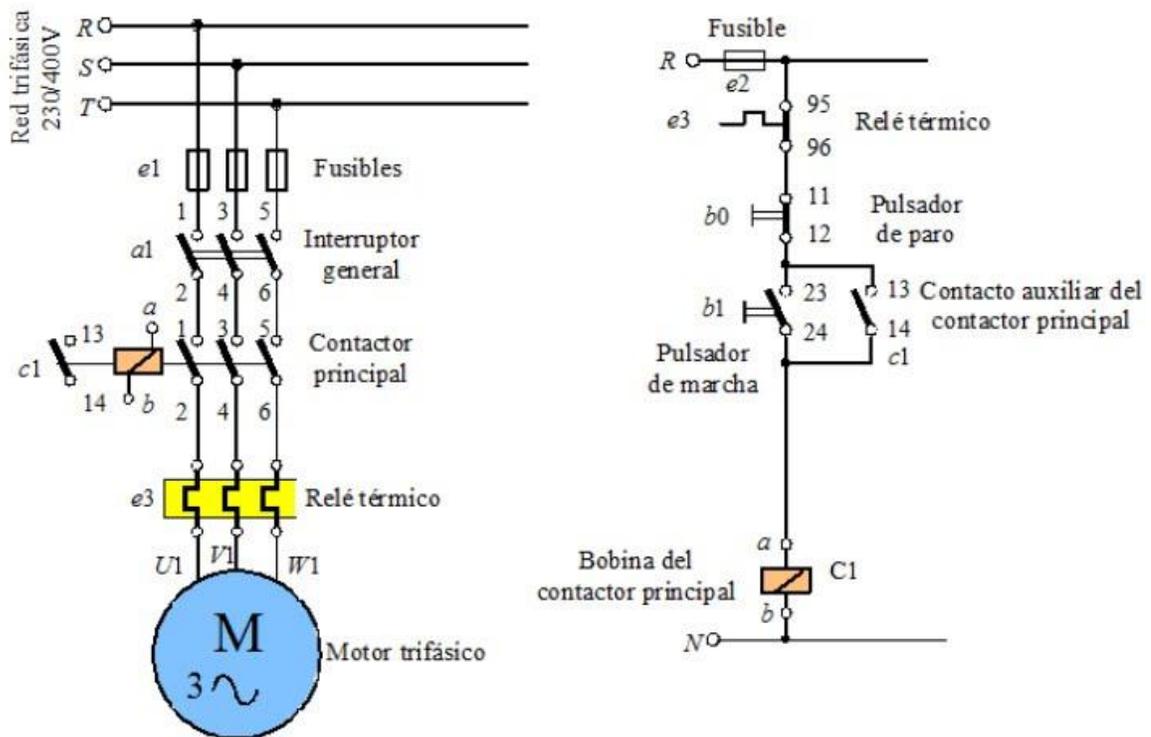
$$I_s = 7.35 \text{ A} \cdot 1.25 = 9.18 \text{ A}$$

Durante el desarrollo de los cálculos para hallar la protección, tipo de cableado y tipo de interruptores, se obtuvo lo siguiente:

- Tipo de cableado: 12 AWG
- Tipo de protección: 7 a 10 AMP
- Interruptor seleccionado: 20 AMP

Se tiene el diagrama del circuito eléctrico;

**Figura 4-14:** Diagrama de circuito eléctrico y de mando de un motor trifásico.



Nombre de la fuente: Remotelab (Remotelab, s.f.)

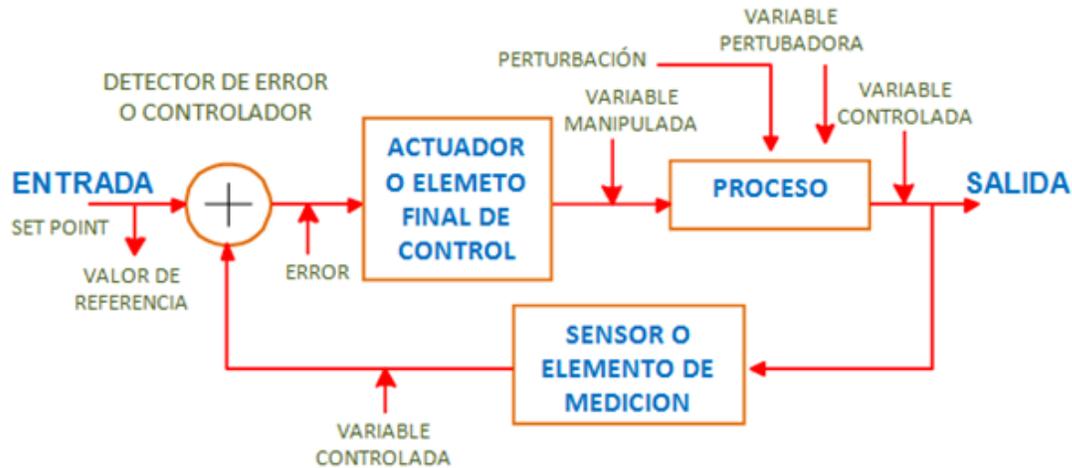
## 4.11 Control de ventilación

Existe una gran diferencia entre las necesidades del aire en las horas del día y en las horas de la noche, influyendo grandemente en las condiciones de los agentes químicos que se encuentran almacenados en el sótano de la empresa central de embobinados del caribe s. a. s. Partiendo de lo mencionado anteriormente se es necesario tener un control sobre el caudal del aire.

Esta variación se logra mediante un sistema de regulación de caudal, ya sea encendiendo o apagando el ventilador o actuando sobre la velocidad de este. Para este proyecto se propone un control automático. Este tipo de control se logra a base de un temporizador horario que conecte el ventilador o lo detenga en intervalos fijados de antemano, dependiendo de las condiciones ambientales que se deseen tener. Además, se tiene un control electrónico sobre la velocidad del ventilador, ordenado por variables sensibles como humedad, temperatura, gases.

Es importante mencionar que todo este control ayuda enormemente en la eficiencia energética del sistema, a continuación, se muestra el diagrama de un sistema de control automático.

**Figura 4-15:** Elementos de un sistema de control automatizado.

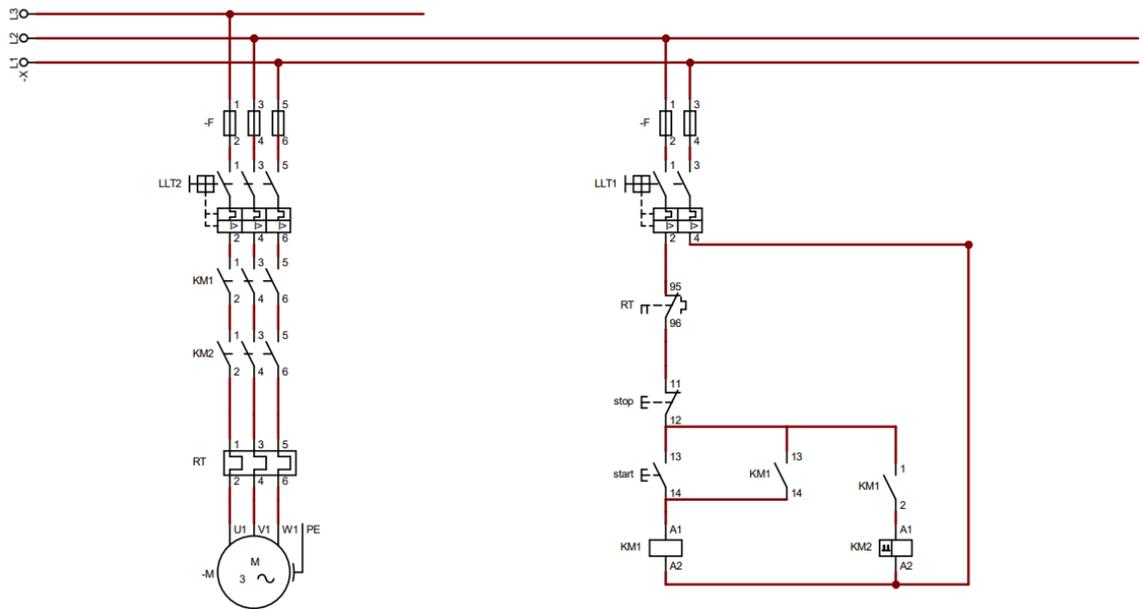


Nombre de la fuente: Electromatic (Electromatic, s.f.)

## 4.12 Diagrama de circuito eléctrico y control automático

Partiendo de las necesidades requeridas de diseño y los elementos de un sistema de control se tiene el diagrama eléctrico y de control automático.

**Figura 4-16:** Diagrama de potencia y control automático.



Nombre de la fuente: Autores



## 4.13 Consideraciones de compresibilidad

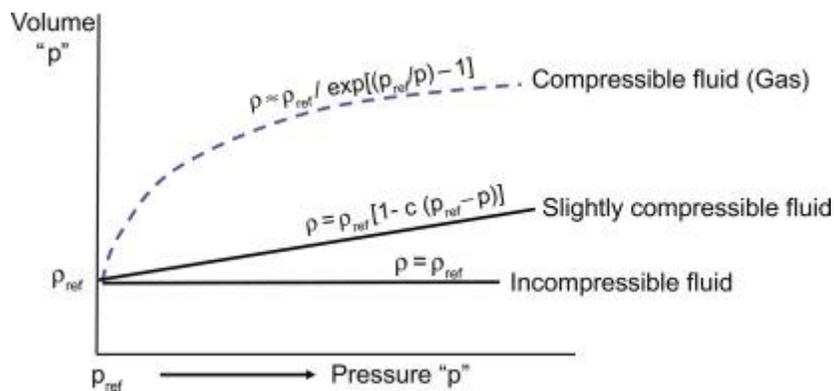
El sistema en consideración se trata de aire dentro de un conducto, por tanto, es natural que el comportamiento se analice bajo las ecuaciones y modelos de flujo compresible, principalmente para este caso, sería la ecuación de la conservación de la masa

$$\frac{d}{dt} \int_{VC} \rho dV + \int_{SC} \rho (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA \quad (4.37)$$

Esta ecuación y los análisis consecuentes requieren considerar la densidad del flujo. Esta densidad depende tanto de la temperatura como la presión, y los gases son particularmente sensibles a estos efectos. Sin embargo, en muchos casos de ingeniería es posible considerarla constante para efectos de simplificación y tratar así al flujo como incompresible. En la realidad todos los fluidos tienen algún grado de compresibilidad, y la incompresibilidad total es solo una aproximación, pero se dice que un flujo es incompresible si la densidad permanece constante a lo largo de todo el flujo.

La figura X muestra gráficamente como se diferencian los flujos compresibles e incompresibles. Los idealmente incompresibles presentan un comportamiento constante de densidad a medida que aumenta la presión, mientras que los totalmente compresibles presentan un comportamiento logarítmico. Por tanto, si se demuestra que un fluido altamente compresible como el aire, se encuentra dentro de una región de trabajo en la que los efectos de la compresibilidad son pocos o despreciables, es posible entonces tratarlo como un fluido compresible.

**Figura 4-17.** Compresibilidad de los gases.



**Fuente:** Tarek Ahmed, Fundamentals of Reservoir Fluid Flow.

La práctica en mecánica de fluidos establece que el límite para considerar el flujo compresible es cuando el número Mach (Ma) del sistema es inferior a 0.3. Este nuevo parámetro establece la relación que hay entre la velocidad del sonido (c) y la velocidad de movimiento del flujo (V). Se define así:

$$\text{Ma} = \frac{V}{c} \quad (4.38)$$

La velocidad del sonido en un medio se obtiene con la ecuación:

$$c = \sqrt{kRT} \quad (4.39)$$

Donde k es la relación de calores específicos cp/cv, R es la constante de gas ideal del medio y T es la temperatura del medio. En las condiciones del diseño, la ecuación toma los valores de:

$$c = \sqrt{1.4 * 287.058 * 303.15 \text{ K}} = 349.04 \text{ m/s} \quad (4.40)$$

La velocidad que alcanza el flujo en el sistema de ductos desarrollado en este proyecto se calculó de dos maneras. En la sección 4.5 se estableció como norma que el flujo promedio del ducto fuera 10m/s, por otra parte, en el capítulo 5 se determinó la velocidad para todo el volumen de control con ayuda de SolidFlow simulation. El máximo valor obtenido fue de 26.42 m/s. Se tomará este último valor para los cálculos:

$$\text{Ma} = \frac{26.42 \text{ m/s}}{349.04 \text{ m/s}} = 0.076 \ll 0.3 \quad (4.41)$$

Por otra parte, el comportamiento compresible de un flujo puede aparecer si la presión cambia considerablemente. En las simulaciones se observa que la máxima presión registrada es de 101401 Pa, mientras que la mínima registrada es de 100311 Pa. La presión y la densidad están linealmente relacionadas en los gases ideales, por tanto, el cambio de densidad debido a la presión es de:

$$\frac{101401 \text{ Pa}}{100311 \text{ Pa}} - 1 = 0.0108 = 1.08\% \quad (4.42)$$

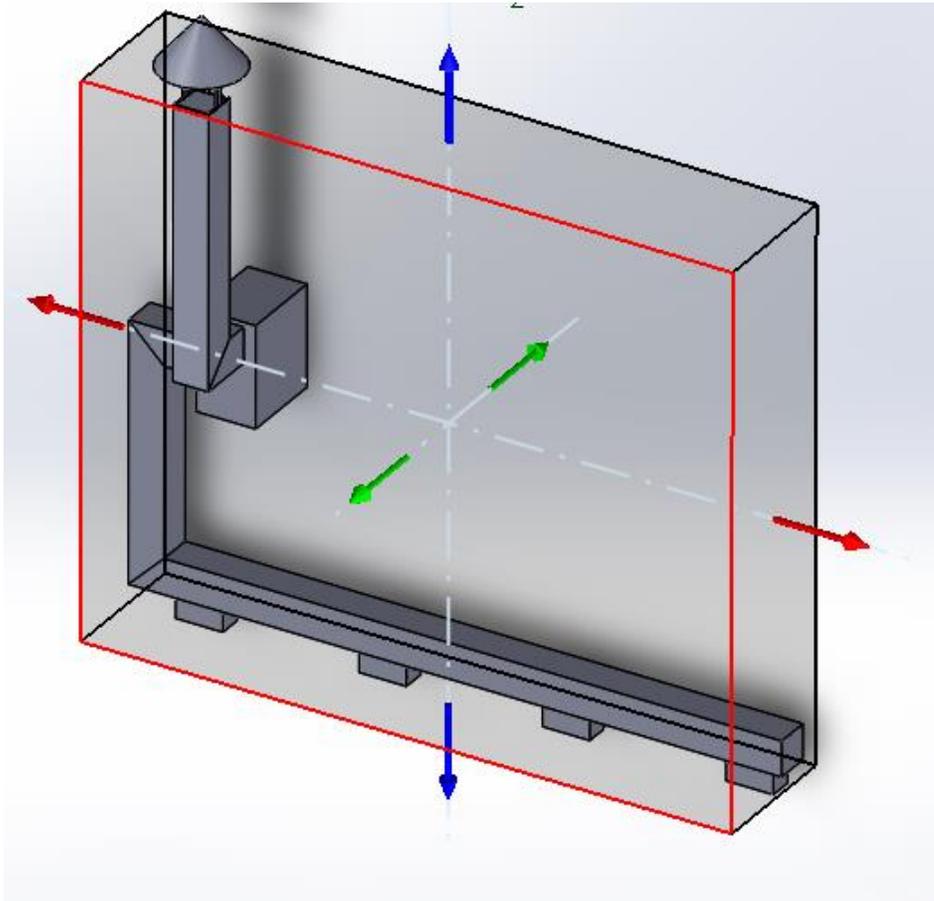
Los resultados anteriores demuestran que el fluido en nuestro sistema se puede tratar como flujo incompresible.

Formalmente hablando, sí existe una región del flujo donde este se comporta de manera compresible, esto es en el blower. El sistema de rotor y álabes conlleva a que el fluido tenga altas velocidades y diferencias de presiones considerables. Sin embargo, esto sucede muy brevemente en una región pequeña del sistema que no es de interés, porque antes de la succión y después de la descarga el fluido se comporta tal como se ha descrito en esa sección: como flujo incompresible.

## 5. Simulación del ducto.

El análisis de CFD se realiza sobre el ensamblaje de ductos de extracción. La intención es verificar el comportamiento de la velocidad del flujo y el gradiente de presiones. Se definió un dominio computacional que comprende entre la sección transversal de las tomas de aire hasta la sección transversal de la descarga. En la figura se ilustra:

**Figura 5-1:** Preparación de la simulación.

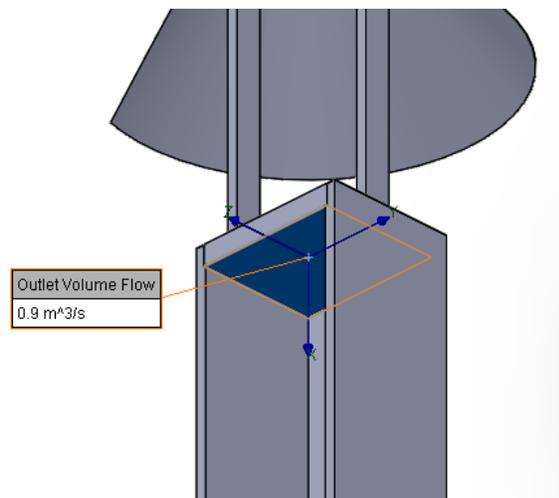


Nombre de la fuente: Autores

Las condiciones de frontera que se definieron fueron de caudal volumétrico en la descarga ( $0.009\text{m}^3/\text{s}$ ) y condición de presión atmosférica en las succiones. Esto no es del todo real porque en medio del ducto se encuentra un blower, que es el verdadero generador de presión, pero la inclusión de un blower en el dominio computacional aumentaría la complejidad de la simulación de manera innecesaria. Lo que se presenta aquí es un buen montaje de aproximación para conocer el valor que nos interesa: la diferencia de presión entre ambos lugares. La Figura 5-2 y Figura 5-3 muestran el establecimiento de las

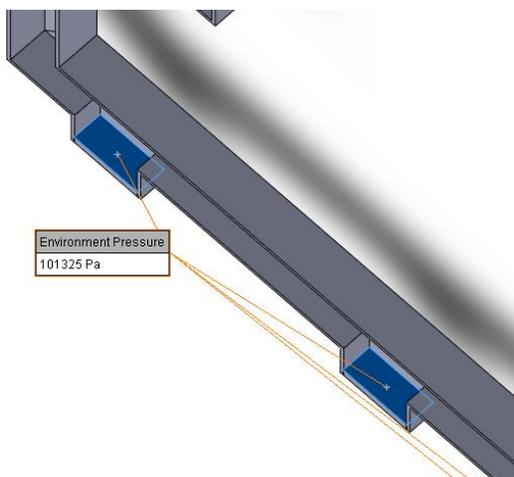
condiciones de frontera. Los resultados extraídos corresponden al campo vectorial de velocidades en forma de flechas, el campo de presiones en forma de contorno y el flujo en las rejillas como una tabla comparativa.

**Figura 5-2:** Condición de frontera de caudal volumétrico en la descarga del ducto.



Nombre de la fuente: Autores

**Figura 5-3:** Condición de frontera de presión atmosférica en las succiones.



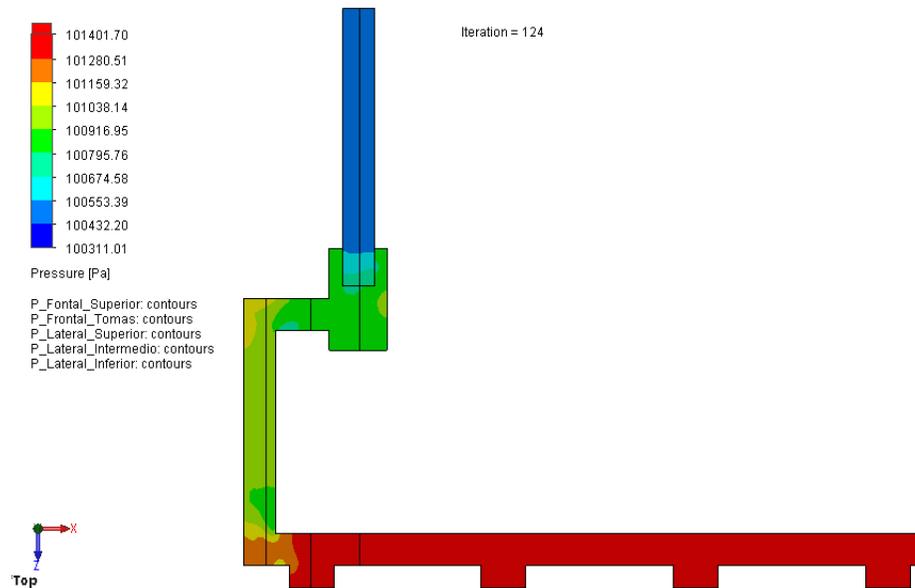
Nombre de la fuente: Autores

Los caudales en estado estable que se presentaron en las diferentes rejillas son como se aprecian en la (Tabla 5-1). Se corrobora que el sistema mantuvo el caudal de 0.009m³/s en la descarga de aire, lo cual se estableció en el apartado de cálculos debido a que se requiere una velocidad de 1,421m/s en la ductería. Para la primera toma de succión, el sistema desarrolló un caudal de 0.589 m³/s, 0.19m³/s en la segunda toma, 0.7 m³/s en la tercera, y 0.03m³/s en la cuarta.

**Tabla 5-1:** Caudales establecidos en cada rejilla.

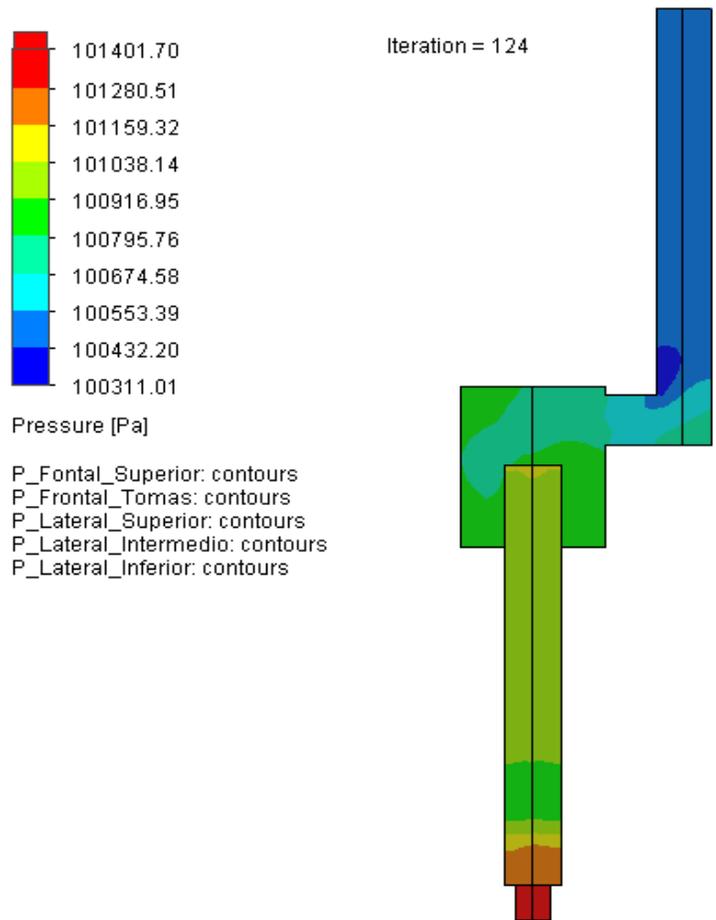
CAUDALES	VALORES
CAUDAL DE DESCARGA	0.009 m <sup>3</sup> /s
CAUDAL TOMA 1	0.00225 m <sup>3</sup> /s
CAUDAL TOMA 2	0.00225 m <sup>3</sup> /s
CAUDAL TOMA 3	0.00225 m <sup>3</sup> /s
CAUDAL TOMA 4	0.00225 m <sup>3</sup> /s

El campo de presiones se encuentra en la Figura 5-4. Se presenta la mayor presión en las tomas de succión y la menor presión en la descarga, lo cual es razonable a partir de las condiciones de simulación establecidas. La diferencia entre las presiones máxima y mínima es de 1090.7 Pa ó 111.22 mmH<sub>2</sub>O. En la Figura 5-5 se observa el campo de presiones desde el punto de vista lateral. Y en la Figura 5-6 un detalle en la zona del codo de 90° donde se aprecia la gran turbulencia generada.

**Figura 5-4:** Resultados para el campo de presión vista frontal.

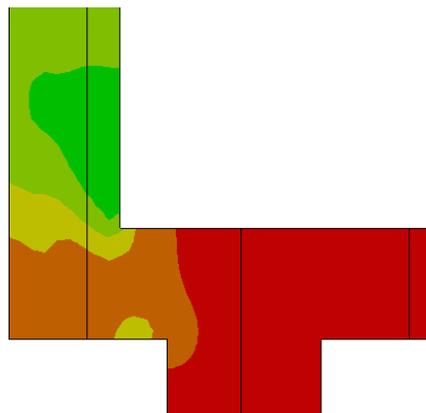
Nombre de la fuente: Autores

**Figura 5-5:** Campo de presiones vista lateral.



Nombre de la fuente: Autores

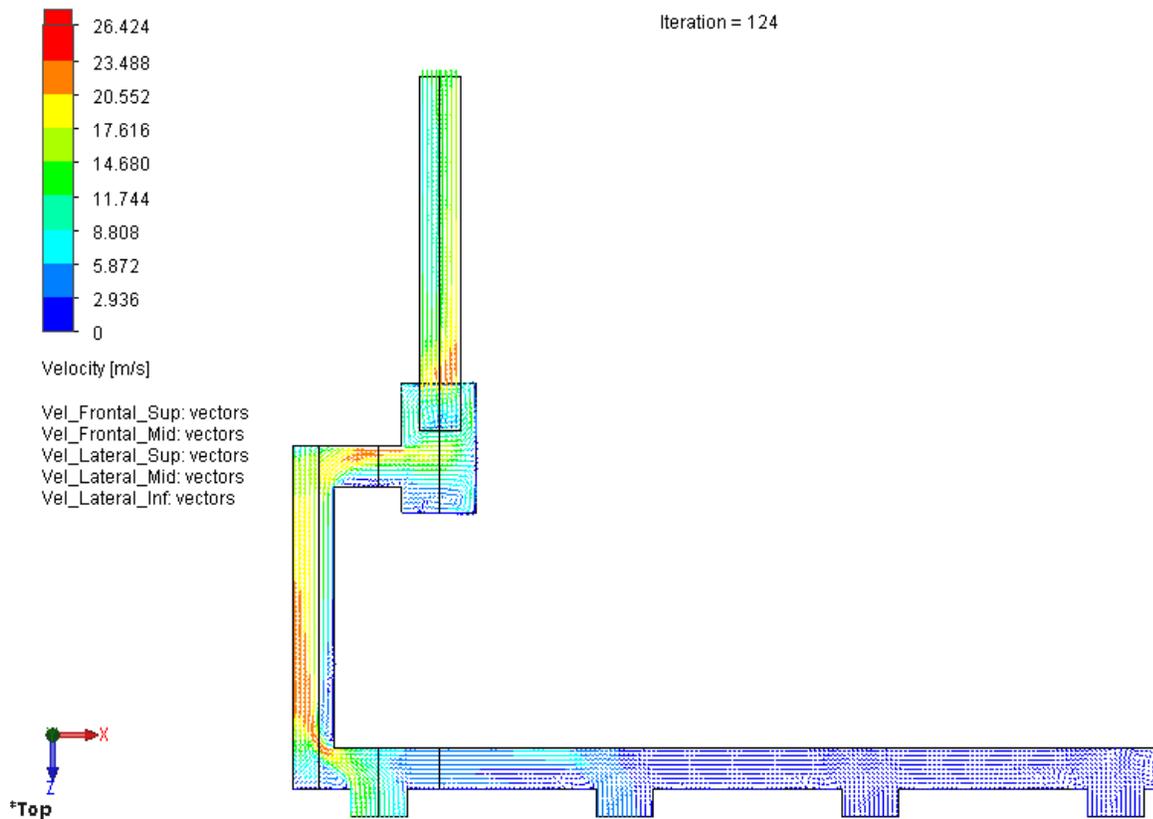
**Figura 5-6:** Detalle del campo de presiones en el codo de 90°.



Nombre de la fuente: Autores

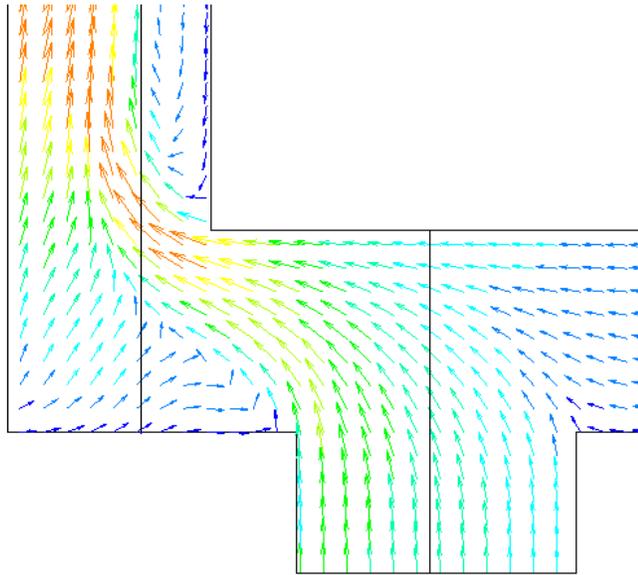
La Figura 5-7 señala los resultados del campo vectorial de velocidades. Se aprecian zonas de alta velocidad producto de los remolinos en las transiciones, estas velocidades máximas superan los 26m/s. Sin embargo, se puede apreciar que en la descarga la velocidad es de 10m/s (color verde aguamarina) tal como se estableció en el desarrollo manual. También se debe señalar que hay zonas con muy baja velocidad, con lo que se compensa el campo vectorial para entregar el caudal de 0.009m/s establecido. La Figura 5-8 se presenta el detalle en el codo de 90° con clara muestra de los remolinos que se generan en las zonas complejas.

**Figura 5-7:** Campo de velocidades en el ducto.



Nombre de la fuente: Autores

**Figura 5-8:** Detalle del campo vectorial de velocidades en el codo de 90°.



Nombre de la fuente: Autores

La Figura 5-9 es el resultado del procesamiento de la simulación.

**Figura 5-9:** Resultado del procesamiento de la simulación.

Parameter	Value
Status	Solver is finished.
Total cells	37,825
Fluid cells	37,825
Fluid cells contacting solids	14,607
Iterations	131
Last iteration finished	20:07:43
CPU time per last iteration	00:00:01
Travels	1.61313
Iterations per 1 travel	82
Cpu time	0 : 2 : 48
Calculation time left	0 : 0 : 0
Run at	LAPTOP-AKAP
Number of cores	4

Warning	Comment
No warnings	

Nombre de la fuente: Autores

## 6. Presupuesto

Este capítulo presenta un análisis del costo que conlleva la instalación del sistema de ventilación y control automático.

**Tabla 6-1:** Presupuesto general del proyecto.

 <b>UAN</b> UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO	<b>PRESUPUESTO PARA          PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN</b>
<b>PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO</b>	
<b>RUBROS</b>	<b>TOTAL</b>
1. VENTILACIÓN	\$ 4.775.668
2. CONTROL AUTOMÁTICO	\$ 962.000
3. MATERIALES	\$ 1.489.700
4. MANO DE OBRA	\$ 2.017.000
<b>TOTAL PRESUPUESTO DEL PROYECTO</b>	<b>\$ 9.244.368</b>

Los costos de recuperación de la inversión; como la inversión inicial tiene un costo aproximado de \$ 9.244.368 pesos y las multas impuesta a la contaminación e intoxicación a personal de trabajo puesta por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial tiene un costo aproximado de \$213.007.433 pesos calculado Metodología para el Cálculo de Multas por Infracción a la Normativa Ambiental, se podría decir que tiempo de recuperación del proyecto es forma casi inmediata ya que la implementación de este proyecto se hace por seguridad. (2010)

Por otro lado, es una inversión que repercute de manera positiva en la integridad física de los empleados, y que los agentes químicos enfermedades entre las más comunes intoxicaciones y enfermedades crónicas como las enfermedades respiratorias, dermatitis, enfermedades del sistema nervioso y cánceres. (Istas, s.f.)

En un estudio realizado se observó que el 40% de las enfermedades laborales se deben a la exposición a agentes químicos.

**Tabla 6-2:** Estudio de enfermedades laborales.

<b>Grupos de enfermedades</b>	<b>Tasa de incidencia por 10000 trabajadores</b>	<b>Casos incidentes de enfermedades laborales nº</b>	<b>Casos incidentes de enfermedades laborales %</b>
<b>Enfermedades osteomusculares</b>	15,34	22347	24,2
<b>Hipoacusia o sordera por ruido</b>	9,98	14539	15,7
<b>Dermatitis</b>	9,16	13344	14,4
<b>Síndrome del túnel del carpo</b>	8,79	12805	13,8
<b>Tumores malignos</b>	5,25	7648	8,3
<b>Enfermedades respiratorias crónicas</b>	3,72	5419	5,9
<b>Intoxicaciones por sustancias y materiales</b>	3,42	4982	5,4
<b>Asma</b>	3,05	4443	4,8
<b>Enfermedades por radiaciones</b>	2,61	3802	4,1
<b>Enfermedades infecciosas</b>	1,38	2010	2,2
<b>Infarto de miocardio</b>	0,56	816	0,9
<b>Neumoconiosis</b>	0,19	277	0,3
<b>Alergias</b>	0,07	102	0,1
<b>Total</b>		92534	100

# 7. Conclusiones y recomendaciones

## 7.1 Conclusiones

Con base a los cálculos desarrollados en la tesis, se pudo diseñar un sistema de extracción de gases en un recinto cerrado, para esto se utilizó el método de ventilación por depresión, esto generó la expulsión de todos los gases y químicos que se encontraban acumulados en el recinto, al final de este proceso de extracción se puede concluir que es viable ya que para este diseño se tuvo en cuenta el tipo de contaminantes a extraer, el cálculo de la velocidad de extracción y el caudal de extracción que atraviesa la campana en m/s.

Fue necesario evaluar las pérdidas de velocidad de extracción en los distintos tramos del sistema, ya que este posee codos, rejillas, un filtro de carbono de 2 “en la entrada del extractor, y a la salida de este un gorro protector. Todas estas condiciones de diseño se tuvieron en cuenta para la adecuada selección de la potencia del blower para extraer los contaminantes que se encuentren en el recinto.

El recinto deberá tener una ventana con entrada de aire, así se logrará el efecto de ventilación por depresión, colocando el blower de 516,26W extrayendo el aire del local, lo que provoca que éste quede en depresión respecto de la presión atmosférica. Esta entrada de aire nos ayudará a que las instalaciones tengan una ventilación con aire limpio y así nos permitirá controlar el calor, la toxicidad o la potencial explosividad de este ambiente.

Por ultimo y no menos importante se concluye que un sistema de depresión es una técnica que es considerada la más antigua, lo que la hace ser la más estudiada mostrando ventajas como fácil montaje, no presenta peligro al personal de trabajo y no presenta riesgo de dispersión de los humos a otros recintos.

## 7.2 Recomendaciones

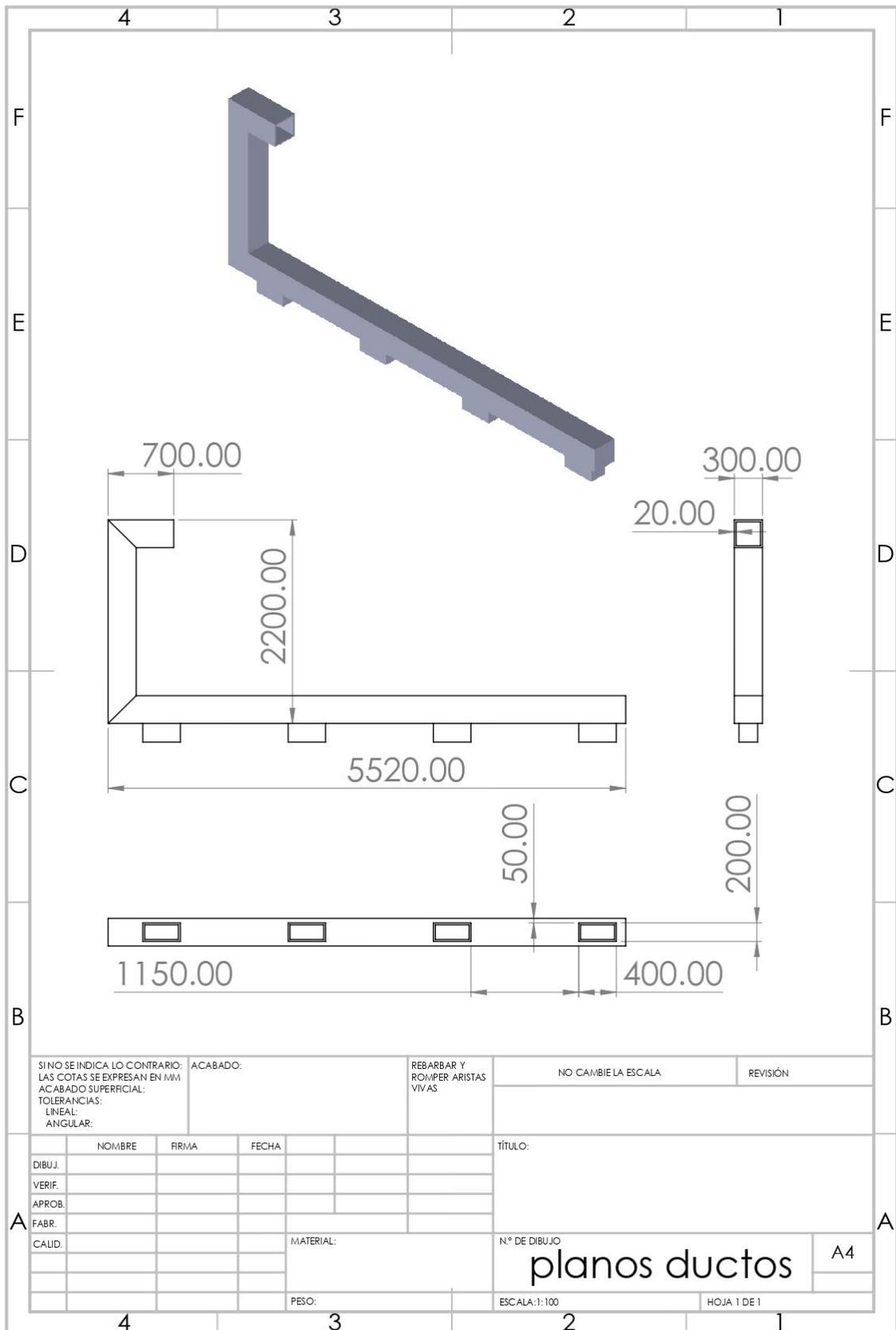
- Para el sistema de extracción se recomienda instalar un filtro de carbono de 2" ya que son empleados en la filtración de vapores tóxicos, ácidos o de procesos de combustión de plástico u otros. Este se encargará del control de vapores y bacterias que generan los malos olores, controlan los niveles de humedad ambiental causante de la corrosión o problemas de salud en personas con enfermedades respiratorias manteniendo así un alto grado de limpieza y calidad en el aire.
- Se recomienda para el sistema de extracción que el ducto sea en material de fibra de vidrio ya que se destaca por ser más seguras y silenciosas para el sistema ya que ofrece muchas ventajas como, máxima eficiencia en la obra, mayor precisión y menores pérdidas de carga, mejor acabado y menores desperdicios.
- Para la selección del ventilador, de acuerdo con su capacidad ( $m^3/s$ ), se debe dar un 15% más al requerimiento de aire calculado para el sistema.



# A. Anexo: Planos de fabricación.

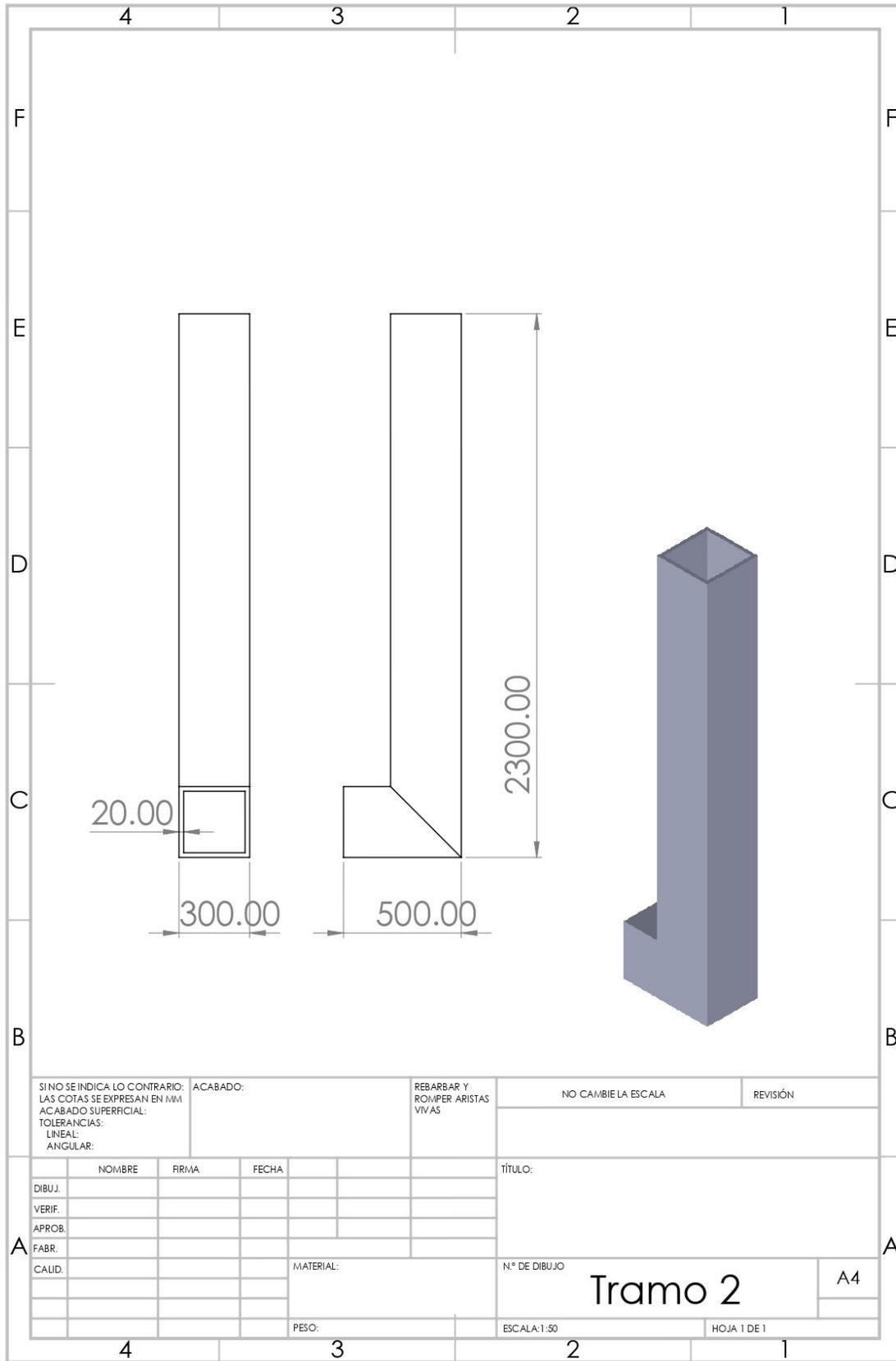
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM. ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:          <b>planos ductos</b>			A4
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CALID.							
MATERIAL:			N.º DE DIBUJO		ESCALA: 1:100		HOJA 1 DE 1
PESO:			ESCALA: 1:100		HOJA 1 DE 1		

G



SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
TÍTULO:						
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.				MATERIAL:	N° DE DIBUJO	
					planos ductos	
				PESO:	ESCALA:1:100	HOJA 1 DE 1

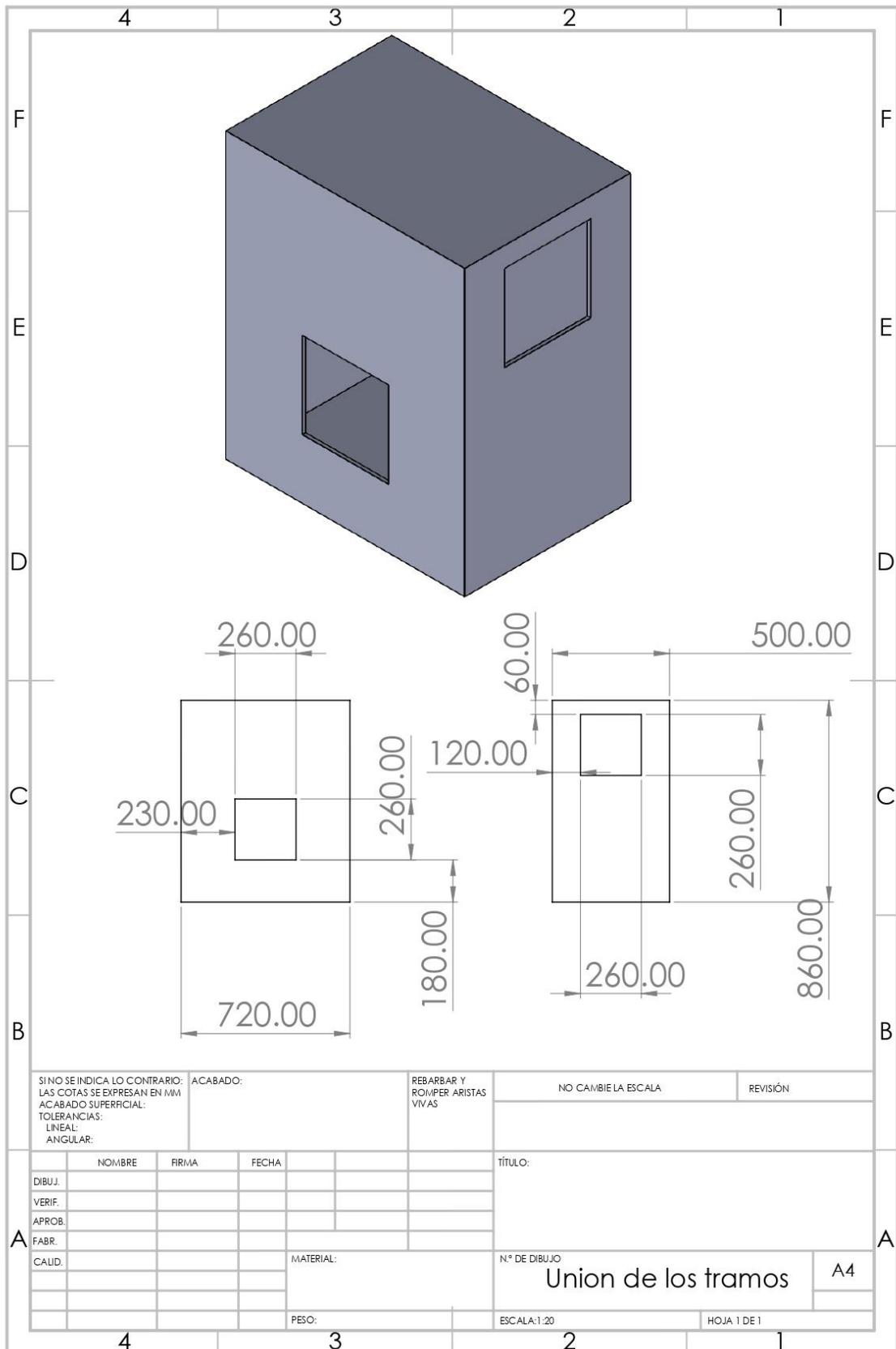
A4

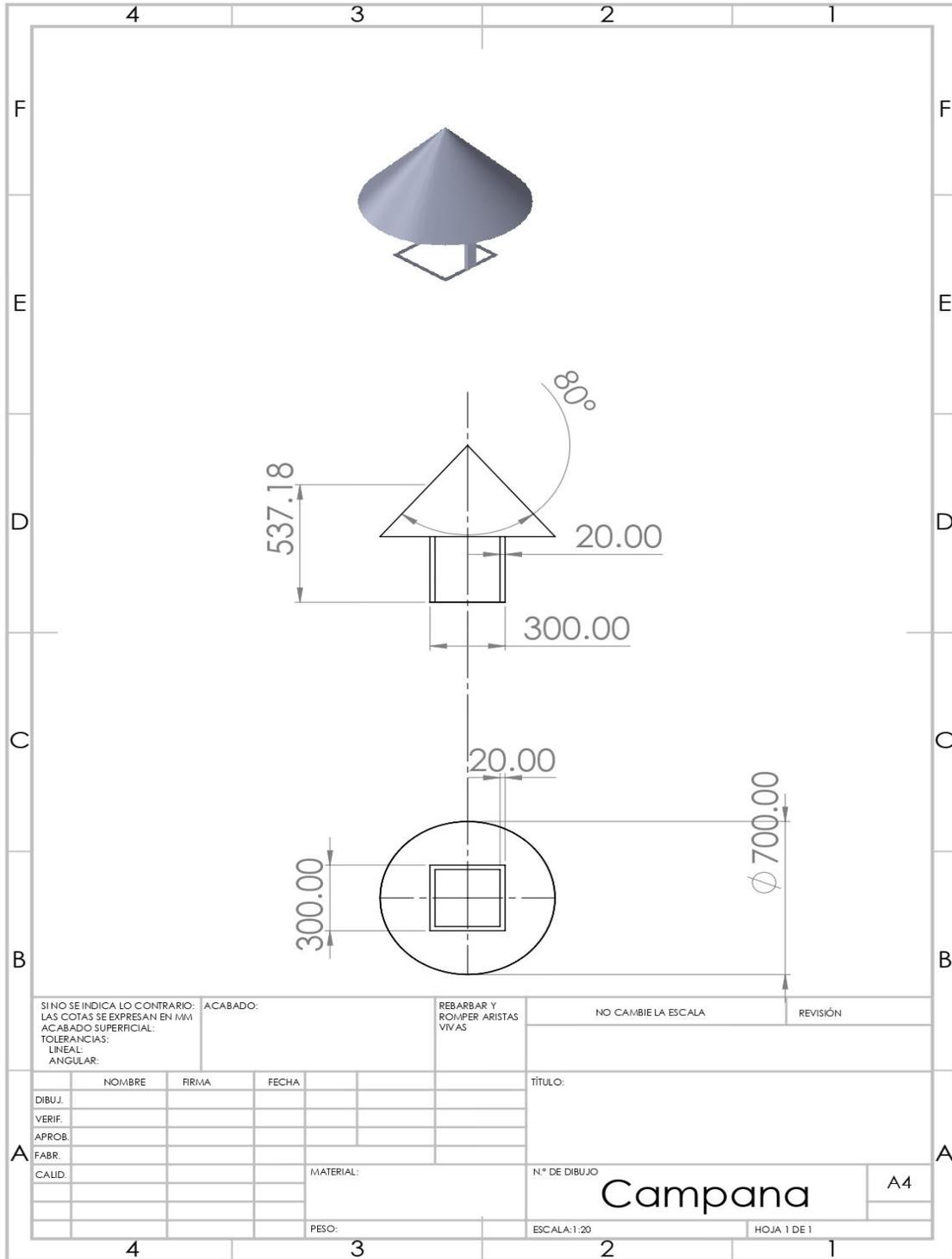


SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.		VERIF.	APROB.	TÍTULO:	
FABR.		MATERIAL:		N° DE DIBUJO	
CAUID.		PESO:		ESCALA: 1:50	
				HOJA 1 DE 1	

Tramo 2

A4





SINO SE INDICA LO CONTRARIO:  
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
 ACABADO SUPERFICIAL:  
 TOLERANCIAS:  
 LINEAL:  
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y  
 ROMPER ARISTAS  
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUD.					
				MATERIAL:	
				PESO:	

TÍTULO:

N° DE DIBUJO

Campana

A4

ESCALA: 1:20

HOJA 1 DE 1

## B. Anexo: Presupuesto

1. VENTILACIÓN			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	TOTAL
Ducto en fibra de vidrio en m <sup>2</sup>	31,24	\$ 84.042	\$ 2.625.472
Soporte metálico de acero galvanizado	11	\$ 7.806	\$ 85.866
motor de inducción eléctrico trifásico de 3Hp	1	\$ 975.830	\$ 975.830
Filtro de cerdas para ventilador	3	\$ 136.167	\$ 408.501
Base metálica para el ventilador	1	\$ 499.999	\$ 499.999
Rejillas de aluminio s de 200mm x 400mm	4	\$ 45.000	\$ 180.000
<b>SUB-TOTAL</b>			<b>\$ 4.775.668</b>
2. CONTROL AUTOMÁTICO			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	TOTAL
Fusible	5	\$5.000,00	\$ 25.000
Interruptor termomagnético tripolar	1	\$90.000,00	\$ 90.000
Interruptor termomagnético bipolar	1	\$75.000,00	\$ 75.000
Contactador trifásico	4	\$127.000,00	\$ 508.000
Relé térmico	2	\$55.000,00	\$ 110.000
Relé temporizado	2	\$49.500,00	\$ 99.000
Pulsador paro de emergencia NC	1	\$43.000,00	\$ 43.000
Pulsado normalmente abierto NO	1	\$12.000,00	\$ 12.000
<b>SUB-TOTAL</b>			<b>\$ 962.000</b>

3. MATERIALES					
Descripción	Cantidad	Valor unitario	TOTAL		
Rollo de cable 12AWG (100 metros)	3	\$ 189.000	\$ 567.000		
Tubo ETM de 1/2 "	5	\$ 120.000	\$ 600.000		
Uniones EMT de 1/2 "	6	\$ 2.250	\$ 13.500		
Grapas EMT de 1/2 "	20	\$ 600	\$ 12.000		
Cajas EMT 4x4	10	\$ 3.200	\$ 32.000		
Tapa EMT para caja 4x4	10	\$ 1.900	\$ 19.000		
Conectores EMT de 1/2 "	6	\$ 3.100	\$ 18.600		
Tornillos autoperforante de 1/8 "	100	\$ 200	\$ 20.000		
Tornillos hexagonal de 1/4 "	6	\$ 1.300	\$ 7.800		
Chazos plastico de anclaje de 1/8 "	100	\$ 150	\$ 15.000		
Conector de cables para terminales calibre #12	100	\$ 500	\$ 50.000		
Cuerva EMT de 1/2 "	3	\$ 5.100	\$ 15.300		
Varilla roscada metalica de 1/4" X 100 cm	11	\$ 6.100	\$ 67.100		
Anclaje metalico de rosca interna para concreto de 1/4"	11	\$ 4.400	\$ 48.400		
Anclaje de la base del ventilador para concreto de 1/2"	4	\$ 1.000	\$ 4.000		
<b>SUB-TOTAL</b>			<b>\$ 1.489.700</b>		
4. MANO DE OBRA					
Detalle de obra	Personal encargado	Horas de trabajo	Costo de hora de trabajo	SUB-TOTAL	
Instalación de ducteria	1	16	\$ 25.000	\$ 400.000	
Instalación eléctrica	1	8	\$ 25.000	\$ 200.000	
Instalación de elementos de sistema de control	1	5	\$ 27.000	\$ 135.000	
Programación de sistema de control	1	8	\$ 29.000	\$ 232.000	
Diseño y simulación del sistema de ventilación	1	30	\$ 35.000	\$ 1.050.000	
<b>SUB-TOTAL</b>		<b>\$ 5</b>	<b>\$ 67</b>	<b>\$ 141.000</b>	<b>\$ 2.017.000</b>

# Bibliografía

(s.f.). Obtenido de

<http://www.andi.com.co/Uploads/Resoluci%C3%B3n%202254%20de%202017-Calidad%20del%20aire.pdf>

(2010). Obtenido de

[http://portal.anla.gov.co/documentos/tramites\\_servicios/Metodolog%C3%ADa-c%C3%A1lculo-multas-por-infracci%C3%B3n-a-la%20normativa-ambiental.pdf](http://portal.anla.gov.co/documentos/tramites_servicios/Metodolog%C3%ADa-c%C3%A1lculo-multas-por-infracci%C3%B3n-a-la%20normativa-ambiental.pdf)

Awbi, H. B. (2007). *Ventilation Systems: Design and Performance*.

Baturin, V. (1976). *Fundamentos de ventilacion industrial*. Labor S.A.

*bloquesautocad*. (s.f.). Obtenido de <https://www.bloquesautocad.com/detalle-colocacion-conducto-climatizacion/>

Cengel. (s.f.). *Mecanica de fluidos* .

*Chicago*. (s.f.). Obtenido de <http://chicagoblower.com/bulletins-app/ICF-105.pdf>

*Climatizacion10*. (s.f.). Obtenido de <http://climatizacion10.com/ventilacion-forzada/>

*Electromatic*. (s.f.). Obtenido de

<https://electromatic2012.blogspot.com/2013/06/introduccion-al-control-automatico.html>

Ferdinand P. Beer, E. R. (1982). *Mecanica de materiales*.

Goberna, R. (1988). *Industrial ventilation* . España.

*Gunt hamburg*. (2020). Obtenido de [https://gunt.de/images/download/flow-in-pipes-and-fittings\\_english.pdf](https://gunt.de/images/download/flow-in-pipes-and-fittings_english.pdf)

*Herramientas de ingeniero*. (6 de Abril de 2019). Obtenido de

<https://herramientasdeingenieros.com/tag/rugosidad/>

*Istas*. (s.f.). Obtenido de <https://istas.net/istas/riesgo-quimico/efectos-sobre-la-salud-y-el-medio-ambiente/enfermedades-por-agentes-quimicos#:~:text=Algunas%20de%20las%20enfermedades%20m%C3%A1s,del%20sistema%20nervioso%20y%20c%C3%A1nceres>.

*Refrinoticias*. (29 de Noviembre de 2010). Obtenido de <https://refrinoticias.com/397/>

*Remotelab*. (s.f.). Obtenido de <https://sites.google.com/site/teoriaarranquesmotores/>

*researchgate*. (s.f.). Obtenido de [https://www.researchgate.net/figure/Relacion-esfuerzo-deformacion\\_fig1\\_281376117](https://www.researchgate.net/figure/Relacion-esfuerzo-deformacion_fig1_281376117)

*Siber ventilacion inteligente*. (2016). Obtenido de <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/evolucion-de-los-sistemas-de-ventilacion-a-lo-largo-de-la-historia/>

Ullman, D. G. (1991). *The Mechanical Design Process*. Fourth.

Zapata, F. (s.f.). *Lifeder*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/esfuerzo-normal/>

*Siber ventilacion inteligente*. (2019). Obtenido de <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/cual-es-la-formula-que-nos-permite-calculiar-el-caudal-de-aire-de-renovacion/>

*Densidad del aire - Density of air* *Densidad del aire*. (2020). [https://es.qaz.wiki/wiki/Density\\_of\\_air](https://es.qaz.wiki/wiki/Density_of_air)

*Solerpalau.Calculo de conductos*. (2018).<https://www.solerpalau.com/es-es/blog/calculo-conductos-ventilacion/>