



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE SISTEMA DE VENTILACIÓN MECÁNICA PARA UNA  
NAVE INDUSTRIAL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Mecánico

AUTOR: DAVID EDUARDO LITUMA BRAVO

TUTOR: JOHN IGNACIO CALLE SIGUENCIA

Cuenca – Ecuador

2024

# **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, David Eduardo Lituma Bravo con documento de identificación N° 0106036445 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 14 de febrero del 2024

Atentamente,



---

David Eduardo Lituma Bravo  
0106036445

# **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, David Eduardo Lituma Bravo con documento de identificación N° 0106036445, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Diseño de sistema de ventilación mecánica para una nave industrial”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 14 de febrero del 2024

Atentamente,



---

David Eduardo Lituma Bravo  
0106036445

# CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, John Ignacio Calle Siguencia con documento de identificación N° 0102118213, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE SISTEMA DE VENTILACIÓN MECÁNICA PARA UNA NAVE INDUSTRIAL, realizado por David Eduardo Lituma Bravo con documento de identificación N° 0106036445, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 14 de febrero del 2024

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:  
**JOHN IGNACIO CALLE**  
**SIGUENCIA**

---

**Ing. John Ignacio Calle Siguencia, Ph.D**

**0102118213**



# Dedicatoria

*David Lituma*

El presente proyecto de titulación está dedicado:

A Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza para llevar a cabo cada una de las metas que me he propuesto.

A mis padres Miguel y Silvia, quienes con su cariño, paciencia, esfuerzo y apoyo incondicional me han permitido llegar a cumplir otro de los objetivos trazados. Gracias por siempre ser mi pilar e inculcar en mi constancia, valentía y esfuerzo.

Finalmente, dedico a las personas que formaron parte del proceso y me brindaron su apoyo de una u otra forma.

# Agradecimientos

## *David Lituma*

Agradezco principalmente a Dios por permitirme llegar a cumplir esta meta tan anhelada y por brindarme salud, fuerza e impartirme sabiduría a lo largo del proceso.

Agradezco profundamente a mis padres que, gracias al cariño recibido, apoyo, paciencia y comprensión ha sido posible lograr cada una de las metas que me he propuesto, gracias a mi madre por estar siempre dispuesta a acompañarme, guiarme y apoyarme en cada situación, y en cada larga jornada de estudio, en las que su compañía, consejos y abrazos eran para mí como un impulso para continuar hacia adelante y cumplir con los propósitos planteados; a mi padre por siempre alentarme y guiarme en la vida.

Además, me gustaría agradecer a mi Tutor de Proyecto de Titulación Ing. John Ignacio Calle Sigüenza, a quien admiro; por su esfuerzo y dedicación brindados al actual trabajo de titulación. Sus orientaciones, conocimientos y su paciencia han sido esenciales para culminar con el presente.

También quiero agradecer a Ing. Luis López, Ing. Freddy Moncayo, quienes han estado prestos para solventar cualquier duda presentada y brindar sugerencias.

Este documento fue realizado enteramente en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

# Índice

<b>Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación</b>	<b>I</b>
<b>Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación</b>	<b>II</b>
<b>Certificado de dirección del trabajo de titulación</b>	<b>III</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>IV</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>V</b>
<b>Resumen</b>	<b>XIII</b>
<b>Abstract</b>	<b>XIV</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Problema</b>	<b>2</b>
2.1. Antecedentes . . . . .	2
2.2. Descripción del problema . . . . .	2
2.3. Importancia y alcances . . . . .	2
2.4. Delimitación . . . . .	3
2.5. Problema General . . . . .	3
2.6. Problemas Específicos . . . . .	4
<b>3. Objetivos</b>	<b>4</b>
3.1. Objetivo General . . . . .	4
3.2. Objetivos Específicos . . . . .	4
<b>4. Hipótesis</b>	<b>4</b>
<b>5. Marco Teórico</b>	<b>5</b>
5.1. Proceso de fabricación de neumáticos . . . . .	5
5.2. Sistema de ventilación . . . . .	6
5.2.1. Partes de un Sistema de Ventilación . . . . .	7
5.3. Tipos de Ventiladores Mecánicos . . . . .	10
5.3.1. Ventilador centrífugo . . . . .	10

5.3.2.	Ventilador axial . . . . .	11
5.3.3.	Ventilador tangencial . . . . .	12
5.4.	Materiales a ser almacenados en la nave insutrial . . . . .	13
5.4.1.	Acero . . . . .	13
5.4.2.	Sustancias Químicas (Caucho sintético) . . . . .	14
5.4.3.	Caucho natural . . . . .	15
5.5.	Temperaturas de almacenamiento . . . . .	17
5.6.	Humedad relativa . . . . .	17
5.7.	Calidad de Aire . . . . .	18
5.8.	Nivel de ruido . . . . .	18
5.9.	Tipo de presión . . . . .	19
5.10.	Número de Renovaciones . . . . .	20
5.11.	Caudal mínimo del aire exterior de ventilación . . . . .	21
5.12.	Nivel de filtración de aire . . . . .	21
5.13.	Caja de filtrado . . . . .	22
5.14.	Selección de tipo de Ductos . . . . .	23
5.15.	Determinación de la sección del ducto . . . . .	24
5.16.	Perdidas de Presión . . . . .	25
5.17.	Métodos para cálculo de costos . . . . .	26
5.17.1.	Precios unitarios . . . . .	26
<b>6.</b>	<b>Metodología</b>	<b>28</b>
6.1.	Definición de Variables . . . . .	29
6.1.1.	Condiciones de Almacenamiento . . . . .	29
6.1.2.	Condiciones del Recinto . . . . .	30
6.1.2.1.	Volumen del Recinto . . . . .	30
6.1.2.2.	Estructura . . . . .	30
6.1.2.3.	Disposición de Almacenaje . . . . .	31
6.1.3.	Condiciones Ambientales . . . . .	32
6.2.	Diseño de concepto - Propuesta de solución . . . . .	33
6.2.1.	Definición de necesidad . . . . .	33
6.2.2.	Esquema de Distribución . . . . .	33
6.3.	Diseño de Componentes del Sistema. . . . .	34
6.3.1.	Subsistema de Ductos . . . . .	35
6.3.1.1.	Componentes de Extracción . . . . .	35

6.3.1.2. Componentes de Suministro . . . . .	45
6.3.2. Subsistema Equipo . . . . .	48
6.3.2.1. Componentes de Suministro . . . . .	48
6.3.2.2. Componentes de Extracción . . . . .	51
6.3.3. Subsistema Eléctrico . . . . .	52
6.4. Diseño a detalle . . . . .	55
6.5. Análisis técnico financiero . . . . .	55
<b>7. Análisis de Resultados</b>	<b>59</b>
7.1. Condiciones iniciales requeridas . . . . .	59
7.2. Diseño del sistema de ventilación mecánica . . . . .	60
7.3. Análisis técnico financiero de la implementación del sistema de ventilación mecánica . . . . .	62
<b>8. Conclusiones</b>	<b>62</b>
<b>9. Recomendaciones</b>	<b>63</b>
<b>Referencias</b>	<b>70</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>71</b>
<b>Anexo A: Planos de los ductos del sistema propuesto</b>	<b>72</b>
<b>Anexo B: Simulación de velocidad en Ansys del ducto de suministro a 800 iteraciones</b>	<b>76</b>
<b>Anexo C: Simulación de presión en Ansys del punto más lejano del ducto de suministro</b>	<b>77</b>
<b>Anexo D: Simulación en Discovery Live del sistema a los 30s</b>	<b>78</b>
<b>Anexo E: Curva característica del ventilador PF/ATEX-H-1856-4T-10/2G EX EB</b>	<b>79</b>
<b>Anexo F: Tabla de datos del ventilador GR 630/T</b>	<b>80</b>
<b>Anexo G: Simulación del circuito eléctrico del sistema</b>	<b>81</b>

## Lista de Tablas

1.	Tabla de propiedades del Acero . . . . .	14
2.	Tabla de propiedades de caucho sintético . . . . .	15
3.	Tabla de propiedades del caucho natural . . . . .	16
4.	Calidad de aire según Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente . .	18
5.	Límites Máximos de Ruido Permisible según uso del Suelo . . . . .	19
6.	Corrección por nivel de Ruido de Fondo . . . . .	19
7.	La norma DIN 1946 indica el número aconsejable de renovaciones . . . . .	20
8.	Caudales mínimos de aire exterior . . . . .	21
9.	Concentraciones de aire exterior referenciales . . . . .	22
10.	Formato de análisis de precios unitarios . . . . .	27
11.	Ejemplo de integración de Cuadrillas . . . . .	28
12.	Precio de la mano de obra . . . . .	28
13.	Precio de la mano de obra . . . . .	29
14.	Concentración anual de partículas contaminantes . . . . .	33
15.	Tabla de componentes . . . . .	35
16.	Velocidad del aire atendiendo el ruido . . . . .	36
17.	Cálculo de pérdidas en sistema de extracción . . . . .	44
18.	Catálogo de rejillas de extracción de la Marca AirGuide . . . . .	45
19.	Cálculo de pérdidas en sistema de suministro . . . . .	47
20.	Industrial Supply Grilles and Registers . . . . .	47
21.	Tabla de pérdidas de presión en función de la clase de filtros . . . . .	48
22.	Perdidas dentro del sistema de suministro . . . . .	49
23.	Matriz de ponderación, Selección del tipo de ventilación . . . . .	49
24.	Matriz de datos de selección de ventilador . . . . .	50
25.	Matriz de ponderación, selección de ventilador . . . . .	50
26.	Perdidas dentro del sistema de extracción . . . . .	52
27.	Ítems del sistema eléctrico . . . . .	54
28.	Condiciones iniciales . . . . .	59
29.	Perdidas generadas por las rejillas . . . . .	60

## Lista de Figuras

1.	Ubicación de la empresa . . . . .	3
2.	Ilustración de funcionamiento de un sistema de ventilación simple . . . . .	7
3.	Extractores de la empresa S&P . . . . .	8
4.	Aberturas de Entrada y Salida . . . . .	8
5.	Filtros . . . . .	9
6.	Controlado . . . . .	9
7.	Silenciadores . . . . .	10
8.	Sistema de ductos . . . . .	10
9.	ventilador centrífugo . . . . .	11
10.	Ventilador axial . . . . .	12
11.	Ventilador tangencial . . . . .	13
12.	Acero comercial bajo Daegsa . . . . .	13
13.	Caucho sintético . . . . .	14
14.	Caucho natural . . . . .	16
15.	Características de los filtros . . . . .	23
16.	Ductos rectangulares . . . . .	24
17.	Perdidas de carga en codos . . . . .	25
18.	Cuadro Metodológico . . . . .	29
19.	Bosquejo del lateral estructural de la nave industrial . . . . .	30
20.	Planos de la nave industrial . . . . .	30
21.	Radio de cobertura . . . . .	31
22.	Distribución con áreas de cobertura de rejillas de suministro y extracción . . . . .	31
23.	Temperatura media Cuenca, Ecuador . . . . .	32
24.	Humedad media Cuenca, Ecuador . . . . .	32
25.	Esquema del sistema . . . . .	34
26.	Diseño de concepto . . . . .	34
27.	Sistema de extracción . . . . .	37
28.	Software InstaWin . . . . .	38
29.	Ingreso de datos . . . . .	38
30.	Ingreso de rejillas . . . . .	39
31.	Ingreso de tramos . . . . .	39
32.	Resumen cálculo . . . . .	40
33.	Informe final . . . . .	40



34.	Perdida de carga por rozamiento del aire . . . . .	41
35.	Diámetro equivalente de un ducto rectangular con igual perdida de carga . .	42
36.	Software DesingTools de cálculo de ductos de ventilación . . . . .	43
37.	soportes de ductos . . . . .	44
38.	Sistema de suministro . . . . .	46
39.	Informe final suministro . . . . .	46
40.	Ventilador DFM 561 N6A . . . . .	51
41.	Cabina de extracción . . . . .	51
42.	Ventilador CVTT-18/18 . . . . .	52
43.	Circuitos eléctricos . . . . .	53
44.	APU del subsistema eléctrico . . . . .	56
45.	APU del subsistema equipo . . . . .	57
46.	APU del subsistema ducto . . . . .	58
47.	Oferta del sistema de ventilación . . . . .	59
48.	Simulación de presión en Ansys del ducto de suministro . . . . .	61
49.	Simulación de flujo . . . . .	62

## Resumen

**E**l diseño del sistema de ventilación considera las condiciones iniciales requeridas, normativas y requisitos de almacenamiento que garantice una circulación eficiente del aire para su dimensionamiento y selección de equipos que fueron evaluados mediante una simulación en Ansys Fluent.

**Palabras clave:** Ventilación, Renovación de aire, Nave industrial.

## **Abstract**

**T**he design of the ventilation system considers the required initial conditions, regulations and storage requirements that guarantee efficient air circulation for its sizing and selection of equipment that were evaluated through a simulation in Ansys Fluent.

**Keywords:** Ventilation, Air renewal, Industrial unit.

# 1. Introducción

Los sistemas de ventilación desempeñan un papel crucial en el mantenimiento de una calidad del aire interior aceptable y el cumplimiento de regulaciones como las establecidas por la ASHRAE 170. Alimentados por ventiladores eléctricos y distribuidos mediante ductos, estos sistemas controlan la temperatura, humedad y olores, especialmente en entornos sensibles como hospitales. En este contexto, el ventilador centrífugo se destaca por su capacidad para proporcionar grandes volúmenes de aire a presión, siendo más eficiente y silencioso que los ventiladores axiales. Sin embargo, su uso conlleva riesgos como altas temperaturas o acumulación de gases si no se manejan adecuadamente.

Dentro del ámbito de la construcción, se imponen requerimientos para mantener el control y la seguridad, mediante normas y leyes que dependen de las características de funcionamiento de la estructura [1],[2]. Como lo menciona la Norma Ecuatoriana de la Construcción “NEC”, la estructura debe tener, como mínimo, la resistencia requerida, la cual se determina mediante un análisis estructural que considera las cargas que afectan a la estructura, como la carga viva, la carga muerta, la carga sísmica, entre otras, así como las combinaciones de estas [3],[4],[5].

En el área de la manufactura, una de las estructuras más usadas son las naves industriales debido a su versatilidad, rápida fabricación y montaje a la que suelen ser construidas debido a su diseño sencillo, pero funcional, donde sufre pequeñas modificaciones para ciertos requisitos individuales de cada empresa, comúnmente son construidos de acero estructural con un costo accesible y un impacto medioambiental nulo, las mismas son utilizadas para almacenamiento o para fabricación de diversos productos de consumo masivo [6],[7],[8],[9].

Dentro de las regulaciones para las naves industriales también se encuentran controles para el confort, gestión urbana, seguridad humana como la ambiental como se estipula en el decreto 314/2006 del Código Técnico de Edificación, en el Ajeno I, así como en las normas de seguridad, que indican, que deben tener sistemas básicos como son el de drenaje, contra incendios, ventilación, eléctrico, etc [10] [11] [12].

## **2. Problema**

### **2.1. Antecedentes**

Actualmente, la empresa procesa caucho así como otros materiales para ser una de las principales empresas fabricantes de neumáticos en el mundo y que posee una planta industrial en el Ecuador, en la ciudad de Cuenca. Al ser una empresa transnacional, sus productos actualmente son exportados, principalmente a EEUU y Centro América. Debido a los altos niveles de producción, la empresa requiere servicios de arrendamiento de bodegas para almacenar sus productos terminados y sus materias primas. Sin embargo, este gasto adicional incrementa sus costos fijos de producción, elevando el precio del producto final.

La empresa actualmente dispone de un espacio físico con los permisos respectivos de construcción a las orillas del río Machangara, por lo que se ha destinado para la construcción de una nave industrial con el fin antes mencionado. Para el adecuado almacenamiento de productos terminados y materia prima es necesario el control adecuado del ambiente donde se conservaran los mismos, por lo que es necesario el estudio técnico del mismo.

### **2.2. Descripción del problema**

La nave industrial se destinará al almacenamiento de producto terminado elaborado a base de elementos poliméricos y materias primas utilizadas en la elaboración de neumáticos como caucho natural, caucho sintético, negro de humo, entre otros. Por lo tanto, es obligatorio, según las normativas que rigen en el país con respecto a la seguridad industrial y contaminación ambiental, instalar un sistema de ventilación para la conservación del producto y principalmente la integridad de los trabajadores, considerando que los mismos deben laborar en lugares que presten las condiciones seguras de acuerdo a la normativa internacional que rige la empresa.

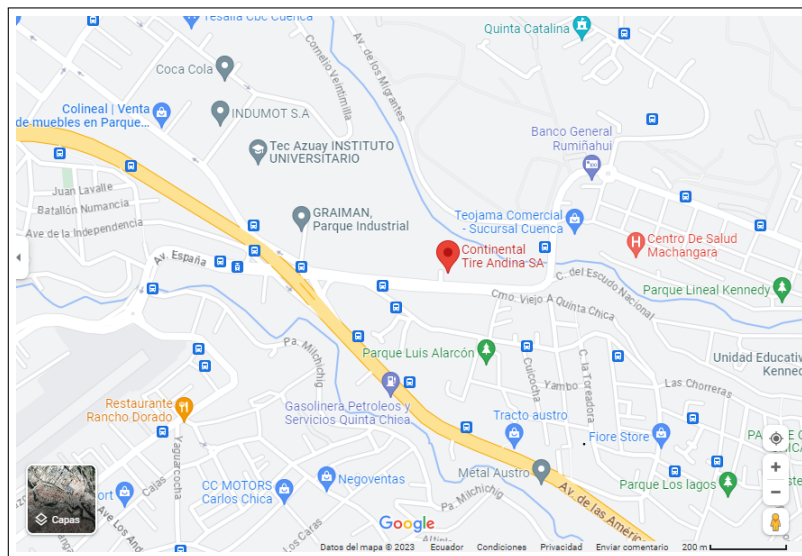
### **2.3. Importancia y alcances**

La construcción de la nave industrial representaría una inversión la cual se amortizaría en pocos años por el hecho que el almacenamiento como el transporte para disponer o almacenar productos o materia prima serían de uso frecuente, Por lo tanto, es obligatorio que los estándares de seguridad y bienestar deberán ser empleados, una de estas condiciones es la instalación de un sistema de ventilación adecuada al uso de la estructura para evitar acumulación de cierto

tipo de gases los cuales pueden causar múltiples accidentes e incomodidades a los trabajadores, el estudio permitirá cumplir con los requisitos del artículo 53 del reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo. El trabajo de titulación permitió establecer el diseño de ventilación idóneo, pero no su implementación e instalación.

## 2.4. Delimitación

La investigación se desarrolló durante el periodo académico 63, que se está comprendido entre los meses de octubre del 2023 y febrero del 2024 en la ciudad de Cuenca, en la provincia del Azuay (Figura 1). El trabajo de titulación está dentro del sector manufacturero de productos de consumo masivo a base de materiales poliméricos, específicamente con caucho de producción nacional e internacional para la elaboración de llantas o neumáticos de vehículos livianos y pesados.



**Figura 1.** Ubicación de la empresa [13].

## 2.5. Problema General

¿Considerando las condiciones de almacenamiento requerido para una empresa productora de neumáticos es factible diseñar un sistema de ventilación mecánico para una nave industrial usada para el efecto para garantizar los bienes materiales y el cuidado del personal?

## **2.6. Problemas Específicos**

- ¿Es posible identificar las condiciones requeridas para el diseño partiendo de un análisis de los elementos a almacenar y la normativa correspondiente?
- ¿Es factible diseñar el sistema de ventilación mecánica considerando las condiciones de almacenamiento de la nave industrial bajo la normativa existente utilizando software de ingeniería para garantizar la funcionalidad de los sistemas y la factibilidad de implementación de este?
- ¿Con un análisis técnico financiero utilizando la metodología de precios unitarios es posible determinar costos de implementación del sistema?

## **3. Objetivos**

### **3.1. Objetivo General**

Diseñar un sistema de ventilación mecánica para una nave industrial, considerando las condiciones de almacenamiento y la normativa vigente para una empresa productora de neumáticos, garantizando el cuidado de los bienes materiales y la salud del personal.

### **3.2. Objetivos Específicos**

- Identificar las condiciones requeridas para el diseño partiendo de un análisis de los elementos a almacenar y la normativa correspondiente
- Diseñar el sistema de ventilación mecánica considerando las condiciones de almacenamiento de la nave industrial, la normativa existente, utilizando software de ingeniería para garantizar la funcionalidad de los sistemas y la factibilidad de implementación de este.
- Realizar un análisis técnico financiero para determinar los costos de implementación del sistema

## **4. Hipótesis**

Con un diseño considerando las normativas y condiciones iniciales requeridas para la nave industrial, se puede identificar la funcionalidad del sistema a través del software de ingeniería y determinar los costos de implementación.

## 5. Marco Teórico

En primer lugar, se abordó el proceso de fabricación de neumáticos, los sistemas de ventilación y la normativa correspondiente, específicamente para edificaciones como naves industriales. En segundo lugar, se discutió los materiales utilizados en estos sistemas. Por último, se determinó los métodos para calcular los costos de este tipo de sistemas.

Para los sistemas de ventilación, se describió qué son y los diferentes tipos de sistemas de ventilación mecánica disponibles. Se destacó aquellos más funcionales para esta propuesta, considerando que se deberá seleccionar un tipo de sistema para continuar con el diseño, basándose en los parámetros proporcionados por estos.

### 5.1. Proceso de fabricación de neumáticos

Para determinar la necesidad, se inició con el análisis del proceso de fabricación de las llantas en la empresa, el cual continúa con el siguiente proceso [14] [15] [16]:

- Aprovisionamiento de materiales y fabricación de compuestos
  - Acero.
  - Sustancias Químicas (como el caucho sintético)
  - Caucho natural
- Se mezclan los materiales (entre sustancias químicas y caucho natural) en una máquina conocida como mezcladora.
- Se fabrican de componentes como los:
  - Cables de acero
  - Perfil
  - Cable tejido
  - Aro de acero
  - Flanco
  - Aislamiento interior

Los cuales serán usados para crear la estructura del neumático



- Fabricación del neumático

En esta etapa del proceso, se ensamblan los productos semiacabados, como los cables de acero y los tejidos, que se incrustan dentro de los perfiles de la mezcla. Posteriormente, se unen a los flancos que se convertirán en las caras laterales del neumático, donde son moldeados al ensamblar los aros de acero para dar forma a la llanta. Luego, se le aplica un aislamiento interior y se pulveriza con un líquido especial para prepararlo para la vulcanización.

- Vulcanización

En este punto crucial del proceso, los neumáticos adoptan su forma definitiva después de ser vulcanizados durante un tiempo específico y a una presión y temperatura determinadas dentro de la prensa de curado. Durante este proceso, el caucho crudo se transforma en caucho flexible y elástico. Los moldes de la prensa de curado tienen grabado el patrón del perfil y las marcas del flanco.

- Control de calidad

- Una inspección visual
- Rayos X
- Varias revisiones de uniformidad de los neumáticos

- Almacenamiento del producto terminado

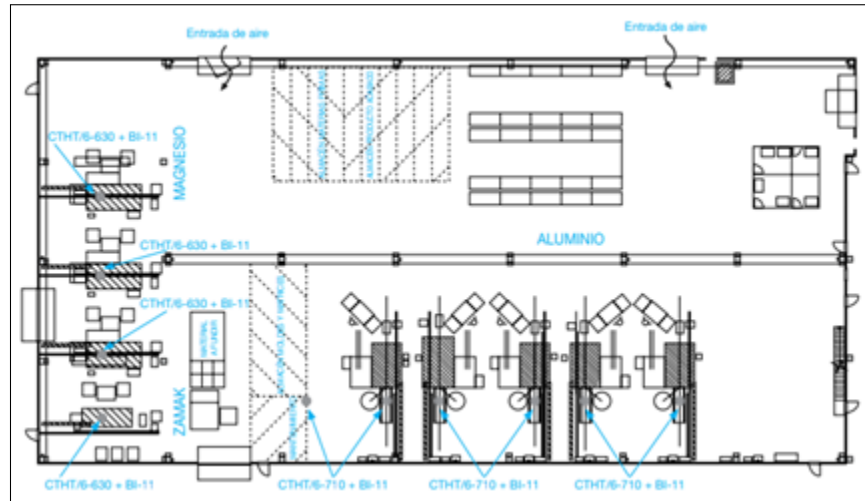
Cuando el producto este es llevado a su almacenamiento hasta que la cantidad de elementos finalizados sea superior a los del pedido.

Una vez aclarado todo el proceso por el cual pasan los productos, se destacó un inconveniente en el transporte de la materia prima y el almacenamiento del producto terminado. Estos no solo representan un costo añadido, sino también un tiempo perdido en la espera. Por lo tanto, se planteó el proyecto de construir una nave industrial dentro del terreno de la empresa, la cual, según la normativa, requiere un sistema de ventilación [14] [15].

## **5.2. Sistema de ventilación**

Los sistemas de ventilación son aquellos que facilitan el movimiento del aire, ya sea introduciéndolo o expulsándolo de un edificio, mediante la acción de un ventilador alimentado por energía eléctrica. Estos sistemas suelen estar acompañados de ductos de ventilación que

distribuyen un flujo de aire adecuado. Además, se detallan en los planos, como se muestra en la Figura 2 [17].



**Figura 2.** Ilustración de funcionamiento de un sistema de ventilación simple [17].

Se destaca su importancia, ya que se utilizan para garantizar una calidad del aire interior aceptable, con el fin de minimizar las molestias y proporcionar confort ambiental al controlar la temperatura, humedad y olores. Además, cumplen con los requerimientos mínimos establecidos por las condiciones recomendadas por la ASHRAE 170. Estas condiciones aseguran que se eviten molestias relacionadas principalmente con el malestar y la potencial transmisión aérea de contagios en sectores médicos, como hospitales [18].

### 5.2.1. Partes de un Sistema de Ventilación

Un sistema de ventilación mecánica comprende diversas partes esenciales que colaboran de manera conjunta para asegurar un flujo de aire controlado y adecuado dentro de un espacio determinado. Los elementos específicos de un sistema de ventilación varían según el tipo de área (residencial, comercial o industrial), su propósito y las necesidades particulares del entorno. Por tanto, a continuación se expondrán los principales componentes de un sistema de ventilación mecánica [19] [20] [21] [22]:

- **Ventiladores:** Son dispositivos responsables de generar el movimiento del aire dentro del sistema. Pueden adoptar la forma de ventiladores axiales, como

los que se muestran en la Figura 3, donde el aire fluye en línea recta con respecto al eje del ventilador, o ventiladores centrífugos, en los que el flujo es perpendicular a dicho eje. Estos componentes suelen estar conectados a motores eléctricos [19].



**Figura 3.** Extractores de la empresa S&P [19].

- Aberturas de Entrada y Salida de Aire:** Son las aperturas ubicadas en paredes o techos por donde el aire ingresa o sale del sistema, como se ejemplifica en la Figura 4. Estas aberturas pueden contar con rejillas o compuertas ajustables que regulan tanto la dirección como la cantidad de aire que fluye. La rejilla de extracción deberá dimensionarse de manera que las velocidades y niveles de ruido no superen los límites establecidos en la Ley 5/2009 [19] [20].



**Figura 4.** Aberturas de Entrada y Salida [20]

- **Filtros:** Se incorporan al sistema para eliminar partículas y contaminantes del aire antes de que se distribuya en el interior del espacio. Este proceso contribuye a mejorar la calidad del aire y a salvaguardar los componentes internos del sistema. El aire atraviesa múltiples capas de filtrado, como se muestra en el filtro rectangular de la Figura 5 [19].



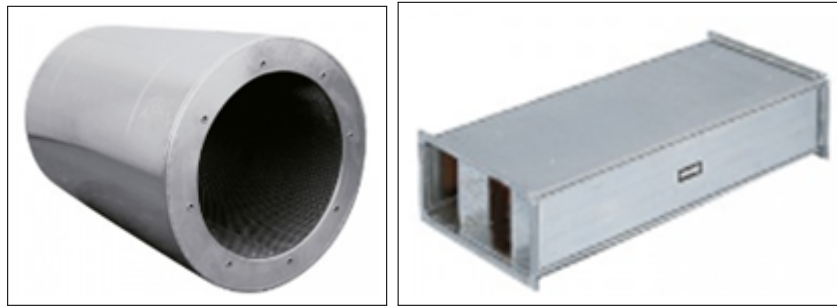
**Figura 5.** Filtros [19].

- **Controles y Termostatos:** Los sistemas de ventilación habitualmente incluyen sistemas de control que permiten ajustar factores como la velocidad de los ventiladores, la temperatura del aire y la dirección de la distribución según las necesidades específicas [19].



**Figura 6.** Controlado [19].

- **Silenciadores:** En ciertos sistemas, especialmente aquellos que requieren niveles reducidos de ruido, es posible incorporar silenciadores en los ductos para atenuar el ruido generado por el flujo de aire. Los silenciadores están disponibles en varios modelos, como se muestra en la Figura 7 [19] [21].



**Figura 7.** Silenciadores [21].

- **Sistemas de los ductos:** Aquí se incluyen los reductores, codos y los ductos propiamente dichos, que se encargarán de direccionar el flujo de aire, ya sea de entrada o salida. Estos ductos pueden ser rectangulares o circulares y se fabrican utilizando materiales como el metal, plástico o fibra de vidrio. Se pueden observar un ejemplo en la Figura 8 [22].



**Figura 8.** Sistema de ductos [22].

## 5.3. Tipos de Ventiladores Mecánicos

### 5.3.1. Ventilador centrífugo

El ventilador centrífugo desempeña un papel esencial en sistemas de climatización e industriales. Se destaca por su capacidad para proporcionar cantidades significativas de aire a presión. Su diseño, con una carcasa en espiral, dirige el flujo de aire hacia afuera, permitiendo una salida más potente y con mayor presión. Este tipo de ventilador se distingue por su eficiencia en ambientes con contaminación del aire y niveles de ruido inferiores a los ventiladores axiales, siendo ideal para entornos que requieren menor ruido. Su funcionamiento implica una hélice que gira rápidamente, succionando y expulsando el aire en la dirección deseada.

Las características claves incluyen la capacidad de generar presión y succión, el ángulo de inclinación de la hélice que controla el flujo de aire, la velocidad del motor que determina la potencia y la habilidad para aspirar aire de un punto específico para expulsarlo en otro. Además, destaca por su capacidad de acoplarse a elementos que redirigen el aire de salida alineándolo con el de entrada, con una eficiencia típica de 70-88%. Se ha identificado un nivel de potencia acústica teórica de 104.71 dB para el modelo de ventilador de 7 álabes rectos hacia atrás, uno de los más eficientes[23] [24].

Los ventiladores centrífugos ofrecen varios beneficios. Mejoran la calidad del aire, previenen la acumulación de gases peligrosos, regulan la temperatura y la humedad en entornos de trabajo. Estos beneficios son especialmente relevantes en sectores industriales, comerciales y de construcción, donde los trabajadores pueden enfrentarse a condiciones extremas o contaminantes peligrosos [23] [24].



**Figura 9.** ventilador centrífugo [25].

No obstante, el uso de ventiladores centrífugos conlleva riesgos significativos, como la generación de altas temperaturas y la acumulación de gases peligrosos si no se utilizan o mantienen adecuadamente. Además, la falta de capacitación de los trabajadores para operar cerca de los ventiladores puede resultar en lesiones como cortaduras, contusiones o quemaduras [23] [24].

### **5.3.2. Ventilador axial**

El ventilador axial es la opción preferida en situaciones que requieren una gran cantidad de aire a baja presión, como en sistemas de ventilación residencial o comercial. Su diseño se caracteriza por una hélice que gira alrededor de un eje central, permitiendo que el aire se desplace en línea recta hacia afuera. Estos ventiladores se destacan por su eficiencia energética

superior en comparación con los centrífugos, siendo especialmente adecuados para espacios pequeños y abiertos [26] [27].

En este tipo de ventiladores, el aire sigue una trayectoria paralela al eje de la hélice, siendo impulsado por un número variable de álabes o palas ancladas en un núcleo. A diferencia de los centrífugos, los ventiladores axiales son ideales cuando se necesita mover un gran caudal de aire con baja presión, siendo útiles en instalaciones con poca pérdida de carga. Son especialmente eficaces en aplicaciones industriales donde los niveles de ruido son secundarios, destacando por su alta velocidad y la necesidad de aletas directrices para obtener rendimientos óptimos. Además, su eficiencia típica se encuentra entre el 55-85% [26] [27].

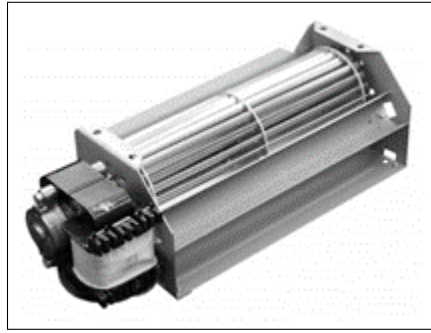


**Figura 10.** Ventilador axial [28].

Los ventiladores axiales tienen la capacidad de generar hasta 35 dB cuando se altera la velocidad para analizar un espectro de ruido. En términos de precauciones, se advierte que los materiales inflamables o explosivos deben retirarse de la zona de trabajo antes de comenzar a trabajar. Esto incluye la eliminación de acumulaciones de polvo, cartones, material de embalaje, textiles, madera y tablillas de madera. Asimismo, se debe evitar la generación de chispas cerca del equipo debido al riesgo de explosión asociado con la máquina [26] [27].

### **5.3.3. Ventilador tangencial**

Los ventiladores tangenciales tienen baja presión de trabajo y bajo nivel de ruido. Son pequeños, con accionamiento directo y diámetro reducido, lo que los hace ideales para espacios limitados. Además, presentan una alta eficiencia y ofrecen protección contra polvo y humedad, con una eficiencia típica del 25%. En varias casas comerciales, estos ventiladores pueden generar hasta  $64,000 \text{ m}^3/\text{h}$  [29].

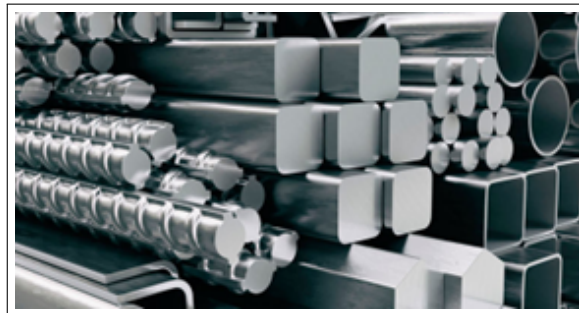


**Figura 11.** Ventilador tangencial [29].

## **5.4. Materiales a ser almacenados en la nave insutrial**

### **5.4.1. Acero**

El acero se emplea frecuentemente en la fabricación de neumáticos debido a su notable resistencia y ductilidad. Las características mecánicas, como su resistencia, ductilidad y dureza, varían según el tipo de aleación y composición del acero en sí. La resistencia de los materiales es de suma importancia en aplicaciones estructurales y en la fabricación de neumáticos para vehículos, siendo un factor clave que los ingenieros deben considerar [30] [31].



**Figura 12.** Acero comercial bajo Daegsa [32]

Las llantas fabricadas con aleaciones de acero son comunes en vehículos de gama baja y media, ya que poseen cualidades mecánicas destacadas y son económicas. Estas llantas suelen tener un diseño más sólido, ya que la resistencia del material no permite configuraciones con radios [33].

Para mejorar la definición de las propiedades del acero, las cuales se observan en la Tabla 1, se consideran como referencia los materiales más comunes dentro de la gran variedad de aceros que existen en venta [34]:



**Tabla 1.** Tabla de propiedades del Acero [34].

Propiedades del Acero	
Densidad	$\rho = 7.7 - 8.1$ [kg/dm <sup>3</sup> ]
Módulo de elasticidad	$E = 190 - 210$ [GPa]
Relación de Poisson	$\nu = 0.27 - 0.30$
Conductividad térmica	$\alpha = 11.2 - 48.3$ [W/mK]
Expansión térmica	$a = 9 - 27$ [ $10^{-6} / K$ ]

### 5.4.2. Sustancias Químicas (Caucho sintético)

El caucho sintético es un polímero que se obtiene a través de la polimerización de monómeros derivados del petróleo, carbón o gas natural. A pesar de que comparte similitudes en sus propiedades mecánicas y químicas con el caucho natural, presenta ciertas ventajas, como una mayor resistencia al calor, al ozono, a los aceites y a los solventes [35] [36].

En términos de propiedades mecánicas, el caucho sintético exhibe elasticidad, resistencia a la tracción, dureza, módulo de elasticidad y coeficiente de fricción. En cuanto a sus características químicas, destaca por su estabilidad térmica, resistencia a la oxidación, inflamabilidad, permeabilidad al gas y al vapor, así como su reactividad con otros compuestos [35] [36] [37].

El caucho sintético se emplea en diversas aplicaciones industriales, incluyendo la fabricación de neumáticos, mangueras, correas, juntas, aislantes, adhesivos y recubrimientos [37].



**Figura 13.** Caucho sintético [38].

El caucho sintético es un polímero producido artificialmente que posee propiedades distintas al caucho natural. Es más resistente a la abrasión, al calor, a la grasa y al aceite. Además, es flexible a bajas temperaturas y se desempeña bien en ambientes extremos. A pesar de ser producido artificialmente, su obtención no necesariamente resulta más económica [30] [31].

En cuanto a las propiedades químicas, estas varían según el tipo de caucho sintético. Por ejemplo, el caucho de estireno-butadieno (SBR) tiene una buena resistencia al agua y a los álcalis, pero no es resistente a los aceites y grasas. Por otro lado, el cloropreno (CR) ofrece buena resistencia al aceite y a los álcalis, pero no es resistente a los hidrocarburos aromáticos [30] [31].

Las propiedades químicas y físicas del caucho sintético, observadas en la Tabla 2, son algunas de las características conocidas de las sustancias químicas que se almacenarán. Sin embargo, no se mencionan otras propiedades debido a la confidencialidad de la empresa [30] [31] [33].

**Tabla 2.** Tabla de propiedades de caucho sintético [30] [31] [33].

Propiedades del Caucho Sintético	
Elasticidad	Presente en el caucho sintético, proporciona flexibilidad
Resistencia a la Tracción	Exhibe resistencia al estiramiento y tensiones
Dureza	Característica mecánica que indica la resistencia a la deformación
Módulo de Elasticidad	Medida de la rigidez del material bajo deformación
Coefficiente de Fricción	Indica la resistencia al deslizamiento entre superficies en contacto
Resistencia al Calor	Mayor que en el caucho natural, soporta altas temperaturas
Resistencia al Ozono	Presenta mayor resistencia frente a la acción del ozono
Resistencia a los Aceites	Mayor resistencia a los aceites en comparación con el caucho natural
Resistencia a los Solventes	Muestra una mayor resistencia a los solventes químicos
Estabilidad Térmica	Conserva sus propiedades frente a cambios de temperatura
Resistencia a la Oxidación	Exhibe resistencia frente a la acción oxidante
Inflamabilidad	Propiedad de no ser fácilmente inflamable
Permeabilidad al Gas y Vapor	Nivel de permeabilidad a gases y vapores
Reactividad con Otros Compuestos	Capacidad de interactuar químicamente con diferentes compuestos
Resistencia a la Abrasión	Mayor que en el caucho natural, resiste mejor el desgaste
Resistencia al Calor	Soporta altas temperaturas sin perder sus propiedades
Flexibilidad a Bajas Temperaturas	Conserva su flexibilidad incluso en condiciones de baja temperatura
Resistencia a la Grasa y Aceite	Muestra mayor resistencia frente a grasas y aceites
Resistencia a Ambientes Extremos	Capacidad para mantener sus propiedades en condiciones ambientales extremas

### 5.4.3. Caucho natural

El caucho natural es un material versátil y flexible que se encuentra en una amplia variedad de aplicaciones, que van desde neumáticos hasta guantes y juguetes. Las características físicas y químicas del caucho natural se pueden resumirse de la siguiente manera [39] [40] [41] [42]:

- Densidad: El caucho natural tiene una densidad aproximada de 0.92 g/cm<sup>3</sup>.

- Elasticidad: Se caracteriza por su alta elasticidad, lo que significa que puede deformarse bajo tensión y recuperar su forma original cuando se libera la tensión.
- Resistencia a la tracción: El caucho natural exhibe una resistencia a la tracción máxima de alrededor de 5 MPa.
- Resistencia a la abrasión: El caucho natural ofrece una notable resistencia a la abrasión, lo que lo hace adecuado para aplicaciones donde se requiere resistencia al desgaste.
- Resistencia a los ácidos: Presenta una buena resistencia a los ácidos diluidos.
- Adhesión: Muestra una excelente capacidad de adherencia a tejidos y metales.



**Figura 14.** Caucho natural [43].

El caucho natural es un material versátil y flexible que se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, que van desde neumáticos hasta guantes y juguetes. Las características físicas y químicas del caucho natural se pueden resumir en la Tabla 3 [40] [44].

**Tabla 3.** Tabla de propiedades del caucho natural [44].

Propiedades del Caucho	
Módulo de elástico	0.0015 – 0.0015 <i>GPa</i>
Densidad	0.92 – 0.93 <i>g/cm<sup>3</sup></i>
Coefficiente de Poisson	0.499 – 0.5 <i>MPa</i>
Resistencia mecánica a la compresión	22 – 33 <i>MPa</i>
Resistencia mecánica a la tracción	22 – 32 <i>MPa</i>
Resistencia mecánica a la abrasión	Excelente
Resistencia al desgarro	Excelente
Tenacidad a fractura	0.15 – 0.25 <i>MPa * √m</i>
Temperatura mínima de utilización	–56.2 °C
Temperatura máxima de utilización	107 °C

## 5.5. Temperaturas de almacenamiento

Los elementos como el acero, el caucho sintético, el caucho natural y el negro de humo requieren condiciones específicas de almacenamiento y conservación para mantener sus propiedades y evitar su deterioro. A continuación, se presentan algunos consejos generales sobre las temperaturas adecuadas para cada uno de ellos [16] [45]:

- El acero debe almacenarse en un lugar seco, ventilado y protegido de la humedad para evitar la corrosión. La temperatura ideal oscila entre 10 y 35°C, evitando cambios bruscos que puedan provocar condensación o dilatación [45].
- El caucho sintético y el caucho natural deben guardarse en un lugar fresco, seco y oscuro, alejado de fuentes de calor, luz solar directa y ozono. La temperatura óptima para su conservación es entre 15 y 25°C [45].
- El negro de humo debe almacenarse en un lugar cerrado, seco y limpio, evitando el contacto con el aire, el agua y otros materiales. La temperatura no debe ser superior a 50°C ni inferior a -20°C [45].

Dado que estos son los rangos de temperatura conocidos para los materiales mencionados, se puede establecer que el rango de temperatura de la nave estaría entre 15°C y 25°C, ya que este sería el rango más reducido [45].

## 5.6. Humedad relativa

La humedad relativa indica la cantidad de vapor de agua presente en el aire a una temperatura específica. Se expresa como la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua en un metro cúbico de aire y la cantidad máxima que ese volumen de aire podría contener a la misma temperatura cuando está saturado [46].

En cuanto a las condiciones de almacenamiento, se recomienda mantener un nivel de humedad ambiental entre el 45-80% tanto para el caucho sintético como para el caucho natural, ya que un ambiente excesivamente seco resulta perjudicial para el caucho. Además, para almacenar el negro de humo, es importante mantenerlo en un ambiente fresco y seco, con una humedad relativa del aire entre el 40-80%. Dado que este último rango es el menor, se buscará cumplir con este parámetro [46].

Dentro de los materiales a almacenar, se determinó que el rango de humedad relativa es entre 40-80% [46].

## 5.7. Calidad de Aire

La calidad del aire debe regirse por los límites de ciertos componentes mencionados en la Tabla 4, los cuales están establecidos por la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente. Esta tabla establece las cantidades de determinados compuestos que, en ciertos niveles, son considerados como contaminantes [47].

**Tabla 4.** Calidad de aire según Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente [47].

Contaminante	NCAA µg/m <sup>3</sup>	OMS 2000 µg/m <sup>3</sup>	OMS 2005 µg/m <sup>3</sup>			
			Objetivos Intermedios			Valores límites Guía
			IT- 1º	IT- 2º	IT- 3º	
PM <sub>2.5</sub> (24 h)	50		75	50	37.5	25
PM <sub>2.5</sub> (anual)	15		35	25	15	10
PM <sub>10</sub> (24 h)	100		150	100	75	50
PM <sub>10</sub> (anual)	50		70	50	30	20
SO <sub>2</sub> (24 h)	125	125	125	50		20
SO <sub>2</sub> (anual)	60	50				
CO (1 h)	30 000	30 000				30
CO (8 h)	10 000	10 000				10
O <sub>3</sub> (8 h)	100	120				100
NO <sub>2</sub> (1 h)	200					200
NO <sub>2</sub> (anual)	40	40				40

º Guía IT-1, IT-2, IT-3: objetivos Intermedios de calidad del aire asociados a incremento de la mortalidad con relación a exposición a contaminantes.

## 5.8. Nivel de ruido

En la Tabla 5 se presenta los niveles de presión sonora equivalente (NPSeq), expresados en decibeles y ponderados con la escala A, que se obtengan de la emisión de una fuente fija emisora de ruido, no podrán exceder los valores establecidos [48].

Al valor del nivel de presión sonora equivalente de la fuente fija se le aplicará el factor de corrección mostrado en la Tabla 6. Se realizará una comparación entre los valores de presión sonora equivalente de la fuente fija y el valor de ruido de fondo [48].

**Tabla 5.** Límites Máximos de Ruido Permissible según uso del Suelo [48].

TIPO DE ZONA SEGÚN USO  DE SUELO	LÍMITES DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPS eq [dB(A)]	
	DE 06H00 A 20H00	DE 20H00 A 06H00
Zona hospitalaria y educativa	55	45
Zona Residencial	60	50
Zona Residencial mixta	65	55
Zona Comercial	65	55
Zona Comercial mixta	70	60
Zona Industrial	75	65
Zonas de Preservación de Hábitat	60	50

Si la diferencia es de 10 dB(A) o más, el ruido de la fuente fija no será corregido. Si la diferencia se encuentra en el rango de 6 a 9 dB(A), se restará 1 dB(A) del valor obtenido y se reportará este nuevo valor. Este procedimiento se aplicará sucesivamente para todas las diferencias aritméticas de la Tabla [48].

**Tabla 6.** Corrección por nivel de Ruido de Fondo [48].

DIFERENCIA ARITMÉTICA ENTRE NPSEQ DE LA FUENTE FIJA Y NPSEQ DE RUIDO DE FONDO (dBA)	CORRECCIÓN
10 ó mayor	0
De 6 a 9	- 1
De 4 a 5	- 2
3	- 3
Menor a 3	Medición nula

## 5.9. Tipo de presión

En un contexto de producción industrial, la presión negativa se refiere a una situación en la que la presión en una sala o espacio cerrado es inferior a la de las zonas circundantes. Esta condición se utiliza para prevenir que el aire se filtre desde estas áreas hacia las adyacentes, evitando así la contaminación del ambiente controlado [49].

Por otro lado, la presión positiva se produce cuando la presión en una sala es mayor que la del entorno exterior. Esta configuración se utiliza para evitar que partículas no deseadas del aire exterior ingresen al espacio. En la producción industrial, las salas de presión positiva se emplean para mantener un nivel de presión superior al ambiente circundante, protegiendo así el área de la entrada de aire exterior y previniendo la contaminación. Este enfoque es esencial cuando se necesita aislar una parte específica de un edificio [49].

## 5.10. Número de Renovaciones

El cálculo del número de renovaciones de aire se determina según la designación específica del edificio, utilizando la información proporcionada en la Tabla 7, la cual se basa en la norma DIN 1946. Este cálculo es fundamental para garantizar un ambiente interior saludable y seguro, ajustándose a las necesidades particulares de ventilación y calidad del aire del espacio. Es importante considerar factores como la ocupación del edificio, el tipo de actividad desarrollada, las regulaciones de seguridad y salud laboral. A través de este proceso, se establecen pautas claras para la adecuada circulación y purificación del aire, contribuyendo al bienestar y confort de los ocupantes del edificio [50].

**Tabla 7.** La norma DIN 1946 indica el número aconsejable de renovaciones [50].

TIPO DE LOCAL	RENOVACIONES DE AIRE POR HORA	SECTOR
Almacenes	5-10	INDUSTRIAL
Cabinas de pintura	25-50	
Cocinas industriales	15-30	
Fundiciones	8-15	
Inodoro industrial	8-15	
Laboratorios	8-15	
Laminadores	8-12	
Locales de aerógrafos	10-20	
Locales de decapado	5-15	
Remojos	≤ 80	
Salas de fotocopias	10-15	
Salas de máquinas	10-40	
Talleres de gran alteración del aire	10-20	
Talleres de montaje	4-8	
Talleres de poca alteración del aire	3-6	
Talleres de soldadura	20-30	
Tintorerías	5-15	

## 5.11. Caudal mínimo del aire exterior de ventilación

Los ductos deben poder suministrar el caudal mínimo del aire exterior según lo estipula la norma de construcción para climatización NEC-HS-CL. Este caudal se calculo utilizando uno de los cuatro métodos siguientes [51]:

- Método indirecto de caudal de aire exterior por persona
- Método directo por concentración de CO<sub>2</sub>
- Método indirecto de caudal de aire por unidad de superficie.
- Método de dilución.

El más adecuado para este proyecto es el Método indirecto de caudal de aire exterior por persona, dada su viabilidad para la implementación, ya que utiliza la Tabla 8 como referencia. Este enfoque asegura un suministro de aire fresco que cumple con los estándares de calidad del aire interior requeridos [52].

**Tabla 8.** Caudales mínimos de aire exterior [52].

Categoría	Caudal mínimo	Caudal recomendado
	dm <sup>3</sup> /s.per (CFM/per)	dm <sup>3</sup> /s.per (CFM/per)
CAI 1	4,8 (10,1)	5,6 (11,8)
CAI 2	3,6 (7,5)	4,2 (8,9)
CAI 3	2,4 (5,1)	3,0 (6,4)
CAI 4	0,0 (0,0)	2,0 (4,2)

En esta tabla, las categorías se basan en la calidad del aire interior en función del caudal, donde CAI 1 representa la mejor calidad y CAI 4 indica una calidad de aire deficiente [52].

## 5.12. Nivel de filtración de aire

El aire de los sistemas de ventilación mecánica debe ser introducido y mantenido debidamente filtrado en la edificación. Para seleccionar alguna de las clases de filtración mínimas a emplear, se toman en cuenta la calidad del aire exterior (CAE) y la calidad del aire interior requerido (CAI). Para CAE, se utilizan los estándares observados en la Tabla 9, mientras que el tipo de filtro se indica en la Tabla 8 [52].



Como se mencionó anteriormente, para la selección de filtros se requiere evaluar la calidad del aire exterior (CAE), que posee 3 clasificaciones [52]:

- CAE 1: aire puro que puede contener partículas sólidas (ej. polen) de forma temporal.
- CAE 2: aire con altas concentraciones de partículas y/o contaminantes gaseosos. (Exceden los valores referenciales en un factor de hasta 1,5).
- CAE 3: aire con muy altas concentraciones de partículas y/o contaminantes gaseosos (Exceden los valores referenciales en un factor mayor a 1,5)

**Tabla 9.** Concentraciones de aire exterior referenciales [52].

	<b>CAI 1 EEG (MERV)</b>	<b>CAI 2 EEG (MERV)</b>	<b>CAI 3 EEG (MERV)</b>	<b>CAI 4 EEG (MERV)</b>
CAE 1	F9(16)	F8(14)	F7(13)	F5(10)
CAE 2	F7+F9 (13+16)	F6+F8 (11+14)	F5+F7 (10+13)	F5+F6 (10+11)
CAE 3	F7+GF*+F9 (13+GF*+16)	F7+GF*+F9 (13+GF*+16)	F5+F7 (10+13)	F5+F6 (10+11)
EEG (European Efficiency Guide) MERV (Minimum Efficiency Reporting Value) (GF) situado entre las dos etapas de filtración (*) Se debe prever la instalación de un filtro de gas o un filtro químico				

### 5.13. Caja de filtrado

Para la caja de filtrado, es necesario seleccionar los tipos de filtros que se colocarán, los cuales deben impedir el ingreso de partículas contaminantes y mantener el aire en condiciones estandarizadas para el confort de los trabajadores [53].

Se propuso un sistema de filtrado basado en la Figura 15, donde se sugiere que el tipo de filtro adecuado serían los Filtros Medio finos, diseñados para retener partículas PM10. Estos filtros, según la norma EN 779, se categorizan como tipo M5 [53].

	Dimensão das partículas	Classe
	<b>Filtros Grossos</b> Partículas > 10µm <ul style="list-style-type: none"> <li>Insetos</li> <li>Fibras têxteis</li> <li>Areia</li> <li>Cinzas</li> <li>Pólen</li> <li>Esporos</li> <li>Poeira de cimento</li> <li>Poeira de carvão</li> </ul>	G3, G4
	<b>Filtros Médios Fines</b> Partículas entre 1 - 10 µm <ul style="list-style-type: none"> <li>Pólen</li> <li>Esporos</li> <li>Poeira de cimento</li> <li>Bactérias e vírus</li> <li>Inseticidas em aerossol</li> </ul>	M3, M6, F7
	<b>Filtros HEPA</b> Partículas < 1 µm <ul style="list-style-type: none"> <li>Bactérias e vírus</li> <li>Fumaça de tabaco</li> <li>Fumaça de óxidos metálicos</li> <li>Pó de asbesto</li> </ul>	E11, H13 ISO15E, ISO15H
	<b>Filtros HEPA para aplicação em salas limpas</b> Partículas < 1 µm <ul style="list-style-type: none"> <li>Vapores de óleo e fuligem em suspensão</li> <li>Partículas radioativas em suspensão</li> </ul>	H13 ISO15H
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aerosóis</li> </ul>	H14, U15, U16 ISO15H, ISO15U, ISO16H

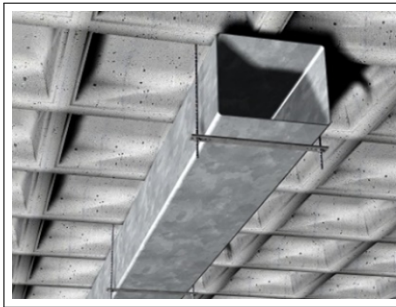
**Figura 15.** Características de los filtros [53].

Además, para prevenir la saturación inmediata del filtro de partículas medias finas, se sugiere colocar previamente un filtro para partículas gruesas tipo G3, ya que son ideales para partículas de mayor tamaño, superiores a  $10\mu m$  [53].

## 5.14. Selección de tipo de Ductos

En las instalaciones de ventilación habituales, donde los ductos suelen tener formas rectangulares o cuadradas en lugar de circulares, es necesario determinar previamente la sección circular equivalente. Esto implica encontrar una sección rectangular que produzca la misma pérdida de carga que la sección circular calculada [54] [55]. En este contexto, las modernas redes de ductos comprenden una variedad de elementos en cuanto a materiales y geometría, desde ductos rectangulares hasta circulares. Aunque entre los ductos de ventilación metálicos, los rectangulares son los más utilizados y reconocidos [54] [55].

En los últimos años, los ductos de ventilación rectangulares han experimentado cambios significativos en sus procesos de fabricación, pasando de una concepción artesanal a una ejecución automatizada. Estas mejoras han conducido a mejoras sustanciales en los sistemas de unión y en los plazos de producción, resultando en una mayor eficiencia en la instalación y el montaje [54] [55]. Los fabricantes ofrecen diversas soluciones para la construcción de ductos de ventilación rectangulares, considerando aspectos como la presión de servicio, la velocidad del aire y la estanqueidad en la red de ductos. Estas soluciones implican trabajar con diferentes espesores y utilizar diversos sistemas de unión, tanto longitudinales como transversales [54] [55]. Al comparar el costo de un ducto redondo con uno rectangular, se observa que el ducto redondo resulta más costoso. Por lo tanto, se optará por utilizar ductos rectangulares, como el mostrado en la Figura 16, debido a la diferencia de precios en la construcción nacional de estos elementos [56] [57].



**Figura 16.** Ductos rectangulares [57].

Además, al considerar las pérdidas por fricción debido a la geometría de los ductos, se nota que mientras más circular sea la sección, mejor será el flujo de aire. Es importante tener en cuenta esta característica al diseñar sistemas de ventilación para garantizar un rendimiento óptimo y una distribución eficiente del aire [56].

### **5.15. Determinación de la sección del ducto**

En este contexto, la sección del ducto se establece mediante la siguiente ecuación, considerando que la velocidad y el caudal están definidos por la normativa, que a su vez tiene en cuenta el uso del espacio, la cantidad de personas y la calidad del aire, entre otros factores previamente mencionados. Es fundamental seguir estas directrices para garantizar un diseño eficiente y seguro del sistema de ventilación [58] [59] [60] [61].

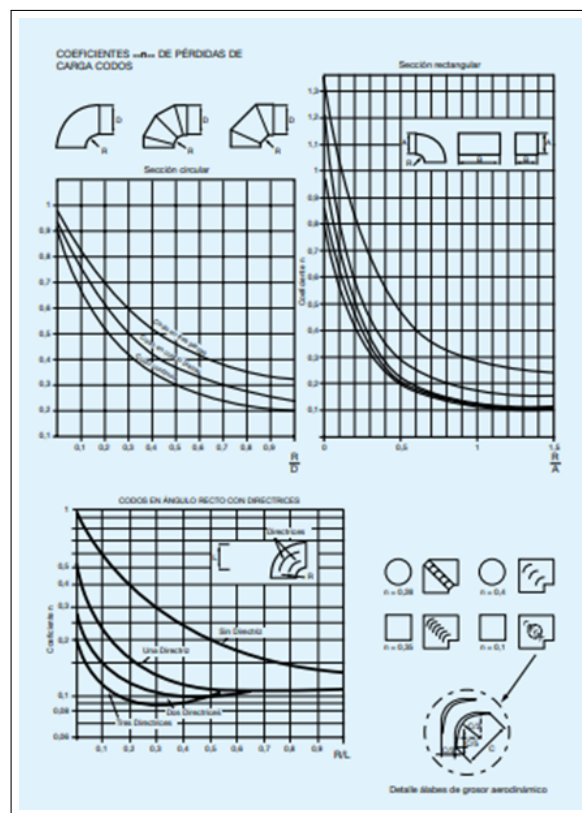
$$S = Q / (3600 * v) \quad (1)$$

Donde:

- Q** Caudal de aire a circular,  $m^3/h$
- S** Sección del ducto,  $m^2$
- v** velocidad del aire,  $m/s$

## 5.16. Pérdidas de Presión

Las pérdidas de presión se deben a varios factores, entre los cuales se incluyen el estado del filtro, la pérdida de carga por rozamiento del aire y la geometría de los ductos, que no deberá superar una relación de lados de cinco para evitar pérdidas excesivas. Otro factor que contribuye a las pérdidas son los codos, cuyo coeficiente de proporcionalidad se obtiene de la Figura 17 [59] [60] [62] [63].



**Figura 17.** Pérdidas de carga en codos [59].

Estos coeficientes se utilizan en la ecuación dos para calcular las pérdidas de carga individuales, las cuales se suman para obtener la pérdida de carga total. Es esencial considerar estos factores para diseñar sistemas de ventilación eficientes y funcionales[59] [62].

$$\Delta P = n \times P_d \quad (2)$$

Donde:

$\Delta P$  Pérdidas de presión,  $Pa$

$n$  Coeficiente de pérdida de carga

$P_d$  Presión dinámica,  $Pa$

## 5.17. Métodos para cálculo de costos

En los costos de ventilación se incluyen elementos como las rejillas, ductos, filtros, reguladores, ventiladores, entre otros, así como la materia prima y la energía consumida. También se consideran servicios como la mano de obra y el transporte. Todos estos elementos son fundamentales para el funcionamiento eficiente del sistema de ventilación [63, 64].

### 5.17.1. Precios unitarios

Dentro de los análisis de precios unitarios se consideran las estructuras metálicas, los elementos de fijación según las características propias de cada estructura y los elementos comprados, así como la instalación y el transporte de estos. Este estudio de los precios unitarios involucra tres etapas consecutivas [64][65]:

- **Análisis:** Es la etapa más importante, ya que aquí se define con claridad el alcance de los trabajos, el procedimiento constructivo, la cantidad y tipo de recursos necesarios, las condiciones contractuales y la magnitud de la obra, entre otros aspectos [64].
- **Cálculo de los precios unitarios:** Una vez definida la información necesaria, se realiza una operación repetitiva que en la actualidad se lleva a cabo con el apoyo de las computadoras, siguiendo el formato de la Tabla 10 [64][65].
- **Integración:** Esta etapa dependerá de los lineamientos o requerimientos del cliente sobre la presentación de los datos por parte del constructor [65].

**Tabla 10.** Formato de análisis de precios unitarios [65]

<b>FORMULARIO No.</b>					
<b>NOMBRE DEL PROPONENTE</b> XXXXXXXXXXXXXX					
<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>RUBRO:</b> XXXXXXXXXXXXXX			<b>UNIDAD :</b> XXXXXX		
<b>DETALLE:</b> XXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXX					
<b>A.- EQUIPO</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO/H</b>	<b>REND. H/U</b>	<b>COSTO</b>
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
					<b>SUBTOTAL A:</b> Redondear a 2 dígitos
<b>B.- MANO DE OBRA</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>JORNAL/HR</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>REND. H/U</b>	<b>COSTO</b>
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
					<b>SUBTOTAL B:</b> Redondear a 2 dígitos
<b>C.- MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCION</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>COSTO</b>
			A	B	$C=A*B$
					<b>SUBTOTAL C:</b> Redondear a 2 dígitos
<b>D.- TRANSPORTE</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO/KM</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO</b>
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
					<b>SUBTOTAL D:</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					\$
<b>C. INDIRECTO Y UTILIDADES</b>					\$
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					\$
<b>VALOR PROPUESTO</b>					\$

Dentro del ámbito de la mano de obra, se tienen en cuenta los grupos de trabajo, ya que la ejecución individual de cualquier tarea resulta impracticable en la construcción. Estos grupos, coordinados con un propósito común, se denominan cuadrillas en el campo de la construcción. En la edificación, existen diversos tipos de cuadrillas que corresponden a oficios o trabajos específicos, como se detalla en la Tabla 11 [64].

**Tabla 11.** Ejemplo de integración de Cuadrillas [64].

Cuadrilla	Cuadrilla
1 Cabo + x número de peones	1 Oficial impermeabilizador + 1 ayudante
1 Oficial albañil + 1 ayudante	1 Oficial jardinero + 1 ayudante
1 Oficial aluminero + 1 ayudante	1 Oficial pastero + 1 ayudante
1 Oficial carpintero + 1 ayudante	1 Oficial pintor + 1 ayudante
1 Oficial cerrajero + 1 ayudante	1 Oficial plomero + 1 ayudante
1 Oficial colocador de alfombra + 1 ayudante	1 Oficial soldador + 1 ayudante
1 Oficial colocador de loseta + 1 ayudante	1 Oficial tablarroquero + 1 ayudante
1 Oficial colocador de tubería + 1 ayudante	1 Oficial tubero + 2 ayudantes + 4 peones
1 Oficial electricista + 1 ayudante	1 Oficial vidriero + 1 ayudante
1 Oficial ebanista + 1 ayudante	1 Oficial yesero + 1 ayudante
1 Oficial fierro + 1 ayudante	1 Poblador + 1 ayudante + 1 cargador
1 Oficial herrero + 1 ayudante	1 Topógrafo + 2 cadeneros
1 Oficial herrero + 1 soldador + 1 ayudante + 1 peón	

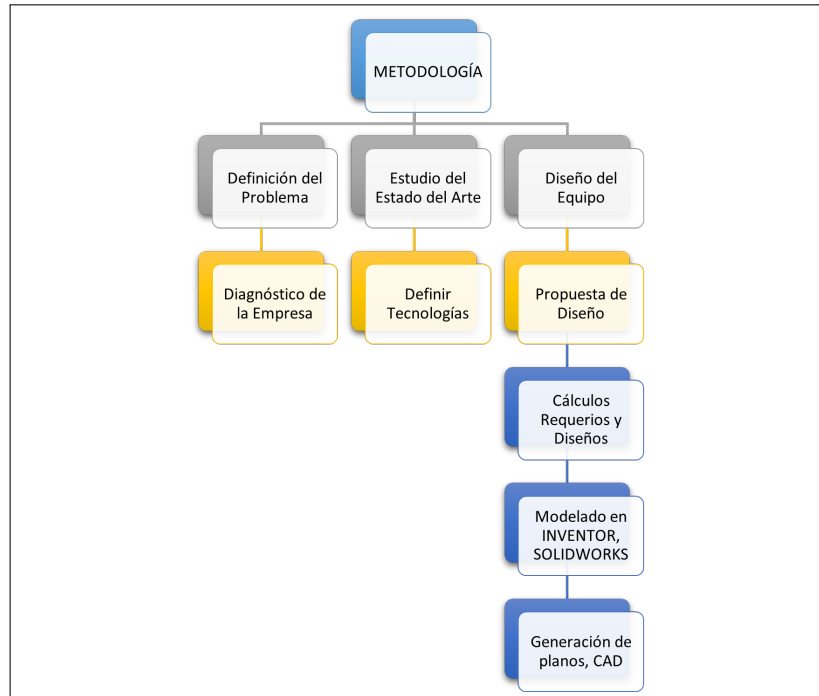
Además de considerar las cuadrillas, se hace hincapié en los salarios asociados a ellas, los cuales forman parte de los precios unitarios. Estos salarios rondan los 55,88 dólares por hora, como se muestra en la Tabla 12, teniendo en cuenta una sola cuadrilla para cada subsistema [64] [66].

**Tabla 12.** Precio de la mano de obra.

Mano de obra	Cantidad	Costo \$/h	Total
Albañil	2	6,85	13,7
Ayudante	3	5,97	17,91
Capataz	1	9,27	9,27
Maestro electricista	1	15	15
Total costo por hora			55,88

## 6. Metodología

Se ha elaborado un cuadro de los procesos a seguir, como se observa en la Figura 18, que detalla los pasos seguidos para cumplir con los objetivos planteados y solucionar el problema identificado, revisando el estado del arte y elaborando el diseño propuesto, que consistió en un sistema de ventilación mecánica para la nave industrial.



**Figura 18.** Cuadro Metodológico.

## 6.1. Definición de Variables

Como se mencionó anteriormente, se comenzó resaltando los valores que pueden tomar ciertas variables ambientales, así como otras consideraciones para garantizar una condición de almacenamiento adecuada.

### 6.1.1. Condiciones de Almacenamiento

En función del contenido de los puntos 5.4 hasta el punto 5.8 se discernió la información para conseguir las condiciones a las cuales debe estar el espacio de almacenamiento.

**Tabla 13.** Precio de la mano de obra.

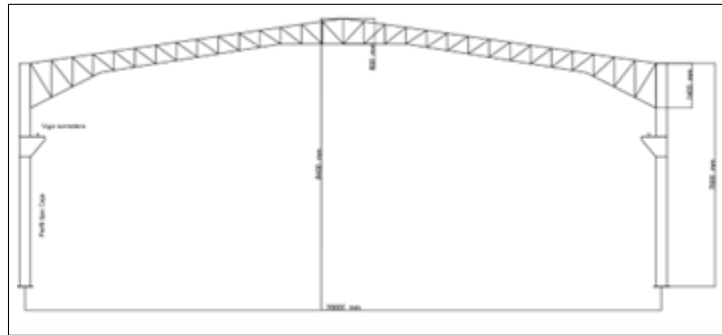
Condiciones de almacenamiento	Datos
Temperatura máx.	25 °C
Humedad relativa	40-80%
Ruido máx.	75 dB(A)
Calidad del aire	CAI 3



## 6.1.2. Condiciones del Recinto

### 6.1.2.1. Volumen del Recinto

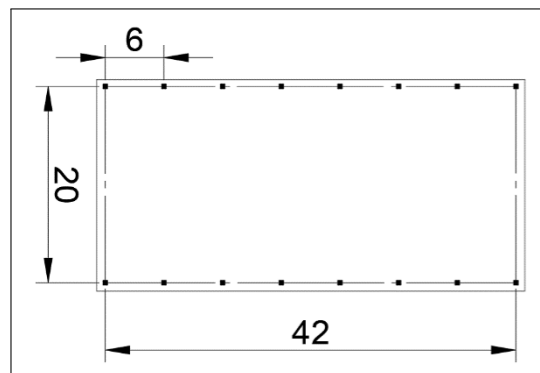
El volumen total se dividió en dos partes: un volumen rectangular que corresponde a la base de la nave industrial y un volumen triangular correspondiente a la inclinación del techo. El volumen rectangular tiene una altura de 7 metros y un área de base de 840 metros cuadrados, lo que resulta en un volumen de aire de 5880 metros cúbicos. Por otro lado, el volumen triangular tiene una elevación de 1.4 metros, con la misma área de base, generando un espacio de 588 metros cúbicos, como se muestra en el esquema de la Figura 19. Sumando ambos volúmenes, se obtuvo un volumen total de aire de 6468 metros cúbicos.



**Figura 19.** Bosquejo del lateral estructural de la nave industrial.

### 6.1.2.2. Estructura

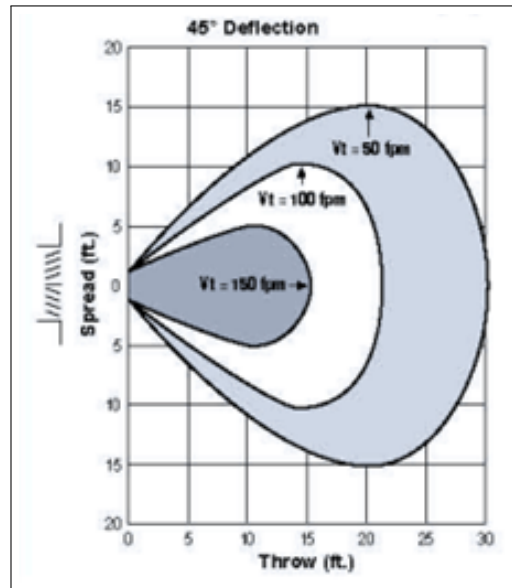
La estructura está compuesta por 16 columnas colocadas cada 6 metros a lo ancho, como se muestra en la Figura 20. Además, como estructura de soporte para el techo se emplea una armadura, tal como se ilustra en la Figura 19.



**Figura 20.** Planos de la nave industrial.

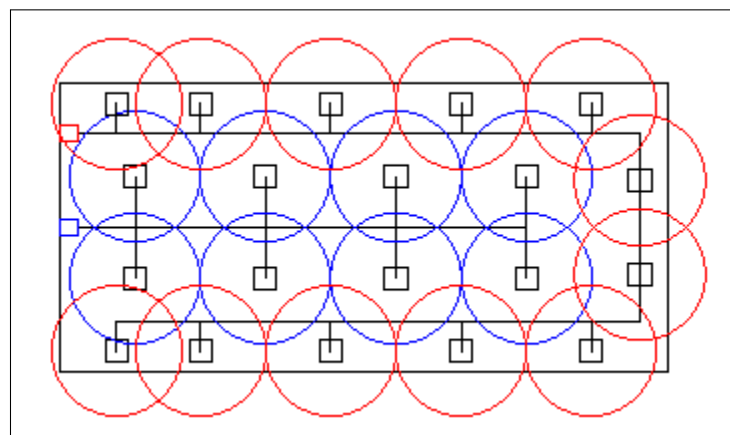
### 6.1.2.3. Disposición de Almacenaje

Para realizar una distribución adecuada, se consideró un radio de cobertura en las rejillas de 15 pies como se muestra en la Figura 21 cuando estas tienen una doble deflexión con un ángulo de  $45^\circ$  [67].



**Figura 21.** Radio de cobertura [67].

Esta medida permitió establecer una distribución de rejillas que asegure un flujo apropiado en todo el volumen de aire de la nave industrial. Dicha distribución se presenta en la Figura 22, donde los círculos rojos indican el área de extracción, mientras que los azules representan las áreas de ingreso



**Figura 22.** Distribución con áreas de cobertura de rejillas de suministro y extracción.

### 6.1.3. Condiciones Ambientales

- **Temperatura Ambiental:** Según la Figura 23, los rangos de temperatura en la ciudad de Cuenca varían entre 5.4 y 15.5 °C, teniendo en cuenta tanto las temperaturas mínimas como máximas del año [68].

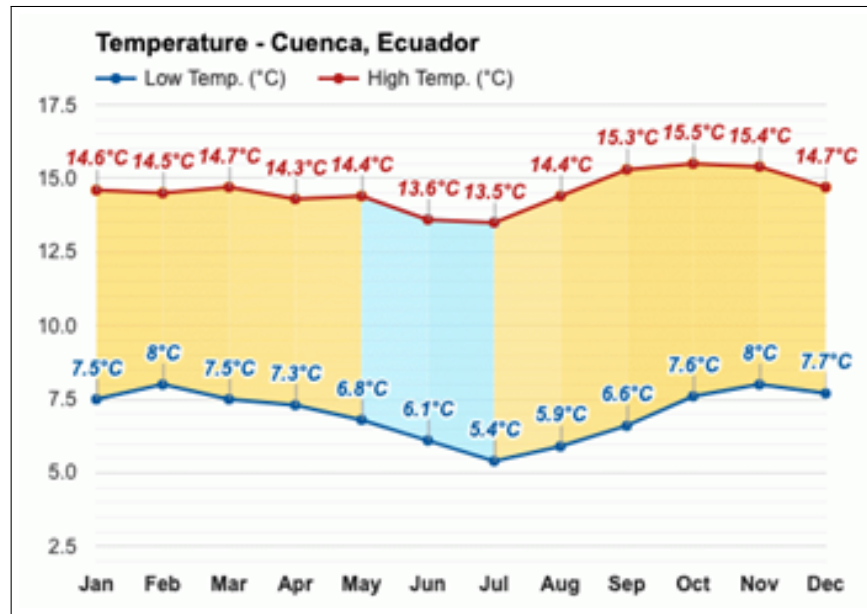


Figura 23. Temperatura media Cuenca, Ecuador [68].

- **Humedad relativa:** El promedio anual de humedad relativa en Cuenca es del 80%, como se ilustra en la Figura 24 [68].

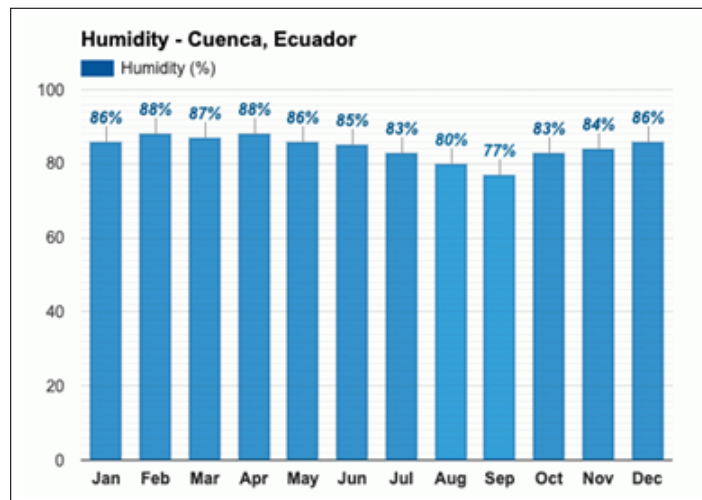


Figura 24. Humedad media Cuenca, Ecuador [68]

- **Calidad del Aire:** En la Tabla 14 se pueden observar las concentraciones anuales de los contaminantes más relevantes debido a su presencia común en ciudades y sectores industriales, como es este caso.

**Tabla 14.** Concentración anual de partículas contaminantes [47, 69].

Concentracion Anual	
Contaminantes	ug/m3
Dioxido de Nitrogreno (NO2)	18,54
Dioxido de azufre (SO2)	7,08
Material Particulado (PM10)	32,4
Material Particulado (PM2,5)	3,4

Al comparar los valores de la Tabla 4, todos los contaminantes se encuentran dentro del rango establecido por la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente (NCAA) e incluso cumplen con los límites de las Guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS), excepto el límite del contaminante PM10, el cual tiene un exceso de  $2,4 \mu g/m^3$ .

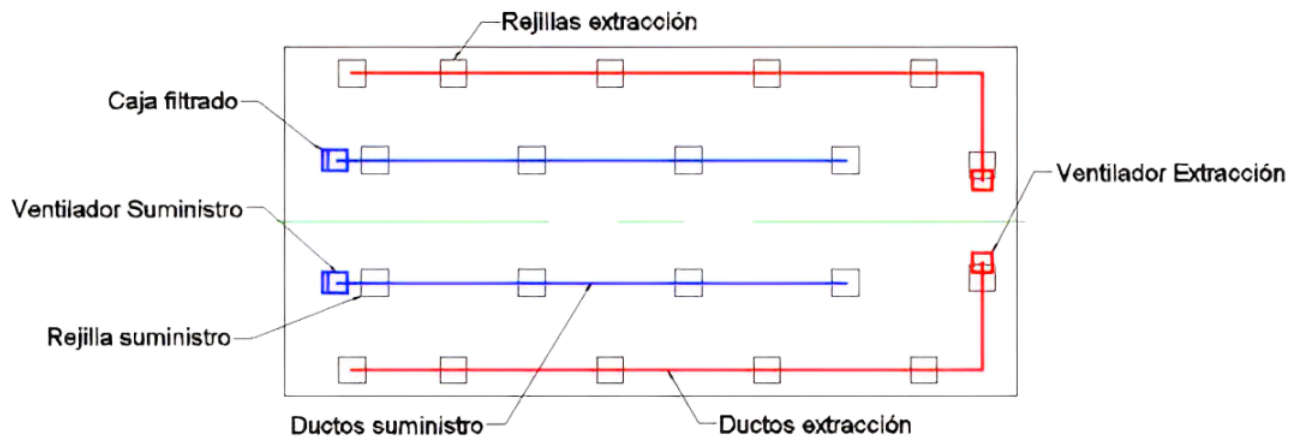
## 6.2. Diseño de concepto - Propuesta de solución

### 6.2.1. Definición de necesidad

Dentro de la empresa, actualmente se está construyendo una nave industrial destinada al almacenamiento de productos y materia prima. Esta construcción debe cumplir con las exigencias de la normativa nacional, garantizando de esta manera la salud de los trabajadores y el adecuado resguardo de la materia prima. La normativa establece requisitos como la implementación de un sistema contra incendios, un sistema de suministro de agua, y un sistema de ventilación, entre otros, que serán diseñados para la estructura.

### 6.2.2. Esquema de Distribución

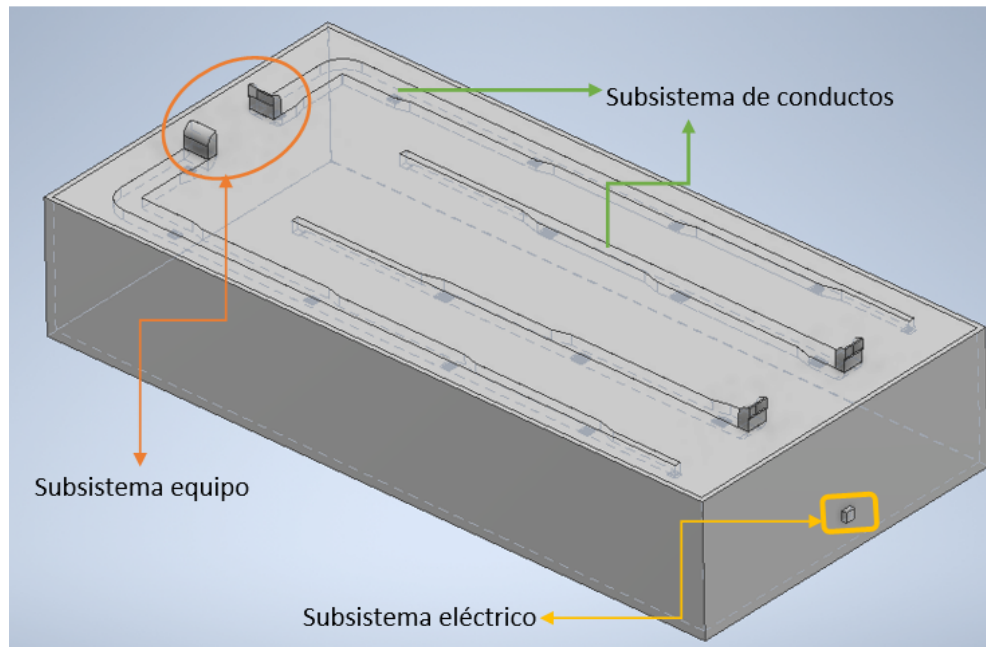
Para el diseño, se presentó una propuesta de la ubicación de los elementos de suministro y extracción en la estructura, incluyendo la posición de los ductos, las rejillas y los ventiladores que se instalarán en la parte superior del techo. Esta propuesta de diseño se aprecia en la Figura 25.



**Figura 25.** Esquema del sistema.

### 6.3. Diseño de Componentes del Sistema.

Dentro del sistema de ventilación mecánica, se establecieron tres subsistemas, como se observa en la Figura 26: el subsistema de ductos, el subsistema de equipos y el subsistema eléctrico, cada uno de estos se compone de elementos de suministro y de extracción, con el fin de desglosarlos de manera sistematizada y tener un control sobre los elementos que componen cada uno de ellos y se presentan de manera más detallada en la Tabla 15.



**Figura 26.** Diseño de concepto.

**Tabla 15.** Tabla de componentes.

Subsistemas	Componentes
Subsistema Ductos	Ductos
	Rejillas
	Soportes
Subsistema Equipo	Caja Filtrado
	Ventilador
	Caja Ventilador
	Base
Subsistema eléctrico	Breakers
	Temporizador
	Guarda motor
	Relés térmicos
	Cable N16
	Switch

### 6.3.1. Subsistema de Ductos

Este subsistema, se dividió en dos grupos de componentes: el de suministro y el de extracción. Dentro de cada uno de estos grupos se realizó el cálculo de caudal, el dimensionamiento de los ductos, la selección de rejillas, así como el cálculo de las pérdidas generadas en todos los componentes.

#### 6.3.1.1. Componentes de Extracción

##### Cálculo de Caudal

Antes de calcular el caudal, se requirió seleccionar el número de renovaciones, el cual, según la Tabla 7, nos proporciona un rango de 5 a 10 renovaciones por hora. Debido a que la generación de gases no es considerable y no será un lugar donde permanezca el personal, se optó por cinco renovaciones por hora. Con este dato establecido, se procedió con el cálculo del caudal mínimo del aire exterior. Este caudal se obtuvo al multiplicar el volumen de la nave industrial por el número de renovaciones, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$\text{Caudal} = \text{Volumen de la planta} \times \text{Renovaciones por hora}$$

Conociendo el volumen, que es de  $6468 m^3$ , y el número de renovaciones obtenido anteriormente, podemos calcular el caudal requerido en función del espacio.

$$Q = 6468m^3 \times 5 \text{ renov}/h \quad (3)$$

$$Q = 32340m^3/h$$

Teniendo en cuenta que el caudal global es de  $32340 m^3/h$ , lo que equivale a 19034.605 CFM, se distribuyó entre las múltiples rejillas colocadas. Sin embargo, dado que el diseño del sistema se dividió en dos ingresos y dos salidas, se utilizó la mitad de este caudal, es decir,  $16170 m^3/h$ , para buscar un caudal comercial es cual es de  $17000 m^3/h$ . Este último valor fue utilizado para los cálculos posteriores y la selección de un ventilador comercial.

### Cálculo de Ductos de Extracción

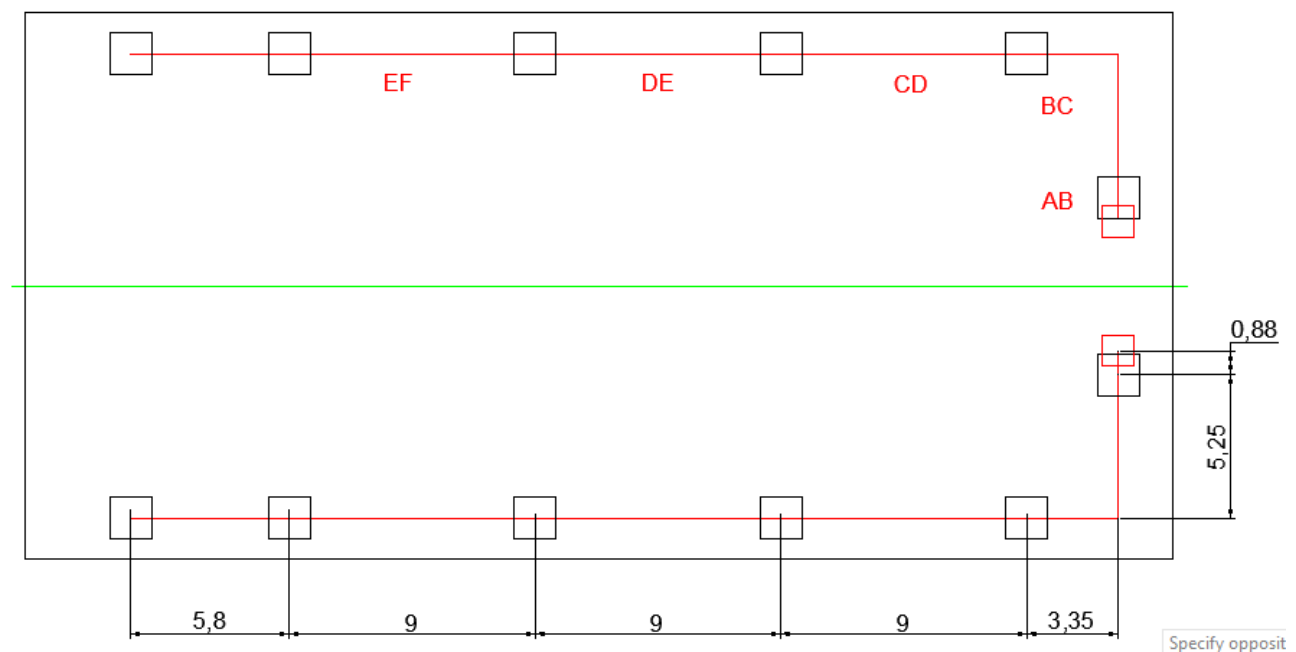
Antes de comenzar, se seleccionó el tipo de ducto de acuerdo con la sección 5.13. Se optó por el ducto rectangular debido a consideraciones económicas.

**Tabla 16.** Velocidad del aire atendiendo el ruido [59].

<b>Bocas de captación</b>	<b>m/s</b>
Habitaciones de residencias y hoteles	1,2 a 2
Zonas públicas comerciales:	&nbsp;
A niveles de ocupantes en movimiento	3 a 4
Cerca de personas sentadas	2 a 3
Bocas en parte bajas de puertas	2 a 3,5
Persianas en las paredes	2,5 a 5
Captaciones a nivel de techo	4 y más
Naves industriales	5 a 10
Sistemas de alta velocidad	2 a 4
<b>Bocas de impulsión</b>	<b>m/s</b>
Estudios de radiodifusión, cabinas de grabación	1,5 a 2,5
Dormitorios de hotel	2,5 a 3
Residencias, salones regios, restaurantes lujo	2,5 a 3,5
Iglesias, antesalas importantes	2,5 a 3,5
Apartamentos, viviendas	2,5 a 4
Oficinas privadas tratadas acústicamente	2,5 a 4
Teatros	4
Oficinas particulares no tratadas	3,5 a 5
Salas de cine	5
Oficinas públicas, restaurantes	5 a 7
Almacenes comerciales, plantas altas	7,5
Sistemas de alta velocidad	3 a 8
Fábricas	5 a 10
Almacenes comerciales, plantas bajas	10

Una vez determinado el tipo de ducto, se procedió al cálculo de los ductos necesarios para mantener una presión constante, lo cual implicó considerar datos como el caudal y el número de rejillas. Posteriormente, se seleccionó las rejillas de extracción en función del caudal. Para el cálculo de ductos, se utilizó el método de pérdida de presión constante, el cual requiere la velocidad del aire dentro de los ductos, que no debe exceder los niveles de ruido permisibles y no afecten al ser humano. Por lo tanto, se recurrió a la Tabla 16 en conjunto con la utilización de la estructura a ventilar, que en este caso es un almacenamiento, para asignar la velocidad de entrada de los ductos.

Para el cálculo y dimensionamiento de ductos utilizados en el diseño, se consideró la utilización del Software InstaWin, el cual emplea el método de pérdida de carga constante; este programa requirió una esquematización con las longitudes de los tramos del sistema de extracción, como se observa en la Figura 27; dado que el sistema es simétrico, solo se calculó un ducto de extracción.



**Figura 27.** Sistema de extracción

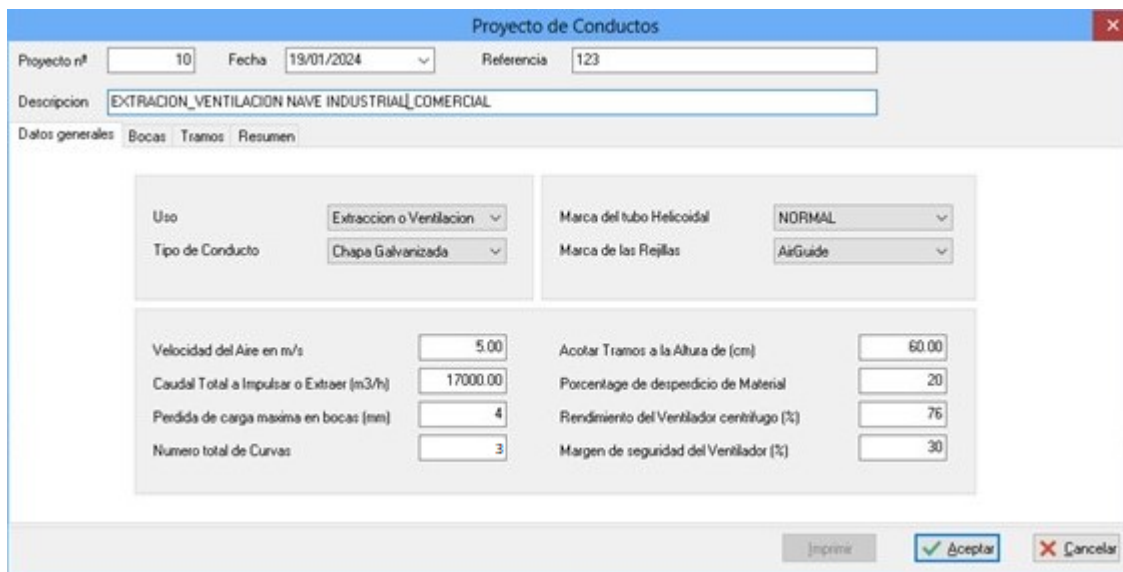
Ya con los valores requeridos, se ingresó al programa InstaWin, como se observa en la Figura 28, donde se introdujo la cuenta y contraseña previamente creadas para el uso de este programa.





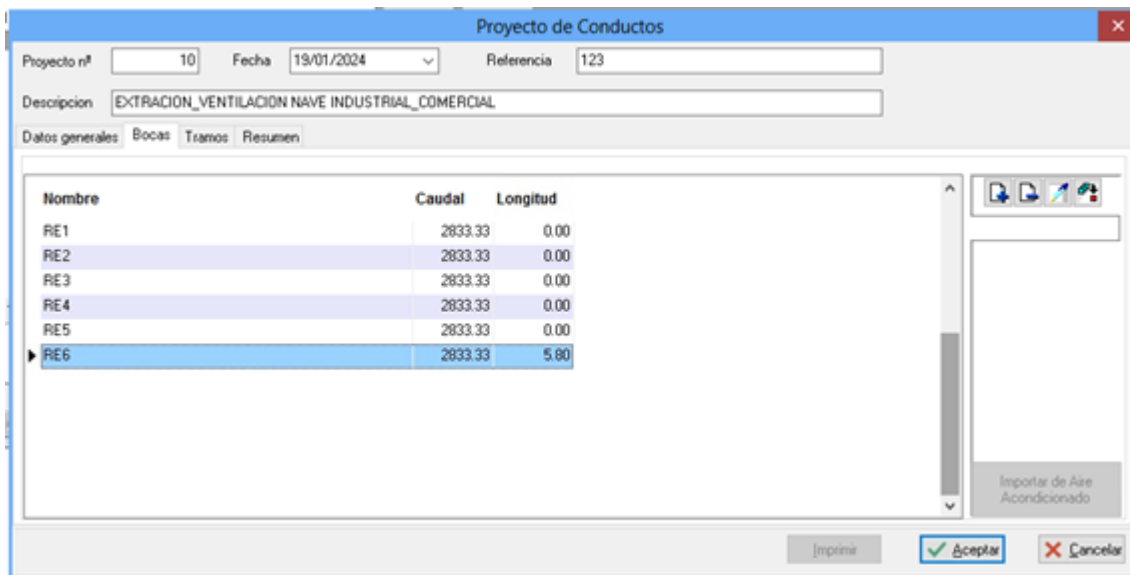
**Figura 28.** Software InstaWin

Luego, se ingresó los datos personales, los cuales fueron incluidos en el informe de resultados. Posteriormente, se creó un nuevo proyecto donde se ingresó los datos iniciales, como el caudal de  $17000 \text{ m}^3/h$ , la velocidad de  $5 \text{ m/s}$ , una pérdida de carga en boca de 4 (recomendada por el manual del software), el número de codos o curvas que es 3, y la altura promedio de los tramos del ducto, que en este caso es de 60 cm.



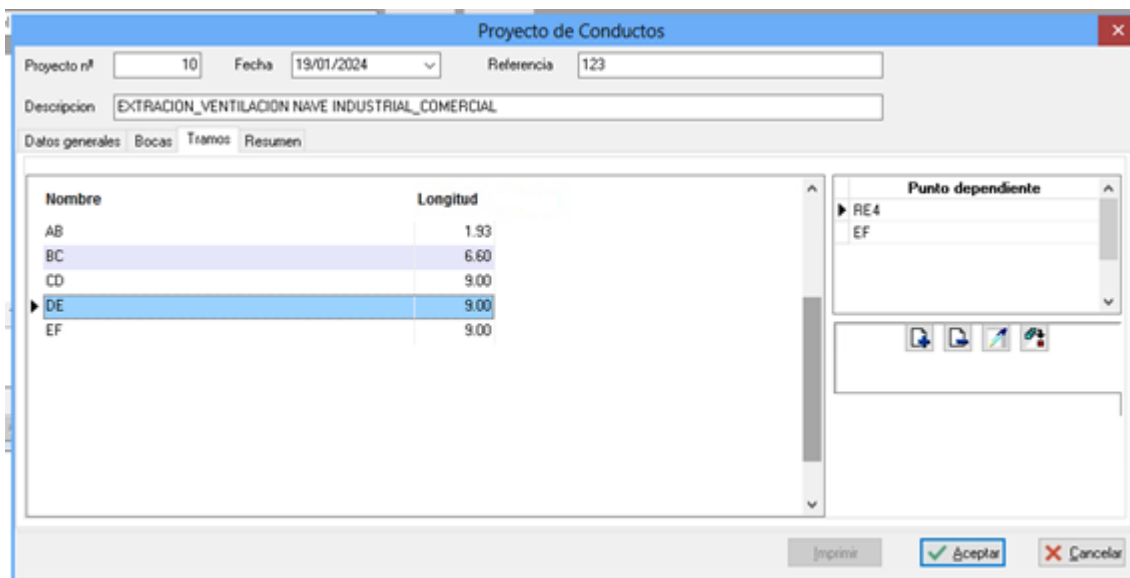
**Figura 29.** Ingreso de datos.

Posteriormente, se procedió a introducir las bocas o rejillas, que en total suman 6, junto con la distancia entre estas y el ducto principal. Además, se ingresó el caudal para cada rejilla, el cual es de  $3433.33 \text{ m}^3/h$ , obtenido de la división del caudal comercial entre el número de rejillas, con el fin de lograr una distribución uniforme.



**Figura 30.** Ingreso de rejillas.

Luego se introdujeron las longitudes de los tramos, así como las conexiones que existen entre los ductos y las rejillas.

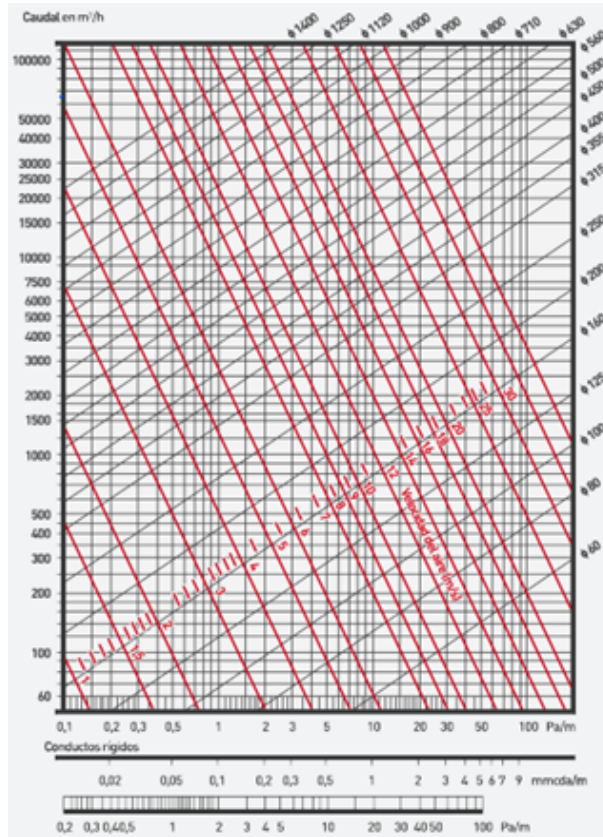


**Figura 31.** Ingreso de tramos.

Después, se seleccionó la opción Resumen, la cual calculo las dimensiones del ducto rectangular, la pérdida de presión, entre otras características esenciales para la selección de un ventilador.



Utilizando la gráfica de pérdida de carga por rozamiento del aire de la Figura 34, se aproximó una pérdida de carga unitaria de  $0,148 \text{ Pa/m}$  o  $0,0437 \text{ mmc.d.a.}$



**Figura 34.** Pérdida de carga por rozamiento del aire [61].

Para calcular el diámetro equivalente, se puede emplear la gráfica anterior o la ecuación 4 para obtener un dato más preciso. En esta ecuación, se reemplazó el área por la fórmula del área de un círculo

$$V_t = Q/A \quad (4)$$

De la ecuación 4, desglosando el área para despejar el diámetro, que es lo que se busca, se obtuvo como resultado la ecuación 5.

$$D = \sqrt{(4 \times Q)/(V_t \times \pi)} \quad (5)$$

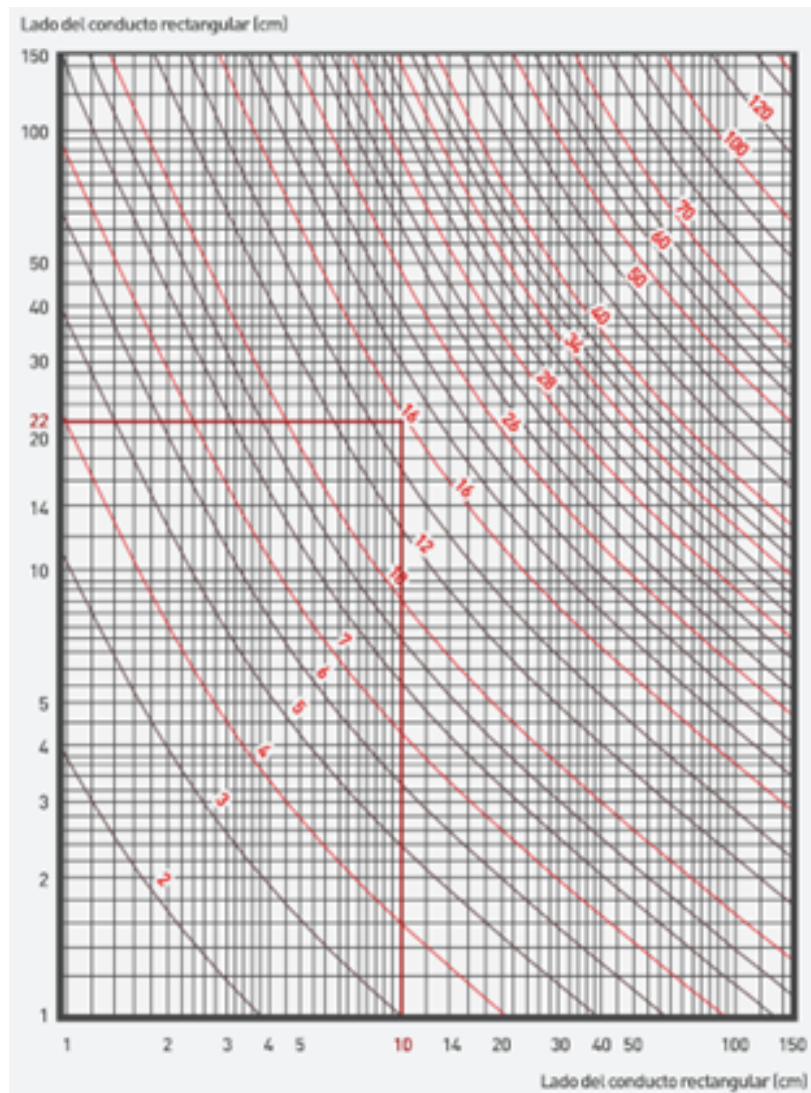
Donde:

- Q** Caudal de aire,  $m^3/h$
- D** Diámetro del ducto,  $m$
- V<sub>t</sub>** velocidad del aire,  $m/s$

Con la cual, al reemplazar los valores de caudal y velocidad en la ecuación 5, se obtuvo un diámetro equivalente de 1,096 m.

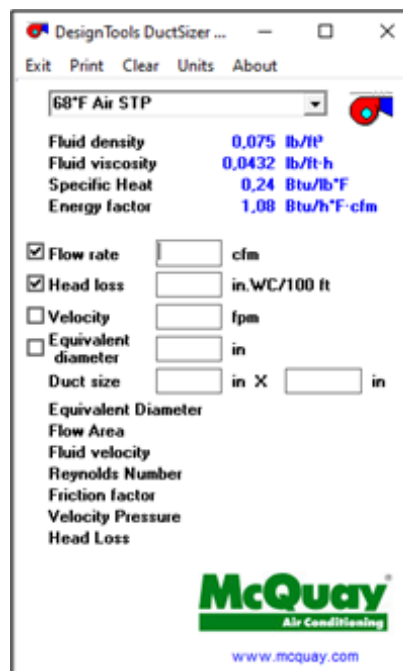
$$D = \sqrt{(4 \times 17000)/(18000 \times \pi)} = 1,096 \quad (6)$$

Ya teniendo el diámetro equivalente, se colocó en la gráfica de la Figura 35 para obtener las dimensiones de un ducto rectangular con la misma pérdida de presión que genera el diámetro equivalente. Los dos ejes de la gráfica correspondían a las longitudes de cada lado del ducto rectangular, y la curva representa el diámetro equivalente. Como resultado, se obtuvo un ducto rectangular de 60 cm x 155 cm.



**Figura 35.** Diámetro equivalente de un ducto rectangular con igual pérdida de carga [61].

Para agilizar este proceso, se utilizó el software Duct Sizer, el cual proporciona datos precisos y facilita la obtención de medidas para ductos rectangulares. Posee una opción para transformar el diámetro equivalente calculado a un ducto rectangular ingresando la longitud de uno de sus lados. Para utilizar este software, se requirió ingresar dos datos de las cuatro opciones disponibles, como se visualiza en la Figura 36. Considerando que se utilizó el método de pérdida de carga constante, se utilizó la pérdida de carga y el caudal. El caudal varió en cada tramo debido a que una cantidad establecida se redirigía a la rejilla, la cual equivalía al caudal del ducto dividido por el número de rejillas, restando este caudal al del tramo anterior.



**Figura 36.** Software DesingTools de cálculo de ductos de ventilación.

Los valores obtenidos por el programa se registraron en la Tabla 17. Además, se procedió a calcular la pérdida de carga producida por la fricción, la cual fue necesaria más adelante. Para obtener estos valores, se multiplicó la pérdida unitaria calculada anteriormente por la longitud efectiva. La longitud efectiva es el resultado de la longitud del tramo multiplicado por un factor de pérdida por rozamiento de 1.5. Esto se debió a que esta longitud modificada suele tomarse como la longitud de un tramo recto de ducto mayor en un 50%, ya que incluye singularidades como codos, curvas y accesorios. Finalmente, se sumaron estos valores para obtener la pérdida de carga total del ducto de extracción [70, 71, 72].

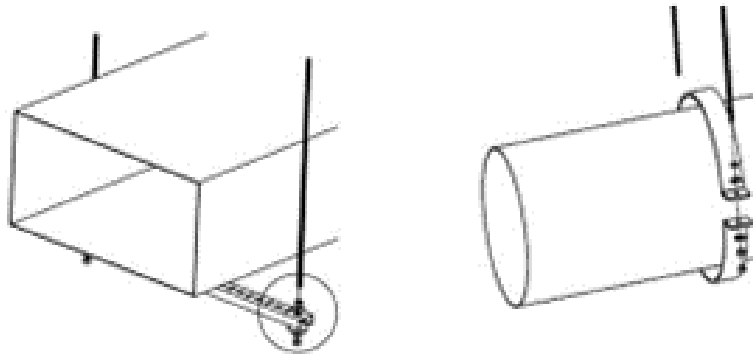
**Tabla 17.** Cálculo de perdidas en sistema de extracción.

SISTEMA DE EXTRACCION- Tramo principal										
Tramo	Distancia	Longitud efectiva	Caudal		Rejilla	Ducto		Pérdida de presión		
	m	m	m <sup>3</sup> /h	L/s	m <sup>3</sup> /h	Alto mm	Ancho mm	Pa/m	PA * Le	mmcda
AB	1,93	2,895	17000	4722,222	2833,33	1570	600	0,148	0,428	0,0437
BC	6,6	9,9	14166,67	3935,186	2833,33	1370	600	0,148	1,465	0,1494
CD	9	13,5	11333,34	3148,150	2833,33	1150	600	0,148	1,998	0,2037
DE	9	13,5	8500,01	2361,114	2833,33	910	600	0,148	1,998	0,2037
EF	9	13,5	5666,68	1574,078	2833,33	660	600	0,148	1,998	0,2037
Total de pérdida de presión									0,74	7,8877

### Soportes de ductos de extracción

Una vez que se definió el diseño de los ductos, era crucial determinar cómo serían sujetados. Había dos métodos principales que se destacaban: uno de ellos se ilustraba en la Figura 37, donde se empleaba un tipo de arnés metálico que conectaba los cables tensores a los soportes. El otro método implicaba envolver los ductos con cables tensores y apretarlos con nudos ranurados, colocados a ambos lados de los ductos.

Para este proyecto, se optó por el uso de cables tensores debido a su bajo costo. Estos cables se distribuyeron a una distancia mínima de 5 a 10 metros entre sí, lo que significaba que se colocaría un cable cada 5 metros, sumando un total de 18 cables.



**Figura 37.** soportes de ductos.

### Selección de rejillas de extracción

En la selección de las rejillas, se priorizó aquellas equipadas con sistemas de regulación para optimizar el flujo de aire y garantizar una reducción de ruido óptima. Se empleó la conversión de niveles de ruido NC a decibelios (dB(A)) según lo establecido en la Tabla 18. Esto nos permitió elegir rejillas que se ajusten a los niveles de ruido permitidos [73].



**Tabla 18.** Catálogo de rejillas de extracción de la Marca AirGuide [67].

Listado Duct Size (Inches)	Aspirate Size (Inches)	Core Area (sq. ft.)	Ak Factor	Core Velocity VP	300	400	500	600	700	800	1000	1200	1400
					.005	.010	.016	.022	.031	.040	.062	.090	.122
				0°	.015	.028	.041	.059	.081	.108	.165	.238	.324
				TP 22 1/2'	.017	.030	.047	.069	.093	.122	.190	.274	.373
				45°	.025	.046	.072	.103	.142	.186	.280	.417	.567
14 x 14	16 x 12 20 x 10 24 x 8 30 x 6	1.24		CFM	372	496	620	744	868	992	1240	1488	1736
				NC	—	10	17	22	27	31	37	43	48
				0°	11-10-30	16-25-39	20-39-42	24-50-47	27-51-61	31-51-64	35-47-60	39-47-68	41-51-71
				T 22 1/2'	9-14-28	13-20-31	16-29-34	19-26-38	21-21-41	25-21-43	28-31-49	31-30-53	33-41-57
				45°	6-1-17	1-11-20	10-15-21	12-17-24	14-14-26	16-21-27	18-21-30	20-24-33	21-24-35
				CFM	837	1110	1395	1674	1959	2232	2700	3348	3908
36 x 12	22 x 20 24 x 18 26 x 16 30 x 14	2.73		NC	—	13	20	25	30	34	40	46	51
				0°	15-25-48	21-31-46	28-42-61	34-48-68	4-51-73	45-56-77	50-41-85	55-48-95	60-51-100
				T 22 1/2'	12-10-38	18-17-41	22-21-49	27-28-54	32-41-59	38-44-63	46-48-69	51-51-76	57-58-82
				45°	8-1-24	12-17-28	14-21-31	17-21-34	21-26-37	25-31-38	28-31-43	31-34-49	33-37-53
				CFM	1560	2070	2610	3180	3780	4410	5100	5850	6660

Para la selección de las rejillas, se consideró un caudal de extracción por rejilla de 2833,33  $m^3/h$  o 1667,636 CFM. Tras revisar el catálogo, se identificó una rejilla con un caudal de 1674 CFM, que tiene dimensiones de 36x12 pulgadas o su equivalente de 22 x 20 pulgadas, es decir, 558.8 x 508 mm

### 6.3.1.2. Componentes de Suministro

#### Cálculo de Caudal

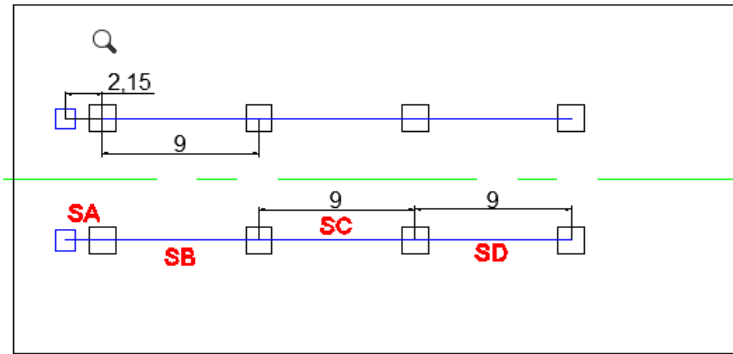
Para obtener el caudal de suministro, se utilizó el mismo número de renovaciones que en la extracción, obtenido de la Tabla 7, y el mismo volumen de 6468  $m^3$ , ya que son valores constantes. Al introducir estos valores en la ecuación 6, obtuvimos un caudal de 32340  $m^3/h$ . Dado que también hay dos ductos de suministro simétricos, se dividió el caudal por la mitad. Así, al buscar el caudal comercial, seleccionamos el valor de 17000  $m^3/h$

#### Cálculo de Ductos de suministro

Considerando el factor económico, se optó por un ducto rectangular. Se empleó el mismo método de presión constante, que implica el uso de datos como el caudal, la velocidad y el número de rejillas.

Para el cálculo y dimensionamiento de los ductos, se recurrió nuevamente al Software InstaWin, utilizando la disposición de las longitudes de los tramos del sistema de suministro, como se muestra en la Figura 38. Dado que los ductos son simétricos, solo se calculó un ducto de entrada.





**Figura 38.** Sistema de suministro

Se ingresó el caudal de  $17000 \text{ m}^3/\text{h}$ , la velocidad de  $5 \text{ m/s}$ , una pérdida de carga en la boca de 4 y el número de codos o curvas, que son 2. Con estos datos, se generó el informe final de un ducto de suministro, como se muestra en la Figura 39.

Conductos										
<b>Proyecto:</b> SUMINISTRO_3_COMERCIAL <b>Conducto:</b> Chapa Galvanizada <b>Marca:</b> AirGuide <b>Tipo:</b> INTERMEDIO <b>Velocidad (m/s):</b> 5.00 <b>Altura Acotada (cm):</b> 70.00 <b>Superficie desperdiciada:</b> 13.57 m <sup>2</sup> <b>Superficie Total de Material:</b> 104.03 m <sup>2</sup>							<b>Referencia:</b> 16170 <b>Fecha:</b> 12/01/2024			
							<b>Caudal (m<sup>3</sup>/h):</b> 17000.00 <b>Nº de Curvas:</b> 2 <b>Perdida de Carga Total:</b> 4.99 m.m.c.a <b>Superficie Total de Conducto:</b> 90.46 m <sup>2</sup> <b>Potencia ventilador centrífugo:</b> 0.91 CV = 0.67 Kw			
Conducto	Carga	Caudal m <sup>3</sup> /h	Velocidad m/s	Longitud m	Seccion m <sup>2</sup>	Diametro mm	Diametro Comercial	L x L	Alt x Anch	Rejilla
R1	0.00	4042.50	3.76	0.00	0.2988	617	710	55 x 55	70 x 43	
R2	0.00	4042.50	3.76	0.00	0.2988	617	710	55 x 55	70 x 43	
R3	0.00	4042.50	3.76	0.00	0.2988	617	710	55 x 55	70 x 43	
R4	0.00	4042.50	3.76	0.00	0.2988	617	710	55 x 55	70 x 43	
SA	0.00	16170.00	4.90	0.07	0.9161	1080	1120	96 x 96	70 x 131	
SB	0.00	16170.00	4.90	0.91	0.9161	1080	1120	96 x 96	70 x 131	
SC	0.00	16170.00	4.90	2.15	0.9161	1080	1120	96 x 96	70 x 131	
SD	0.00	12127.50	4.64	9.00	0.7266	962	1120	85 x 85	70 x 104	
SE	0.00	8085.00	4.29	9.00	0.5239	817	900	72 x 72	70 x 75	
SF	0.00	4042.50	3.76	9.00	0.2988	617	710	55 x 55	70 x 43	

**Figura 39.** Informe final suministro.

### Cálculo analítico de los ductos de suministro

Para el cálculo se utilizó los valores de caudal de  $17000 \text{ m}^3/\text{h}$  y la velocidad de  $5 \text{ m/s}$ , con la ayuda de la gráfica de la Figura 34, se aproximó una pérdida de  $0,148 \text{ Pa/m}$  o  $0,0437 \text{ mmc.d.a}$ , además se utilizó el software Duct Sizer para agilizar este proceso, obteniendo los resultados que se presentan en la Tabla 19.

**Tabla 19.** Cálculo de perdidas en sistema de suministro.

SISTEMA DE SUMINISTRO										
Tramo Principal	Distancia	Longitud efectiva	Caudal		Rejilla	Ducto		Perdida de presión		
	m	m	m <sup>3</sup> /h	L/s	m <sup>3</sup> /h	Alto mm	Ancho mm	Pa	PA* Le	mmcda
OA	3,13	4,695	17000	4722,22	4042,5	750	700	0,148	5,86749	0,598317
AB	9	13,5	12957,5	3599,31	4042,5	750	700	0,148	16,8714	1,720402
BC	9	13,5	8915	2476,39	4042,5	675	700	0,148	16,8714	1,720402
CD	9	13,5	8915	2476,39	4042,5	600	700	0,148	16,8714	1,720402
Total de perdida de presión										5,759523

### Soportes de ductos de suministro

Una vez establecido el diseño de los ductos, se determinó el método de sujeción, que fue mediante cables tensores apretados con nudos para cable de acero ranurado. Estos cables se colocaron a ambos lados de los ductos y se distribuyó con una distancia mínima de 5 m de longitud. En total, se colocaron 16 cables

### Selección de Rejillas de suministro

En la selección se optó por la rejilla de 30×24 pulgadas de la empresa AirGuide, que ofrecía una capacidad de 2385 CFM con una doble deflexión de 45 grados, ideal para lograr un radio de cobertura de 15 pies.

**Tabla 20.** Industrial Supply Grilles and Registers [67].

**MODELS: V, VOB, H, HOB, VME, VMEOB, HME, HMEOB, VH, VHOB, VHME, VHMEOB, HV, HVOB, HVME, HVMEOB, VML, VMLME, HML, HMLME**

Listed Duct Size (inches)	Alternate Size (inches)	Core Area (sq. ft.)	Ak Factor	Core Velocity VP	300	400	500	600	700	800	1000	1200	1400
					.006	.010	.016	.022	.031	.040	.062	.090	.122
24 x 24	26 x 22 28 x 20 32 x 18 36 x 16	3.79	CFM NC	0°	.015	.026	.041	.059	.081	.106	.165	.238	.324
				22 1/2°	.017	.030	.047	.068	.093	.122	.190	.274	.373
				45°	.026	.046	.072	.103	.142	.186	.289	.417	.567
24 x 24	26 x 22 28 x 20 32 x 18 36 x 16	3.79	CFM NC	0°	1137	1516	1895	2274	2653	3032	3790	4548	5306
				22 1/2°	—	14	21	26	31	35	41	47	52
				45°	18-29-55	26-39-62	33-48-70	39-55-77	45-59-83	51-62-89	57-70-99	62-77-108	68-83-117
36 x 18	32 x 20 40 x 16 46 x 14	4.29	CFM NC	0°	1287	1716	2145	2574	3003	3432	4290	5148	6006
				22 1/2°	—	15	22	27	32	36	42	48	53
				45°	19-31-58	28-42-68	35-52-75	42-58-83	48-63-89	55-68-95	61-75-106	68-83-117	73-89-125
26 x 26	28 x 24 48 x 14	4.47	CFM NC	0°	1341	1788	2235	2682	3129	3576	4470	5364	6258
				22 1/2°	—	15	22	27	32	36	42	48	53
				45°	19-32-59	28-43-69	35-53-77	43-59-85	49-65-91	56-69-98	63-77-109	69-85-120	75-91-129
30 x 24	32 x 22 36 x 20 40 x 18	4.77	CFM NC	0°	1431	1908	2385	2862	3339	3816	4770	5724	6678
				22 1/2°	—	15	22	27	32	36	42	48	53
				45°	20-33-61	29-44-71	36-54-79	44-61-87	51-67-94	58-71-101	65-79-112	71-87-123	77-94-133

### 6.3.2. Subsistema Equipo

En la selección del equipo, se sumaron las pérdidas de carga generadas por todos los componentes del ducto, lo cual nos proporcionó la presión mínima necesaria para la selección del ventilador. Además, esta subsección también se dividió en dos grupos de componentes: los de suministro y los de extracción.

#### 6.3.2.1. Componentes de Suministro

Se comenzó seleccionando los filtros para la caja de filtrado. Posteriormente, se calcularon sus pérdidas de carga. Estas, sumadas a las pérdidas de carga previamente calculadas, nos proporcionaron la presión mínima que, junto con el caudal, se utilizó para la selección del ventilador.

#### Caja de filtrado para suministro

Para la caja de filtrado, se seleccionaron los filtros adecuados. Se eligió un filtro tipo G3 como prefiltro, diseñado para capturar partículas grandes como polvo e insectos, y un filtro M5 para el contaminante PM10, que consiste en material particulado de 10 micras. Consultando la Tabla 21, se determinó que la pérdida de presión era de 250 Pa para el filtro tipo G3 y de 450 Pa para el filtro tipo M5.

**Tabla 21.** Tabla de pérdidas de presión en función de la clase de filtros [74]

Clase de filtro	Caida de presión en la prueba final Pa	Arrestancia promedio (Am) de polvo de prueba ASHRAE	Eficiencia promedio (Em) de partículas de 0.4 µm	Eficiencia mínima* de partículas de 0.4 µm
G1	250	50% ≤ Am < 65%	-	-
G2	250	65% ≤ Am < 80%	-	-
G3	250	80% ≤ Am < 90%	-	-
G4	250	90% ≤ Am	-	-
M5	450	-	40% ≤ Em < 60%	-
M6	450	-	60% ≤ Em < 80%	-
F7	450	-	80% ≤ Em < 90%	35%
F8	450	-	90% ≤ Em < 95%	55%
F9	450	-	95% ≤ Em	70%

### Ventilador comercial para suministro

Como se mencionó anteriormente, la selección del ventilador requirió dos datos: el caudal y la presión mínima. Esta última se calculó sumando todas las pérdidas de presión del sistema, como se muestra en la Tabla 22, ya que el ventilador debe compensar estas pérdidas

**Tabla 22.** Perdidas dentro del sistema de suministro.

Elementos	Perdidas de Presión
Ductos y codos	4,99 mm cda
Filtro PM10	25,493 mm cda
Filtro PM2,5	45,887 mm cda
Rejillas	15,684 mm cda
Total	92,054 mm cda

Para el sistema de ventilación, se consideraron tres tipos de ventiladores mencionados previamente en la sección 5.3. Se evaluó para determinar la mejor opción que se utilizará en el sistema

**Tabla 23.** Matriz de ponderación, Selección del tipo de ventilación.

Aspectos	Ponderación	V. Centrifugó	V. Axial	V. Tangencial
Técnicos	70	56	56	47
Eficiencia energética	25	23	20	15
Ruido	15	10	14	12
Versatilidad	15	10	8	12
Caudales	15	13	14	8
Operacionales	30	13	10	12
Seguridad	15	13	10	12
Costos	20	10	12	7
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>79</b>	<b>78</b>	<b>66</b>

Se optó por los ventiladores centrífugos debido a su versatilidad y eficiencia. Considerando el caudal comercial disponible de  $17000 \text{ m}^3/\text{h}$  y la presión mínima de 92.054 mmca, se investigó en empresas distribuidoras como Soler Palau, Sodeca y Sisteven, las cuales ofrecían ventiladores centrífugos que cumplían con los requisitos. La información recolectada de estos se presenta en la Tabla 24.

**Tabla 24.** Matriz de datos de selección de ventilador [75].

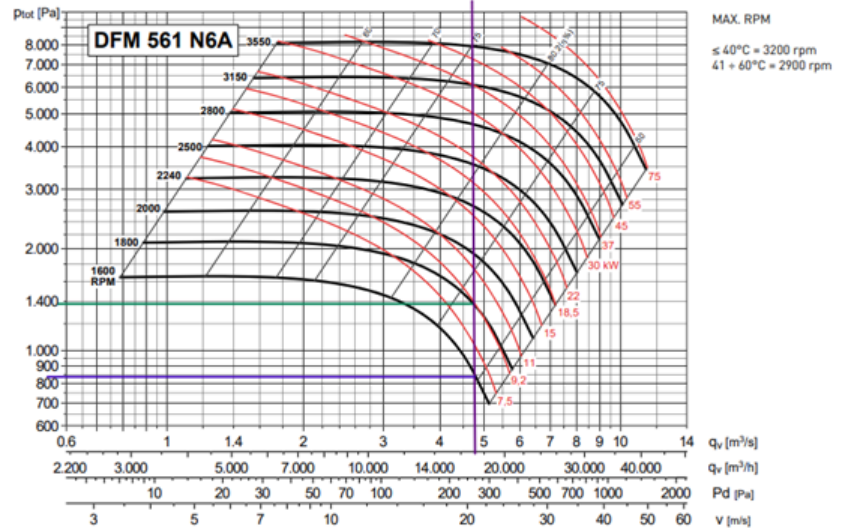
<b>Características</b>	<b>DFM 561 N6A</b>	<b>PF/ATEX-H-1856-4T- 10/2G EX EB</b>	<b>GR/T</b>
Marca	S&P	Sodeca	Airtecnic
Consumo Energético (kW)	9.2	6.434	15
Rpm	1800	1950	3800
Rango de Temperatura	-20 a 40°C	-20 a 40°C	-20 a 40°C
Peso (kg)	74	102	80
Ruido (dB)	40	58	-
Tamaño (mm)	1038x915x1136	805x810x760	-
Caudales Max (m <sup>3</sup> /h)	17000	17000	17000
Presión (mm c.d.a.)	141.74	105.3	407.88

Con base en los datos proporcionados en la Tabla 24, se elaboró una matriz de ponderación para seleccionar el ventilador más adecuado para este proyecto

**Tabla 25.** Matriz de ponderación, selección de ventilador.

<b>Aspectos</b>	<b>Ponderación</b>	<b>DFM 561 N6A</b>	<b>PF/ATEX-H-1856-4T- 10/2G EX EB</b>	<b>GR/T</b>
<b>Técnicos</b>	<b>70</b>	<b>56</b>	<b>54</b>	<b>45</b>
Consumo energético	30	25	22	18
Marca	10	10	8	4
Versatilidad	20	18	16	15
Peso	10	6	8	8
<b>Operacionales</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>6</b>
Cercanía	10	8	8	6
<b>TOTAL</b>	<b>80</b>	<b>64</b>	<b>62</b>	<b>51</b>

Tras analizar la matriz de ponderación, se determinó que la mejor opción es el ventilador centrífugo DFM 561 N6A.



**Figura 40.** Ventilador DFM 561 N6A [76].

Para reducir el nivel de ruido y proteger los componentes del ventilador, se solicitó el accesorio de la cabina, como se muestra en la Figura 41.



**Figura 41.** Cabina de extracción [76].

### 6.3.2.2. Componentes de Extracción

Como se mencionó anteriormente, se utilizó el caudal de  $17000 \text{ m}^3/\text{h}$  y las pérdidas de carga previamente calculadas para seleccionar el ventilador comercial adecuado.

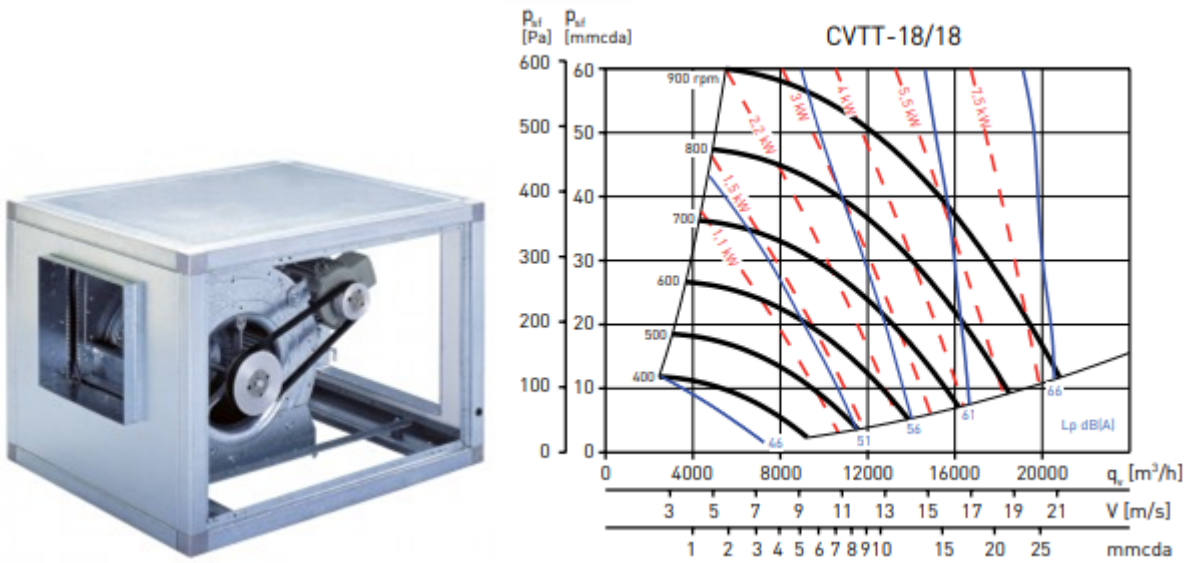
#### Selección de ventilador para extracción

Como se mencionó anteriormente, para la selección del ventilador se necesitó dos datos: el caudal y la presión mínima. Esta última se obtuvo al sumar todas las pérdidas de presión de los componentes del ducto de extracción, como se detalla en la Tabla 26, ya que el ventilador debe compensar estas pérdidas de presión

**Tabla 26.** Perdidas dentro del sistema de extracción.

Elementos	Perdidas de Presión
Ductos y codos	6,04 mm cda
Rejillas	15,684 mm cda
Total	21,724 mm cda

Basándose en el proceso de ponderación realizado previamente para la selección del ventilador de suministro, se buscó un ventilador que cumpla con las presiones indicadas en la Tabla 26 y el caudal de  $17000 \text{ m}^3/\text{h}$ . Como resultado de este análisis, se seleccionó el ventilador CVTT 18 de la empresa Soler Palau, como se muestra en la Figura 42.



**Figura 42.** Ventilador CVTT-18/18 [77].

### 6.3.3. Subsistema Eléctrico

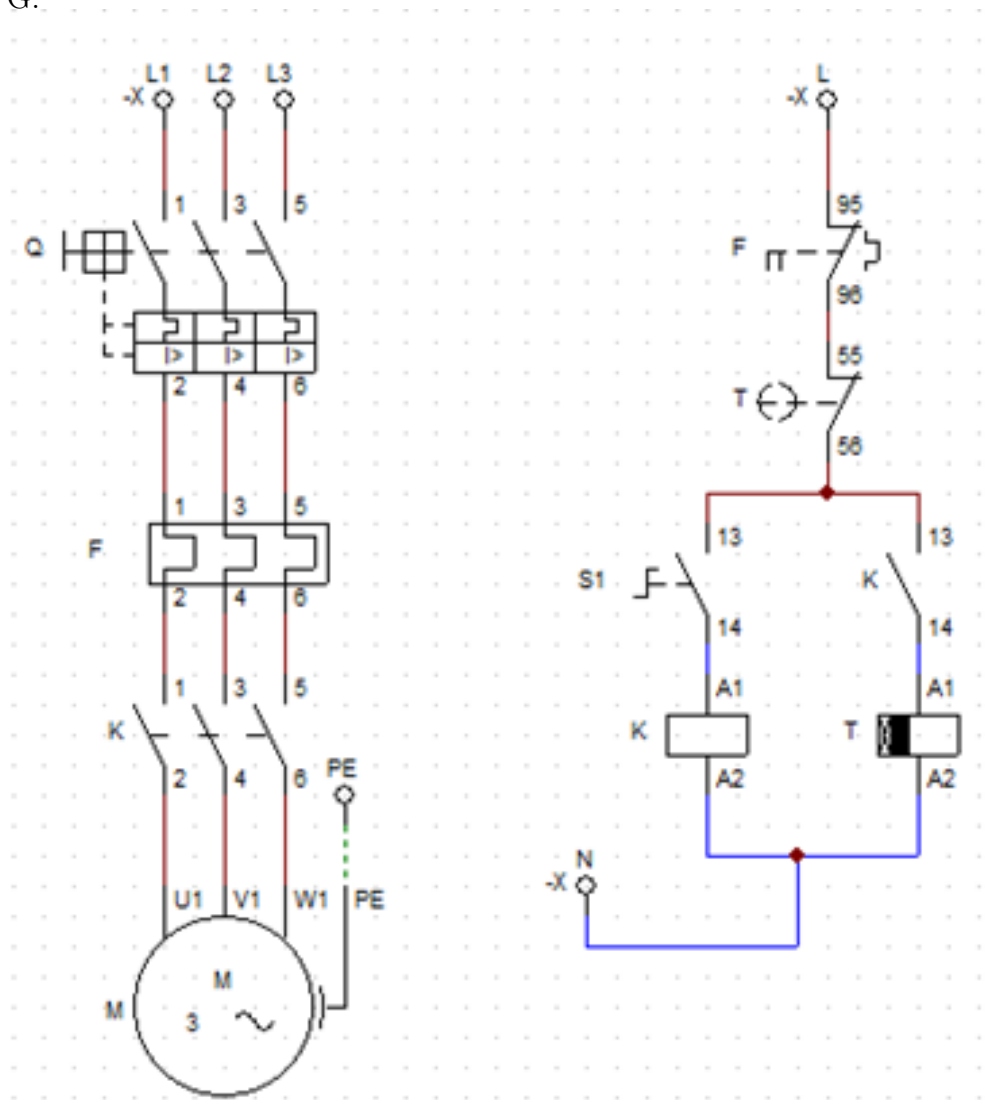
Este subsistema, al igual que los demás, se subdividió en componentes de suministro y de extracción.

#### Componentes de Extracción

Para la definición de las partes del subsistema eléctrico, era fundamental considerar su función principal: mantener encendido el motor del ventilador durante un período determinado, apagarlo por otro período y luego volver a encenderlo para iniciar un nuevo ciclo, manteniéndose activo mientras el interruptor estuviera activado.



Una vez definida esta función, se procedió a identificar los componentes eléctricos necesarios, entre los que se incluyeron los protectores, como breakers, guardamotores y relés térmicos. Para el control del ciclo, se incorporó un contactor, mientras que para gestionar los intervalos de tiempo, se utilizó un temporizador. Todos estos elementos debían ser capaces de soportar los 9 kW requeridos por el motor, tal como se mostraba en la curva de rendimiento del ventilador presente en la Figura 40. Con los componentes identificados, se diseñó el circuito eléctrico de fuerza y control, cuya representación se muestra en la Figura 43. Posteriormente, se llevó a cabo una simulación para verificar su correcto funcionamiento, como se detalla en el Anexo G.




**Figura 43.** Circuitos eléctricos.



Se presenta a continuación la Tabla 27 que detalla los elementos de protección y control seleccionados para ser utilizados en el sistema eléctrico junto con su costo comercial aproximado, los mismos que dependerán de la marca comercial.

**Tabla 27.** Ítems del sistema eléctrico.

Ítems	Costo	Cantidad	Imagen
Breakers	31,75	4	
Temporizador	31	4	
Guardamotor	30	4	
Relés térmicos	26	4	
Cable N16	10	12	 Cable Sólido THHN 14 (Rollo 10m) Amarillo

### Componentes de Suministro

Dado que su función es similar a la del circuito de extracción, se empleó el mismo circuito eléctrico mostrado en la Figura 43. Este incluye elementos protectores como breakers, guardamotors, protectores o relés térmicos.

Para el control se requirió la instalación de un contactor, y para asegurar el bucle cíclico se incorporó un temporizador, además todos los elementos fueron seleccionados, considerando que debían ser capaces de soportar los 6 kW que serán usados por el motor del ventilador de suministro.

## **6.4. Diseño a detalle**

El diseño detallado que comprende los planos de los ductos del sistema de ventilación, así como el sistema completo dentro de la nave industrial, mostrado en el Anexo A, además, se proporcionó un detalle de las uniones de las láminas de acero galvanizado que conforman los ductos, presentadas en el mismo Anexo A; todos los anexos se encuentran en sus respectivos formatos técnicos de representación gráfica para un entendimiento general.

Como parte de la verificación de la funcionalidad del sistema de ventilación, se llevó a cabo una simulación de los ductos de ingreso de aire, que se muestra en la Figura 48 y en el Anexo C, así como una simulación del sistema completo, presentadas en la Figura 49 y en el Anexo D. Estas simulaciones, presentadas en los anexos, demostraron la funcionalidad y efectividad del sistema, además de mostrar las pérdidas de presión, las cuales se mantuvieron dentro de los límites calculados, asegurando una presión suficiente para abastecer los ductos del sistema.

## **6.5. Análisis técnico financiero**

Dentro del análisis técnico, se realizó un análisis de precios unitarios para cada subsistema, comenzando con el análisis del subsistema eléctrico, seguido del subsistema de equipos y, finalmente, el subsistema de ductos, como se observa en las Figuras 44,45,46 respectivamente.

**PROYECTO: Sistema de ventilacion para una nave industrial**  
**ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

**NOMBRE DEL OFERENTE:**

PROYECTO: Sistema de ventilacion para una nave industrial

ITEM: 1

DESCRIPCION: *subsistema electrico*

UNIDAD: 1

**EQUIPO Y HERRAMIENTA**

DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Herramienta menor (Taladro, brocas, llaves de boca, dados,etc)	3%MO			42,19
				0,00
				0,00
				0,00
			<b>PARCIAL M</b>	42,19

**MATERIALES**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECI/U	COSTO TOTAL C=A*B
Breakers 3p	u	4,00	31,75	127,00
Temporizador On Off	u	4,00	30,99	123,96
Guardamotor 9 kW	u	4,00	30	120,00
Reles termicos 9kW	u	4,00	26	104,00
Cables flexible N° 12 10m	u	1,00	58,5	58,50
Cables flexible N° 12 10m	u	1,00	25,5	25,50
Caja Electrica	u	6,00	2	12,00
Arandelas compresion	lb	0,50	2	1,00
Tornillos para cemento 100und	u	1,00	3	3,00
Interruptor Switch On-off 2 Polos Solteam 10a 125vac	u	4,00	4	16,00
			<b>PARCIAL N</b>	<b>590,96</b>

**TRANSPORTE**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Transporte de breakers	u	1	1,68	1	1,68
					0,00
				<b>PARCIAL O</b>	1,68

**MANO DE OBRA**

DESCRIPCION	CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C
Ayudante electrico	1	4,14	160	662,40
Ingeniero electrico	1	4,65	160	744,00
				0,00
			<b>PARCIAL P</b>	1406,40

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)</b>				<b>2041,23</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDAD</b>			15,00%	306,18
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>				
<b>VALOR PROPUESTO</b>				<b>2347,42</b>

**Figura 44.** APU del subsistema eléctrico.

### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**NOMBRE DEL OFERENTE:**

**PROYECTO:** Sistema de ventilacion para una nave industrial

**ITEM:** 2

**DESCRIPCION:** subsistema equipo

**UNIDAD:** u

#### EQUIPO Y HERRAMIENTA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Herramienta menor (Taladro, brocas, llaves de boca, dados,etc)	3%MO			4,75
Grua telescopica	1	4,65	16	74,40
			<b>PARCIAL M</b>	<b>79,15</b>

#### MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECI/U	COSTO TOTAL C=A*B
Ventilador centrifugo	u	4,00	2500	10000,00
Filtros G3	u	8,00	45,71	365,68
Filtros M5	u	8,00	25,93	207,44
				0,00
				0,00
				0,00
				0,00
			<b>PARCIAL N</b>	<b>10573,12</b>

#### TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
transporte de filtros	u	1	7,00	1	7,00
transporte de ventilador	u	1	14,00	1	14,00
				<b>PARCIAL O</b>	<b>21,00</b>

#### MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C
Ayudante electrico	1	4,14	18	74,52
Ingeniero electrico	1	4,65	18	83,70
				0,00
			<b>PARCIAL P</b>	<b>158,22</b>

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)</b>				<b>10831,49</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDAD</b>			15,00%	1624,72
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>				
<b>VALOR PROPUESTO</b>				<b>12456,21</b>

**Figura 45.** APU del subsistema equipo.

### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**NOMBRE DEL OFERENTE:**

**PROYECTO:** Sistema de ventilacion para una nave industrial

**ITEM:** 3

**DESCRIPCION:** Subsistemas conductos

**UNIDAD:** 1

#### EQUIPO Y HERRAMIENTA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Herramienta menor (Taladro, brocas, llaves de boca, dados,etc)	3%MO			40,22
			<b>PARCIAL M</b>	40,22

#### MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECI/U	COSTO TOTAL C=A*B
Ductos rectangular galvanizados	kg	1422,70	6,25	8891,88
Rejillas 30x24in	u	8,00	70	560,00
Rejillas 22x20in	u	12,00	65	780,00
Cable de acero 3 mm de diametro				
			<b>PARCIAL N</b>	10231,88

#### TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Trasporte de ductos	h	1	6,08	1	6,08
				<b>PARCIAL O</b>	6,08

#### MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C
Hojalatero	2	4,19	160	1340,80
				0,00
				0,00
			<b>PARCIAL P</b>	1340,80

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)</b>				<b>11618,99</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDAD</b>			15,00%	1742,85
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>				
<b>VALOR PROPUESTO</b>				<b>13361,84</b>

**Figura 46.** APU del subsistema ducto.

Con estos datos, se calculó un costo de implementación para todo el sistema de ventilación de 28165.46 dólares, como se muestra en la Figura 47.

<b>ANÁLISIS DE COSTOS TOTALES</b>					
<b>PROYECTO: Sistema de ventilacion para una nave industrial</b>					
Fecha: 01/02/2024					
N°	Descripción	Unid.	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	subsistema electrico	u	1	2347,42	2347,42
2	subsistema equipo	u	1	12456,21	12456,21
3	Subsistemas conductos	u	1	13361,84	13361,84
4				0,00	0,00
<b>TOTAL</b>					<b>28165,46</b>

**Figura 47.** Oferta del sistema de ventilación.

## 7. Análisis de Resultados

Dentro de los resultados destacados que cumplen con los objetivos específicos, se detallan los siguientes elementos:

### 7.1. Condiciones iniciales requeridas

Considerando la normativa correspondiente, los elementos a almacenar y las condiciones de almacenamiento que esta establece para un adecuado resguardo, se resumen en las condiciones iniciales utilizadas para el diseño, las cuales se muestran en la Tabla 28. En esta se detallan no solo las condiciones de almacenamiento, sino también aquellas obtenidas a partir de los datos establecidos por la normativa, así como algunas otras que fueron calculadas.

**Tabla 28.** Condiciones iniciales.

<b>Condiciones de almacenamiento</b>	
Ruido máximo	75 dB
Calidad del aire	CAI 3
Volumen	6468 $m^3/h$
Radio de cobertura de rejilla	15 ft
Caudal	32340 $m^3/h$
Velocidad	5 m/s
Número de renovaciones	5 reny/h

En la Tabla 28 se muestra que la calidad del aire a establecer es CAI 3, la cual se consiguió al reducir el contaminante PM10 o material particulado de 10 micras mediante un filtrado en el ingreso de aire.

## 7.2. Diseño del sistema de ventilación mecánica

Considerando que se trata de un sistema de ventilación por renovaciones, se utilizó el radio de cobertura de la rejilla para posicionarlas adecuadamente en el sistema y garantizar una circulación de aire eficiente. Con este fin, se creó un esquema del sistema, el cual se muestra en la Figura 25. Conjuntamente con las condiciones iniciales, se llevó a cabo el dimensionamiento de los tramos de los ductos, cuyos resultados se presentan en los informes de resultados de las Figuras 33 y 39, uno para el ducto de extracción y otro para el de suministro, respectivamente. Estos informes fueron generados por el programa InstaWin.

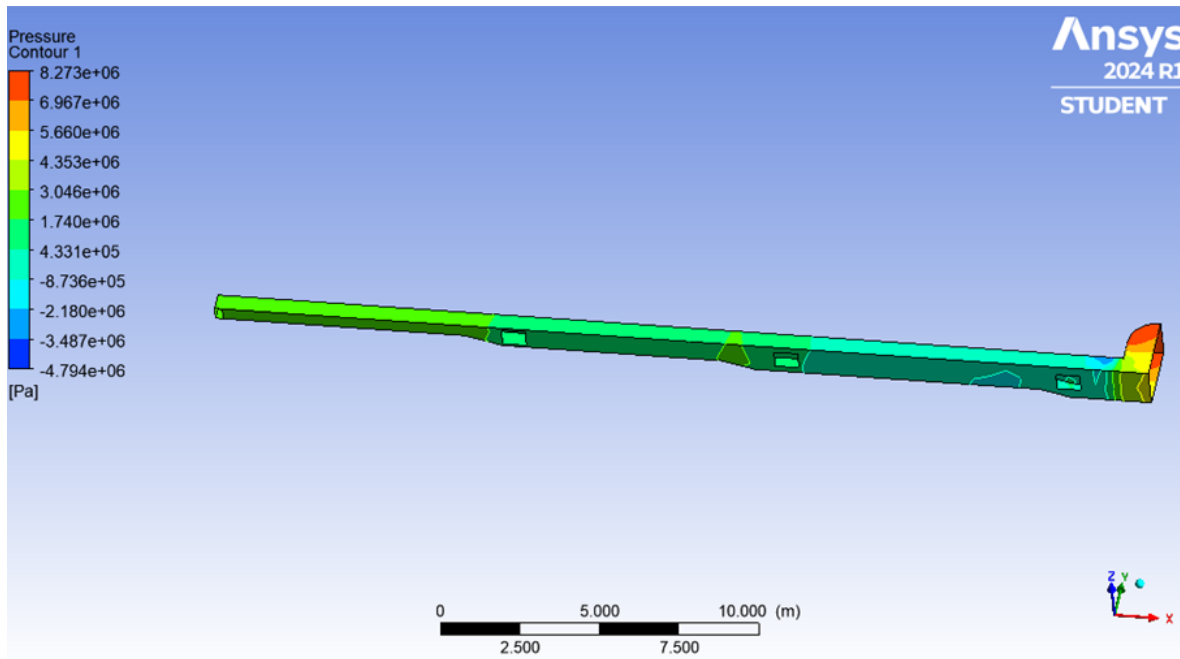
Con las dimensiones de los ductos, se diseñó el sistema de ventilación que se observa en los planos presentes en el Anexo A. Además, el programa InstaWin proporcionó la pérdida de presión en los ductos. Esta pérdida, junto con las pérdidas generadas por las rejillas, detalladas en la Tabla 29, y en el caso de los ductos de suministro, se suma la pérdida por la caja de filtrado, la cual es de 71,38 mm.c.d.a. Al sumar estas pérdidas, se obtiene la presión mínima que debe generar el ventilador.

**Tabla 29.** Perdidas generadas por las rejillas.

Rejillas	Perdidas de Presión		
	unidad	cantidad	Total
Suministro	3,922 mmcda	4	15,688 mmcda
	unidad	cantidad	Total
Extracción	2,614 mmcda	6	15,684 mmcda
	unidad	cantidad	Total

La presión mínima, junto con el caudal comercial, se utilizan para seleccionar los ventiladores. En los ductos de suministro, se considera un caudal comercial de  $17000 \text{ m}^3/h$  y una presión mínima de 92,052 mm.c.d.a, lo que llevó a la selección del ventilador comercial DFM 561 N6A de la empresa Soler Palau, como se muestra en la Figura 40. Para los ductos de extracción, se considera una presión mínima de 21,724 mm.c.d.a, junto con el mismo caudal comercial de  $17000 \text{ m}^3/h$ . Con estos datos, se seleccionó el ventilador centrífugo CVTT-18, también de Soler Palau, como se puede observar en la Figura 42.

Para demostrar la eficiencia de los ductos, se realizó un análisis de presión en el programa Ansys Fluent. Se introdujo el ducto de suministro con las presiones generadas por el ventilador para verificar que exista una presión adecuada en todo el ducto.



**Figura 48.** Simulación de presión en Ansys del ducto de suministro.

Como se puede observar detalladamente en la Figura 48, se evidencia una presión a lo largo de todo el ducto de suministro. Incluso en la región más remota del ducto, se registra una presión considerable de 174 kPa. Este análisis revela que, considerando la presión atmosférica estándar de 101 kPa, existe una presión abundante que garantiza un flujo de aire adecuado y consistente a lo largo de toda la instalación.

Para corroborar la circulación del aire en toda la estructura, se optó para el cálculo el uso del software Discovery Live que mediante esta herramienta, se llevó a cabo una simulación exhaustiva del funcionamiento del sistema, como se visualiza claramente a continuación en la Figura a 49; este análisis permitió una comprensión profunda del flujo de aire en cada rincón de la nave industrial, asegurando una distribución óptima del aire y una ventilación efectiva en todo el espacio.



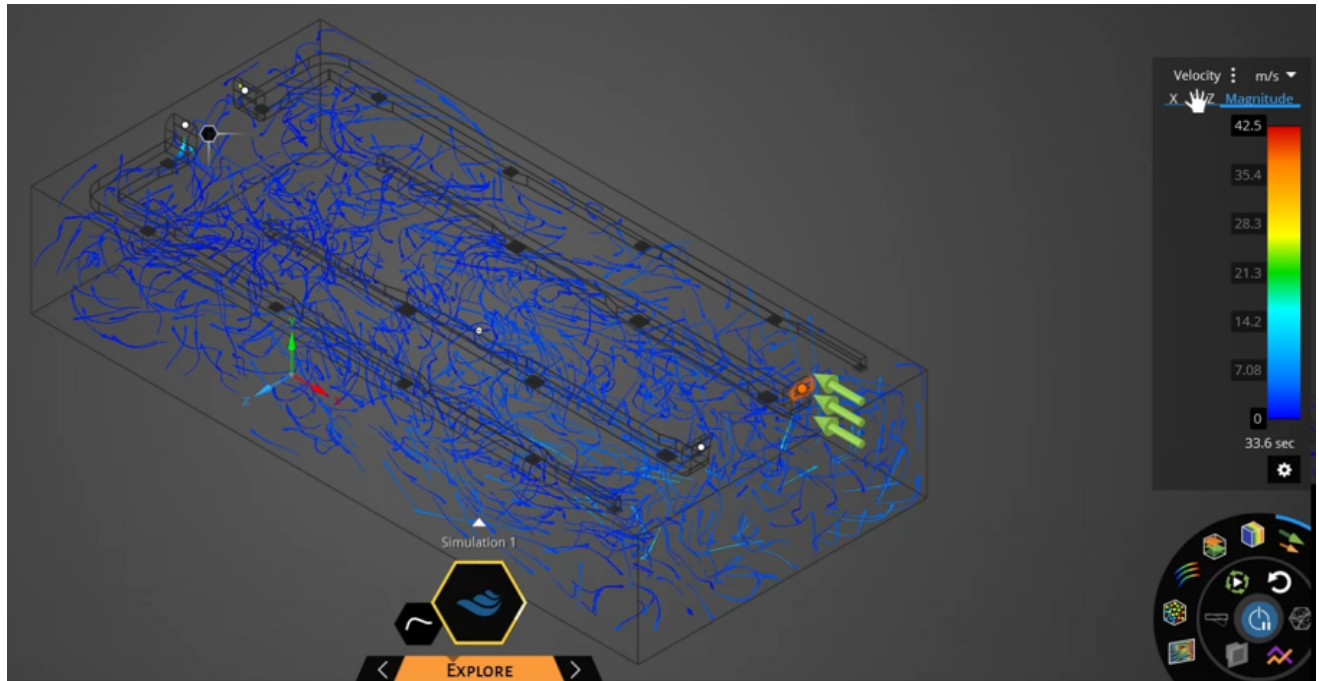


Figura 49. Simulación de flujo.

### 7.3. Análisis técnico financiero de la implementación del sistema de ventilación mecánica

Cumpliendo con el último objetivo, se realizó un análisis técnico-financiero utilizando el método de análisis de precios unitarios. Este método tiene en cuenta los equipos y herramientas, los materiales, la mano de obra, el transporte y una utilidad que en este caso es del 15%. Dentro de este análisis, se generó un rubro para cada subsistema, calculando un costo de 2347,42 dólares para el subsistema eléctrico, 12456,21 dólares para el subsistema de equipos y 13361,84 dólares para el subsistema de ductos. En conjunto, estos costos suman un total de 28165,46 dólares para la implementación del sistema, como se muestra en la Figura 47. Este costo representa el valor real de un sistema de ventilación de este tipo.

## 8. Conclusiones

- Considerando las condiciones de almacenamiento derivadas de factores ambientales, normativas y materiales a almacenar, se estableció que la principal condición ambiental a controlar es la calidad del aire, con especial atención en la filtración del contaminante

PM10. Además, se definieron parámetros como el caudal, la velocidad y el número de renovaciones, que guiaron el diseño del sistema de ventilación.

- Se implementó un sistema de ventilación mecánica por renovaciones de aire, utilizando ductos para dirigir el flujo de aire generado por los ventiladores que fueron seleccionados según el caudal y la presión mínima requerida. Las rejillas, con una doble deflexión de 45°, se instalaron para generar un radio de cobertura de 15 pies y asegurar la circulación completa del aire en la nave. Este diseño logra cumplir con las condiciones de almacenamiento y la normativa correspondiente.
- La característica destacada del diseño es su simplicidad, lo que facilita su implementación y reduce costos. El costo estimado de implementación, es de 28165 dólares, que representa un valor real para sistemas de ventilación de este tipo. Este precio refleja un sistema que cumple con las condiciones de almacenamiento para el adecuado resguardo de múltiples elementos, como componentes poliméricos y aceros, así como para preservar la salud de los trabajadores.

## 9. Recomendaciones

- Se recomienda mantener diseños simples y en la medida de lo posible minimizar las bifurcaciones debido a que aumentan la pérdida de presión dentro del sistema.
- Al diseñar el sistema, es recomendable incorporar más de una entrada y salida. La inclusión de múltiples puntos de entrada y salida ayuda a distribuir de manera más uniforme el flujo de aire y reduce la necesidad de utilizar ventiladores de gran tamaño y peso. La instalación de un solo punto de entrada puede requerir el uso de ventiladores más grandes y pesados, lo que puede dificultar la instalación y aumentar los costos operativos.
- Se debe realizar un mantenimiento preventivo regular a la caja de filtrado del sistema de ventilación. La caja de filtrado juega un papel crucial en la calidad del aire y en la protección del sistema contra la acumulación de polvo y partículas contaminantes. Realizar un mantenimiento preventivo garantizará un funcionamiento óptimo de la caja de filtrado y ayudará a prolongar la vida útil del sistema en su conjunto.

## Referencias

- [1] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, *Preguntas y respuestas*. Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), 2023.
- [2] —, *Estructuras de hormigón armado*. Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), 2023.
- [3] D. Valencia, *Estructuras de acero*. Camicon, dec 2014, No. 22-23.
- [4] J. McCormac, *Análisis de estructuras-métodos clásico y matricial*. Alfaomega Grupo Editor, 2010.
- [5] Contraloría general del estado, *Normas de control interno de la contraloría general del estado*. Acuerdo de la Contraloría General del Estado 39, 2009.
- [6] Calaminon, *¿Qué son las naves industriales y para qué se usan?* [Disponible en: <https://www.calaminon.com/blog/naves-industriales/>; Accedido el: 04 de septiembre del 2023], 2023.
- [7] M. Figueras, *Diseño de estructuras metálicas para la granja avícola de Centeno que garantice elevada resistencia mecánica.*, Departamento de ingeniería mecánica, Universidad de MOA Dr. Antonio Núñez Jiménez candthesis, 2019. [En Línea]. Disponible en: <http://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/3718/FiguerasSierraD2019.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [8] F. P. Cruz, A. Cisneros, L. Hernández, J. Paulina, y T. F. Itzel, “Diseno de un modelo de nave industrial sostenible y adaptable para el sector de autopartes en la zona industrial de puebla,” 2018.
- [9] Universidad nacional autónoma de México, *Parques industriales – clasificación*. [Disponible en: <http://www.gob.mx/cpyme/parques/norma.aspA>; Accedido el: 08 de septiembre del 2023], 2023.
- [10] Ministerio de Vivienda, “Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación,” Legislación consolidada, 2006.
- [11] Anonimo, *Normativa y requisitos del proyecto nave industrial*. [Disponible en: <https://www.certicalia.com/proyecto-nave-industrial/normativa-y-requisitos-del-proyecto-nave-industrial>; Accedido el: 04 de septiembre del 2023], 2023.

- [12] Ministerio de Trabajo, *Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo*, 2007, No. 92.
- [13] GoogleMaps. (2023). [En Línea]. Disponible en: <https://www.google.com/maps/>
- [14] Continental Tire Andina. (2023) Fabricación de neumáticos. [En Línea]. Disponible en: <https://www.continental-neumaticos.es/b2c/tire-knowledge/tire-production/>
- [15] ——. (2023) Todo sobre llantas conocimiento de llantas. [En Línea]. Disponible en: <https://www.continental-tires.com/ec/es/b2c/tire-knowledge/>.
- [16] Good Year. (2023) Entiende a tu neumático. [En Línea]. Disponible en: [https://www.goodyear.eu/es\\_es/consumer/learn/how-tires-are-made.html](https://www.goodyear.eu/es_es/consumer/learn/how-tires-are-made.html).
- [17] B. T. Solutions. (2021) «¿qué es un sistema de ventilación mecánica?,». BT Technology Solutions. [En Línea]. Disponible en: <https://btsa.ec/que-es-un-sistema-de-ventilacion-mecanica/>
- [18] P. Moreno, “Importancia del uso de la ventilación como método de control de contaminantes en recintos hospitalarios,” 2023. [En Línea]. Disponible en: <https://www.ispch.cl/wp-content/>
- [19] Soler y Palau. (2017) El blog de la ventilación eficiente. [En Línea]. Disponible en: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/todo-lo-que-debes-saber-sobre-los-sistemas-ventilacion/>
- [20] Grupo Oasis. (2023) Recomendaciones para ventilación de naves industriales. [En Línea]. Disponible en: <https://gpooasis.com/recomendaciones-para-ventilacion-de-naves-industriales/>
- [21] Grupo Ventilacion Soler Palau. (2023) Silenciadores (atenuadores acústicos)sil-cz. [En Línea]. Disponible en: <https://www.solerpalau.com/es-es/accesorios-de-montaje-sil-cz-1304-serie/>
- [22] A. Fuentes y G. Obando, *Diseño de un sistema de ventilacion para una panaderia de la ciudad de Guayaquil*, Univerdidad Politecnica Salesiana candthesis, 2023.
- [23] Airtècnics. (2023) Ventiladores centrífugos. [En Línea]. Disponible en: <https://www.airtecnics.com/es/productos/ventiladores-centrifugos>

- [24] Etseib. (2023) Ventilador centrífugo transmisión poleas. [En Línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/105189/MEMORIA.pdf?sequence=1>
- [25] N. Blower. (2023) Ventilador centrífugo. Northern Blower Inc. [En Línea]. Disponible en: <https://www.northernblower.com/ventilador-centrifugo/?lang=es>
- [26] Techinfus. (2019) ¿cuáles son las diferencias entre ventiladores radiales y axiales? [En Línea]. Disponible en: <https://es.techinfus.com/klimaticheskaya/ventilyator/radialnyj-i-osevoj-raznica.html>
- [27] DigiKey. (2023) Comparación de ventiladores axiales y centrífugos. [En Línea]. Disponible en: <https://www.digikey.es/es/articles/comparing-axial-fans-and-centrifugal-fans>
- [28] kinextec iberica. (2023) Ventiladores de flujo axial. KINEXTEC IBERICA SL. [En Línea]. Disponible en: <https://kinextec.com/producto/ventiladores-de-flujo-axial/>.
- [29] Airtècnics. (2023) Ventilador tangencial fcls. Airtècnics. [En Línea]. Disponible en: <https://www.airtecnics.com/es/productos/ventilador-tangencial-fcls-1>.
- [30] Lifeder. (2022) Propiedades mecánicas y físicas del acero. Lifeder. [En Línea]. Disponible en: <https://www.lifeder.com/propiedades-mecanicas-fisicas-acero/>.
- [31] Periodic Table. (2023) ¿cuáles son las propiedades mecánicas de los aceros? Periodic Table. [En Línea]. Disponible en: [https://material-properties.org/es/cuales-son-las-propiedades-mecanicas-de-los-aceros-definicion/#google\\_vignette](https://material-properties.org/es/cuales-son-las-propiedades-mecanicas-de-los-aceros-definicion/#google_vignette).
- [32] Daegsa. (2019) El acero. Daegsa. [En Línea]. Disponible en: <https://daegsa.mx/2019/09/06/el-acero/>.
- [33] Consumer. (2023) Materiales y formas de fabricación de las llantas. Fundación EROSKI. [En Línea]. Disponible en: <https://www.consumer.es/motor/materiales-y-formas-de-fabricacion-de-las-llantas.html>.
- [34] Totalmateria. (2023) Propiedades del acero. [En Línea]. Disponible en: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=PropiedadesdelAcero&LN=ES>.
- [35] R. Burletes. (2019) Caucho natural vs caucho sintético. ROSARIO BURLETES. [En Línea]. Disponible en: <https://www.rosarioburletes.com.ar/website/novedad-item/caucho-natural-vs-caucho-sintetico/>.

- [36] Robar. (2023) Caucho, propiedades y características, preparación y uso. Sciencealpha,. [En Línea]. Disponible en: <https://sciencealpha.com/es/rubber-properties-and-characteristics-preparation-and-use/>.
- [37] Tesa. (2023) La ciencia tras las cintas, componentes de la cinta adhesiva. tesa. [En Línea]. Disponible en: <https://www.tesa.com/es-es/wikitapia/duro-o-suave-mejor-flexible.html>
- [38] Tratamiento Neumáticos Usados. (2023, Junio.) ¿por qué reciclar neumáticos ayuda al medioambiente? Tratamiento Neumáticos Usados S.L. [En Línea]. Disponible en: <https://www.tnu.es/por-que-reciclar-neumaticos-ayuda-al-medioambiente/>
- [39] Robar. (2019) Caucho, propiedades y características, preparación y uso. Sciencealpha. [En Línea]. Disponible en: <https://sciencealpha.com/es/rubber-properties-and-characteristics-preparation-and-use/>
- [40] Periodic Table. (2023) Caucho – tabla de materiales – aplicaciones – precio. [En Línea]. Disponible en: <https://material-properties.org/es/caucho-tabla-de-materiales-aplicaciones-precio/>
- [41] Elaplas. (2023) Caucho natural (nr). [En Línea]. Disponible en: <https://www.elaplas.es/materiales/cauchos-y-elastomeros/caucho-natural-nr/>
- [42] Lifeder. (2022) Propiedades mecánicas y físicas del acero. Lifeder. [En Línea]. Disponible en: <https://www.lifeder.com/propiedades-mecanicas-fisicas-acero/>
- [43] Comunicarse. (2023) Lanzas la plataforma global para el caucho natural sostenible. [En Línea]. Disponible en: <https://www.comunicarseweb.com/noticia/lanzan-la-plataforma-global-para-el-caucho-natural-sostenible>
- [44] Universitat de Barcelona. (2023) Látex (caucho). Universitat de Barcelona. [En Línea]. Disponible en: <http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/l%C3%A0tex-caucho#:~:text=Alrededorde-195%C2%BA,elcaucho,temperaturassuperioresa200%C2%BAdescompone.>
- [45] United States Environmental Protection Agency, *Guía para el Control de la Humedad en el Diseño, Construcción y Mantenimiento de Edificaciones*, 2016. [En Línea]. Disponible en: [https://espanol.epa.gov/sites/default/files/2016-07/documents/moisture\\_control\\_guidance\\_spanish\\_april\\_2016\\_508\\_final.pdf](https://espanol.epa.gov/sites/default/files/2016-07/documents/moisture_control_guidance_spanish_april_2016_508_final.pdf)
- [46] M. L. C. G., *La humedad relativa y la temperatura en la conservación de los documentos*, G. de Conservación y Restauración del Patrimonio Documental, Ed., 2023.

- [47] Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Cuenca, “Contaminación del aire exterior, cuenca,” *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Cuenca*, Pág. 12, 2016.
- [48] Ley de Gestión Ambiental, *Anexo 5: Norma técnica que establece los límites permisibles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles*, 2023, No. 6.
- [49] J. Cervantes, *Implementación de un sistema de ventilación y extracción mecánica a nave industrial grado alimenticio*, Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica tesis, 2019.
- [50] Casals, *Cómo calcular las renovaciones por hora según la actividad de un local*. Casals, 2023. [En Línea]. Disponible en: [https://www.casals.com/assets/uploads/editor/file/renovacion\\_de\\_aire\\_en\\_locales\\_tipicos\\_casals.pdf](https://www.casals.com/assets/uploads/editor/file/renovacion_de_aire_en_locales_tipicos_casals.pdf)
- [51] Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda, *NEC climatización (CL) código NEC-HS-CL*, Junio. 2020. [En Línea]. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2020/07/NEC-HS-CL-Climatización.pdf>.
- [52] Ashrae, *Estandar Ashrae Ventilación para una calidad de aire aceptable*, 2007. [En Línea]. Disponible en: [http://www.ditar.cl/archivos/Normas\\_ASHRAE/T0120ASHRAE-62.1-2007-sp-Ventil-p-CAAI.pdf](http://www.ditar.cl/archivos/Normas_ASHRAE/T0120ASHRAE-62.1-2007-sp-Ventil-p-CAAI.pdf).
- [53] Trox, “Filtros de ar trox.” São Paulo, 2023. [En Línea]. Disponible en: [https://cdn.trox.de/public/355e0011a101949d/d5e6076796c5c2713394183b73ee7ce7/comercial\\_filtros.pdf](https://cdn.trox.de/public/355e0011a101949d/d5e6076796c5c2713394183b73ee7ce7/comercial_filtros.pdf)
- [54] Fergotub. (2023) Propiedades de los conductos de ventilación rectangulares. Fergotub-Conductos Ventilación. [En Línea]. Disponible en: <https://www.fergotub.com/conductos-de-ventilacion-2/>
- [55] Soler y Palau, *Manual práctico de ventilación Soler Palau*, Abril. 2012. [En Línea]. Disponible en: <https://estaticos.qdq.com/swdata/files/962/962354527/Manual-Ventilacion-Completo---SP.pdf>
- [56] Cype Ingenieros S.A., (2023) Generador de precios. Ecuador. [En Línea]. Disponible en: [http://www.ecuador.generadordeprecios.info/obra\\_nueva/Instalaciones/Ventilacion/Ventilacion\\_mecanica\\_para\\_garajes/IVG025\\_Ducto\\_de\\_ventilacion\\_de\\_seccion\\_cir\\_0\\_0\\_0\\_1.html](http://www.ecuador.generadordeprecios.info/obra_nueva/Instalaciones/Ventilacion/Ventilacion_mecanica_para_garajes/IVG025_Ducto_de_ventilacion_de_seccion_cir_0_0_0_1.html)

- [57] S. Cype Ingenieros. (2023) Generador de precios. [En Línea]. Disponible en: [http://www.ecuador.generadordeprecios.info/obra\\_nueva/Instalaciones/Ventilacion/Ventilacion\\_mecanica\\_para\\_garajes/IVG020\\_Ducto\\_de\\_ventilacion\\_de\\_seccion\\_rec.html](http://www.ecuador.generadordeprecios.info/obra_nueva/Instalaciones/Ventilacion/Ventilacion_mecanica_para_garajes/IVG020_Ducto_de_ventilacion_de_seccion_rec.html).
- [58] Soler y Palau, *Capítulo 2: Conceptos básicos de la ventilación*, soler and palau ventilation group Ed., 2023. [En Línea]. Disponible en: <https://www.solerpalau.mx/ASW/recursos/mven/Capitulo%202%20Manual%20de%20Ventilacion.pdf>
- [59] —, *Manual Práctico de Ventilación Soler Palau*, soler and palau ventilation group Ed. [En Línea]. Disponible en: [https://info.solerpalau.com/hubfs/Ebooks/SPL%20-%20Manual%20pr%C3%A1ctico%20de%20ventilaci%C3%B3n/Manual%20de%20ventilacion\\_completo\\_LR.pdf#:~:text=CAPITULO%202%20CONCEPTOS%20B%C3%81SICOS%20DE%20LA%20VENTILACI%C3%93N%207,aporta%20una%20mejora%20en%20pureza%2C%20temperatura%2C%20humedad%2C%20etc](https://info.solerpalau.com/hubfs/Ebooks/SPL%20-%20Manual%20pr%C3%A1ctico%20de%20ventilaci%C3%B3n/Manual%20de%20ventilacion_completo_LR.pdf#:~:text=CAPITULO%202%20CONCEPTOS%20B%C3%81SICOS%20DE%20LA%20VENTILACI%C3%93N%207,aporta%20una%20mejora%20en%20pureza%2C%20temperatura%2C%20humedad%2C%20etc).
- [60] C. Avila, P. Cicero, L. La Torre y H. Ramos, *Ventilación industrial : manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgo profesionales*, treval Ed., Generalitat Valenciana Conselleria de treball i after socials, 1992. [En Línea]. Disponible en: <https://documentacion.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/es/bib/10936.do>
- [61] Soler y Palau, *Manual práctico de ventilación*, 2012. [En Línea]. Disponible en: [https://cdn2.hubspot.net/hubfs/2009592/Content/SPA\\_-\\_Manual\\_pr%C3%A1ctico\\_de\\_ventilaci%C3%B3n/SPA\\_Manual\\_practico\\_ventilacion.pdf](https://cdn2.hubspot.net/hubfs/2009592/Content/SPA_-_Manual_pr%C3%A1ctico_de_ventilaci%C3%B3n/SPA_Manual_practico_ventilacion.pdf)
- [62] J. Sanga y J. Andrade, *Ventilación de Bodega de Almacenamiento de Producto Terminado en una Fabrica de Balanceado*. Escuela Superior Politecnica del Litoral (ESPOL), 2023.
- [63] M. Castro, “El valor actual neto (van) como criterio fundamental de evaluación de negocios,” *Economía y Desarrollo*, 2001.
- [64] L. Villegas, “análisis de precios unitarios,” *curso de análisis de precios unitarios*, 2023.
- [65] Insucons. (2023) Apu de acometida de instalación eléctrica. [En Línea]. Disponible en: <https://www.insucons.com/analisis-precio-unitario/hh/instalacion-electrica/209/acometida-de-instalacion-electrica>
- [66] I. M. S. E.Rene, *Costos y precios unitarios*, Std., 2022.



- [67] AirGuide, *Performance Notes ofr Supply Grilles and Registers*, 2023. [En Línea]. Disponible en: <https://www.airguidemfg.com/pdf/testdata/V,VH.pdf>
- [68] Weather Atlas. (2023) Clima y previsión meteorológica mensual. weather atlas. [En Línea]. Disponible en: <https://www.weather-atlas.com/es/ecuador/cuenca-clima>
- [69] IQAir. (2023) Calidad del aire en cuenca. [En Línea]. Disponible en: <https://www.iqair.com/es/ecuador/azuay/cuenca>
- [70] C. LLC. (2020) Cálculo de redes de distribución de aire. CoolProyect,. [En Línea]. Disponible en: <https://coolproyect.es/2016/10/02/calculo-de-redes-de-distribucion-de-aire-i/>
- [71] C. Yunus y A. Çengel, *Mecanica de fluidos: fundamentos y aplicaciones*. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA,2006.
- [72] E. ToolBox, *Engineering ToolBox*, E. ToolBox, Ed., 2018. [En Línea]. Disponible en: [https://www.engineeringtoolbox.com/Propane-C3H8-dynamic-kinematic-viscosity-temperature-pressure-d\\_2064.html](https://www.engineeringtoolbox.com/Propane-C3H8-dynamic-kinematic-viscosity-temperature-pressure-d_2064.html)
- [73] Engineering forums. (2023) Converting nc rating to db. [En Línea]. Disponible en: <https://www.eng-tips.com/viewthread.cfm?qid=101387>
- [74] EMW filtertechnik GmbH. (2023) Clases de filtros según en 779 y en 1822. [En Línea]. Disponible en: <https://www.emw.de/es/filtros-campus/filter-classes.html>
- [75] Casals, *Casals technical catalogue*, 2023. [En Línea]. Disponible en: [https://www.casals.com/Casals\\_catalogue/flipbook/](https://www.casals.com/Casals_catalogue/flipbook/)
- [76] Soler y Palau, *Tarifa Extracción*, 2023. [En Línea]. Disponible en: <https://viewer.ipaper.io/sp/tarifa-extraccion-2023/?page=1>
- [77] ——. (2023) Cajas de ventilación a transmisión serie cvtt. [En Línea]. Disponible en: [https://statics.solerpalau.com/media/import/documentation/ES\\_CVTT.pdf](https://statics.solerpalau.com/media/import/documentation/ES_CVTT.pdf)

# **ANEXOS**

## **Anexo A: Planos de los ductos del sistema propuesto**



A6  
105x148

A5  
148x210

A4  
210x297

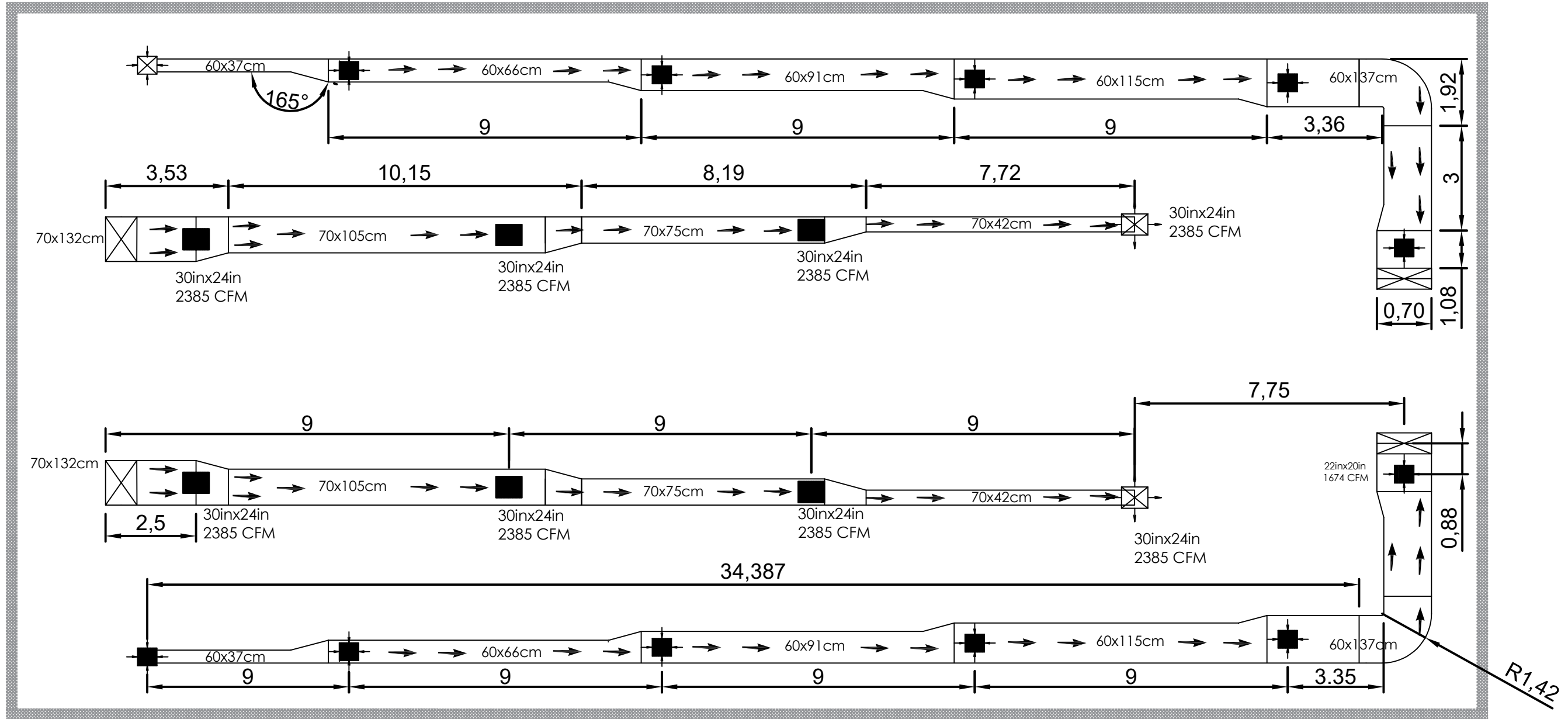
A3  
297x420


A2  
420x594

A1  
594x841

A0  
841x1189

Hoja de enseñanza Técnica



IIIV CICLO	Fecha	Nombre		<b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> SEDE MATRIZ CUENCA
Dibujado:	01/05/24	David E. Lituma B.		
Comprobado:	01/05/24	Ing. Calle		
Dibujo Industrial			INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica	
Escala:	Tol. gen.:	Representación técnica de un nave		
1:1000	ISO	<b>Conductos</b>		
Lámina:	3			



A6  
105x148

A5  
148x210

A4  
210x297

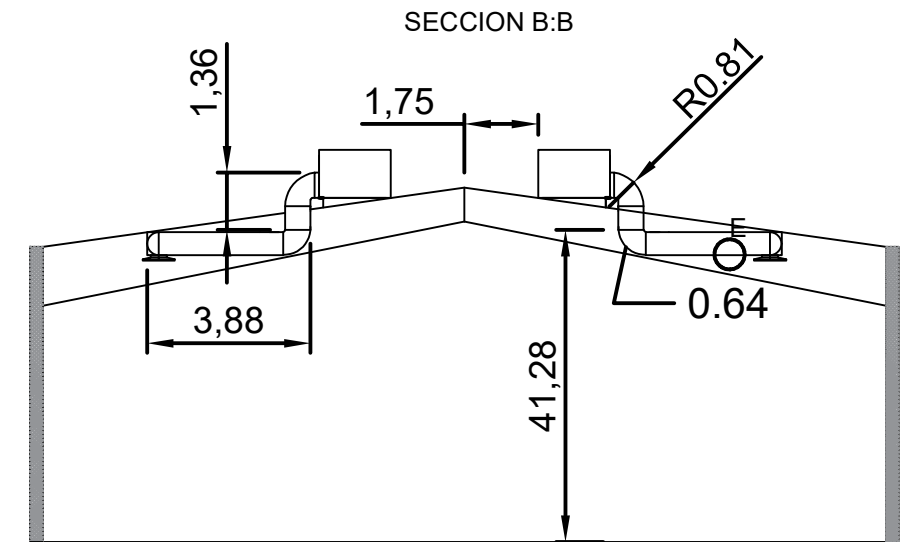
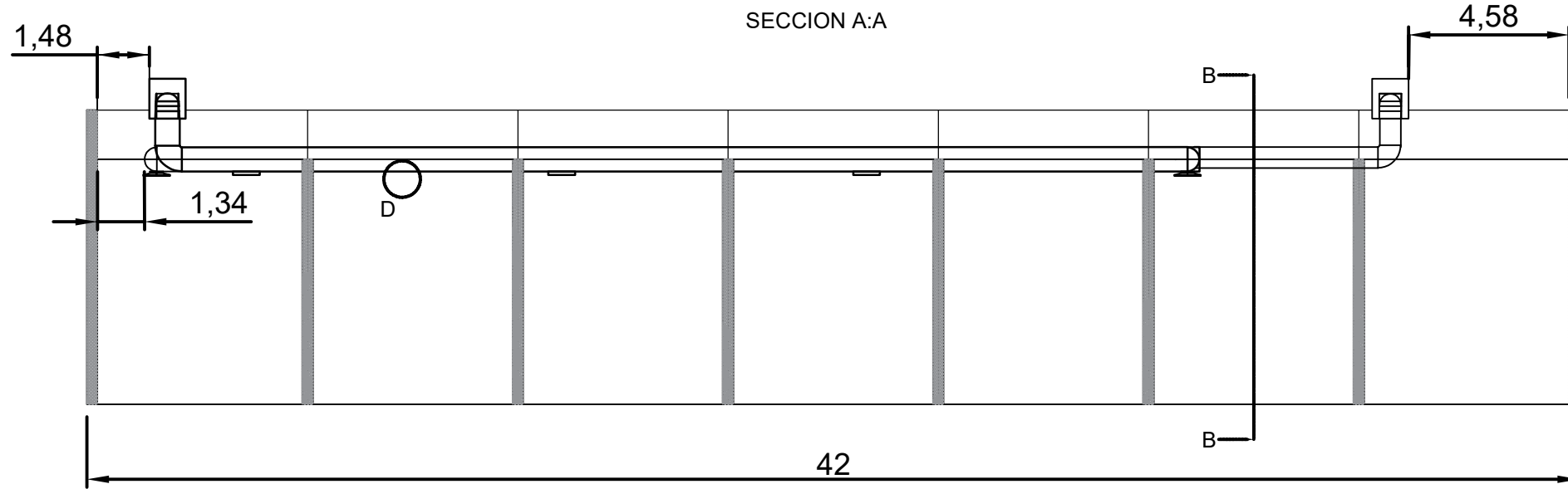
A3  
297x420

A2  
420x594

A1  
594x841

A0  
841x1189

Hoja de enseñanza Técnica



IIIV CICLO	Fecha	Nombre		<b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> SEDE MATRIZ CUENCA
Dibujado:	01/05/24	David E. Lituma B.		
Comprobado:	01/05/24	Ing. Calle		
Dibujo Industrial			INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica	
Escala:	Tol. gen.:	Representación técnica de un nave		
1:1000	ISO	<b>Nave Industrial</b>		
Lámina:	1			



A6  
105x148

A5  
148x210

A4  
210x297

A3  
297x420

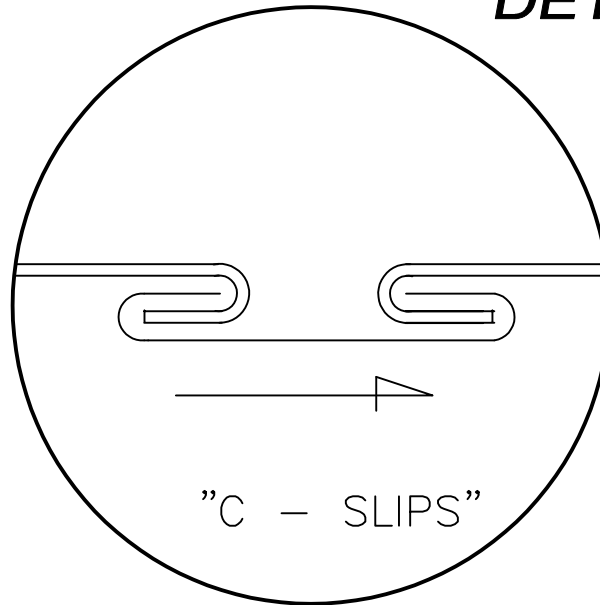
A2  
420x594

A1  
594x841

A0  
841x1189

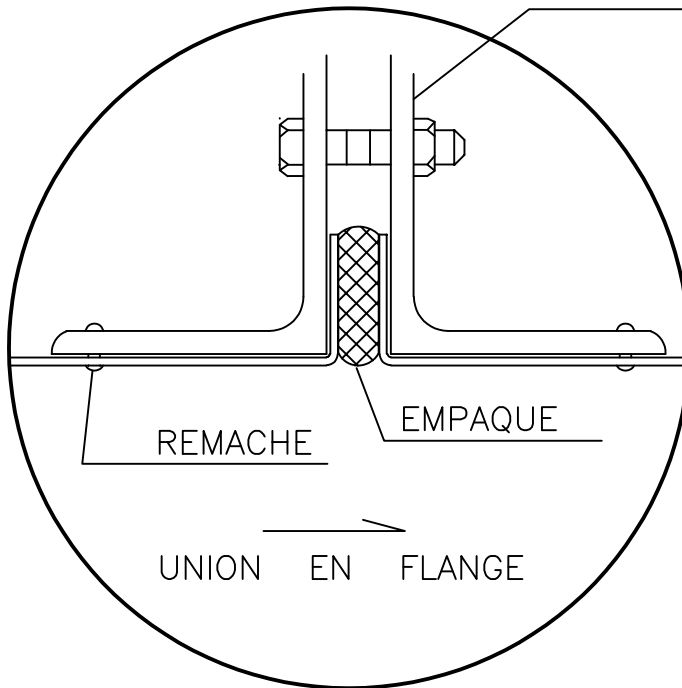
Hoja de enseñanza Técnica

# DETALLE D




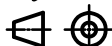
## DETALLE UNIONES TRANSVERSALES

ANGULO DE 1 1/2" X 1 1/2" X 1/8"



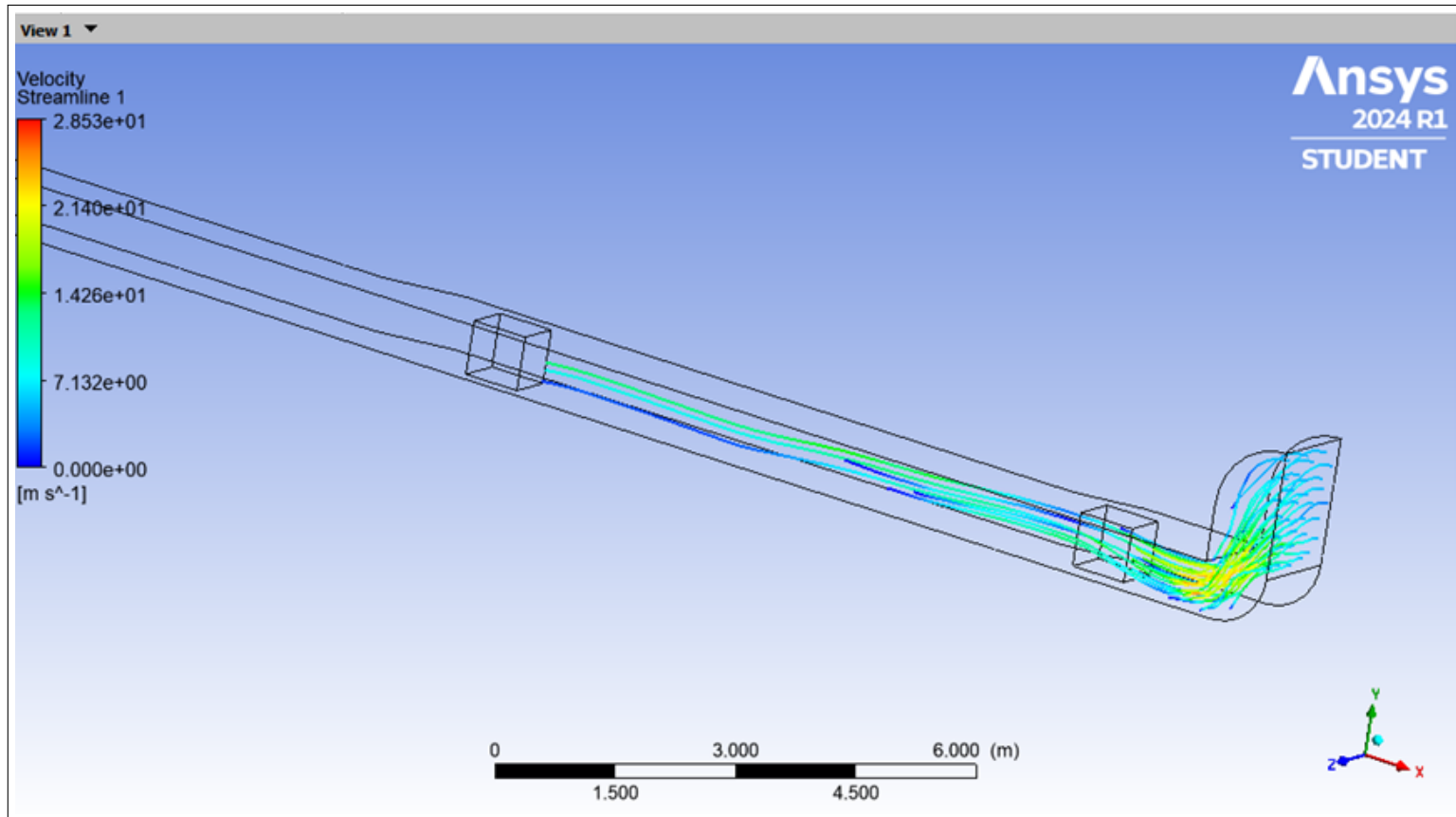
# DETALLE C

## DETALLE UNION LONGITUDINAL

	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Sección:</b>		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA
<b>Dibujado</b>	LITUMA	09-02-2024	MECÁNICA		
<b>Comprobado</b>	CALLE	12-02-2024	Ciclo: OCTAVO		
<b>Proyección</b>	DETALLE_ENSAMBLE			Escala: 2:1	
				Lámina N° 2	

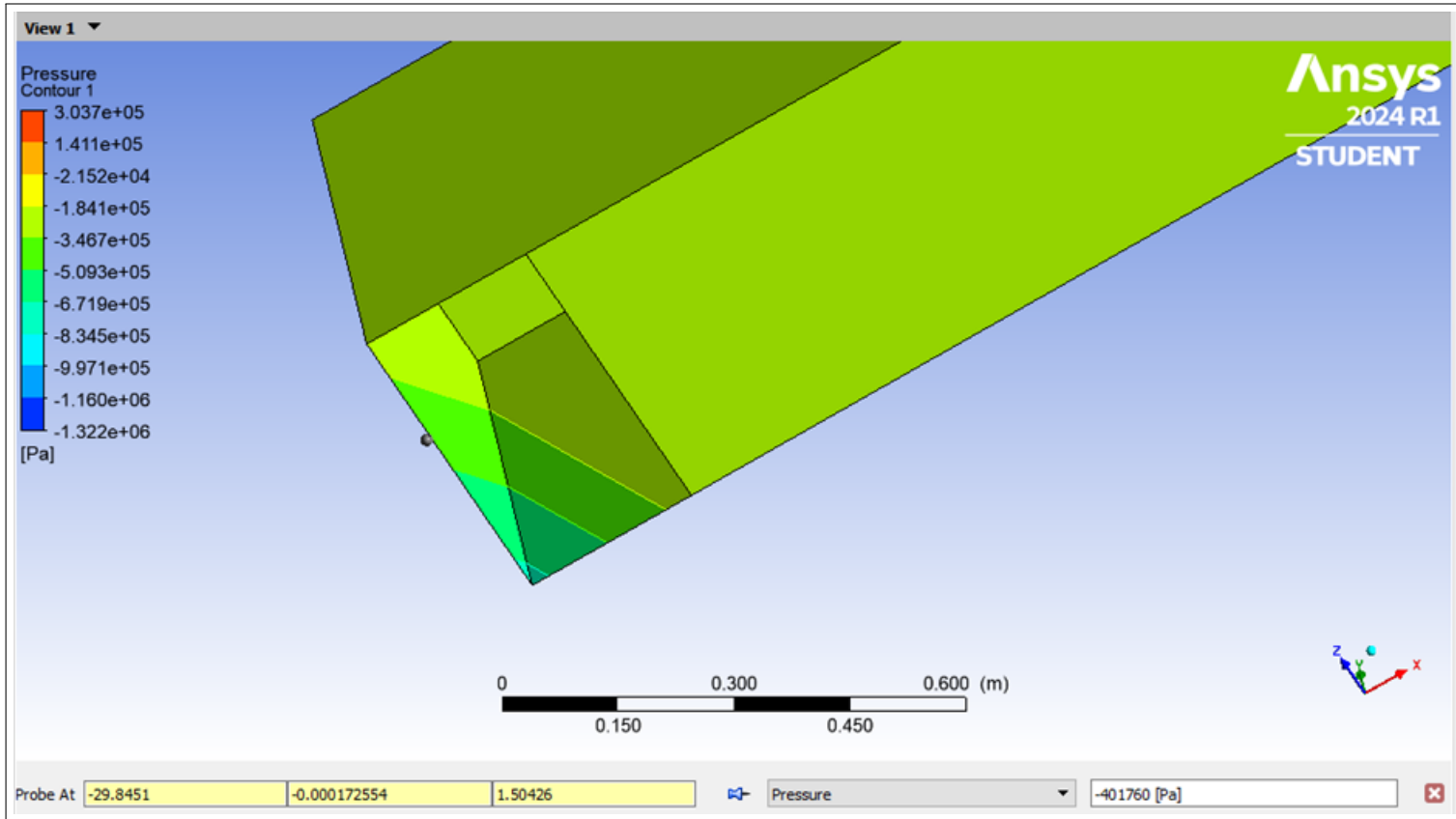
## Anexo B: Simulación de velocidad en Ansys del ducto de suministro a 800 iteraciones

76



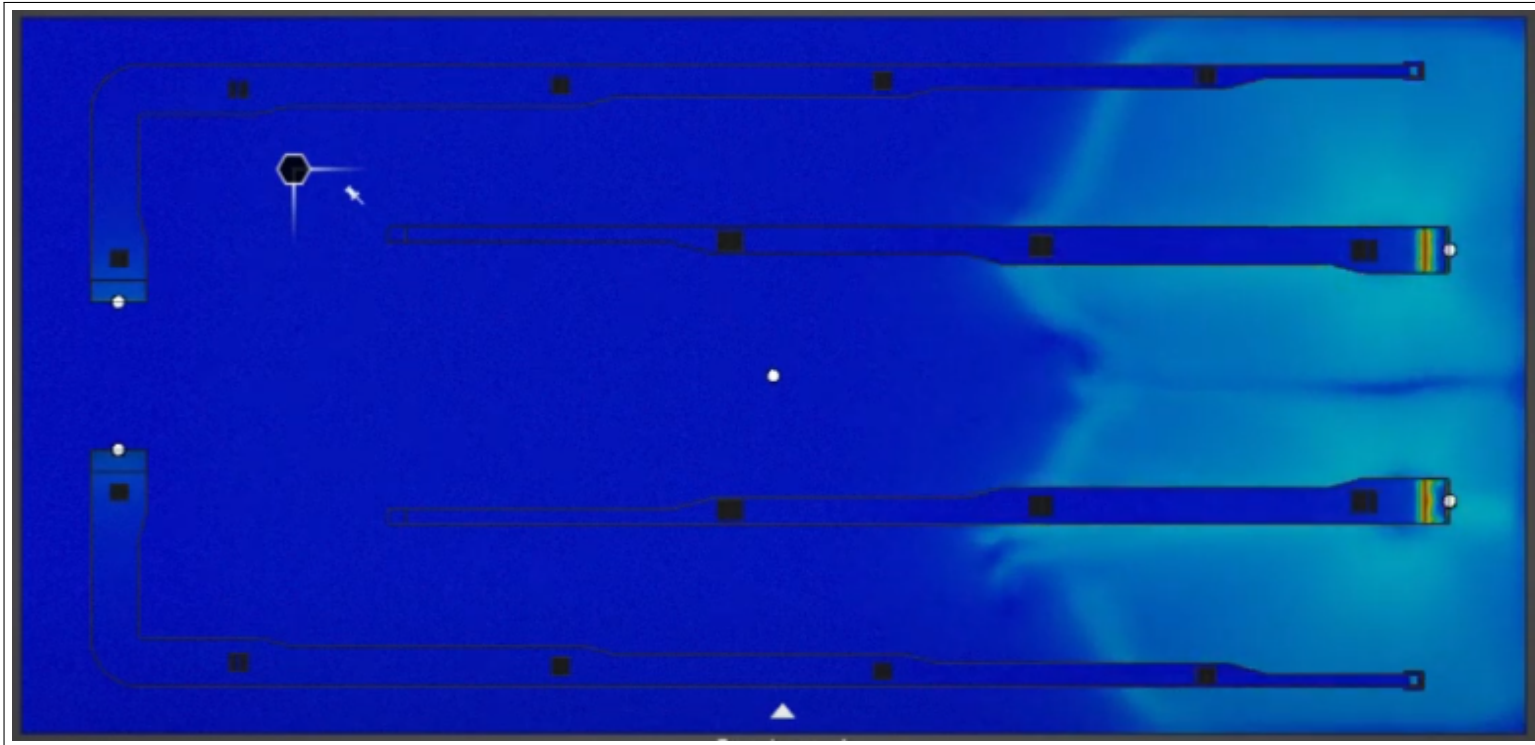
# Anexo C: Simulación de presión en Ansys del punto más lejano del ducto de suministro

77

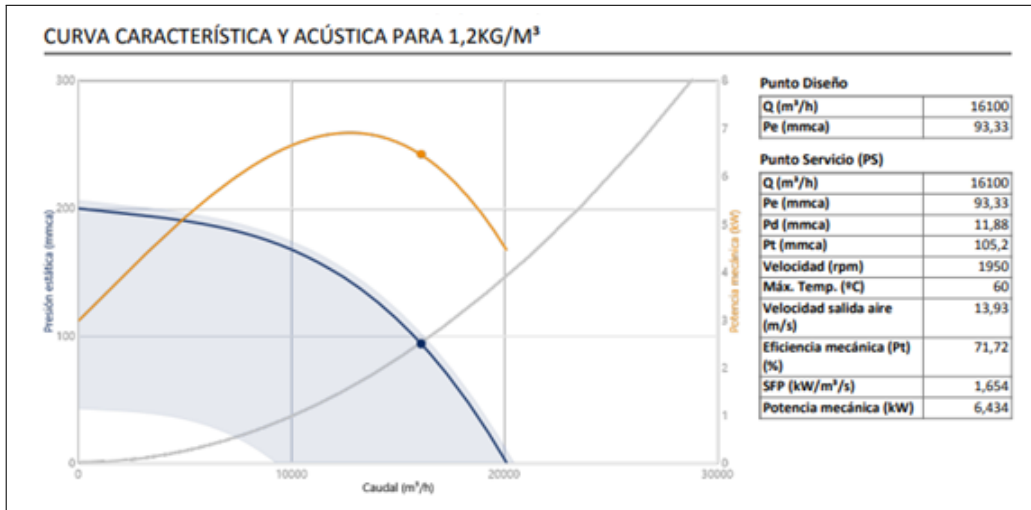




## Anexo D: Simulación en Discovery Live del sistema a los 30s



## Anexo E: Curva característica del ventilador PF/ATEX-H-1856-4T-10/2G EX EB



## Anexo F: Tabla de datos del ventilador GR 630/T

**Ventilador centrífugo GR/T | Ventiladores industriales**

**Características**

- Turbina de palas hacia atrás
- Construcción particularmente robusta en chapa esmaltada
- El motor no está incluido (a calcular según punto de trabajo)
- La transmisión no está incluida (a calcular según motor)
- El precio incluye el protector de la transmisión y la bancada
- Versiones especiales para altas temperaturas en opción
- 16 orientaciones posibles

**Especificaciones**

Modelo	Potencia (W)	Velocidad (rpm)	Caudal (m³/h)	Presión Máxima (Pa)
GR 1000/T	37	2400	40000	3900
GR 1120/T	45	2150	50000	3900
GR 1250/T	55	1900	62000	3950
GR 1400/T	75	1700	80000	4000
GR 1600/T	90	1500	102000	3750
GR 400/T	15	5000	8000	8000
GR 450/T	22	4500	6800	3300
GR 500/T	7,5	4500	8700	3300
GR 560/T	11	4200	12000	3750
<b>GR 630/T</b>	15	3800	16500	4000
GR 710/T	18,5	3500	21000	4000
GR 800/T	22	3100	27000	4000
GR 900/T	30	2700	31500	3900

## Anexo G: Simulación del circuito eléctrico del sistema

