

Diseño e Ingeniería en Detalle de un Sistema de Ventilación Mecánica para el  
Acondicionamiento de los Talleres de la División Mantenimiento Tecnológico de la Universidad  
Industrial de Santander

Jorge Armando Rojas Hernández (1) y Luis Alejandro Laiton Corzo (2)

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

David Alfredo Fuentes Diaz

Doctor en tecnología energética

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2023

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción.....	19
1. Definición del problema .....	21
2. Justificación del problema .....	25
3. Objetivos.....	26
3.1. Objetivo General .....	26
3.2. Objetivos Específicos .....	26
4. Marco Teórico.....	28
4.1. Contaminación del aire.....	28
4.1.1. Material particulado.....	29
4.1.2. Monóxido y dióxido de Carbono .....	29
4.1.2.1. Monóxido de carbono. ....	30
4.1.2.2. Dióxido de carbono. ....	31
4.2. Estándares de concentraciones de contaminantes en el aire permitidas.....	32
4.3. Actividades de Mantenimiento Realizadas en los Talleres .....	34
4.3.1. Soldadura .....	34
4.3.2. Pintura.....	35
4.3.3. Mantenimiento de Sistemas de refrigeración.....	35
4.3.4. Lavado con disolventes.....	35
4.3.5. Uso de lubricantes penetrantes.....	35
4.3.6. Uso de pegantes.....	36
4.3.7. Viruta por mecanizado.....	36

4.3.8. Limpieza .....	36
5. Estudio de condiciones ambientales en el interior y exterior del recinto .....	37
5.1.1. Temperatura dentro del taller de mantenimiento. ....	37
5.2. Condiciones ambientales dentro del taller de mantenimiento .....	37
5.2.1. Humedad relativa dentro del taller de mantenimiento .....	41
5.2.2. Velocidad del aire dentro del taller de mantenimiento.....	41
5.2.3. Monóxido y dióxido de carbono dentro del taller de mantenimiento .....	41
5.2.4. Material particulado PM2.5 y PM10 dentro del taller de mantenimiento .....	41
5.3. Condiciones ambientales del exterior.....	42
5.3.1. Temperatura en el exterior .....	45
5.3.2. Humedad relativa en el exterior .....	45
5.3.3. Velocidad del aire en el exterior .....	46
5.3.4. Monóxido y dióxido de carbono en el exterior .....	46
5.3.5. Material particulado PM2.5 y PM10 en el exterior.....	46
5.4. Comparativa de la temperatura y humedad relativa en el interior y exterior del recinto .....	46
6. Cálculos del sistema de ventilación .....	50
6.1. Diseño del sistema de ventilación para la renovación y acondicionamiento del aire .....	51
6.1.1. Consideraciones generales .....	52
6.1.2. Cálculo de la renovación de aire .....	53
6.1.3. Selección de la unidad deshumidificadora.....	53
6.1.4. Sistema de conductos.....	54
6.1.4.1. Dimensionamiento general. ....	54
6.1.4.2. Equilibrado del sistema de ventilación. ....	56

6.1.5. Rejillas de impulsión .....	57
6.1.6. Rejillas de extracción.....	58
6.1.7. Toma de admisión de aire exterior y expulsión de aire al exterior .....	59
6.1.8. Cálculo de la pérdida de presión del sistema de ventilación .....	60
6.1.8.1. Pérdida de presión de las rejillas de extracción.....	60
6.1.8.2. Pérdida de presión de las rejillas de impulsión. ....	61
6.1.8.3. Pérdida de presión de las tomas de admisión de aire exterior y expulsión de aire al exterior. .....	61
6.1.8.4. Pérdidas de presión en el sistema de conductos.....	63
6.1.8.5. Pérdida de presión total.....	65
6.1.9. Selección del ventilador principal y secundario.....	68
6.2. Diseño del sistema de extracción localizada.....	72
6.2.1. Consideraciones generales .....	72
6.2.2. Mesa de soldadura .....	74
6.2.2.1. Dimensionamiento general. ....	75
6.2.2.2. Cálculo del ducto de salida de aire. ....	77
6.2.2.3. Filtros para la mesa de soldadura .....	77
6.2.3. Banco de pintura.....	78
6.2.3.1. Dimensionamiento general. ....	79
6.2.3.2. Cálculo del ducto de salida de aire .....	80
6.2.3.3. Filtros para el banco de pintura. ....	80
6.2.4. Brazos extractores flexibles. ....	81
6.2.4.1. Depurador para los brazos de extracción. ....	82

6.2.5. Sistema de conductos.....	83
6.2.5.1. Dimensionamiento general .....	83
6.2.5.2. Equilibrado del sistema.....	90
6.2.6. Cálculo de pérdida de presión del sistema de extracción localizada.....	91
6.2.6.1. Pérdida de presión en la mesa de soldadura.....	91
6.2.6.2. Pérdida de presión en el filtro de la mesa de soldadura.....	91
6.2.6.3. Pérdidas de presión en el banco de pintura.....	92
6.2.6.4. Pérdidas de presión en los brazos extractores .....	93
6.2.6.5. Pérdida de presión del ciclón .....	93
6.2.6.6. Pérdidas de presión en el sistema de conductos.....	94
6.2.6.7. Pérdida de presión total.....	97
6.2.7. Selección del ventilador.....	99
6.2.8. Sistema de conducto auxiliar .....	102
7. Simulación de los sistemas de ventilación .....	104
7.1. Simulación de sistema de ventilación para la renovación y acondicionamiento del aire.....	104
7.2. Simulación del sistema de extracción localizada.....	106
7.2.1. Simulación de la mesa de soldadura.....	107
7.2.2. Simulación del banco de pintura .....	109
7.2.3. Simulación de los brazos extractores .....	111
7.2.4. Simulación del sistema de conductos .....	113
7.2.5. Comparación de resultados .....	117
7.3. Simulación del sistema de conducto auxiliar.....	118
7.3.1. Situación de funcionamiento.....	118

8. Costos .....	122
8.1. Costo del sistema de ventilación para la renovación y acondicionamiento del aire .....	122
8.2. Costo del sistema de extracción localizada .....	122
9. Conclusiones.....	126
Referencias bibliográficas .....	129

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio del aire</i> .....	32
<b>Tabla 2</b> <i>Punto de Corte ICA (Índice de Calidad del Aire) a nivel nacional</i> .....	33
<b>Tabla 3</b> <i>Descripción general del índice de calidad del aire</i> .....	33
<b>Tabla 4</b> <i>Velocidad recomendada en conductos de ventilación</i> .....	56
<b>Tabla 5</b> <i>Recopilación de coeficientes de pérdidas en la línea de conductos</i> .....	64
<b>Tabla 6</b> <i>Cálculo de la pérdida de presión en el sistema de ductos</i> .....	66
<b>Tabla 7</b> <i>Velocidad a la entrada de la campana para gases de soldadura</i> .....	77
<b>Tabla 8</b> <i>Filtro para humos de soldadura</i> .....	78
<b>Tabla 9</b> <i>Velocidad de aire en el ducto para vapores de pintura</i> .....	80
<b>Tabla 10</b> <i>Recopilación de coeficientes de pérdidas en la línea de conductos</i> .....	94
<b>Tabla 11</b> <i>Cálculo de la pérdida de presión en el sistema de ductos</i> .....	98
<b>Tabla 12</b> <i>Configuración y condiciones iniciales para la simulación</i> .....	105
<b>Tabla 13</b> <i>Configuraciones y condiciones iniciales de la simulación de la mesa de soldadura</i> .	107
<b>Tabla 14</b> <i>Resultados numéricos de la simulación de la mesa de soldadura</i> .....	109
<b>Tabla 15</b> <i>Configuraciones y condiciones iniciales de la simulación del banco de pintura</i> .....	109
<b>Tabla 16</b> <i>Resultados de la simulación del banco de pintura</i> .....	111
<b>Tabla 17</b> <i>Configuraciones y condiciones iniciales de la simulación de los brazos de extracción</i> .....	111
<b>Tabla 18</b> <i>Resultados de la simulación de los brazos extractores</i> .....	113
<b>Tabla 19</b> <i>Ángulos del damper de las VAV para la simulación</i> .....	113
<b>Tabla 20</b> <i>Configuraciones y condiciones iniciales de la simulación del sistema de conductos</i> .	114

<b>Tabla 21</b> <i>Valores de presión total y caudal de la simulación del sistema de conductos .....</i>	117
<b>Tabla 22</b> <i>Comparativa de los resultados obtenidos en la etapa de diseño vs la simulación .....</i>	117
<b>Tabla 23</b> <i>Ángulos de las VAV para la simulación con el conducto auxiliar .....</i>	118
<b>Tabla 24</b> <i>Condiciones iniciales para la simulación con el conducto auxiliar .....</i>	119
<b>Tabla 25</b> <i>Resultados numéricos de la simulación con el conducto auxiliar .....</i>	121
<b>Tabla 26</b> <i>Costo total del sistema de ventilación de la zona 1 .....</i>	122
<b>Tabla 27</b> <i>Costo total del sistema de extracción localizada para zona 2 .....</i>	122
<b>Tabla 28</b> <i>Costo de materiales del sistema de ventilación de la zona 1 .....</i>	123
<b>Tabla 29</b> <i>Costo de materiales del sistema de extracción localizada de la zona 2 .....</i>	124

**Lista de Figuras**

<b>Figura 1</b> <i>Temperatura y porcentaje de humedad relativa del del 04 de octubre de 2021</i> .....	22
<b>Figura 2</b> <i>Temperatura y porcentaje de humedad relativa del 05 de octubre de 2021</i> .....	22
<b>Figura 3</b> <i>Temperatura y porcentaje de humedad relativa del 06 de octubre de 2021</i> .....	23
<b>Figura 4</b> <i>Temperatura y porcentaje de humedad relativa del 07 de octubre de 2021</i> .....	23
<b>Figura 5</b> <i>Relación entre fuentes de contaminación y efectos sobre la calidad del aire</i> .....	30
<b>Figura 6</b> <i>Grado de penetración del PM en el sistema respiratorio en relación con su tamaño</i> .	30
<b>Figura 7</b> <i>Capacidad de unión del CO con la hemoglobina</i> .....	31
<b>Figura 8</b> <i>Temperatura dentro del taller de mantenimiento</i> .....	38
<b>Figura 9</b> <i>Humedad relativa dentro del taller de mantenimiento</i> .....	39
<b>Figura 10</b> <i>Partículas por millón de CO y CO2 dentro del taller de mantenimiento</i> .....	39
<b>Figura 11</b> <i>Concentración de material particulado PM2.5 dentro del taller de mantenimiento</i> ...	40
<b>Figura 12</b> <i>Concentración de material particulado PM10 dentro del taller de mantenimiento</i> ...	40
<b>Figura 13</b> <i>Temperatura de bulbo seco en el exterior</i> .....	42
<b>Figura 14</b> <i>Humedad relativa en el exterior</i> .....	43
<b>Figura 15</b> <i>Velocidad del aire en el exterior</i> .....	43
<b>Figura 16</b> <i>Partículas por millón de CO y CO2 en el exterior</i> .....	44
<b>Figura 17</b> <i>Concentración de material particulado PM2.5 en el exterior</i> .....	44
<b>Figura 18</b> <i>Concentración de material particulado PM10 en el exterior</i> .....	45
<b>Figura 19</b> <i>Comparativa de temperatura y humedad relativa entre el 8 y el 14 de septiembre</i> ....	47
<b>Figura 20</b> <i>Comparativa de temperatura y humedad relativa entre el 15 y el 22 de septiembre</i> ..	48
<b>Figura 21</b> <i>Comparativa de temperatura y humedad relativa entre el 23 y el 30 de septiembre</i> ..	48
<b>Figura 22</b> <i>Comparativa de temperatura y humedad relativa entre el 1 y el 7 de octubre</i> .....	49

<b>Figura 23</b> <i>Caracterización de las zonas del recinto</i> .....	50
<b>Figura 24</b> <i>Consideraciones generales para el sistema de ventilación</i> .....	53
<b>Figura 25</b> <i>Especificaciones del deshumidificador</i> .....	55
<b>Figura 26</b> <i>Selección del regulador de caudal manual de 250 mm</i> .....	57
<b>Figura 27</b> <i>Selección del regulador de caudal manual de 355 mm</i> .....	57
<b>Figura 28</b> <i>Especificaciones de las rejillas de impulsión</i> .....	58
<b>Figura 29</b> <i>Especificaciones de las rejillas de extracción</i> .....	58
<b>Figura 30</b> <i>Especificaciones de las rejillas de admisión de aire exterior y expulsión de aire al exterior</i> .....	59
<b>Figura 31</b> <i>Pérdida de presión en las rejillas de extracción</i> .....	60
<b>Figura 32</b> <i>Pérdida de presión del regulador de caudal de las rejillas de extracción</i> .....	61
<b>Figura 33</b> <i>Pérdida de presión del regulador de caudal de las rejillas de impulsión</i> .....	61
<b>Figura 34</b> <i>Pérdida de presión en las rejillas de impulsión</i> .....	62
<b>Figura 35</b> <i>Velocidad frontal de las rejillas de impulsión y extracción</i> .....	62
<b>Figura 36</b> <i>Pérdida de presión de las tomas de aire exterior</i> .....	62
<b>Figura 37</b> <i>Accesorios del sistema de ventilación.</i> .....	63
<b>Figura 38</b> <i>Secciones del sistema de ventilación para el cálculo de pérdida de presión</i> .....	65
<b>Figura 39</b> <i>Selección de los ventiladores según parámetros de operación</i> .....	69
<b>Figura 40</b> <i>Información general y curva característica del ventilador principal seleccionado</i> ....	69
<b>Figura 41</b> <i>Información general del ventilador secundario seleccionado</i> .....	70
<b>Figura 42</b> <i>Dimensiones del ventilador principal seleccionado</i> .....	71
<b>Figura 43</b> <i>Dimensiones del ventilador secundario seleccionado</i> .....	71
<b>Figura 44</b> <i>Compresor para pintura</i> .....	72

<b>Figura 45</b> <i>Torno ubicado en el área de mecánica industrial</i> .....	72
<b>Figura 46</b> <i>Taladro ubicado en el área de mecánica industrial</i> .....	72
<b>Figura 47</b> <i>Ubicación de la mesa de soldadura</i> .....	73
<b>Figura 48</b> <i>Ubicación del banco de pintura</i> .....	73
<b>Figura 49</b> <i>Ubicación de los brazos de extracción</i> .....	73
<b>Figura 50</b> <i>Ubicación del ventilador centrífugo</i> .....	73
<b>Figura 51</b> <i>Sistema de conductos dentro del recinto</i> .....	75
<b>Figura 52</b> <i>Sistema de conductos en la parte exterior del recinto</i> .....	75
<b>Figura 53</b> <i>Dimensionamiento de una mesa de soldadura</i> .....	76
<b>Figura 54</b> <i>Dimensiones de la mesa de soldadura</i> .....	76
<b>Figura 55</b> <i>Especificaciones del filtro para la mesa de soldadura</i> .....	78
<b>Figura 56</b> <i>Dimensionamiento de un banco de pintura</i> .....	79
<b>Figura 57</b> <i>Dimensiones de la cabina de pintura</i> .....	79
<b>Figura 58</b> <i>Filtro para el banco de pintura</i> .....	81
<b>Figura 59</b> <i>Prefiltro para el banco de pintura</i> .....	81
<b>Figura 60</b> <i>Especificaciones del brazo de extracción</i> .....	82
<b>Figura 61</b> <i>Especificaciones del ciclón NC 0700</i> .....	83
<b>Figura 62</b> <i>Sistema de conductos en la sección de la mesa de soldadura</i> .....	85
<b>Figura 63</b> <i>Sistema de conductos en la sección del banco de pintura</i> .....	85
<b>Figura 64</b> <i>Valores de velocidad recomendados para polvos pesados</i> .....	86
<b>Figura 65</b> <i>Sistema de conductos en la sección del brazo de extracción 1</i> .....	87
<b>Figura 66</b> <i>Sistema de conductos en la sección del brazo de extracción 2</i> .....	87
<b>Figura 67</b> <i>Sistema de conductos en la sección del ciclón hacia el ventilador</i> .....	88

<b>Figura 68</b> <i>Chimenea del ventilador</i> .....	88
<b>Figura 69</b> <i>Conductos con aislamiento acústico</i> .....	89
<b>Figura 70</b> <i>Selección de las unidades VAV para el sistema de extracción</i> .....	90
<b>Figura 71</b> <i>Pérdida de presión para la mesa de soldadura</i> .....	91
<b>Figura 72</b> <i>Caída de presión en el filtro para la mesa de soldadura</i> .....	92
<b>Figura 73</b> <i>Pérdida de presión para el banco de pintura</i> .....	92
<b>Figura 74</b> <i>Caída de presión para los brazos extractores</i> .....	94
<b>Figura 75</b> <i>Parámetros geométricos del ciclón</i> .....	94
<b>Figura 76</b> <i>Accesorios del sistema de extracción</i> .....	96
<b>Figura 77</b> <i>Secciones del sistema de ventilación para el cálculo de pérdida de presión</i> .....	97
<b>Figura 78</b> <i>Selección del ventilador según parámetros de operación</i> .....	100
<b>Figura 79</b> <i>Información general y curva característica del ventilador seleccionado</i> .....	100
<b>Figura 80</b> <i>Dimensiones del ventilador seleccionado</i> .....	101
<b>Figura 81</b> <i>Sistema de conducto auxiliar</i> .....	103
<b>Figura 82</b> <i>Condiciones de frontera para la simulación</i> .....	104
<b>Figura 83</b> <i>Contorno de velocidad del aire a 0.5 m del piso</i> .....	105
<b>Figura 84</b> <i>Contorno de velocidad del aire a 1 m del piso</i> .....	105
<b>Figura 85</b> <i>Contorno de velocidad del aire a 1.5 m del piso</i> .....	106
<b>Figura 86</b> <i>Contorno de velocidad del aire a 2 m del piso</i> .....	106
<b>Figura 87</b> <i>Contorno de velocidad del aire a 2.5 m del piso</i> .....	106
<b>Figura 88</b> <i>Contorno de velocidad del aire a 3.1 m del piso</i> .....	106
<b>Figura 89</b> <i>Condiciones de frontera para la simulación de la mesa de soldadura</i> .....	107
<b>Figura 90</b> <i>Disposición lateral de la velocidad del aire en la mesa de soldadura</i> .....	108

<b>Figura 91</b> <i>Disposición frontal de la velocidad del aire en el pleno de la mesa de soldadura ...</i>	108
<b>Figura 92</b> <i>Disposición frontal de la velocidad del aire en las rendijas de la mesa de soldadura</i> .....	108
<b>Figura 93</b> <i>Condiciones de frontera para la simulación del banco de pintura .....</i>	110
<b>Figura 94</b> <i>Disposición lateral de la velocidad del aire en el banco de pintura .....</i>	110
<b>Figura 95</b> <i>Disposición frontal de la velocidad del aire en el banco de pintura .....</i>	110
<b>Figura 96</b> <i>Condiciones de frontera para la simulación de los brazos extractores.....</i>	112
<b>Figura 97</b> <i>Disposición lateral de la velocidad del aire en el brazo de extracción .....</i>	112
<b>Figura 98</b> <i>Disposición lateral de la velocidad del aire en la boca del brazo de extracción.....</i>	112
<b>Figura 99</b> <i>Condiciones de frontera de la simulación del sistema de conductos.....</i>	114
<b>Figura 100</b> <i>Velocidad del aire a lo largo del sistema de conductos hasta antes del ventilador</i>	115
<b>Figura 101</b> <i>Líneas de trayectoria del aire dentro del ciclón .....</i>	115
<b>Figura 102</b> <i>Presión total a lo largo del sistema de conductos hasta antes del ventilador .....</i>	116
<b>Figura 103</b> <i>Velocidad del aire en la chimenea después del ventilador .....</i>	116
<b>Figura 104</b> <i>Presión total en la chimenea después del ventilador .....</i>	116
<b>Figura 105</b> <i>Condiciones de frontera para la simulación con el conducto auxiliar.....</i>	119
<b>Figura 106</b> <i>Presión total en el sistema para la simulación con el conducto auxiliar .....</i>	120
<b>Figura 107</b> <i>Velocidad en el sistema para la simulación con el conducto auxiliar.....</i>	120

## **Lista de Apéndices**

### **Los apéndices están disponibles en el Repositorio Institucional**

Apéndice A. Gráficas de los datos recopilados en las mediciones dentro del taller de mantenimiento

Apéndice B. Gráficas de los datos recopilados en las mediciones en el exterior del recinto

Apéndice C. Cálculos y diseño del sistema de ventilación

Apéndice D. Cálculos y diseño del sistema de extracción localizada

Apéndice E. Planos del del sistema de ventilación

Apéndice F. Planos del sistema de extracción localizada

## Glosario

**Acondicionamiento:** Preparación o ajuste de un entorno para satisfacer ciertas necesidades, como el control de la temperatura, humedad, limpieza del aire, etc.

**Concentración:** La cantidad de una sustancia presente en una unidad de volumen, generalmente expresada en porcentaje, partes por millón (ppm) o partes por billón (ppb).

**Conducto:** Un conducto es un conducto o canal diseñado para transportar fluidos, aire o materiales de un lugar a otro.

**Contaminación:** La introducción de sustancias nocivas o no deseadas en el medio ambiente, lo que puede tener efectos adversos en la salud humana, la vida silvestre y el ecosistema en general.

**Deshumidificación:** Proceso de eliminar el exceso de humedad del aire para alcanzar un nivel de humedad deseado.

**Dióxido de Carbono:** Un gas compuesto por dos átomos de oxígeno y un átomo de carbono, comúnmente conocido como CO<sub>2</sub>, que se produce durante la combustión y la respiración.

**Diseño:** El proceso de concebir, planificar y crear productos, sistemas o entornos para cumplir necesidades específicas, teniendo en cuenta aspectos funcionales, estéticos y técnicos.

**Extracción localizada:** Proceso de eliminar contaminantes o partículas de una ubicación específica, generalmente mediante el uso de sistemas de ventilación o aspiración localizados.

**Filtrar:** El proceso de eliminar partículas no deseadas o contaminantes del aire, líquidos u otras sustancias utilizando un medio filtrante.

**Humedad relativa:** La cantidad de humedad presente en el aire en relación con la cantidad máxima que el aire podría contener a una temperatura y presión dadas.

**Ingeniería:** La aplicación de principios científicos y matemáticos para diseñar, construir y mantener sistemas, estructuras o procesos que satisfagan necesidades específicas.

**Mantenimiento:** Conjunto de actividades realizadas para conservar o restaurar la operatividad de equipos, sistemas o instalaciones.

**Material particulado:** Pequeñas partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire, como polvo, humo, aerosoles, etc., que pueden tener efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente.

**Monóxido de Carbono:** Un gas tóxico e incoloro que se produce por la combustión incompleta de materiales orgánicos, como el gas natural, la gasolina, la madera, etc.

**Perdida de Presión:** La reducción de la presión de un fluido debido a la resistencia que encuentra al moverse a través de un sistema, como tuberías, conductos, filtros, etc.

**Renovación de aire:** Proceso de reemplazar el aire viciado o contaminado en un espacio cerrado con aire fresco del exterior.

**Riesgos laborales:** Condiciones o situaciones en el entorno de trabajo que tienen el potencial de causar daño, enfermedad o lesión a los trabajadores.

**Simulación:** Proceso de imitar el comportamiento de un sistema real a través de modelos matemáticos o computacionales para predecir su rendimiento o comportamiento en diferentes condiciones.

**Sistema:** Un conjunto de elementos interrelacionados que trabajan juntos para lograr un objetivo común.

**Solidworks:** Un software de diseño asistido por computadora (CAD) y de análisis de elementos finitos (FEA) utilizado para modelar y simular sistemas y componentes mecánicos en tres dimensiones.

**Temperatura:** La medida del calor o frío de un objeto o sustancia, que determina su capacidad para transferir energía térmica a otros objetos.

**Velocidad del aire:** La rapidez con la que el aire se mueve a través de un espacio, generalmente medida en metros por segundo (m/s) o pies por minuto (ft/min).

**Ventilación Mecánica:** Procedimiento médico que asiste o sustituye la respiración normal de un paciente utilizando equipos especializados para mantener un intercambio adecuado de oxígeno y dióxido de carbono en los pulmones.

## Resumen

**Título:** Diseño e ingeniería en detalle de un sistema de ventilación mecánica para el acondicionamiento de los talleres de la división mantenimiento tecnológico de la universidad industrial de Santander\*

**Autor:** Jorge Armando Rojas Hernández (1) y Luis Alejandro Laiton Corzo (2)\*\*

**Palabras Clave:** Ventilación mecánica, extracción localizada, renovación del aire, deshumidificación.

**Descripción:** Este trabajo tuvo como objetivo principal el diseño de un sistema de ventilación para el acondicionamiento del aire dentro de los talleres dispuestos para el mantenimiento de equipos y maquinaria, pertenecientes a la Universidad Industrial de Santander (UIS).

En el desarrollo de la propuesta, se establecieron las condiciones previas del aire dentro del recinto, realizando mediciones de temperatura, humedad relativa, concentración de CO y CO<sub>2</sub>, velocidad del aire, y concentración de material particulado tipo PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>. A continuación, se identificaron dos zonas en el recinto en las cuales se implementó un sistema de ventilación, cada uno con enfoque diferente, la primera zona encierra los talleres de electricidad, refrigeración y almacenamiento de repuestos, áreas en las que el personal permanece la mayor parte del tiempo, en consecuencia el sistema está orientado hacia la renovación, circulación y acondicionamiento del aire; la segunda zona abarca los taller de mecánica industrial y soldadura, espacios en los cuales se generan humos, gases y material particulado, por consiguiente el sistema está dirigido a la captación de estos contaminantes mediante la extracción localizada para evitar su difusión en todo el lugar. Por último, se realizaron simulaciones de funcionamiento usando la herramienta de Solidworks: Flow Simulation con el objetivo de validar los diseños propuestos.

En conclusión, los dos sistemas de ventilación permiten aumentar la calidad del aire en el recinto, reducir los riesgos de salud asociados a la inhalación de contaminantes, mejorar las condiciones de confort y disminuir el exceso de CO<sub>2</sub> y humedad acumulados por la casi nula ventilación que existe en este lugar.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Ingeniería Mecánica. Director: David Alfredo Fuentes Diaz. Doctor en tecnología energética

**Abstract**

**Title:** Design and detailed engineering of a mechanical ventilation system for the conditioning of the workshops in the Technological Maintenance Division of the Industrial University of Santander.\*

**Author(s):** Jorge Armando Rojas Hernández (1) y Luis Alejandro Laiton Corzo (2)\*\*

**Key Words:** Mechanical ventilation, localized extraction, air renewal, dehumidification.

**Description:** The main goal of this project was to create a ventilation system that would provide air conditioning for the workshops dedicated to equipment and machinery maintenance at the Industrial University of Santander (UIS).

During the development of the project, the initial air conditions inside the building were determined by measuring temperature, relative humidity, CO and CO<sub>2</sub> concentrations, air velocity, and levels of particulate matter such as P<sub>2.5</sub> and P<sub>10</sub>. Two areas were identified within the facility to install the ventilation system, each with a different purpose. The first area includes the workshops for electricity, refrigeration, and spare parts storage, where the staff spends most of their time. Therefore, the system focuses on renewing, circulating, and conditioning the air in this zone. The second area comprises the industrial mechanics and welding workshops, where fumes, gases, and particulate matter are generated. Consequently, the system is designed to extract these contaminants locally and prevent their spread throughout the area. Additionally, simulations were performed using the Solidworks: Flow Simulation tool to validate the proposed designs.

In conclusion, the two ventilation systems improve the air quality inside the facility, reduce health risks associated with inhaling contaminants, enhance comfort conditions, and alleviate the accumulation of excess CO<sub>2</sub> and humidity caused by the limited ventilation in the space.

---

\* Degree Work

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Mechanical Engineering. Director: David Alfredo Fuentes Diaz. Doctor in Energy Technology.

## Introducción

El presente trabajo se centra en el "Diseño e Ingeniería en Detalle de un Sistema de Ventilación Mecánica para el Acondicionamiento de los Talleres de la División Mantenimiento Tecnológico de la Universidad Industrial de Santander". El mantenimiento de equipos y sistemas desempeña un papel esencial en la preservación de activos y en la continuidad de operaciones en una institución educativa de renombre. Sin embargo, esta actividad no está exenta de riesgos y desafíos, especialmente en lo que respecta a la calidad del aire en los espacios de trabajo, la seguridad de los trabajadores y el cumplimiento de las normativas ambientales.

En el contexto actual, el diseño de sistemas de ventilación mecánica y acondicionamiento de aire se ha convertido en un campo de investigación y desarrollo fundamental, impulsado por la creciente conciencia sobre la calidad del aire interior y la necesidad de mantener entornos de trabajo seguros y saludables (Sundell J., 2004). En diversos sectores, desde la industria hasta la educación, la ingeniería de sistemas de ventilación se ha vuelto crucial para cumplir con los estándares de calidad del aire interior y minimizar los riesgos para la salud humana (Fisk et al., 1997). El diseño de sistemas de ventilación en entornos industriales y académicos es un desafío constante, ya que requiere la consideración de factores específicos, como las fuentes de contaminación del aire, los caudales de aire necesarios y los parámetros de temperatura y humedad (Seppänen & Fisk, 2002). Este trabajo busca contribuir a este campo en constante evolución, proponiendo un sistema de ventilación adaptado a los requisitos de los talleres de la División de Mantenimiento Tecnológico de la Universidad Industrial de Santander.

El objetivo principal de este trabajo es diseñar un sistema de ventilación mecánica detallado para mejorar el ambiente en los talleres de la División de Mantenimiento Tecnológico de la

Universidad Industrial de Santander. Para lograrlo, se plantean cuatro objetivos específicos: medir las condiciones iniciales del aire interior y el aire exterior, diseñar el sistema de ventilación, y simular su funcionamiento. Estos objetivos buscan garantizar un ambiente óptimo en los talleres y contribuir al desarrollo tecnológico de la universidad. Para realizar estas mediciones se utilizaron los siguientes dispositivos: el Fluke 975 AirMeter, que mide diversas variables como temperatura, humedad, niveles de monóxido y dióxido de carbono, y velocidad del aire, y el sensor Láser PM2.5 - HM3301 junto con la placa de microcontrolador Arduino Uno para medir material particulado PM10 y PM2,5. Además, se complementaron las mediciones con datos de la estación meteorológica de la Universidad Industrial de Santander.

Por medio del estudio, se identificó que el espacio se puede dividir en dos áreas que demandan sistemas de ventilación distintos. En la Zona 1, se estableció un sistema de ventilación mecánica para mantener la calidad del aire debido a la falta de ventilación natural. La Zona 2, se requiere un sistema de ventilación que capture y trate localmente los residuos contaminantes antes de expulsar el aire al exterior. Adicionalmente se usó la herramienta de Solidworks, Flow Simulation para la realización de la simulación de los dos sistemas de ventilación, llegando a observar el comportamiento de cada uno de los sistemas diseñados, bajo distintos parámetros de funcionamiento.

Finalmente, al tener en cuenta los costos iniciales de inversión e instalación, se determinó que el costo total del proyecto asciende a \$ 217'642.235, donde el sistema de ventilación tendría un costo de \$ 69'280.052, y el sistema de extracción de \$ 148'362.183 (Pesos colombianos).

## 1. Definición del problema

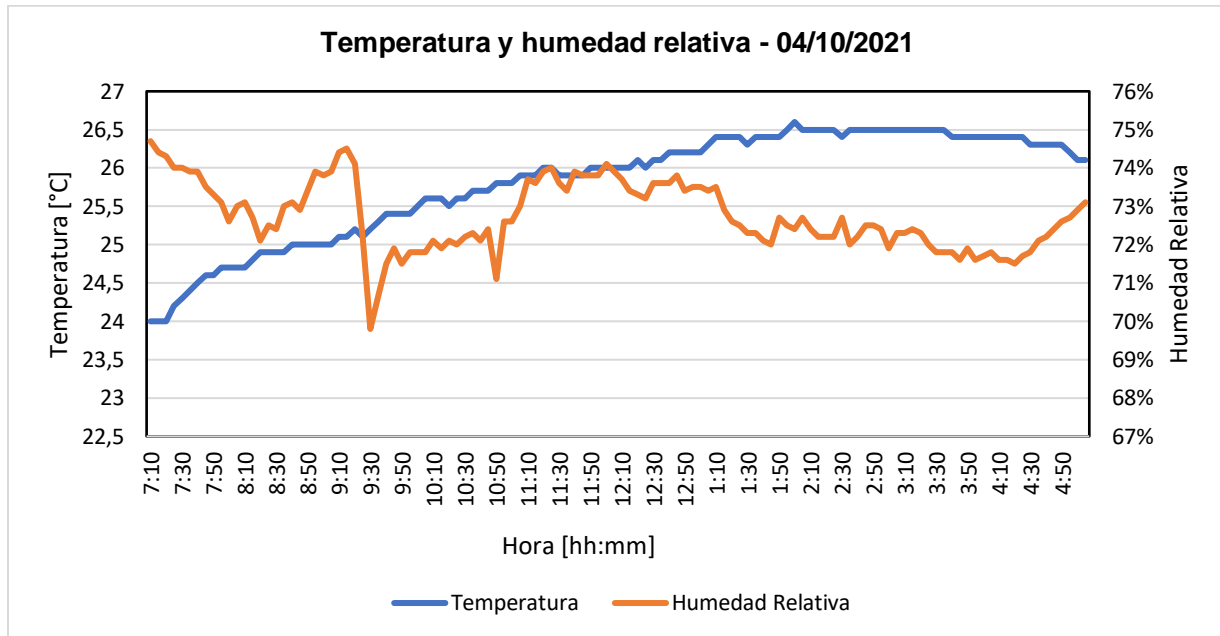
El ser humano a lo largo de su historia siempre ha buscado formas de lograr la comodidad, desde pequeñas fogatas hasta innovadores sistemas de acondicionamiento de aire, son un ejemplo de su lucha por el confort térmico. Con procesos de calentamiento, enfriamiento, humificación, deshumidificación o filtrado el hombre ha logrado modificar las propiedades del aire en un recinto para obtener el equilibrio en el intercambio térmico con el ambiente que lo rodea o lo que es más simple: el bienestar.

Otro factor importante en cuanto a bienestar se refiere es la calidad del aire, sobre todo en lugares donde se desarrollan actividades que generan residuos tales como gases, humos o polvo que al mezclarse con el aire pueden ser nocivos para la salud. Para ello el uso de sistemas extractores localizados ha sido uno de los métodos más efectivos, pues evita que estos contaminantes se propaguen a todo el recinto.

La Universidad Industrial de Santander con el fin de ampliar sus instalaciones en el campus central construyó el edificio de Logística, el cual puso a disposición de las dependencias de publicaciones, planta física y mantenimiento tecnológico. Después de inspeccionar este lugar, se ha identificado que los talleres de la División de Mantenimiento Tecnológico, ubicados en el sótano del edificio, presentan problemas de confort térmico. Entre estos problemas se destacan niveles elevados de humedad relativa y una ventilación insuficiente, como se puede apreciar en las figuras de la 1 a la 4. Para evaluar esta situación, se llevaron a cabo mediciones de temperatura y humedad relativa, dos variables fundamentales para el confort en un espacio cerrado, dichas mediciones se presentan en las siguientes graficas:

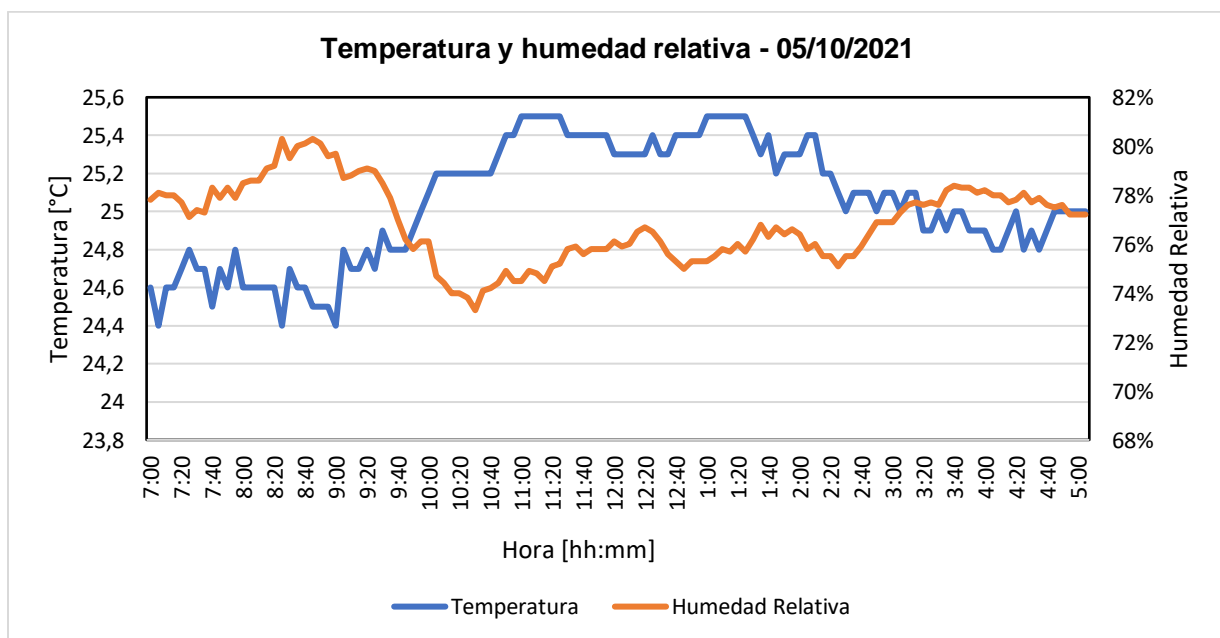
**Figura 1**

*Temperatura y porcentaje de humedad relativa del del 04 de octubre de 2021*



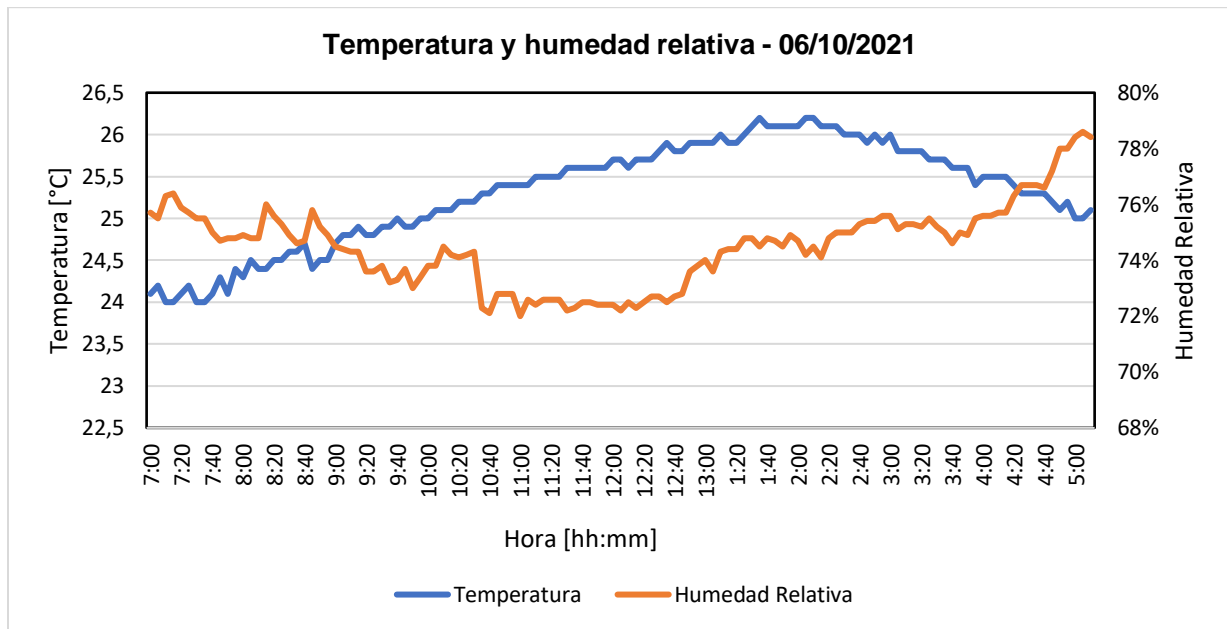
**Figura 2**

*Temperatura y porcentaje de humedad relativa del 05 de octubre de 2021*



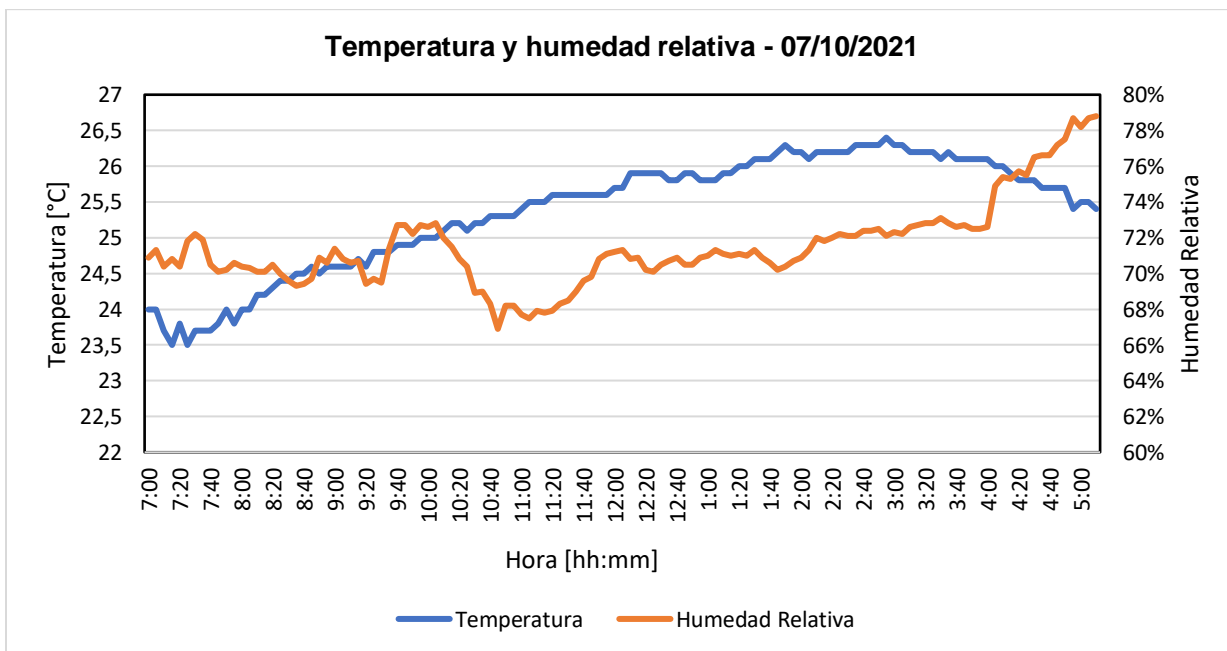
**Figura 3**

*Temperatura y porcentaje de humedad relativa del 06 de octubre de 2021*



**Figura 4**

*Temperatura y porcentaje de humedad relativa del 07 de octubre de 2021*



De acuerdo con estas gráficas el máximo punto de humedad relativa supera el 80% y el de la temperatura llega a los 26,5°C, en cuanto a la velocidad del aire dentro del recinto, otro factor relevante en el confort, todas las mediciones realizadas indican un valor de cero (razón por la cual no se graficó). Estas condiciones se deben principalmente a las características del establecimiento, el cual no cuenta con ningún tipo de estructura que permita la entrada y circulación de aire en su interior. Además, la naturaleza de algunas actividades desarrolladas en este lugar como aplicación de aerosoles, procesos de soldadura y el uso de herramientas de corte, generan residuos tales como gases, humo y polvo que, debido a la nula ventilación natural, se mezclan con el aire y empeoran las condiciones para el personal que allí trabaja.

En cuanto a condiciones de confort se refiere A. Çengel & A. Boles (2012), nos dice que “La mayor parte de la gente se siente cómoda cuando la temperatura ambiente está entre 22°C y 27°C, una humedad relativa entre 40% y 60% y una velocidad del aire de aproximadamente 15 m/min” (p.749). Esto deja en evidencia el problema de falta de condiciones de confort para el personal que labora en este lugar, por lo tanto, para llegar a dichas condiciones y extraer los residuos nocivos que se generan producto de las actividades del mantenimiento de equipos, se propone el diseño en detalle de un sistema de ventilación mecánica.

## 2. Justificación del problema

En Bucaramanga, donde se encuentra el recinto, prevalecen las altas temperaturas durante todo el año. La falta de un sistema de confort térmico resulta en la incapacidad del cuerpo para disipar el calor de manera efectiva debido al limitado diferencial de temperatura entre la piel y el ambiente, y a la alta humedad relativa. Esto afecta la eficiencia del proceso de eliminación de calor a través de la sudoración.

Mantener condiciones de confort en la División de Mantenimiento Tecnológico de la Universidad Industrial de Santander es esencial, ya que contribuye a la productividad y bienestar del personal. Según el Instituto Sindical de Trabajo (2019), “Las altas temperaturas ambientales reducen la capacidad productiva del trabajador, además, dificultan el desarrollo de tareas, crean malestar y reducen la atención” (p. 7). Además, el confort en el entorno laboral permite a los trabajadores realizar sus tareas de manera prolongada sin riesgos para la salud y seguridad.

La calidad del aire es esencial para el bienestar y la prevención de riesgos laborales en el entorno de trabajo. La inhalación de desechos generados en ciertas actividades puede ser perjudicial para la salud. Por lo tanto, es necesario implementar un sistema efectivo para extraer estos desechos y prevenir su dispersión en el recinto.

De acuerdo con lo anteriormente mencionado, se hace necesario el diseño de un sistema de ventilación mecánica que permita alcanzar el confort térmico del lugar y mantener una buena calidad del aire.

### 3. Objetivos

#### 3.1. Objetivo General

Contribuir en la ejecución de la misión de la Universidad Industrial de Santander y en su desarrollo tecnológico, mediante el diseño en detalle de un sistema de ventilación mecánica para el acondicionamiento de los talleres pertenecientes a la División de Mantenimiento Tecnológico ubicados en el edificio de Logística dentro de la misma.

#### 3.2. Objetivos Específicos

Determinar el microclima y la calidad del aire en el interior del recinto, para establecer las condiciones ambientales iniciales del lugar, dentro del proceso de acondicionamiento, por medio de la medición de las siguientes variables:

- Temperatura de bulbo seco
- Humedad relativa
- Velocidad del aire
- Partículas por millón de CO y CO<sub>2</sub>
- Material particulado PM 10 y PM 2,5

Establecer las condiciones térmicas y de calidad del aire exterior del cual dispone el sistema de ventilación mecánica para llevar al interior del recinto, mediante la medición de las siguientes variables:

- Temperatura de bulbo seco
- Humedad relativa
- Velocidad del aire
- Partículas por millón de CO y CO<sub>2</sub>

- Material particulado PM 10 y PM 2,5

Diseñar en detalle mediante herramientas computacionales como Solidworks o Ansys, el sistema de ventilación mecánica para el recinto donde se alojan los talleres de la División de Mantenimiento Tecnológico, satisfaciendo las condiciones óptimas de confort térmico y de calidad del aire.

Simular el sistema de ventilación mecánica mediante herramientas computacionales como Solidworks y/o Ansys, para la realización del análisis de distribución y circulación del aire dentro del recinto.

## 4. Marco Teórico

En este apartado se presentan conceptos esenciales para otorgar al lector los fundamentos necesarios para la comprensión de los temas abordados en esta tesis, los cuales, a su vez fueron de suma importancia para el desarrollo de este trabajo.

### 4.1. Contaminación del aire

La contaminación del aire es un importante factor de riesgo para la salud a nivel mundial, comparable en importancia a la mala alimentación y el tabaquismo en relación con las enfermedades no transmisibles (NCD)<sup>††</sup>, según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022). La contaminación del aire causa aproximadamente 6.7 millones de muertes y 4.2 millones de muertes prematuras anuales. La inhalación de contaminantes, en particular partículas pequeñas, es un factor clave en enfermedades cardíacas, accidentes cerebrovasculares, enfermedades pulmonares crónicas, asma y cáncer de pulmón, lo que representa una seria amenaza para la salud presente y futura. (MINAMBIENTE DE COLOMBIA & Hernández Cruz, 2016a).

En 2015, la contaminación atmosférica en Colombia resultó en 10,527 muertes y causó 67.8 millones de síntomas y enfermedades, según el Departamento Nacional de Planeación. Además, los costos ambientales relacionados con la contaminación aumentaron en los últimos años, representando el 1.93% del PIB en 2015, equivalente a \$15.4 billones de pesos. Esto resalta la necesidad de continuar implementando estrategias para controlar y monitorear estas sustancias. (SISAIRE - IDEAM, 2020a). La contaminación del aire se refiere a la presencia y acumulación de

---

<sup>††</sup> NCD: Siglas en inglés de *noncommunicable disease*.

sustancias contaminantes en forma sólida, líquida o gaseosa que afectan negativamente el entorno, los recursos naturales y la salud humana. Estos contaminantes se dividen en dos categorías.

Los primarios (emitidos directamente) como partículas, (*SO*), (*NOX*) y (*CO*), y los secundarios (resultantes de reacciones químicas en la atmósfera) como el ozono (*O3*), y partículas secundarias como sulfatos y nitratos, figura 5.

#### **4.1.1. Material particulado**

De acuerdo con la Agencia para la protección ambiental de los Estados Unidos (USEPA por sus siglas en inglés), el material particulado es una mezcla compuesta por partículas extremadamente pequeñas y gotas líquidas que se encuentran suspendidas en el aire. Existe una evidencia científica sólida que respalda la relación entre la presencia de material particulado (PM) en el aire y los efectos adversos en la salud respiratoria y cardiovascular de las personas. La peligrosidad de estas partículas está relacionada tanto con su tamaño como con las sustancias tóxicas que pueden adherirse a su superficie, incluyendo metales pesados, bacterias (USEPA, 2022). Se clasifican comúnmente en función de su tamaño o diámetro dinámico:

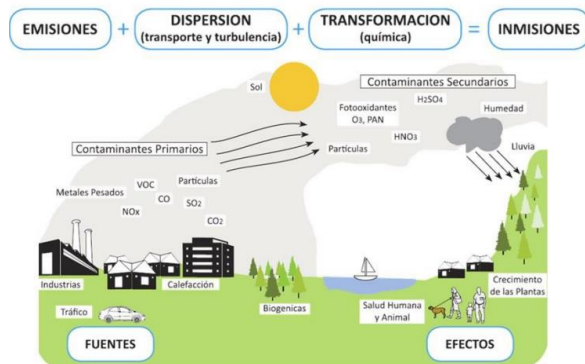
- *PM10*: partículas inhalables, con diámetros menores a 10 micras y mayores a 2,5 micras.
- *PM2.5*: partículas finas inhalables, con diámetros que generalmente son de 2,5 micrómetros y menores.

#### **4.1.2. Monóxido y dióxido de Carbono**

Dentro de los contaminantes que pueden perjudicar la calidad del aire se encuentran estos dos gases que en concentraciones altas pueden llegar a perjudicar la salud del ser humano a corto, mediano y largo plazo.

**Figura 5**

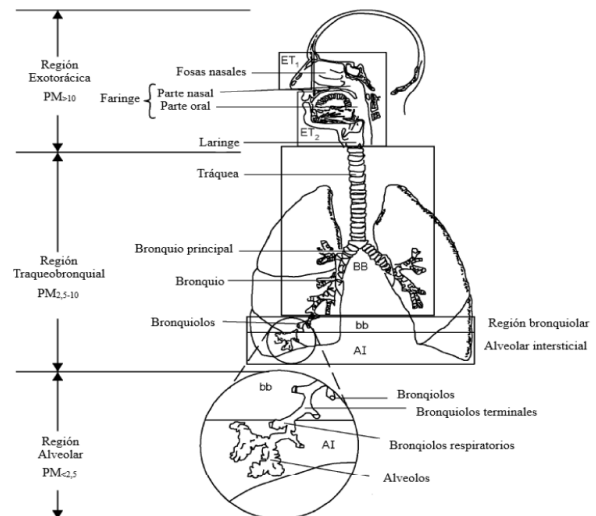
*Relación entre fuentes de contaminación y efectos sobre la calidad del aire*



*Nota:* En esta imagen se puede observar la diferencia entre contaminantes primarios y secundarios. Tomado de (MINAMBIENTE DE COLOMBIA & Hernández Cruz, 2016a).

**Figura 6**

*Grado de penetración del PM en el sistema respiratorio en relación con su tamaño.*



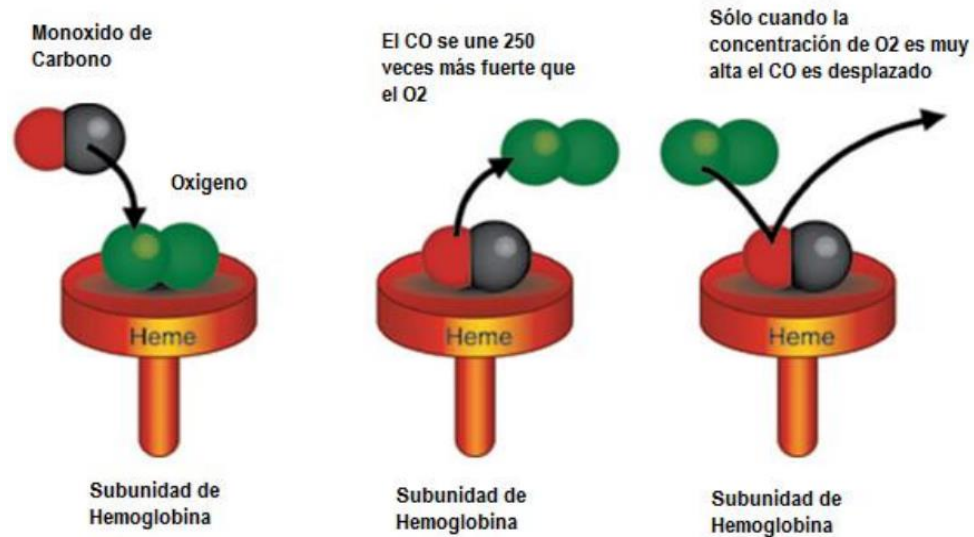
*Nota:* Esta imagen muestra la profundidad a la que puede ingresar el material particulado en el sistema respiratorio. Tomado de (Angeriz Rebollo, 2018).

**4.1.2.1. Monóxido de carbono.** El monóxido de carbono es tóxico y se forma en la combustión incompleta. Es inodoro, incoloro y mortal en altas concentraciones.

Puede dañar el sistema nervioso, afectar la visión y la capacidad para tareas complejas. Su intoxicación causa hipoxia y daño celular al unirse a la hemoglobina, dificultando el transporte de oxígeno a los tejidos. También afecta a otras proteínas como la mioglobina, perjudicando la función muscular y el flujo sanguíneo en el corazón. (MINAMBIENTE DE COLOMBIA & Hernández Cruz, 2016b).

**Figura 7**

*Capacidad de unión del CO con la hemoglobina.*



*Nota. Oxígeno Vs Monóxido de Carbono. Tomado de (MINAMBIENTE DE COLOMBIA & Hernández Cruz, 2016b).*

**4.1.2.2. Dióxido de carbono.** El dióxido de carbono es un gas asfixiante que, en concentraciones elevadas (superiores a 30,000 ppm), puede causar dolor de cabeza, mareos, somnolencia y problemas respiratorios. En el aire exterior, se encuentra en niveles de 300 a 400 ppm, llegando a 550 ppm en áreas urbanas. (Instituto para la salud Geoambiental, 2020)

Los límites recomendados para entornos laborales son 5,000 ppm para exposiciones diarias de 8 horas y 15,000 ppm para exposiciones breves de 15 minutos. En entornos no industriales como oficinas y escuelas, los niveles suelen ser de 2,000 a 3,000 ppm. Superar estos niveles puede indicar una combustión incontrolada, lo que no solo es riesgoso debido al dióxido de carbono, sino también por otros subproductos de la combustión, como el monóxido de carbono (CO), cuyo límite de exposición es mucho más bajo (25 ppm). (INSST - España, 2023)

#### 4.2. Estándares de concentraciones de contaminantes en el aire permitidas

Las normas de calidad del aire en Colombia se fundamentan en las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), específicamente en su documento "Directrices de calidad del aire de la OMS" publicado en 2005. Sin embargo, es importante señalar que estas directrices están desactualizadas, ya que en 2021 la OMS actualizó y renovó sus guías para reflejar las circunstancias y necesidades actuales a nivel mundial. El ente encargado de la regulación del medio ambiente en Colombia es el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el cual establece como estándar un Índice de Calidad del Aire (ICA), basado en lo establecido en la ley colombiana a través de la resolución No. 2254 del 01 de noviembre de 2017.

En esta resolución se establece los valores máximos permisibles en Colombia para PM10, PM2.5, y CO, como se puede observar en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio del aire*

Contaminante	Nivel máximo Permisible ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo de Exposición
PM10	50	Anual
	100	24 horas
PM2.5	25	Anual
	50	24 horas
CO	5000	8 horas
	35000	1 hora

Nota. Adaptado de (Resolución 2254 - Niveles Calidad del Aire, 2017)

**Tabla 2***Punto de Corte ICA (Índice de Calidad del Aire) a nivel nacional*

Índice de Calidad del Aire			Puntos de Corte		
ICA	Color	Categoría	PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24 horas	PM2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24 horas	CO $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 8 horas
0-50	Verde	Buena	0 - 54	0 - 12	0 - 5094
51-100	Amarillo	Aceptable	55 - 154	13 - 37	5095 - 10819
101-150	Naranja	Dañina para la salud de grupos sensibles	155 - 254	38 - 55	10820 - 14254
151-200	Rojo	Dañina a la salud	255 - 354	56 - 150	14255 - 17688
201-300	Purpura	Muy dañina a la salud	355 - 424	151 - 250	17689 - 34892
301-500	Marrón	Peligrosa	425 - 604	251 - 500	34863 - 57703

*Nota.* Esta tabla muestra cómo se clasifica el estado de la calidad del aire en diferentes categorías según corresponda. Adaptado de (SISAIRE - IDEAM, 2020b).

**Tabla 3***Descripción general del índice de calidad del aire*

ICA	Color	Categoría	Efectos
0-50	Verde	Buena	La contaminación atmosférica representa un riesgo bajo para la salud.
51-100	Amarillo	Aceptable	Probables síntomas respiratorios en grupos poblacionales que puedan ser sensibles
101-150	Naranja	Dañina para la salud de grupos sensibles	Los grupos poblacionales sensibles pueden presentar efectos sobre la salud, las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas, niños y adultos mayores deben reducir su exposición a los contaminantes del aire.
151-200	Rojo	Dañina a la salud	Todos los individuos pueden comenzar a sufrir efectos en la salud. Los grupos sensibles son capaces de experimentar efectos más graves para la salud.
201-300	Purpura	Muy dañina a la salud	Estado de alerta que significa que todos pueden experimentar efectos que logren agravar la salud

301-500	Marrón	Peligrosa	Emergencia sanitaria. Toda la población puede sufrir efectos desfavorables graves en la salud humana y permanecen dispuestos a verse dañados por graves efectos sobre la salud.
---------	--------	-----------	---

*Nota.* La tabla expresa los efectos que se producen en las personas dependiendo del estado de la calidad del aire. Tomado de (SISAIRE - IDEAM, 2020b).

Los estándares de concentración máxima de Dióxido de Carbono (CO) están dados en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y el dispositivo usado para la medición nos arroja los datos en *ppm*, por lo cual necesitamos el siguiente factor de conversión:

$$PPM = \frac{\mu\text{g}/\text{m}^3}{PM * \left(\frac{10^3}{24.5}\right)}$$

Donde:

*PPM = Partes por millón*

*PM = El peso molecular del gas*

### 4.3. Actividades de Mantenimiento Realizadas en los Talleres

En la Universidad Industrial de Santander, los talleres de mantenimiento se dividen en tres categorías: metalmecánica, refrigeración y electricidad/electrónica. Estos talleres reparan y mantienen equipos en el campus, generando residuos liberados al aire compartido, lo que causa concentraciones perjudiciales de material particulado, gases y olores. Esto representa un riesgo a largo plazo para la salud de los trabajadores. Las actividades más contaminantes se describen a continuación.

#### 4.3.1. Soldadura

En estos talleres, la soldadura es común y se utiliza para reparar piezas metálicas y dispositivos electrónicos. Estas actividades generan residuos perjudiciales y pueden aumentar el

riesgo de cáncer con exposición prolongada. Se emplean procesos como la soldadura autógena (oxiacetilénica), soldadura eléctrica y soldadura por estaño.

#### **4.3.2. Pintura**

La aplicación de pintura en los talleres mejora el acabado de las piezas, pero genera material particulado que se dispersa en el recinto, afectando a los trabajadores debido a la interconexión de los talleres. Los materiales incluyen pintura anticorrosiva, laca, poliuretano, aerosoles y siliconas.

#### **4.3.3. Mantenimiento de Sistemas de refrigeración**

Durante el mantenimiento de equipos de refrigeración o accidentes, pueden ocurrir fugas de gases refrigerantes, que tienen bajas temperaturas de ebullición y se dispersan rápidamente en el aire del recinto. Inhalación de estos gases causa quemaduras e intoxicación. Algunos refrigerantes, como HFC (Hidrofluorocarbonados) y HCFC (Hidroclorofluorocarbonados), son más densos que el aire y pueden acumularse en el suelo, aumentando el riesgo de asfixia.

#### **4.3.4. Lavado con disolventes**

Cuando se realizan de limpieza de componentes con ayuda de líquidos disolventes que se encargan de eliminar impurezas tales como grasas, residuos por desgaste, material particulado procedente del ambiente entre otros. Los líquidos disolventes más usados en estos procesos son el Thinner y el Varsol, ambos subproductos de estos generan gases debido a la evaporación, los cuales son nocivos para la salud del trabajador, si se encuentran en altas concentraciones.

#### **4.3.5. Uso de lubricantes penetrantes**

Estos líquidos de baja viscosidad son usados para liberar partes móviles metálicas que se encuentran unidas debido al óxido y la suciedad dificultando el buen mantenimiento de máquina, ya que en ocasiones es necesario el desmontaje total para llevar a cabo una inspección minuciosa

y completa. Generalmente se aplican pulverizados con ayuda de un aerosol lo cual genera que parte del lubricante se disipe en el aire y se acumule dentro del recinto, ocasionando afectación a los trabajadores.

#### **4.3.6. *Uso de pegantes***

El uso de pegamentos sintéticos como el bórax y pegamentos epoxi, a pesar de su versatilidad, puede generar vapores perjudiciales si se inhalan en exceso, causando irritación en la nariz, boca, ojos y garganta. El fabricante EyM recomienda usarlos en lugares bien ventilados, lo cual no es posible en los talleres de mantenimiento (Escobar y Martínez, 2020).

#### **4.3.7. *Viruta por mecanizado***

Cuando se realiza el mecanizado de piezas metálicas que requieren ser reemplazadas ya que no cumplen la función para la cual fueron diseñadas, ya sea por corrosión o por desgaste, existe el desprendimiento de material debido al desbaste generado por la herramienta (taladro, chuchilla para torneado), este material residual se le conoce como “viruta”, esta puede tener diferentes tamaños

#### **4.3.8. *Limpieza***

La limpieza de equipos de mantenimiento puede liberar polvo en el aire debido al uso de aire comprimido o herramientas manuales. Esto afecta a las personas y la falta de ventilación adecuada provoca acumulación de material particulado en el aire, impactando la salud de los trabajadores en los talleres.

## **5. Estudio de condiciones ambientales en el interior y exterior del recinto**

El establecimiento de las condiciones del aire tanto dentro de los talleres de mantenimiento tecnológico como en el exterior se realizó mediante el uso del dispositivo *Fluke 975 AirMeter*, equipo que cuenta con capacidad de medición de las siguientes variables: temperatura, punto de rocío, bulbo húmedo, humedad relativa, niveles de monóxido de carbono, niveles de dióxido de carbono, velocidad del aire, porcentaje de aire exterior y flujo de aire (Fluke Corporation, 2006). También se hizo uso del sensor Láser PM2.5 - HM3301 junto con la placa de microcontrolador Arduino Uno, montaje que permite la medición de las siguientes variables: Material particulado PM10 y PM 2,5. Además para complementar las mediciones echas en el exterior se hizo uso de la base de datos suministra por la estación meteorológica ubicada en la Universidad Industrial de Santander.

### **5.1.1. Temperatura dentro del taller de mantenimiento.**

En la figura 8 se puede apreciar una temperatura promedio con tendencia entorno a los 25°C durante el tiempo de medición, con valores que varían entre 24,1°C y 25,7°C y temperaturas máximas registradas que no superan los 27°C. Estas temperaturas en algunos lapsos del día podrían generar inconformidad para determinadas personas principalmente en los momentos donde los valores son máximos.

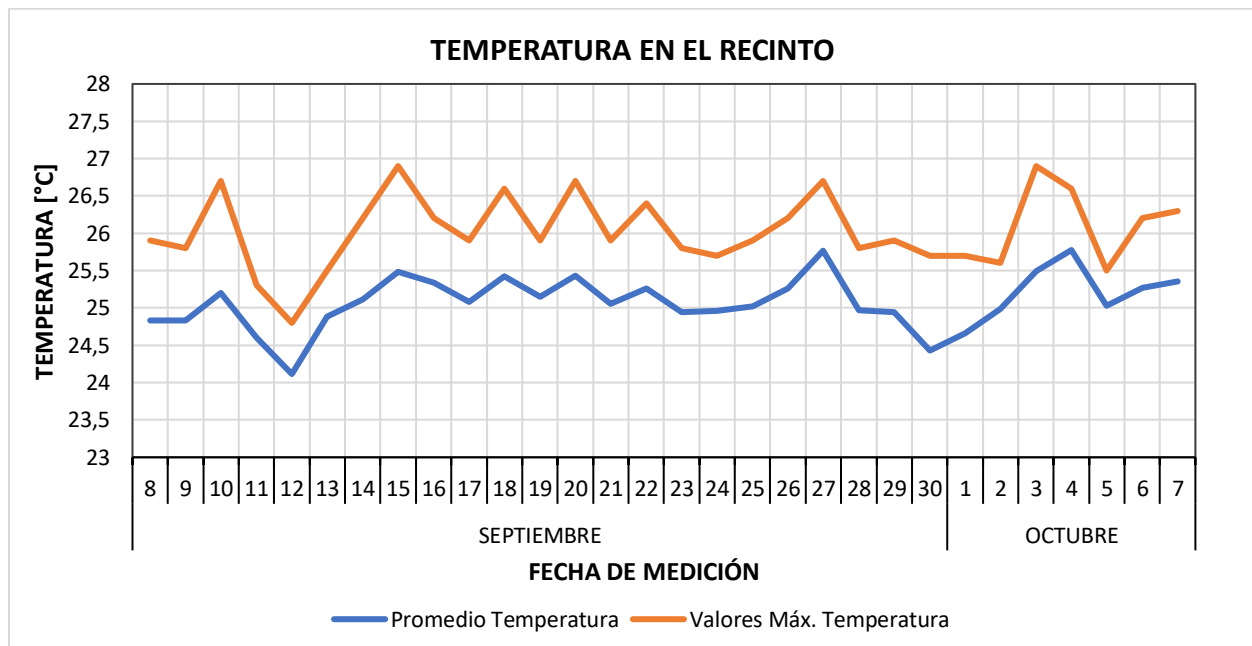
## **5.2. Condiciones ambientales dentro del taller de mantenimiento**

A continuación, se presentan los resultados recopilados de las mediciones realizadas en el taller de mantenimiento entre el 8 de septiembre y el 7 de octubre de 2021, para ello se han graficado los valores promedio diarios con el fin de facilitar la comprensión del estado inicial de las condiciones del microclima. Para el caso de la temperatura, humedad y velocidad se utilizaron

los valores entre las 7 a.m. y la 5 p.m. para determinar el valor promedio, que corresponde al rango de tiempo en que el recinto está ocupado con personal y para el caso del CO, CO<sub>2</sub> y el material particulado se usaron los valores correspondientes a las 24 horas para el cálculo del valor promedio. Para tener más detalle de todos los valores tomados diríjase al apéndice A.

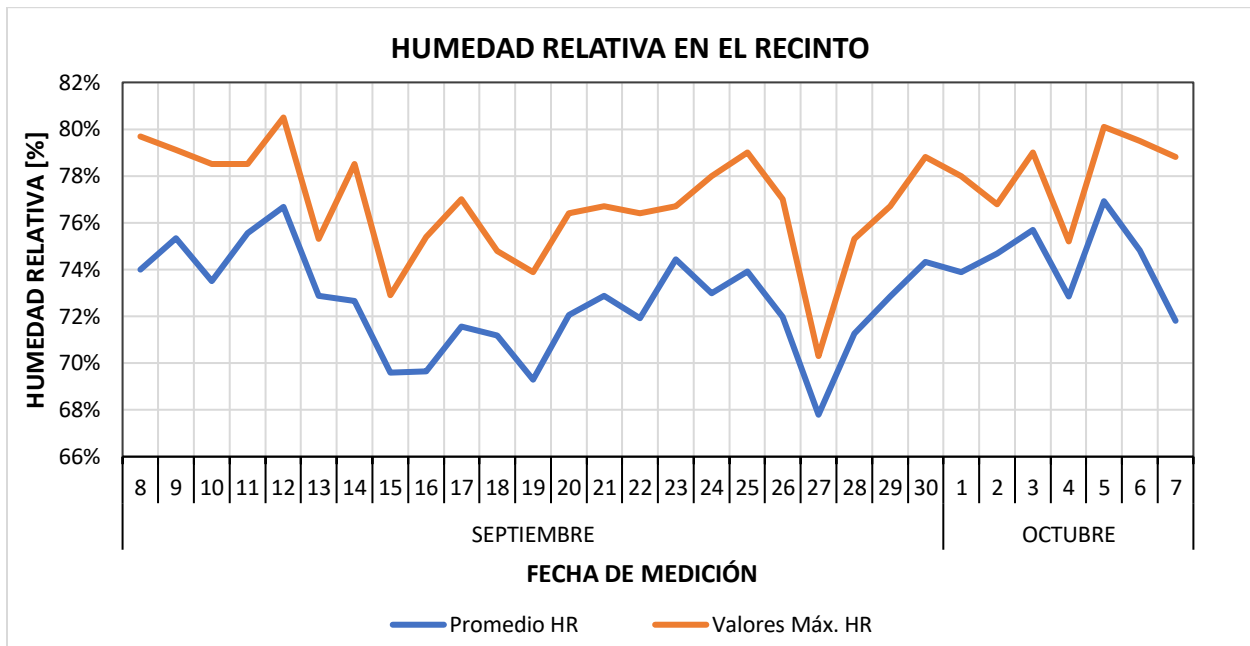
**Figura 8**

*Temperatura dentro del taller de mantenimiento*



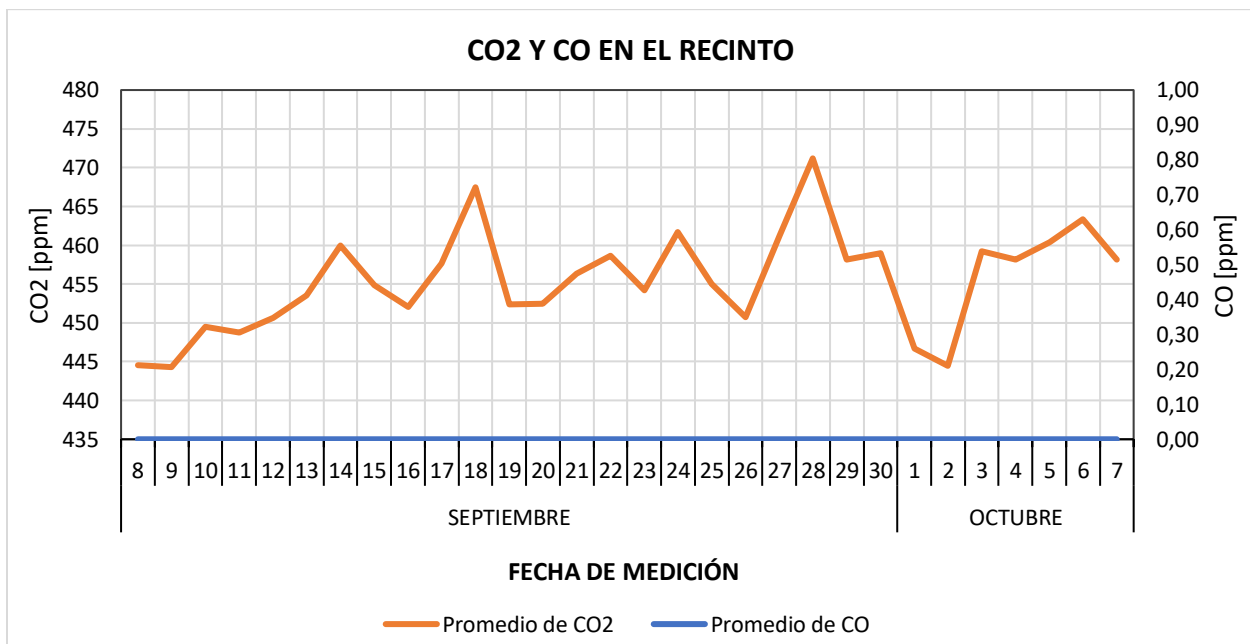
**Figura 9**

*Humedad relativa dentro del taller de mantenimiento*



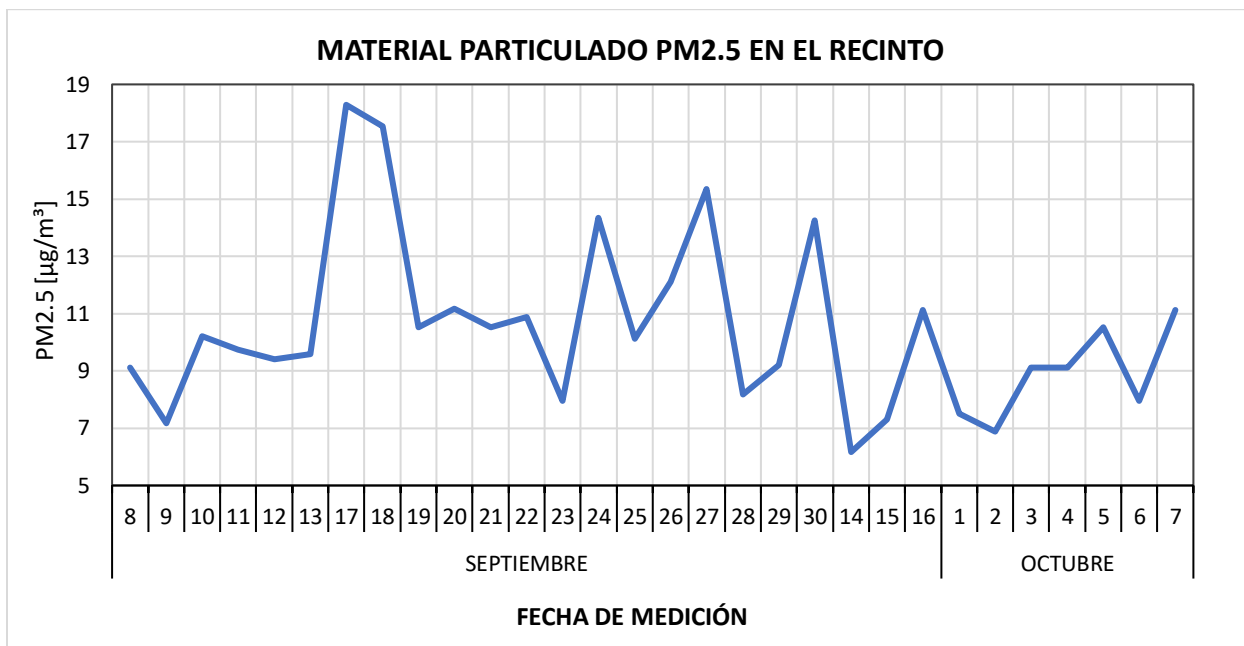
**Figura 10**

*Partículas por millón de CO y CO2 dentro del taller de mantenimiento*



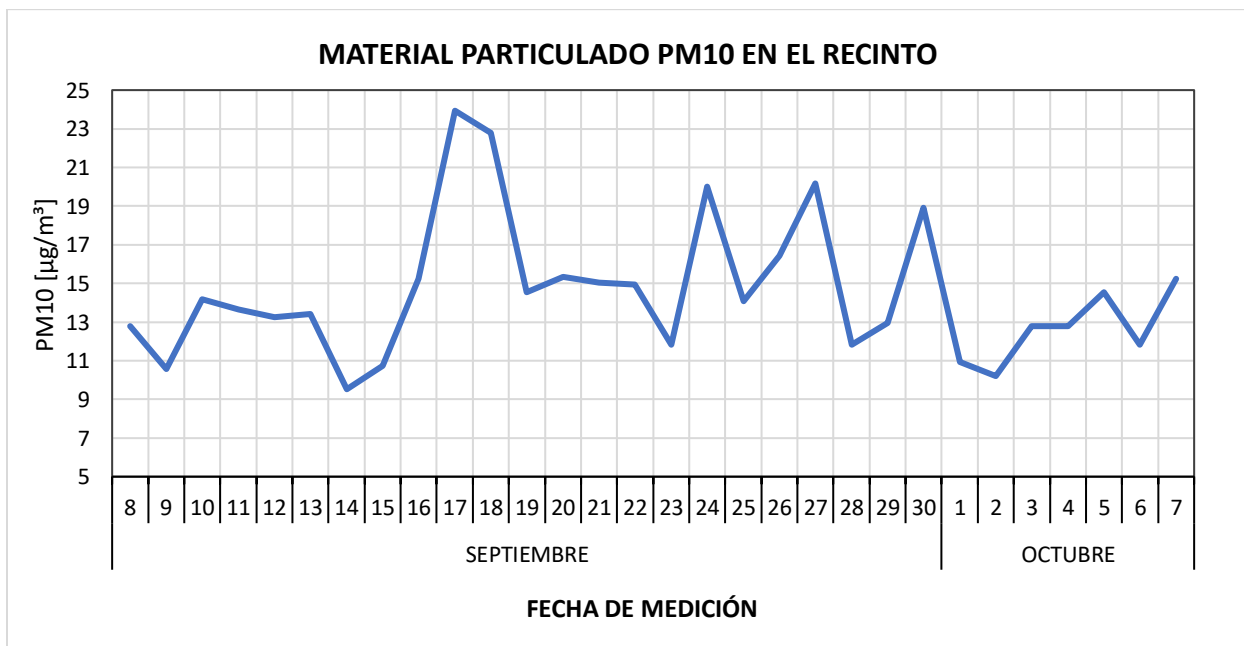
**Figura 11**

*Concentración de material particulado PM2.5 dentro del taller de mantenimiento*



**Figura 12**

*Concentración de material particulado PM10 dentro del taller de mantenimiento*



### ***5.2.1. Humedad relativa dentro del taller de mantenimiento***

En la figura 9 se muestra el comportamiento de la humedad relativa dentro del taller de mantenimiento, los valores promedio varían entre 68% y 77% con valores máximos que llegan hasta el 80%. Estos valores de humedad pueden generar discomfort para algunas personas en determinados momentos del día.

### ***5.2.2. Velocidad del aire dentro del taller de mantenimiento***

Los valores promedio diarios de la velocidad del aire muestran que la mayoría del tiempo de medición es nula, con algunos picos que presentan valores demasiado bajos. Estos picos pueden atribuirse a pequeños errores de lectura del sensor de velocidad. La falta de movimiento del aire es un indicador de la baja tasa de renovación del aire en el recinto, lo cual, combinado con ciertas actividades realizadas allí, podría aumentar el riesgo de exposición a contaminantes debido a su acumulación.

### ***5.2.3. Monóxido y dióxido de carbono dentro del taller de mantenimiento***

En la figura 10 se puede observar que las concentraciones de monóxido de carbono (CO), que representan un gran riesgo para la salud humana, son nulas dentro del taller de mantenimiento. Además, la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que varía entre 444 ppm y 472 ppm, están muy por debajo del límite máximo permitido en un entorno laboral, lo cual es favorable para la salud y el bienestar de los trabajadores.

### ***5.2.4. Material particulado PM2.5 y PM10 dentro del taller de mantenimiento***

En la figura 11 se presentan los datos recopilados de material particulado PM<sub>2.5</sub>, el cual varía entre 6 µg/m<sup>3</sup> y 19 µg/m<sup>3</sup>, concentración que no excede el límite diario máximo permitido por la legislación colombiana que corresponde a 50 µg/m<sup>3</sup>. En la figura 12 se observan los datos correspondientes al material particulado PM<sub>10</sub>, el cual varía entre 9 µg/m<sup>3</sup> y 24 µg/m<sup>3</sup>, valores que

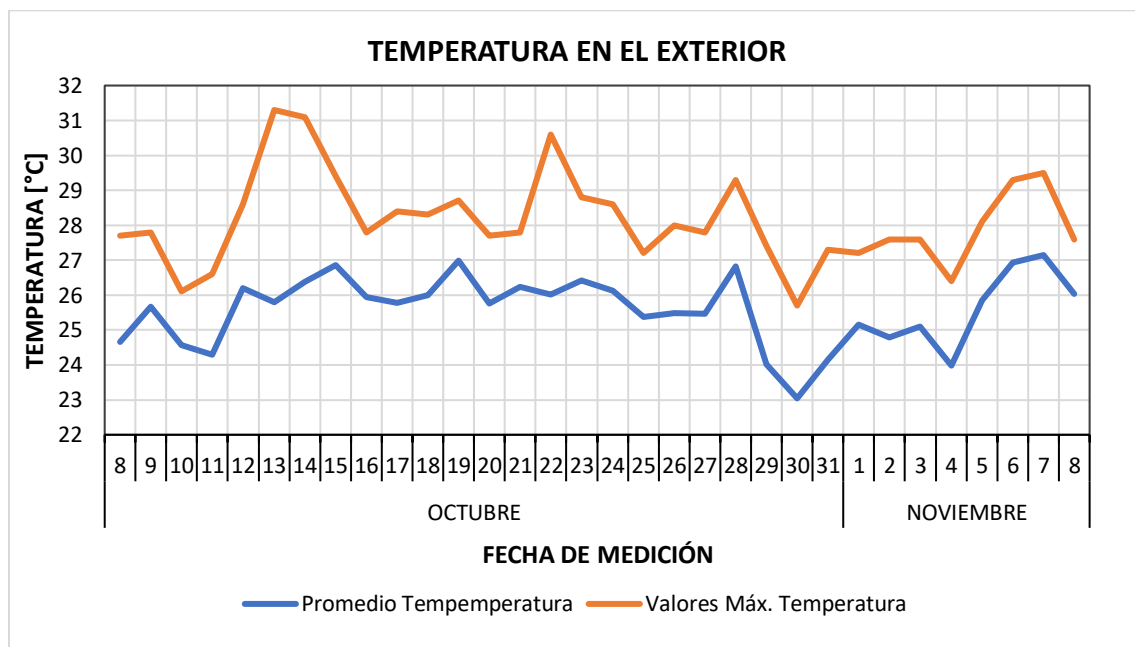
están por debajo del límite máximo permitido de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Cabe resaltar que durante el tiempo de medición no se encendió ningún equipo de taller de mecánica industrial que pudiese generar una gran cantidad de material particulado.

### 5.3. Condiciones ambientales del exterior

A continuación, se presentan los resultados recopilados de las mediciones realizadas en el exterior entre el 8 de octubre y el 8 de noviembre de 2021, para ello se han graficado los valores promedio diarios con el fin de facilitar la comprensión de los datos.

**Figura 13**

*Temperatura de bulbo seco en el exterior*

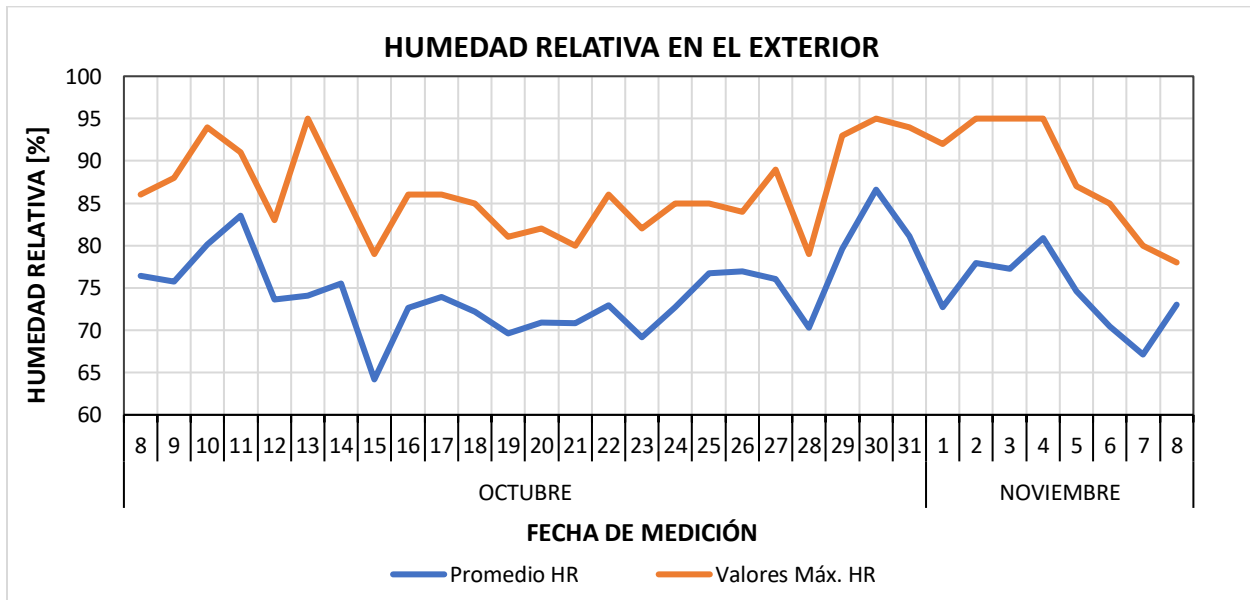


Para comparar las condiciones ambientales, se utilizaron los valores promedio de temperatura, humedad y velocidad del aire entre las 7 a.m. y las 5 p.m., cuando el recinto está ocupado. Para

lograr el monitoreo del CO, CO2 y el material particulado, se consideraron los valores promedio durante las 24 horas. Para más detalles sobre los datos recopilados, consulte el apéndice B.

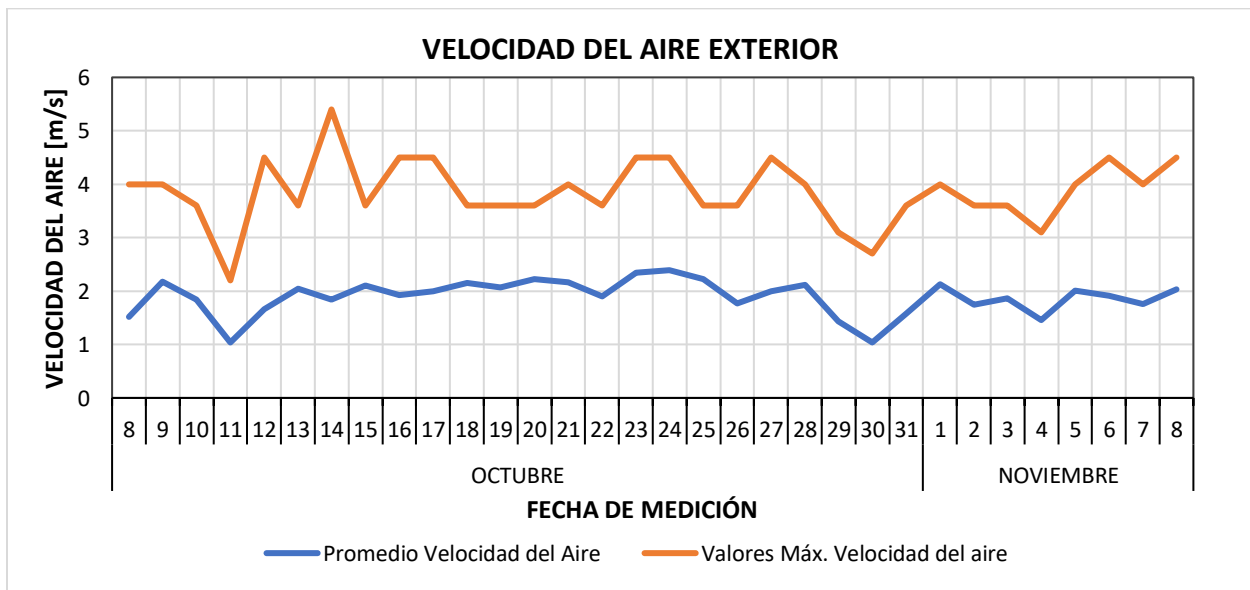
**Figura 14**

*Humedad relativa en el exterior*



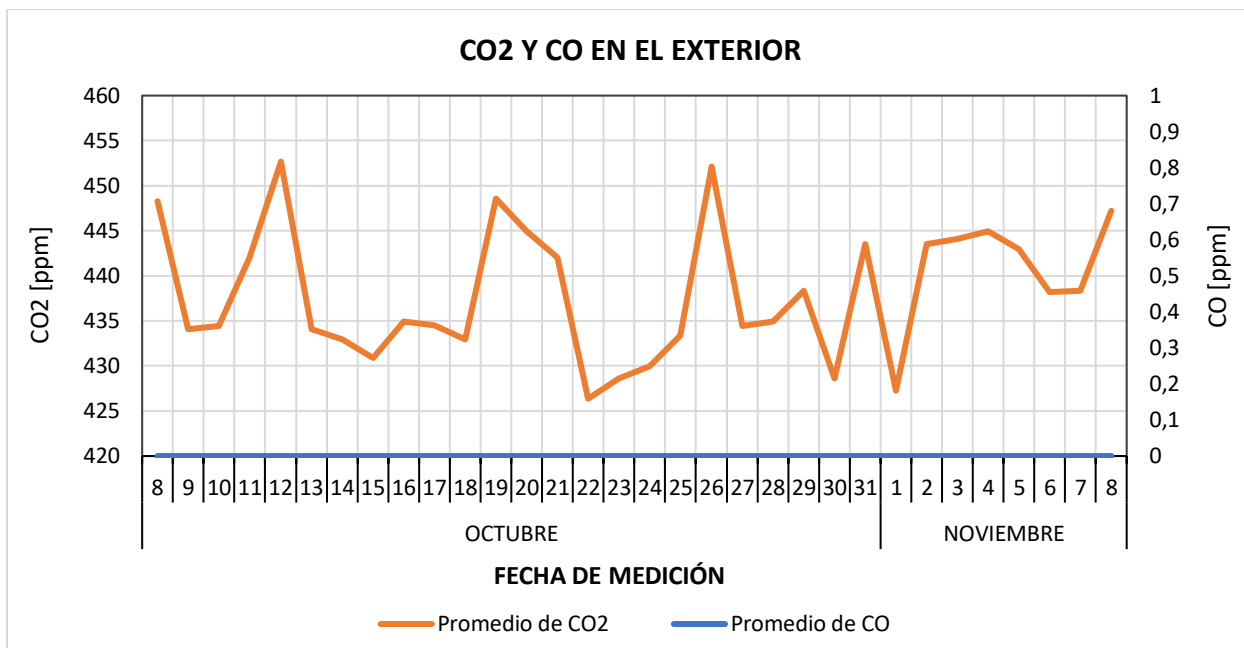
**Figura 15**

*Velocidad del aire en el exterior*



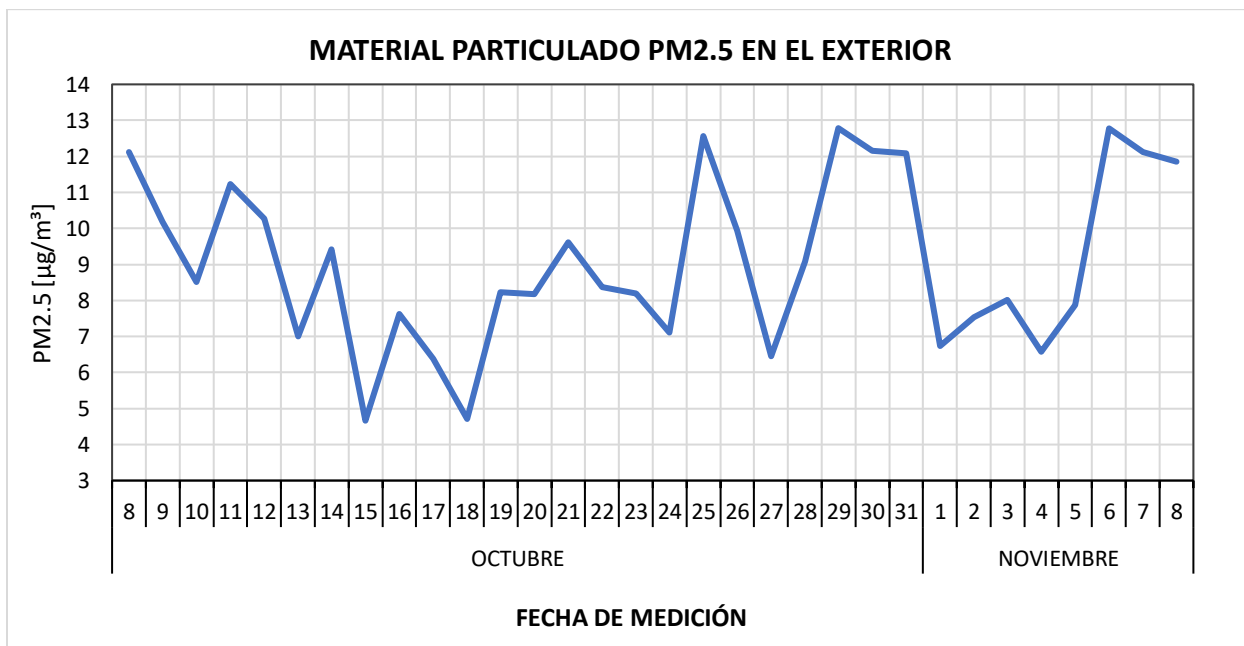
**Figura 16**

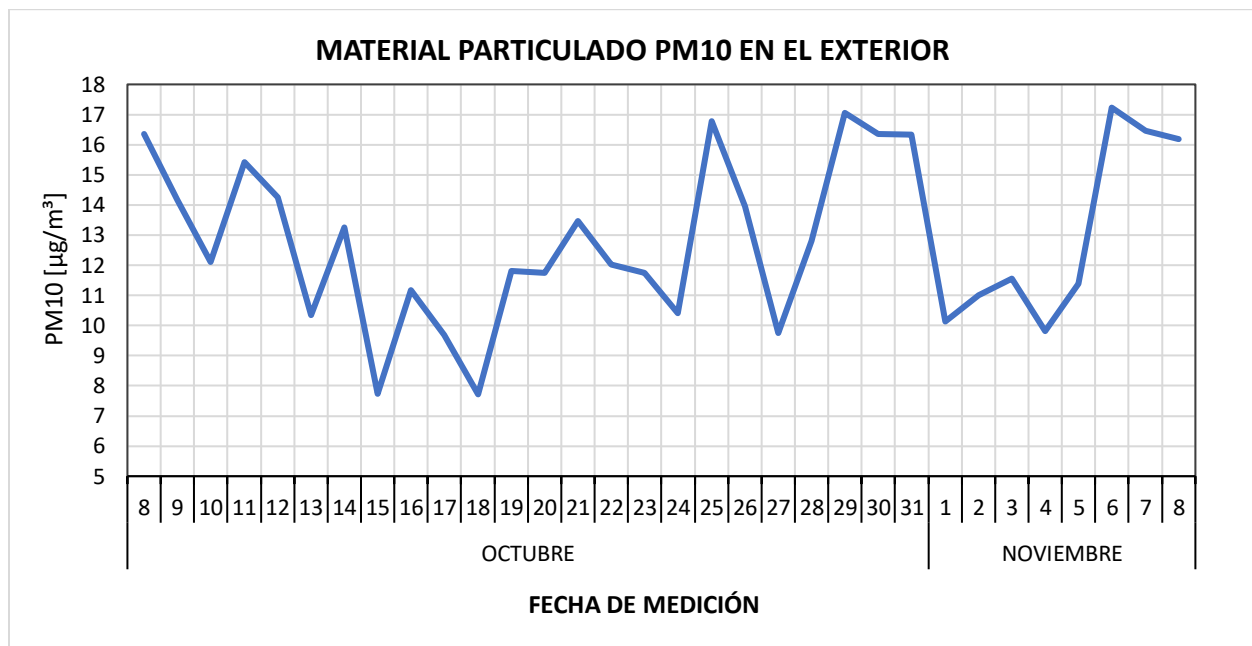
*Partículas por millón de CO y CO2 en el exterior*



**Figura 17**

*Concentración de material particulado PM2.5 en el exterior*



**Figura 18***Concentración de material particulado PM10 en el exterior*

### 5.3.1. Temperatura en el exterior

En la figura 13 se aprecian los valores diario promedio de la temperatura en el exterior, valores que varían en torno a 25,5°C con fluctuaciones entre 23°C y 27°C, pero con valores máximos que llegan a estar por encima de los 31°C. De utilizarse el aire exterior sin un previo acondicionamiento para renovar el aire interior, probablemente genere disconfort en las personas por su elevada temperatura en algunos momentos del día.

### 5.3.2. Humedad relativa en el exterior

El comportamiento de la humedad relativa en el exterior se muestra en la figura 14, con valores promedio diarios que varían entre 65% y 87% y con valores máximos que llegan a tocar la cota del 95%. Introducir aire al recinto con estos altos valores de humedad puede generar gran malestar en las personas pues aumenta la sensación térmica ya generada por la temperatura.

### **5.3.3. Velocidad del aire en el exterior**

En la figura 15 se aprecia la velocidad del aire en el exterior, con valores promedio diarios que fluctúan entre 1 m/s y 2,4 m/s y valores máximos que llegan hasta los 5,4 m/s.

### **5.3.4. Monóxido y dióxido de carbono en el exterior**

A partir de la figura 16 se observa que la concentración de CO en el aire exterior es nula y para el caso del CO<sub>2</sub> sus valores promedio varían entre 425 ppm y 453 ppm, variables que se encuentran por debajo de los límites máximos permitidos para su utilización como aire de renovación en el recinto.

### **5.3.5. Material particulado PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> en el exterior**

En la figura 17 se presentan los datos que corresponden al material particulado PM<sub>2.5</sub>, el cual varía entre 4,5 µg/m<sup>3</sup> y 13 µg/m<sup>3</sup>, concentración que no excede el valor diario máximo permitido de 50 µg/m<sup>3</sup>. En la figura 18 se observan los datos del material particulado PM<sub>10</sub>, el cual varía entre 7 µg/m<sup>3</sup> y 18 µg/m<sup>3</sup>, valores que están por debajo del valor máximo permitido de 100 µg/m<sup>3</sup>. Lo anterior indica que no es indispensable realizar previamente un filtrado de material particulado PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> del aire exterior para ser utilizado como aire de renovación.

## **5.4. Comparativa de la temperatura y humedad relativa en el interior y exterior del recinto**

Las gráficas mostradas a continuación son una comparativa de la temperatura y humedad relativa en el interior y exterior del recinto, los datos utilizados corresponden a una ventana de tiempo entre el 8 de septiembre y el 7 de octubre de 2021. Los valores en las gráficas son promedios por hora entre las 7 a.m. y las 5 p.m. para cada día de medición.

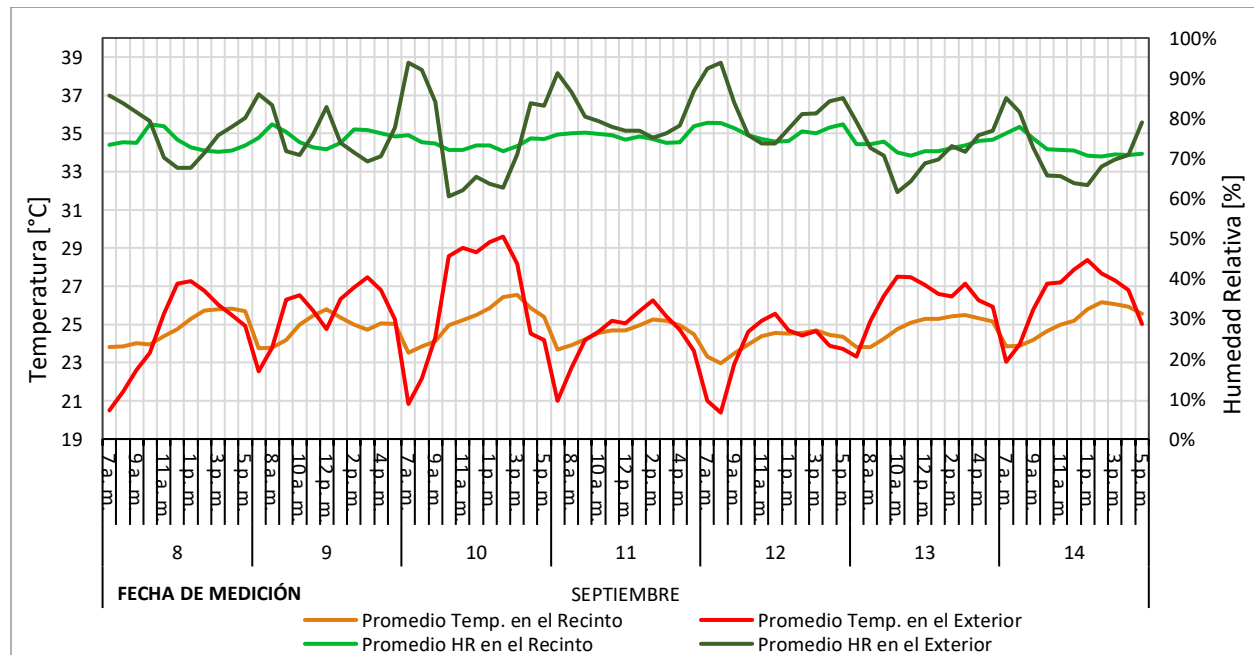
En cuanto a la temperatura, esta generalmente es más alta en el exterior que en el interior del recinto durante gran parte del día. Las mayores diferencias se observan alrededor del mediodía, alcanzando hasta 6 °C, como se evidenció el 26 de septiembre. Las figuras muestran que el recinto

puede mitigar en gran medida las fluctuaciones de la temperatura exterior, manteniendo los valores por debajo de los 27°C. Por lo tanto, es esencial acondicionar el aire exterior antes de introducirlo como aire de renovación para mantener o incluso mejorar la sensación térmica en el interior.

En relación con la humedad relativa, se puede notar a través de las figuras que, en el exterior, los valores muestran una gran variación debido a su estrecha relación con la temperatura, la cual cambia a lo largo del día. En comparación, los valores de humedad en el recinto experimentan cambios menos significativos, con períodos en los que están tanto por debajo como por encima de la humedad exterior. Los datos en el interior del recinto se mantienen cerca del promedio de las fluctuaciones en el exterior, lo que sugiere que los niveles elevados de humedad en algunos momentos del día son propios del entorno en que se ubica el edificio.

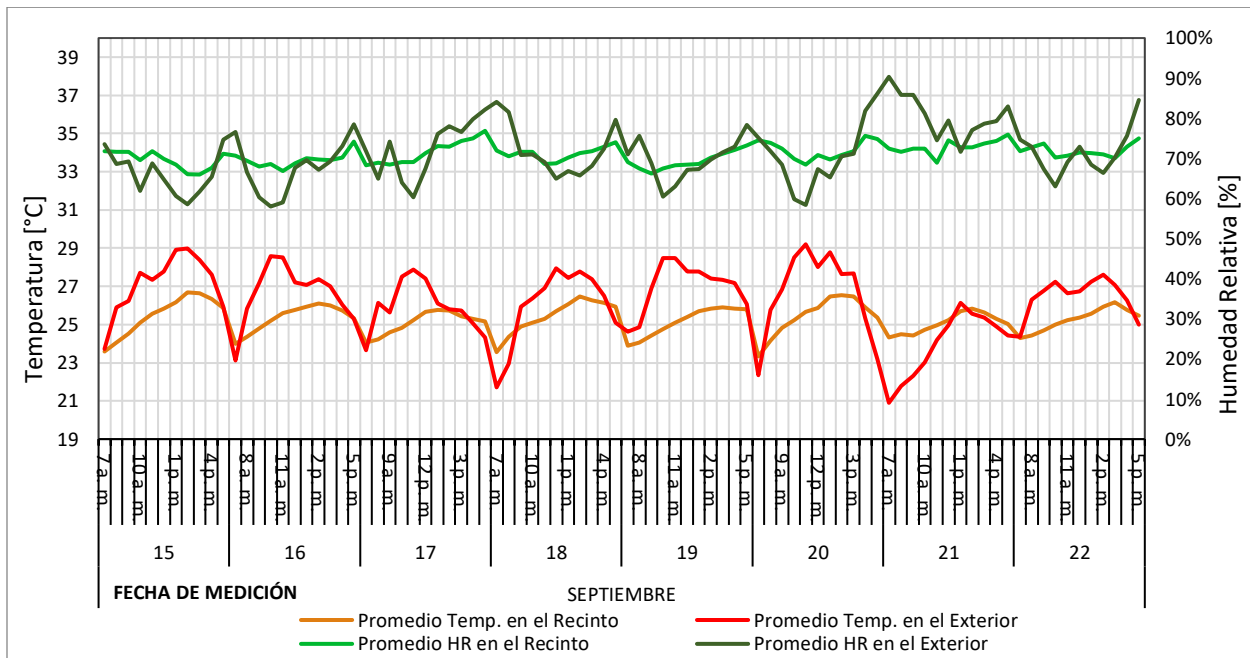
**Figura 19**

*Comparativa de temperatura y humedad relativa entre el 8 y el 14 de septiembre*



**Figura 20**

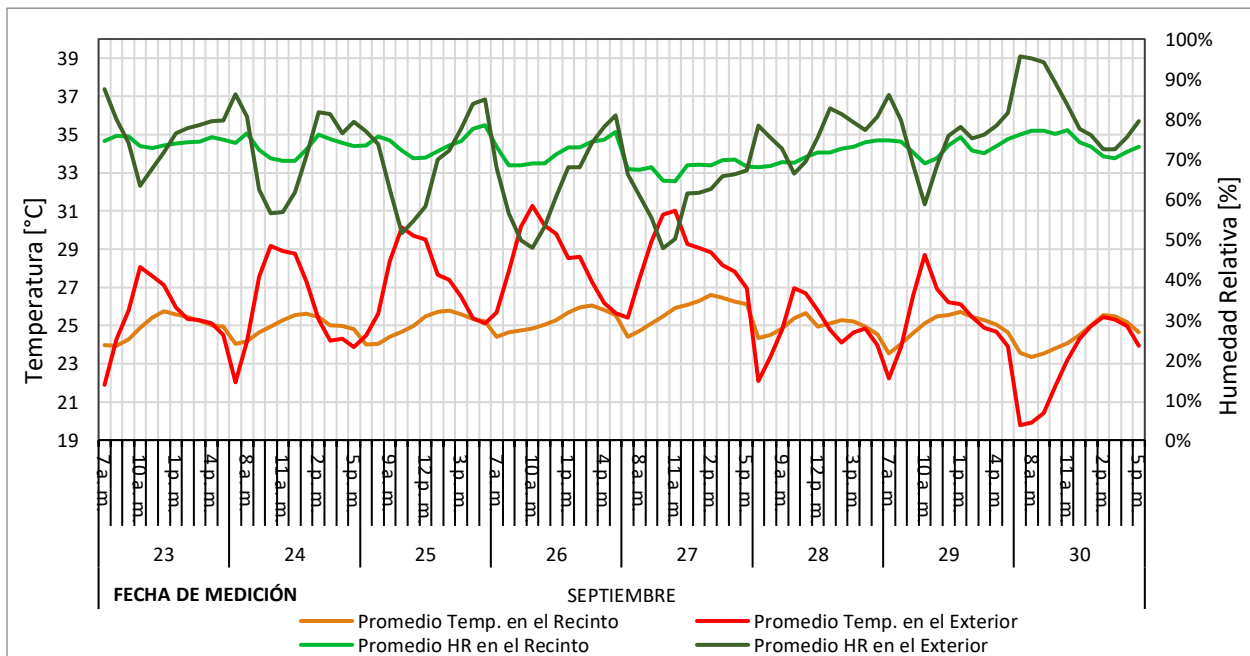
*Comparativa de temperatura y humedad relativa entre el 15 y el 22 de septiembre*



v

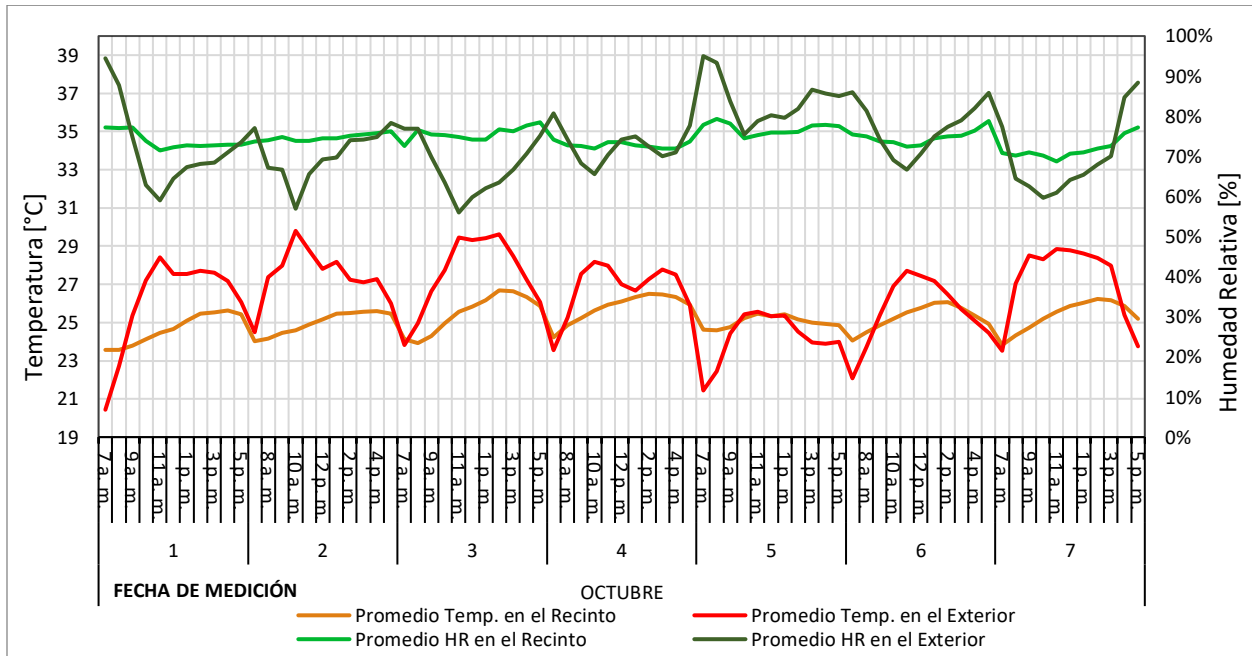
**Figura 21**

*Comparativa de temperatura y humedad relativa entre el 23 y el 30 de septiembre*



**Figura 22**

*Comparativa de temperatura y humedad relativa entre el 1 y el 7 de octubre*

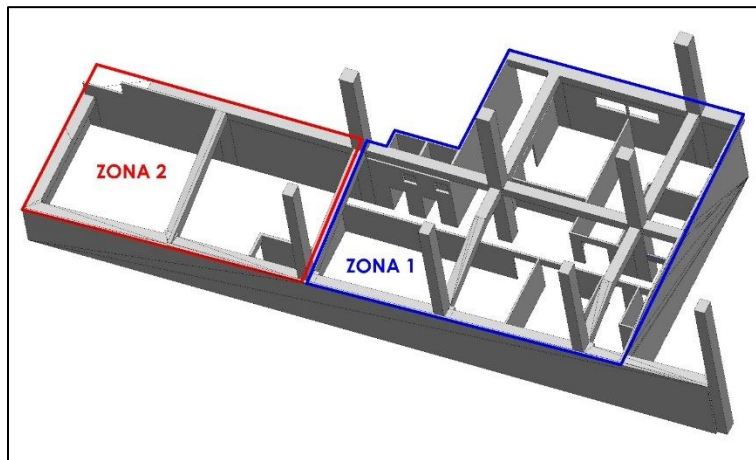


## 6. Cálculos del sistema de ventilación

A partir de los datos tomados y de la inspección realizada al recinto se observa que existen dos zonas que requieren un sistema de ventilación, cada uno, con un enfoque diferente.

### Figura 23

*Caracterización de las zonas del recinto*



- Zona 1: Esta zona es un área donde se genera muy poco material particulado, humo y gases debido a las actividades que se realizan, que incluyen el almacenamiento de suministros, reparación de equipos eléctricos, mantenimiento de sistemas de refrigeración y tareas de oficina. Esta área está marcada en azul en la figura 23. Para mantener la calidad del aire, se requiere un sistema de ventilación mecánica que circule, renueve y acondicione el aire, ya que los procesos naturales de ventilación son prácticamente inexistentes debido a la ubicación y disposición del recinto.
- Zona 2: El área en cuestión corresponde al taller de mecánica industrial, donde se realizan actividades que generan una gran cantidad de material particulado, virutas, aserrín, humos y gases. Estas actividades incluyen soldadura, pintura de equipos, fabricación y

mecanizado de piezas metálicas, así como corte y pulido de maderas y metales. La zona se encuentra marcada en rojo en la figura 23. Para mantener la calidad del aire, es necesario implementar un sistema de ventilación mecánica que capture localmente las partículas, humos y gases a través de un sistema de extracción, seguido de filtrado y expulsión del aire al exterior.

Antes de iniciar con el diseño de los dos sistemas de ventilación es necesario establecer algunas condiciones ambientales de la ubicación del recinto.

- Ubicación del recinto: Colombia/Santander/Bucaramanga/Universidad Industrial de Santander. Coordenadas:  $7^{\circ}08'23.0''$  N -  $73^{\circ}07'02.9''$  W.
- Elevación: 959 *m s. n. m.*
- Presión Atmosférica:  $89591 Pa = 9142 mmcda$
- Densidad del aire (@  $T = 27^{\circ}C$ ;  $P = 89591 Pa$ ):  $1,04 kg/m^3$

### **6.1. Diseño del sistema de ventilación para la renovación y acondicionamiento del aire**

En la zona 1 se evidenciaron las siguientes condiciones:

- Por la condición de sótano del recinto la renovación del aire de forma natural es muy baja.
- En los datos tomados y graficados en el capítulo 5 se evidencia que el malestar térmico es producido en gran parte por los altos valores de humedad relativa y temperatura generados principalmente por las condiciones climáticas del lugar en que se ubica el recinto y por la baja renovación de aire.

Producto de lo anterior se generan unas condiciones de bajo confort para el personal que desarrolla sus actividades laborales en el recinto. Como solución a esta problemática se diseñó un sistema de ventilación que permite renovar el aire a una tasa recomendada para el tipo de recinto

y su vez acondiciona el aire en cuanto a temperatura y contenido de humedad para ofrecer condiciones más confortables para los trabajadores.

### **6.1.1. Consideraciones generales**

La zona que comprenderá el sistema de ventilación tiene 6 espacios de trabajo, cada uno tendrá una rejilla de extracción de aire, con una excepción: el taller de electricidad, que es más grande, tendrá dos rejillas. Estas se conectan al ducto principal que rodea el recinto y llega al taller de mecánica industrial, donde se encuentran los equipos para acondicionar el aire, como muestra la figura 24. Además, contará con 7 rejillas para la impulsión del aire renovado y acondicionado hacia los espacios, las cuales estarán conectadas al ducto principal que iniciará en los equipos de acondicionamiento de aire e irá por toda la parte superior del pasillo que atraviesa el lugar.

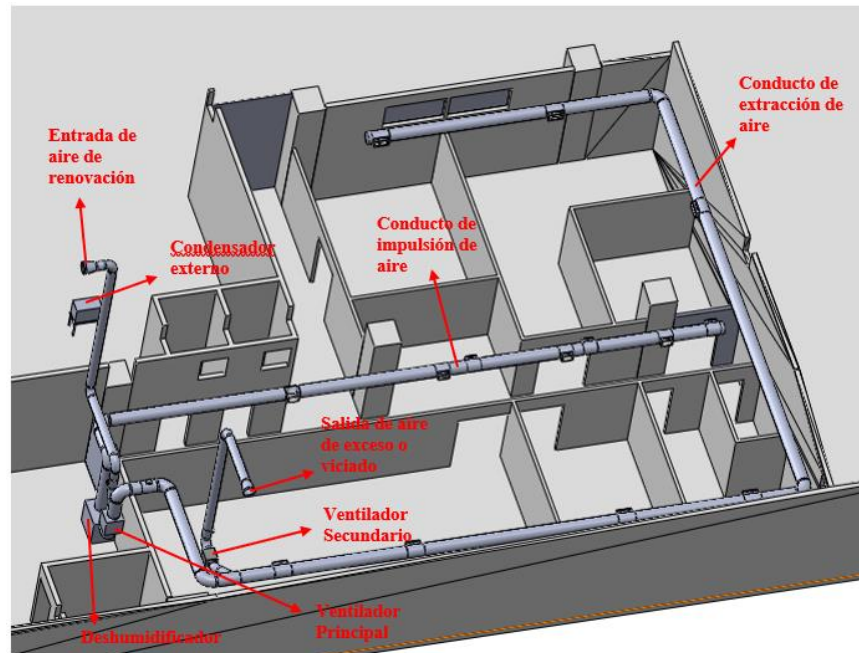
La entrada del aire renovado al sistema de ventilación se realizará justo antes de los equipos de acondicionamiento de aire por un conducto proveniente del exterior, así mismo el aire de exceso se evacuará por un conducto hacia el exterior mediante un ventilador secundario ubicado justo después de la última rejilla de extracción de aire.

El acondicionamiento del aire se realizará mediante un deshumidificador de tipo refrigerante con condensador externo que además de controlar la humedad permite obtener el aire de salida con una temperatura menor a la del aire de entrada, producto del mismo proceso de deshumidificación y del hecho de que la unidad condensadora independiente transferirá el calor al exterior y no al aire nuevamente como lo hacen los deshumidificadores con condensador integrado.

Todo el sistema de conductos, rejillas y deshumidificador nombrado anteriormente se muestra en la siguiente figura.

**Figura 24**

*Consideraciones generales para el sistema de ventilación*

**6.1.2. Cálculo de la renovación de aire**

Mediante el uso del estándar ANSI/ASHRAE 62.1 se determinó la tasa mínima de renovación ( $V_{ot}$ ) para tener una calidad de aire interior adecuada. Para ello se usó el tipo de ocupación que más se asemeja y que corresponde a: Manufactura en general (no incluye industria pesada y procesos industriales que utilicen productos químicos).

Para ver el cálculo detallado, revisar el apéndice C.1. Cálculo de la renovación de aire.

$$V_{ot} = 555 \text{ cfm} = 0,26 \text{ m}^3/\text{s}$$

El sistema de ventilación debe impulsar 555 *cfm* de aire de renovación al recinto.

**6.1.3. Selección de la unidad deshumidificadora**

Las fuentes más significativas de carga latente que deben ser extraídas por el deshumidificador provienen de la actividad humana en el recinto y del aire de renovación.

La carga latente correspondiente a la actividad humana de las 6 personas que laboran dentro del recinto es de:

$$W_n = 6 \text{ personas} * 5800 \text{ gr/hr} = 34800 \text{ granos/hr} = 2255 \text{ gr/hr}$$

La carga latente correspondiente a los 555 cfm de aire de renovación es igual a:

$$W_m = (555 \text{ cfm})(0,06492 \text{ lb/cu. ft})(60)(122,8 \text{ gr/lb} - 73,8 \text{ gr/lb})$$

$$W_m = 105930 \text{ granos/hr} = 6864 \text{ gr/hr}$$

Para mayor detalle del cálculo de la carga latente diríjase al Apéndice C.2. Cálculo de la carga latente dentro del recinto.

La carga total de humedad es igual a:

$$W = 105930 \text{ granos/hr} + 34800 \text{ granos/hr} = 140730 \text{ granos/hr} =$$

$$W = 9,11 \text{ kg/hr} = 218,6 \text{ kg/24 hr}$$

Es decir, el deshumidificador debe tener una capacidad para condensar 218,6 kg de agua en 24 horas, considerando que la densidad del agua es de 1 kg/L, es equivalente a 218,6 litros en 24 horas. Con este parámetro se realiza la selección del equipo.

El deshumidificador se seleccionó del catálogo de la empresa FISAIR, específicamente el modelo IT-ST 260 con una capacidad de deshumidificación de 268 L/24h. En figura 25 se muestran las demás especificaciones.

#### **6.1.4. Sistema de conductos**

**6.1.4.1. Dimensionamiento general.** El caudal nominal del deshumidificador es de 2800 m<sup>3</sup>/h, por lo que los ductos del sistema de ventilación deben dimensionarse para este caudal.

Según la tabla 4, la velocidad óptima en los conductos principales de espacios industriales debe estar en el rango de 5 a 10 m/s.

**Figura 25***Especificaciones del deshumidificador*

Los deshumidificadores de las series IT y ST están concebidos para su uso en entornos de carga latente alta que requieren operar 24 h/día. Gracias a la función de control de temperatura, con un condensador externo, estas unidades otorgan con control total, no solo de la humedad sino también de la temperatura ambiental.

Por ello, estos equipos son adecuados para aplicaciones donde se requiere un control simultáneo de ambos parámetros, como piscinas, almacenes de comida, procesos de condimentación de alimentos y en cualquier lugar donde la falta de control de la temperatura y humedad puede estropear los bienes.

Ficha técnica de la serie IT - ST		0130	0160	0190	0210	0260	0300	0350	0450	0580
Capacidad de Deshumidificación	L / día	128	157	190	210	268	302	358	452	581
Caudal de Aire Nominal	m³/h	1200	1600	1600	2000	2800	2800	3800	4000	4800
Potencia de Refrigeración	kW	6,5	8	10	11	15	16	19	23	30
Potencia Batería de Agua Caliente	kW	9,8	9,8	9,8	16,5	17	17	26,5	26,5	27
Potencia Resistencias Eléctricas	kW	4	5	5	6	6	6	6	11	11
Fuente de Alimentación	V/ph/Hz	230/1/50				400/3/50				
Dimensiones (AnchoXAltoXFondo)	mm	700 x 550 x 900				700 x 850 x 900		830 x 850 x 1350		

*Nota.* Tomado de Deshumidificación y ventilación para procesos industriales y piscinas (p. 10), por FISAIR.

Se selecciona una velocidad intermedia de 8 m/s, para lo cual el diámetro del conducto es igual a:

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v}} = \sqrt{\frac{4 * (0,777)}{\pi * (8)}}; d = 0,351 m$$

Se selecciona el diámetro comercial más cercano que corresponde a 355 mm.

El ducto que transporta el aire de renovación desde el exterior y el conducto que lleva el aire viciado al exterior deben transportar un caudal de 943,2 m³/h y de acuerdo con la tabla 4 se recomienda una velocidad del aire de 2 a 5 m/s para ramales secundarios, de acuerdo con esto se procede a dimensionar los conductos.

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v}} = \sqrt{\frac{4 * (0,262)}{\pi * (5)}}; d = 0,258 \text{ m}$$

Se selecciona el diámetro comercial más cercano que corresponde a 250 mm.

**Tabla 4**

*Velocidad recomendada en conductos de ventilación*

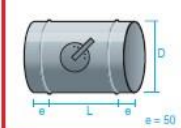
<i>Tipo de Instalación</i>	<i>m/s</i>	
	<i>Conducto principal</i>	<i>Ramal secundario</i>
<b><i>Instalaciones centralizadas:</i></b>		
<i>Residencias, salones, hoteles</i>	<i>3 a 5</i>	<i>1 a 3</i>
<i>Locales públicos, oficinas</i>	<i>5 a 7</i>	<i>1 a 3</i>
<i>Espacios industriales</i>	<i>5 a 10</i>	<i>2 a 5</i>

*Nota.* Tomado de Manual Práctico de Ventilación (p. 68), por Salvador Escoda S.A.

**6.1.4.2. Equilibrado del sistema de ventilación.** Para garantizar un funcionamiento efectivo del sistema de ventilación, es esencial equilibrar los caudales de aire. Idealmente, se busca que el caudal de aspiración desde el exterior sea similar o ligeramente superior al de expulsión hacia el exterior, esto se hace para evitar presiones negativas en el recinto, lo que podría resultar en infiltración de aire no acondicionado desde el exterior. Para ello en ambos conductos es necesario instalar un regulador de caudal manual de tipo damper de 250 mm de diámetro seleccionado del catálogo de la empresa NOVATUB como muestra la figura 26. Adicionalmente, es necesario instalar un regulador de caudal en el conducto principal de extracción de aire justo antes del punto de entrada del aire de renovación para poder lograr que el aire de extracción del recinto sea 2800 m<sup>3</sup>/h. La selección se realizó del catálogo de la empresa NOVATUB con un diámetro de 355 mm como muestra la figura 27.

**Figura 26**

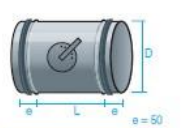
*Selección del regulador de caudal manual de 250 mm*



**Regulador de caudal, manual**

9210

∅ D mm	€
80	11,38
100	11,89
125	13,85
150	14,88
160	14,95
175	15,20
180	15,45
200	15,74
225	16,75
250	18,62
280	22,80
300	27,05



**Regulador de caudal, manual, junta de goma**

97106

∅ D mm	€
80	12,78
100	13,69
125	16,05
150	17,28
160	18,15
175	19,05
180	19,05
200	19,74
225	20,95
250	23,22
280	28,40
300	33,65

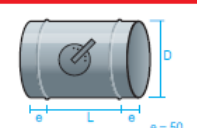
Nota. Tomado de Conductos y accesorios para ventilación y climatización (p. 68), por NOVATUB, 2016.

**6.1.5. Rejillas de impulsión**

Las rejillas de impulsión tienen la función de difundir los 2800 m<sup>3</sup>/h de aire proveniente del deshumidificador y como se mencionó anteriormente es necesario tener 7 de estas conectadas al conducto, así cada rejilla debe tener capacidad para difundir 400 m<sup>3</sup>/h de aire. De acuerdo con lo anterior se seleccionaron del catálogo de la empresa AIRFLOW el modelo de rejilla IH+O 300 x 200, que posee lamas horizontales móviles con un regulador de caudal. En la figura 28 se muestran las demás especificaciones.

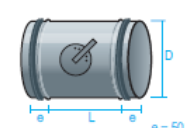
**Figura 27**

*Selección del regulador de caudal manual de 355 mm*



9210

∅ D mm	€
80	11,38
100	11,89
125	13,85
150	14,88
160	14,95
175	15,20
180	15,45
200	15,74
225	16,75
250	18,62
280	22,80
300	27,05
315	28,64
350	30,22
400	33,95



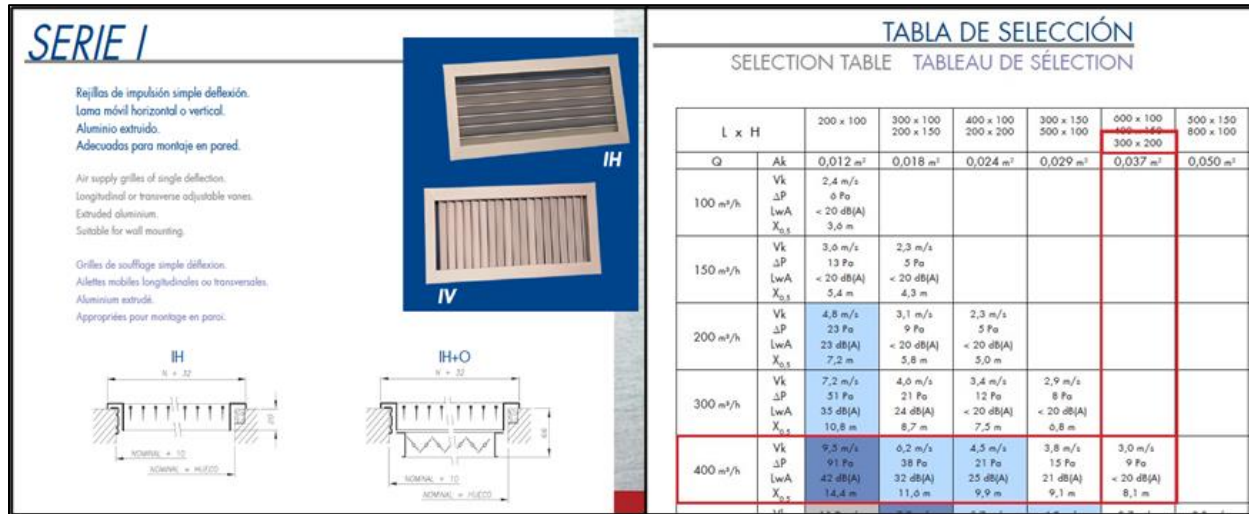
97106

∅ D mm	€
80	12,78
100	13,69
125	16,05
150	17,28
160	18,15
175	19,05
180	19,05
200	19,74
225	20,95
250	23,22
280	28,40
300	33,65
315	35,64
355	37,62
400	41,55

Nota. Tomado de Conductos y accesorios para ventilación y climatización (p. 68), por NOVATUB, 2016.

Figura 28

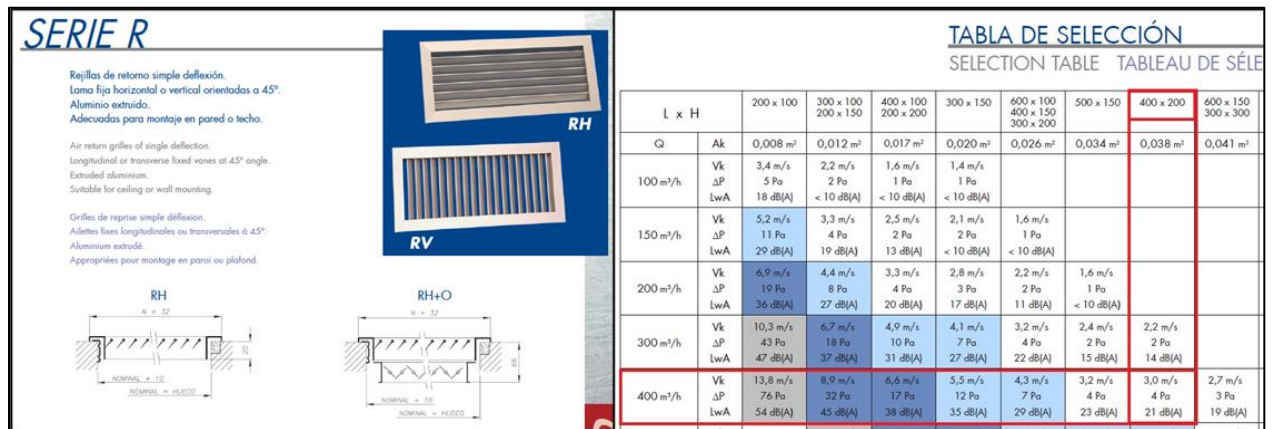
Especificaciones de las rejillas de impulsión



Nota. Tomado de Airflow Catálogo 2019 (p. 17), por AIRFLOW, 2019.

Figura 29

Especificaciones de las rejillas de extracción



Nota. Tomado de Airflow Catálogo 2019 (p. 27), por AIRFLOW, 2019.

6.1.6. Rejillas de extracción

Las rejillas de extracción tienen la función de sacar los 2800 m<sup>3</sup>/h de aire del recinto para llevarlos al deshumidificador para su acondicionamiento y como se mencionó anteriormente es

necesario tener 7 de estas conectadas al conducto, así cada rejilla se debe tener capacidad para extraer 400 m<sup>3</sup>/h de aire. De acuerdo con lo anterior se seleccionaron del catálogo de la empresa AIRFLOW el modelo de rejilla RH+O 400 x 200, que posee lamas horizontales fijas orientadas a 45° con un regulador de caudal. En la figura 29 se muestran las demás especificaciones.

### 6.1.7. Toma de admisión de aire exterior y expulsión de aire al exterior

El punto de entrada de aire exterior al sistema de ventilación y el de expulsión de aire viciado al exterior debe estar protegido para evitar la entrada de lluvia y animales, por ello se seleccionó del catálogo de la empresa SCHAKO una rejilla con lamas fijas hidrófugas y reja de protección contra animales con un diámetro nominal de 355 mm. En la siguiente figura se muestran las demás especificaciones de la rejilla.

### Figura 30

*Especificaciones de las rejillas de admisión de aire exterior y expulsión de aire al exterior*

<p><b>Descripción</b> Los orificios de aspiración e impulsión en sistemas de ventilación y climatización se deben proteger para evitar la entrada de lluvia, nieve y pájaros. Para ello se emplean rejillas de toma de aire exterior. La rejilla de toma de aire exterior ALA-R en ejecución circular ofrece la mejor protección gracias a sus lamas fijas hidrófugas y la reja de protección contra pájaros fabricada en chapa perforada y adosada en la parte posterior.</p> <p><b>Fabricación</b> Marco y lamas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Chapa de acero galvanizado (estándar)</li> <li>- Acero inoxidable 1.4301 (V2A) / 1.4571 (V4A) revestido al polvo en color plata arena (con coste adicional)</li> <li>- Aluminio lacado en RAL 9006 (blanco) (con coste adicional)</li> </ul> <p>Reja de protección contra pájaros</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Chapa de acero 8 x 8 galvanizado</li> </ul> <p><b>Fijación</b> Montaje roscado (-SM)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perforaciones en el marco (tornillos a cargo del cliente)</li> </ul> <p><b>Atención:</b> Para limpiar los modelos de acero inoxidable deberán utilizarse solamente productos de limpieza adecuados.</p> <p>¡La fabricación en aluminio anodizado no es posible!</p>	<p><b>Ejecuciones y dimensiones</b> <b>Dimensiones</b> Rejilla de toma de aire exterior ALA-R</p>  <p>Avellanado para tornillo roscachapa de cabeza avellanada DIN ISO 7051 - ST 3.9</p> <p><b>Tamaños disponibles de ALA-R</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>NW</th> <th>ød</th> <th>øD</th> <th>øA</th> <th>Número de lamas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200</td> <td>198</td> <td>210</td> <td>270</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>224</td> <td>222</td> <td>235</td> <td>294</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>250</td> <td>248</td> <td>260</td> <td>320</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>280</td> <td>278</td> <td>290</td> <td>350</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>315</td> <td>313</td> <td>325</td> <td>385</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>355</td> <td>353</td> <td>365</td> <td>425</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>400</td> <td>398</td> <td>410</td> <td>470</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>450</td> <td>448</td> <td>460</td> <td>520</td> <td>8</td> </tr> </tbody> </table>	NW	ød	øD	øA	Número de lamas	200	198	210	270	4	224	222	235	294	4	250	248	260	320	4	280	278	290	350	6	315	313	325	385	6	355	353	365	425	6	400	398	410	470	8	450	448	460	520	8
NW	ød	øD	øA	Número de lamas																																										
200	198	210	270	4																																										
224	222	235	294	4																																										
250	248	260	320	4																																										
280	278	290	350	6																																										
315	313	325	385	6																																										
355	353	365	425	6																																										
400	398	410	470	8																																										
450	448	460	520	8																																										

*Nota.* Tomado de Rejilla de toma de aire exterior ALA - R (p. 3), por SCHAKO, 2013.

**6.1.8. Cálculo de la pérdida de presión del sistema de ventilación**

En esta sección se calcula la pérdida de presión total del sistema de ventilación para seleccionar los ventiladores. El ventilador principal extrae el aire del recinto, lo lleva al deshumidificador y lo impulsa nuevamente al lugar. En el cálculo para seleccionar el ventilador principal se asumió que la pérdida de presión a través del deshumidificador es cero, ya que esta caída de presión es asumida por el ventilador que trae integrado dicho equipo. El ventilador secundario envía el aire de exceso y viciado al exterior a través de una derivación ubicada justo después de la última rejilla de extracción.

**6.1.8.1. Pérdida de presión de las rejillas de extracción.** De acuerdo con el catálogo de la empresa AIRFLOW, del que se seleccionaron las rejillas de extracción, la pérdida de presión para el caudal 400 m<sup>3</sup>/h es igual a 4 Pa como se muestra en la figura 31. Debido a que las rejillas poseen regulador de caudal, en la figura 32 se muestra la pérdida de presión de acuerdo con la apertura de la compuerta.

**Figura 31**

*Pérdida de presión en las rejillas de extracción*

L x H		200 x 100	300 x 100 200 x 150	400 x 100 200 x 200	300 x 150	600 x 100 400 x 150 300 x 200	500 x 150	400 x 200	600 x 150 300 x 300	800 x 150 600 x 200 400 x 300	1200 x 150 900 x 200 600 x 300
Q	Ak	0,008 m <sup>2</sup>	0,012 m <sup>2</sup>	0,017 m <sup>2</sup>	0,020 m <sup>2</sup>	0,026 m <sup>2</sup>	0,034 m <sup>2</sup>	0,038 m <sup>2</sup>	0,041 m <sup>2</sup>	0,056 m <sup>2</sup>	0,084 m <sup>2</sup>
100 m <sup>3</sup> /h	Vk	3,4 m/s	2,2 m/s	1,6 m/s	1,4 m/s						
	ΔP	5 Pa	2 Pa	1 Pa	1 Pa						
	LwA	18 dB(A)	< 10 dB(A)	< 10 dB(A)	< 10 dB(A)						
150 m <sup>3</sup> /h	Vk	5,2 m/s	3,3 m/s	2,5 m/s	2,1 m/s	1,6 m/s					
	ΔP	11 Pa	4 Pa	2 Pa	2 Pa	1 Pa					
	LwA	29 dB(A)	19 dB(A)	13 dB(A)	< 10 dB(A)	< 10 dB(A)					
200 m <sup>3</sup> /h	Vk	6,9 m/s	4,4 m/s	3,3 m/s	2,8 m/s	2,2 m/s	1,6 m/s				
	ΔP	19 Pa	8 Pa	4 Pa	3 Pa	2 Pa	1 Pa				
	LwA	36 dB(A)	27 dB(A)	20 dB(A)	17 dB(A)	11 dB(A)	< 10 dB(A)				
300 m <sup>3</sup> /h	Vk	10,3 m/s	6,7 m/s	4,9 m/s	4,1 m/s	3,2 m/s	2,4 m/s	2,2 m/s			
	ΔP	43 Pa	18 Pa	10 Pa	7 Pa	4 Pa	2 Pa	2 Pa			
	LwA	47 dB(A)	37 dB(A)	31 dB(A)	27 dB(A)	22 dB(A)	15 dB(A)	14 dB(A)			
400 m <sup>3</sup> /h	Vk	13,8 m/s	8,9 m/s	6,6 m/s	5,5 m/s	4,3 m/s	3,2 m/s	3,0 m/s	2,7 m/s	2,0 m/s	
	ΔP	76 Pa	32 Pa	17 Pa	12 Pa	7 Pa	4 Pa	4 Pa	3 Pa	2 Pa	
	LwA	54 dB(A)	45 dB(A)	38 dB(A)	35 dB(A)	29 dB(A)	23 dB(A)	21 dB(A)	19 dB(A)	12 dB(A)	

*Nota.* Tomado de Airflow Catálogo 2019 (p. 18), por AIRFLOW, 2019.

**Figura 32**

*Pérdida de presión del regulador de caudal de las rejillas de extracción*

Apertura Compuerta Blades damper opening Ouverture de registre	$F_{\Delta P}$	$F_{L_w(A)}$
100 %	x 1	+ 0 dB(A)
50 %	x 2	+ 7 dB(A)
25 %	x 5	+ 14 dB(A)

*Nota.* Tomado de Airflow Catálogo 2019 (p. 18), por AIRFLOW, 2019.

**Figura 33**

*Pérdida de presión del regulador de caudal de las rejillas de impulsión*

Apertura Compuerta Blades damper opening Ouverture de registre	$F_{\Delta P}$	$F_{L_w(A)}$
100 %	x 1	+ 0 dB(A)
50 %	x 2	+ 12 dB(A)
25 %	x 5	+ 24 dB(A)

*Nota.* Tomado de Airflow Catálogo 2019 (p. 18), por AIRFLOW, 2019

**6.1.8.2. Pérdida de presión de las rejillas de impulsión.** De acuerdo con el catálogo de la empresa AIRFLOW, del que se seleccionaron las rejillas de impulsión, la pérdida de presión para el caudal 400 m<sup>3</sup>/h es igual a 9 Pa como se muestra en la figura 34. Debido a que las rejillas poseen regulador de caudal, en la figura 33, se muestra la pérdida de presión de acuerdo con la apertura de la compuerta.

**6.1.8.3. Pérdida de presión de las tomas de admisión de aire exterior y expulsión de aire al exterior.** La pérdida de presión para la rejilla de admisión de aire exterior y para la rejilla de expulsión de aire hacia el exterior se calcula utilizando las gráficas suministradas por el catálogo SCHAKO del que se realizó la selección. El caudal que pasa a través de estas rejillas es de 943,2 m<sup>3</sup>/h y su tamaño nominal es de 355 mm. Se calcula primero la velocidad frontal mediante la figura 35, que corresponde a 2,6 m/s, con este valor se determina la pérdida de presión basándose en la figura 36. Entones, para la rejilla aspirante la pérdida de presión es de 52 Pa y para la rejilla impelente o de expulsión es de 37 Pa.

**Figura 34**

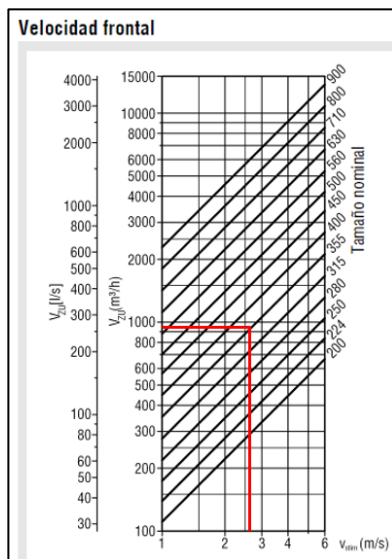
*Pérdida de presión en las rejillas de impulsión*

L x H		200 x 100	300 x 100 200 x 150	400 x 100 200 x 200	300 x 150 500 x 100	600 x 100 400 x 150 300 x 200	500 x 150 800 x 100	400 x 200	600 x 150 300 x 300 1000 x 100	500 x 200 1200 x 200
Q	Ak	0,012 m <sup>2</sup>	0,018 m <sup>2</sup>	0,024 m <sup>2</sup>	0,029 m <sup>2</sup>	0,037 m <sup>2</sup>	0,050 m <sup>2</sup>	0,054 m <sup>2</sup>	0,060 m <sup>2</sup>	0,068 m <sup>2</sup>
100 m <sup>3</sup> /h	Vk	2,4 m/s								
	ΔP	6 Pa								
	LwA	< 20 dB(A)								
	X <sub>0,5</sub>	3,6 m								
150 m <sup>3</sup> /h	Vk	3,6 m/s	2,3 m/s							
	ΔP	13 Pa	5 Pa							
	LwA	< 20 dB(A)	< 20 dB(A)							
	X <sub>0,5</sub>	5,4 m	4,3 m							
200 m <sup>3</sup> /h	Vk	4,8 m/s	3,1 m/s	2,3 m/s						
	ΔP	23 Pa	9 Pa	5 Pa						
	LwA	23 dB(A)	< 20 dB(A)	< 20 dB(A)						
	X <sub>0,5</sub>	7,2 m	5,8 m	5,0 m						
300 m <sup>3</sup> /h	Vk	7,2 m/s	4,6 m/s	3,4 m/s	2,9 m/s					
	ΔP	51 Pa	21 Pa	12 Pa	8 Pa					
	LwA	35 dB(A)	24 dB(A)	< 20 dB(A)	< 20 dB(A)					
	X <sub>0,5</sub>	10,8 m	8,7 m	7,5 m	6,8 m					
400 m <sup>3</sup> /h	Vk	9,5 m/s	6,2 m/s	4,5 m/s	3,8 m/s	3,0 m/s				
	ΔP	91 Pa	38 Pa	21 Pa	15 Pa	9 Pa				
	LwA	42 dB(A)	32 dB(A)	25 dB(A)	21 dB(A)	< 20 dB(A)				
	X <sub>0,5</sub>	14,4 m	11,6 m	9,9 m	9,1 m	8,1 m				

Nota. Tomado de Airflow Catálogo 2019 (p. 18), por AIRFLOW, 2019.

**Figura 35**

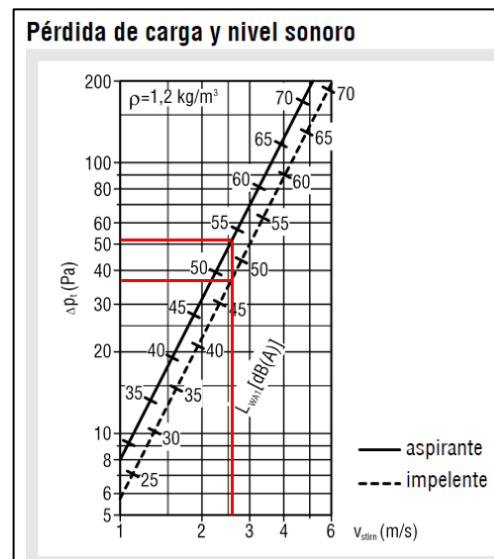
*Velocidad frontal de las rejillas de impulsión y extracción*



Nota. Tomado de Rejilla de toma de aire exterior ALA - R (p. 3), por SCHAKO, 2013.

**Figura 36**

*Pérdida de presión de las tomas de aire exterior*



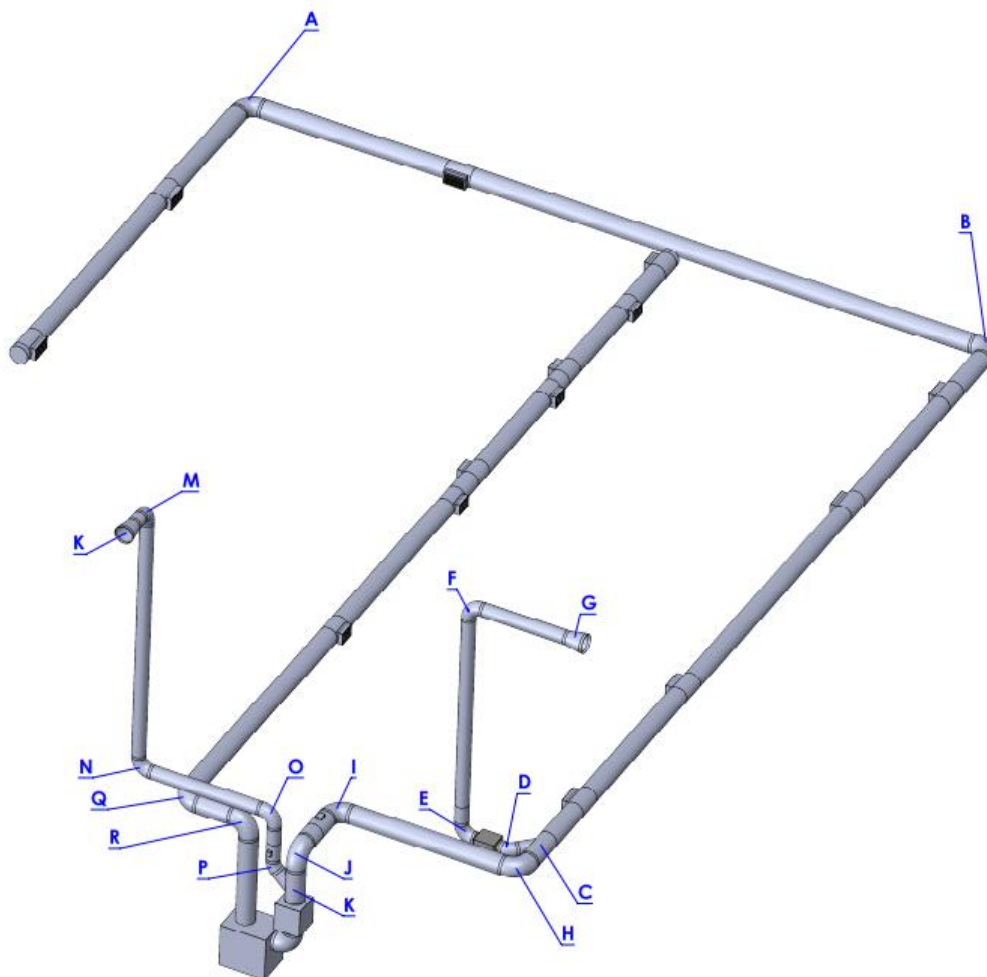
Nota. Tomado de Rejilla de toma de aire exterior ALA - R (p. 3), por SCHAKO, 2013.

**6.1.8.4. Pérdidas de presión en el sistema de conductos.** En esta sección, se calcula la pérdida de presión en el sistema de conductos para determinar la presión estática requerida en los dos ventiladores.

Primero es necesario determinar los coeficientes de pérdida de todos los accesorios del sistema los cuales se encuentran en el apéndice C.3. Coeficientes de pérdida de los accesorios del sistema de ventilación y se resumen en la tabla 5. En la figura 37 se muestra la ubicación y la letra asignada a cada accesorio en el sistema de ventilación.

**Figura 37**

*Accesorios del sistema de ventilación.*



A continuación, se muestra la tabla resumen de los coeficientes de pérdida de presión de los accesorios mostrados en la figura anterior.

**Tabla 5***Recopilación de coeficientes de pérdidas en la línea de conductos*

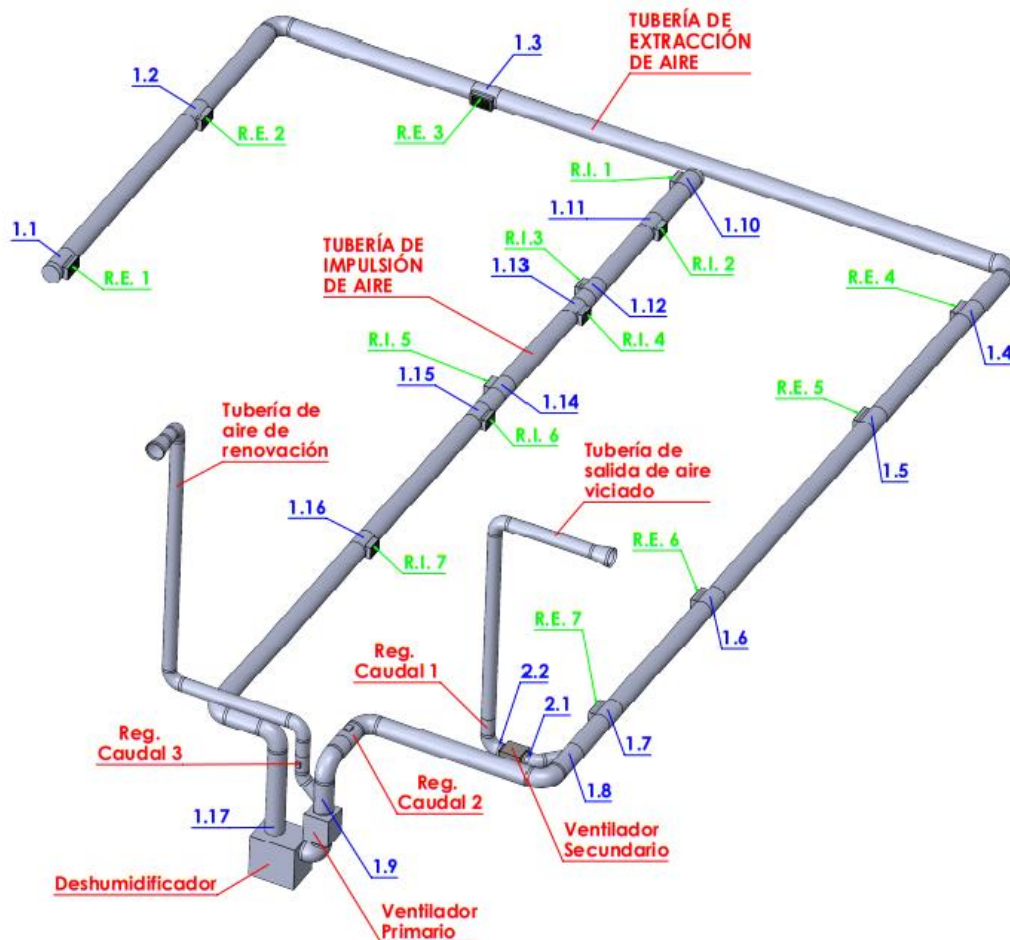
Sección Ducto	N° accesorio	Tipo de accesorio	Parámetros	Coefficientes de pérdida
1.2 - 1.3	A	Codo	90°; r/D = 1	0,24
Sumatoria de los coeficientes de pérdida de la sección .....				0,24
1.3 - 1.4	B	Codo	90°; r/D = 1	0,24
Sumatoria de los coeficientes de pérdida de la sección .....				0,24
1.8 - 2.1	C	Unión - Sección de derivación (Divergente - 45°)	Qb/Qc = 0,337; As/Ac = 1; Ab/Ac = 0,495	1,1 (Cb)
	D	Codo	45°; r/D = 1	0,07
Sumatoria de los coeficientes de pérdida de la sección .....				1,17
2.2 - 1.0	E	Codo	90°; r/D = 1	0,24
	F	Codo	90°; r/D = 1	0,24
	G	Ensanchamiento	$\theta \approx 20^\circ$ ; Ao/A1 = 2,01	0,76 (Co)
Sumatoria de los coeficientes de pérdida de la sección .....				1,24
1.8 - 1.9	C	Unión - Sección recta (Divergente - 45°)	Qs/Qc = 0,66; As/Ac = 1; Ab/Ac = 0,495	0,14 (Cs)
	H	Codo	90°; r/D = 1	0,24
	I	Codo	90°; r/D = 1	0,24
	J	Codo	90°; r/D = 1	0,24
	K	Unión - Sección recta (Convergente - 45°)	Qs/Qc = 0,66; As/Ac = 1; Ab/Ac = 0,495	— 0,1651 (Cs)
Sumatoria de los coeficientes de pérdida de la sección .....				0,6949
1.0 - 1.9	L	Reducción	$\theta \approx 20^\circ$ ; Ao/A1 = 2,01	0,2 (Co)
	M	Codo	90°; r/D = 1	0,24
	N	Codo	90°; r/D = 1	0,24
	O	Codo	90°; r/D = 1	0,24
	P	Codo	45°; r/D = 1	0,07
	K	Unión - Sección de derivación (Convergente - 45°)	Qb/Qc = 0,337; As/Ac = 1; Ab/Ac = 0,495	0,4454 (Cb)
Sumatoria de los coeficientes de pérdida de la sección .....				1,4354
1.16 - 1.17	Q	Codo	90°; r/D = 1	0,24
	R	Codo	90°; r/D = 1	0,24
Sumatoria de los coeficientes de pérdida de la sección .....				0,48

**6.1.8.5. Pérdida de presión total.** Después de determinar todos los coeficientes de pérdida en accesorios se procede a realizar el cálculo de la pérdida de presión total en el sistema de ventilación. En el apéndice C.4. Ecuaciones para determinar la pérdida de presión total, se puede observar detalladamente las ecuaciones utilizadas para realizar dicho cálculo.

En la tabla 6 se realizó el cálculo de la pérdida de presión total en el sistema. En la figura 38 se muestra la división por secciones, en letra azul, que se utilizó en el cálculo.

**Figura 38**

*Secciones del sistema de ventilación para el cálculo de pérdida de presión*



**Tabla 6***Cálculo de la pérdida de presión en el sistema de ductos*

Sección Ducto	Elemento Ducto	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro Ducto (mm)	Velocidad (m/s)	Presión Dinámica (mmca)	Longitud Ducto (m)	Σ Coef. pérdida	Pérdida Presión (mmca)	Presión Total Acumulada (mmca)
1.0 - 1.1	Rejilla de extracción 1	—	—	—	—	—	—	0,408	9141,59
1.1 - 1.2	Ducto	0,111	355	1,12	0,07	4,6	—	0,02	9141,57
	Pérdida de Presión Total en la sección .....							0,02	
1.0 - 1.2	Rejilla de extracción 2	—	—	—	—	—	—	0,427	9141,57
1.2 - 1.3	Ducto	0,222	355	2,24	0,27	6,135	—	0,10	
	Accesorios	0,222	355	2,24	0,27	—	0,24	0,06	9141,41
	Pérdida de Presión Total en la sección .....							0,16	
1.0 - 1.3	Rejilla de extracción 3	—	—	—	—	—	—	0,590	9141,41
1.3 - 1.4	Ducto	0,333	355	3,36	0,60	10,83	—	0,38	
	Accesorios	0,333	355	3,36	0,60	—	0,24	0,14	9140,89
	Pérdida de Presión Total en la sección .....							0,52	
1.0 - 1.4	Rejilla de extracción 4	—	—	—	—	—	—	1,111	9140,89
1.4 - 1.5	Ducto	0,444	355	4,49	1,07	3,19	—	0,19	9140,70
	Pérdida de Presión Total en la sección .....							0,19	
1.0 - 1.5	Rejilla de extracción 5	—	—	—	—	—	—	1,305	9140,70
1.5 - 1.6	Ducto	0,555	355	5,61	1,67	5,69	—	0,53	9140,17
	Pérdida de Presión Total en la sección .....							0,53	
1.0 - 1.6	Rejilla de extracción 6	—	—	—	—	—	—	1,834	9140,17
1.6 - 1.7	Ducto	0,666	355	6,73	2,40	3,39	—	0,45	9139,72
	Pérdida de Presión Total en la sección .....							0,45	
1.0 - 1.7	Rejilla de extracción 7	—	—	—	—	—	—	2,281	9139,72
1.7 - 1.8	Ducto	0,777	355	7,85	3,27	0,995	—	0,18	9139,54
	Pérdida de Presión Total en la sección .....							0,18	
1.8 - 2.1	Ducto	—	—	—	—	—	—	—	
	Accesorios	0,262	250	5,34	1,51	—	1,17	1,77	9137,77
	Pérdida de Presión Total en la sección .....							1,77	
<b>VENTILADOR SECUNDARIO</b>									
2.2 - 1.0	Ducto	0,262	250	5,34	1,51	5,6	—	0,73	9148,67
	Accesorios	0,262	250	5,34	1,51	—	1,24	1,88	

	Rejilla de expulsión de aire al ext.	—	—	—	—	—	—	3,78	
	Damper							0,29	
	Pérdida de Presión Total en la sección .....							6,39	
1.8 - 1.9	Ducto	0,515	355	5,20	1,44	3,25	—	0,26	
	Accesorios	0,515	355	5,20	1,44	—	0,6949	1,00	9133,26
	Damper	—	—	—	—	—	—	5,02	
	Pérdida de Presión Total en la sección .....							1,26	
1.0 - 1.9	Ducto	0,262	250	5,34	1,512	7,538	—	0,98	
	Accesorios	0,262	250	5,34	1,512	—	1,4354	2,17	
	Rejilla de aspiración de aire exterior	—	—	—	—	—	—	5,30	9133,26
	Damper	—	—	—	—	—	—	0,29	
	Pérdida de Presión Total en la sección .....							3,15	
<b>VENTILADOR PRINCIPAL</b>									
1.0 - 1.10	Rejilla de impulsión 1	—	—	—	—	—	—	0,918	9142,918
1.10 - 1.11	Ducto	0,111	355	1,12	0,07	1	—	0,004	9142,922
	Pérdida de Presión Total en la sección .....							0,004	
1.0 - 1.11	Rejilla de impulsión 2	—	—	—	—	—	—	0,922	9142,922
1.11 - 1.12	Ducto	0,222	355	2,24	0,27	1,8	—	0,029	9142,951
	Pérdida de Presión Total en la sección .....							0,029	
1.0 - 1.12	Rejilla de impulsión 3	—	—	—	—	—	—	0,951	9142,951
1.12 - 1.13	Ducto	0,333	355	3,36	0,60	0,3	—	0,010	9142,961
	Pérdida de Presión Total en la sección .....							0,010	
1.0 - 1.13	Rejilla de impulsión 4	—	—	—	—	—	—	0,961	9142,961
1.13 - 1.14	Ducto	0,444	355	4,49	1,07	2,3	—	0,139	9143,101
	Pérdida de Presión Total en la sección .....							0,139	
1.0 - 1.14	Rejilla de impulsión 5	—	—	—	—	—	—	1,101	9143,101
1.14 - 1.15	Ducto	0,555	355	5,61	1,67	0,5	—	0,046	9143,147
	Pérdida de Presión Total en la sección .....							0,046	
1.0 - 1.15	Rejilla de impulsión 6	—	—	—	—	—	—	1,147	9143,147
1.15 - 1.16	Ducto	0,666	355	6,73	2,40	4	—	0,528	9143,675
	Pérdida de Presión Total en la sección .....							0,528	
1.0 - 1.16	Rejilla de impulsión 7	—	—	—	—	—	—	1,675	9143,675
1.16 - 1.17	Ducto	0,777	355	7,85	3,27	7,57	—	1,343	
	Accesorios	0,777	355	7,85	3,27	—	0,48	1,57	9146,59
	Pérdida de Presión Total en la sección .....							2,913	

### 6.1.9. Selección del ventilador principal y secundario

Con los datos de pérdida de presión total del sistema se procede a calcular la presión estática de los ventiladores de la siguiente manera (ACGIH, 1992).

$$PEV = PT_{salida} - PT_{entrada} - PD_{salida}$$

Donde

$PT_{salida}$  – Presión total a la salida del ventilador

$PT_{entrada}$  – Presión total a la entrada del ventilador

$PD_{salida}$  – Presión dinámica a la salida del ventilador

Para ver los detalles del cálculo, dirigirse al apéndice C.5. Cálculo de la presión estática de los ventiladores. Se determina que el valor de la presión estática para el primer ventilador es de:

$$PEV_1 = 10,1 \text{ mmcda} = 99 \text{ Pa}$$

Para el ventilador secundario se tiene que la presión estática es:

$$PEV_2 = 9,4 \text{ mmcda} = 92 \text{ Pa}$$

Con el valor de la presión estática del ventilador, el caudal y la densidad del aire en la ubicación del recinto se procede a la selección de los ventiladores.

Ventilador Principal

$$PEV = 99 \text{ Pa}$$

$$Q = 2800 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\rho = 1,04 \text{ kg/m}^3$$

Ventilador Secundario

$$PEV = 92 \text{ Pa}$$

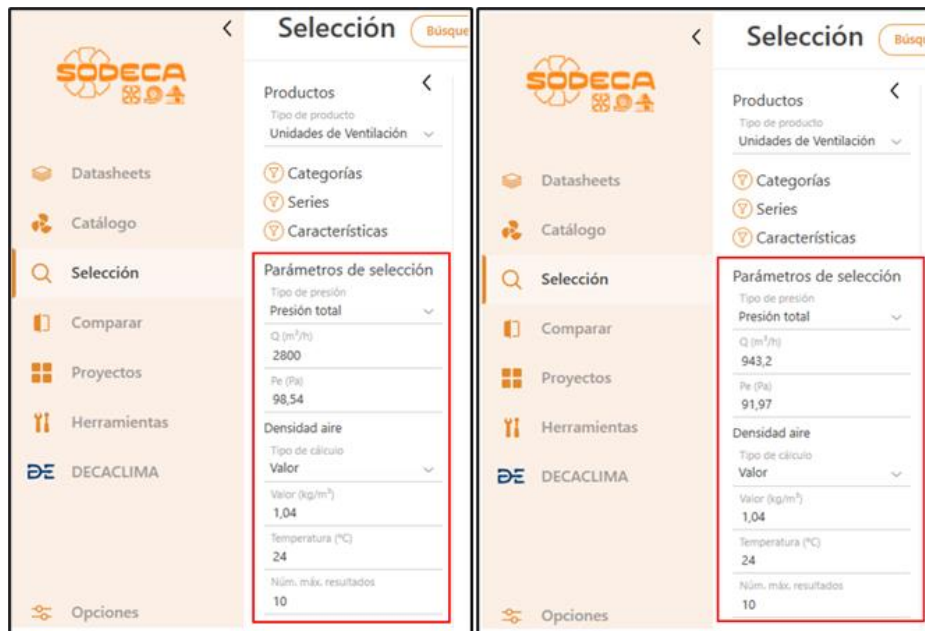
$$Q = 943 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\rho = 1,04 \text{ kg/m}^3$$

Para la sección de los ventiladores se usó el software de Sodeca: Sodeca QuickFan, en este se introducen los parámetros de selección como lo muestra la figura 39 y se presiona “Buscar en el catálogo”. Las figuras 40 y 43 se muestran las características del ventilador primario.

**Figura 39**

*Selección de los ventiladores según parámetros de operación*



*Nota.* Tomado del software para la selección del ventilador: Sodeca Quick Fan.

**Figura 40**

*Información general y curva característica del ventilador principal seleccionado*

**CJBD/EC/C-2525-4M-1 IE4** [Añadir a proyecto](#) [Añadir a comparativa](#) [Inicializar](#) [Crear Informe](#)

[Información general](#) [Curva y acústica](#) [Características técnicas](#) [Datos del motor](#) [Dimensiones](#) [Accesorios](#)

Unidades de ventilación con entrada y salida circular y motor EC Technology IE4 con electrónica integrada

**NEW** **CE ACCORDING ErP** **EC TECHNOLOGY**

[Ficha técnica](#) [Declaración de conformidad](#)

Unidades de ventilación con turbina a acción y motor directo EC Technology IE4 con electrónica integrada, especialmente diseñados para obtener una alta eficiencia energética.

Acabado:

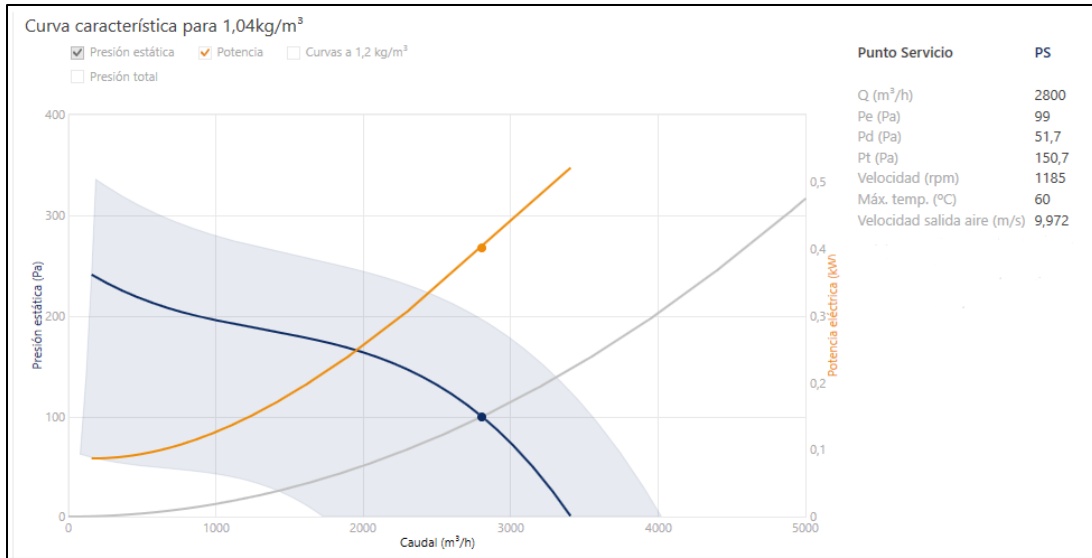
- Anticorrosivo en chapa de acero galvanizado.

Ventilador:

- Envoltorio en chapa de acero galvanizado.
- Turbina a acción en chapa de acero galvanizado.

Motor:

- Motores EC Technology de alta eficiencia con electrónica integrada, regulables mediante 0-10 V.
- Motores con eficiencia IE4, clase F y protección IP54.
- Monofásico 190-250 V 50/60 Hz.
- Temperatura de trabajo: -25 °C +60 °C.



Nota. Tomado del software para la selección del ventilador: Sodeca Quick Fan.

En la figura 42 y 44 se muestran las características del ventilador secundario seleccionado.

**Figura 41**

*Información general del ventilador secundario seleccionado*

SVE/PLUS/EW > SVE/PLUS/EW-250/H [Añadir a proyecto](#) [Añadir a comparativa](#) [Inicializar](#)

[Crear Informe](#)

Información general [Curva y acústica](#) [Características técnicas](#) [Datos del motor](#) [Dimensiones](#) [Accesorios](#)

Extractores en línea para conductos, con bajo nivel sonoro montados dentro de una envolvente acústica de 40 mm de aislante acústico fonoabsorbente

Ficha técnica

BIM (REVIT)

**Ventilador:**

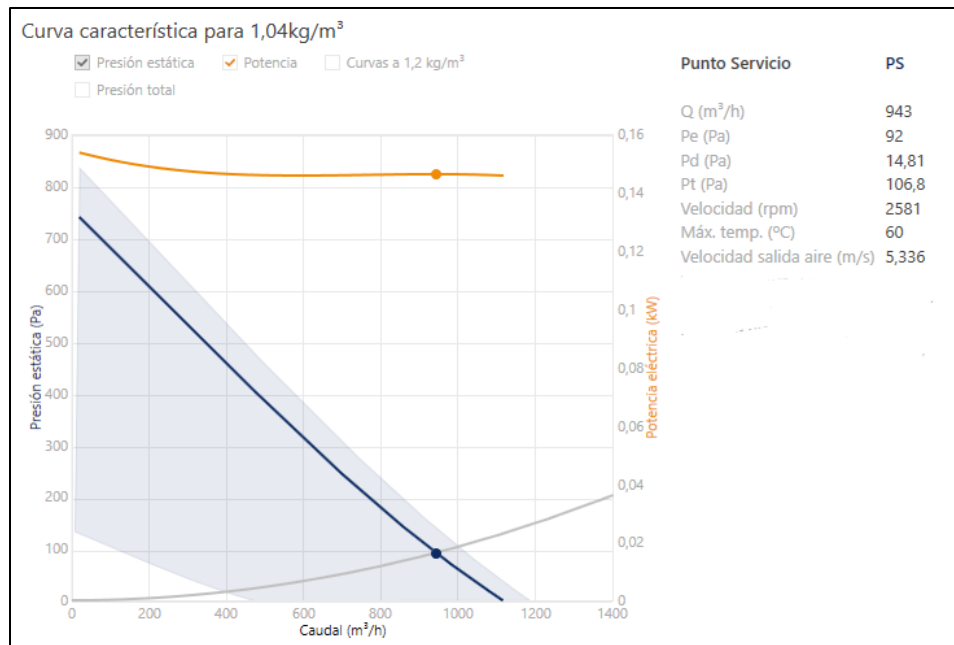
- Envolvente acústica recubierta de material fonoabsorbente.
- Todos los modelos equipados con turbina a reacción.
- Bridas normalizadas en aspiración e impulsión, para facilitar la instalación en conductos.
- Equipados con tapa registro abatible.
- Pies soporte, que facilita su montaje, integrados en la caja.
- Dirección aire sentido lineal.
- Velocidad ajustable mediante un potenciómetro incorporado de 10 kΩ MTP010, o una señal exterior de 0-10 V.

**Motor:**

- Motores de rotor exterior EC Technology, de alta eficiencia y variador de velocidad integrado controlado mediante señal 0-10 V.
- Monofásico 200-240 V 50/60 Hz, protección IP54. Excepto modelo SVE/PLUS/EW-400/H, 200-277 V 50/60 Hz, protección IP55.
- Temperatura máxima del aire a transportar: -25 °C +60 °C. Excepto modelo SVE/PLUS/EW-200/H, -25 °C +45 °C.

**Acabado:**

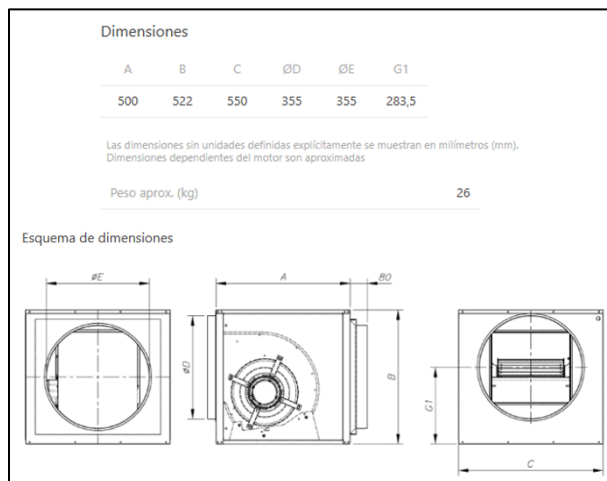
- Anticorrosivo en chapa de acero galvanizado.



Nota. Tomado del software para la selección del ventilador: Sodeca Quick Fan.

**Figura 42**

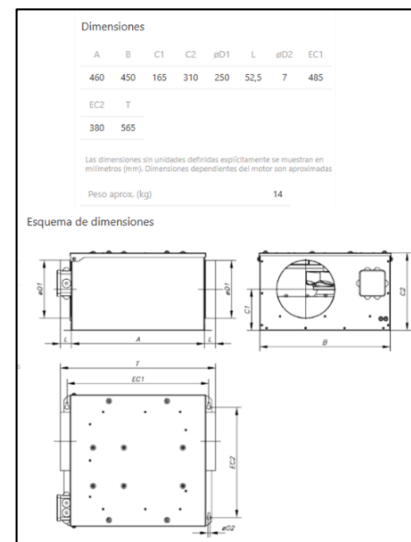
*Dimensiones del ventilador principal  
seleccionado*



Nota. Tomado del software para la selección del ventilador: Sodeca Quick Fan.

**Figura 43**

*Dimensiones del ventilador secundario  
seleccionado*



Nota. Tomado del software para la selección del ventilador: Sodeca Quick Fan

## 6.2. Diseño del sistema de extracción localizada

En el recinto se identificaron tres focos de generación de material contaminante como se observa en las figuras 44, 45, y 46.

- El área de soldadura que producen humos nocivos
- El área de pintura que produce vapores de pintura
- El área de mecánica industrial que produce material particulado

Para cada uno de estos tres focos se diseñó un sistema de captación localizada que corresponden a: una mesa para aplicación de soldadura, un banco para la aplicación de pintura y dos brazos extractores flexibles para la extracción del material particulado.

**Figura 44**

*Compresor para pintura*



**Figura 45**

*Torno ubicado en el área de mecánica industrial*



**Figura 46**

*Taladro ubicado en el área de mecánica industrial*



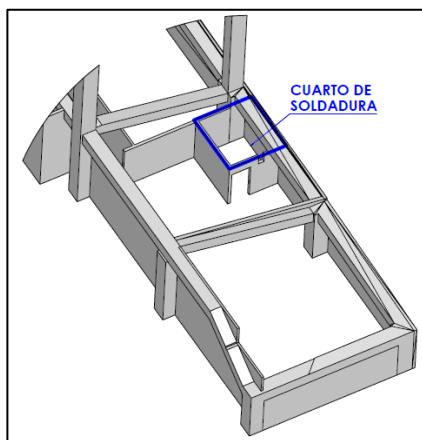
### 6.2.1. Consideraciones generales

La mesa de soldadura y el banco de pintura estarán ubicados junto al cuarto de soldadura dentro del área del taller de mecánica industrial, como se muestra en la figura 47 y 48, respectivamente. La mayoría de los equipos de mecanizado y corte se encuentran ubicados en la segunda mitad del taller, por lo que es necesario ubicar dos brazos de extracción a lado y lado

como se muestra en la figura 49, con la suficiente longitud para cubrir la mayor área posible y así poder trasladar la boca de extracción a todos los puntos donde se está generando material particulado. Para evitar que el aire viciado reingrese al recinto y a una altura suficiente para que no ingrese a los demás espacios del edificio y lugares contiguos a este, se plantea ubicar la chimenea de expulsión en la parte superior del edificio, donde también estaría ubicado el ventilador centrífugo, como se muestra en la figura 50.

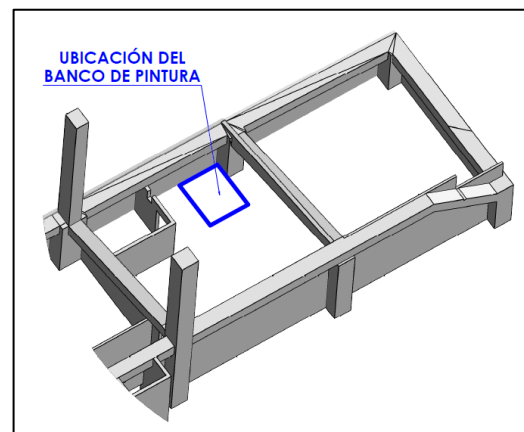
**Figura 47**

*Ubicación de la mesa de soldadura*



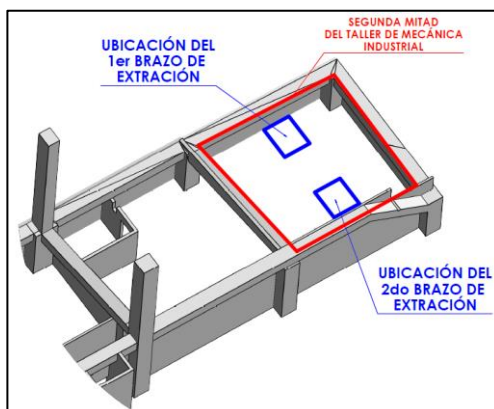
**Figura 48**

*Ubicación del banco de pintura*



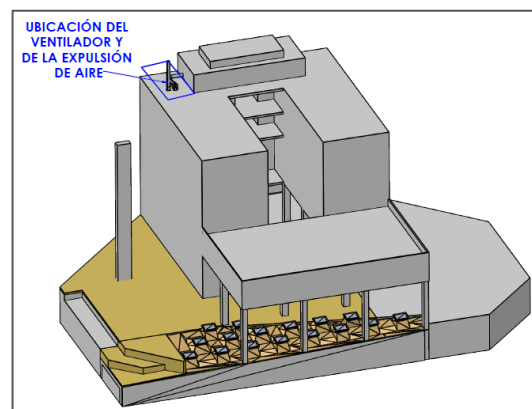
**Figura 49**

*Ubicación de los brazos de extracción*



**Figura 50**

*Ubicación del ventilador centrífugo*



Una vez planteada la ubicación de los principales componentes del sistema es necesario establecer por donde debe pasar la red de conductos que permita el transporte del aire desde los cuatro equipos de captación localizada hasta el ventilador ubicado en la parte superior del edificio y su posterior expulsión por la chimenea. Para ello se plantea de la siguiente manera:

- El sistema de ductos empieza en la mesa de soldadura, pasaría por el banco de pintura y continuaría junto a las paredes de la segunda mitad del taller de mecánica industrial para unir los dos brazos de extracción.
- Luego de recorrer los cuatro componentes de extracción localizada, el sistema de ductos debe dirigirse hacia el ventilador. Para ello, continuaría junto a la pared oriental hasta llegar a la puerta del taller de mecánica industrial, seguiría frente a los baños hasta llegar al pasillo de salida. Allí, debe realizar un giro de 90° hacia la izquierda para salir del recinto por encima de la puerta principal.
- Fuera del recinto el sistema de ductos continúa recto hasta el extremo del edificio, una vez allí realiza un giro de 90° hacia la derecha para ingresar al buitrón para dirigirse a la parte superior del edificio donde se ubica el ventilador centrífugo.

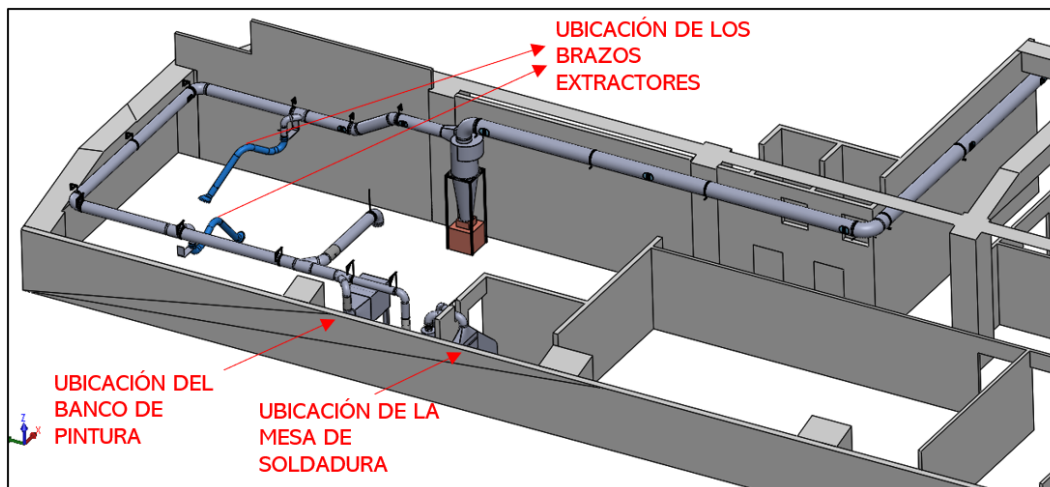
En las figuras 51 y 52, se muestra un esquemático de lo planteado anteriormente.

### **6.2.2. Mesa de soldadura**

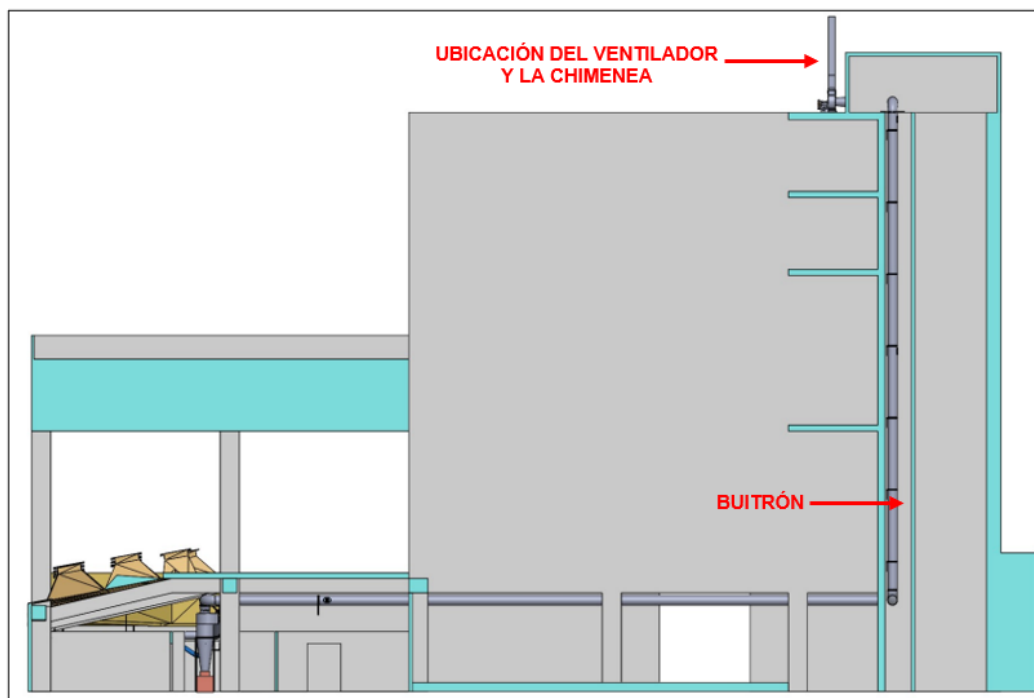
La mesa de soldadura tiene como objetivo prevenir la inhalación de gases nocivos por parte de los operarios, al captar y evacuar los humos de soldadura de manera frontal antes de que se dispersen por el recinto.

**Figura 51**

*Sistema de conductos dentro del recinto*

**Figura 52**

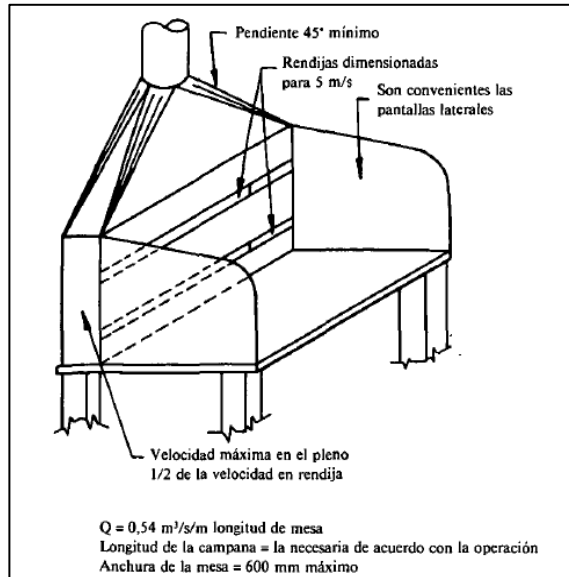
*Sistema de conductos en la parte exterior del recinto*



**6.2.2.1. Dimensionamiento general.** Para el dimensionamiento general se siguieron las recomendaciones mostradas en la figura 53.

**Figura 53**

*Dimensionamiento de una mesa de soldadura*



*Nota.* Tomado de Ventilación industrial: manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales (p 10-57), por ACGIH, 1992, Generalitat Valenciana.

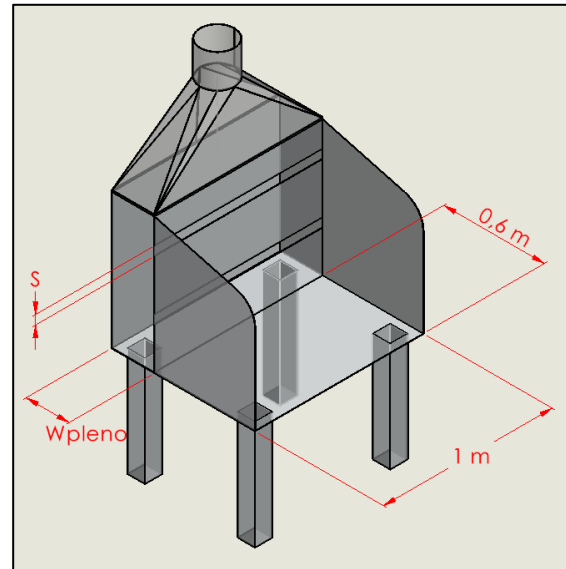
Se plantea una mesa de soldadura con una longitud de 1 m y 0,6 m de anchura, como lo muestra la figura 54. Se procede a determinar el caudal de aire, la altura de las rendijas y la anchura y profundidad del pleno. El detalle de los cálculos se encuentra en el apéndice D.1. Dimensionamiento general de la mesa de soldadura.

$$\text{Caudal: } Q = 1944 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Altura de las rendijas: } S = 5,4 \text{ cm}$$

**Figura 54**

*Dimensiones de la mesa de soldadura.*



*Nota.* En esta imagen se especifican las variables que se desean calcular

$$\text{Anchura del pleno: } W_{pleno} = 25 \text{ cm}$$

**6.2.2.2. Cálculo del ducto de salida de aire.** Para humos de soldadura se recomienda una velocidad mínima en el conducto de 15 m/s, como lo muestra la tabla 7.

**Tabla 7**

*Velocidad a la entrada de la campana para gases de soldadura*

CAPTACION POR CAMPANA	(m/s)	
	Va	Vc
Tipo de Trabajo		
Gases o vapores	0,25 a 0,5	12
Gases soldadura	0,5 a 1	15
Caldera de vapor	0,75	10
Estufa barnizada	1 a 1,25	8
Taladro	2	22

*Nota.* Tomado de Manual Práctico de Ventilación (p. 40), por Salvador Escoda S.A.

A partir del dato de la velocidad mínima se procede a realizar el cálculo del diámetro del ducto:

$$A_{ducto} = \frac{Q}{V_c} = \frac{0,54 \text{ m}^3/\text{s}}{15 \text{ m/s}} = 0,036 \text{ m}^2$$

$$Diám_{ducto} = \sqrt{\frac{4 * A_{ducto}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0,036}{\pi}} = 0,214 \text{ m}$$

Estandarizando esta medida a diámetros de ductos comerciales, se selecciona el de 200 mm.

**6.2.2.3. Filtros para la mesa de soldadura.** Para el filtrado del aire contaminado se seleccionó el Sistema de filtración modular para humos de soldadura y polvos de catálogo de la empresa NEDERMAN, como lo muestra la tabla 8.

Debido a que el caudal es de 1944 m<sup>3</sup>/h y el filtro de soldadura posee un caudal nominal de 1000 m<sup>3</sup>/h, es necesario utilizar dos filtros en paralelo.

**Tabla 8**

*Filtro para humos de soldadura*

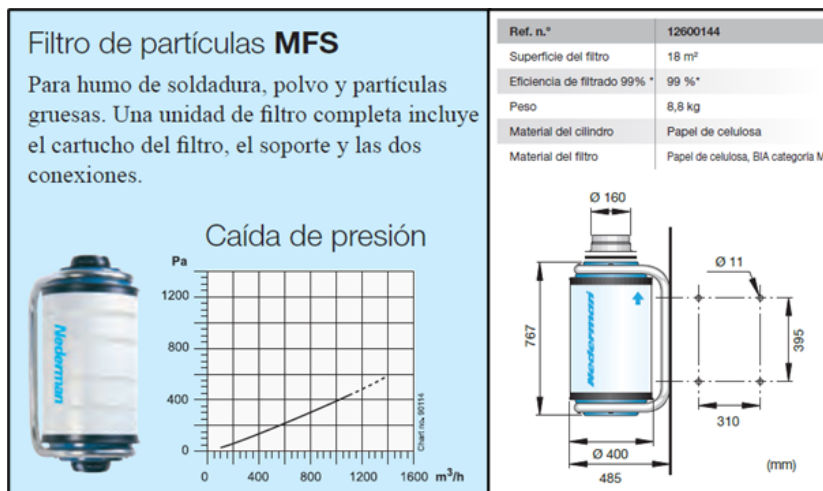


Tipo de filtro	FILTERMAX C2S	FILTERMAX F	FILTERMAX DF	MFS-Sistema de filtración modular	MFS-Sistema de filtración modular	NOM 4	NOM 11	NOM 18 y 28	NOM 112
Tipo de sector industrial	Minerales, virutas de metal, humos de soldadura	Minerales, virutas de metal, humos de soldadura	Minerales, virutas de metal, humos de soldadura	Humos de soldadura y polvo	Óxidos, gases, humo y disueltos orgánicos	Nebulosa de aceite	Nebulosa de aceite	Nebulosa de aceite	Nebulosa de aceite
Capacidad de aire, m³/h	2500	3000-6000	4000-13000	1000-	600-	400	1100	1500-2800	10000
Superficie del filtro, m²	48	60-160	72-216	18	Cartón activo de 15 kg	3	6,5	14-21	64
Máx. recogida de polvo g/m³	10	10	10	-	-	-	-	-	-
Materia del filtro	Cartucho	Cartucho	Cartucho	Cartucho	Carbón activo	Cartucho	Cartucho	Cartucho	Cartucho
Método de limpieza	Limpieza con aire comprimido	Limpieza con aire comprimido	Limpieza con aire comprimido	Filtro desechable	Filtro desechable	-	-	-	-
Limpieza	Durante el funcionamiento	Durante el funcionamiento	Durante el funcionamiento	-	-	-	-	-	-
Clase de aspiración	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tipo de filtro	Vacío	Vacío	Vacío	Vacío	Vacío	Vacío	Vacío	Vacío	Vacío
Posición	Interior	Interior / Exterior	Interior / Exterior	Interior	Interior	Interior	Interior	Interior	Interior
N.º de página	36-37	38-39	40-41	35	35	42	43	44	45

Nota. Tomado de Catálogo Nederman (p. 18)

**Figura 55**

*Especificaciones del filtro para la mesa de soldadura*



Nota. Tomado de Catálogo Nederman (p. 35)

**6.2.3. Banco de pintura**

Este banco tiene como objetivo prevenir la inhalación de los vapores y partículas generadas por la pulverización de la pintura, mediante una corriente de aire que capta las partículas que no se adhieren al objeto pintado.

**6.2.3.1. Dimensionamiento general.** Para el dimensionamiento general se siguieron ciertas consideraciones mencionadas en la figura 56. Se plantea una cabina de pintura pequeña para el pintado de objetos cuya área transversal sea máximo de 50 cm (X) x 50 cm (Y) como lo muestra la figura 58.

Se procede a realizar el cálculo del caudal del aire, la anchura, la altura y profundidad del banco de pintura. El detalle de los cálculos se encuentra en el apéndice D.2. Dimensionamiento general del banco de pintura.

Anchura:  $W = 80 \text{ cm}$

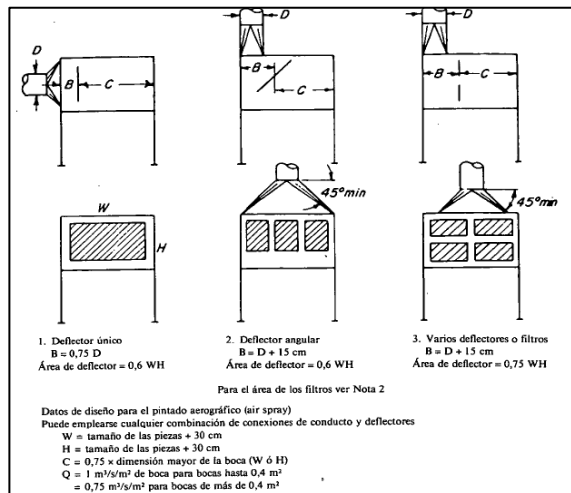
Profundidad:  $C = 60 \text{ mm}$

Altura:  $H = 80 \text{ cm}$

Caudal:  $Q = 0,48 \text{ m}^3/\text{s}$

**Figura 56**

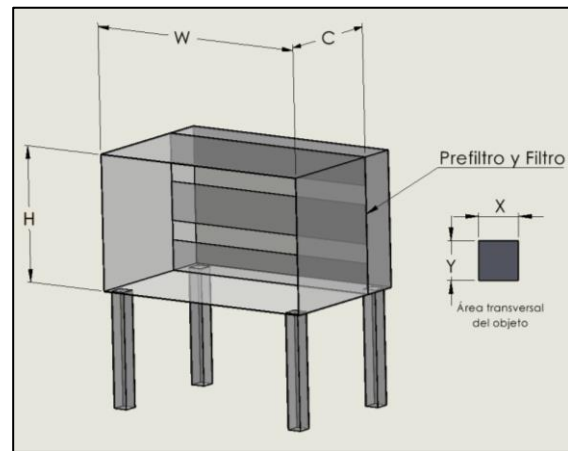
*Dimensionamiento de un banco de pintura*



Nota. Tomado de Ventilación industrial: manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales (p 10-83), por ACGIH, 1992, Generalitat Valenciana.

**Figura 57**

*Dimensiones de la cabina de pintura*



Nota. En esta imagen se especifican las variables que se desean calcular

**6.2.3.2. Cálculo del ducto de salida de aire.** Para vapores de pintura se recomienda una velocidad mínima en el conducto de 15 m/s, como lo muestra la tabla 9.

A partir del dato de la velocidad mínima se realiza el cálculo del diámetro del ducto:

$$A_{ducto} = \frac{Q}{V_c} = \frac{0,54 \text{ m}^3/\text{s}}{15 \text{ m/s}} = 0,036 \text{ m}^2$$

$$Diám_{ducto} = \sqrt{\frac{4 * A_{ducto}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0,036}{\pi}} = 0,214 \text{ m}$$

Estandarizando esta medida a diámetros de ductos comerciales, se selecciona el de 200 mm.

**Tabla 9**

*Velocidad de aire en el ducto para vapores de pintura*

**CAPTACION POR CAMPANA**

Tipo de Trabajo	(m/s)	
	Va	Vc
Pintura, triturado	1 a 2,5	15
Aero grafismo	2	10
Amolado	1	18
Máquina de embalar (Aspirac. Decendente)	0,25 a 0,5	8
Motores explosión	3.500 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	
Tanque impregnado	3.500 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	
Forja manual	1	8

*Nota.* Tomado de Manual Práctico de Ventilación (p. 40), por Salvador Escoda S.A.

**6.2.3.3. Filtros para el banco de pintura.** Para la retención de partículas y nieblas de pintura se seleccionó un filtro de fibra de vidrio de la marca PREMIUM FILTERS con una eficiencia entre el 92% - 97%, ver figura 58.

**Figura 58**

*Filtro para el banco de pintura*

**PREMIUM FILTERS**  
HIGH QUALITY FILTERS

**FICHA TÉCNICA**  
FIBRA DE VIDRIO / PAINT STOP

Referencia	IPF-03
Peso	250 gr/m <sup>2</sup>
Espesor	50-60 mm
Ancho rollo	0,50 o 0,75 o 1 o 2 m
Largo del rollo	20 m
Tasa flujo de aire	3850 m <sup>3</sup> /hr
Resistencia inicial	10 Pa
Resistencia final	200-250 Pa
Eficiencia promedio de retención	92 - 97%
Velocidad frontal	1,2m/s
Capacidad de retención de polvo	485 gr/m <sup>2</sup>
Resistencia a la llama	F-1 (DIN 53438)
Máxima temperatura	170 °C
Clase de filtración	G3 (EN 779)

Características: Construido mediante un proceso no tejido y aumentando gradualmente la densidad de las fibras, permite el bloqueo de diversos tamaños de partículas en los diferentes niveles de densidad obteniendo una gran capacidad de retención de polvo y niebla de pintura.

*Nota.* Tomado de Filtración Industrial (p. 3), por Premium Filters SAS.

**Figura 59**

*Prefiltro para el banco de pintura*

El filtro Andreae HE tiene una eficacia de filtración cercana al 100 %, mientras conserva la alta capacidad del filtro Andreae Original. Se compone de dos paredes de cartón «kraft» fuerte y reciclado, perforadas, dobladas y pegadas entre ellas. La adición de un políster fino en el extremo trasero del filtro garantiza una captación óptima de las partículas más finas.

**Rendimientos**

Capacidad	Eficacia	
▼▼▼▼▼	▼▼▼▼▼	Lacas
▼▼▼▼▼	▼▼▼▼▼	Altos extractos secos
▼▼▼▼▼	▼▼▼▼▼	Bi componentes

Capacidad de carga (kg/m <sup>2</sup> )		
Lacas 19 kg / m <sup>2</sup>	Altos extractos secos 20 kg / m <sup>2</sup>	Bi componentes 20 kg / m <sup>2</sup>

Eficacia [%]		
Lacas 97 %	Altos extractos secos 98,5 %	Bi componentes 99,2 %

Velocidad del aire recomendada: 0,5 to 1 m/s

Depresión:

0,5 m/s 21 pa	0,75 m/s 32 pa	1,0 m/s 42 pa
------------------	-------------------	------------------

Depresión máx. recomendada: 128 pa (posible hasta 256)

White AP923 AP123

91 m x 9,14 m 1 m x 7,92 m

*Nota.* Tomado de Catálogo de productos (p. 7), por Andreae.

Para evitar que el filtro se sature tan rápido y que esté en contacto directo con las partículas expulsadas con la pistola de pintado se instala un prefiltro tipo cartón plegado de la marca ANDREAE el cual se compone de dos paredes de cartón “Kraft” pegadas entre ellas como lo muestra la figura 59, el cual realiza una separación inercial y posee una alta capacidad de carga antes de saturarse completamente.

**6.2.4. Brazos extractores flexibles.**

Para la captación del material particulado, virutas y aserrín generadas en el área de mecánica industrial se utilizarán dos brazos extractores NEX MD de la marca NEDERMAN, uno a cada lado del taller, los cuales tienen un alcance de 3 metros, en la figura 60 se muestran las dimensiones del equipo. La boca aspiración debe estar ubicada cerca y preferiblemente en la dirección en que son expulsadas las partículas.

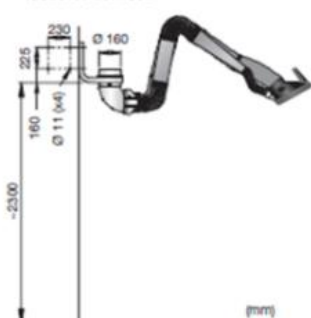
Para cada uno de los brazos extractores se determinó un caudal de aire de 1163 m<sup>3</sup>/h (0,3233 m<sup>3</sup>/s), valor que se encuentra dentro del rango permitido (900 – 1300 m<sup>3</sup>/h).

**6.2.4.1. Depurador para los brazos de extracción.** Para la separación y recolección de las partículas captadas, se utilizará un depurador tipo ciclón de la marca NEDERMAN, modelo NC 0700, que utiliza la fuerza centrífuga para purificar el aire. Este depurador tiene una capacidad máxima de 6000 m<sup>3</sup>/h, como se muestra en la figura 61 con las especificaciones detalladas.

**Figura 60**

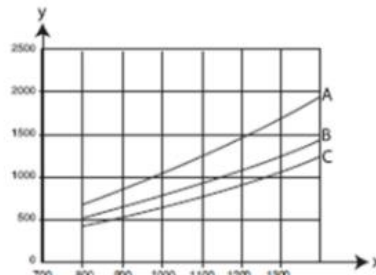
*Especificaciones del brazo de extracción*

- Una robusta rótula permite que el producto gire 360°
- El mecanismo de soporte encapsulado protege el brazo contra el polvo y la suciedad
- Puede montarse en soportes, extensiones de brazo y sistemas de ralles
- Con una válvula en la campana, ahorra energía cuando no está en funcionamiento
- La manguera se quita fácilmente para su limpieza
- La campana puede inclinarse en todos los sentidos




El modelo NEX MD es un brazo de extracción para trabajos medios o pesados. El brazo tiene una manguera de Ø160 mm, que junto con el sistema de brazo externo suministra un caudal de aire elevado y una caída de presión reducida. Perfectamente equilibrado y fácil de colocar.

**Caída de presión**



X: caudal de aire, m<sup>3</sup>/h, Y: presión estática en Pa, A: 5 m, B: 4 m, C: 2 m y 3 m

**Brazo de extracción NEX MD**

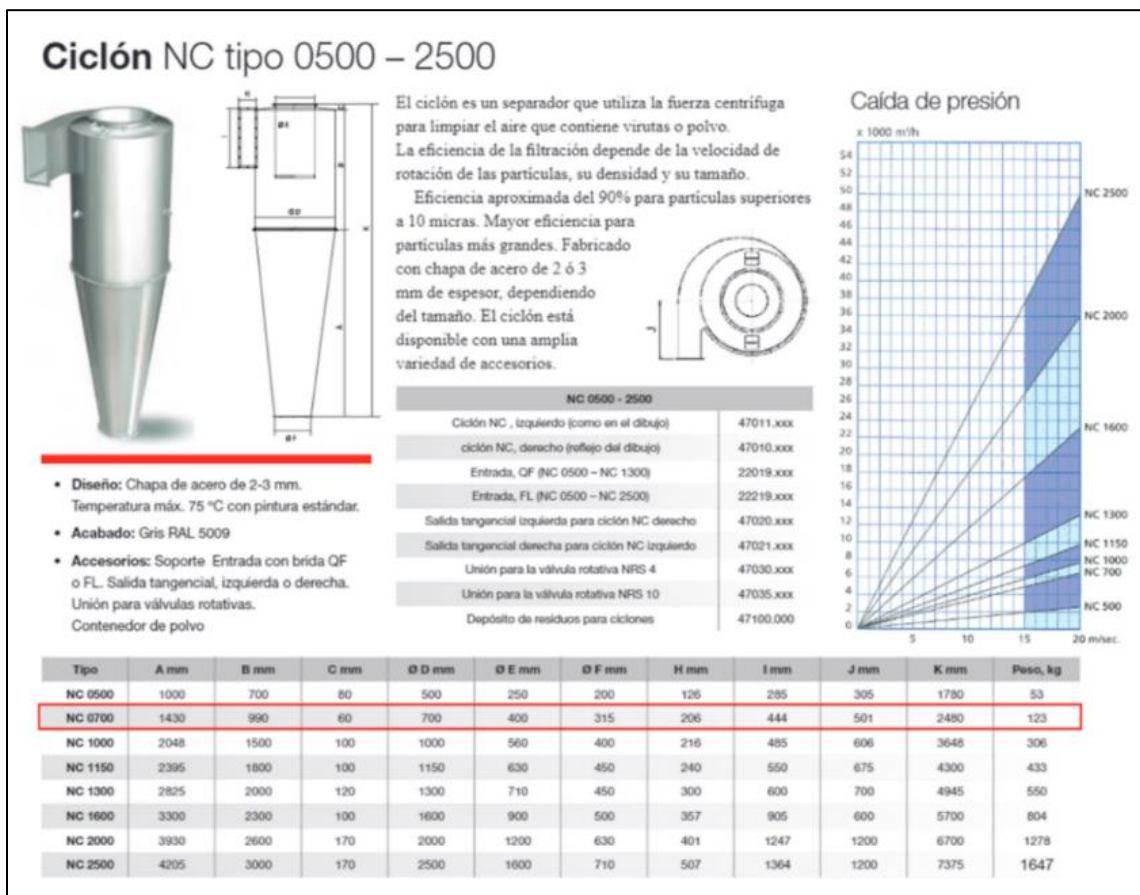


Descripción	Alcance, m	Caudal de aire, m <sup>3</sup> /h	Ø conexión, mm	Temperatura máx. de los humos, °C	Nivel sonoro en la campana, dB(A)	Peso, kg	Ref. n.º
NEX MD de 2 m	2	900-1300	160	70	66	16	10561032
NEX MD de 3 m	3	900-1300	160	70	63	20	10561132
NEX MD de 4 m	4	900-1300	160	70	63	27	10561232
NEX MD de 5 m	5	900-1300	160	70	63	32	10561332

*Nota.* Tomado de Catálogo Nederman (p. 91)

Figura 61

Especificaciones del ciclón NC 0700



Nota. Tomado de Catálogo Nederman (p. 104)

### 6.2.5. Sistema de conductos

**6.2.5.1. Dimensionamiento general.** A continuación, se va a realizar el dimensionamiento de los conductos del sistema de ventilación que permitan garantizar los valores mínimos de velocidad recomendados de acuerdo con el tipo de partículas transportadas en el aire.

El sistema de ventilación inicia en la mesa de soldadura, a la salida de esta el diámetro debe ser de 200 mm para garantizar una velocidad de 15 m/s como se calculó en la sección 6.2.2.2. Junto a la mesa de soldadura es necesario instalar los filtros que deben estar posicionados en

paralelo para que cada uno absorba la mitad del caudal, para ello se instala una derivación simétrica seguida de unos codos a 90° para que los filtro sean ubicados de forma vertical. A la entrada de los filtros es necesario instalar unas reducciones y a la salida unos ensanchamientos, esto debido a que los filtros tienen un diámetro de 160 mm. En la figura 62 se muestra lo anteriormente mencionado.

El conducto que sale del banco de soldadura y va hasta el conducto principal debe ser de 200 mm para garantizar una velocidad de 15 m/s como se calculó en la sección 6.2.3.2. La unión con el conducto principal se realiza mediante una unión cónica a 45°. A continuación, se calcula el diámetro del conducto después de la unión para seguir garantizado la velocidad de 15 m/s.

$$Q_{MS} = 0,54 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \text{Caudal de la mesa de soldadura}$$

$$Q_{BP} = 0,48 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \text{Caudal del banco de pintura}$$

$$Q = Q_{MS} + Q_{BP} = 1,02 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

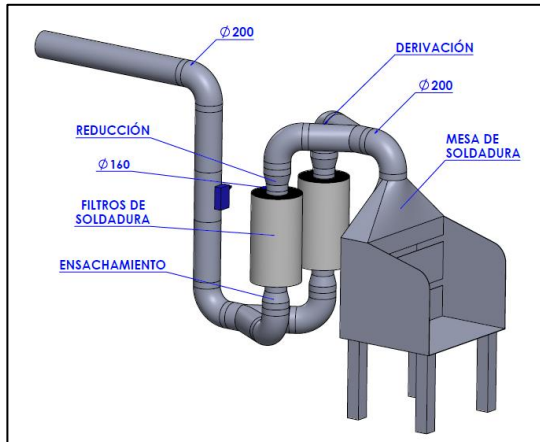
$$A_{ducto} = \frac{Q}{V_c} = \frac{1,02 \text{ m}^3/\text{s}}{15 \text{ m/s}} = 0,068 \text{ m}^2$$

$$Diám_{ducto} = \sqrt{\frac{4 * A_{ducto}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0,068}{\pi}} = 0,294 \text{ m}$$

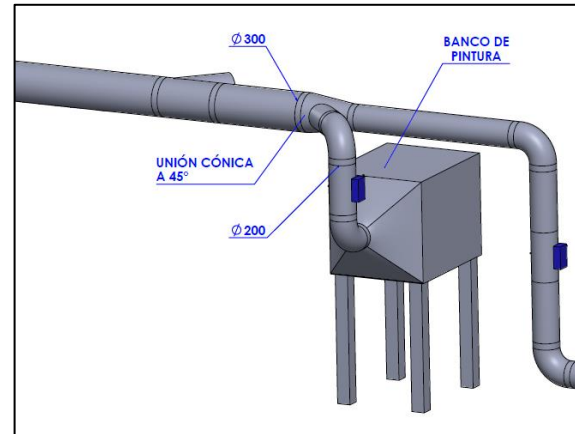
Este diámetro se aproxima a un valor comercial, por lo que el conducto debe tener un diámetro de 300 mm. En la figura 63 se muestra lo mencionado anteriormente.

**Figura 62**

Sistema de conductos en la sección de la mesa de soldadura

**Figura 63**

Sistema de conductos en la sección del banco de pintura



Luego del banco de soldadura continua el brazo de extracción N°1, este se une al conducto principal mediante una unión a 45°, este brazo permite captar polvos pesados como lo son el aserrín y la viruta metálica, en la figura 64 se observa que es necesario tener una velocidad mínima entre 20 m/s – 22,5 m/s para garantizar el arrastre del material particulado, por ello a continuación se calcula el diámetro del conducto para obtener esta velocidad.

$$Q_{MS} = 0,54 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \text{Caudal de la mesa de soldadura}$$

$$Q_{BP} = 0,48 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \text{Caudal del banco de pintura}$$

$$Q_{BE1} = 0,3233 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \text{Caudal del brazo de extracción 1}$$

$$Q = Q_{MS} + Q_{BP} + Q_{BE1} = 1,3433 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$A_{ducto} = \frac{Q}{V_c} = \frac{1,3433 \text{ m}^3/\text{s}}{20 \text{ m/s}} = 0,067 \text{ m}^2$$

$$Diám_{ducto} = \sqrt{\frac{4 * A_{ducto}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0,067}{\pi}} = 0,292 \text{ m}$$

Este diámetro se aproxima a un valor comercial, por lo que el conducto debe tener un diámetro de 300 mm. Para este caso la sección de conducto principal no cambia. En la figura 65 se muestra lo mencionado anteriormente.

### Figura 64

*Valores de velocidad recomendados para polvos pesados*

TABLA 3.2 Valores recomendados para la velocidad de diseño de conductos		
Naturaleza del contaminante	Ejemplos	Velocidad de diseño (m/s)
Vapores, gases, humos de combustión	Todos los vapores, gases y humos	Indiferente (la velocidad óptima económicamente suele encontrarse entre 5 y 10 m/s)
Humos de soldadura	Soldadura	10-12,5
Polvo muy fino y ligero	Hilos de algodón, harina de madera, polvo de talco	12,5-15
Polvos secos	Polvo fino de caucho, baquelita en polvo para moldeo, hilos de yute, polvo de algodón, virutas (ligeras), polvo de detergente, raspaduras de cuero	15-20
Polvo ordinario	Polvo de desbarbado, hilos de muela de pulir (secos), polvo de lana de yute (residuos de sacudidor), polvo de granos de café, polvo de cuero, polvo de granito, harina de sílice, manejo de materiales pulverulentos en general, corte de ladrillos, polvo de arcilla, fundiciones (en general), polvo de caliza, polvo en el embalado y pesado de amianto en industrias textiles	17,5-20
Polvos pesados	Polvo de aserrado (pesado y húmedo), viruta metálica, polvo de desmoldeo en fundiciones, polvo en el chorroado con arena, pedazos de madera, polvo de barrer, virutas de latón, polvo en el taladrado de fundición, polvo de plomo	20-22,5
Polvo pesado húmedo	Polvo de plomo con pequeños pedazos, polvo de cemento húmedo, polvo del corte de tubos de amianto-cemento, hilos de muela de pulir (pegajosos)	> 22,5

*Nota.* Tomado de Ventilación industrial: manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales (p 3-18), por ACGIH, 1992, Generalitat Valenciana.

El brazo extractor N°2 se conecta con el conducto principal mediante una unión a 45°, después del brazo extractor N°1. Para conservar la velocidad del aire en 20 m/s, es necesario dimensionar nuevamente el conducto principal en la sección que va desde el brazo hasta la entrada del ciclón.

$$Q_{MS} = 0,54 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \text{Caudal de la mesa de soldadura}$$

$$Q_{BP} = 0,48 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \text{Caudal del banco de pintura}$$

$$Q_{BE1} = 0,3233 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \text{Caudal del brazo de extracción 1}$$

$$Q_{BE2} = 0,3233 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \text{Caudal del brazo de extracción 2}$$

$$Q = Q_{MS} + Q_{BP} + Q_{BE1} = 1,666 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

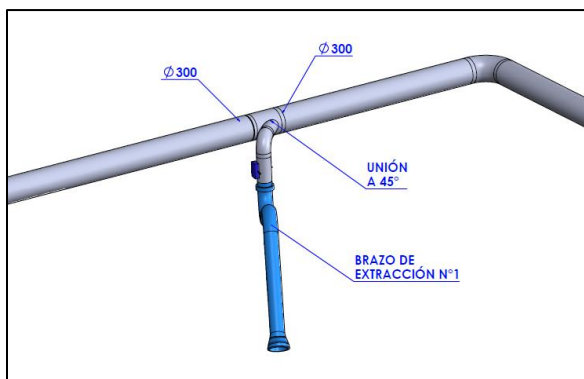
$$A_{ducto} = \frac{Q}{V_c} = \frac{1,666 \text{ m}^3/\text{s}}{20 \text{ m/s}} = 0,0833 \text{ m}^2$$

$$\text{Diám}_{ducto} = \sqrt{\frac{4 * A_{ducto}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0,0833}{\pi}} = 0,325 \text{ m}$$

Este diámetro se aproxima a un valor comercial, por lo que el conducto debe tener un diámetro de 315 mm. A continuación, en la figura 66 se muestra lo mencionado anteriormente.

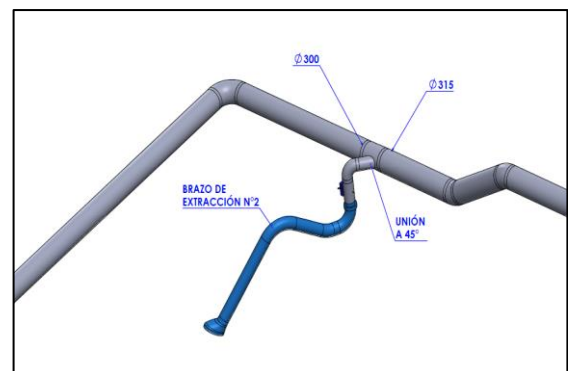
**Figura 65**

*Sistema de conductos en la sección del brazo de extracción 1*



**Figura 66**

*Sistema de conductos en la sección del brazo de extracción 2*

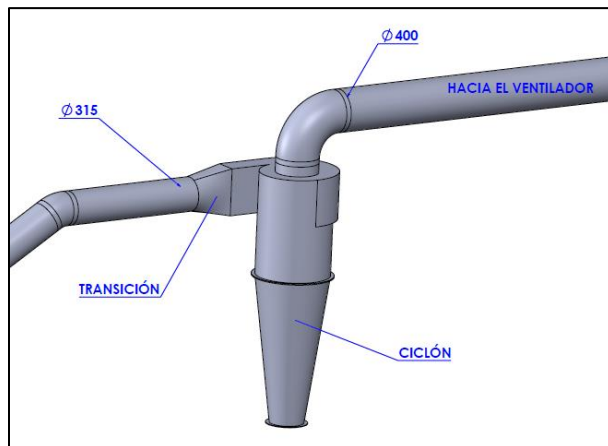


Posteriormente para conectar el conducto principal con el ciclón, se debe utilizar una transición que pase de una sección circular de 315 mm de diámetro a una sección rectangular de 444 mm x 206 mm, como se muestra en la figura 67.

El ciclón separa el material particulado del aire, expulsándolo por la parte inferior del cono a través de una esclusa motorizada. El aire depurado sale por la parte superior, por lo que ya no es necesario mantener la velocidad de 20 m/s. En esta sección, se busca dimensionar el conducto para equilibrar los costos de energía consumidos por el ventilador y los costos de los conductos. Por lo tanto, se opta por mantener el mismo diámetro que tiene el ducto de salida del ciclón, que es de 400 mm, para transportar el aire hasta el ventilador centrífugo, como se muestra en la figura 67.

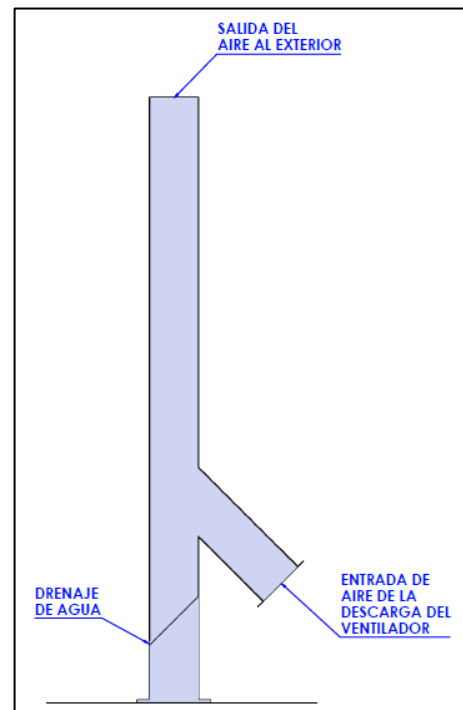
**Figura 67**

*Sistema de conductos en la sección del ciclón hacia el ventilador*



**Figura 68**

*Chimenea del ventilador*



Debido a la alta velocidad del aire por los conductos, lo que ocasiona altos niveles de ruido, es necesario utilizar conductos con aislamiento acústico para reducir este discomfort. Para ello se utilizan conductos y codos con aislamiento acústico de 50 mm del catálogo de la empresa NOVATUB como se muestra en la figura 69.

El ducto de expulsión tendrá la misma sección rectangular de la descarga del ventilador, con una salida totalmente vertical que permite que el aire salga dirigido hacia arriba. En la parte inferior tendrá un pequeño drenaje para evacuar el agua que ingresa cuando hay lluvia. Lo anterior se muestra en la figura 68.

**Figura 69**

*Conductos con aislamiento acústico*

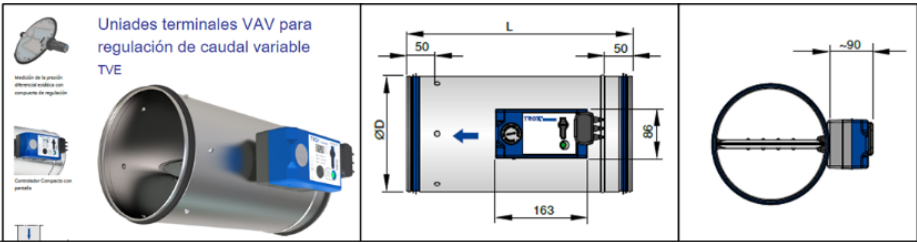
36190			L 300 L 600 L 900 L 1.200			
Ø Dmm	Ø Dext mm	€	95300	9560	9510	9512
125	225	114,00				
150	250	128,00				
160	250	131,50				
175	280	135,00				
180	280	146,00				
200	300	157,00				
250	355	182,00				
300	400	224,00				
315	400	255,00				
355	450	286,00				
400	500	343,00				
450	560	421,00				
500	600	494,00				
560	660	584,00				
600	710	639,00				
100	200	25,00	36,50	48,50	60,00	
125	225	27,40	40,60	54,30	67,20	
150	250	34,00	48,60	64,30	79,80	
160	250	35,80	51,10	67,60	84,00	
175	280	53,70	71,00	88,20		
180	280	56,40	74,60	92,60		
200	300	59,10	78,80	96,40		
225	315	66,00	87,70	107,90		
250	355	72,80	96,50	119,30		
280	355	80,10	106,20	131,30		
300	400	89,70	118,90	147,00		
315	400	98,20	133,50	158,20		
355	450	100,60	138,50	169,00		
400	500	125,10	174,30	214,80		
450	560		209,20	247,10		
500	600		250,90	284,10		
560	660		301,20	326,70		
600	710		361,50	375,70		
630	710		415,00	432,10		
710	800		477,50	496,90		
750	850		550,00	534,20		
800	900			571,40		
900	1.000			657,10		
1.000	1.120			755,70		

*Nota.* Tomado de Conductos y accesorios para ventilación y climatización (p. 64), por NOVATUB, 2016.

**6.2.5.2. Equilibrado del sistema.** En el diseño de un sistema de ventilación, garantizar la distribución adecuada del caudal entre los componentes de captación localizada y conductos secundarios es crucial, ya que el aire tiende a seguir el camino de menor resistencia. Para lograr que los caudales coincidan con los valores de diseño se utilizarán válvulas de volumen de aire variable (VAV) con servomotores que permiten ajustar electrónicamente la apertura de las compuertas para controlar el caudal de aire. Esto es útil también en situaciones en las que la resistencia al flujo de aire varía con el tiempo debido por ejemplo a la saturación de los equipos de filtrado. Se han seleccionado cuatro VAV para este sistema, dos de 200 mm de diámetro para la mesa de soldadura y el banco de pintura, y dos de 160 mm de diámetro para el brazo de extracción 1 y el brazo de extracción 2.

### Figura 70

*Selección de las unidades VAV para el sistema de extracción*



Unidades terminales VAV para regulación de caudal variable TVE

TN	L	ØD	kg
100	310	99	1,3
125	310	124	1,5
160	310	159	1,8
200	400	199	2,5
250	400	249	3
315	400	314	3,8
400	485	399	4,9

Tomado de Unidades terminales VAV para regulación de caudal variable TVE (p. 16), por TROX TECHNIK, 2022.

### 6.2.6. Cálculo de pérdida de presión del sistema de extracción localizada

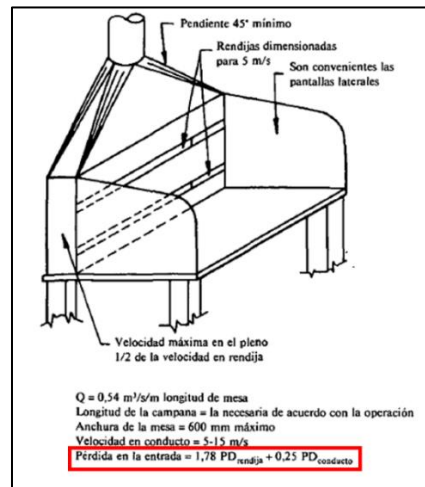
**6.2.6.1. Pérdida de presión en la mesa de soldadura.** El cálculo de pérdida de carga para una mesa de soldadura se calcula como muestra la figura 71. Para mayor detalle ver el apéndice D.3. Cálculo de la pérdida de presión en la mesa de soldadura.

$$\Delta P_{MesaSold} = 1,78 PD_{rendija} + 0,25 PD_{conducto}$$

$$\Delta P_{MesaSold} = 6,2874 \text{ mmcda}$$

#### Figura 71

*Pérdida de presión para la mesa de soldadura*



*Nota.* Tomado de Ventilación industrial: manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales (p. 10-57), por ACGIH, 1992, Generalitat Valenciana.

**6.2.6.2. Pérdida de presión en el filtro de la mesa de soldadura.** La mesa de soldadura usará dos filtros posicionados en paralelo, por lo tanto, cada filtro absorberá la mitad del caudal, es decir, 972 m³/h. Con el valor anterior se determina la caída de presión del filtro, ver figura 72.

$$\Delta P = 388 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 39,6 \text{ mmcda}$$

**Figura 72**

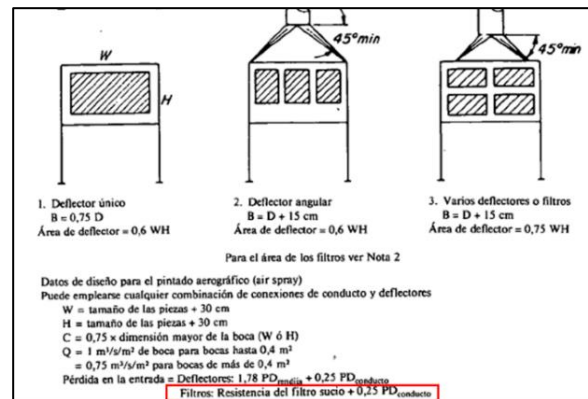
*Caída de presión en el filtro para la mesa de soldadura*



*Nota.* Tomado de Catálogo Nederman (p. 35)

**Figura 73**

*Pérdida de presión para el banco de pintura*



*Nota.* Tomado de Ventilación industrial: manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales (p 10-83), por ACGIH, 1992, Generalitat Valenciana.

**6.2.6.3. Pérdidas de presión en el banco de pintura.** El cálculo de pérdida de carga para

un banco de pintura se realiza como muestra la figura 73.

$$\Delta P_{BancoPint} = Resistencia\ del\ filtro\ sucio + 0,25\ PD_{producto}$$

El prefiltro genera una caída de presión cuando está totalmente saturado de 128 Pa, como muestra la figura 59, y el filtro genera una caída de presión cuando está totalmente saturado de 200 Pa como lo muestra la figura 58. Para mayor detalle ver apendice D.4. Cálculo de la pérdida de presión en el banco de pintura

$$\Delta P_{BancoPint} = 36,5\ mmcda$$

**6.2.6.4. Pérdidas de presión en los brazos extractores.** El caudal de diseño para los brazos extractores es de 1163 m<sup>3</sup>/h. Con el valor anterior y la gráfica de caída de presión dada por el catálogo, ver figura 74, se determina la pérdida de carga.

$$\Delta P_{\text{BrazoExtrac}} = 840 \text{ Pa} = 85,7 \text{ mmcda}$$

**6.2.6.5. Pérdida de presión del ciclón.** La pérdida de presión del ciclón se puede calcular usando la siguiente correlación (Wang et al., 2004).

$$\Delta P = \frac{\rho v_i^2}{2} \Delta H$$

Donde,

$\rho$  – Densidad en kg/m<sup>3</sup>

$v$  – Velocidad del aire a la entrada del ciclón en m/s

$\Delta H$  – Parámetro adimensional que depende de la geometría del ciclón

El parámetro adimensional puede calcularse mediante la siguiente correlación (Wang et al., 2004).

$$\Delta H = 20 \left( \frac{ab}{D_c^2} \right) \left[ \frac{S/D_c}{(H/D_c)(h/D_c)(B/D_c)} \right]^{\frac{1}{3}}$$

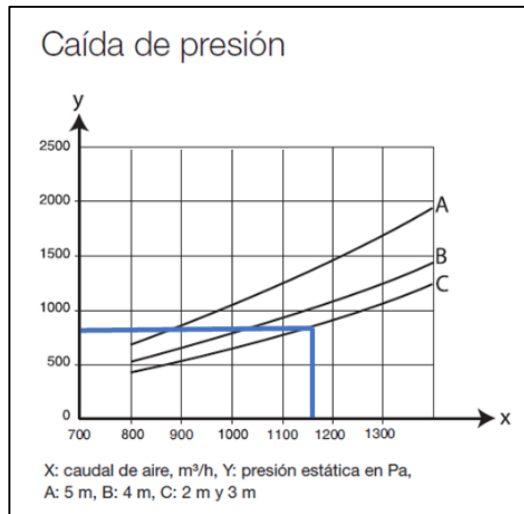
Donde los parámetros geométricos de la correlación se muestran en la figura 75, basado en esto, se determina los parámetros geométricos del ciclón seleccionado y se procede a calcular la pérdida de presión:

$$\Delta P = 138,91 \text{ mmcda}$$

Para mayor detalle del cálculo, ver el apéndice D.5. Cálculo de pérdida de presión en el ciclón.

**Figura 74**

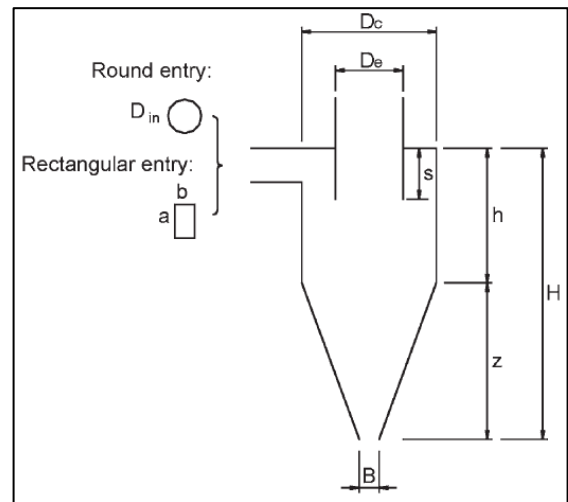
*Caída de presión para los brazos extractores*



Nota. Tomado de Catálogo Nederman (p. 91)

**Figura 75**

*Parámetros geométricos del ciclón*



Nota. Tomado de la página 105 (Wang, Norman Pereira, et al., 2004)

**6.2.6.6. Pérdidas de presión en el sistema de conductos.** En esta sección se calculará la pérdida de presión de todo el sistema de conductos y así determinar el valor de la presión estática del ventilador para su posterior selección. Primero es necesario determinar los coeficientes de pérdida de todos los accesorios del sistema los cuales se encuentran en el apéndice D.6. Coeficientes de pérdida de los accesorios del sistema de extracción y resumidos en la tabla 10. En la figura 76 se muestra la ubicación y la letra asignada a cada accesorio en el sistema de extracción.

**Tabla 10**

*Recopilación de coeficientes de pérdidas en la línea de conductos.*

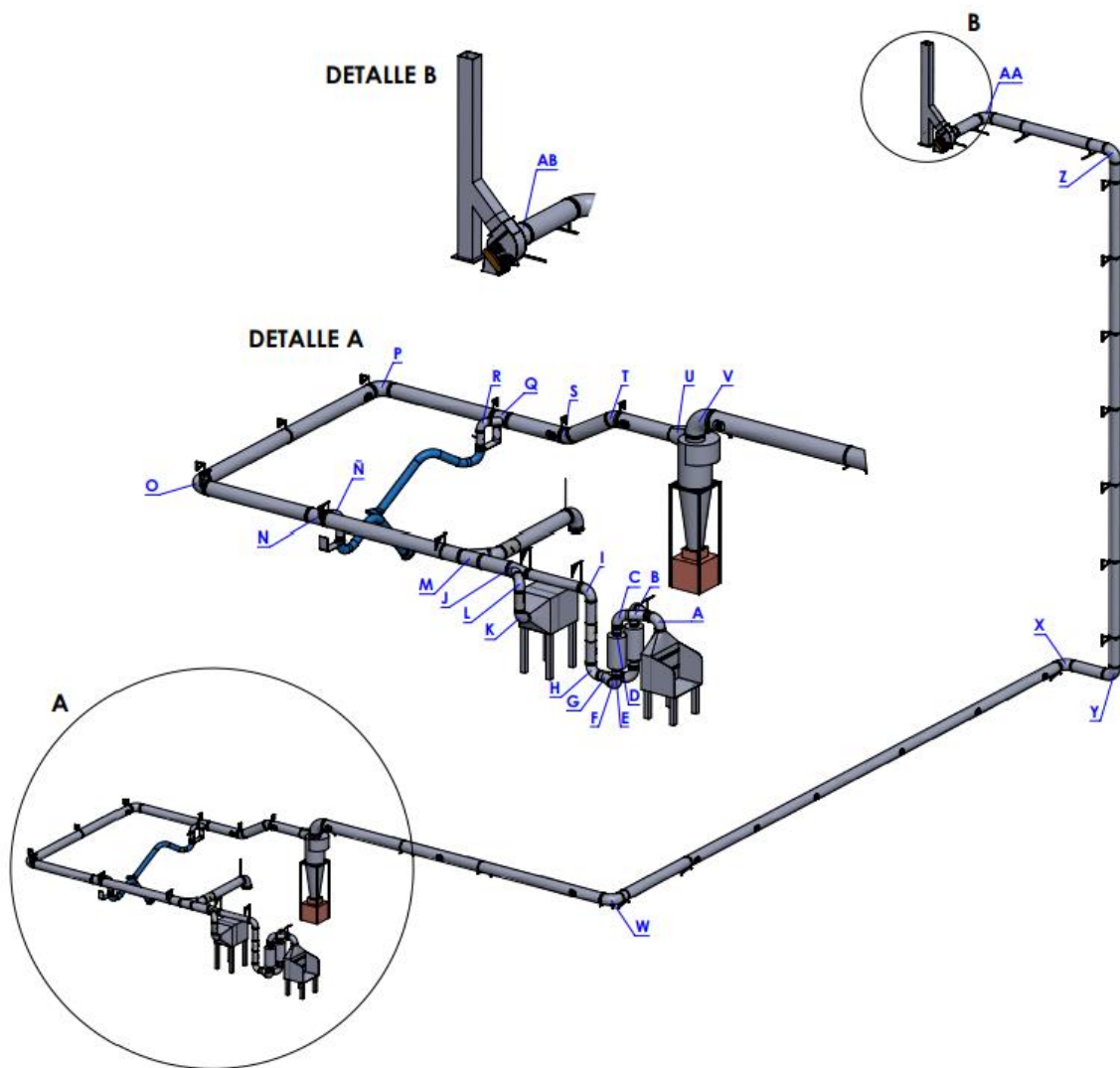
Sección Ducto	Nº accesorio	Tipo de accesorio	Parámetros	Coefficientes de pérdida
1.1 - 1.2	A	Codo	$90^\circ; r/D = 1$	0,24
Sumatoria de los coeficientes de pérdida de la sección .....				0,24

1.2 - 1.3	B	Yee (Simétrica - Divergente)	$60^\circ$ ; $Q_{b1}/Q_c = 0,5$ ; $Ab_1/Ac = 1$ ; $Ab_2/Ac = 1$	0,34 (Cb <sub>1</sub> )
	C	Codo	$90^\circ$ ; $r/D = 1$	0,24
	D	Reducción	$\theta \approx 30^\circ$ ; $Ao/A1 = 1,56$	0,1125 (C <sub>o</sub> )
Sumatoria de los coeficientes de pérdida de la sección .....				0,6925
1.3 - 1.4	E	Ensanchamiento	$\theta \approx 30^\circ$ ; $Ao/A1 = 0,64$	0,2304 (C <sub>o</sub> )
Sumatoria de los coeficientes de pérdida de la sección .....				0,2304
1.4 - 1.5	F	Codo	$90^\circ$ ; $r/D = 1$	0,24
	G	Yee (Simétrica - Convergente)	$60^\circ$ ; $Q_{b1}/Q_c = 0,5$ ; $Ab_1/Ac = 1$ ; $Ab_2/Ac = 1$	— 7,39 (Cb <sub>1</sub> )
Sumatoria de los coeficientes de pérdida de la sección .....				-7,15
1.5 - 2.2	H	Codo	$90^\circ$ ; $r/D = 1$	0,24
	I	Codo	$90^\circ$ ; $r/D = 1$	0,24
	J	Unión - Sección recta (Convergente - $45^\circ$ )	$Q_s/Q_c = 0,53$ ; $As/Ac = 0,444$ ; $Ab/Ac = 0,444$	0,27 (C <sub>s</sub> )
Sumatoria de los coeficientes de pérdida de la sección .....				0,75
2.1 - 2.2	K	Codo	$90^\circ$ ; $r/D = 1$	0,24
	L	Codo	$90^\circ$ ; $r/D = 1$	0,24
	J	Unión - Sección de derivación (Convergente - $45^\circ$ )	$Q_b/Q_c = 0,47$ ; $As/Ac = 0,444$ ; $Ab/Ac = 0,444$	0,6156 (C <sub>b</sub> )
Sumatoria de los coeficientes de pérdida de la sección .....				1,0956
2.2 - 3.2	M	Unión - Sección recta (Convergente - $45^\circ$ )	$Q_s/Q_c = 1$ ; $As/Ac = 1$ ; $Ab/Ac = 1$	— 0,3 (C <sub>s</sub> )
	N	Unión - Sección recta (Convergente - $45^\circ$ )	$Q_s/Q_c = 0,76$ ; $As/Ac = 1$ ; $Ab/Ac = 0,284$	— 0,33 (C <sub>s</sub> )
Sumatoria de los coeficientes de pérdida de la sección .....				-0,63
3.1 - 3.2	Ñ	Codo	$90^\circ$ ; $r/D = 1$	0,24
	N	Unión - Sección de derivación (Convergente - $45^\circ$ )	$Q_b/Q_c = 0,24$ ; $As/Ac = 1$ ; $Ab/Ac = 0,284$	0,33 (C <sub>b</sub> )
Sumatoria de los coeficientes de pérdida de la sección .....				0,57
3.2 - 4.2	O	Codo	$90^\circ$ ; $r/D = 1$	0,24
	P	Codo	$90^\circ$ ; $r/D = 1$	0,24
	Q	Unión - Sección recta (Convergente - $45^\circ$ )	$Q_s/Q_c = 0,806$ ; $As/Ac = 0,907$ ; $Ab/Ac = 0,258$	— 0,14 (C <sub>s</sub> )
Sumatoria de los coeficientes de pérdida de la sección .....				0,34
4.1 - 4.2	R	Codo	$90^\circ$ ; $r/D = 1$	0,24
	Q	Unión - Sección de derivación (Convergente - $45^\circ$ )	$Q_b/Q_c = 0,194$ ; $As/Ac = 0,907$ ; $Ab/Ac = 0,258$	0,062 (C <sub>b</sub> )
Sumatoria de los coeficientes de pérdida de la sección .....				0,302
4.2 - 4.3	S	Codo	$30^\circ$ ; $r/D = 1$	0,08
	T	Codo	$30^\circ$ ; $r/D = 1$	0,08
	U	Transición entrada al ciclón	$\theta \approx 18,33^\circ$ ; $Ao/A1 = 1,173$	0,164
Sumatoria de los coeficientes de pérdida de la sección .....				0,324
4.3 - 4.4	V	Codo	$90^\circ$ ; $r/D = 1$	0,24

W	Codo	$90^\circ; r/D = 1$	0,24
X	Codo	$90^\circ; r/D = 1$	0,24
Y	Codo	$90^\circ; r/D = 1$	0,24
Z	Codo	$90^\circ; r/D = 1$	0,24
AA	Codo	$90^\circ; r/D = 1$	0,24
AB	Reduc. entrada al ventilador	$\theta \approx 10^\circ; A_0/A_1 = 1,52$	0,104
Sumatoria de los coeficientes de pérdida de la sección .....			1,544

**Figura 76**

*Accesorios del sistema de extracción*

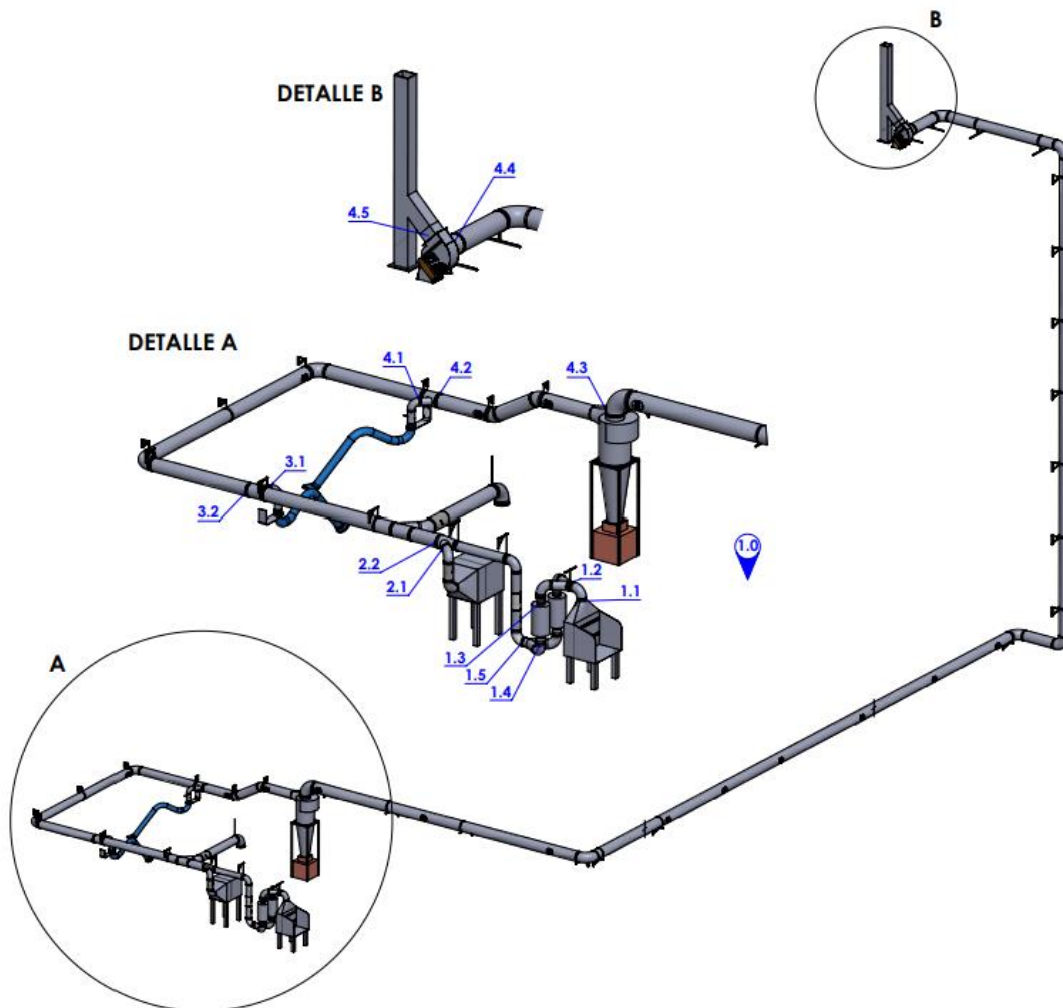


**6.2.6.7. Pérdida de presión total.** Después de determinar todos los coeficientes de pérdida se procede a realizar el cálculo de la pérdida de presión total en el sistema de extracción como se muestra en la tabla 11.

En la figura 77 se muestran la división por secciones que se realizó para el cálculo de la pérdida de presión.

**Figura 77**

*Secciones del sistema de ventilación para el cálculo de pérdida de presión*





Pérdida de Presión Total en la sección .....									7,82
3.2 - 4.2	Ducto	1,3433	300	19,00	19,17	11,27	—	13,43	
	Accesorios	1,3433	300	19,00	19,17	—	0,34	6,52	9028,6
Pérdida de Presión Total en la sección .....									19,95
1.0 - 4.1	Brazo de Extrac 2	—	—	—	—	—	—	85,640	9056,4
4.1 - 4.2	Ducto	—	—	—	—	—	—	—	
	Accesorios	0,3233	160	16,08	13,73	—	0,302	4,15	9028,6
	VAV Brazo Extrac 2	—	—	—	—	—	—	23,63	
Pérdida de Presión Total en la sección .....									27,28
4.2 - 4.3	Ducto	1,666	315	21,38	24,263	3,8	—	5,35	
	Accesorios	1,666	315	21,38	24,263	—	0,31	7,52	9015,7
Pérdida de Presión Total en la sección .....									12,87
4.3 - 4.4	Ducto	1,666	400	13,26	9,33	68,9	—	28,91	
	Accesorios	1,666	400	13,26	9,33	—	1,544	14,41	8833,5
	Ciclón	—	—	—	—	—	—	138,91	
Pérdida de Presión Total en la sección .....									172,67
VENTILADOR									
4.5 - 4.6	Ducto	1,666	321,75	20,49	22,290	2,5	—	3,16	
	Accesorios	1,666	319 x 272	19,20	19,573	—	0,34	6,65	9151,8
Pérdida de Presión Total en la sección .....									9,81

### 6.2.7. Selección del ventilador

Con los datos de pérdida de presión total del sistema se procede a calcular la presión estática del ventilador. Para mayor detalle ver apéndice D.7. Cálculo de la presión estática del ventilador.

$$PEV = 299 \text{ mmcda}$$

Con el valor de la presión estática del ventilador, el caudal y la densidad del aire en la ubicación del recinto se procede a la selección del ventilador.

$$PEV = 299 \text{ mmcda}$$

$$Q = 6000 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\rho = 1,04 \text{ kg/m}^3$$

Para la sección del ventilador se usó el software de Sodeca: Sodeca QuickFan, en este se introducen los parámetros de selección como lo muestra la figura 78 y se presiona “Buscar en el catálogo”. Las características del ventilador seleccionado se observan en las figuras 80 y 79.

**Figura 78**

*Selección del ventilador según parámetros de operación*



*Nota.* Tomado del software para la selección del ventilador: Sodeca Quick Fan.

**Figura 79**

*Información general y curva característica del ventilador seleccionado.*

**AH13-S20-A9-15-2297RPM 60HZ** 
[Añadir a proyecto](#) [Añadir a comparativa](#) [Inicializar](#) [Crear informe](#)

[Información general](#) [Curva y acústica](#) [Características técnicas](#) [Datos del motor](#) [Dimensiones](#) [Accesorios](#)



Ventiladores de media presión accionados a transmisión, equipados con motor eléctrico, conjunto de poleas, correas y protectores normalizados

60 Hz

[Declaración de conformidad](#)

**Ventilador:**

- Envoltente en chapa de acero.
- Turbina a reacción en chapa de acero de gran robustez, especialmente diseñada para transportar aire limpio o ligeramente polvoriento.
- Temperatura máxima del aire a transportar: -25 °C +120 °C.
- Conjunto de poleas, correas y protectores normalizados.
- Carcasa soldada en continuo.
- Incorpora trampilla de inspección.
- Arreglo 9 para potencias inferiores o iguales a 50 Hp.
- Arreglo 1 para potencias superiores a 50 Hp.

**Motor:**

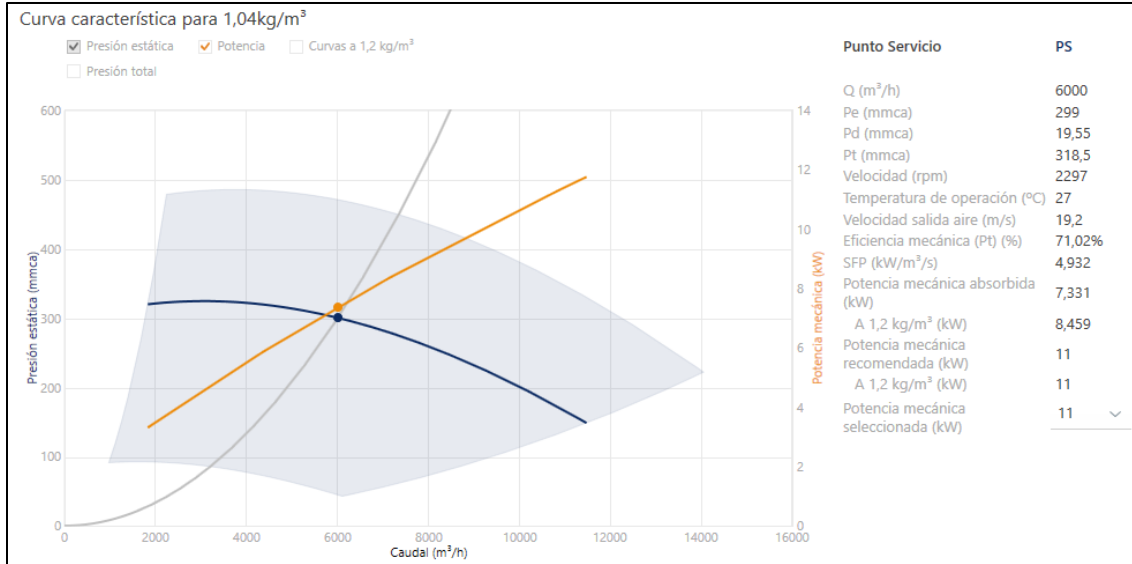
- Motores clase F con rodamientos a bolas y protección IP55, IE2 o IE3 60 HZ.
- Temperatura de trabajo: -25 °C +50 °C.

**Acabado:**

- Anticorrosivo en resina de poliéster polimerizada a 190 °C, previo desengrase con tratamiento nanotecnológico libre de fosfatos.

**Bajo demanda:**

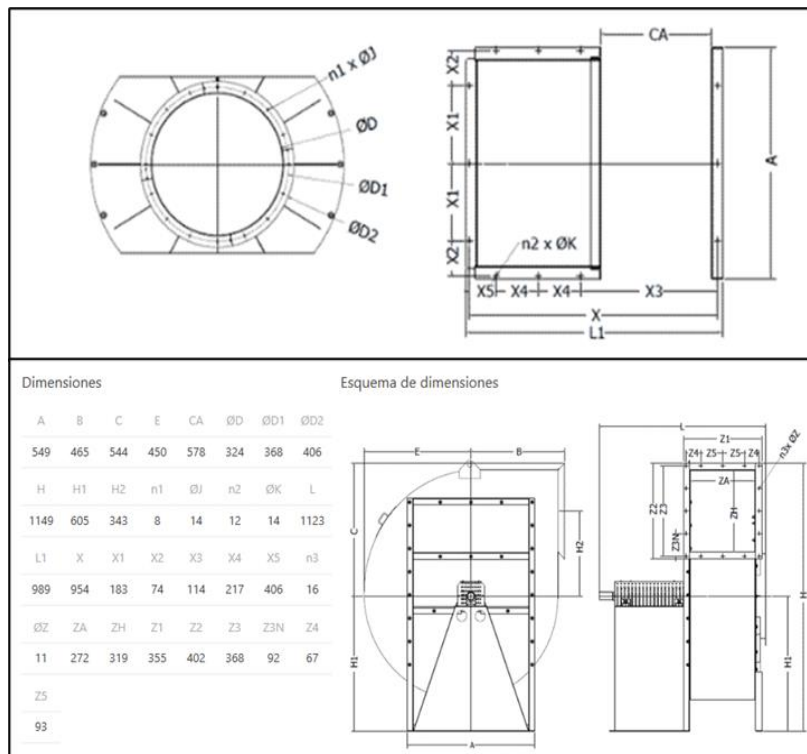
- Bobinados especiales para diferentes tensiones.
- Dámper en la succión y/o descarga.
- Ventilador en acero inoxidable.
- Ventilador preparado para transportar aire hasta +400 °C.
- Carcasa bipartida.



Nota. Tomado del software para la selección del ventilador: Sodeca Quick Fan.

Figura 80

Dimensiones del ventilador seleccionado.



Nota. Tomado del software para la selección del ventilador: Sodeca Quick Fan.

### **6.2.8. Sistema de conducto auxiliar**

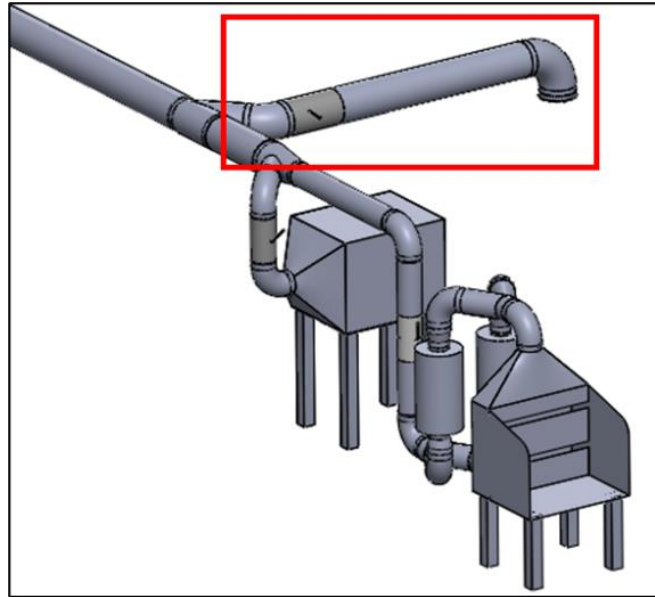
Es probable que los cuatro componentes de extracción localizada no deban estar encendidos simultáneamente durante la mayor parte del tiempo. Por lo tanto, se han instalado válvulas de aire variables que permiten cerrar electrónicamente una o dos de las válvulas y desactivar la extracción de aire en un componente específico. Sin embargo, al desactivar uno o dos componentes, se deben considerar los siguientes puntos:

- Es necesario seguir manteniendo las velocidades de diseño por todos los conductos para tener el suficiente arrastre de las partículas y evitar su acumulación.
- No se debe exceder el valor del caudal de diseño por cada uno de los componentes debido a que puede generar principalmente el daño de los filtros por una velocidad excesiva a través de ellos.

Se consideró la opción de un ventilador de flujo variable o un damper de regulación a la salida del ventilador, pero esta solución solo cumpliría con el segundo requerimiento. Esto se debe a que, al reducir el caudal debido a la inhabilitación de un componente y mantener el caudal en los demás, la velocidad del aire en el conducto principal disminuiría, lo que contribuiría a la acumulación de material particulado. Para abordar este problema, se diseñó un conducto auxiliar con una válvula de caudal variable ubicada después de la conexión del conducto del banco de pintura con el conducto principal, como se muestra en la figura 81. Este sistema funciona de la siguiente manera: cuando se inhabilita un componente de extracción localizada, el conducto auxiliar entra en funcionamiento y abre la válvula reguladora de caudal en un ángulo del damper que permite la entrada del mismo caudal de aire del componente inhabilitado. Esto garantiza que se mantengan las velocidades mínimas de diseño en todos los conductos y que los componentes de extracción localizada conserven su caudal de diseño.

**Figura 81**

*Sistema de conducto auxiliar*



El funcionamiento de este sistema se muestra en el capítulo 7, a través de simulaciones realizadas en el software: Flow Simulation.

## 7. Simulación de los sistemas de ventilación

Utilizando la herramienta de Solidworks, Flow Simulation se realizó la simulación de los dos sistemas de ventilación. A continuación, se muestran los resultados.

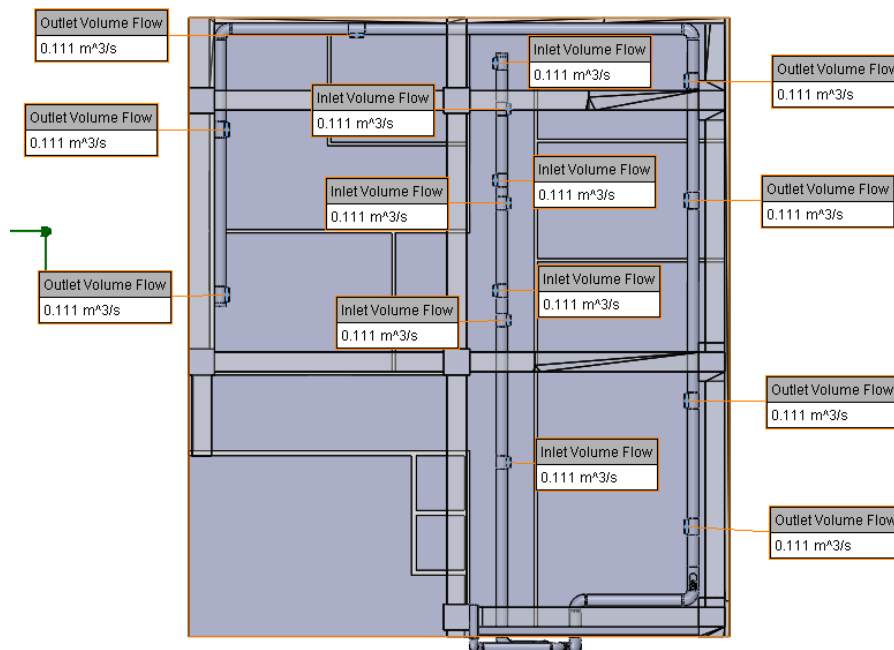
### 7.1. Simulación de sistema de ventilación para la renovación y acondicionamiento del aire

La simulación del sistema de ventilación para la renovación y acondicionamiento del aire muestra el comportamiento del aire dentro del recinto.

A continuación, se muestran las condiciones de frontera utilizadas para la simulación.

**Figura 82**

*Condiciones de frontera para la simulación*



Para la simulación se utilizaron las siguientes configuraciones y condiciones iniciales.

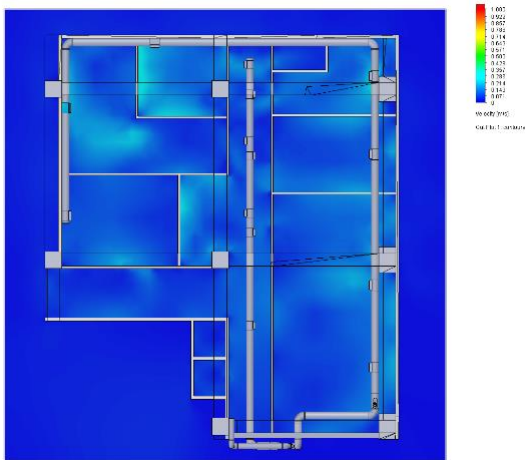
**Tabla 12***Configuración y condiciones iniciales para la simulación*

<b>Configuraciones y condiciones iniciales</b>	<b>Valor</b>
Presión Atmosférica	9142 mmca
Temperatura Ambiental	27 °C
Rugosidad de las paredes	150 micrómetros
Malla Global	Nivel 3

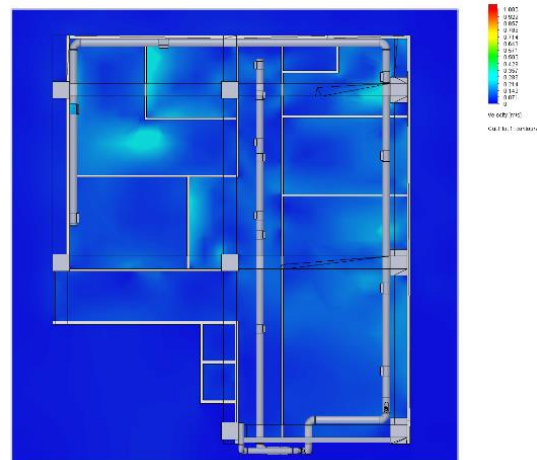
En las siguientes figuras se muestran los contornos de velocidad del aire dentro del recinto a diferentes alturas desde el piso: 0.5 m, 1 m, 1.5 m, 2 m, 2.5 m y 3.1 m.

**Figura 83**

*Contorno de velocidad del aire a 0.5 m del piso*

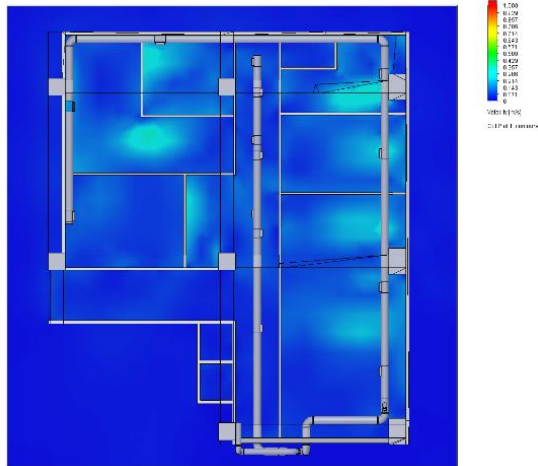
**Figura 84**

*Contorno de velocidad del aire a 1 m del piso*



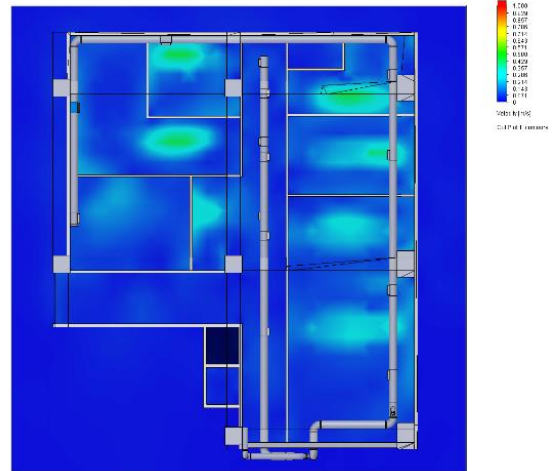
**Figura 85**

*Contorno de velocidad del aire a 1.5 m del piso*



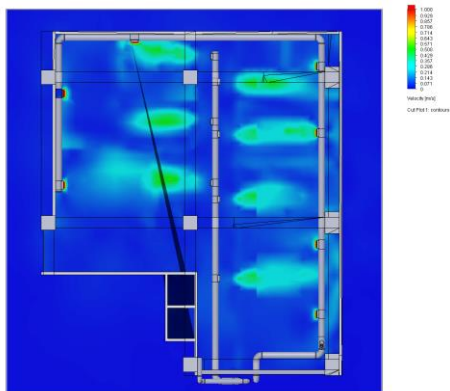
**Figura 86**

*Contorno de velocidad del aire a 2 m del piso*



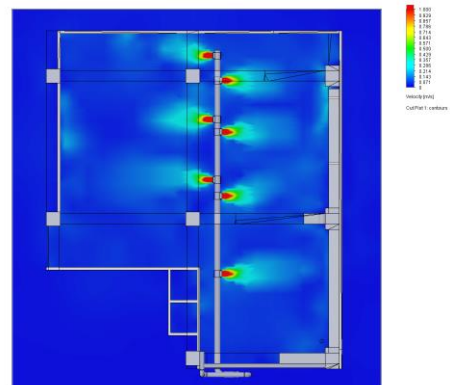
**Figura 87**

*Contorno de velocidad del aire a 2.5 m del piso*



**Figura 88**

*Contorno de velocidad del aire a 3.1 m del piso*



**7.2. Simulación del sistema de extracción localizada**

La simulación del sistema de extracción se realizó en 4 etapas. En las tres primeras se realizó una simulación de tipo externa de los sistemas de captación localizada: la mesa de

soldadura, el banco de pintura y los brazos de extracción y en la última etapa se llevó a cabo la simulación de tipo interna de todo el sistema de conductos.

### 7.2.1. Simulación de la mesa de soldadura.

Para la simulación de la mesa de soldadura se utilizaron las siguientes configuraciones y condiciones iniciales:

**Tabla 13**

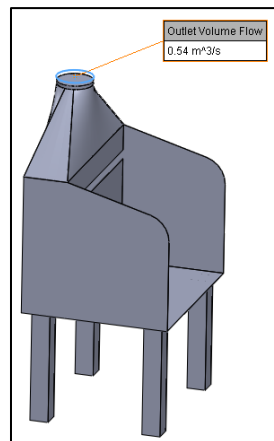
*Configuraciones y condiciones iniciales de la simulación de la mesa de soldadura*

<b>Configuraciones y condiciones iniciales</b>	<b>Valor</b>
Presión Atmosférica	9142 mmcda
Temperatura Ambiental	27 °C
Rugosidad de las paredes	150 micrómetros
Flujo de aire	0,54 m <sup>3</sup> /s
Malla Global	Nivel 3
Malla Local	Nivel 5

En la siguiente figura se muestra las condiciones de frontera utilizadas en la simulación.

**Figura 89**

*Condiciones de frontera para la simulación de la mesa de soldadura*



A continuación, se muestran los resultados gráficos de la simulación donde se observan desde diferentes ángulos la velocidad del aire a través de la mesa de soldadura:

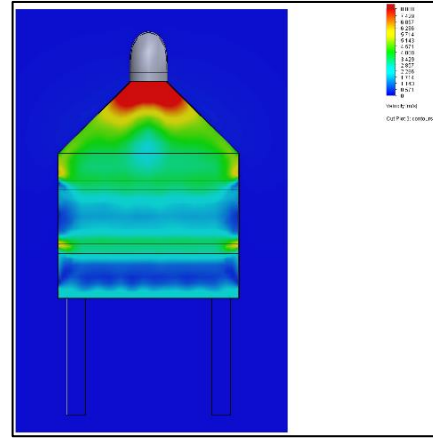
**Figura 90**

*Disposición lateral de la velocidad del aire en la mesa de soldadura*



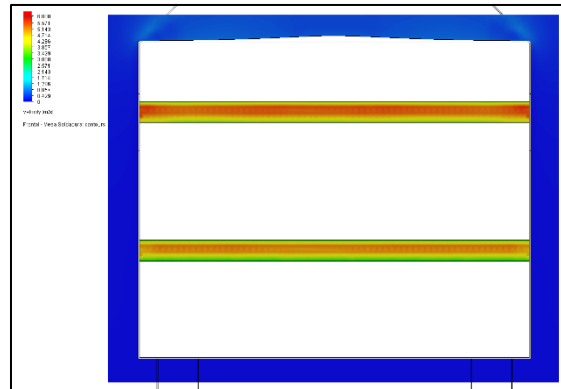
**Figura 91**

*Disposición frontal de la velocidad del aire en el pleno de la mesa de soldadura*



**Figura 92**

*Disposición frontal de la velocidad del aire en las rendijas de la mesa de soldadura*



En la siguiente tabla se muestran algunos valores numéricos calculados a partir de la simulación.

**Tabla 14***Resultados numéricos de la simulación de la mesa de soldadura*

<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>
Velocidad en la rejilla superior	Mínima	4,561 m/s
	Máxima	6,437 m/s
	Promedio	5,682 m/s
Velocidad en la rejilla inferior	Mínima	4,115 m/s
	Máxima	6,333 m/s
	Promedio	5,330 m/s
Flujo volumétrico rejilla superior		0,2776 m <sup>3</sup> /s
Flujo volumétrico rejilla inferior		0,2631 m <sup>3</sup> /s
Pérdida de presión total		4,53 mmcda
Pérdida de presión estática		20,49 mmcda

**7.2.2. Simulación del banco de pintura**

Para la simulación en el banco de pintura se utilizaron las siguientes configuraciones y condiciones iniciales. Además, se utilizó la configuración de un medio poroso que genera la misma caída de presión del prefiltro y filtro seleccionado para el banco de pintura:

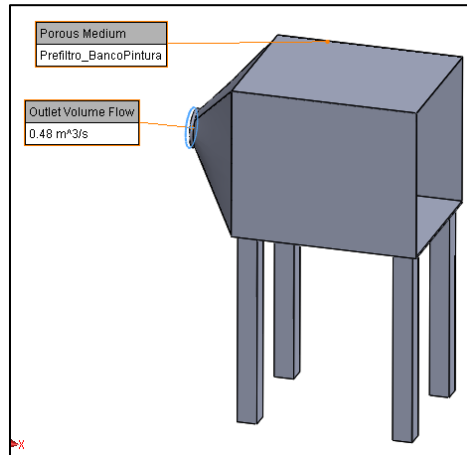
**Tabla 15***Configuraciones y condiciones iniciales de la simulación del banco de pintura*

<b>Configuraciones y condiciones iniciales</b>	<b>Valor</b>
Presión Atmosférica	9142 mmcda
Temperatura Ambiental	27 °C
Rugosidad de las paredes	150 micrómetros
Flujo de aire	0,48 m <sup>3</sup> /s
Malla Global	Nivel 3
Malla Local	Nivel 5

En la siguiente figura se muestra las condiciones de frontera utilizadas en la simulación.

**Figura 93**

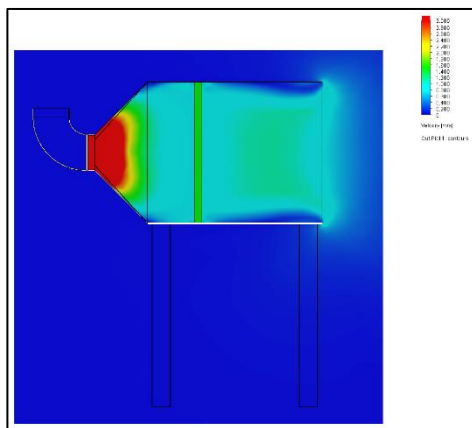
*Condiciones de frontera para la simulación del banco de pintura*



A continuación, se muestran los resultados gráficos de la simulación donde se observan desde diferentes ángulos la velocidad del aire a través del banco de pintura:

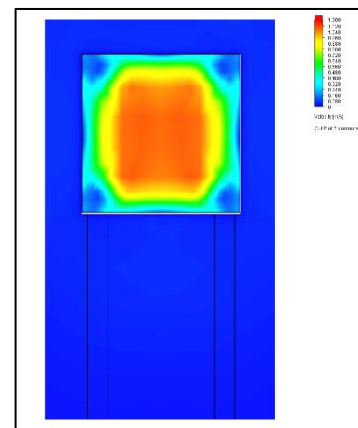
**Figura 94**

*Disposición lateral de la velocidad del aire en el banco de pintura*



**Figura 95**

*Disposición frontal de la velocidad del aire en el banco de pintura*



En la siguiente tabla se muestran algunos valores numéricos calculados a partir de la simulación.

**Tabla 16***Resultados de la simulación del banco de pintura*

<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>
Velocidad del aire	Mínima	1,422 m/s
	Máxima	1,528 m/s
	Promedio	1,492 m/s
Pérdida de presión total		36,09 mmcda
Pérdida de presión estática		48,773 mmcda

**7.2.3. Simulación de los brazos extractores**

A continuación, se muestran los resultados gráficos de la simulación donde se observan desde diferentes ángulos la velocidad del aire a través del brazo extractor:

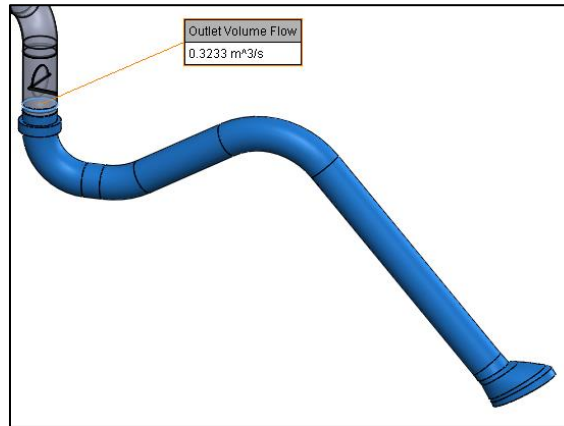
**Tabla 17***Configuraciones y condiciones iniciales de la simulación de los brazos de extracción*

<b>Configuraciones y condiciones iniciales</b>	<b>Valor</b>
Presión Atmosférica	9142 mmcda
Temperatura Ambiental	27 °C
Rugosidad de las paredes	150 micrómetros
Flujo de aire	0,3233 m <sup>3</sup> /s
Malla Global	Nivel 3
Malla Local	Nivel 5

En la siguiente figura se muestra las condiciones de frontera utilizadas en la simulación.

**Figura 96**

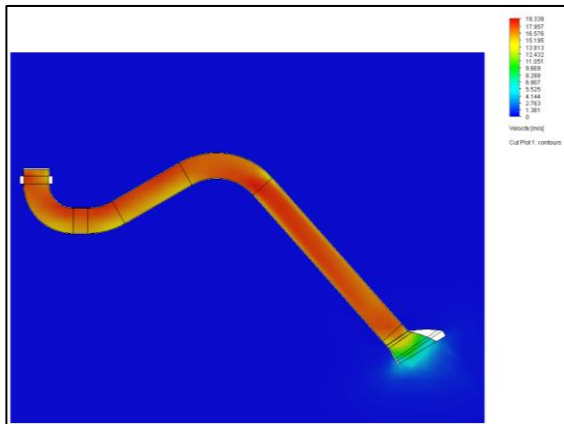
*Condiciones de frontera para la simulación de los brazos extractores*



A continuación, se muestran los resultados gráficos de la simulación donde se observa la velocidad del aire a través del brazo de extracción:

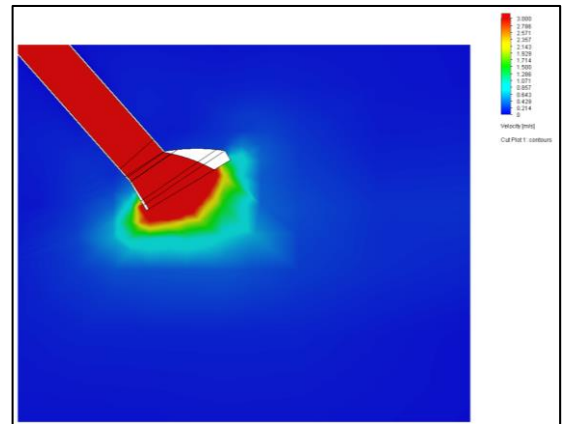
**Figura 97**

*Disposición lateral de la velocidad del aire en el brazo de extracción*



**Figura 98**

*Disposición lateral de la velocidad del aire en la boca del brazo de extracción*



En la siguiente tabla se muestran algunos valores numéricos calculados a partir de la simulación.

**Tabla 18***Resultados de la simulación de los brazos extractores*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Pérdida de presión total	85,7 mmcda
Pérdida de presión estática	71,97 mmcda

**7.2.4. Simulación del sistema de conductos**

La simulación del sistema de conductos se configuró como análisis de tipo interno en el que se determinaron valores numéricos de presión total en las mismas posiciones calculadas en la tabla 21 y de los caudales de aire en los cuatro puntos de conexión con los elementos de captación localizada. A través de un proceso de cálculo/error se determinaron los ángulos de los dampers de las válvulas de caudal variable (VAV) tal que la caída de presión en estas equilibrara el sistema y se lograra que cada elemento de captación localizada tuviera un caudal aproximado al de diseño. En la siguiente tabla se muestran los ángulos de las VAV utilizados en la simulación tomando como referencia que un ángulo cero equivale al damper completamente cerrado.

**Tabla 19***Ángulos del damper de las VAV para la simulación*

<b>Válvula</b>	<b>Ángulo</b>
Válvula de la mesa de soldadura	69°
Válvula del banco de pintura	57°
Válvula del brazo extractor 1	90°
Válvula del brazo extractor 2	62°

Para la simulación se utilizaron las siguientes configuraciones y condiciones iniciales.

**Tabla 20**

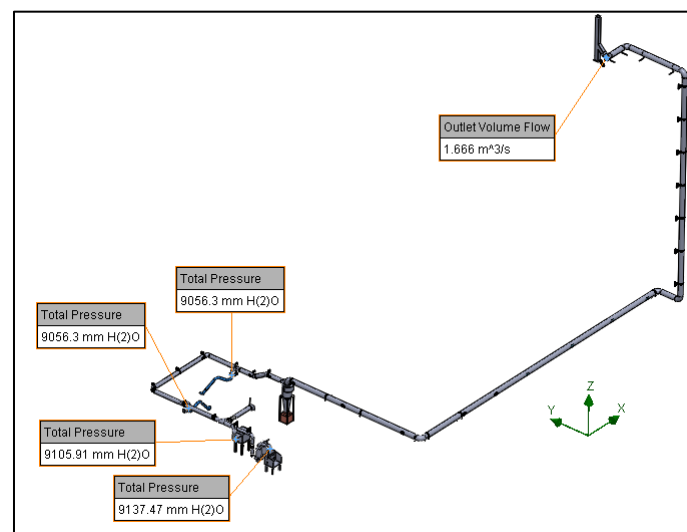
*Configuraciones y condiciones iniciales de la simulación del sistema de conductos*

<b>Configuraciones y condiciones iniciales</b>	<b>Valor</b>
Presión Atmosférica	9142 mmcda
Temperatura Ambiental	27 °C
Rugosidad de las paredes	150 micrómetros
Malla Global	Nivel 3

Las condiciones de frontera para esta simulación fueron el valor de la presión total en cada una de las conexiones con los elementos de captación local, determinados en las tres simulaciones anteriores, y el valor del caudal de aire en la entrada al ventilador, como muestra la siguiente figura:

**Figura 99**

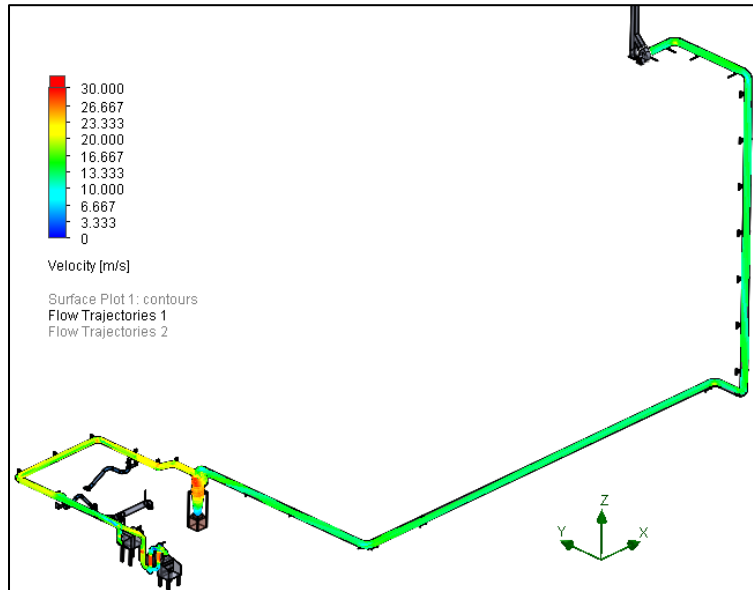
*Condiciones de frontera de la simulación del sistema de conductos*



A continuación, se muestran los resultados gráficos de la simulación: la velocidad y la presión total del aire a lo largo del sistema de conductos y la chimenea, y las líneas de trayectoria del aire dentro del ciclón.

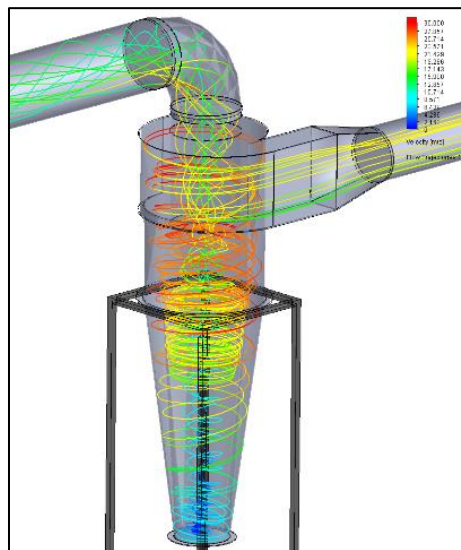
**Figura 100**

*Velocidad del aire a lo largo del sistema de conductos hasta antes del ventilador*



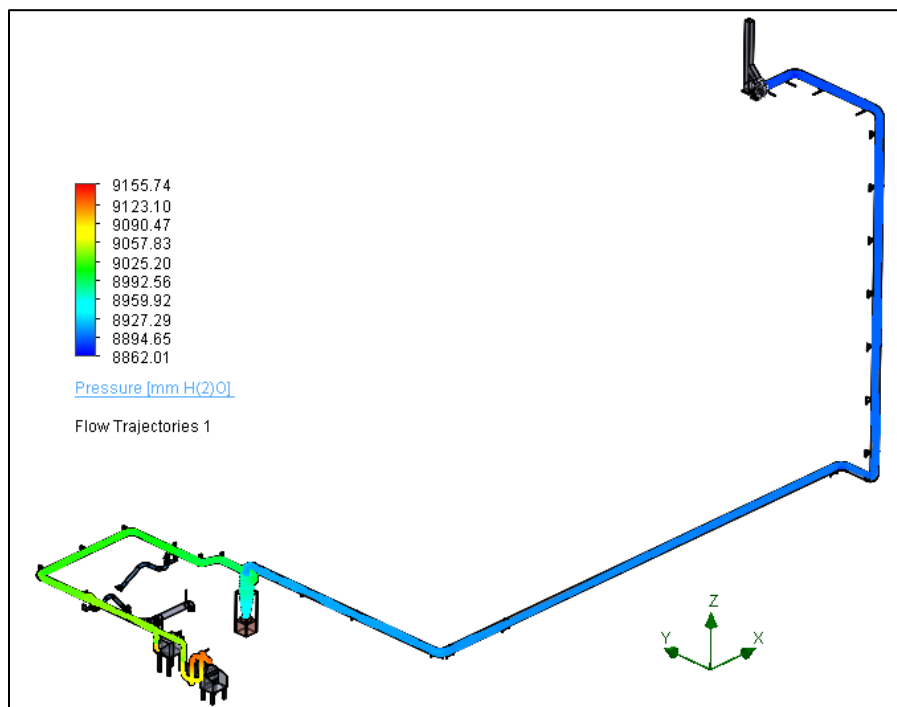
**Figura 101**

*Líneas de trayectoria del aire dentro del ciclón*



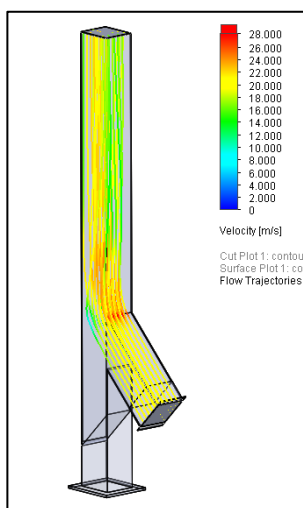
**Figura 102**

*Presión total a lo largo del sistema de conductos hasta antes del ventilador*



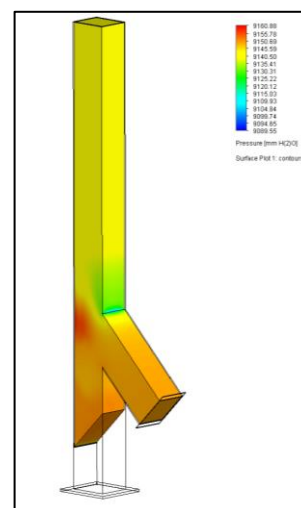
**Figura 103**

*Velocidad del aire en la chimenea después del ventilador*



**Figura 104**

*Presión total en la chimenea después del ventilador*



A continuación, se muestran los valores numéricos calculados en la simulación.

**Tabla 21**

*Valores de presión total y caudal de la simulación del sistema de conductos*

Posición	Presión Total (mmcda)	Posición	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
1.1	9137,47	Conexión mesa de soldadura	0,5358
1.2	9133,87	Conexión banco de pintura	0,4667
1.3	9126,61	Conexión brazo de extracción 1	0,3279
1.4	9086,81	Conexión brazo de extracción 2	0,3213
1.5	9084,90		
2.1	9106,13		
2.2	9049,29		
3.1	9056,26		
3.2	9044,80		
4.1	9056,15		
4.2	9018,56		
4.3	9007,96		
4.4	8872,18		
4.5	9168,90		

### 7.2.5. Comparación de resultados

A continuación, se presenta una comparativa entre los resultados obtenidos en la etapa de diseño y los resultados simulados, por consiguiente, la tabla 22 muestra las diferencias más significativas, donde se destaca que la mayor discrepancia se encuentra en la caída de presión en el ciclón, con un porcentaje de error del 49,62 % en comparación con la simulación. Por otro lado, la presión estática del ventilador, utilizada en la selección de este, presenta una diferencia del 7,89% entre los valores calculados en la etapa de diseño y los obtenidos en la simulación.

**Tabla 22**

*Comparativa de los resultados obtenidos en la etapa de diseño vs la simulación*

Posición	Presión Total (mmcda)		1.1	9135,7	9137,47
	Valores Calculados	Valores de Simulación			
			1.2	9132	9133,87
			1.3	9129,2	9126,61

1.4	9087,4	9086,81
1.5	9115,5	9084,90
2.1	9105,4	9106,13
2.2	9044,5	9049,29
3.1	9056,4	9056,26
3.2	9048,6	9044,80
4.1	9056,4	9056,15
4.2	9028,6	9018,56
4.3	9015,7	9007,96
4.4	8833,5	8872,18
4.5	9151,8	9168,90

	Valores Calculados	Valores de Simulación
Caída de presión en el ciclón	138,91 mmcda	92,84 mmcda

Presión estática del ventilador	299 mmcda	277,12 mmcda
<b>Caudal (m3/s)</b>		
Posición	Valores Calculados	Valores de la Simulación
Mesa de soldadura	0,54	0,5358
Banco de pintura	0,48	0,4667
Brazo extractor 1	0,3233	0,3279
Brazo extractor 2	0,3233	0,3213

### 7.3. Simulación del sistema de conducto auxiliar

En esta sección se muestran los resultados de la simulación del funcionamiento del sistema de conducto auxiliar.

#### 7.3.1. Situación de funcionamiento

En esta situación, se inhabilitó la mesa de soldadura cerrando completamente la VAV a 0°. Luego, se ajustaron las otras VAV para mantener el caudal de los demás componentes de extracción localizada según su diseño, y se compensó el flujo de aire que se dejó de recibir en la mesa de soldadura a través del sistema de conducto auxiliar. La tabla 23 muestra los ángulos en los que se configuraron las VAV para la simulación.

**Tabla 23**

*Ángulos de las VAV para la simulación con el conducto auxiliar*

VAV del banco de pintura	59°
VAV del brazo de extracción 1	0°
VAV del brazo de extracción 2	62,5°

Válvula de aire variable	Ángulo
VAV del conducto auxiliar	40°

**Tabla 24**

*Condiciones iniciales para la simulación con el conducto auxiliar*

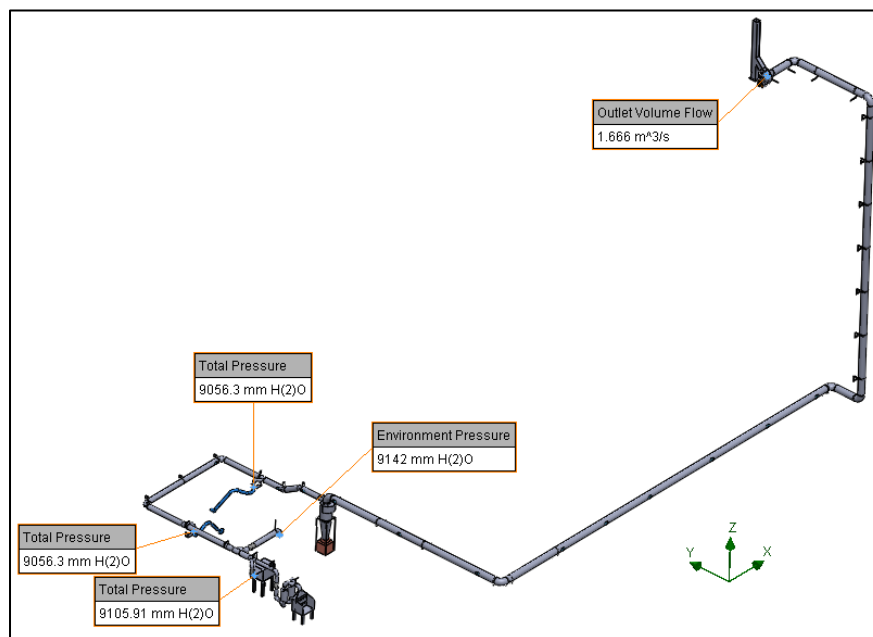
Configuraciones y condiciones iniciales	Valor
---	-------

Presión Atmosférica	9142 mmcda
Temperatura Ambiental	27 °C
Rugosidad de las paredes	150 micrómetros
Malla Global	Nivel 3

Para la simulación se utilizaron las configuraciones y condiciones iniciales, especificadas en la tabla 24. A su vez en la figura 105 se muestran las condiciones de frontera establecidas.

**Figura 105**

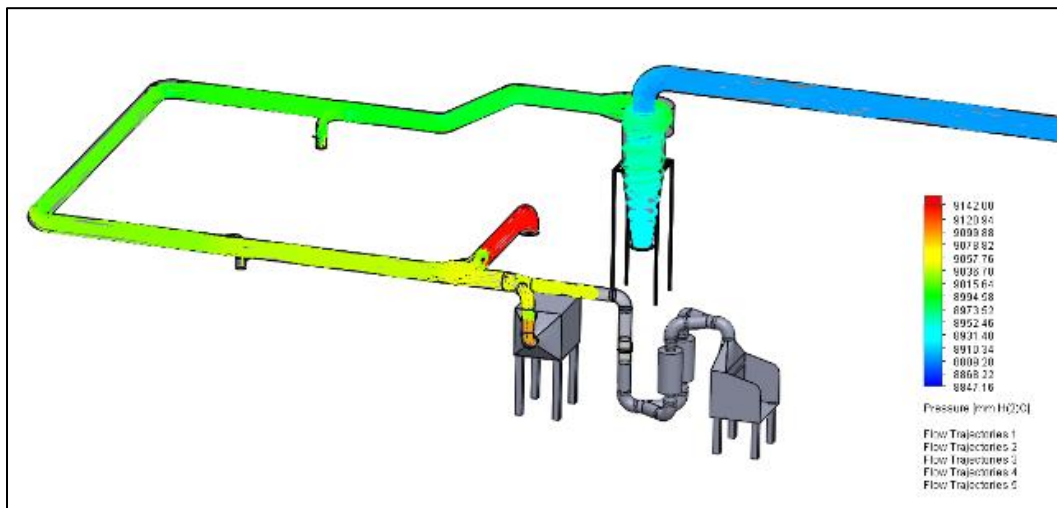
*Condiciones de frontera para la simulación con el conducto auxiliar*



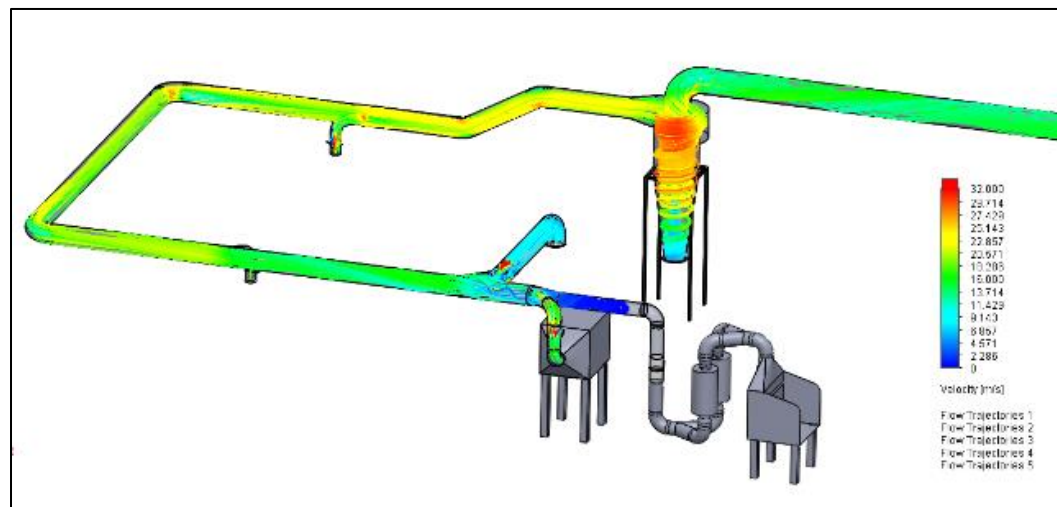
A continuación, se muestran los resultados gráficos de la simulación donde se observa la presión total en el primer gráfico y la velocidad en el segundo gráfico.

**Figura 106**

*Presión total en el sistema para la simulación con el conducto auxiliar*

**Figura 107**

*Velocidad en el sistema para la simulación con el conducto auxiliar*



En la tabla 25 se evidencia los valores numéricos de presión total, en las mismas posiciones usadas en la etapa de diseño, calculados por la simulación y los valores numéricos de caudal en los tres componentes restantes de extracción localizada y en el conducto auxiliar.

**Tabla 25***Resultados numéricos de la simulación con el conducto auxiliar*

<b>Posición</b>	<b>Presión Total (mmcda)</b>		
2.1	9106,16	<b>Posición</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>
2.2	9051,20	Conducto auxiliar	0,5352
3.1	9056,28	Conexión banco de pintura	0,4823
3.2	9044,72	Conexión brazo de extracción 1	0,3238
4.1	9056,36	Conexión brazo de extracción 2	0,3264
4.2	9018,90		
4.3	9007,76		
4.4	8872,18		
4.5	9168,90		

En los resultados mostrados antes se observa que efectivamente el conducto auxiliar asume el caudal de la mesa de soldadura gracias a la regulación de la VAV, lo que permite que se mantengan los valores de diseño de la velocidad del aire para garantizar el arrastre de las partículas. Esto a su vez evita que el caudal sea asumido por los otros componentes de extracción localizada y termine por deteriorar prematuramente los sistemas de filtrado.

## 8. Costos

### 8.1. Costo del sistema de ventilación para la renovación y acondicionamiento del aire

La tabla 26 detalla el costo total del sistema de ventilación en la zona 1 en pesos colombianos, abarcando mano de obra, ingeniería en detalle, materiales y transporte de materiales.

**Tabla 26**

*Costo total del sistema de ventilación de la zona 1*

DESCRIPCION	VALOR
Costo mano de obra	\$ 15.000.000
Costo ingeniería en detalle	\$ 8.000.000
Costo transporte de materiales	\$ 8.000.000
Costo de materiales	\$ 38.280.052
<b>Total</b>	<b>\$ 69.280.052</b>

En la tabla 28 se aprecia en detalle los costos de los materiales que hacen parte del sistema. Para ello se consultó en sitios web de empresas que ofrecen productos de ventilación mecánica.

### 8.2. Costo del sistema de extracción localizada

La tabla 27 detalla el costo total sistema de extracción localizada para la zona 2, en pesos colombianos, abarcando mano de obra, ingeniería en detalle, materiales y transporte de materiales.

**Tabla 27**

*Costo total del sistema de extracción localizada para zona 2*

DESCRIPCIÓN	VALOR
Costo mano de obra	\$ 25.000.000
Costo ingeniería en detalle	\$ 12.000.000
Costo transporte de materiales	\$ 10.000.000
Costo de materiales	\$ 101.362.183
<b>Total</b>	<b>\$ 148.362.183</b>

**Tabla 28***Costo de materiales del sistema de ventilación de la zona 1*

MATERIAL		CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Rejilla de impulsión - 300x200 / AIRFLOW		7 ud.	\$ 115.836 /ud.	\$ 810.852
Rejilla de extracción - 400x200 / AIRFLOW		7 ud.	\$ 145.603 /ud.	\$ 1.019.221
Portarejillas para ducto de Ø355 mm - 300x200 mm		7 ud.	\$ 111.392 /ud.	\$ 779.744
Portarejillas para ducto de Ø355 mm - 400x200 mm		7 ud.	\$ 111.392 /ud.	\$ 779.744
Rejilla de toma de aire exterior Ø355 mm / SCHAKO		2 ud.	\$ 339.787 /ud.	\$ 679.574
Regulador de caudal manual Ø355 mm		1 ud.	\$ 157.946 /ud.	\$ 157.946
Regulador de caudal manual Ø250 mm		2 ud.	\$ 97.488 /ud.	\$ 194.976
Codos	Codo 250 mm	5 ud.	\$ 98.874 /ud.	\$ 494.370
	Codo 355 mm	8 ud.	\$ 158.660 /ud.	\$ 1.269.280
	Codo 250 mm / 45°	2 ud.	\$ 80.274 /ud.	\$ 160.548
Unión 45° - Ø355 mm/Ø355 mm//Ø250 mm		2 ud.	\$ 184.733 /ud.	\$ 369.466
Tubería Ø250 mm		14 m	\$ 35.141 /m	\$ 491.974
Tubería Ø355 mm		56 m	\$ 53.404 /m	\$ 2.990.624
Ventilador centrífugo - CJBD/EC/C - 2525 - 4M - 1 IE4 / SODECA		1 ud.	\$ 3.201.525 /ud.	\$ 3.201.525
Ventilador - SVE 250/H / SODECA		1 ud.	\$ 2.426.750 /ud.	\$ 2.426.750
Deshumidificador - IT/ST 0260 / FISAIR		1 ud.	\$ 20.807.666 /ud.	\$ 20.807.666
Soporte lazo techo con tensor		8 ud.	\$ 35.687 /ud.	\$ 285.496
Soportes de tubería		12 ud.	\$ 113.358 /ud.	\$ 1.360.296
				\$ 38.280.052

En la tabla 29 se aprecia en detalle los costos de los materiales que hacen parte del sistema.

Para ello se consultó en sitios web de empresas que ofrecen productos de ventilación mecánica.

**Tabla 29***Costo de materiales del sistema de extracción localizada de la zona 2*

MATERIAL		CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Mesa de soldadura		1 ud.	\$ 6.000.000 /ud.	\$ 6.000.000
Banco de pintura		1 ud.	\$ 6.000.000 /ud.	\$ 6.000.000
Brazo extractor		2 ud.	\$ 8.575.049 /ud.	\$ 17.150.098
Filtro de soldadura - MFS Sistema de filtración modular / NEDERMAN		2 ud.	\$ 7.233.962 /ud.	\$ 14.467.924
Filtro para niebla de pintura - Tipo fibra de vidrio / PREMIUM FILTERS		1 m <sup>2</sup>	\$ 24.000 / m <sup>2</sup>	\$ 24.000
Prefiltro para niebla de pintura - Tipo cartón Kraft plegado / ANDREAE		1 m <sup>2</sup>	\$ 53.000 / m <sup>2</sup>	\$ 53.000
Ciclón - NC 0700 / NEDERMAN		1 ud.	\$ 12.595.440 /ud.	\$ 12.595.440
Codos	Codo 160 mm	2 ud.	\$ 54.360 /ud.	\$ 108.720
	Codo 200 mm	7 ud.	\$ 79.771 /ud.	\$ 558.397
	Codo 300 mm	2 ud.	\$ 138.549 /ud.	\$ 277.098
	Codo 400 mm	6 ud.	\$ 190.610 /ud.	\$ 1.143.660
	Codo 315 mm / 45°	2 ud.	\$ 87.160 /ud.	\$ 174.320
Uniones	Unión 45° - Ø300 mm/Ø200 mm/Ø200 mm	1 ud.	\$ 100.763 /ud.	\$ 100.763
	Unión 45° - Ø300 mm/Ø300 mm/Ø300 mm	1 ud.	\$ 134.351 /ud.	\$ 134.351
	Unión 45° - Ø300 mm/Ø300 mm/Ø160 mm	1 ud.	\$ 92.366 /ud.	\$ 92.366
	Unión 45° - Ø315 mm/Ø300 mm/Ø160 mm	1 ud.	\$ 96.565 /ud.	\$ 96.565
Reducción concéntrica Ø200 mm/Ø160 mm		2 ud.	\$ 58.778 /ud.	\$ 117.556
Reducción concéntrica Ø400 mm/Ø324 mm		1 ud.	\$ 119.656 /ud.	\$ 119.656
Yee simétrica 60° - Ø200 mm		2 ud.	\$ 125.954 /ud.	\$ 251.908

Válvula de volumen variable Ø200 mm - TVE / TROX TECHNIK	2 ud.	\$ 2.241.988 /ud.	\$ 4.483.976
Válvula de volumen variable Ø160 mm - TVE / TROX TECHNIK	2 ud.	\$ 2.220.995 /ud.	\$ 4.441.990
Válvula de volumen variable Ø300 mm - TVE / TROX TECHNIK	1 ud.	\$ 2.384.736 /ud.	\$ 2.384.736
Tubería Ø200 mm	3 m	\$ 28.465 /m	\$ 85.395
Tubería Ø300 mm	16 m	\$ 43.622 /m	\$ 697.952
Tubería Ø315 mm	4 m	\$ 48.534 /m	\$ 194.136
Tubería Ø400 mm	70 m	\$ 64.818 /m	\$ 4.537.260
Chimenea	1 ud.	\$ 5.000.000 /ud.	\$ 5.000.000
Ventilador centrífugo - AH13 S20 A9 / SODECA	1 ud.	\$ 15.935.446 /ud.	\$ 15.935.446
Soportes de tubería	25 ud.	\$ 113.358 /ud.	\$ 2.833.950
Tapas de inspección	10 ud.	\$ 130.152 /ud.	\$ 1.301.520
			\$ 101.362.183

## 9. Conclusiones

A continuación, se presentan los resultados más importantes obtenidos del desarrollo de este proyecto.

- Los datos recopilados revelan que la temperatura en el taller de mantenimiento varía entre 24.1°C y 25.7°C, con máximas de 27°C, lo que puede causar incomodidad. La humedad relativa fluctúa entre 68% y 77%, con picos de hasta 80%, también generando molestias. La velocidad del aire es casi nula, indicando una baja renovación del aire y aumentando el riesgo de exposición a contaminantes. No se detectaron concentraciones de monóxido de carbono, y los niveles de dióxido de carbono y material particulado están dentro de los límites permitidos. Estos resultados respaldan la necesidad de implementar un sistema de ventilación mecánica para mejorar el ambiente.
- Los datos recopilados en el exterior muestran fluctuaciones significativas en la temperatura, que varía entre 23°C y 27°C, con máximas superiores a 31°C. La humedad relativa también varía ampliamente, entre 65% y 87%, alcanzando hasta un 95%. La velocidad del aire fluctúa entre 1 m/s y 2.4 m/s, con máximos de 5.4 m/s. No se detectó presencia de CO en el exterior y los niveles de CO<sub>2</sub> están dentro de los valores típicos de la atmósfera (425 ppm - 453 ppm). Los valores de material particulado PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> están por debajo de los límites máximos permitidos (4.5 µg/m<sup>3</sup> - 13 µg/m<sup>3</sup> y 7 µg/m<sup>3</sup> - 18 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente). Estos hallazgos resaltan la importancia de acondicionar el aire exterior en términos de temperatura y humedad antes de utilizarlo para mantener un ambiente cómodo en el recinto.

- Las comparativas de temperatura y humedad entre el interior y el exterior del recinto muestran diferencias significativas. El interior del recinto logra amortiguar las fluctuaciones externas de temperatura, manteniendo valores por debajo de los 27°C. Se destaca la importancia de acondicionar el aire exterior antes de su introducción para mantener el confort térmico. En cuanto a la humedad, se observa una variabilidad marcada en los valores exteriores, mientras que en el interior se mantienen cerca del promedio externo. Esto sugiere que los niveles elevados de humedad son influenciados por el entorno del edificio. Estos hallazgos resaltan la necesidad de considerar la temperatura y humedad externas al diseñar un sistema de ventilación mecánica para garantizar condiciones óptimas y el bienestar de los ocupantes.
- Se diseñaron dos sistemas de ventilación mecánica para las zonas identificadas en los talleres de la División de Mantenimiento Tecnológico.
  - o El primero renueva el aire interior controlando temperatura y humedad, con un costo total de \$69'280.052.
  - o El segundo sistema extrae desechos y contaminantes generados por actividades industriales, con un costo total de \$148'362.183.
- Los resultados de la simulación del sistema de ventilación en la primera zona muestran una distribución efectiva del aire de impulsión en todo el recinto. Se logra mediante la presencia de 7 rejillas estratégicamente ubicadas, las cuales dirigen el aire hacia los 6 espacios de trabajo de esta área. Esta disposición garantiza que el aire renovado y acondicionado alcance la mayor parte de la zona, contribuyendo así a mantener condiciones óptimas de confort térmico y calidad del aire en cada uno de los espacios de trabajo.

- Al realizar la comparación entre los resultados obtenidos en la etapa de diseño y los resultados simulados del sistema de extracción se encontró que la presión estática del ventilador, empleada en su selección, presenta una diferencia del 7,89%.
- Los resultados de la simulación del conducto auxiliar respaldan su eficacia al absorber de manera exitosa en este caso el flujo proveniente de la mesa de soldadura mediante la regulación de la VAV. Esta operación asegura que las velocidades del aire, escogidas específicamente para capturar partículas, se mantengan constantes, sin afectar el rendimiento de otros componentes de extracción localizada. Esta estrategia a su vez contribuye a evitar un desgaste prematuro de los sistemas de filtración.
- Mediante el diseño de estos dos sistemas de ventilación se contribuyó a la “construcción de soluciones a necesidades propias”, siendo esto parte de la Misión de la Universidad Industrial de Santander, puesto que con la propuesta que se planteó, se le da solución al problema de aire estancado dentro de los talleres del área de mantenimiento, el cual genera inconformidad en lo que se refiere a sensación térmica y escasa renovación de aire y que a su vez busca mitigar factores que pueden afectar el adecuado desarrollo de las actividades de mantenimiento.

### Referencias bibliográficas

- A. Çengel, Y., & A. Boles, M. (2012). *Termodinamica - Cengel 7th* (McGraw Hill, Ed.; Séptima Edición).
- ACGIH. (1992). Ventilación industrial: manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales. En Gerneraltat Valenciana (Ed.), *American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc* (1a Ed. en Español).
- AIRFLOW. (2019). *Airflow Catálogo 2019*.
- ANDREAE. (s. f.). *Catálogo de Productos*. Recuperado 10 de junio de 2023, de [www.grupoequipa.com](http://www.grupoequipa.com)
- Angeriz Rebollo, D. (2018). *Caracterización de la materia particulada atmosférica* [Universidade da Coruña]. <https://core.ac.uk/download/pdf/199450849.pdf>
- Escobar y Martínez. (2020, enero 17). *Pegante Bóxer: usos industriales, medidas de seguridad y principales características*.
- FISAIR. (s. f.). *Deshumidificación y ventilación para procesos industriales y piscinas*.
- Fisk, William J., & Arthur H. Rosenfeld. (1997). Estimates of Improved Productivity and Health from Better Indoor Environments. *Indoor Air*.
- Fluke Corporation. (2006). *975 AirMeter Test Tool*.
- INSST - España. (2023). *LÍMITES DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL*. <https://bdlep.insst.es/LEP/vlapr.jsp?ID=377&nombre=Di%C3%B3xido%20de%20carbono>

- Instituto para la salud Geoambiental. (2020). *Dióxido de carbono CO2*.  
<https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-carbono-co2/>
- Instituto Sindical de Trabajo, A. y S. (ISTAS-C. (2019). *Exposición laboral a estrés térmico por calor y sus efectos en la salud. ¿Qué hay que saber?*
- MINAMBIENTE DE COLOMBIA, & Hernández Cruz, S. R. (2016). *Documento tecnico de soporte*.  
<https://www.andi.com.co/Uploads/Documento%20tecnico%20de%20soporte%20Agosto%20V5%20Final.pdf>
- Resolución 2254 - Niveles Calidad del Aire, (2017).
- Nederman. (2012). *Nederman*. [www.nederman.com](http://www.nederman.com).
- NOVATUB. (2016). *Conductos y accesorios para ventilación y climatización*.
- Organización Mundial de la Salud. (2022, diciembre 19). *Contaminación del aire ambiente (exterior)*. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- PREMIUM FILTERS SAS. (s. f.). *FILTRACIÓN INDUSTRIAL*.  
[www.premiumfilters.store](http://www.premiumfilters.store)
- Salvador Escoda S.A. (s. f.). Manual Práctico de Ventilación. En *Manual Técnico*.
- SCHAKO. (2013). *Rejilla de toma de aire exterior ALA - R*.
- Seppänen, O., & Fisk, W. J. (2002). Association of ventilation system type with SBS symptoms in office workers. *Indoor air. Pub Med*, 98-112.
- SISAIRE - IDEAM. (2020). *CALIDAD DEL AIRE*.  
<http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>

Sundell J. (2004). On the history of indoor air quality and health. *Indoor Air. Pub Med.*

TROX TECHNIK. (2022). *Unidades terminales VAV para regulación de caudal variable TVE.*

United States Environmental Protection Agency. (2022). *Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM)*. <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>

Wang, L. K., Norman Pereira, D. C., & Hung, Y.-T. (2004). *Air Pollution Control Engineering* (Vol. 1).