



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**"DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN Y
EXTRACCIÓN DE OLORES PARA EL PROCESO DE MOLIENDA
DE ESPECIAS"**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR:

GUIDO FERNANDO RAMOS FLORES

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**"DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN Y
EXTRACCIÓN DE OLORES PARA EL PROCESO DE MOLIENDA
DE ESPECIAS"**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR: GUIDO FERNANDO RAMOS FLORES

DIRECTOR: Ing. SANTIAGO ALEJANDRO LÓPEZ ORTIZ

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, **Guido Fernando Ramos Flores**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Guido Fernando Ramos Flores, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 19 de diciembre de 2022



Guido Fernando Ramos Flores

020200930-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico. **DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN Y EXTRACCIÓN DE OLORES PARA EL PROCESO DE MOLIENDA DE ESPECIAS**, realizado por el señor: **GUIDO FERNANDO RAMOS FLORES**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2022-12-19
Ing. Santiago Alejandro López Ortiz DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2022-12-19
Ing. John German Vera Luzuriaga ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2022-12-19

DEDICATORIA

A mis padres Guido y Maritza quienes con mucho esfuerzo y dedicación han hecho que pueda llegar a cumplir una meta muy importante en mi vida, por siempre apoyarme, enseñarme que la disciplina y constancia hacen que pueda conseguir todo lo que me proponga. A mi hermana por su apoyo incondicional y a toda mi familia por estar al pendiente de mí y ayudarme a crecer profesionalmente.

Guido

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Facultad de Mecánica, por darme la oportunidad de obtener una profesión y ser una ayuda para la sociedad. A Dios por dotarme de salud y sabiduría para poder cumplir este gran reto. A mis padres, hermana y familiares por su apoyo y comprensión. Un agradecimiento especial a la empresa INKLERSA S.A. por permitirme realizar el presente trabajo. Finalmente, a todas las personas que directa o indirectamente contribuyeron a mi investigación y formación como profesional.

Guido

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Justificación del proyecto.....	3
1.4. Alcance.....	4
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	5
2.1. Ventilación mecánica.....	5
2.1.1. Ventiladores.....	7
2.1.1.1. Ventiladores axiales.....	7
2.1.1.2. Ventiladores centrífugos.....	8
2.1.1.3. Ventiladores tipo hongo.....	9
2.2. Ubicación del ventilador.....	10
2.3. Campanas de ventilación.....	12
2.4. Filtros para el suministro de aire.....	15
2.5. Ductos de inyección y extracción.....	16
2.5.1. <i>Material para la construcción de ductos</i>	16
2.5.2. <i>Refuerzos y tipos de uniones para ductos rectangulares</i>	20
2.6. Rejillas de inyección y descarga.....	21
2.7. Dampers para sistemas de ventilación.....	22

2.8.	Sistema de extracción y ventilación	23
2.8.1.	<i>Equipos para la extracción y ventilación</i>	23
2.9.	Normas para el diseño de sistemas de ventilación	24
2.9.1.	<i>Parámetros para el diseño según el manual de ventilación ACGIH</i>	24
2.9.2.	<i>Parámetros para el diseño según ASHRAE</i>	27
2.10.	Situación del área de trabajo	30
2.10.1.	<i>Descripción del lugar</i>	30
2.10.1.1.	<i>Equipos utilizados en el lugar</i>	30
2.10.1.2.	<i>Condiciones del área de molienda</i>	32
2.11.	Parámetros de diseño	33
2.12.	Flujo volumétrico y flujo másico	34
2.13.	Pérdidas de presión en los ductos	34
2.14.	Número de Reynolds	35
2.15.	Presiones del sistema de ventilación	36

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	37
3.1.	Diseño conceptual	37
3.1.1.	<i>Requerimientos del sistema</i>	39
3.1.2.	<i>Análisis funcional</i>	39
3.1.3.	<i>Funciones</i>	40
3.1.3.1.	<i>Definición de las funciones</i>	40
3.1.4.	Matriz morfológica	41
3.1.4.1.	<i>Conceptos de solución</i>	42
3.1.5.	<i>Evaluación del sistema preliminar óptimo</i>	43
3.2.	Diseño de detalle del sistema de ventilación y extracción de la solución 3	46
3.2.1.	Cálculo de la caída de presión estática del sistema de extracción	47
3.2.1.1.	<i>Cálculo de caída de presión estática por longitud del subsistema 1</i>	50
3.2.1.2.	<i>Caída de presión estática por accesorios del subsistema 1</i>	54
3.2.1.3.	<i>Cálculo de caída de presión estática en la entrada de las campanas del subsistema 1</i>	57
3.2.1.4.	<i>Cálculo de la presión estática total del subsistema 1</i>	59
3.2.1.5.	<i>Caída de caída de presión estática por longitud del subsistema 2</i>	60
3.2.1.6.	<i>Caída de presión estática por accesorios del subsistema 2</i>	62
3.2.1.7.	<i>Cálculo de caída de presión estática en la entrada de las campanas del subsistema 2</i>	64

3.2.1.8.	<i>Cálculo de la presión estática total del subsistema 2</i>	64
3.3.	Cálculo de la caída de presión estática a la entrada del sistema	66
3.3.1.	<i>Cálculo de la velocidad y dimensiones del ducto en la entrada</i>	66
3.3.2.	<i>Caída de presión estática por longitud en la entrada</i>	68
3.3.3.	<i>Caída de presión estática por accesorios en la entrada</i>	69
3.3.4.	<i>Cálculo de la presión estática total en el sistema de entrada</i>	72
3.4.	Selección de equipos y accesorios del sistema de ventilación y extracción	73
3.4.1.	<i>Selección de los ventiladores</i>	74
3.4.1.1.	<i>Selección del ventilador a la salida</i>	74
3.4.1.2.	<i>Selección del ventilador de entrada</i>	75
3.4.2.	Selección de los accesorios	77
3.4.2.1.	<i>Selección de los filtros</i>	77
3.4.2.2.	<i>Selección de los ductos</i>	78
3.4.3.	Análisis de costos	79
3.4.3.1.	<i>Costos directos</i>	79
3.4.3.2.	<i>Costo mano de obra y transporte</i>	80
3.4.3.3.	<i>Costos imprevistos</i>	80
3.4.3.4.	<i>Costos totales</i>	80

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	81
4.1	Modelado	81
4.2	Simulación del sistema de ventilación y extracción	82
4.3	Validación	89
	CONCLUSIONES	92
	RECOMENDACIONES	93
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Valores recomendados para la velocidad de control	13
Tabla 2-2:	Calibres recomendados de láminas de metal en ductos rectangulares o circulares	17
Tabla 3-2:	Denominación, espesor y masa de chapa acero negro y galvanizado en caliente ..	17
Tabla 4-2:	Peso por unidad de área de acuerdo con el calibre de lámina	18
Tabla 5-2:	Requerimientos estándar para sellado de ductos	18
Tabla 6-2:	Rugosidad de materiales para ductos.....	19
Tabla 7-2:	Velocidades recomendadas para diseñar ductos.....	26
Tabla 8-2:	Coefficiente de pérdida local en un codo.....	30
Tabla 9-2:	Equipos del área de trabajo.....	31
Tabla 1-3:	Matriz morfológica de posibles soluciones	42
Tabla 2-3:	Evaluación técnica del sistema preliminar	44
Tabla 3-3:	Evaluación económica del sistema preliminar	45
Tabla 4-3:	Valores técnicos y económicos	45
Tabla 5-3:	Resumen de las dimensiones de cada campana (m)	48
Tabla 6-3:	Caudales que pueden extraer las campanas	49
Tabla 7-3:	Resumen de caudal, longitud, áreas transversales del subsistema 1.....	52
Tabla 8-3:	Pérdidas por longitud para cada tramo de ducto del subsistema 1	53
Tabla 9-3:	Pérdida de presión en las transiciones del subsistema 1	55
Tabla 10-3:	Pérdida de presión para una bifurcación principal y secundaria del subsistema 1 .	56
Tabla 11-3:	Pérdida de presión en los codos del subsistema 1	57
Tabla 12-3:	Resumen de caudal, longitud, áreas transversales del subsistema 2.....	61
Tabla 13-3:	Pérdidas por longitud para cada tramo de ducto del subsistema 2	61
Tabla 14-3:	Pérdida de presión para una bifurcación principal y secundaria del subsistema 2 .	62
Tabla 15-3:	Pérdida de presión en los codos, considerando la campana 3 y 4	63
Tabla 16-3:	Valores totales del sistema de ventilación.....	66
Tabla 17-3:	Resumen de caudal, longitud, áreas transversales en la entrada.....	68
Tabla 18-3:	Pérdidas por longitud en el ducto de entrada.....	69
Tabla 19-3:	Pérdida de presión en la transición 2 del ducto de entrada.....	70
Tabla 20-3:	Pérdida de presión local en el codo a la entrada.....	70
Tabla 21-3:	Variables para seleccionar la rejilla de ventilación	71
Tabla 22-3:	Pérdida de presión en la rejilla de inyección	72
Tabla 23-3:	Valores totales del sistema de ventilación.....	73
Tabla 24-3:	Costos directos	79
Tabla 25-3:	Costos mano de obra y transporte	80

Tabla 26-3: Costos imprevistos.....	80
Tabla 27-3: Costos totales.....	80
Tabla 1-4: Datos de velocidad en el cuarto y ductos del subsistema 1	84
Tabla 2-4: Datos de velocidad en el cuarto y ductos del subsistema 2	87
Tabla 3-4: Validación de datos de velocidad en el interior.....	89
Tabla 4-4: Datos de simulación en diferentes puntos del ducto.....	90
Tabla 5-4: Datos de simulación en diferentes puntos del ducto.....	91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Ventilación por sobre presión	6
Ilustración 2-2:	Ventilación por depresión	6
Ilustración 3-2:	Ventilación por extracción localizada.....	7
Ilustración 4-2:	Ventilador axial.....	8
Ilustración 5-2:	Ventilador Centrífugo	9
Ilustración 6-2:	Ventilador tipo hongo	10
Ilustración 7-2:	Relación entre el volumen de aire y la caída de presión según el tipo de ventilador	10
Ilustración 8-2:	Ventilación tipo utility	11
Ilustración 9-2:	Ventilación tipo in line	12
Ilustración 10-2:	Campana suspendida.....	12
Ilustración 11-2:	Campana tipo Isla	15
Ilustración 12-2:	Filtro de suministro de aire	16
Ilustración 13-2:	Detalles de uniones transversales ut	20
Ilustración 14-2:	Detalles de uniones longitudinales ul (medidas en mm).....	21
Ilustración 15-2:	Rejilla de simple deflexión	21
Ilustración 16-2:	Rejilla de doble deflexión	22
Ilustración 17-2:	Rejilla fija	22
Ilustración 18-2:	Dampers con lamas	23
Ilustración 19-2:	Factor de pérdida en la entrada de una campana	25
Ilustración 20-2:	Pérdida de presión total en función del diámetro equivalente y velocidad....	28
Ilustración 21-2:	Valores de coeficiente de pérdida local en una transición rectangular	29
Ilustración 22-2:	Valores de coeficiente de pérdida local en una bifurcación rectangular.....	29
Ilustración 23-2:	Ingreso al área de molienda	32
Ilustración 24-2:	Cuarto de molienda.....	33
Ilustración 1-3:	Proceso general de desarrollo y diseño según la norma VDI 2221.....	38
Ilustración 2-3:	Análisis funcional del sistema de ventilación y extracción	39
Ilustración 3-3:	Funciones del sistema de ventilación y extracción	40
Ilustración 4-3:	Evaluación técnica y económica de las posibles soluciones.....	46
Ilustración 5-3:	Sistema de extracción vista superior y laterales acotado por tramos	47
Ilustración 6-3:	Sistema de entrada vista superior acotado por tramos	66
Ilustración 7-3:	Valores de pérdida de presión para la rejilla. Medida comercial de 20*20in con 1000 ft/min y con pérdida de 0,169 in wg	71
Ilustración 8-3:	Ventilador tipo hongo GB-180HP-10.....	75

Ilustración 9-3: Curva de operación de ventilador tipo hongo, presión estática en función del caudal.....	75
Ilustración 10-3: Ventilador centrífugo BSQ-200HP-10	76
Ilustración 11-3: Curva de operación de ventilador centrífugo, presión estática en función del caudal.....	76
Ilustración 12-3: Filtro hepa.....	77
Ilustración 1-4: Modelado en SolidWorks	81
Ilustración 2-4: Mallado del sistema de ventilación y extracción	82
Ilustración 3-4: Malla refinada en los puntos de interés del sistema de ventilación y extracción	82
Ilustración 4-4: Líneas de corriente de flujos de aire del subsistema 1	83
Ilustración 5-4: Líneas de corriente de flujos de aire cerca de los equipos de molienda 1 y 2	84
Ilustración 6-4: Velocidades de diseño y simulación en el subsistema 1	85
Ilustración 7-4: Líneas de corriente de flujos de aire del subsistema 2.....	85
Ilustración 8-4: Líneas de corriente de flujos de aire cerca de los equipos de molienda 3 y 4	86
Ilustración 9-4: Líneas de corriente de flujos de aire en la entrada al área de molienda.....	86
Ilustración 10-4: Velocidades de diseño y simulación en el subsistema 2.....	87
Ilustración 11-4: Presión estática de aire del subsistema 1	88
Ilustración 12-4: Presión estática de aire del subsistema 2	88
Ilustración 13-4: Presión estática de aire del subsistema 2	90

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: SELECCIÓN DEL VENTILADOR TIPO HONGO DEL CATÁLOGO GREENHECK

ANEXO B: SELECCIÓN DEL VENTILADOR CENTRÍFUGO DEL CATÁLOGO GREENHECK

ANEXO C: PLANOS DE LOS DUCTOS Y CAMPANAS DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN Y EXTRACCIÓN

RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue el diseño y simulación de un sistema de ventilación y extracción de olores en la fábrica INKLERSA, con una capacidad de 2700 cfm mediante la utilización de ventiladores, para la renovación del aire generado en la molienda de especias. El diseño del sistema se inició con el estudio previo para determinar la contaminación en el área de trabajo, generada en la molienda de especias en especial la molienda del comino, posteriormente se procedió a seleccionar la mejor alternativa siendo esta el diseño por campana suspendida. A partir de lo cual comenzó el diseño de detalle que es el dimensionamiento de las campanas; los ductos de entrada como de salida mediante el método de pérdida de carga constante, para obtener la pérdida total del sistema, además se emplearon normas como la UNE, SMACNA y manual como el ACGIH; se seleccionaron los ventiladores en base a los cálculos. Para analizar el diseño se elaboró una simulación mediante el uso del software SolidWorks CFD teniendo como resultado valores parecidos a los establecidos en las normas. Por último, se realizó una verificación y validación del sistema teniendo un 4.3% de error relativo porcentual, con lo cual se comprueba que el diseño está correcto, dejando así la posibilidad de construcción a la empresa. Se recomienda el uso de campanas localizadas para evitar que los olores se dispersen en el área de trabajo.

Palabras clave: <SISTEMA DE VENTILACIÓN>, < EXTRACCIÓN DE OLORES>, <MOLIENDA DE ESPECIAS>, <CAMPANA SUSPENDIDA>, <SOLIDWORKS (SOFTWARE)>.

0249-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

The objective of this project was the design and simulation of a ventilation and odor extraction system at INKLERSA factory, with a capacity of 2700 cfm through the use of fans, for the renewal of the air generated in the grinding of spices. The system design began with the previous study to determine the contamination in the work area, generated in the grinding of spices. Especially, the grinding of cumin, later we proceeded to select the best alternative being the design by suspended hood. From the detailed design began, which is the sizing of the hoods; the input and output ducts using constant pressure loss method, to obtain the total loss of the system, standards such a UNE, SMACNA and manual such as ACGIH were also used; fans were selected based on the calculations. To analyze the design, a simulation was made using the SolidWorks CFD software, resulting in values similar to those established in the standards. Finally, a verification and validation of the system was carried out, having a 4.3% relative percentage error, it verifies that the design is correct, thus leaving the possibility of construction to the company. The use of localized hoods is recommended to prevent odors from dispersing in the work area.

Keywords: <VENTILATION SYSTEM>, < ODOR EXTRACTION>, <SPICE GRINDING>, <SUSPENDED HOOD>, <SOLIDWORKS (SOFTWARE)>.



Lic. Sandra Paulina Porrás Pumalema

C.I.0603357062

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Ambato la empresa INKLERSA S.A. la misma que se encuentra ubicada en la parroquia Santa Rosa, en el Barrio Venezuela – Elevación, tiene su planta de molienda de especias en la cual muelen una gran variedad de productos, entre ellas está el comino, el ají, etc. generándose un malestar en toda la fábrica cuando se muele el comino, por lo que es necesario un sistema de ventilación y extracción de olores generados en la molienda para renovar el aire del área de molienda. Los sistemas de ventilación permiten inyectar o extraer aire, con lo cual busca renovar o hacer circular el aire empleando ventiladores (axial, centrifugo, tipo hongo). Los principales parámetros a tener en cuenta para diseñar y seleccionar los accesorios (ductos, damper, rejillas, filtros, campanas) y equipos son: la velocidad en los ductos y en el área de contaminación, la presión estática que se genera por los accesorios del sistema y la temperatura. El presente trabajo tiene como objetivo el diseñar un sistema de ventilación y extracción de aire con una capacidad de 2700 cfm mediante la utilización de ventiladores, para la reducción de los olores de las especias generadas en la molienda, para lo cual se utilizan, normas, manuales de ventilación y catálogos, con el fin de realizar un diseño optimo, establecer dimensiones adecuadas y determinar el factor de seguridad de los equipos, además se realiza una simulación mediante la cual se pueden comparar con los datos de diseño y realizar una validación del sistema de ventilación con lo cual garantiza su correcto funcionamiento.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Los sistemas de ventilación son empleados para la ventilación de aire ambiente interior de un local, mediante la utilización de ventiladores, los mismos que son turbomáquinas que se emplean para producir una corriente de flujo de aire de manera que se pueda hacer circular el aire, diluir los olores, proporcionar condiciones de confort y dar oxígeno al usuario. Por ser un elemento fundamental en la industria, es importante conocer los diferentes tipos de sistemas de ventilación ya sea mecánico o alternativo de manera que permita la extracción de olores no deseados circundantes en el área de trabajo, los cuales causan una disminución del rendimiento de los operarios y por consiguiente la disminución de la producción.

El sistema requiere de ductos para suministrar y extraer aire, los mismos que se ubican en diferentes sitios, siendo lo mejor ubicar uno al extremo del otro. El ACGIH: Industrial Ventilation Manual es un manual de prácticas, de experiencias de los miembros del comité de ventilación industrial de ACGIH y una recopilación de datos de investigación e información sobre diseño, mantenimiento y evaluación de sistemas de ventilación industrial, además presenta métodos para diseñar y probar los sistemas (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1998).

Además, existen otros manuales basados en la experiencia como son el ASHRAE y SMACNA que es una recopilación de variables a tomar en cuenta a la hora de diseñar. La empresa INKLERSA es especializada en la producción de alimentos 100% naturales y saludables dividiéndose entre especias, frutos secos, granos secos, harinas precocinadas, plantas medicinales, entre otros.

El diseño de ventilación se inicia identificando el tipo de sustancia y sus causas de manera que permita la circulación rápida o lenta hacia el medio externo, para así reducir la contaminación en el área de trabajo. Con esto se reduce el malestar de los empleados y se aumenta el ritmo de trabajo.

1.2. Planteamiento del problema

Debido a que INKLERSA tiene su propia planta de producción para realizar todos sus procesos y productos, se ha detectado el inconveniente al generar fuertes olores en el área de molienda de especerías, el mismo que causa una disminución de la capacidad respiratoria para el operario y una inconformidad en el espacio de trabajo.

El proceso de molienda de especias específicamente con el comino se ha detectado un gran problema al generarse fuertes olores, y una deficiencia en la extracción de dichos olores, por lo cual se requiere diseñar el sistema de ventilación y extracción de olores para generar un ambiente cómodo de trabajo.

1.3. Justificación del proyecto

El presente proyecto tiene como propósito ventilar el área de trabajo y cuidar la salud de los trabajadores en la empresa INKLERSA, mediante el diseño del sistema de ventilación y extracción empleando métodos, teorías, normas, manuales y catálogos para la correcta selección de equipos; y así lograr un diseño óptimo que permita a la empresa mejorar el ambiente y el rendimiento de los trabajadores.

Conociendo los fundamentos teóricos de mecánica de fluidos y los principios de ventilación mecánica se va a diseñar un sistema que sea capaz de renovar 2700 cfm, el cual va a funcionar bajo la ventilación por extracción localizada. Se realizará un estudio del área de trabajo tomando medidas del lugar para determinar el tipo de ventilación óptimo para la renovación del aire.

El diseño del sistema servirá como una guía más actualizada para el diseño de ductos, campanas y selección de equipos de ventilación, además su simulación en el software SolidWorks CFD nos permitirá medir variables de velocidad y presión.

Además, el presente proyecto se genera de una necesidad real de la empresa INKLERSA de renovar aire y cuidar la salud de los trabajadores mediante el diseño del sistema de ventilación y extracción, ya que la misma posee un sistema de ventilación deficiente y genera una incomodidad en toda la empresa, y por medio del presente proyecto se pretende presentar una opción para que el dueño de la empresa lo construya posteriormente.

1.4. Alcance

El presente trabajo será el diseño de un sistema de ventilación y extracción de olores, mediante el correcto diseño y la selección de equipos empleando normas, manuales y catálogos para reducir la contaminación del área de trabajo, además se tendrá una simulación para asegurar el correcto funcionamiento de este mediante el uso del software SolidWorks CFD. Dejando así la posibilidad de construcción a la empresa una vez terminado el trabajo de titulación.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Diseñar un sistema de ventilación y extracción de aire en la fábrica INKLERSA con una capacidad de 2700 cfm mediante la utilización de ventiladores, para la reducción de los olores de las especias generadas en la molienda.

1.5.2. Objetivos específicos

- Establecer los parámetros que intervienen en el cálculo de la tasa de flujo volumétrico, diseño y selección de componentes aplicando recomendaciones de ASHRAE, SMACNA y ACGIH para definir las características de los componentes del sistema.
- Aplicar los principios de ventilación, los principios de mecánica de fluidos de aire para una correcta selección de los equipos y accesorios del sistema.
- Validar el diseño del sistema a través de la simulación en el software SolidWorks CFD para verificar que el sistema cumpla con los parámetros de diseño establecidos en el manual ACGIH y las normas ASHRAE y SMACNA.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En el presente capítulo tiene como objetivo la recopilación de toda la información necesaria, con referencia a tipos de sistemas de ventilación y el diseño en base a normas, que aportaran a este proyecto técnico, además consta de variables para tener en cuenta a la hora de diseñar los sistemas, basado en información tanto de normas, manuales y fuentes bibliográficas primarias.

2.1. Ventilación mecánica

La ventilación mecánica involucra tanto la inyección o extracción de aire a un área determinada, empleando ventiladores y tenemos:

- Sistema de Extracción: Es empleado para extraer elementos contaminantes y se basa en expulsar el aire contaminado del interior del ambiente cerrado. El sistema es muy utilizado en parqueaderos pequeños (Marín, 2013, p. 18).
- Sistema de Inyección: Es empleado para inyectar aire fresco a un ambiente. El sistema se emplea con los objetivos, de crear un contorno cómodo en el ambiente o reemplazar el aire contaminado que se haya extraído (Marín, 2013, p. 18).
- Sistema Extracción/Inyección: Es combinación de los dos sistemas mencionados. En el caso de parqueaderos subterráneos, la tasa de flujo volumétrico de extracción es mayor a la de inyección, de esta forma se genera una presión negativa que fuerza el ingreso de aire por las rampas, logrando ahorrar los recursos (Marín, 2013, p. 18).

En cualquier área de trabajo o lugar a ventilar no se crea ni se destruye aire, para extraer aire, por un lado, debe entrar el mismo flujo de aire por el otro lado. Existen varios tipos de ventilación, entre los cuales tenemos:

- Por sobre presión: En lugares donde se extrae “aire del interior ocurre que el aire del interior saldrá por rejillas, por ventanas o puertas” (González et al., p. 68). El local se encontrará en sobrepresión y debido a esto el aire buscará lugares abiertos para salir.

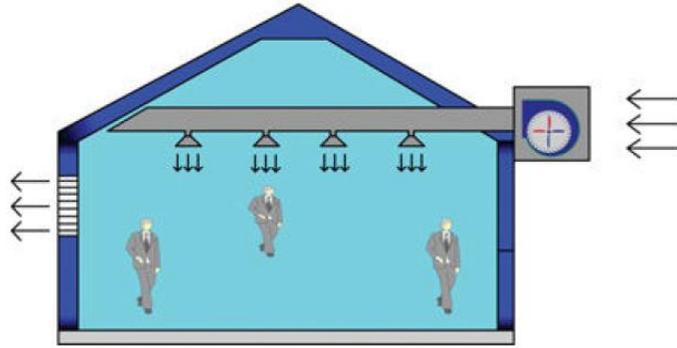


Ilustración 1-2: Ventilación por sobre presión

Fuente: (González et al., p. 68)

- Por depresión: Se produce cuando instalamos un extractor, el cual creará una depresión en el local. Si se extrae aire de un local, el aire exterior tiende a ingresar ya sea por una rejilla por una ventana o algún lugar abierto, esto se produce de acuerdo con la diferencia de presiones que existen entre el exterior y el interior del local (González et al., p. 68).

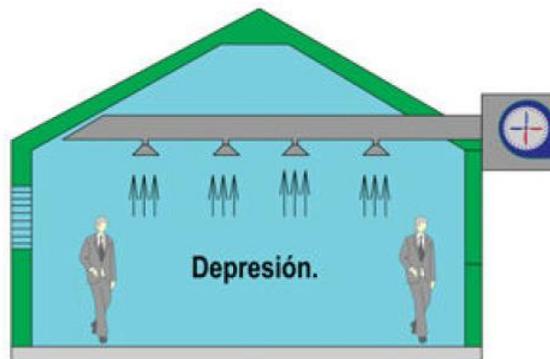


Ilustración 2-2: Ventilación por depresión

Fuente: (González et al., p. 69)

- Extracción localizada: En muchos locales se realizan procesos de emisión de gases u olores. Si el proceso se realiza en un lugar específico, lo mejor es emplear una extracción localizada para impedir que se expandan por todo el local. Este método consiste en arrastrar el aire contaminado mediante una velocidad mínima de aire y para lo cual se debe calcular el caudal en función de la superficie de la campana (González et al., p. 69).



Ilustración 3-2: Ventilación por extracción localizada

Fuente: (González et al., p. 69)

- Extracción centralizada: En edificios donde no tienen ventanas como es el caso de las oficinas se instala este sistema para todo el edificio. Mediante una red de conductos se comunican todos los locales, asegurándose de que el aire pueda salir mediante otra red hacia el exterior (González et al., p. 70).

2.1.1. Ventiladores

Es una turbo máquina, que se utiliza para producir una corriente de flujo de aire, los ventiladores se emplean para circular el aire, con el objetivo de renovarlo y dar oxígeno a los usuarios del local, también es muy común su uso para la eliminación de olores. “Los ventiladores son usados para mover o desplazar un gas de un lugar hacia otro; estas turbomáquinas absorben energía mecánica la cual es trasferida a un gas, en este caso aire, estos pueden ser centrífugos o axiales” (Marín, 2013, pp. 18-19).

Los ventiladores se dividen en varios grupos, pero los más conocidos son los ventiladores axiales y los ventiladores centrífugos, el ventilador más moderno es el tipo hongo:

2.1.1.1. Ventiladores axiales

Estos ventiladores deben colocarse dentro de las torres de ventilación, el flujo a la salida de la boquilla ayuda a vencer la caída de presión dentro del conducto y se desplaza a través del rotor.

Existen varios tipos y de acuerdo con su ubicación se tienen para instalación dentro de ducto, para entrada libre con conexión a ducto y para succión y extracción libre, para montaje en paredes. Estos ventiladores permiten el transporte de gran volumen de aire con presión estática baja, el motor se encuentra unido al eje por lo que puede haber contaminación del aire de ingreso.

Su aplicación principal se desarrolla en el campo de la ventilación general, por esto se los conoce como inyectores o extractores de aire (Marín, 2013, p. 19).

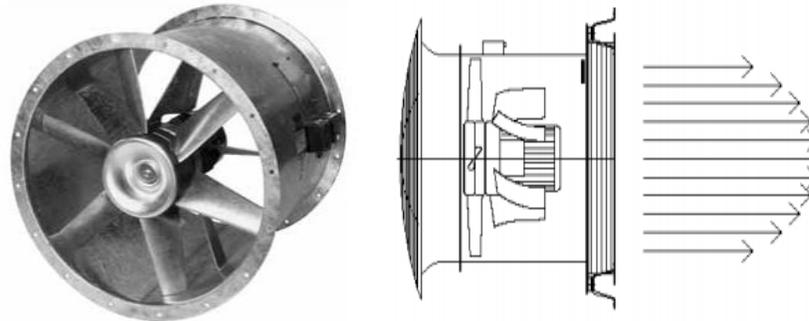


Ilustración 4-2: Ventilador axial

Fuente: (Novenco, p. 6)

2.1.1.2. Ventiladores centrífugos

En estos ventiladores el aire ingresa en dirección paralela al eje del rotor, por la boca de aspiración, y la descarga se realiza tangencialmente al rotor, es decir que el aire cambia de dirección noventa grados. Además, tiene alta eficiencia en el transporte de presiones estáticas altas y no producen altos ruidos (Marín, 2013).

Este tipo de ventiladores desarrolla presiones mucho mayores que los ventiladores axiales, alcanzando presiones de hasta 1500 milímetros de columna de agua (mmcda) y son los empleados, mayormente, en los sistemas de ventilación localizada.

El principio de funcionamiento de los ventiladores centrífugos es el mismo de las bombas centrífugas. Están constituidos por un rotor que posee una serie de paletas o álabes, de diversas formas y curvaturas, que giran aproximadamente entre 200 y 5000 rpm dentro de una caja o envoltura.

La transmisión puede ser directa y por correa, se emplean para aire limpio, retorno y reposición de aire. Existen varios modelos y se los selecciona de acuerdo con el caudal y la caída de presión estática (Greenheck, 2021).



Ilustración 5-2: Ventilador Centrífugo

Fuente: (Equiproin, 2021)

2.1.1.3. Ventiladores tipo hongo

El extractor tipo hongo se utiliza para la evacuación más eficiente del calor, humo y olores, además sirve como recolector de grasas que nos permite la dispersión de esta en el techo o pared donde sea instalado, gracias a su diseño permite guiar el aire dentro de la estructura del ventilador sin ningún tipo de turbulencia. Para su selección se deben tener en cuenta factores adicionales como: ducteria, codos, transiciones, equipos bajo campana y tipo de cocción (Equiproin, 2021).

Los extractores tipo hongo cuenta con características como:

- Componentes de estructura de aluminio, aletas inclinadas y motor.
- Caudales (CFM) de 900, 1200, 2000, 2500, 3000, 6000, 7000 y 12000
- Motores que utilizan son abiertos en su mayoría.

Se debe tener en cuenta para la selección de un extractor tipo hongo:

- Son de alto rendimiento.
- Practica de instalación.
- Tienen bajos niveles de ruido.
- Excelente presentación visual.
- Cumple con las normas ambientales.
- Maneja una buena presión estática.
- Su desempeño es muy bueno en tramos largos.
- La sección del ducto debe ser calculada correctamente manteniendo una buena velocidad en el mismo.



Ilustración 6-2: Ventilador tipo hongo

Fuente: (Equiproin, 2021)

Las curvas características de un ventilador se obtienen mediante ensayos, teniendo caída de presión en función del caudal. Como se observa en la ilustración, los centrífugos mueven menos caudal, pero manejan elevadas presiones en comparación con los ventiladores axiales.

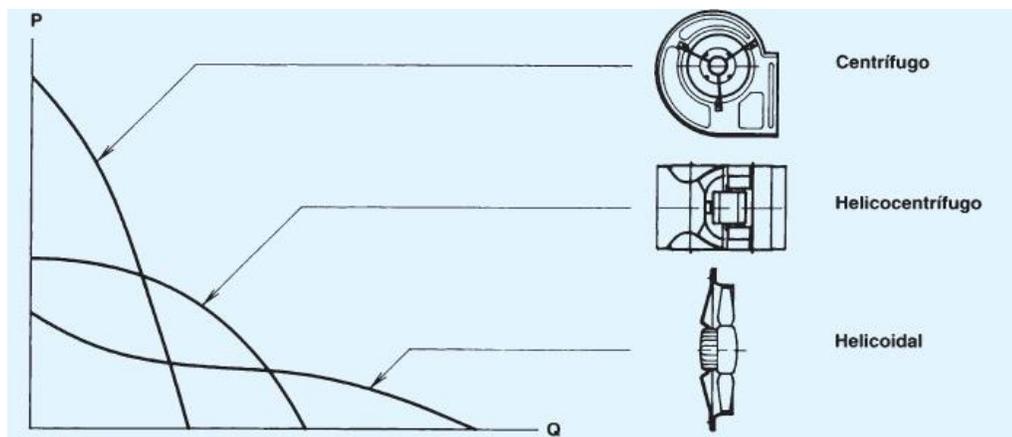


Ilustración 7-2: Relación entre el volumen de aire y la caída de presión según el tipo de ventilador

Fuente: (Salvador Scoda S.A., p. 3)

2.2. Ubicación del ventilador

Los ventiladores pueden ser ubicados en diferentes lugares como: en una pared lateral, ducto o en una cubierta, también hay ocasiones en las cuales se pueden combinar. Los componentes del sistema de ventilación no varían, en caso de variar el sitio de montaje, pero si existen mínimas diferencias como la utilización de carcasa para protección exterior o tapas laterales para mantenimiento.

La ubicación de los ventiladores depende de las características del área de trabajo a ventilar, pudiendo ubicarse en la parte exterior si no hay espacio en el interior, por lo cual la longitud de los ductos aumenta y con esto la caída de presión estática también aumenta. A continuación, se muestran dos tipos de instalaciones:

La primera es de tipo ventilador centrífugo utility empleado para caudales y presiones estáticas con valores elevados. Los valores altos de presión estática se generan por grandes longitudes de ducto, numerosas ramificaciones, codos, transiciones, compuertas de regulación, por la campana de extracción localizada, etc. Además, puede trabajar tanto en el interior o exterior. Siendo este tipo de ventilación la más adecuada para nuestro trabajo de titulación.

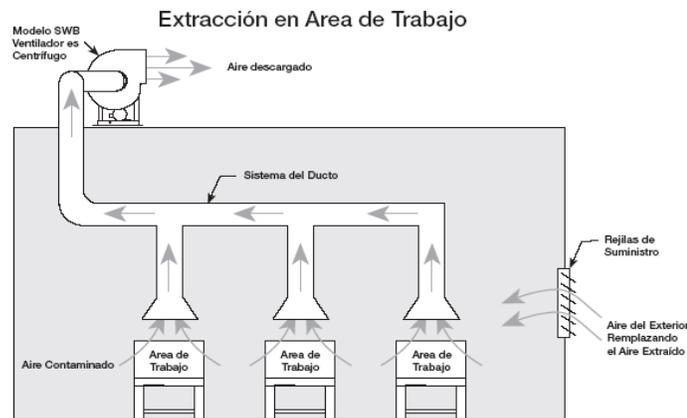


Ilustración 8-2: Ventilación tipo utility

Fuente: (Greenheck, 2010, p. 15)

La segunda es ventilación con equipo tipo in line, tiene el mismo principio que el anterior, con la diferencia que solo se puede montar en el interior del lugar a ventilar.

Las ventajas que nos ofrece son dimensionales y la facilidad de instalación. En este caso el aire ingresa por los ductos y sale por la rejilla de extracción como en la ilustración 9-2.

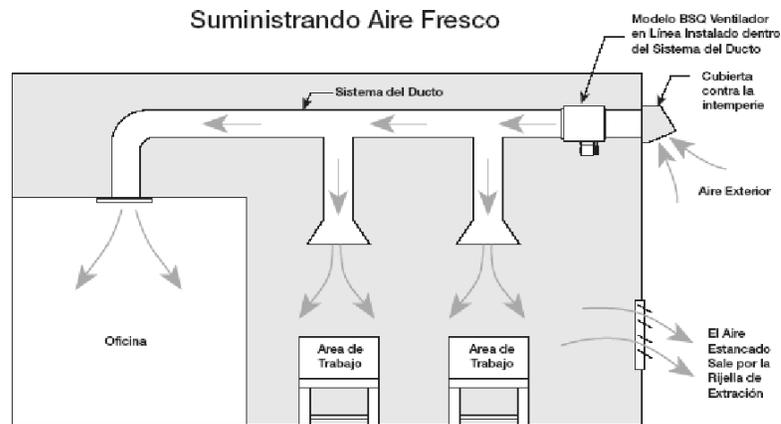


Ilustración 9-2: Ventilación tipo in line

Fuente: (Greenheck, 2010, p. 15)

2.3. Campanas de ventilación

Existen varios tipos de campanas de ventilación y se las emplea dependiendo de la aplicación, hay de tipo suspendida y compensada. Las campanas de tipo compensada son utilizadas en climas cálidos como son en la región costa, la campana posee en la parte frontal un ducto por medio del cual ingresa aire al área de trabajo y el aire es extraído por la misma campana que posee otro ducto de extracción. La campana de tipo suspendida o dosel, es una campana que se ubica a una determinada altura de la fuente de trabajo. La campana puede encontrarse con sus cuatro lados libres o con uno, dos o tres lados libres para lo cual es diferente el cálculo del volumen de aire. La campana debe tener mayor medida que la fuente que emite el contaminante. A continuación, se muestra una ilustración de una campana suspendida.

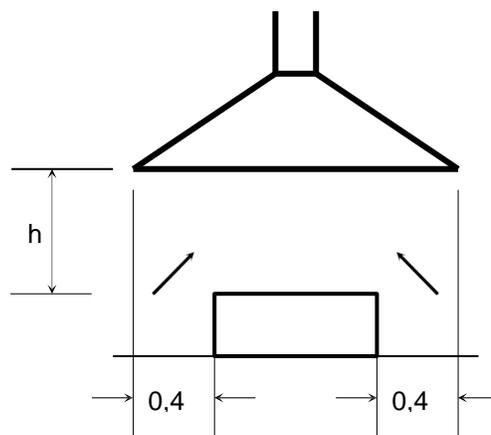


Ilustración 10-2: Campana suspendida

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

Para el cálculo del caudal se debe tener en cuenta cuantos lados abiertos tiene la campana, en el caso de una campana suspendida con los cuatro lados abiertos la ecuación es la siguiente (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1998):

$$Q = K * v * p * h \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (1)$$

Donde:

Q = Caudal de flujo que aspira la campana $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

v = Velocidad de control $\left(\frac{m}{s}\right)$ (Tablas)

k = Constante que depende de la relación entre las dimensiones de la fuente contaminante y campana $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

p = Perímetro de la fuente contaminante (m)

h = altura entre la parte inferior de la campana y la parte superior de la fuente contaminante (m)

La velocidad de control se obtiene de tabla la cual está establecida de acuerdo con la experiencia:

Tabla 1-2: Valores recomendados para la velocidad de control

Condiciones de dispersión del contaminante	Ejemplos	Velocidad de control $\left(\frac{m}{s}\right)$
I - Liberado casi sin velocidad en aire tranquilo.	Evaporación desde depósitos; desengrase, etc.	0,25 – 0,5
II - Liberado a baja velocidad en aire moderadamente tranquilo.	Cabinas de pintura; llenado Intermitente de recipientes; transferencias entre cintas transportadoras a baja velocidad; soldadura; recubrimientos superficiales; pasivado.	0,5 – 1,0
III - Generación activa en una zona de rápido movimiento.	Cabinas de pintura poco profundas; llenado de barriles; carga de cintas transportadoras.	1,0 – 2,5
IV - Liberado con alta velocidad inicial en una zona de movimiento muy rápido del aire.	Desmolde en fundiciones, chorros de aire abrasivos.	2,5 - 10

Fuente: (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1998)

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

Las dimensiones de la campana deben exceder a los lados de la fuente contaminante en un 40% de la altura que hay entre la parte inferior de la campana y la parte superior de la fuente (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1998, p. 55). Por lo cual la ecuación general nos queda:

$$Q = 1,4 * v * p * h \quad \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (2)$$

En caso de que la campana tenga uno de sus lados cubierto o pegado a una pared se conoce como campana suspendida de tres lados abiertos, la ecuación es la siguiente:

$$Q = v * (l + 2a) * h \quad \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (3)$$

Donde:

l = Longitud de la campana paralela a la pared (m)

a = Longitud de la campana perpendicular a la pared (m)

Cuando la campana tiene dos lados abiertos se la conoce como campana suspendida de dos laterales abiertos, la ecuación es la siguiente:

$$Q = v * (l + a) * h \quad \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (4)$$

Cuando la campana tiene los cuatro lados abiertos, es decir no existe ninguna pared por sus lados, la ecuación es la siguiente:

$$Q = v * 2(l + a) * h \quad \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (5)$$

De acuerdo con las ecuaciones si los lados abiertos disminuyen el caudal a extraer también disminuirá, debido a que se reducen los lados por donde el gas contaminante se puede disipar. Además, EQUIPROINT establece otro método para el cálculo del caudal de aire a extraer dependiendo si es campana de pared o campana tipo isla, estas ecuaciones han sido formuladas de acuerdo con los años de experiencia que tiene la empresa.

La campana tipo isla es la campana que tiene sus cuatro lados libres con lo que tenemos acceso a la campana por los cuatro lados, además la extracción de aire es por la parte superior.

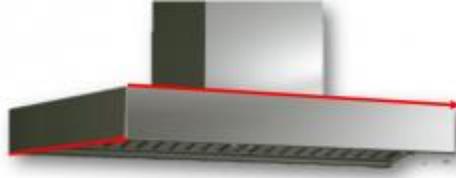


Ilustración 11-2: Campana tipo Isla

Fuente: (Equiproin, 2021)

El caudal de aire se calcula con las siguientes expresiones:

$$Q = CFM * 2300 \quad [cfm] \quad (6)$$

$$CFM = \frac{R}{60}$$

$$R = A * 36$$

$$A = \text{Ancho de campana} * \text{largo de campana}$$

Donde:

A = Área de la campana

La campana tipo pared es aquella que se encuentra pegada a una pared y tiene sus tres lados libres, para el cálculo del caudal de aire a extraer se emplea la siguiente ecuación:

$$Q = A * 36 * \frac{\text{Ancho} * \text{largo}}{60} * 1500 \quad [cfm] \quad (7)$$

2.4. Filtros para el suministro de aire

Los filtros son necesarios en los sistemas de ventilación para permitir el ingreso de aire libre de partículas u objetos que puedan contaminar o dañar los equipos del sistema de ventilación, normalmente son instalados en las tomas de aire. Para el presente trabajo se han empleado una caja de filtros los cuales ayudan a reducir el porcentaje de impurezas mientras el aire pasa por los diferentes filtros.



Ilustración 12-2: Filtro de suministro de aire

Fuente: (Equiproin, 2021)

2.5. Ductos de inyección y extracción

Los ductos son empleados para la captación de fluidos y depende de la caída de presión que el sistema presente para determinar su resistencia. El cálculo y el diseño se deben realizar de modo que garantice la adecuada aportación y extracción del caudal.

2.5.1. Material para la construcción de ductos

Los ductos son sistemas cerrados empleados en zonas donde se necesita extraer aire contaminado de un área específica, por medio de la unión de componentes como son campanas de extracción, rejillas, transiciones, dampers entre otros. Los ductos se fabrican de materiales metálicos tales como acero al carbono galvanizado, acero inoxidable o de aluminio.

Los ductos del sistema se pueden clasificar de alta o baja presión, esto depende si el sistema cuenta con un ramal principal, un ramal secundario, rejillas, transiciones, dampers y dispositivos específicos para ventilación como las campanas suspendidas.

Para la fabricación y la instalación de los ductos se emplea los requerimientos establecidos en la norma SMACNA (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association). También establece el tipo de doblado. El espesor de las planchas empleadas para la construcción de los ductos es denominado calibre, que se emplea de acuerdo con las dimensiones de la sección transversal de los ductos. En la siguiente tabla se muestran los tipos de calibres.

Tabla 2-2: Calibres recomendados de láminas de metal en ductos rectangulares o circulares

Ducto rectangular			Ducto circular		
Su mayor dimensión	Acero galvanizado (calibre)	Aluminio (calibre)	Diámetro	Acero galvanizado (calibre)	Aluminio (calibre)
Hasta 30 pulgadas	24	22	Hasta 9 pulgadas	24	22
De 31-60 pulgadas	22	20	De 9-24 pulgadas	22	20
De 61-90 pulgadas	20	18	De 25-48 pulgadas	20	18
91 pulgadas o más	18	16	De 49-72 pulgadas	18	16

Fuente: (Haro, 2014, p. 58)

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

Tabla 3-2: Denominación, espesor y masa de chapa acero negro y galvanizado en caliente

Denominación (espesor nominal 1/10 de mm)	Sin recubrimiento		Galvanizada		Calibre ASTM *
	Espesor mm	Masa $\frac{Kg}{m^2}$	Espesor mm	Masa $\frac{Kg}{m^2}$	No.
(4)	0,38	3,05	0,40	3,20	30
(5)	0,46	3,66	0,48	3,81	28
(6)	0,61	4,88	0,55	4,42	26
(7)	0,76	6,10	0,70	5,64	24
(8)	0,91	7,32	0,85	6,86	22
(10)	1,21	9,76	1,00	8,08	20
(12)	1,52	12,21	1,31	10,52	18
(15)	1,90	15,26	1,61	12,96	16
(20)	-	-	1,99	16,01	14

Fuente: (Ditar, 2015)

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

El peso por unidad de área y el espesor de acuerdo con el calibre se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4-2: Peso por unidad de área de acuerdo con el calibre de lámina metálica (sistema inglés)

Calibre No.	Acero (Calibre manufactura estándar)		Galvanizado (Calibre manufactura estándar)	
	Espesor (in)	$\frac{\text{Libras}}{\text{pie}^2}$	Espesor (in)	$\frac{\text{Libras}}{\text{pie}^2}$
26	0,0179	0,750	0,0217	0,906
24	0,0239	1,000	0,0276	1,156
22	0,0299	1,250	0,0336	1,406
20	0,0359	1,500	0,0396	1,656
18	0,0478	2,000	0,0516	2,156
16	0,0598	2,500	0,0635	2,656
14	0,0747	3,125	0,0785	3,281
12	0,1046	4,375	0,1084	4,531
10	0,1345	5,625	0,1382	5,781
8	0,1644	6,875	0,1681	7,031
7	0,1793	7,500	-	-

Fuente: (Haro, 2014, p. 58)

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

El sellado de ductos está definido por un rango de presiones, de acuerdo con este rango se sabe si los refuerzos serán en sentido longitudinal o sentido transversal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5-2: Requerimientos estándar para sellado de ductos

REQUERIMIENTOS DE SELLADO PARA DUCTOS ESTANDAR		
Clase de sellado	Requerimientos de sellado	Presión estática aplicable clase de construcción
A	Clase A: todas las juntas transversales, costuras longitudinales y penetraciones de pared del conducto	Hasta 4 pulgadas de columna de agua (1000 Pa)
B	Clase B: todas las juntas transversales y costuras longitudinales solamente	3 pulgadas de columna de agua (750 Pa)
C	Clase C: Juntas transversales solamente	2 pulgadas de columna de agua (500 Pa)
Además de lo anterior cualquier sistema de ductos de volumen de aire variable de 1 pulgada (250 Pa) y 1/2 pulgada (125 Pa) de columna de agua, la clase de construcción que se encuentre aguas arriba de las cajas de volumen de aire variable, serán sellado de clase C.		

Fuente: (Haro, 2014, p. 60)

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

La rugosidad del material es muy importante conocerlo para el cálculo de las caídas de presión en los ductos dependiendo del material construido. A continuación, se muestra una tabla con el factor de rugosidad absoluta de materiales:

Tabla 6-2: Rugosidad de materiales para ductos

Factores de rugosidad de ductos		
Material del ducto	Categoría de rugosidad	Rugosidad absoluta e, mm
Acero al carbono no revestido, limpio (Moody 1944) (0,05 mm) Tubería plástica de PVC (Swim 1982) (0,01 a 0,05 mm) Aluminio (Hutchinson 1953) (0,04 a 0,06 mm)	Liso	0,03
Acero galvanizado, costuras longitudinales juntas de 1200 mm (Griggs 1987) (0,05 a 0,1 mm) Acero galvanizado, enrollado continuamente, costura espiral, juntas de 3000 mm (Jones 1979) (0,06 a 0,12 mm) Acero galvanizado, costura espiral con 1, 2 y 3 nervios, juntas de 3600 mm (Griggs 1987) (0,09 a 0,12 mm)	Medio Liso	0,09
Acero galvanizado, costuras longitudinales juntas de 760 mm (Wright 1945) (0,15 mm)	Promedio	0,15
Ducto de fibra de vidrio, rígido Ducto de fibra de vidrio revestido, lado de aire con material de revestimiento (Swim 1978) (1,5 mm)	Rugosidad Media	0,9
Ducto de fibra de vidrio revestido, lado de aire con revestimiento en spray (Swim 1978) (4,5 mm) Ducto flexible, metálico (1,2 a 2,1 mm cuando está totalmente extendido) Ducto flexible, todos los tipos de fabricación y cables (1,0 a 4,6 mm cuando está totalmente extendido) Concreto (Moody 1944) (1,3 a 3,0 mm)	Rugoso	3

Fuente: (Haro, 2014, p. 68)

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

2.5.2. Refuerzos y tipos de uniones para ductos rectangulares

Los tipos, distancias de refuerzos y uniones transversales están en función de la clase de ducto, la presión y de la máxima dimensión transversal, en las siguientes ilustraciones se muestran los detalles de las uniones.

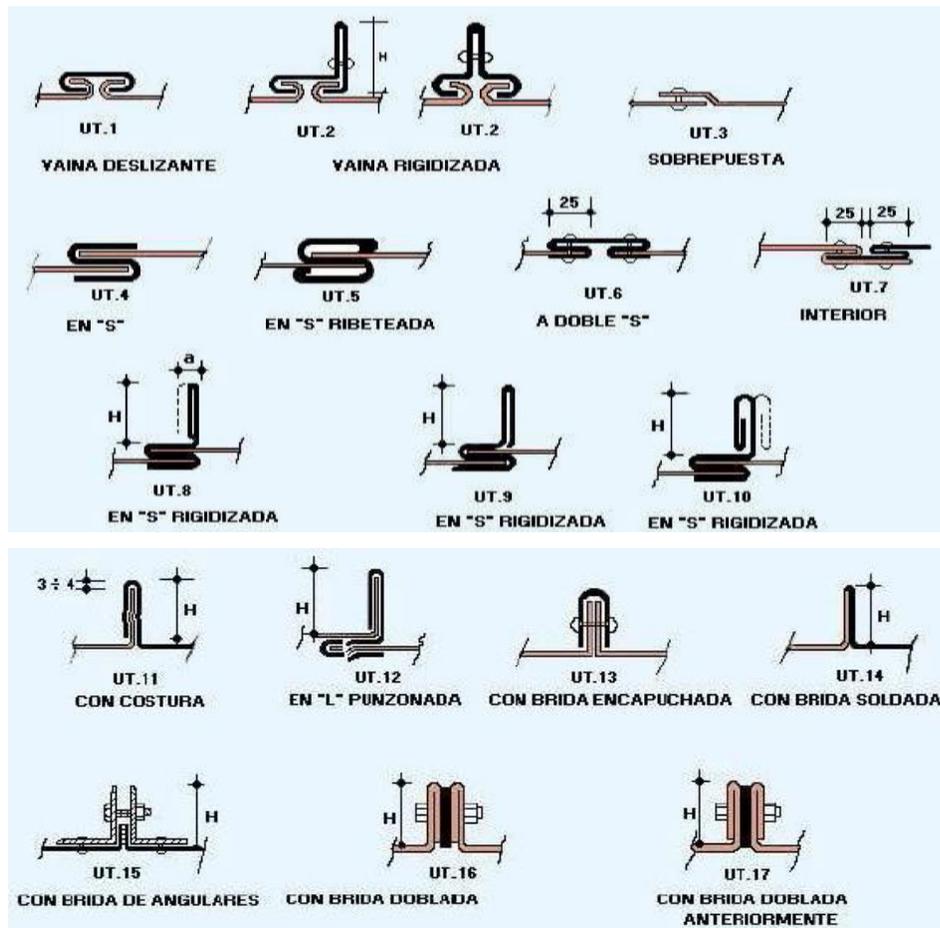


Ilustración 13-2: Detalles de uniones transversales ut

Fuente: (Ditar, 2015, p. 11)

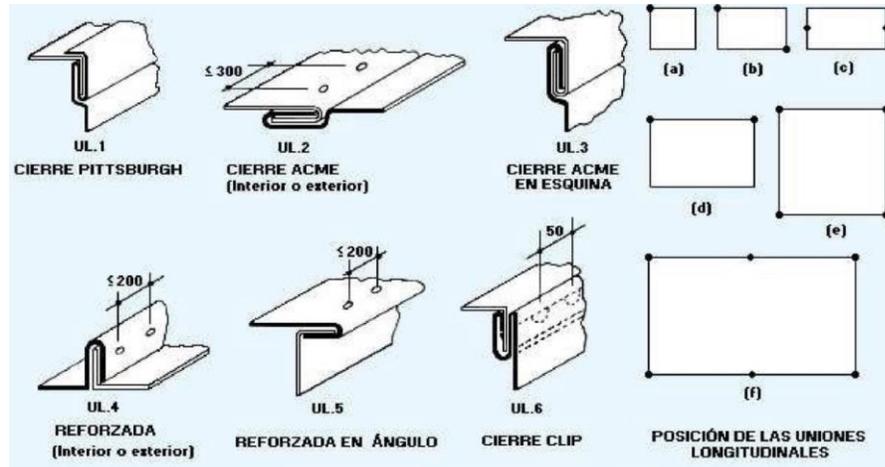


Ilustración 14-2: Detalles de uniones longitudinales ul (medidas en mm)

Fuente: (Ditar, 2015, p. 11)

2.6. Rejillas de inyección y descarga

Las rejillas de ventilación son elementos terminales es decir que se ubican en las partes finales de los ductos, sirven para la admisión o extracción de aire y evitan el ingreso de elementos que puedan dañar el sistema. En la selección del tamaño de la rejilla se debe tener en cuenta las siguientes variables, si el caudal es de entrada o salida, la velocidad del flujo volumétrico, el nivel sonoro, la pérdida de presión que produce la rejilla, entre otras variables. Existen diferentes tipos de rejillas, que se empelan de acuerdo con los requerimientos del sistema:

- Simple deflexión: Son aquellas que tienen las lamas regulables y pueden variar la dirección del flujo una vez instaladas.



Ilustración 15-2: Rejilla de simple deflexión

Fuente: (Metalaire, 2021)

- Doble deflexión: Son aquellas que tienen las lamas regulables en doble sentido, que puede ser vertical y horizontal.

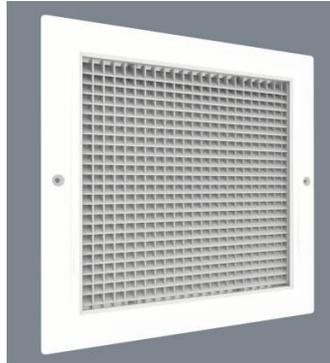


Ilustración 16-2: Rejilla de doble deflexión

Fuente: (Metalaire, 2021)

- Fijas: Son aquellas que tienen las lamas unidas al marco de modo que su movimiento es imposible.

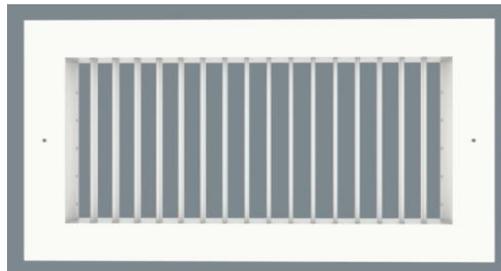


Ilustración 17-2: Rejilla fija

Fuente: (Metalaire, 2021)

2.7. Dampers para sistemas de ventilación

Es un elemento fundamental en los sistemas de ventilación y extracción de humos, tiene diferentes aplicaciones y dependiendo de las características del sistema hay dos tipos de dampers:

- Dampers regulables: Se emplean en sistemas de ventilación que necesitan un flujo de aire controlado. Tiene un sistema de lamas o una sola lama que permite regular su grado de apertura (Zitrón, 2021).

- Dampers cierre/apertura: Son utilizados en sistemas de cierre o aperturas totales, permiten circular el aire una vez abierto, así como impiden el paso del flujo de aire una vez cerrado (Zitrón, 2021).

Los dampers pueden ser ubicados ya sean en posición horizontal o vertical. Se fabrican de materiales como el acero inoxidable, galvanizado y acero pintado. Para facilitar su funcionamiento y que sea posible utilizarlos en lugar altos incluyen un motor que garantiza el correcto funcionamiento sin complicaciones. Además, puede tener compuerta de tipo guillotina que permite regular el flujo mediante una tajadera central que se desliza y compuerta de tipo mariposa que permite la regulación del flujo mediante una lama interior giratoria.



Ilustración 18-2: Dampers con lamas

Fuente: (Trox Technik, 2021)

2.8. Sistema de extracción y ventilación

Para los sistemas de extracción se debe tener en cuenta la cantidad de aire a extraer o renovar en el área de trabajo por lo cual se debe seleccionar de manera adecuada el tipo de sistema de extracción.

2.8.1. Equipos para la extracción y ventilación

Para seleccionar el tipo de equipo hay que tener en cuenta el tipo de acople que tiene, ya que de eso depende la CFM con la que el equipo trabajará. A continuación, se tienen los tipos de acoples:

- **Acople directo.** - Los equipos de acople directo son más fiables debido a que no tiene bandas ni poleas que puedan fallar, además son de bajo costo por los volúmenes bajos de aire que manejan (hasta 3000 CFM) y la baja presión estática. Se puede implementar un variador de frecuencia con el cual se puede regular el caudal.
- **Acople por correa.** - Los equipos de acople por correa son empleados cuando se requiere manejar volúmenes altos de aire, esto se logra ajustando un tornillo que posee la polea para aumentar el diámetro de esta.

Las poleas del motor son ajustadas aflojando el tornillo de ajuste y girando la mitad alta de la polea hacia la izquierda. Esto tiende a que el diámetro de la polea cambie, y a su vez los rpm del ventilador.

2.9. Normas para el diseño de sistemas de ventilación

Existen varias normas, las cuales sugieren valores para los parámetros de diseño como son la velocidad de control, el caudal, etc. Estas son la ASHRAE, UNE, SMACNA, ACGIH: Industrial Ventilation Manual, etc. Se utilizará la primera en mención para definir varios factores importantes para el diseño (UNE-EN 1505, 1999).

2.9.1. Parámetros para el diseño según el manual de ventilación ACGIH

El manual de ventilación ACGIH, establece la siguiente ecuación para dimensionar el ancho y la longitud de una campana. Para las dimensiones de la campana, ya sea la longitud perpendicular (L_a) o paralela (L_l) a la pared se debe sumar el 40% de la altura (h) a cada lado, teniendo la siguiente ecuación.

$$L_j = l + 2 * (0,4 * h) \quad (8)$$

Donde:

l = longitud de la zona contaminante

h = altura de la parte inferior de la campana hasta la zona contaminante

El cálculo de pérdida en la entrada de cada campana depende de la forma de esta es decir si es rectangular o redonda y además depende del ángulo de entrada. Para obtener el valor de pérdida que genera cada una de las campanas de nuestro sistema, primero se calcula la pérdida dinámica, y luego se emplea la siguiente ecuación (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1998, p. 146).

$$P_{Tcampana} = P_D * (K_{entrada} + 1) \quad (9)$$

Donde:

$K_{entrada}$ = factor de pérdida en la entrada

El valor del factor de pérdida se obtiene de la ilustración 19-2 el cual está en función del tipo de campana y del ángulo de esta.

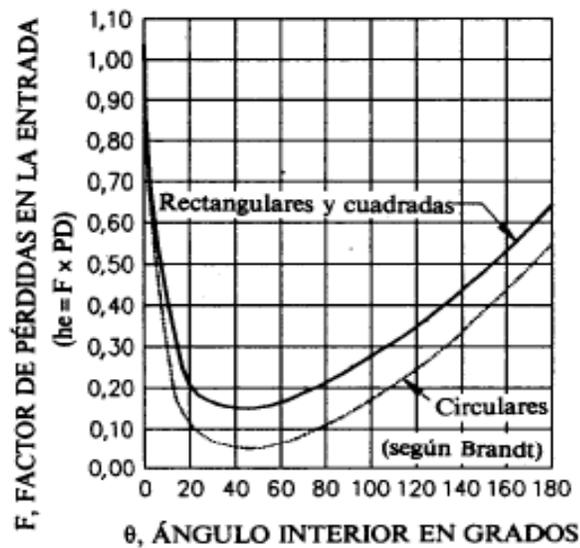


Ilustración 19-2: Factor de pérdida en la entrada de una campana

Fuente: (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1998, p. 146)

Los ductos se deben diseñar de acuerdo tipo de contaminante a extraer, por lo cual se tienen valores de velocidad recomendados para diseñar los ductos y que sean muy funcionales.

Tabla 7-2: Velocidades recomendadas para diseñar ductos

Naturaleza del contaminante	Ejemplos	Velocidades 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	13-20
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 chorreado 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

Fuente: (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1998)

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

2.9.2. *Parámetros para el diseño según ASHRAE*

El cálculo de las pérdidas en los accesorios en general ya sean codos, transiciones, entre otros, se calculan empleando la siguiente ecuación:

$$\Delta p_j = C * P_v \quad (10)$$

Donde:

Δp_j = Presión total pérdida en la conexión (Pa)

C = Coeficiente de pérdida local, en el accesorio

P_v = Presión de velocidad

El cálculo de la presión de velocidad o pérdida dinámica se obtiene empleando la siguiente ecuación:

$$P_v = \rho * \frac{v^2}{2} \quad (11)$$

Donde:

ρ = densidad del aire en condiciones estándar ($1,20 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$)

v = velocidad del aire del ducto de menor sección

Considerando las condiciones estándar de densidad y reemplazando en la ecuación 11 se tiene la ecuación final para calcular las pérdidas, teniendo la ecuación:

$$\Delta p_j = 0,602 * v^2 * C \quad (12)$$

Para materiales fabricados de acero al carbono galvanizado, la pérdida de presión estática por unidad de longitud en ductos se obtiene de la ilustración 20-2, que asume una densidad del aire estándar es decir de $1,20 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ con la rugosidad de 0,09 mm.

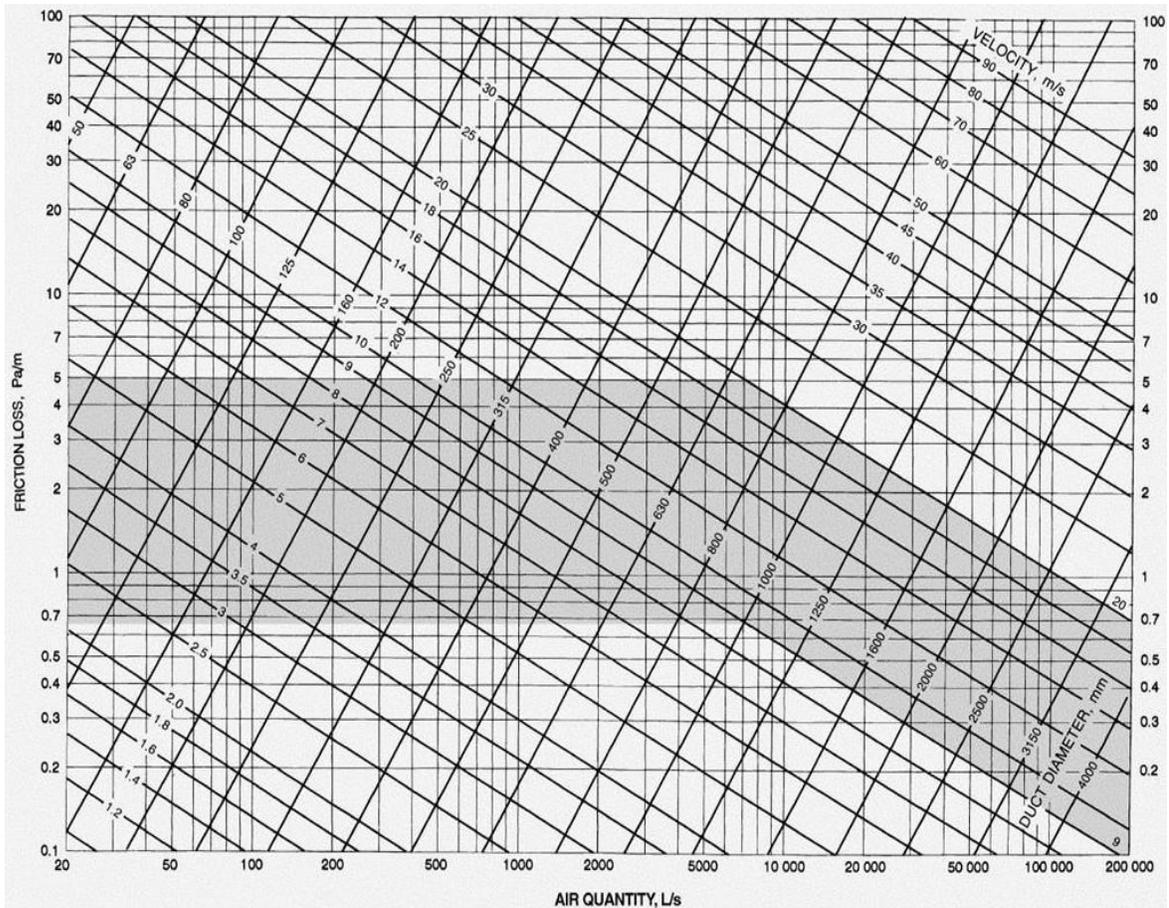


Ilustración 20-2: Pérdida de presión total en función del diámetro equivalente y velocidad

Fuente: (Haro, 2014, p. 69)

En la ilustración 20-2 se tiene en función del diámetro equivalente y para el cálculo de este valor se aplica la siguiente ecuación:

$$D_e = \frac{1,30 * (a * b)^{0,625}}{(a+b)^{0,25}} \quad (13)$$

Donde:

De = Diámetro equivalente de un ducto rectangular de igual longitud, resistencia y flujo (mm).

El coeficiente de pérdida local por cambio de sección se calcula empleando la siguiente ilustración, que está en función del ángulo (θ) que forma el cambio de sección y la relación entre la sección transversal de menor área y la de mayor área.

A ₀ /A ₁	Valores C ₀									
	θ									
	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
0,06	0,26	0,27	0,40	0,56	0,71	0,86	1,00	0,99	0,98	0,98
0,10	0,24	0,26	0,36	0,53	0,69	0,82	0,93	0,93	0,92	0,91
0,25	0,17	0,19	0,22	0,42	0,60	0,68	0,70	0,69	0,67	0,66
0,50	0,14	0,13	0,15	0,24	0,35	0,37	0,38	0,37	0,36	0,35
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	0,23	0,20	0,20	0,20	0,24	0,28	0,54	0,78	1,02	1,09
4,00	0,81	0,64	0,64	0,64	0,88	1,12	2,78	4,38	5,65	6,60
6,00	1,82	1,44	1,44	1,44	1,98	2,53	6,56	10,20	13,00	15,20
10,00	5,03	5,00	5,00	5,00	6,50	8,02	19,10	29,10	37,10	43,10

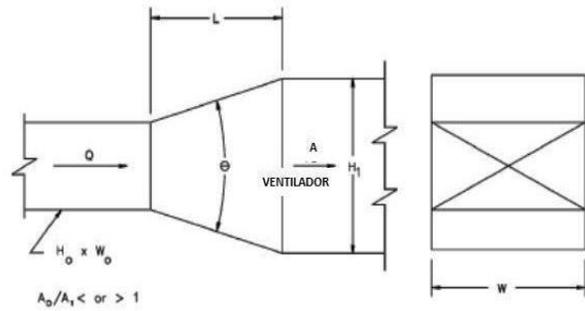


Ilustración 21-2: Valores de coeficiente de pérdida local en una transición rectangular

Fuente: (Haro, 2014, p. 72)

El coeficiente de pérdida en una bifurcación se obtiene de la siguiente ilustración en este caso para la línea principal el coeficiente es Cs y para la línea secundaria es Cb. La ilustración está en función de los flujos volumétricos, tanto de entrada como el de salida. El caudal de la línea principal se conoce como Qs, el caudal de la línea secundaria se conoce como Qb y el caudal de salida se conoce como Qc.

ER5-3 Tee, Ramal de entrada a 45°, Converge

Q _b /Q _c	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
C _b	-18.00	-3.25	-0.64	0.53	0.76	0.79	0.93	0.79	0.90	0.91

Q _s /Q _c	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
C _s	2.15	11.91	6.54	3.74	2.23	1.33	0.76	0.38	0.10

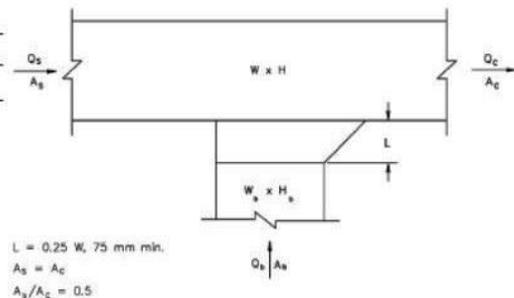
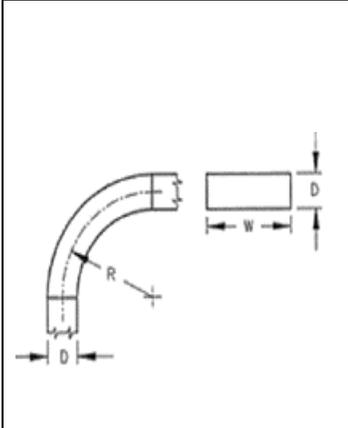


Ilustración 22-2: Valores de coeficiente de pérdida local en una bifurcación rectangular

Fuente: (Haro, 2014, p. 73)

El coeficiente de pérdida local (C₀) de un codo se obtiene de la siguiente tabla, está en función del ángulo que forma el codo (θ), la relación entre el ancho (W) y la altura (D) del ducto y a relación entre el radio de curvatura (R) y la altura (D).

Tabla 8-2: Coeficiente de pérdida local en un codo

	$\frac{R}{D}$	Relación de tamaños $\frac{W}{D}$					
		0,25	0,5	1	2	3	4
0		1,5	1,32	1,15	1,04	0,92	0,86
0,5		1,36	1,21	1,05	0,95	0,84	0,79
1		0,45	0,28	0,21	0,21	0,20	0,19
1,5		0,28	0,18	0,13	0,13	0,12	0,12
2		0,24	0,15	0,11	0,11	0,1	0,1
3		0,24	0,15	0,11	0,11	0,1	0,1

Fuente: (Manual ASHRAE)

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

2.10. Situación del área de trabajo

2.10.1. Descripción del lugar

La empresa se dedica a la producción de alimentos naturales, saludables y confiables, se encuentra ubicada en la ciudad de Ambato en la parroquia de Santa Rosa. Cuenta con una variedad de productos, los cuales son procesados en la empresa, almacenados y distribuidos en todo el país. Los productos que fabrica son:

- Especerías en general (ají, comino, canela, etc.).
- Frutos secos.
- Granos secos.
- Harinas precocidas.
- Plantas medicinales.
- Entre otros.

El proceso de distribución de los productos ya terminados hacia los clientes se realiza mediante camiones.

2.10.1.1. Equipos utilizados en el lugar

Los equipos utilizados en la fábrica son máquinas molidoras, horno, máquina empacadora. Tienen 4 molinos, 1 horno y 1 máquina empacadora.

En la siguiente tabla se muestran los equipos presentes en el área de trabajo:

Tabla 9-2: Equipos del área de trabajo

Nombre	Imagen	Característica	Observación
Moledora 1		Motor weg de inducción Modelo NBR. 9074 60 Hz – 11 kW (15 Hp) 1755 rpm	Molino ubicado cerca de la pared
Moledora 2		Motor weg de inducción Modelo NBR. 9074 60 Hz – 11 kW (15 Hp) 1755 rpm	Molino ubicado en el fondo a la pared
Moledora 3		Motor weg de inducción Modelo NBR. 9074 60 Hz – 11 kW (15 Hp) 1755 rpm	Molino ubicado cerca de la ventana en la entrada

<p>Moledora 4</p>		<p>Motor weg de inducción Modelo NBR. 9074 60 Hz – 11 kW (15 Hp) 1755 rpm</p>	<p>Molino ubicado cerca de la ventana al fondo</p>
<p>Horno</p>			<p>Horno ubicado en la entrada al fondo</p>

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

2.10.1.2. Condiciones del área de molienda

El área de molienda se encuentra ubicada en la parte baja de las oficinas de la empresa, tiene una puerta de ingreso con medidas de 1.480 m de ancho x 2.040 m de alto. En la siguiente ilustración se muestra la puerta de ingreso.



Ilustración 23-2: Ingreso al área de molienda

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

La puerta es la única entrada al área de molienda y sus paredes se encuentran en contacto con otras áreas tales como la bodega y el área de empaque de productos.

El cuarto de molienda posee las siguientes dimensiones:

Ancho: 4,1 m

Largo: 13,46 m

Alto: 2,7 m

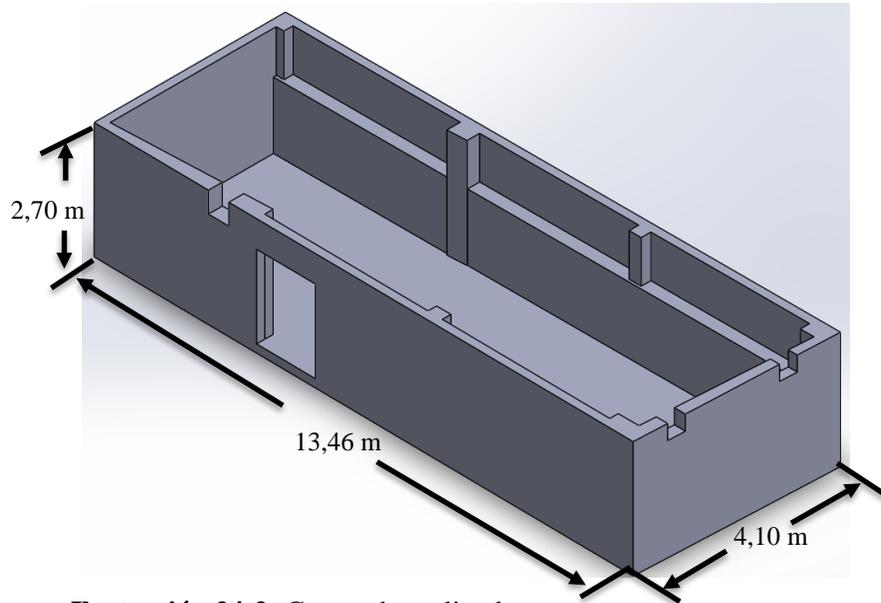


Ilustración 24-2: Cuarto de molienda

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

El área de molienda, como se puede observar en la ilustración 24-2 no posee de ningún sistema de ventilación que permita la renovación de los fluidos generados al momento de realizar la molienda.

2.11. Parámetros de diseño

En el diseño de los sistemas de ventilación existen cuatro preguntas importantes que se deben tener en cuenta, las cuales son:

1. El tipo de campana.
2. El tamaño de la campana.
3. Sección de los ductos.
4. Longitud de los ductos.

Es importante el saber todo eso para poder seleccionar los equipos, tanto de extracción como de inyección de fluido.

2.12. Flujo volumétrico y flujo másico

La cantidad de masa que atraviesa una sección de área por unidad de tiempo se conoce como tasa de flujo másico (\dot{m}). El fluido normalmente fluye hacia el interior o hacia el exterior de un volumen de control, mediante ductos o tuberías. La tasa de flujo másico del fluido a través de una sección de área A_c , depende de la densidad del fluido (ρ) y de la velocidad V_n con la cual el fluido atraviesa la sección transversal A_c .

$$\dot{m} = \rho * V_{av} * A_c \quad (14)$$

El volumen de fluido el cual fluye por una sección transversal, por unidad de tiempo se conoce como tasa de flujo volumétrico (Q). El cual está dado por:

$$Q = V_a * A_c \quad (15)$$

Para calcular el área cuadrada o la sección transversal de un ducto cuadrado se emplea la siguiente ecuación:

$$A_j = a * b \quad (16)$$

Donde:

a = Lado largo del ducto

b = Lado corto del ducto

2.13. Pérdidas de presión en los ductos

Los ductos son elementos fundamentales para los sistemas de ventilación, ayudan a la renovación del aire en los lugares cerrados. Las dimensiones como la longitud y la sección varían dependiendo de la necesidad de renovación de aire.

En los sistemas de ventilación se encuentran diferentes elementos como son los codos, los cambios de sección lo cual provoca una oposición al paso del aire que se conoce como las pérdidas de presión. Por esta razón hay que tener en cuenta estos elementos en el diseño, para que el sistema funcione de forma eficiente.

Para calcular las pérdidas que son producidas por el rozamiento entre el interior de los ductos y el aire, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Longitud del ducto.
- La sección transversal del ducto.
- La velocidad del aire.
- La densidad del aire (varía según la temperatura y el lugar de ubicación).

También se debe tener en cuenta el tipo de material del ducto, es mismo que tiene una rugosidad y un coeficiente de fricción, muy importante a la hora de realizar cálculos. Existen diferentes ecuaciones matemáticas para calcular las pérdidas, además al no ser muy precisas algunas se pueden utilizar nomogramas. Los nomogramas son muy útiles para el cálculo de las pérdidas, pero solo se pueden encontrar de materiales que son usados habitualmente debido a que son el resultado de la experiencia (Solerpalau, 2021).

Las pérdidas por longitud y accesorios en los ductos se calcularán de acuerdo con las dimensiones y caudal que vaya a circular por los ductos, empleando la norma ASHRAE, las pérdidas a la entrada se emplearán las tablas del manual ACGIH. Además, existe otro método para el cálculo de pérdidas dispuesto por la ACGIH, el cual se basa en el análisis de pérdidas dinámicas y el factor de pérdida por longitud, accesorios y campana de entrada, para obtener las pérdidas estáticas.

2.14. Número de Reynolds

Es un número adimensional y se lo utiliza en la mecánica de fluidos, fenómenos de transporte y diseño de reactores, con el fin de determinar el movimiento del fluido. Este relaciona densidad, viscosidad y velocidad. Se presenta en muchas ocasiones con el propósito de determinar si un flujo es laminar o turbulento. El número de Reynolds para un fluido que circula por el interior de una tubería circular recta está dado por:

$$Re = \rho * \frac{v * D}{\mu} \quad (17)$$

Donde μ representa la viscosidad del fluido.

Si $Re < 2\ 100$ el flujo es laminar.

Si $2\ 040 < Re < 4\ 000$ el flujo se encuentra en estado transitorio.

Si $Re > 4\ 000$ el flujo es Turbulento.

El movimiento del fluido en este caso es caótico, sus partículas se mueven de forma desordenada y en su trayectoria forman pequeños remolinos. Es típico en flujos con velocidades altas o de baja viscosidad. Se espera que en los conductos de ventilación exista flujo turbulento (White, 2008).

2.15. Presiones del sistema de ventilación

Las presiones que se generan en el sistema de ventilación son varias, entre las principales tenemos la presión total que es la suma de todas las presiones generadas en el sistema ya sea presión por longitud, presión en los codos, presión en la campana entre otras, también se tiene la presión estática y la presión de velocidad que se produce debido a la velocidad generada en los ductos.

Para calcular la presión estática total se debe calcular la presión total y la presión de velocidad, teniendo en cuenta la siguiente expresión:

$$P_{TOTAL} = P_s + P_v \quad (18)$$

La presión total es igual a la presión estática más la presión de velocidad del ventilador, para obtener la velocidad del ventilador es necesario conocer el caudal a extraer.

Teniendo el valor del caudal a extraer se procede a calcular la velocidad de descarga del ventilador, utilizando la siguiente ecuación de Greenheck:

$$v_{descarga} \left(\frac{ft}{min} \right) = Q(cfm) * 0,7617 \quad (19)$$

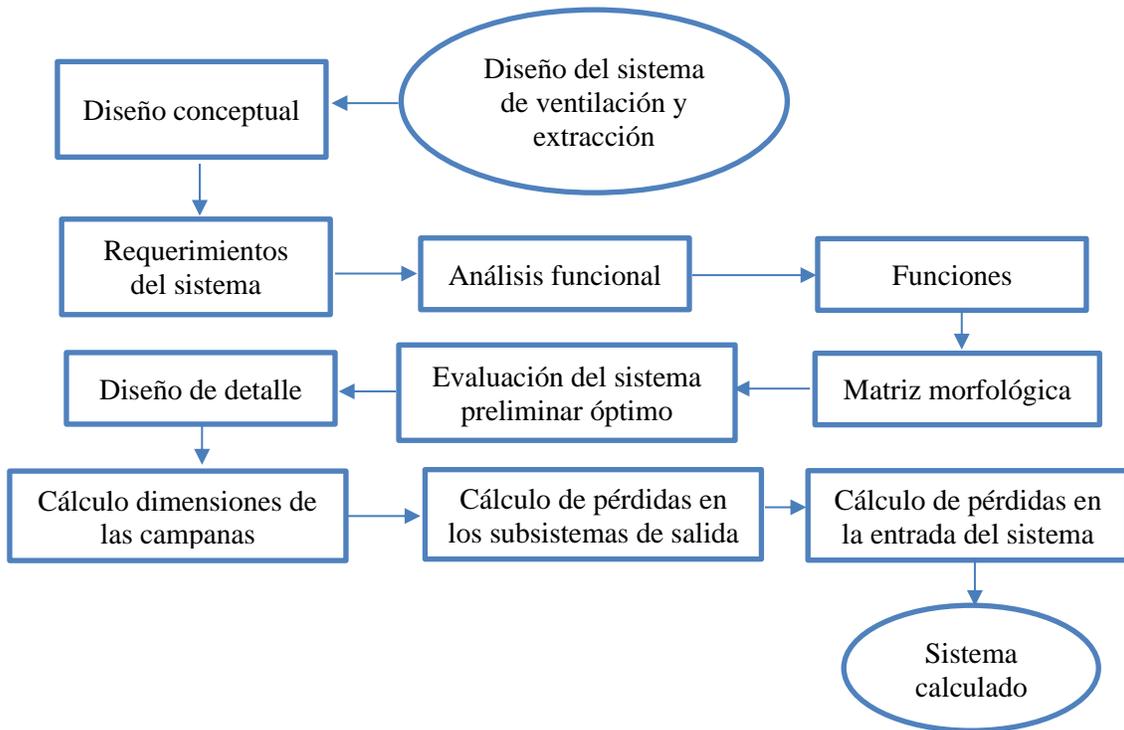
En todo sistema se debe trabajar con un factor de seguridad (n) para garantizar el correcto funcionamiento de este y debe ser mayor a 1, y se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_s = n * (P_{TOTAL} - P_v) \quad (20)$$

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

El sistema de ventilación y extracción se encuentra compuesto por subsistemas, por lo cual el diseño se debe realizar considerando como un solo sistema. El diseño se realiza siguiendo las etapas que se muestran en el siguiente diagrama de flujo.



3.1. Diseño conceptual

En el diseño conceptual se da a conocer las consideraciones que se toman en cuenta para el diseño, para la fabricación e implementación, además se va a presentar los requerimientos y detallar las características y funciones que tendrá el sistema de ventilación. Para definir la mejor solución al sistema se va a usar el método morfológico basado en la norma alemana VDI 2221.

Es muy importancia seguir los procesos que ayuden a prevenir errores antes de comenzar con el proceso de producción, las metodologías y teorías. La persona que se encuentra diseñando debe estar dispuesta a tomar decisiones, las cuales están cuestionadas todo el tiempo hasta llegar a la solución óptima. Los resultados de calidad en el diseño se deben a las experiencias y los conocimientos que domina el diseñador (Castro y Guerrero, 2021: p. 40).

La metodología de diseño se emplea por las siguientes razones:

“Permite a la persona a cargo del diseño a que se mantenga en el camino correcto a la solución del problema, evitando así que se desvíe en teorías externas que no intervienen en el proceso creativo, permite y facilita la aplicación de múltiples conocimientos en el desarrollo del diseño, se puede obtener soluciones planteadas, y no simplemente obtener resultados por causalidad” (Castro y Guerrero, 2021: p. 40).

Existen varios métodos para el diseño conceptual, pero en el presente trabajo se empleará el proceso general de desarrollo y diseño basado en la norma VDI 2221 como se observa en la siguiente ilustración 1-3.

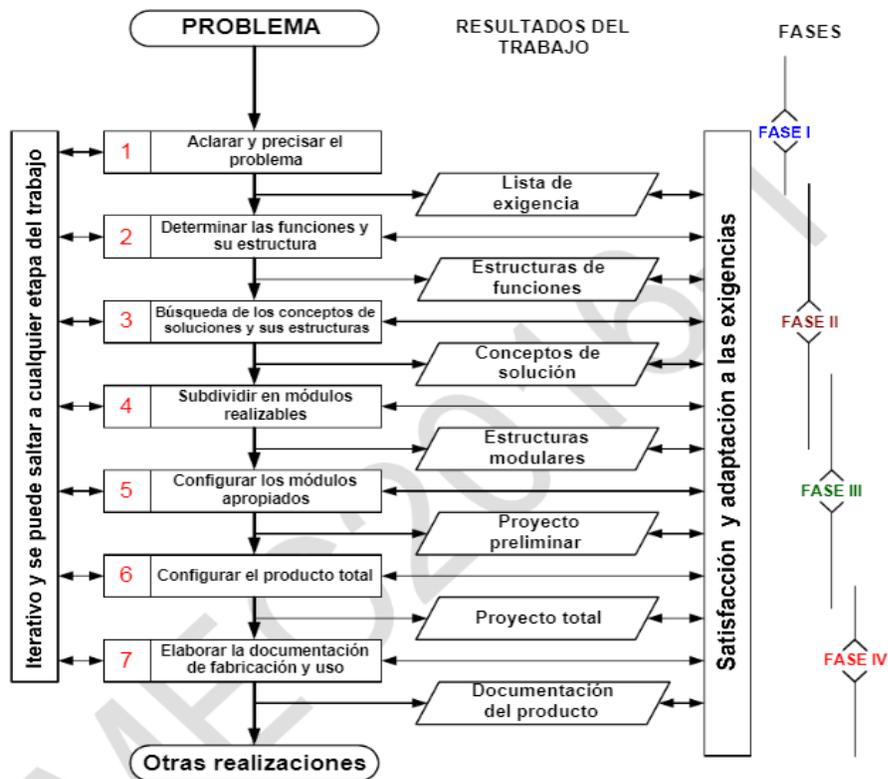


Ilustración 1-3: Proceso general de desarrollo y diseño según la norma VDI 2221

Fuente: (Barriga, 2013, p. 11)

3.1.1. *Requerimientos del sistema*

Para determinar el sistema de ventilación y extracción adecuado es importante tener en cuenta los siguientes requerimientos:

El área específica donde se genera la contaminación para calcular el volumen de aire a renovar.

El volumen del área de trabajo.

El sistema de control debe ser semiautomático.

La alimentación eléctrica de los equipos es de 220V.

Las medidas de bioseguridad para el ingreso al área de trabajo.

3.1.2. *Análisis funcional*

Para determinar el análisis de las funciones es muy importante emplear la estructura de funciones también conocida como la “caja negra” en el cual se toman en cuenta las tres magnitudes básicas de entrada y salida en los procesos, como son la señal, la energía y la materia, en la siguiente ilustración 2-3 se tiene la estructura modular nivel cero del sistema de ventilación y extracción.

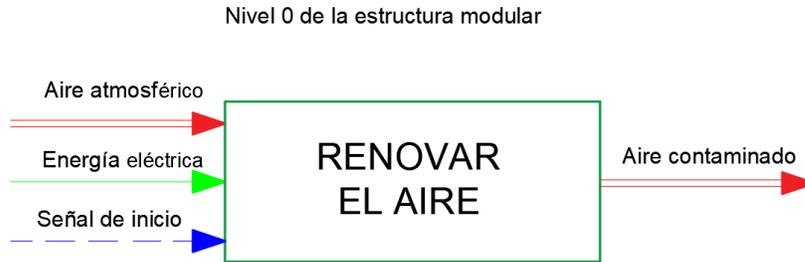


Ilustración 2-3: Análisis funcional del sistema de ventilación y extracción

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

Para los procesos de la estructura modular, se describen de una manera más detallada cada uno de ellos para el sistema de ventilación.

a. Entradas

Señal. – Para el encender el equipo de ventilación.

Energía. – Proviene de una toma de energía eléctrica de 220 – 240 V y de una energía humana para pulsar el botón de encendido y para abrir y cerrar el damper.

Materia. – Es el aire proveniente de la atmosfera.

b. Salidas

Materia. – Aire contaminado producto del proceso de molienda.

3.1.3. Funciones

En esta etapa se especifican las principales funciones que el sistema de ventilación debe realizar para cumplir con su función principal, en esta etapa se ve cual es el proceso que debe cumplir el sistema detalladamente. Los módulos ayudan a agrupar procesos que se relacionen para buscar una solución de ser posible común a estos procesos y así poder seleccionar la solución más adecuada.

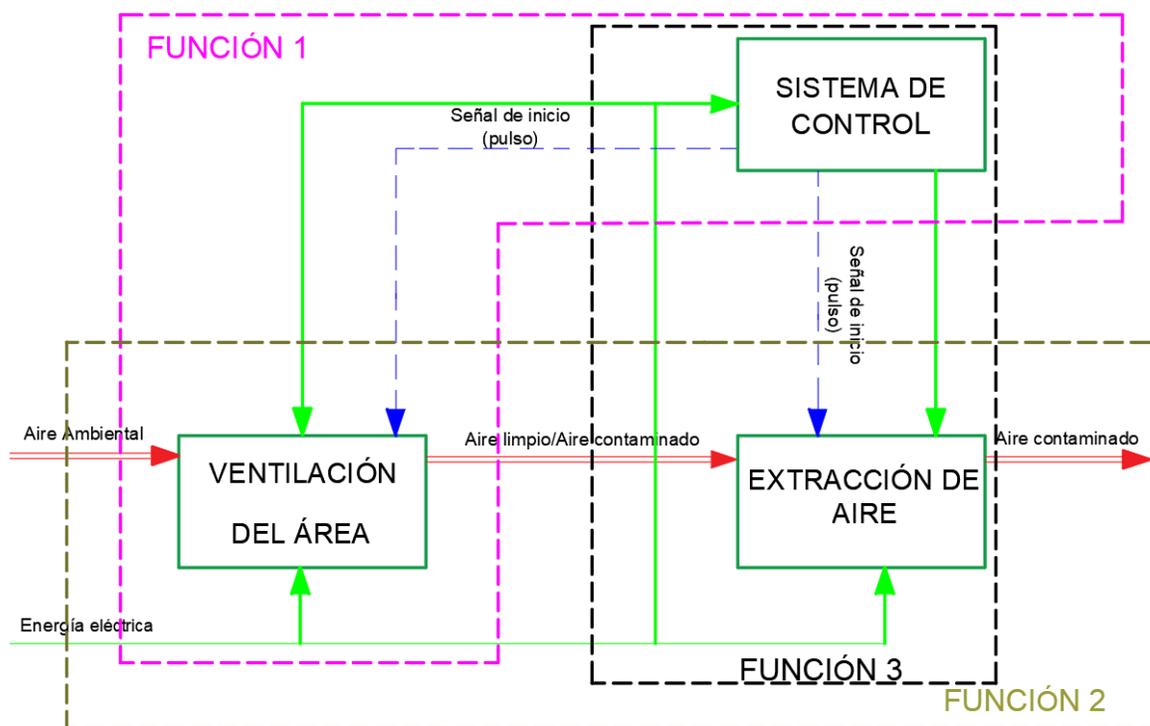


Ilustración 3-3: Funciones del sistema de ventilación y extracción

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

3.1.3.1. Definición de las funciones

Con los módulos definidos se procede a enunciar las funciones para el sistema de ventilación, las cuales son:

– Función 1:

Encender los equipos de ventilación, tanto el de la entrada como el de la salida.

– Función 2:

Transportar el aire hacia dentro y hacia fuera del área de trabajo, con los parámetros indicados para cumplir de manera eficiente este proceso, tomando en cuenta los accesorios que intervienen para el proceso.

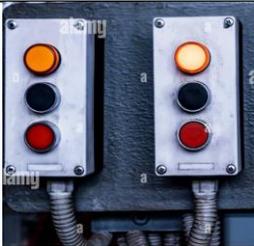
– Función 3:

Dejar el área ventilada, libre de aire contaminado, considerando los equipos y accesorios que intervienen.

3.1.4. Matriz morfológica

La matriz morfológica permitirá seleccionar la opción más apropiada para el sistema de ventilación, analizando las diferentes partes que lo componen. Su aplicación se centra en explorar las posibles soluciones que existen para que un sistema en particular sea desarrollado conforma a las nuevas tecnologías, la solución de problemas empleando este método se realiza en las partes que lo conforman (Castro y Guerrero, 2021: p. 50). En la tabla 1-3 se muestra la matriz morfológica.

Tabla 1-3: Matriz morfológica de posibles soluciones

Matriz morfológica				
Función principal	Función parcial	Soluciones		
		1	2	3
Aporte	Aporte de aire	 <p>Axial</p>	 <p>Centrífugo</p>	
Encender/ Apagar	Encender y apagar los ventiladores	 <p>Botonera</p>	 <p>Panel táctil</p>	
Extraer	Extraer el aire	 <p>Axial</p>	 <p>Centrífugo</p>	 <p>Tipo hongo</p>

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

Solución 1 ●

Solución 2 ●

Solución 3 ●

3.1.4.1. Conceptos de solución

Se va a detallar los conceptos de solución obtenidos en la matriz morfológica con el objetivo de obtener el concepto de solución óptimo.

- **Solución 1.** – Pertenece al color rojo. El ventilador que aporte con el flujo de aire para el sistema es el ventilador axial. La energía eléctrica que suministra la tensión a el sistema de ventilación se realiza mediante la conexión a un tomacorriente de 220 V, con un encendido y apagado de botonera. El medio por el cual se transporta el flujo de aire desde el ventilador hacia el área de trabajo y del área de trabajo hacia fuera son los ductos circulares. El ventilador que extrae el aire contaminado del área de trabajo es el ventilador axial. El accesorio por medio del cual se transporta el aire hacia el exterior es una campana localizada tipo pared y un damper de compuerta para permitir o no el paso del flujo.

- **Solución 2:** Pertenece al color verde. El ventilador que aporte con el flujo de aire para el sistema es el ventilador axial. La energía eléctrica que suministra la tensión a el sistema de ventilación se realiza mediante la conexión a un tomacorriente de 220 V, con un encendido y apagado de panel táctil. El medio por el cual se transporta el flujo de aire desde el ventilador hacia el área de trabajo y del área de trabajo hacia fuera son los ductos cuadrados. El ventilador que extrae el aire contaminado del área de trabajo es el ventilador centrífugo. El accesorio por medio del cual se transporta el aire hacia el exterior es una campana localizada tipo isla y un damper de lámina para permitir o no el paso del flujo.

- **Solución 3:** Pertenece al color azul. El ventilador que aporte con el flujo de aire para el sistema es el ventilador centrífugo. La energía eléctrica que suministra la tensión a el sistema de ventilación se realiza mediante la conexión a un tomacorriente de 220 V, con un encendido y apagado de botonera. El medio por el cual se transporta el flujo de aire desde el ventilador hacia el área de trabajo y del área de trabajo hacia fuera son los ductos cuadrados. El ventilador que extrae el aire contaminado del área de trabajo es el ventilador tipo hongo. El accesorio por medio del cual se transporta el aire hacia el exterior es una campana localizada tipo isla y un damper de compuerta para permitir o no el paso del flujo.

3.1.5. Evaluación del sistema preliminar óptimo

A continuación, se presenta la evaluación de las posibles soluciones obtenidos anteriormente, para lo cual se va a emplear las ecuaciones de la norma VDI 2225 (Castro y Guerrero, 2021: p. 58):

$$X_i = \frac{g_1 p_1 + g_2 p_2 + \dots + g_n p_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) p_{max}} \quad (21)$$

Donde:

X_i = valor técnico

g_n = peso ponderado en criterios de evaluación (1-9)

p_n = puntaje (1-4)

$$Y_i = \frac{g_1 p_1 + g_2 p_2 + \dots + g_n p_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) p_{max}} \quad (22)$$

Donde:

Y_i = valor económico

g_n = peso ponderado en criterios de evaluación (1-9)

p_n = puntaje (1-4)

Tabla 2-3: Evaluación técnica del sistema preliminar

Evaluación de proyectos valor técnico (Xi)								
Proyecto: Diseño y simulación de un sistema de ventilación y extracción de olores para el proceso de molienda de especias								
p: puntaje de 1 a 4 (Escala de valores VDI 2225) 0 = no suficiente 1 = casi aceptable 2 = suficiente 3 = bien 4 = muy bien (ideal)								
g: es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación (1:9)								
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos								
Variantes de concepto		g	Solución 1		Solución 2		Solución 3	
Núm.	Criterio de evaluación		p	g * p	p	g * p	p	g * p
1	Operación	9	3	27	3	27	4	36
2	Cumplimiento de la norma	9	4	36	4	36	4	36
3	Ruido	8	3	24	2	16	3	24
4	Seguridad	8	4	32	4	32	4	32
5	Mantenimiento	8	3	24	3	24	4	32
6	Control de equipos	7	3	21	3	21	3	21
7	Instalación	8	3	24	3	24	4	32
Puntaje total: $\sum g_i$ y $\sum g_i p_i$		57		188		180		213
Valor técnico (X_i)				0.824		0.789		0.934

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

Tabla 3-3: Evaluación económica del sistema preliminar

Evaluación de proyectos valor económico (Yi)								
Proyecto: Diseño y simulación de un sistema de ventilación y extracción de olores para el proceso de molienda de especias								
p: puntaje de 1 a 4 (Escala de valores VDI 2225) 0 = no suficiente 1 = casi aceptable 2 = suficiente 3 = bien 4 = muy bien (ideal)								
g: es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación (1:9)								
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos								
Variantes de concepto		g	Solución 1		Solución 2		Solución 3	
Núm.	Criterio de evaluación		p	g * p	p	g * p	p	g * p
1	Costo de fabricación	9	2	18	3	27	3	27
2	Costo de mantenimiento	7	3	21	3	21	3	21
3	Costo de instalación	7	2	14	3	21	3	21
4	Costo de automatización	8	4	32	3	24	4	32
Puntaje total: $\sum g_i$ y $\sum g_i p_i$		31		85		93		101
Valor económico (Yi)				0.685		0.750		0.814

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

La evaluación de las alternativas arroja un valor muy adecuado para una solución, a continuación, se presenta la tabla 4-3 de resumen con los valores técnicos y económicos, con un rango de valores mayores a 0.6 y sabiendo que el valor ideal es 1. Para saber cuál es la mejor alternativa se debe dar preferencia a la que se ubica más próxima a la línea diagonal, ya que esta representa el mejor balance entre valores técnico-económico.

Tabla 4-3: Valores técnicos y económicos

Valores	Técnico	Económico
	Xi	Yi
Solución 1	0.824	0.685
Solución 2	0.789	0.750
Solución 3	0.934	0.814

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

Con los valores de la tabla 4-3 a continuación, se realiza la ilustración de la evaluación técnica y económica.

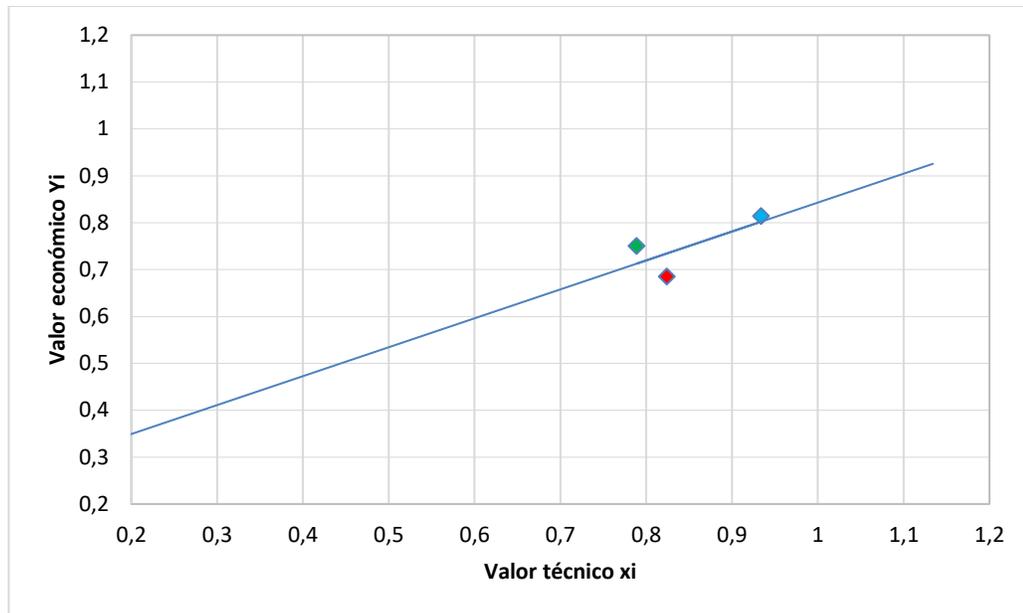


Ilustración 4-3: Evaluación técnica y económica de las posibles soluciones

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

Como se observa en la ilustración 4-3 se tiene que la solución óptima para continuar con el diseño de detalle es la solución 3, debido a su cercanía a la línea diagonal.

3.2. Diseño de detalle del sistema de ventilación y extracción de la solución 3

En el diseño de detalle se va a determinar las dimensiones de los elementos, las pérdidas de presión estática y la selección de los equipos y accesorios. Además, se emplean normas, manuales y catálogos para conseguir que el sistema funcione correctamente.

La distribución del sistema de ventilación y extracción se presenta en la ilustración 5-3, en donde el sistema de extracción se divide en dos subsistemas, el primer subsistema 1 (1-D) extrae el aire de la campana 1 y 2, el segundo subsistema 2 (3-D) extrae el aire de la campana 3 y 4.

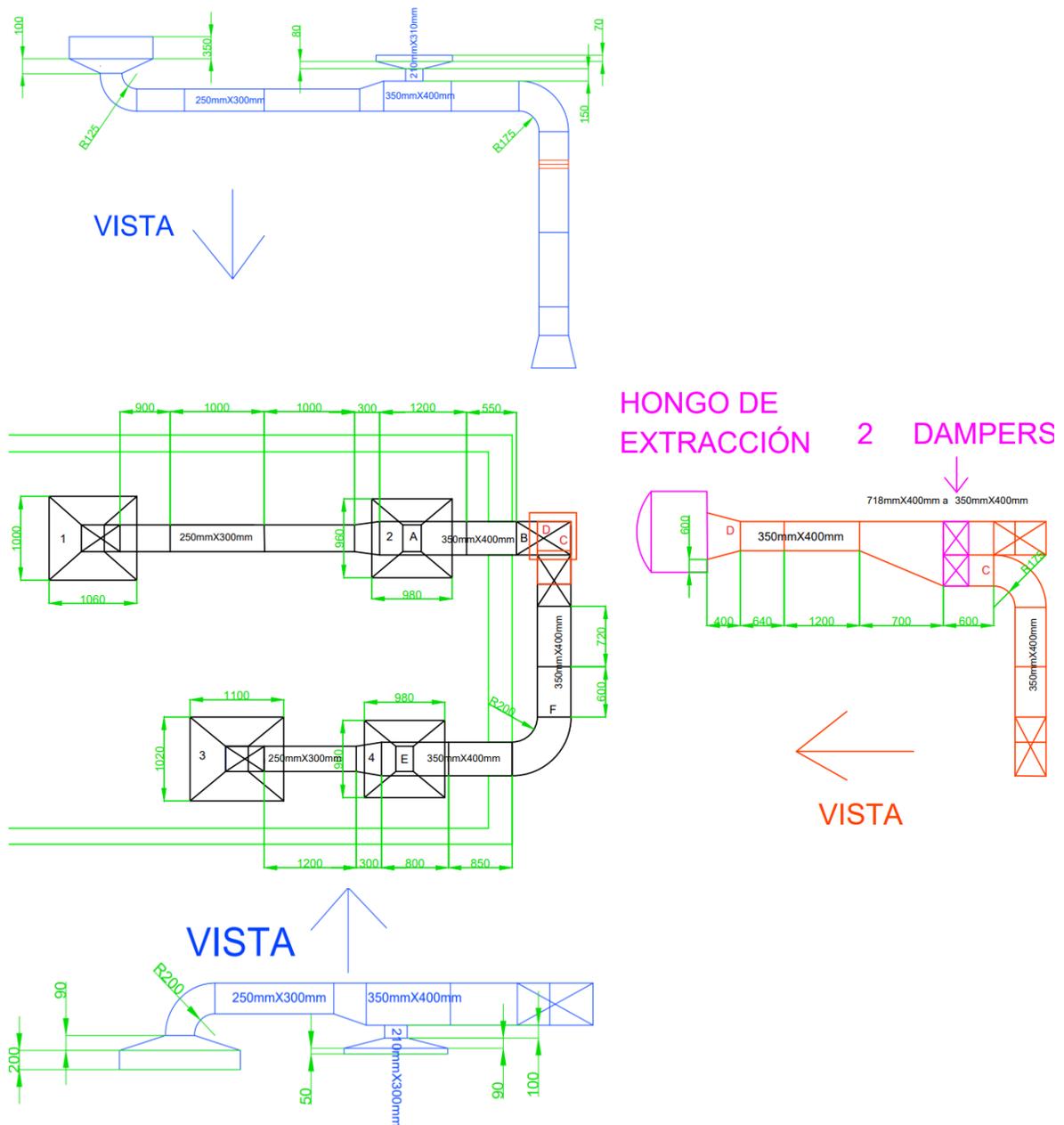


Ilustración 5-3: Sistema de extracción vista superior y laterales acotado por tramos

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

3.2.1. Cálculo de la caída de presión estática del sistema de extracción

El cálculo de la caída de presión se realiza aplicando el método de pérdida de carga constante para obtener la pérdida total del sistema, a continuación, se calculan las pérdidas por subsistemas, debido a que el sistema tendrá un dámper en el punto C con el cual solo funcionaran dos campanas a la vez.

Para poder calcular las pérdidas del sistema de ventilación, primero se deben determinar las dimensiones de la campana y el caudal que cada campana puede extraer. De acuerdo con el diseño conceptual el sistema consta de campanas suspendidas, la cual está en función de varias variables, las cuales se deben calcular primero. Se emplea la ecuación 8 para calcular las dimensiones de una campana, para lo cual es necesario determinar, las dimensiones de la zona contaminante en la maquina 1, las cuales son:

$l = \text{longitud paralela a la pared} = 0,60 \text{ m}$

$a = \text{longitud perpendicular a la pared} = 0,66 \text{ m}$

Además, se tiene que la altura (h) desde la parte inferior de la campana 1 hasta la zona contaminante es de 0,50 m, teniendo las dimensiones de:

$$Ll = l + 2 * (0,4 * h) = 0,60 + 2 * (0,4 * 0,5) = 1,00 \text{ m}$$

$$La = a + 2 * (0,4 * h) = 0,66 + 2 * (0,4 * 0,5) = 1,06 \text{ m}$$

Se realiza el mismo procedimiento para calcular las dimensiones de las campanas 2, 3 y 4, a continuación, se presenta una tabla de resumen de todos los valores calculados, incluyendo las dimensiones de la zona contaminante:

Tabla 5-3: Resumen de las dimensiones de cada campana (m)

Campana	Longitud zona contaminante paralela a la pared (l)	Longitud zona contaminante perpendicular a la pared (a)	Altura (h)	Longitud paralela a la pared (Ll)	Longitud perpendicular a la pared (La)
1	0,60	0,66	0,50	1,00	1,06
2	0,60	0,62	0,45	0,96	0,98
3	0,62	0,68	0,50	1,02	1,10
4	0,60	0,62	0,45	0,96	0,98

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

El caudal que permite extraer cada campana se calcula empelando la ecuación 2, debido a que tiene los cuatro lados libres, esta ecuación está en función de varias variables las cuales se van a determinar a continuación.

De acuerdo con el tipo de contaminante, nuestra velocidad de control se encuentra en el bloque número I en la tabla 1-2, donde tenemos solo gases, para lo cual se toma el valor medio, teniendo:

$$v = \frac{0,25 + 0,5 \text{ m}}{2} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,375 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El valor del perímetro es de la zona contaminante y la altura para la campana 1 se tiene en la tabla 5-3 el valor de los lados de la zona contaminante es de 0,60*0,66 m y la altura (h) es de 0,50 m. Con estos datos se calcula el caudal de aire que extrae la campana 1.

$$Q_1 = 1,4 * v * p * h \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

$$Q_1 = 1,4 * 0,375 \frac{\text{m}}{\text{s}} * (0,60 + 0,60 + 0,66 + 0,66) \text{ m} * 0,5 \text{ m}$$

$$Q_1 = 0,6615 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_1 = 0,6615 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 2118,882 \frac{\text{cfm} * \text{s}}{\text{m}^3} = 1401,64 \text{ cfm}$$

La velocidad de control es la misma para la campana 2, 3 y 4, y las variables del perímetro y la altura se tienen en la tabla 5-3, con lo cual se calculan los demás caudales. A continuación, se presenta una tabla de resumen de todos los valores de caudal que puede extraer cada campana.

Tabla 6-3: Caudales que pueden extraer las campanas

Campana	Velocidad de control $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$	Perímetro (m)	Altura (h)	Caudal $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$	Caudal (cfm)
1	0,375	2,520	0,500	0,6615	1401,64
2	0,375	2,440	0,450	0,5765	1221,40
3	0,375	2,600	0,500	0,6825	1446,00
4	0,375	2,440	0,450	0,5765	1221,40

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

3.2.1.1. Cálculo de caída de presión estática por longitud del subsistema 1

En la ilustración 5-3 se detalla la distribución de los ductos de extracción del subsistema 1 (1-D). Primero se determina el tamaño del ducto para cada tramo, el primer tramo es 1-A y para calcular sus dimensiones se emplea el valor de caudal de la campana 1 que se obtiene de la tabla 6-3. La velocidad recomendada para diseñar los ductos se obtiene de la tabla 7-2, según el tipo de contaminante, teniendo una velocidad entre 5 y 10 $\frac{m}{s}$. Por lo cual se selecciona la velocidad máxima que es de 10 $\frac{m}{s}$. Con todos estos valores, se calcula el área del ducto empleando la ecuación 15, teniendo:

$$A_{1-A} = \frac{Q_1}{v_1} = \frac{0,6615 \frac{m^3}{s}}{10 \frac{m}{s}} = 0,0662 m^2$$

Con el área calculada, se procede a calcular la sección transversal de nuestro ducto cuadrado empleando la ecuación 16, considerando que la velocidad no debe ser mayor a 10 m/s. Se selecciona un tamaño de ducto cuadrado que permita obtener un área cercana a la calculada, después de varias iteraciones se teniendo el valor de:

$$A_{1-A \text{ real}} = 300 \text{ mm} * 250 \text{ mm} = 75000 \text{ mm}^2 * \frac{1 m^2}{1000^2 mm^2} = 0,075 m^2$$

Con este valor se procede a recalculer la velocidad de trabajo, debido a que el área varía, teniendo:

$$v_{1 \text{ recalculada}} = \frac{Q_1}{A_{1-A \text{ real}}} = \frac{0,6615 \frac{m^3}{s}}{0,075 m^2} = 8,82 \frac{m}{s}$$

El tamaño de este tramo es de 300 mm*250 mm, se selecciona estas dimensiones para no sobrepasar la velocidad de trabajo y debido a las dimensiones del cuarto de trabajo a ventilar.

- El tramo de la segunda campana es 2-A y se va a considerar la misma velocidad debido a que se emplea para el mismo propósito.

Con el valor de caudal de la tabla 6-3 y la velocidad de diseño, calculamos el área del ducto para el tramo 2-A que se une a la línea principal de extracción, teniendo:

$$A_{2-A} = \frac{Q_2}{v_2} = \frac{0,57645 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,05765 \text{ m}^2$$

Con el valor del área, se procede a calcular la sección transversal del ducto cuadrado empleando la ecuación 16, de modo que sea un valor cercano al calculado, teniendo:

$$A_{2-A \text{ real}} = a * b = 310 \text{ m} * 210 \text{ mm} = 65100 \text{ mm}^2 * \frac{1 \text{ m}^2}{1000^2 \text{ mm}^2} = 0,0651 \text{ m}^2$$

Después se recalcula la velocidad de trabajo con la ecuación 15, debido a que el área varía, teniendo el valor de:

$$v_{2 \text{ recalculada}} = \frac{Q_2}{A_{2-A \text{ real}}} = \frac{0,57645 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,0651 \text{ m}^2} = 8,855 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El tamaño del ducto en el tramo 2-A es de 310 mm x 210 mm, se selecciona estas dimensiones para no sobrepasar la velocidad de trabajo y debido a el tamaño del área de trabajo.

- Para el segundo tramo de la línea principal en el punto A se suman los caudales de las campanas 1 y 2 debido a la bifurcación presente donde se unen los ductos.

Con el flujo volumétrico de estas campanas se obtiene el caudal en el punto A, el mismo que será el caudal total por extraer del área de trabajo.

$$Q_A = Q_1 + Q_2 = 0,6615 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + 0,5764 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1,238 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Con el caudal en A y velocidad de trabajo, se emplea la ecuación 15 y se calcula el área del ducto para el tramo A-B el cual tendrá las mismas dimensiones hasta el punto de salida:

$$A_{A-B} = \frac{Q_A}{v_A} = \frac{1,238 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,1238 \text{ m}^2$$

Con el valor del área, se calcula la sección transversal del ducto cuadrado, utilizando la ecuación 16, teniendo un área calculada de:

$$A_{A-B \text{ real}} = a * b = 400 \text{ mm} * 350 \text{ mm} = 140000 \text{ mm}^2 * \frac{1 \text{ m}^2}{1000^2 \text{ mm}^2} = 0,140 \text{ m}^2$$

Después se recalcula la velocidad de trabajo con la ecuación 15, se trabajará con la misma.

$$V_{A \text{ recalculada}} = \frac{Q_A}{A_{A-B \text{ real}}} = \frac{1,238 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,14 \text{ m}^2} = 8,843 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El tamaño del tramo A-B es de 400 mm*350 mm, se selecciona estas dimensiones para no sobrepasar la velocidad de trabajo y por el tamaño del área de trabajo, el subsistema 1 se divide en dos tramos más, debido a que posee un cambio de dirección y un damper. El tercer tramo es B-C y el último tramo es C-D como se observa en la ilustración 5-3, los cuales tienen las dimensiones del tramo A-B. A continuación, se presenta una tabla de resumen de las secciones transversales de cada tramo, incluyendo las longitudes que tiene cada tramo.

Tabla 7-3: Resumen de caudal, longitud, áreas transversales del subsistema 1

Tramos	Longitud (m)	Caudal ($\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$)	Caudal ($\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$)	Área transversal (m^2)	Ancho ducto(mm)	Alto ducto(mm)
De 1-A	3,03	0,6615	2381,4	0,075	300	250
De 2-A	0,142	0,57645	2075,22	0,0651	310	210
De A-B y B-C	1,626	1,238	4456,62	0,14	400	350
De C-D	2,44	1,238	4456,62	0,14	400	350

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

El material seleccionado para fabricar los ductos de acuerdo con el diseño conceptual es de acero al carbono galvanizado, las dimensiones de los ductos del subsistema 1 se tienen en la tabla 7-3 y están basadas en criterios del espacio del área a ventilar y los criterios de funcionalidad. El valor de rugosidad se selecciona de la tabla 6-2.

Para el cálculo de la pérdida de presión por longitud vamos a utilizar la ilustración 20-2, el cual asume una densidad del aire de $1,20 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ y con un factor de rugosidad de 0,09 mm.

Para calcular las pérdidas de presión estática por longitud, es necesario determinar el diámetro equivalente para ingresar a la ilustración 20-2, el mismo se calcula aplicando la ecuación 13. Además, se necesita transformar el caudal a los valores de la ilustración 20-2, teniendo $0,6615 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 661,50 \frac{\text{l}}{\text{s}}$. En el tramo 1-A se tienen las dimensiones de 300 mm*250 mm, por lo tanto, nos da un diámetro equivalente de:

$$D_e = \frac{1,30 * (300 * 250)^{0,625}}{(300 + 250)^{0,25}} = 299 \text{ mm}$$

Con el valor del diámetro equivalente (De), la velocidad de trabajo de $8,82 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ y el flujo volumétrico, ingresamos en la ilustración 20-2, obteniendo el valor de la pérdida por unidad de longitud de $2,700 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$. Este valor se multiplica por la longitud recta de nuestro tramo 1-A, teniendo una pérdida por longitud de:

$$\text{Pérdida por longitud}_{1-A} = 2,700 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} * 3,03 \text{ m} = 8,181 \text{ Pa}$$

Se realiza el mismo procedimiento para calcular las pérdidas de los tamos 2-A, A-B, B-C y C-D, teniendo los resultados mostrados en la tabla 8-3.

Tabla 8-3: Pérdidas por longitud para cada tramo de ducto del subsistema 1

Sección del ducto	Flujo ($\frac{\text{l}}{\text{s}}$)	Diámetro equivalente (mm)	Velocidad ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$)	Longitud del ducto (m)	Pérdida de presión ($\frac{\text{Pa}}{\text{m}}$)	Pérdida de presión total (Pa)
De 1-A	661,500	299	8,820	3,030	2,700	8,181
De 2-A	576,450	278	8,855	0,142	3,000	0,426
De A-B y B-C	1237,950	409	8,843	1,626	1,900	3,089
De C-D	1237,950	409	8,843	2,440	1,900	4,636
TOTAL =						16,332

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

3.2.1.2. Caída de presión estática por accesorios del subsistema 1

Los accesorios se consideran las transiciones, los cambios de sección transversal, los codos y las bifurcaciones. Las pérdidas se calculan empleando la ecuación 12, pero primero es necesario determinar el coeficiente de pérdida local de cada accesorio para lo cual se utiliza la norma ASHRAE. Primero se va a considerar el cambio de sección, se calcula empleando los valores de velocidad calculados previamente y los valores del coeficiente de pérdida local que se obtiene de la ilustración 21-2. En el punto A se tiene una transición en donde se selecciona la velocidad del tramo de menor área, teniendo en la tabla 8-3 el valor de $8,820 \frac{m}{s}$.

El coeficiente de pérdida está en función del ángulo (θ) que es la relación entre la sección transversal de menor área y la de mayor área. La sección transversal menor tiene las dimensiones de 300*250 mm teniendo un área de $0,075 m^2$, y la sección transversal mayor tiene las dimensiones de 400*350 mm teniendo un área de $0,140 m^2$. Se tiene que la relación entre el área de menor y mayor sección es:

$$\frac{A_{1-A}}{A_{A-B}} = \frac{0,075 m^2}{0,140 m^2} = 0,54$$

El ángulo del cambio de sección depende de la longitud que tenga el cambio de sección y las áreas, la longitud que tiene nuestro cambio de sección es 300 mm, con lo cual se tiene un ángulo (θ) de aproximadamente 20° .

Con los valores de la relación de áreas y el Angulo, se ingresa en la ilustración 21-2 y se obtiene el valor del coeficiente. Después de realizar una interpolación entre los valores, se obtiene un coeficiente $C = 0,1393$. Finalmente se emplea la ecuación 12 obteniendo el valor de pérdida de:

$$\Delta p_A = 0,602 * 8,820^2 * 0,1393 Pa = 6,524 Pa$$

Se sigue el mismo procedimiento para calcular la pérdida de la transición en el tramo C-D, teniendo los valores que se muestran en la tabla 9-3.

Tabla 9-3: Pérdida de presión en las transiciones del subsistema 1

Sección del ducto	Elemento	Flujo ($\frac{l}{s}$)	Velocidad ($\frac{m}{s}$)	Presión de velocidad	Coefficiente de pérdida en transición	Pérdida de presión total (Pa)
Punto A	Transición	661,500	8,820	46,831	0,1393	6,524
De C-D	Transición	1237,950	8,843	47,070	0,2110	9,932
Total =						16,455

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

En el punto A se tiene una bifurcación, en este caso para la línea principal el coeficiente es C_s y para la línea secundaria es C_b . Para calcular los coeficientes se utiliza la ilustración 22-2 que está en función de los flujos volumétricos, tanto de entrada como el de salida.

El caudal de entrada que es el del tramo 1-A se conoce como Q_s , el del tramo 2-A se conoce como Q_b y el caudal de salida se conoce como Q_c . Con las variables definidas tenemos estos valores en la tabla 8-3 y son $Q_s = 661,50 \frac{l}{s}$, de $Q_b = 576,45 \frac{l}{s}$ y de $Q_c = 1237,95 \frac{l}{s}$. Con estos datos se calculan las relaciones, teniendo:

$$\frac{Q_b}{Q_c} = \frac{576,45}{1237,95} = 0,466$$

$$\frac{Q_s}{Q_c} = \frac{661,50}{1237,95} = 0,534$$

Con estos datos ingresamos a la ilustración 22-2 y después de una interpolación se obtienen los coeficientes. Los mismos que son $C_b = 0,682$ y $C_s = 1,942$ respectivamente. Luego se calcula el valor de la pérdida en la bifurcación aplicando la ecuación 12, con las velocidades de cada tramo de llegada, teniendo el resultado de:

$$\Delta p_s = 0,602 * V^2 * C_s = 0,602 * 8,82^2 * 1,942 \text{ Pa} = 90,103 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_b = 0,602 * V^2 * C_b = 0,602 * 8,855^2 * 0,682 \text{ Pa} = 32,192 \text{ Pa}$$

A continuación, se presenta una tabla con el resumen de los valores de pérdida en la bifurcación.

Tabla 10-3: Pérdida de presión para una bifurcación principal y secundaria del subsistema 1

Sección del ducto	Elemento	Flujo ($\frac{l}{s}$)	Velocidad ($\frac{m}{s}$)	Presión de velocidad	Coefficiente de pérdida en bifurcación	Pérdida de presión total (Pa)
De 2-A	Bifurcación	576,450	8,855	47,200	0,682	32,192
De 1-A	Bifurcación	661,500	8,820	46,830	1,924	90,103
Total =						122,294

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

Al analizar un accesorio como el codo, se debe tener en cuenta el coeficiente de pérdida local (C_o), el ángulo que forma el codo (θ), la relación entre el ancho (W) y la altura (D) del ducto y a relación entre el radio de curvatura (R) y la altura (D). Para calcular el coeficiente se utiliza la tabla 8-2.

El subsistema tiene dos codos, el primero está en el tramo 1-A y tiene una dimensión de 300*250 mm, el segundo está en el tramo A-B con las dimensiones de 400*350 mm, para los dos tramos el ángulo es de 90°. Con los datos mencionados se calcula el coeficiente de pérdida local. Para calcular el coeficiente en el tramo 1-A, primero se calcula las siguientes relaciones:

$$\frac{W}{D} \text{ y } \frac{R}{D}$$

Donde:

W = Ancho de la sección transversal del ducto

D = Altura de la sección transversal del ducto.

R = Radio de curvatura del ducto.

$$\frac{W}{D} = \frac{300}{250} = 1,200$$

$$\frac{R}{D} = \frac{325}{250} = 1,300$$

Con los valores de 1,200 y 1,300 se ingresa a la tabla 8-2 y se realiza una doble interpolación, obteniendo un resultado de $C_o = 0,162$.

De la misma forma se calcula el coeficiente en el tramo A-B con las relaciones:

$$\frac{W}{D} = \frac{400}{350} = 1,143$$

$$\frac{R}{D} = \frac{425}{350} = 1,214$$

Con los valores de 1,143 y 1,214 se ingresa a la tabla 8-2 y se realiza una doble interpolación, obteniendo el valor de $C_o = 0,176$. Para calcular el valor de la pérdida en los codos se aplica la ecuación 12, con las velocidades de cada tramo, teniendo:

$$\Delta p_{1-A} = 0,602 * V^2 * C_o = 0,602 * 8,82^2 * 0,162 \text{ Pa} = 7,587 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{A-B} = 0,602 * V^2 * C_o = 0,602 * 8,84^2 * 0,176 \text{ Pa} = 8,271 \text{ Pa}$$

En la tabla 11-3 se presenta un resumen de los valores de pérdida en los codos.

Tabla 11-3: Pérdida de presión en los codos del subsistema 1

Sección del ducto	Elemento	Flujo ($\frac{l}{s}$)	Velocidad ($\frac{m}{s}$)	Presión de velocidad	Coefficiente de pérdida en el codo	Pérdida de presión total (Pa)
De 1-A	Codo	661,5	8,82	46,83	0,162	7,587
De A-B	Codo	1237,95	8,84	47,07	0,176	8,271
Total =						15,858

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

3.2.1.3. Cálculo de caída de presión estática en la entrada de las campanas del subsistema 1

El cálculo de pérdida en la entrada de cada campana depende de la forma de esta es decir si es rectangular o redonda y además depende del ángulo de entrada. Para obtener el valor de pérdida que genera cada una de las campanas de nuestro sistema, primero se calcula la pérdida dinámica utilizando la ecuación 11.

Para el cálculo de pérdidas totales o pérdida estática en la campana se emplea la ecuación 9. Considerando la campana 1 en la ilustración 5-3, se procede a calcular la pérdida generada en la entrada. La velocidad en la campana se toma la del ducto que está conectada a la misma, teniendo un valor de $8,820 \frac{m}{s}$, y un ángulo de 155 grados.

El valor del factor de pérdida se obtiene de la ilustración 19-2 el cual está en función del tipo de campana y del ángulo de esta. De acuerdo con la ilustración se obtiene un valor de 0,510 con este valor se procede a calcular la pérdida en la entrada de la campana 1. Se necesita calcular el valor de pérdida dinámica:

$$P_{D1} = 1,204 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{(8,820 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2}$$

$$P_{D1} = 46,831 \text{ Pa}$$

Después se emplea la ecuación 9 y se obtiene el valor de la pérdida en la entrada de la campana 1:

$$P_{T1campana} = 46,831 \text{ Pa} * (0,510 + 1)$$

$$P_{T1campana} = 70,715 \text{ Pa}$$

Considerando la campana 2 en la ilustración 5-3, se procede a calcular la pérdida generada en la entrada de esta. La velocidad en la campana se toma del ducto que está conectada a la misma, teniendo un valor de $8,855 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, y un ángulo de 155 grados. De acuerdo con la ilustración 19-2 el valor del factor de pérdida es de 0,510, con este valor primero se calcula el valor de pérdida dinámica empleando la ecuación 11, teniendo:

$$P_{D2} = 1,204 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{(8,855 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2}$$

$$P_{D2} = 47,20 \text{ Pa}$$

Por lo tanto, el valor de la pérdida en la entrada de la campana 2 es:

$$P_{T2campana} = 47,20 \text{ Pa} * (0,510 + 1)$$

$$P_{T2campana} = 71,275 \text{ Pa}$$

La pérdida de la campana 2 es de 71,275 Pa, este valor puede variar dependiendo de la velocidad del ducto, del ángulo de la campana y del tipo de campana. Después de calcular todas las pérdidas que se genera en nuestro sistema, el valor de pérdida de presión total es la suma de todas las pérdidas, teniendo:

$$P_{TOTAL} = P_{longitud} + P_{transiciones} + P_{bifurcaciones} + P_{codos} + P_{T1campana} + P_{T2campana}$$

$$P_{TOTAL} = (16,332 + 16,455 + 122,294 + 15,858 + 70,715 + 71,275) \text{ Pa}$$

$$P_{TOTAL} = 312,929 \text{ Pa}$$

3.2.1.4. Cálculo de la presión estática total del subsistema 1

Para obtener el valor de la presión estática total se debe calcular la presión total y la presión de velocidad, empleando la ecuación 18. Para obtener la velocidad del ventilador se necesita conocer el caudal a extraer para seleccionar un valor estándar. El caudal para extraer es de 2623 cfm por lo cual el valor estándar más cercano es de 2700 cfm, con este valor se procede a calcular la velocidad de descarga del ventilador, utilizando la ecuación 19.

$$v_{descarga} \left(\frac{ft}{min} \right) = Q(cfm) * 0,7617$$

$$V_{descarga} = 2623,000 * 0,7617 \frac{ft}{min}$$

$$V_{descarga} = 1998,015 \frac{ft}{min} = 10,150 \frac{m}{s}$$

La presión de velocidad a la salida del ventilador se obtiene empleando la ecuación 11 y es de:

$$P_v = 1,204 * \frac{(10,150 \frac{m}{s})^2}{2}$$

$$P_v = 62,019 \text{ Pa}$$

De la ecuación 18, se despeja la presión estática para obtener este valor y con el mismo poder seleccionar el ventilador. Con los de presión calculados, se tiene una presión estática de:

$$P_s = P_{TOTAL} - P_v$$

$$P_s = 312,929 \text{ Pa} - 62,019 \text{ Pa}$$

$$P_s = 250,911 \text{ Pa} = 1,008 \text{ in}$$

En todo sistema el factor de seguridad debe ser mayor a 1 para asegurar que el sistema trabaje correctamente, por lo cual se utiliza un factor de seguridad de 1,5, y se emplea la ecuación 20 para calcula la presión estática:

$$P_s = n * (P_{TOTAL} - P_v)$$

$$P_s = 1,5 * (250,911 \text{ Pa})$$

$$P_s = 376,366 \text{ Pa} = 38,400 \text{ mmcda} = 1,512 \text{ in}$$

Para seleccionar el ventilador adecuado se debe revisar los valores estándares presentes en el mercado, el valor de la presión estática no es estándar entonces se procede a recalculer el factor de seguridad considerando un valor de presión estática estándar cercano al calculado. El valor de presión estática estándar es de 1,5 in con lo cual se recalcula el factor de seguridad, teniendo:

$$n = \frac{P_s \text{ estandar}}{P_s \text{ calculado}}$$

$$n = \frac{1,500 \text{ in}}{1,008 \text{ in}} = 1,488$$

Como tenemos un valor de seguridad de 1,488 y es mayor a 1, el sistema de ventilación está seguro y se procede a seleccionar un ventilador con el valor de 1,50 in de presión estática y un caudal de 2700 cfm.

3.2.1.5. Caída de caída de presión estática por longitud del subsistema 2

El subsistema 2 se observa en la ilustración 5-3 y se tienen los tramos 3-E, 4-E, en el punto E se tiene una bifurcación donde se unen los caudales, después se tiene el tramo E-F, además tiene dos tramos más, debido a que posee dos cambios de dirección y un dámper, el tercer tramo es F-C y el último tramo es C-D.

Para los cálculos del subsistema 2 se sigue el mismo procedimiento del subsistema 1, teniendo los caudales de las campanas 3 y 4 en la tabla 6-3, la velocidad se selecciona de la tabla 7-2 y se emplean las ecuaciones 15 y 16. A continuación, se presenta una tabla de resumen de todos los valores calculados, incluyendo las longitudes de cada tramo.

Tabla 12-3: Resumen de caudal, longitud, áreas transversales del subsistema 2

Tramos	Longitud (m)	Caudal ($\frac{m^3}{s}$)	Caudal ($\frac{m^3}{h}$)	Área transversal (m^2)	Ancho ducto (mm)	Alto ducto (mm)
De 3-E	1,238	0,6825	2457,00	0,075	300	250
De 4-E	0,113	0,5765	2075,22	0,063	300	210
De E-F y F-C	3,570	1,2590	4532,22	0,140	400	350
De C-D	1,840	1,2590	4532,22	0,140	400	350

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

El material es acero al carbono galvanizado, las dimensiones de los ductos están basadas en criterios del espacio del área a ventilar y los criterios de funcionalidad. Las dimensiones de los ductos se encuentran en la tabla 12-3. El valor de rugosidad de aceros al carbono galvanizado es de 0,09 mm. Se utiliza la ilustración 20-2 para el cálculo de las pérdidas de presión estática por longitud. Por lo cual primero se debe determinar el diámetro equivalente aplicando la ecuación 13 y además es necesario transformar los valores de caudal de cada tramo de la tabla 12-3 a los valores de la ilustración 20-2. Con el valor del diámetro equivalente (D_e), la velocidad de trabajo y el flujo volumétrico del tramo 3-E, el tramo 4-E, el tramo E-F, el tramo F-C y el tramo C-D se obtienen los valores de pérdidas por longitud que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 13-3: Pérdidas por longitud para cada tramo de ducto del subsistema 2

Sección del ducto	Flujo ($\frac{l}{s}$)	Diámetro equivalente (mm)	Velocidad ($\frac{m}{s}$)	Longitud del ducto (m)	Pérdida de presión ($\frac{Pa}{m}$)	Pérdida de presión total (Pa)
De 3-E	682,500	0,299	9,100	1,238	2,900	3,590
De 4-E	576,450	0,273	9,150	0,113	3,200	0,362
De E-F y F-C	1258,950	0,409	8,993	3,570	2,000	7,140
De C-D	1258,950	0,409	8,993	1,840	2,000	3,680
					Total =	14,772

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

3.2.1.6. Caída de presión estática por accesorios del subsistema 2

En la ilustración 5-3 en el punto E hay una bifurcación, en este caso para la línea principal el coeficiente es C_s y para la línea secundaria es C_b . Para calcular los coeficientes se utiliza la tabla 20-2 que está en función de los flujos volumétricos, tanto de los flujos de entrada como el de salida. El caudal de entrada que es el del tramo 3-E se conoce como Q_s , el del tramo 4-E se conoce como Q_b y el caudal de salida se conoce como Q_c .

Una vez que las variables estén definidas tenemos los valores de $Q_s = 682,50 \frac{1}{s}$, de $Q_b = 576,45 \frac{1}{s}$ y de $Q_c = 1258,95 \frac{1}{s}$. Con todos estos datos del flujo volumétrico se calcula las relaciones presentes en la ilustración 22-2 para encontrar los coeficientes, teniendo:

$$\frac{Q_b}{Q_c} = \frac{576,45}{1258,95} = 0,458$$

$$\frac{Q_s}{Q_c} = \frac{682,50}{1258,95} = 0,542$$

Con los datos previos calculados ingresamos en la ilustración 22-2 donde se obtienen los coeficientes después de realizar una interpolación, teniendo los siguientes valores para los coeficientes $C_b = 0,663$ y $C_s = 1,852$ respectivamente. Con los valores de velocidad de cada tramo de llegada se calcula la pérdida en la bifurcación aplicando la ecuación 12. A continuación, se tiene la tabla 14-3 con el resumen de los valores de pérdida en la bifurcación.

Tabla 14-3: Pérdida de presión para una bifurcación principal y secundaria del subsistema 2

Sección del ducto	Elemento	Flujo ($\frac{1}{s}$)	Velocidad ($\frac{m}{s}$)	Presión de velocidad	Coefficiente de pérdida en transición	Pérdida de presión total (Pa)
De 3-E	Bifurcación	682,500	9,100	49,850	1,852	92,325
De 4-E	Bifurcación	576,450	9,150	50,400	0,663	33,416
Total =						125,741

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

Al analizar un accesorio como el codo, se debe tener en cuenta el coeficiente de pérdida local (C_o), el ángulo que forma el codo (θ), la relación entre el ancho (W) y la altura (D) del ducto y a relación entre el radio de curvatura (R) y la altura (D).

En la ilustración 5-3 el subsistema tiene tres codos, el primero está en el tramo 3-E y tiene una dimensión de 300*250 mm con un radio de curvatura (R) de 325 mm, el segundo está en el tramo E-F tiene una dimensión de 400*350 mm con un R de 425 mm y el tercer tramo F-C tiene las dimensiones de 400*350 mm con un R de 425 mm, para los tres tramos el ángulo es de 90° . Se calcula el coeficiente de pérdida local para cada tramo empleando la tabla 8-2.

Primero se calcula el coeficiente en el tramo 3-E, teniendo los valores de 1,200 y 1,300, se ingresa a la tabla 8-2 y se realiza una doble interpolación, obteniendo el valor de $C_o = 0,162$. Después se calcula el coeficiente en el tramo E-F, teniendo los valores de 1,143 y 1,214, se realiza una doble interpolación obteniendo el valor de $C_o = 0,176$.

Finalmente se calcula el coeficiente en el tramo F-C, teniendo los valores de 1,143 y 1,214, se realiza una doble interpolación, obteniendo el valor de $C_o = 0,176$. Se calcula los valores de la pérdida en los codos empleando la ecuación 12 y con las velocidades de cada tramo de ducto. En la siguiente tabla se presentan los valores de pérdidas:

Tabla 15-3: Pérdida de presión en los codos, considerando la campana 3 y 4

Sección del ducto	Elemento	Flujo ($\frac{l}{s}$)	Velocidad ($\frac{m}{s}$)	Presión de velocidad	Coficiente de pérdida en transición	Pérdida de presión total (Pa)
De 3-E	Codo	682,50	9,10	49,85	0,162	8,076
De E-F	Codo	1258,95	8,99	48,68	0,176	8,568
De F-C	Codo	1258,95	8,99	48,68	0,176	8,568
Total =						25,212

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

3.2.1.7. Cálculo de caída de presión estática en la entrada de las campanas del subsistema 2

Considerando la campana 3 en la ilustración 5-3, se procede a calcular la pérdida generada en la entrada de esta. La velocidad en la campana será la velocidad del ducto que está conectada a la misma, el cual tiene una velocidad de $9,10 \frac{m}{s}$, y de acuerdo con las dimensiones de esta tiene un ángulo de 156 grados.

El valor del factor de pérdida se obtiene de la ilustración 19-2, teniendo un valor de 0,510, con el cual es posible calcular la pérdida en la entrada de la campana con la ecuación 9, pero primero se calcula la pérdida dinámica con la ecuación 11. La pérdida generada en la entrada de la campana 3 es de 75,276 Pa. Ahora se considera la campana 4 en la ilustración 5-3 la cual tiene una velocidad de 9,150 m/s, y un ángulo de 155 grados. Se sigue el mismo procedimiento que la campana 3, teniendo una pérdida de 75,853 Pa, este valor puede variar dependiendo de la velocidad del ducto, el ángulo de la campana y el tipo de campana.

Después de calcular todas las pérdidas que se generan en el subsistema 2, el valor de pérdida de presión total es de:

$$P_{TOTAL} = P_{longitud} + P_{transiciones} + P_{bifurcaciones} + P_{codos} + P_{T1campana} + P_{T2campana}$$
$$P_{TOTAL} = (14,772 + 17,151 + 125,741 + 25,212 + 75,276 + 75,853) \text{ Pa}$$
$$P_{TOTAL} = 334,005 \text{ Pa}$$

3.2.1.8. Cálculo de la presión estática total del subsistema 2

Para calcular la presión estática total se debe calcular la presión total y la presión de velocidad, utilizando la ecuación 18. La velocidad del ventilador se utiliza para calcular la presión de velocidad por lo cual se necesita conocer el caudal a extraer para seleccionar un valor estándar.

El caudal por extraer es de 2667,570 cfm por lo cual el valor estándar se encuentra en catálogos, con este valor se procede a calcular la velocidad de descarga del ventilador, utilizando la siguiente ecuación de Greenheck:

$$v_{descarga} \left(\frac{ft}{min} \right) = Q(cfm) * 0,7617$$

$$V_{\text{descarga}} = 2667,570 * 0,7617 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

$$V_{\text{descarga}} = 2031,888 \frac{\text{ft}}{\text{min}} = 10,332 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Entonces la presión de velocidad a la salida del ventilador se calcula con la ecuación 11, teniendo el valor de $P_{v\text{salida}} = 64,139 \text{ Pa}$. Se despeja la presión estática de la ecuación 18, y con los valores de presión calculados tenemos una presión estática de:

$$P_s = 270,304 \text{ Pa} = 1,086 \text{ in}$$

En todo sistema el factor de seguridad debe ser mayor a 1 para asegurar que el sistema trabaje correctamente, se aplica un factor de seguridad de 1,4 obteniendo:

$$P_s = n * (P_{\text{TOTAL}} - P_v)$$

$$P_s = 1,4 * (268,735 \text{ Pa})$$

$$P_s = 378,425 \text{ Pa} = 38,610 \text{ mmcd} = 1,520 \text{ in}$$

El valor de la presión estática no es estándar entonces se procede a recalculer el factor de seguridad considerando un valor de presión estática estándar cercano al calculado. El valor de presión estática estándar es de 1,5 in para el ventilador, con lo cual se recalcula el factor de seguridad, teniendo el valor de:

$$n = \frac{P_s \text{ estandar}}{P_s \text{ calculado}}$$

$$n = \frac{1,500 \text{ in}}{1,086 \text{ in}} = 1,381 \approx 1,4$$

Un valor de seguridad de 1,4 nos indica que el sistema de ventilación está seguro y se procede a seleccionar un ventilador con el valor de 1,5 in de presión estática y un caudal de 2667,570 cfm. Considerando las campanas 1 y 2 o si se consideran las campanas 3 y 4 se tienen valores similares de caudal y de presión estática, por lo tanto, no hay problema si se trabaja con cualquier subsistema.

Tabla 16-3: Valores totales del sistema de ventilación

Datos	Valores	Unidades
Pérdida de presión estática	1.50	in
Caudal	2668	cfm
Factor de seguridad	1.40	

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

3.3. Cálculo de la caída de presión estática a la entrada del sistema

El cálculo de la caída de presión a la entrada del sistema se realiza aplicando el método de pérdida de carga constante para obtener la pérdida total de todo el sistema, con el valor de caudal a extraer previamente calculado se va a calcular las pérdidas que permiten seleccionar el equipo adecuado para esta aplicación. El caudal de entrada y salida es el mismo para no crear una depresión o sobrepresión en el área de trabajo. En la ilustración 6-3 se muestran los accesorios y equipos del sistema.

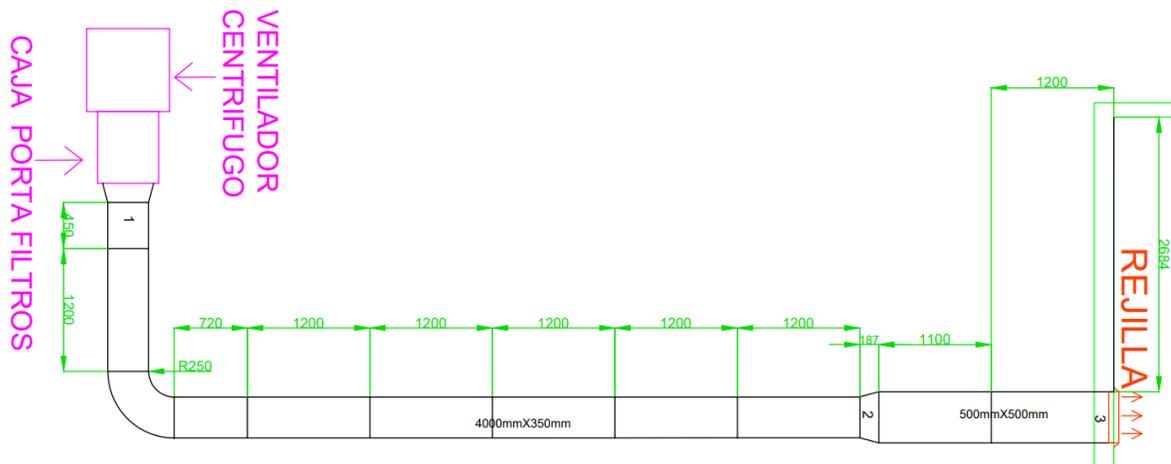


Ilustración 6-3: Sistema de entrada vista superior acotado por tramos

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

3.3.1. Cálculo de la velocidad y dimensiones del ducto en la entrada

El cálculo de las dimensiones se inicia teniendo el caudal del sistema de extracción y la velocidad de trabajo, en la ilustración 6-3 se tiene la distribución del sistema de ventilación, y con los valores obtenidos se procede a calcular las dimensiones de la sección transversal del ducto en el tramo 1-2 empleando la ecuación 15, obteniendo las siguientes dimensiones:

$$A_{\text{Entrada 1-2}} = \frac{Q_{\text{Entrada 1-2}}}{V_{\text{Entrada 1-2}}} = \frac{1,259 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,1259 \text{ m}^2$$

Con el valor del área se puede obtener la sección transversal del ducto cuadrado empleando la ecuación 16, para que la velocidad de entrada no sea muy alta y genere malestar se seleccionara un área cerca a la calculada, teniendo:

$$A_{\text{Ent real 1-2}} = a * b = 400 \text{ mm} * 350 \text{ mm} = 140000 \text{ mm}^2 * \frac{1 \text{ m}^2}{1000^2 \text{ mm}^2} = 0,140 \text{ m}^2$$

Se procede a recalcular la velocidad de trabajo, esta será la velocidad con la cual va a funcionar el sistema:

$$V_{\text{Ent recalculada 1-2}} = \frac{Q_{\text{Entrada 1-2}}}{A_{\text{Entrada real 1-2}}} = \frac{1,259 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,140 \text{ m}^2} = 8,993 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Las dimensiones del tramo de entrada 1-2 es 400 mm*350 mm, se selecciona estas dimensiones para no sobrepasar la velocidad de trabajo y para no provocar un levantamiento de los productos en el área de trabajo.

Después se calcula la velocidad del tramo de ducto 2-3 debido a que se modifican las dimensiones a 500*500mm para que cumpla con los requisitos de la rejilla que se instala a la salida del ducto y para que el caudal de aire ingrese a baja velocidad, teniendo la siguiente velocidad:

$$V_{\text{Entrada 2-3}} = \frac{Q_{\text{Entrada 2-3}}}{A_{\text{Entrada 2-3}}} = \frac{1,259 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,25 \text{ m}^2} = 5,036 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

A continuación, se presente una tabla de resumen de todos los valores calculados, incluyendo la longitud que tiene cada tramo de ducto del sistema de entrada:

Tabla 17-3: Resumen de caudal, longitud, áreas transversales en la entrada

Tramos	Longitud (m)	Caudal ($\frac{m^3}{s}$)	Caudal ($\frac{m^3}{h}$)	Área transversal (m^2)	Ancho ducto (mm)	Alto ducto (mm)
Entrada 1-2	8,370	1,259	4532,4	0,140	400	350
Entrada 2-3	2,300	1,259	4532,4	0,250	500	500

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

3.3.2. Caída de presión estática por longitud en la entrada

El material seleccionado para fabricar el ducto de entrada es el mismo que los ductos de salida, los cuales son de acero al carbono galvanizado. Para el cálculo de la pérdida de presión estática por longitud vamos a utilizar la ilustración 20-2 que es para aceros galvanizados. Para calcular las pérdidas de presión estática por longitud, es necesario determinar el diámetro equivalente de cada tramo de ducto cuadrado aplicando la ecuación 13, teniendo las dimensiones de 400*350 mm para el tramo 1-2 y de 500*500 mm para el tramo 2-3, se obtiene:

$$D_{e\ 1-2} = \frac{1,30 * (400 * 350)^{0,625}}{(400 + 350)^{0,25}} = 409 \text{ mm}$$

$$D_{e\ 2-3} = \frac{1,30 * (500 * 500)^{0,625}}{(500 + 500)^{0,25}} = 547 \text{ mm}$$

Además, para el cálculo de la pérdida del tramo de entrada se necesita transformar el flujo volumétrico a los valores de la ilustración 20-2, teniendo que $1,259 \frac{m^3}{s} = 1259 \frac{1}{s}$. Con estos valores se ingresa en la ilustración 20-2. Obteniendo el valor de la pérdida por unidad de longitud de $1,800 \frac{Pa}{m}$. Este valor se multiplica por la longitud del tramo teniendo:

$$\text{Pérdida por longitud entrada} = 1,800 \frac{Pa}{m} * 7,000 \text{ m} = 12,600 \text{ Pa}$$

Se realiza el mismo procedimiento para el tramo 2-3, teniendo en la siguiente tabla los datos calculados.

Tabla 18-3: Pérdidas por longitud en el ducto de entrada

Sección del ducto	Flujo ($\frac{l}{s}$)	Diámetro equivalente (mm)	Velocidad ($\frac{m}{s}$)	Longitud del ducto (m)	Pérdida de presión ($\frac{Pa}{m}$)	Pérdida de presión total (Pa)
Entrada 1-2	1259	409	8,993	8,370	1,800	15,066
Entrada 2-3	1259	547	5,036	2,300	0,500	1,150
					TOTAL =	16,216

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

3.3.3. *Caída de presión estática por accesorios en la entrada*

Los accesorios son las transiciones, los cambios de sección transversal, los codos y las bifurcaciones. Además, se pueden agregar accesorios como son rejillas, dampers, etc. Las pérdidas se calculan empleando las tablas de la norma ASHRAE en donde se conocen como coeficientes de pérdidas. Para el cálculo de las pérdidas se emplea la ecuación 12. En punto 2 del ducto tenemos una transición, donde se selecciona la velocidad del tramo de menor área, teniendo el valor de $8,993 \frac{m}{s}$.

El coeficiente se calcula utilizando la ilustración 21-2 que está en función del ángulo (θ) que forma el cambio de sección y la división entre la sección transversal de menor área y la de mayor área. La sección transversal menor está en el tramo 1-2 tiene la dimensión de 400*350 mm con lo cual nos da un área de $0,140 m^2$, y la mayor sección transversal tiene las dimensiones de 500*500 mm teniendo un área de $0,250 m^2$. La relación entre áreas nos da el siguiente valor:

$$\frac{A_{1-2}}{A_{2-3}} = \frac{0,140 m^2}{0,250 m^2} = 0,560$$

El ángulo del cambio de sección depende de la longitud del cambio de sección y de las áreas, la longitud que tiene nuestro cambio de sección es 187 mm, con lo cual se tiene un ángulo (θ) de aproximadamente 30° . Con estos valores se ingresa en la ilustración 21-2 y se realiza una interpolación entre los valores, obteniendo un coeficiente de $C = 0,211$. El valor de la pérdida en el cambio de sección es de:

$$\Delta p_2 = 0,602 * 8,993^2 * 0,211 Pa = 10,282 Pa$$

En la siguiente tabla se muestran los valores empleados para el cálculo de la pérdida de presión y el valor de esta.

Tabla 19-3: Pérdida de presión en la transición 2 del ducto de entrada

Sección del ducto	Elemento	Flujo ($\frac{l}{s}$)	Velocidad ($\frac{m}{s}$)	Presión de velocidad	Coefficiente de pérdida en transición	Pérdida de presión total (Pa)
Entrada	Transición en 2	1259	8,993	48,685	0,211	10,282
Total =						10,282

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

En la ilustración 5-3 se considera el tramo 1-2 y se tiene un codo a la salida del ventilador, con las dimensiones de 400*350mm, un ángulo de 90° y con un radio de 450 mm. Aplicando las relaciones de la tabla 8-2 se tiene:

$$\frac{W}{D} = \frac{400}{350} = 1,143$$

$$\frac{R}{D} = \frac{450}{350} = 1,286$$

Con los valores de 1,143 y 1,286 se ingresa a la tabla 8-2 y se realiza una doble interpolación, obteniendo el valor de $C_o = 0,164$. Para el cálculo de la pérdida en el codo se aplica la ecuación 12, con la velocidad en el tramo 1-2 del ducto de entrada, teniendo:

$$\Delta p_{\text{Codo 1-2}} = 0,602 * 8,993^2 * 0,164 \text{ Pa} = 7,984 \text{ Pa}$$

En la siguiente tabla se presenta un resumen del valor de pérdida en el codo del tramo 1-2.

Tabla 20-3: Pérdida de presión local en el codo a la entrada

Sección del ducto	Elemento	Flujo ($\frac{l}{s}$)	Velocidad ($\frac{m}{s}$)	Presión de velocidad	Coefficiente de pérdida	Pérdida de presión total (Pa)
Entrada	Codo en 1-2	1259	8,993	48,685	0,164	7,984
Total =						7,984

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

La pérdida de presión estática que se produce en la rejilla ubicada en el punto 3 se obtiene directamente de tablas, para nuestro sistema tenemos que la rejilla con lamas verticales y orientables. Para ingresar al catálogo se necesitan las variables como las dimensiones, el flujo volumétrico y la velocidad del aire, las medidas deben estar en el sistema inglés, a continuación, se presenta una tabla con cada una de las variables mencionadas en el sistema requerido.

Tabla 21-3: Variables para seleccionar la rejilla de ventilación

Sección del ducto	Elemento	Flujo (cfm)	Velocidad ($\frac{ft}{min}$)	Ancho ducto (in)	Alto ducto (in)	Área transversal (in ²)
Entrada	Rejilla en 3	2668	991	20	20	387,501

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

Se selecciona el catálogo de Metalaire el cual se ingresa con las variables de la tabla, en donde se encuentra que la rejilla de serie 4000 y con el modelo HV4002S es la más adecuada para nuestra aplicación, teniendo un valor de pérdida de presión estática de 0,169 in wg.

Size	Nk Vel		200	300	400	500	600	700	800	1000
	Pt		.007	.015	.027	.042	.061	.083	.108	.169
24x12	Ac ft ²	CFM	364	546	727	909	1090	1272	1453	1816
	1.82	NC	11	12	13	15	17	20	22	29
48x06	Throw		6-13-30	14-23-43	20-31-50	26-38-55	31-43-61	36-46-66	40-50-70	45-55-78
18x18	Ac ft ²	CFM	414	621	87	1034	1240	1447	1653	2066
	2.07	NC	12	13	14	16	18	20	23	29
	Throw		7-15-33	15-25-46	22-33-53	27-41-59	33-46-65	38-49-70	43-53-75	48-59-84
30x12 36x10	Ac ft ²	CFM	456	685	914	1142	1371	1600	1829	2386
	2.28	NC	12	13	14	16	18	20	23	30
	Throw		7-16-34	16-26-48	23-34-56	29-43-62	34-48-68	40-52-74	45-56-79	51-62-88
20x20	Ac ft ²	CFM	515	772	1030	1287	1545	1802	2059	2574
	2.59	NC	13	14	15	17	19	21	24	30
	Throw		8-17-37	17-27-51	24-37-59	30-46-66	37-51-72	43-55-78	48-59-83	54-66-93

Ilustración 7-3: Valores de pérdida de presión para la rejilla. Medida comercial de 20*20in con 1000 ft/min y con pérdida de 0,169 in wg

Fuente: (Catálogo metalaire grilles & registers)

El valor de la pérdida por fricción en la rejilla se muestra en la siguiente tabla, convirtiendo a las unidades del sistema internacional.

Tabla 22-3: Pérdida de presión en la rejilla de inyección

Sección del ducto	Elemento	Flujo ($\frac{l}{s}$)	Velocidad ($\frac{m}{s}$)	Pérdida de presión total (in wg)	Pérdida de presión total (mmca)	Pérdida de presión total (Pa)
Entrada	Rejilla en 3	1259	5,036	0,169	4,2926	42,067
					Total =	42,067

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

El sistema además necesita filtros purificadores de aire para eliminar los contaminantes que ingresen al área de trabajo, por lo cual se necesitan tres filtros M5, F9 y un filtro HEP13. La pérdida de presión estática producida en los filtros ubicados en el punto 1 se obtiene directamente de tablas. Se necesita un panel de filtro de cada tipo, cada filtro produce una pérdida de presión promedio de 50 Pa por lo cual se tiene una pérdida total de 150 Pa. Después de calcular todas las pérdidas que se generan en nuestro sistema de entrada, el valor de pérdida de presión total es de:

$$P_{TOTAL} = P_{longitud} + P_{transiciones} + P_{codos} + P_{rejilla} + P_{filtros}$$

$$P_{TOTAL} = (16,216 + 10,282 + 7,984 + 42,067 + 150) \text{ Pa}$$

$$P_{TOTAL} = 226,550 \text{ Pa}$$

3.3.4. Cálculo de la presión estática total en el sistema de entrada

Para calcular la presión estática total se debe calcular la presión total y la presión de velocidad. La velocidad a la salida del ducto se utiliza para calcular la presión de velocidad por lo cual se necesita conocer el caudal a extraer para seleccionar el equipo adecuado. El caudal por extraer es de 2667,570 cfm por lo cual el valor estándar más cercano es de 2700 cfm. El valor de velocidad a la salida del ventilador es de 5,036 m/s con este valor se obtiene la presión de velocidad de:

$$P_{v \text{ entrada}} = \rho * \frac{V^2}{2}$$

$$P_{v \text{ entrada}} = 1,204 * \frac{(5,036 \frac{m}{s})^2}{2}$$

$$P_{v \text{ entrada}} = 15,268 \text{ Pa}$$

De la ecuación 18 se despeja la presión estática de la cual se obtiene la presión estática para proceder a seleccionar el ventilador, con los valores de presión calculados tenemos una presión estática de:

$$P_s = P_{TOTAL} - P_v$$

$$P_s = 226,550 \text{ Pa} - 15,268 \text{ Pa}$$

$$P_s = 211,282 \text{ Pa} = 0,849 \text{ in}$$

Para seleccionar el ventilador adecuado se debe revisar los valores estándares presentes en el mercado, el valor de la presión estática no es estándar además el factor de seguridad es 1 por lo cual se procede a recalcular el valor presión estática estándar cercano al calculado con un factor de seguridad mayor a 1. El valor de presión estática estándar es de 1,25 in para el ventilador, con lo cual se recalcula el factor de seguridad, teniendo el valor de:

$$n = \frac{P_s \text{ estandar}}{P_s \text{ calculado}}$$

$$n = \frac{1,250 \text{ in}}{0,849 \text{ in}} = 1,472$$

Como tenemos un valor de seguridad de 1,472 y es mayor a 1, el sistema de ventilación está seguro y se procede a seleccionar un ventilador con el valor de 1,250 in de presión estática y un caudal de 2668 cfm.

Tabla 23-3: Valores totales del sistema de ventilación

Datos	Valores	Unidades
Pérdida de presión estática	1.25	in
Caudal	2668	cfm
Factor de seguridad	1.50	

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

3.4. Selección de equipos y accesorios del sistema de ventilación y extracción

La selección de los equipos y accesorios se realiza después de haber diseñado el sistema de ventilación y extracción de olores, con los datos obtenidos de pérdidas estáticas y caudales se ingresan en catálogos y manuales para su correcta selección.

3.4.1. Selección de los ventiladores

Para seleccionar el ventilador adecuado para el sistema, es necesario los datos obtenidos en el diseño y las características de los diferentes tipos de ventiladores. Tenemos que seleccionar dos tipos de ventiladores, el ventilador de salida y el ventilador de entrada, para los cuales se han obtenido el caudal y las pérdidas de presión estática, que nos permiten ingresar en catálogos y seleccionar los equipos.

3.4.1.1. Selección del ventilador a la salida

El ventilador de salida se selecciona de acuerdo con el lugar que se va a ubicar, el caudal calculado de 2668 cfm y la pérdida de presión estática de 1,5 in. Al analizar los tipos de ventiladores se tiene que la mejor opción es un ventilador tipo hongo con transmisión por correa, debido a que maneja altos valores de presión estática en comparación con los de tipo hongo con transmisión directa, además trabaja con altos niveles de caudales, tienen una estructura que no genera turbulencia, el nivel de ruido es bajo y los más adecuados son los equipos de GREENHECK que son equipos importados y que tienen más acogimiento en el mercado.

Para seleccionar el ventilador consideramos los siguientes parámetros:

- Tipo de ventilador: Tipo hongo de transmisión por correa
- Caudal: 2668 cfm
- Pérdida de presión estática: 1,5 in

Para seleccionar se utiliza el catálogo GREENHECK, del cual se obtiene el ventilador modelo GB-180HP-15, motor 1.5 HP (1.119 kW), 1445 RPM y 17.3 sones (69.1 dB). Este ventilador cumple con los parámetros de la mejor manera.



Ilustración 8-3: Ventilador tipo hongo GB-180HP-10

Fuente: (Catálogo GREENHECK)

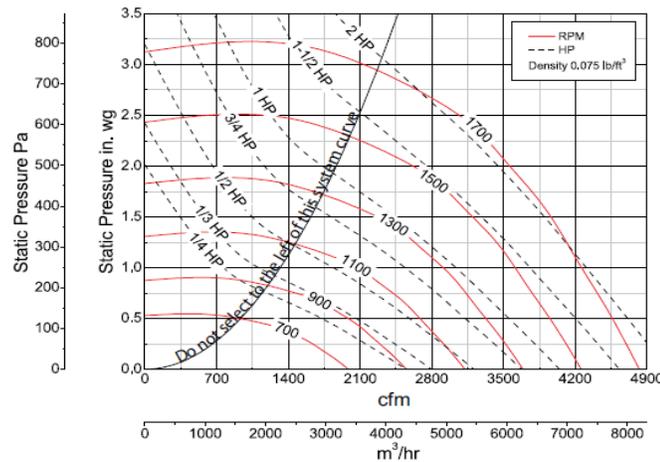


Ilustración 9-3: Curva de operación de ventilador tipo hongo, presión estática en función del caudal

Fuente: (Catálogo GREENHECK)

Las características del ventilador seleccionado se muestran en el anexo A.

3.4.1.2. Selección del ventilador de entrada

El ventilador de entrada se selecciona con los parámetros de caudal calculado que es de 2668 cfm y la pérdida de presión estática que es de 1,250 in. De acuerdo con la longitud apreciable que tiene nuestro ducto de entrada, además se genera una pérdida media y trabaja con caudal alto, siendo la mejor opción un ventilador centrífugo, los más adecuados en el mercado son los equipos de GREENHECK que son equipos importados, no generan ruidos elevados y tienen más acogimiento en el mercado.

Para seleccionar el ventilador consideramos los siguientes parámetros:

- Tipo de ventilador: Centrífugo
- Caudal: 2668 cfm
- Pérdida de presión estática: 1,250 in

Para seleccionar se utiliza el catálogo GREENHECK, teniendo equipos de acople directo y acople por correas, se selecciona un ventilador de acople por correa por cumplir con los parámetros, obteniendo el ventilador de modelo BSQ-200HP-10, motor 1HP (0.746 kW), 1111 RPM y 15,3 soles (67 dB). Este ventilador cumple con los parámetros de la mejor manera.



Ilustración 10-3: Ventilador centrífugo BSQ-200HP-10

Fuente: (Catálogo GREENHECK)

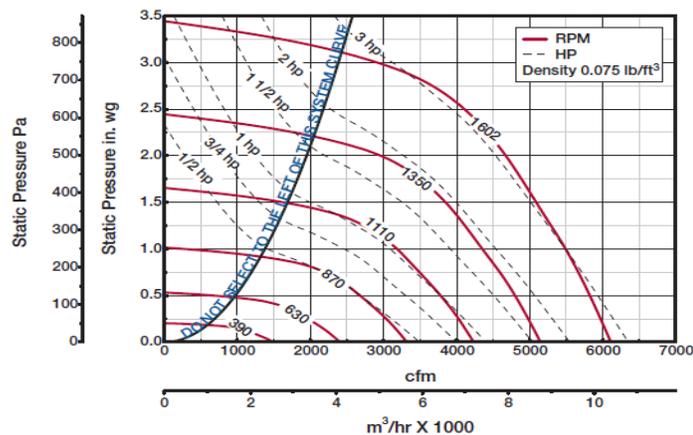


Ilustración 11-3: Curva de operación de ventilador centrífugo, presión estática en función del caudal

Fuente: (Catálogo GREENHECK)

Las características del ventilador seleccionado se muestran en el anexo B.

3.4.2. Selección de los accesorios

Los accesorios se seleccionan considerando diferentes parámetros como son las pérdidas estáticas generadas por todo el sistema, el caudal de trabajo, las dimensiones y el material que depende de la aplicación.

3.4.2.1. Selección de los filtros

La selección de filtros es muy importante para no permitir que ingresen elementos contaminantes al área de trabajo y que el aire ingrese lo más puro. Los filtros hepa son filtros con alta eficiencia (99,995%), son desechables, compuestos de fibra de vidrio y de un elevado costo, eliminan partículas suspendidas y mejoran la calidad del aire creando confort en lugares interiores.

Debido al alto costo de los filtros hepa y para evitar que quede saturado en poco tiempo es muy recomendado protegerlo con la instalación de filtros de menor eficiencia los cuales cuestan menos y ayudan a retener gran cantidad de partículas, ayudando a alargar la vida de los filtros HEPA, los filtros de baja eficiencia son los filtros M5 y F9. Estos filtros se ubican uno a continuación de otro para que el aire sea de gran calidad y se reduzcan costos de mantenimiento (Solerpalau).

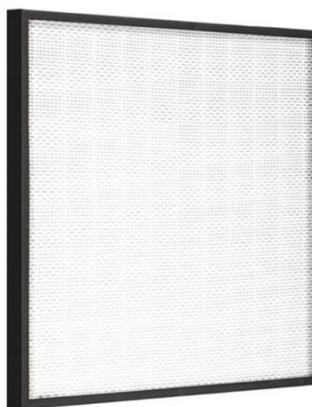


Ilustración 12-3: Filtro hepa

Fuente: (Smart Air)

3.4.2.2. Selección de los ductos

El material de los ductos se ha seleccionado en la parte de diseño, por lo cual se va a seleccionar tipo de fabricación de los ductos de acuerdo con las dimensiones y a las caídas de presión estática del sistema, según la norma SMACNA (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association) para que la construcción de nuestros ductos sea la correcta.

El material para fabricar los ductos es de acero galvanizado, el grosor, los dobleces se seleccionan de la norma y según la norma el espesor de la plancha se conoce con el nombre de calibre que se selecciona de acuerdo con las dimensiones de la sección transversal del ducto.

Para el sistema de ductos de extracción de aire la sección transversal de mayores dimensiones es de 400*350 mm (15,75*13,80 in), se ingresa a la tabla 2-2 donde se tiene dos diferentes materiales, se selecciona acero galvanizado y como el lado de mayor dimensión no supera las 30 pulgadas se selecciona el calibre 24. Luego con el dato de calibre se ingresa en la tabla 4-2 donde se obtiene el espesor de la lámina para los ductos de 0,90 mm (0,0354 in).

Al momento de unir los ductos se debe realizar con un sellado estándar, el cual se obtiene de tablas y está en función del rango de presiones, con este dato se tendrá el tipo de refuerzo. El valor de presión estática de nuestro sistema es de 378,425 Pa, se ingresa a la tabla 5-2 y se selecciona clase de sellado C, el sellado C nos permite juntas transversales y en la ilustración 13-2 se tiene diferentes tipos de sellados para los ductos de salida.

Para el sistema de ductos de entrada de aire la sección transversal de mayores dimensiones es de 500*500 mm (20*20 in), ingresamos en la tabla 2-2 donde tenemos acero galvanizado y como el lado de mayor dimensión no supera las 30 pulgadas se selecciona el calibre 24.

Luego con el valor del calibre se ingresa en la tabla 4-2 donde se obtiene el espesor de la lámina para los ductos de 0,70 mm (0,0276 in).

Al momento de unir los ductos se debe realizar con un sellado estándar, el cual se obtiene de tablas y está en función del rango de presiones, con este dato se tendrá el tipo de refuerzo. El valor de presión estática de nuestro sistema de ventilación es de 211,282 Pa, se ingresa a la tabla 5-2 y se selecciona clase de sellado C, el sellado C permite juntas transversales y en la ilustración 13-2 tenemos diferentes tipos de sellados para los ductos de entrada.

3.4.3. Análisis de costos

Para obtener una inversión óptima se procederá a un adecuado diseño, además de una minuciosa selección de equipos, accesorios, materiales entre otros.

3.4.3.1. Costos directos

Los costos directos son los costos de los equipos y accesorios del sistema de ventilación y extracción.

Tabla 24-3: Costos directos

Cantidad	Denominación	V/unitario	Total
1	Extractor hongo Greenheck de 2700 cfm	\$ 1,273.00	\$ 1,273.00
4	Campanas tipo isla no compensada	\$ 537.00	\$ 2,148.00
1	Ventilador centrífugo de 2700 cfm	\$ 611.00	\$ 611.00
1	Caja porta filtros	\$ 406.00	\$ 406.00
1	Filtro de pliegues 24"x24"x2" al 40%	\$ 45.00	\$ 45.00
1	Filtro cartón 24"x24"x2" al 60-65%	\$ 58.00	\$ 58.00
1	Filtro celda 24x24x2" al 90-95%	\$ 113.00	\$ 113.00
1	Filtro sintético con marco metálico	\$ 35.00	\$ 35.00
1	Automatización	\$ 553.23	\$ 553.23
285	Ductos de extracción acero galvanizado 9mm	\$ 3.50	\$ 997.50
175	Ductos de inyección acero galvanizado 7mm	\$ 3.50	\$ 612.50
2	Dampers de regulación manual	\$ 75.00	\$ 150.00
1	Malla de entrada acero galvanizado 9mm	\$ 25.00	\$ 25.00
1	Rejilla de mando de 16"x14"	\$ 130.00	\$ 130.00
	Subtotal		\$ 7,157.23
	Iva 12%		\$ 858.87
	Total		\$ 8,016.10

Fuente: (Equiproin)

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

3.4.3.2. Costo mano de obra y transporte

Los costos de mano de obra y de transporte son los costos de instalación de accesorios, equipos y el transporte de estos al lugar de instalación.

Tabla 25-3: Costos mano de obra y transporte

Detalle	Valor
Instalación	\$ 350.00
Transporte	\$ 50.00
Total	\$ 400.00

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

3.4.3.3. Costos imprevistos

Los costos imprevistos son los gastos extras que se pudieran generar y que no son esperados.

Tabla 26-3: Costos imprevistos

Detalle	Valor
Costos imprevistos	\$ 100.00
Total	\$ 100.00

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

3.4.3.4. Costos totales

Los costos totales es la suma de los costos directos e indirectos de todo el sistema.

Tabla 27-3: Costos totales

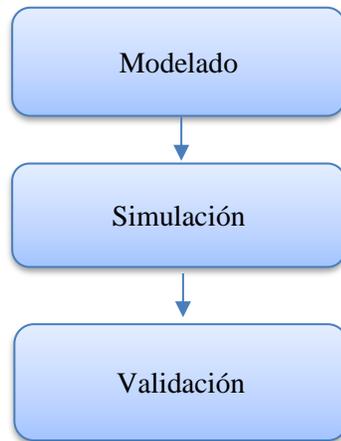
Inversión	Valor
Costos de equipos y accesorios del sistema de ventilación y extracción	\$ 8,016.10
Costos de mano de obra y transporte	\$ 400.00
Costos imprevistos	\$ 100.00
Total	\$ 8,516.10

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El siguiente procedimiento nos permite realizar un modelo computacional que permite simular la ventilación y extracción de aire del sistema.



Primero se realiza la parte de la validación computacional, en donde se modela un sistema de ventilación y extracción en el lugar requerido. El análisis se realiza para obtener datos y comparar con los calculados. A continuación, se muestran los pasos para el proceso de validación.

4.1 Modelado

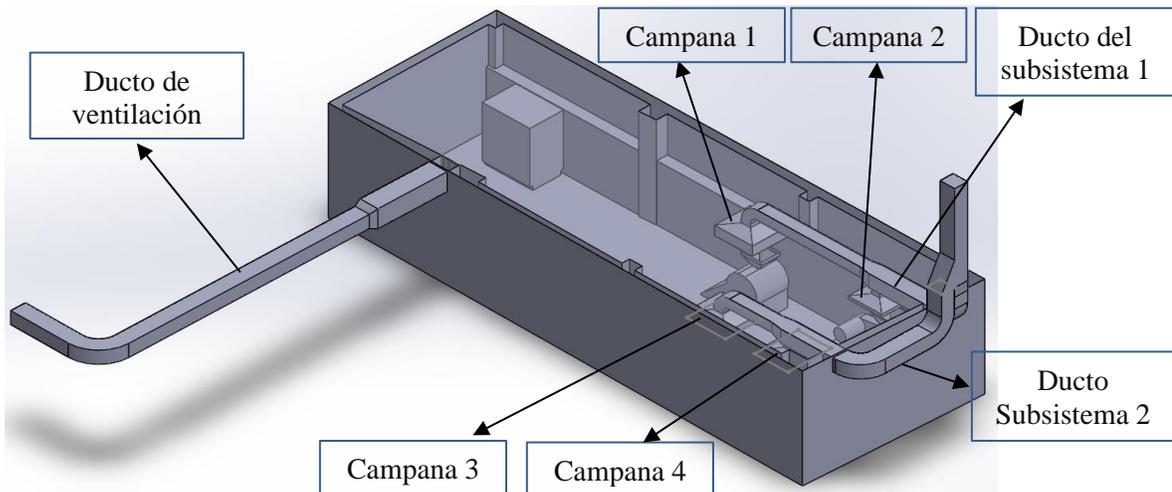


Ilustración 1-4: Modelado en SolidWorks

Fuente: Ramos, Guido, 2022.

Para el modelado del sistema de ventilación se utiliza el software para el diseño SolidWorks, el cual permite la realización de piezas y el ensamblaje de estas en 3D. En la ilustración 1-4 se observa el modelado del sistema de ventilación y extracción en el cuarto requerido.

4.2 Simulación del sistema de ventilación y extracción

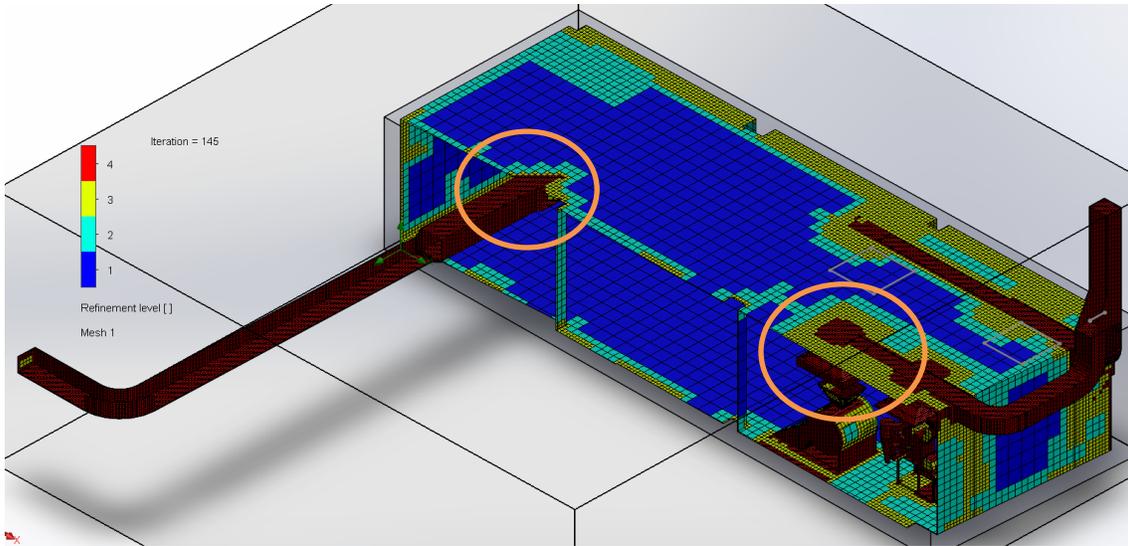


Ilustración 2-4: Mallado del sistema de ventilación y extracción

Fuente: Ramos, Guido, 2022.

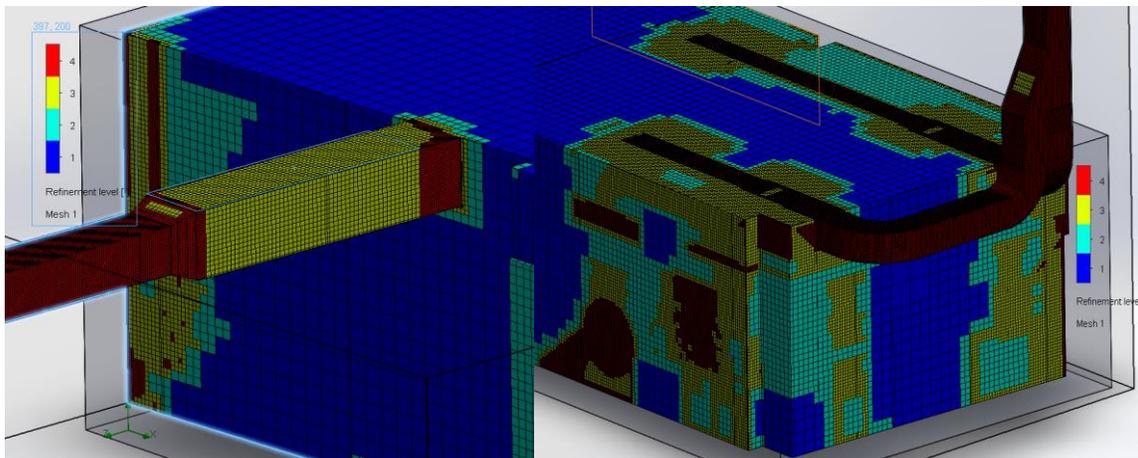


Ilustración 3-4: Malla refinada en los puntos de interés del sistema de ventilación y extracción

Fuente: Ramos, Guido, 2022.

El software SOLIDWORKS es muy usado para simulación, además considerando que la ESPOCH posee la licencia, se ha empleado esta herramienta para el análisis del sistema de ventilación y extracción, empleando la extensión de Flow Simulation.

En las ilustraciones 2.4 y 3-4 se muestra el mallado final, es una malla mixta, la cual según su refinamiento sus cuadros se harán más pequeños o grandes. El análisis de velocidades y presiones se realiza considerando los siguientes parámetros:

- Velocidad en la entrada.
- Velocidad en la extracción.
- Temperatura en el cuarto.
- Presión en la entrada.
- Presión en el interior.
- Presión en la salida.
- Material de los ductos y campanas: Acero galvanizado.

Los resultados se muestran a continuación;

En las ilustraciones 4.4 y 5-4 se observan las líneas de flujo de la velocidad del aire del subsistema 1, las cuales en la práctica no se observa fácilmente, para ello se cambia la visibilidad del modelado de manera que sea pueda ver toda la trayectoria del flujo.

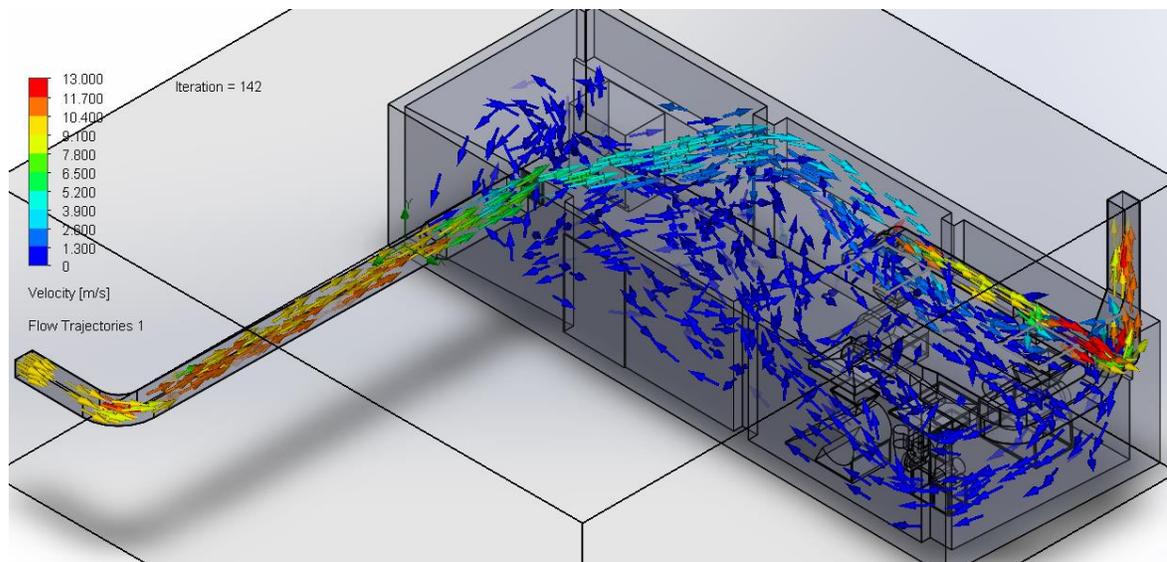


Ilustración 4-4: Líneas de corriente de flujos de aire del subsistema 1

Fuente: Ramos, Guido, 2022.

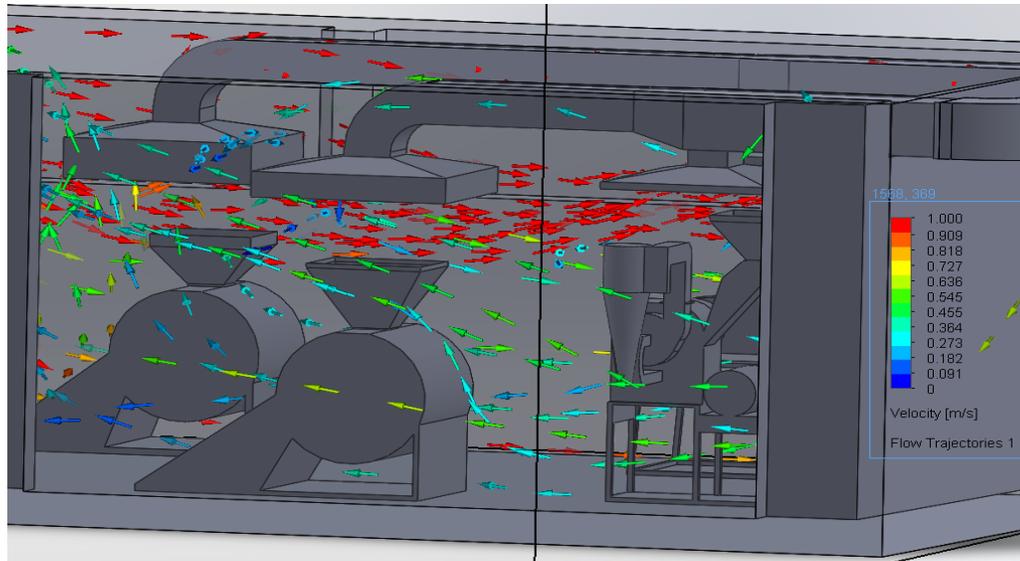


Ilustración 5-4: Líneas de corriente de flujos de aire cerca de los equipos de molienda 1 y 2

Fuente: Ramos, Guido, 2022.

En la tabla 1-4 se muestran los valores obtenidos en la simulación, los valores esperados que son los de la norma y de diseño.

Tabla 1-4: Datos de velocidad en el cuarto y ductos del subsistema 1

Lugar	Velocidad esperada (norma) $\left(\frac{m}{s}\right)$	Velocidad de simulación $\left(\frac{m}{s}\right)$	Velocidad de diseño $\left(\frac{m}{s}\right)$	Velocidad media de simulación $\left(\frac{m}{s}\right)$	Cumple o no cumple
Cuarto	0.25 – 0.50	0.273 – 0.636	0.375	0.454	Cumple
Ducto	5 – 10	7.80 – 11.70	8.84	9.75	Cumple

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

En la ilustración 6-4 se observa la comparación de velocidades de diseño y simulación en el subsistema 1.

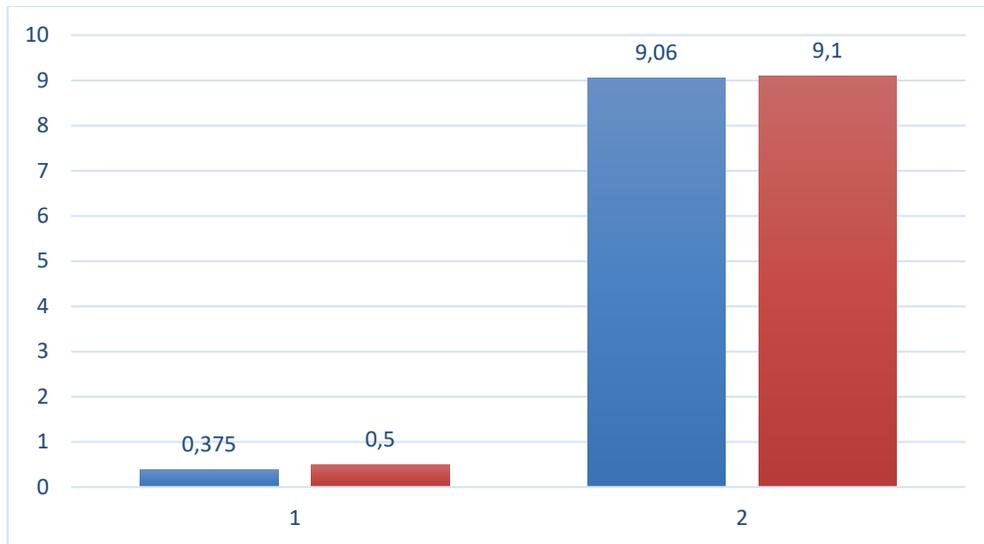


Ilustración 6-4: Velocidades de diseño y simulación en el subsistema 1

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

En las ilustraciones 7.4 y 8-4 se observan las líneas de flujo de la velocidad del aire del subsistema 2, para el cual se emplea el mismo procedimiento del subsistema 1, además en la ilustración 9-4 se observa las líneas de flujo de ingreso al área de trabajo.

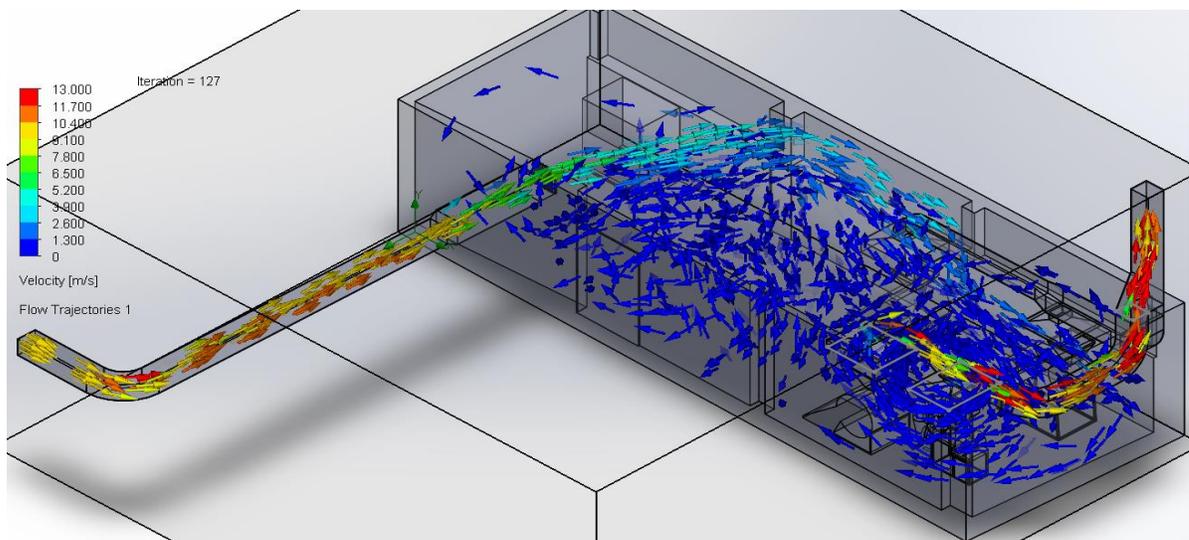


Ilustración 7-4: Líneas de corriente de flujos de aire del subsistema 2

Fuente: Ramos, Guido, 2022.

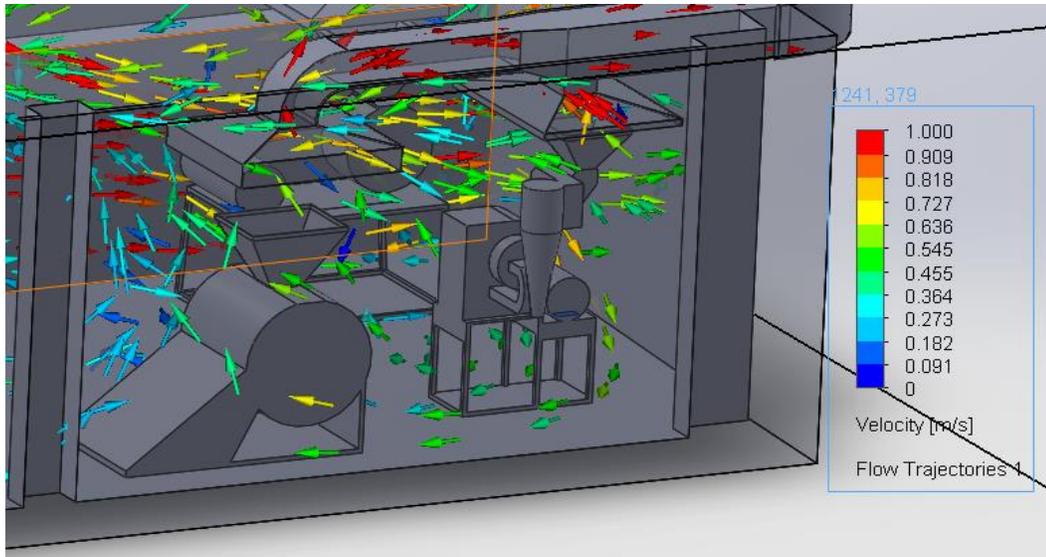


Ilustración 8-4: Líneas de corriente de flujos de aire cerca de los equipos de molienda 3 y 4

Fuente: Ramos, Guido, 2022.

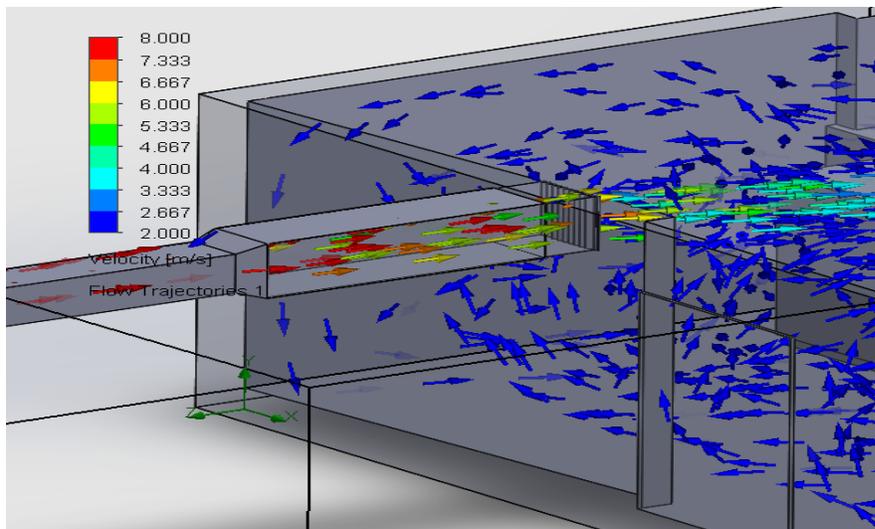


Ilustración 9-4: Líneas de corriente de flujos de aire en la entrada al área de molienda

Fuente: Ramos, Guido, 2022.

Tabla 2-4: Datos de velocidad en el cuarto y ductos del subsistema 2

Lugar	Velocidad esperada (norma) $\left(\frac{m}{s}\right)$	Velocidad de simulación $\left(\frac{m}{s}\right)$	Velocidad de diseño $\left(\frac{m}{s}\right)$	Velocidad media de simulación $\left(\frac{m}{s}\right)$	Cumple o no cumple
Cuarto	0.25 – 0.50	0.364 – 0.636	0.375	0.50	Cumple
Ducto	5 – 10	6.50 – 11.70	9.06	9.10	Cumple
Salida del ducto	5 – 10	4 – 6.67	5.036	5.335	Cumple

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

En la ilustración 10-4 se observa la comparación de velocidades de diseño y simulación en el subsistema 2.

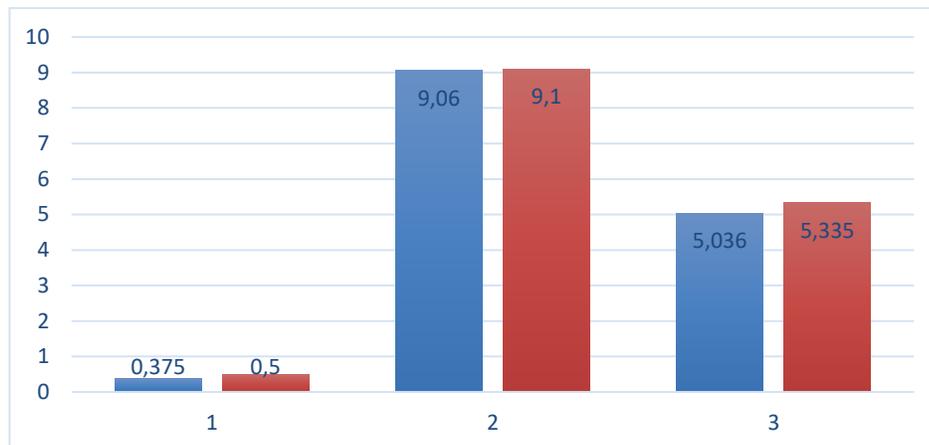


Ilustración 10-4: Velocidades de diseño y simulación en el subsistema 2

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

En la ilustración 11.4 se observan los puntos de presión estática de aire del subsistema 1, las cuales en la práctica es difícil de visualizar, para ello se cambia la visibilidad del modelado de manera que sea pueda ver las presiones en cada tramo del sistema.

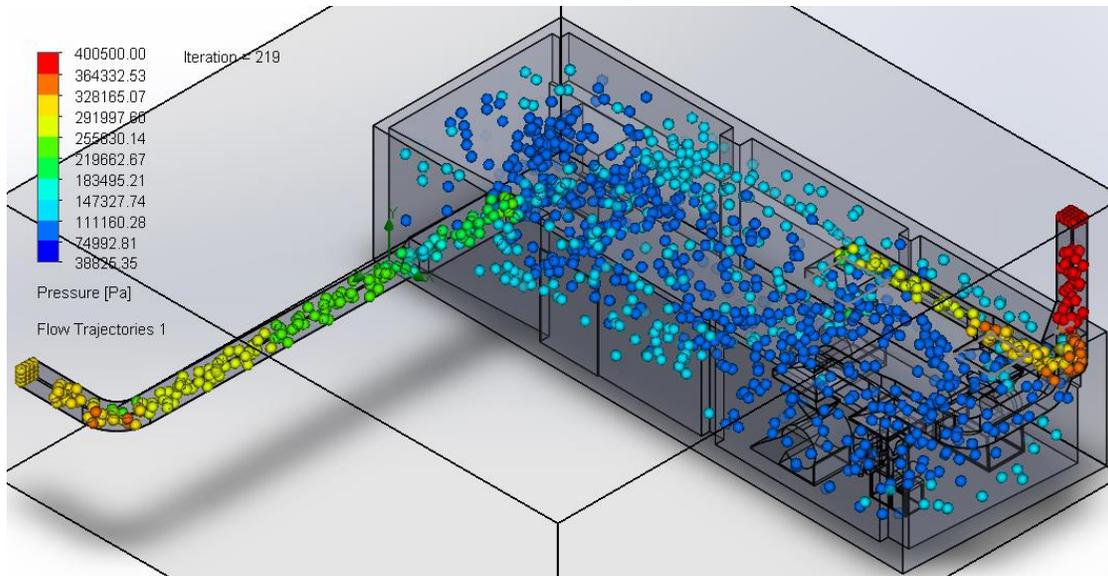


Ilustración 11-4: Presión estática de aire del subsistema 1

Fuente: Ramos, Guido, 2022.

En la ilustración 12.4 se observan los puntos de presión estática de aire del subsistema 2, para lo cual se emplea el mismo procedimiento del subsistema 1.

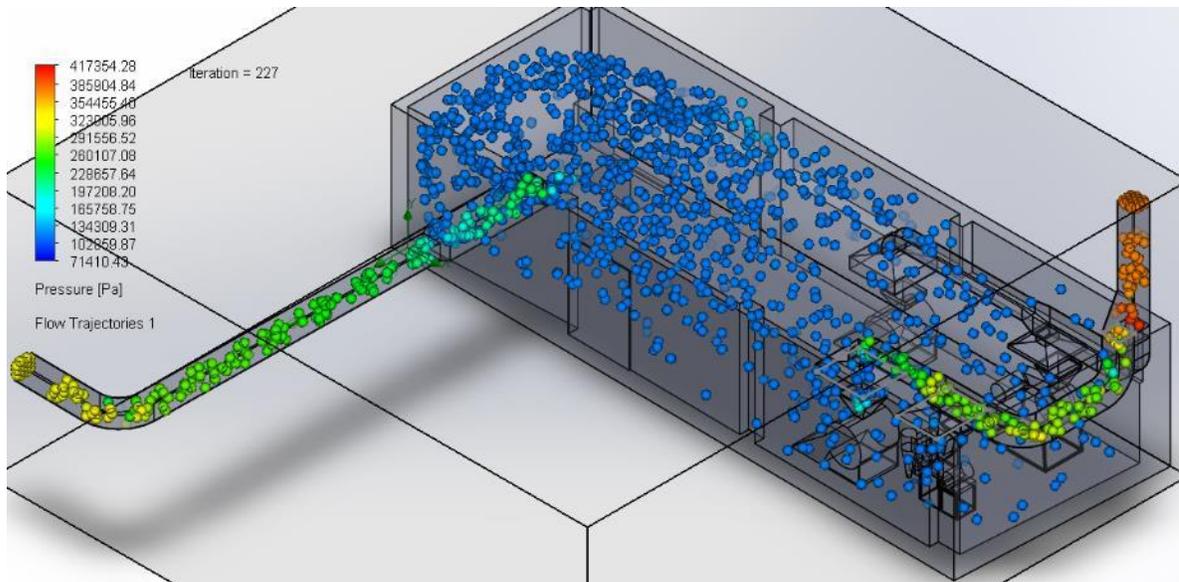


Ilustración 12-4: Presión estática de aire del subsistema 2

Fuente: Ramos, Guido, 2022.

En las ilustraciones 11-4 y 12-4 se observan las presiones en el interior y en los ductos, las cuales no sobrepasan las presiones de diseño y mientras el aire ingresa al cuarto la presión se va igualando a la presión ambiental y no altera el proceso de los productos. En la tabla 3-4 se tiene los valores de presión máximos de simulación y diseño, estos valores son de presión estática con los cuales trabajan los ventiladores.

Tabla 3-4: Validación de datos de velocidad en el interior

Lugar	Presión de simulación (Pa)	Presión máx. de diseño (Pa)	Cumple o no cumple
Cuarto	71410 - 134309	101325	Cumple
Ducto	255830 – 400500	378425	Cumple

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

Con la selección correcta de los equipos se obtuvo las condiciones más óptimas del sistema de ventilación y extracción. Se puede ver que las presiones y velocidades son las similares a las calculadas con una diferencia mínima no apreciable, con lo que si cumple el objetivo.

4.3 Validación

Para validar los resultados numéricos obtenidos en la simulación según la norma ASME se va a comparar con los datos esperados, los datos de diseño y los de la simulación del sistema, los mismos que se tienen en la tabla 1-4 y 2-4.

Teniendo en cuenta estos dos argumentos de la velocidad y la presión se va a validar la simulación, en las velocidades tanto del cuarto como de los ductos, los mismos que cuentan con una diferencia aceptable y al mismo tiempo se encuentran dentro del rango establecido en la norma para tener un correcto funcionamiento.

En el segundo argumento empleado para validar es la comparación con otros trabajos de titulación validados, en este caso nos basamos en el trabajo proyecto técnico denominado: “Diseño y construcción de un sistema de ventilación utilizando filtros de efecto ciclón para cajuelas de autobuses interprovinciales” (Villegas, 2019). En este trabajo se toman datos en tres puntos específico y se comparan los datos de presión estática de la simulación teniendo que el error relativo porcentual de máximo 10%, este valor de porcentaje es el valor máximo para aceptar que el diseño está correcto.

En este caso se tiene una presión estática de 49 Pa, en la ilustración 13-4 que es un acercamiento del punto 2 de la ilustración 6-3 que es el ducto de entrada se tienen los valores de simulación que se muestran en la tabla 4-4.

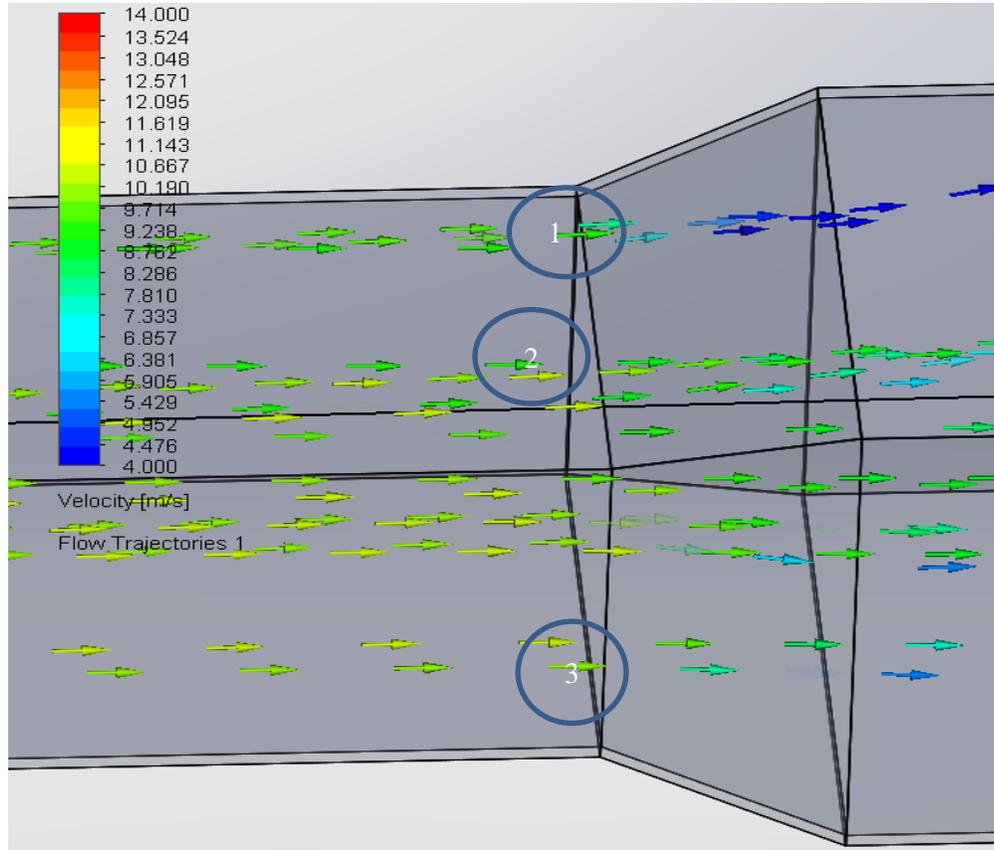


Ilustración 13-4: Presión estática de aire del subsistema 2

Fuente: Ramos, Guido, 2022.

En la tabla 4-4 se presentan los datos tomados de la simulación en los diferentes puntos del ducto, los cuales nos sirven para comparar con los datos de diseño.

Tabla 4-4: Datos de simulación en diferentes puntos del ducto

Puntos de estudio	Velocidad ($\frac{m}{s}$)	Presión estática (Pa)
Punto 1	8.76	46
Punto 2	9.71	56.6
Punto 3	9.23	51.1

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

Con el valor de presión estática de diseño de 49 Pa y con los datos de presión estática de la tabla 4-4 se calcula el error relativo porcentual teniendo los datos presentados en la tabla 5-4.

Tabla 5-4: Datos de simulación en diferentes puntos del ducto

Puntos de estudio	Presión estática simulación (Pa)	Presión estática de diseño (Pa)	Error (%)
Punto 1	46	49	6.5
Punto 2	56.6	49	13.4
Punto 3	51.1	49	4.1

Realizado por: Ramos, Guido, 2022.

En el punto 2 se tiene un valor alto esto se debe a que el sistema se encuentra sobre dimensionado para los momentos en los cuales se presenten caídas de tensión o recalentamiento del motor y que el sistema siga cumpliendo su función. Luego se calcula el valor promedio de los valores de simulación que es 51.2 Pa, este valor se comprara con el de diseño que es 49 Pa, teniendo como resultado un error del 4.3% que es un valor aceptable en sistemas de ventilación.

Con este dato se garantiza que el diseño basado en las normas tendrá un óptimo funcionamiento y cumplirá el propósito para el cual fue diseñado. Validez aparente: es preguntar a las personas con conocimientos sobre el sistema si el modelo y su comportamiento son razonables. El diseño fue revisado por personal capacitado en esta área dando el sistema como valido en su aplicación.

CONCLUSIONES

- Se diseñó el sistema de ventilación y extracción para la fábrica INKLERSA con una capacidad de 2700 cfm mediante la utilización del método de carga constante que emplea ventiladores, para la extracción de olores de las especias generadas en la molienda.
- La selección de los accesorios se realizó, empleando normas y manuales de ventilación y los equipos se seleccionaron de catálogos, según la necesidad del cliente y los requerimientos, asegurando así el correcto funcionamiento de todo el sistema.
- El diseño de detalle fue esencial para dimensionar los accesorios, mediante la aplicación de normas y manuales de ventilación, los cuales han sido escritos mediante la experiencia y la práctica.
- En la simulación en el software SolidWorks en su extensión CFD, se obtuvieron datos de velocidad del flujo de $9.75 \frac{m}{s}$ en los ductos y de $0.50 \frac{m}{s}$ en la zona de contaminación, que son valores dentro del rango establecido en la norma, con lo cual no se produce una extracción de la materia prima.
- Mediante la simulación en SolidWorks se pudo demostrar que el aire se va a renovar de manera correcta y esto sucede gracias a la correcta selección y diseño de los componentes. En los ductos se puede observar unos pequeños cambios de velocidad y presión estática esto es producto de las transiciones, bifurcaciones y codos presentes.
- La presión en el área de trabajo en la simulación es igual a la presión ambiental con lo cual no se altera los productos en el área de molienda.
- El sistema de ventilación y extracción tiene un error relativo porcentual del 4.3% que es un valor aceptable en sistemas de ventilación.

RECOMENDACIONES

- Para el cálculo de la altura y ancho de los ductos, se debe tener en cuenta la altura del lugar donde se va a diseñar.
- Para la simulación, se recomienda modelar en un solo cuerpo de modo que los equipos y accesorios sean uno, además verificar que no quede ningún orificio.
- En el mallado es muy importante identificar la zona de interés, para que el refinamiento sea mayor y así tener valores que se asemejen a los reales, en nuestro caso fueron los ductos.
- La instalación y mantenimiento del sistema de ventilación y extracción debe ser realizado por personas capacitadas para así garantizar el correcto funcionamiento.
- Cambiar los filtros purificadores de aire cada seis meses o máximo en un año para así garantizar que el filtro continúe reteniendo las partículas o gérmenes.
- Sobredimensionar los ventiladores considerando que trabajen con un factor de seguridad mayor a 1 debido a las caídas de tensión y recalentamiento del motor.
- Usar un control proporcional para minimizar la oscilación del control de encendido y apagado.
- En caso de incendios, instalar un botón de seguridad que corte el paso de corriente a los equipos de ventilación.
- Para las pruebas de verificación de funcionamiento, seguir las normas y verificar que las velocidades se encuentren dentro del rango establecido, tanto para los ductos como el área donde se genera la contaminación.

BIBLIOGRAFÍA

BARRIGA, Benjamín. *Métodos de diseño en ingeniería mecánica* [en línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado) Pontificia Universidad Católica del Perú, Departamento de Ingeniería, Sección Ingeniería Mecánica. Lima, Perú. 2013. pp. 11. [Consulta: 2022-08-10]. Disponible en: <https://bit.ly/3ARvxdu>.

CASTRO ACOSTA, David, & GUERRERO ALVEAR, Cristian. *Diseño e implementación de un banco de pruebas de micro generación hidráulica para la facultad de mecánica* [en línea] (Trabajo de integración curricular) (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica. Riobamba, Ecuador. 2021. pp. 40-41. [Consulta: 2022-08-10]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15145>

DITAR. *Normativa de ductos en planchas metálicas para transporte de aire* [en línea]. [Consulta: 20 enero 2020]. Disponible en: http://www.ditar.cl/archivos/Norma_Ductos.pdf

EQUIPROIN. *Aire acondicionado y ventilación* [en línea]. [Consulta: 20 diciembre 2019]. Disponible en: <https://www.equiproin.com.ec>

EQUIPROIN. *Ventilador tipo hongo* [en línea]. [Consulta: 29 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.equiproin.com.ec/extractores-tipo-hongo>

EQUIPROIN. *Ventiladores centrífugos* [en línea]. [Consulta: 29 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.equiproin.com.ec/ventiladores-centrifugos>

GONZÁLEZ VALIENTE, César, & FERRANDO PÉREZ, Rafael. *Instalaciones de climatización y ventilación* [en línea]. [Consulta: 21 noviembre 2019]. Disponible en: <https://1library.co/document/ynpvd1pz-instalaciones-de-climatizacion-y-ventilacion-gm.html>

GREENHECK. *Fundamentos de ventilación* [en línea]. [Consulta: 29 enero 2020]. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/read/42354874/fundamentos-de-ventilacion-greenheck>

GREENHECK. *Ventiladores centrífugos cuadrados* [en línea]. [Consulta: 28 enero 2021]. Disponible en: <https://www.greenheck.com/es-us/productos/movimiento-del-aire/ventiladores/ventiladores-centrifugos-cuadrados>

HARO ROSADO, Francisco Javier. *Diseño de un sistema de extracción para evacuación de vapores de ácido en un área de recarga de baterías para montacargas eléctricos* [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Guayaquil, Ecuador. 2014. pp. 58-73. [Consulta: 2019-12-21]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/e4e969ef-6b9f-4e7d-a1e6-906445854437/D-79903.pdf>

HERMOSILLA GARCÍA, Rubén, & SOTO ELVIRA, Pedro. *Diseño del sistema de ventilación de un establecimiento industrial dedicado a la fabricación de harina* [en línea]. [Consulta: 28 enero 2021]. Disponible en: <https://www.upct.es/~orientap/Informe%20ventila2.pdf>

HYGIENISTS AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL. ACGIH: *Industrial Ventilation manual* [en línea]. Edición Número 23. USA, 1998. [Consulta: 20 enero 2019]. Disponible en: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/001/acgih.manual.1998.pdf>

MARÍN TOVAR, Carlos Alberto. *Diseño de un sistema de ventilación mediante el uso de CFD* [en línea] (Tesis de grado). (Ingeniería) Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería. Quito, Ecuador. 2013. pp. 18-19. [Consulta: 2019-11-20]. Disponible en: <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/2486/1/106806.pdf>

MÁRQUEZ QUIZHPI, Andrés, & Ulloa Montero, Jonathan. *Diseño de un sistema de extracción de polvo y viruta de madera para la carpintería de la fundación salesiana “paces”* [en línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Carrera de Ingeniería Mecánica. Cuenca, Ecuador. 2018. pp. 25-43. [Consulta: 2022-08-25]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16106/1/UPS-CT007799.pdf>

METALAIRE. *Grilles & registers* [en línea]. [Consulta: 18 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.metalaire.com/category/catalog/grilles-registers-diffusers/grilles-registers>

NORMATIVA EN 13053. *Ventilación de tratamiento de aire. Filtros instalados en unidades de tratamiento de aire.*

NOVENCO. *Axial flow fans* [en línea]. [Consulta: 10 noviembre 2019]. Disponible en: https://www.inexco.cz/store/katalog_acn-acg-acp_aj.pdf

SALVADOR ESCODA S.A. *Manual práctico de ventilación* [en línea]. Segunda edición. Barcelona. [Consulta: 01 diciembre 2019]. Disponible en: <https://www.salvadorescoda.com/tecnico/VE/Manual-Ventilacion.pdf>

SODECA. *Calculo y diseño de sistemas de ventilación* [en línea]. [Consulta: 19 noviembre 2019]. Disponible en: https://www.sodeca.com/Content/img/InformacioTecnica_02.pdf

SOLERPALAU. *Mejorar la calidad del aire interior con filtros de alta eficiencia HEPA* [en línea]. [Consulta: 26 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/filtros-hepa/>

SOLERPALAU. *Pérdida de carga en tuberías* [en línea]. [Consulta: 06 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/perdidas-carga-tuberias-afecta-sistema-ventilacion/>

TROX TECHNIK. *Dampers* [en línea]. [Consulta: 21 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.trox.de/en/fire-and-smoke-protection/fire-dampers-9fef41b92e668c84>

UNE-EN 1505. *Norma española. Ventilación de edificios. Conductos de aire de chapa metálica y accesorios de sección rectangular. Dimensiones.*

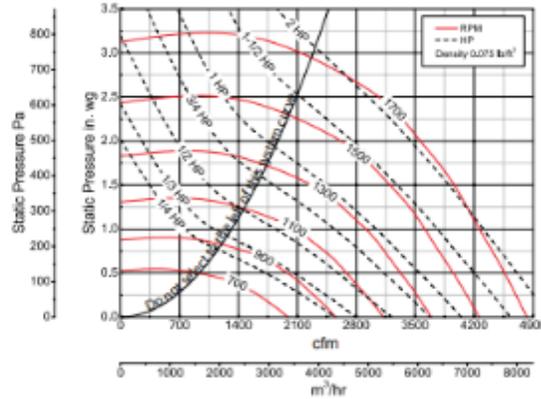
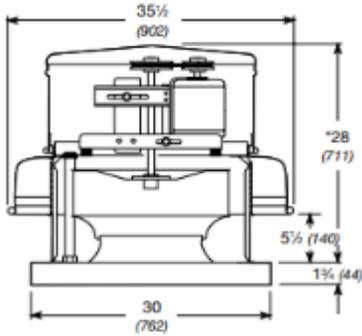
WHITE FRANK. *Mecánica de fluidos.* 5^a ed. España; McGraw-Hill, 2004. [Consulta: 25 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.udocz.com/apuntes/22000/mecanica-de-fluidos---frank-m-white>

ZITRÓN. *Dampers* [en línea]. [Consulta: 25 febrero 2020]. Disponible en: <https://zitron.com/productos/dampers/?lang=es>

ANEXOS

ANEXO A: SELECCIÓN DEL VENTILADOR TIPO HONGO DEL CATÁLOGO GREENHECK

Roof Downblast - Belt Drive GB-180HP



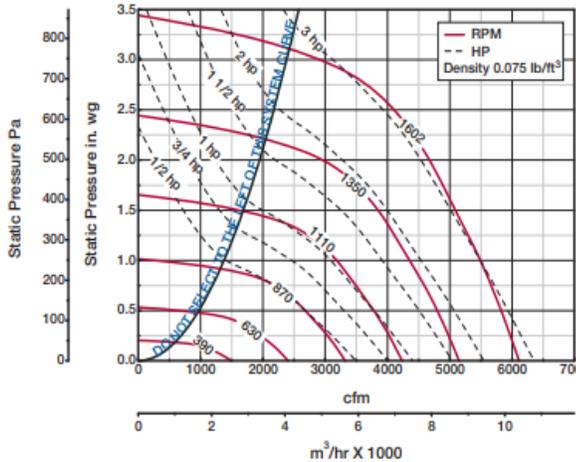
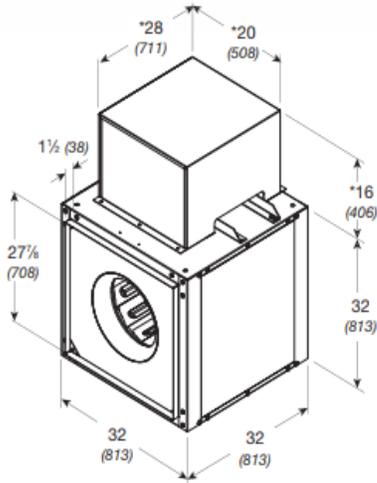
Damper Size = 18 x 18 (457 x 457)
 Roof Opening = 20 1/2 x 20 1/2 (521 x 521)
 Shroud Thickness = 0.064 (1.6)
 Motor Cover Thickness = 0.040 (1.0)
 Curb Cap Thickness = 0.064 (1.6)
 ^Approximate Unit Weight = 125 lb (57 kg)
 All dimensions in inches (millimeters). *May be greater depending on motor.
 ^Weight shown is largest cataloged Open Drip-Proof motor.

Model Number	Motor HP	Fan RPM	Static Pressure in Inches wg																				
			0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75											
180HP-4	1/4	795	CFM	1547																			
			BHP	0.22																			
			Sones	8.6																			
180HP-3	1/3	935	CFM	2114	1686																		
			BHP	0.35	0.35																		
			Sones	10.3	9.6																		
180HP-5	1/2	1075	CFM	2601	2316	1920																	
			BHP	0.51	0.53	0.52																	
			Sones	12.9	12.1	11.6																	
180HP-7	3/4	1150	CFM	2847	2607	2298	1811																
			BHP	0.61	0.64	0.65	0.62																
			Sones	14.6	13.1	12.6	12.3																
180HP-10	1	1350	CFM	3086	2880	2610	2277	1711															
			BHP	0.73	0.77	0.78	0.78	0.72															
			Sones	16.3	14.7	13.9	13.3	13.2															
180HP-15	1 1/2	1445	CFM	3485	3296	3095	2840	2540	2059														
			BHP	0.96	1.00	1.04	1.05	1.05	0.99														
			Sones	19.5	17.6	16.4	15.8	15.0	15.1														
180HP-20	2	1620	CFM	3782	3604	3428	3213	2969	2670	2216													
			BHP	1.16	1.21	1.25	1.28	1.28	1.28	1.21													
			Sones	22	20	18.8	17.8	17.3	16.4	16.6													
180HP-20	2	1700	CFM	4076	3909	3744	3576	3353	3119	2827	2407												
			BHP	1.39	1.44	1.49	1.53	1.55	1.56	1.55	1.48												
			Sones	25	22	21	20	19.6	18.9	18.1	18.3												
180HP-20	2	1620	CFM	4319	4163	4005	3848	3663	3450	3223	2923	2512											
			BHP	1.60	1.66	1.71	1.76	1.79	1.81	1.82	1.80	1.72											
			Sones	27	25	24	23	22	21	20	19.7	19.8											
180HP-20	2	1700	CFM	4560	4414	4263	4114	3964	3764	3560	3340	3037	2642										
			BHP	1.84	1.90	1.96	2.01	2.06	2.08	2.10	2.11	2.07	1.99										
			Sones	30	27	26	25	24	23	22	22	21	21										

Performance certified is for installation type A: Free inlet, Free outlet. Power rating (BHP) does not include transmission losses. Performance ratings include the effects of a birdscreen. The sound ratings shown are loudness values in hemispherical sones at 5 ft (1.5 m) in a hemispherical free field calculated per AMCA Standard 301. Values shown are for installation type A: free inlet hemispherical sone levels.

ANEXO B: SELECCIÓN VENTILADOR CENTRÍFUGO DEL CATÁLOGO GREENHECK

BSQ 200HP - Belt Drive



Damper size = 28 x 28 (711 x 711)
 Unit weight** = 314 (142)
 Housing thickness = 18 ga

Dimensions shown in inches (millimeters) and weight is shown in pounds (kilograms).
 *Motor cover is optional. Size may be greater depending on motor.
 **Weight shown is largest cataloged Open Drip Proof motor.

Model Number	Motor HP	Fan RPM	CFM / Static Pressure in Inches wg										
			0.500	0.750	1.000	1.250	1.500	1.750	2.000	2.250	2.500	3.000	
200HP													
200HP-5	1/2	850	CFM	2580	2037								
			BHP	0.47	0.47								
			Sones	12.3	11.6								
		880	CFM	2724	2258								
			BHP	0.51	0.52								
			Sones	12.8	12.3								
200HP-7	3/4	945	CFM	3032	2656	1943							
			BHP	0.63	0.65	0.61							
			Sones	14.2	14.1	12.4							
		1009	CFM	3327	3003	2556							
			BHP	0.76	0.78	0.78							
			Sones	15.6	15.9	14.7							
200HP-10	1	1111	CFM	3787	3495	3179	2732						
			BHP	1.00	1.03	1.05	1.04						
			Sones	16.9	17.4	16.9	15.3						
200HP-15	1 1/2	1191	CFM	4129	3870	3594	3263	2760					
			BHP	1.22	1.26	1.28	1.29	1.27					
			Sones	17.9	18.0	18.9	17.2	15.7					
		1271	CFM	4466	4235	3979	3716	3379	2808				
			BHP	1.47	1.51	1.55	1.57	1.57	1.52				
			Sones	18.8	18.9	21	19.8	17.5	16.2				
200HP-20	2	1335	CFM	4733	4523	4282	4035	3748	3382	2732			
			BHP	1.69	1.74	1.78	1.81	1.82	1.81	1.72			
			Sones	19.7	19.9	21	22	19.6	17.7	16.5			
		1399	CFM	4998	4803	4578	4344	4108	3802	3409	2702		
			BHP	1.93	1.99	2.03	2.07	2.09	2.09	2.08	1.95		
			Sones	21	21	21	24	22	19.5	18.1	17.0		
200HP-30	3	1467	CFM	5277	5092	4888	4667	4442	4190	3898	3473	2724	
			BHP	2.22	2.28	2.33	2.37	2.40	2.42	2.42	2.39	2.22	
			Sones	23	22	22	24	25	22	19.6	18.7	17.6	
		1602	CFM	5823	5659	5489	5291	5089	4883	4669	4401	4089	2894
			BHP	2.86	2.93	3.00	3.04	3.08	3.12	3.15	3.15	3.14	2.86
			Sones	26	26	25	25	27	27	25	23	22	20

MAX Bhp AT A GIVEN RPM = (rpm/1093)³
 MAXIMUM RPM = 1602
 TIP SPEED (ft/min) = rpm x 5.595
 MAX NEMA MOTOR FRAME SIZE = 184T
 OUTLET VELOCITY (ft/min) = 0.1870 x cfm

Performance certified is for installation type B: Free inlet, Ducted outlet. Power rating (Bhp) does not include transmission losses. Performance ratings do not include the effects of appurtenances (accessories).
 The sound ratings shown are loudness values in fan sones at 1.5 m (5 feet) in a hemispherical free field calculated per AMCA International Standard 301. Values shown are for installation type B: free inlet hemispherical sone levels.

ANEXO C: PLANOS DE LOS DUCTOS Y CAMPANAS DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN Y EXTRACCIÓN