

Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de Ingeniería



Propuesta de un sistema de inyección y extracción de aire en
la planta de envasado de una industria cosmética

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Anna Michelle Maldonado Figueroa para optar al grado académico de
Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala, 2024

Propuesta de un sistema de inyección y extracción de aire en
la planta de envasado de una industria cosmética

Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de Ingeniería



Propuesta de un sistema de inyección y extracción de aire en
la planta de envasado de una industria cosmética

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Anna Michelle Maldonado Figueroa para optar al grado académico de
Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala, 2024

Vo. Bo.

(f) 
Ing. César Cetino

Terna examinadora

(f) 
Ing. César Cetino

(f) _____
Msc. Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

(f) 
Ing. Carmen Ortiz

Fecha de aprobación: Guatemala, 22 de enero de 2024

PREFACIO

En los últimos años, he podido aprender y comprender conceptos intelectuales que culminan con la presentación de este trabajo. Este proyecto me demostró que el aprendizaje es constante y más profundo de lo que me imaginé. En el transcurso de este estudio, tuve el honor y privilegio de contar con el apoyo de numerosas personas a quienes deseo expresar mi agradecimiento. En primer lugar, quiero agradecer a Dios, que me ha acompañado en todo momento y me ha dado la fuerza para continuar este proceso. También deseo agradecer a mi familia, principalmente a mis abuelitos por siempre tener fe en mí, y a mis padres porque me apoyaron emocional y económicamente en todo momento y a todas horas.

No puedo pasar por alto el apoyo y guía de mi asesor de tesis el Ing. César Cetino. Agradezco a los ingenieros: Alejandro Kong, Carmen Ortiz, Eddy Meléndez, Jaime Rosales, Luis Núñez, Jorge Muñoz y Gamaliel Zambrano, por compartirme su pasión por esta carrera e inspirarme a esforzarme cada vez más.

ÍNDICE

PREFACIO	v
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE GRÁFICOS	ix
RESUMEN	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
A. General.....	2
B. Específicos.....	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. MARCO TEÓRICO.....	5
A. Industria cosmética	5
B. Buenas prácticas de manufactura.....	5
C. Reglamento Técnico Centroamericano: RTCA 71.03.49:08	6
D. Procedimiento estándar de operación	6
E. Fluidos incompresibles y compresibles	7
F. El aire: composición, contaminación y sus efectos en la salud.....	9
G. Sistema de ventilación	10
H. Quitaesmalte	19
I. Salud ocupacional	20
V. ANTECEDENTES.....	22
VI. METODOLOGÍA	23
A. Fase de observación de campo.....	23
B. Fase de diseño del sistema de ventilación de inyección y extracción de aire	25
C. Fase de elaboración del <i>layout</i> del sistema de inyección y extracción de aire propuesto.....	25
D. Fase de realización de la matriz de preferencias.....	29
E. Fase de realización del procedimiento estándar de operación	29
1. Establecer los objetivos del procedimiento estándar de operación.....	29
2. Determinar las responsabilidades de las personas	29
3. Redactar las generalidades del procedimiento.....	29
4. Enumerar el procedimiento detallado.....	30
VII. RESULTADOS.....	31
VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS	43

IX.	CONCLUSIONES	47
X.	RECOMENDACIONES	48
XI.	REFERENCIAS	49
XII.	ANEXOS	53
A.	Datos y esquemas.....	53
B.	Cálculos	65
1.	Proceso de inyección	65
2.	Proceso de extracción	67
XIII.	GLOSARIO	68

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1. Comparación entre fluidos compresibles e incompresibles conociendo la salida del fluido	8
2. Comparación entre fluidos compresibles e incompresibles conociendo la entrada del flujo	9
3. Clasificación de filtros EN779	16
4. Clasificación MERV de filtros.....	16
5. Ejemplo de cuadro de registro de los equipos del salón de envasado.....	23
6. Ejemplo de matriz de riesgos de los trabajadores (seguridad ocupacional).....	24
7. Ejemplo de matriz de criterios	24
8. Características del ventilador	27
9. Ejemplo de la matriz de preferencias	29
10. Volumen del salón de envasado en metros cúbicos	31
11. Caudal de aire en el salón de envasado en metros cúbicos por hora y cambios de aire por hora	31
12. Dimensiones de sistema de ductos principales de inyección de aire	31
13. Dimensiones de tramos del sistema de ductos de inyección de aire	32
14. Caracterización del ventilador para la inyección de aire	32
15. Dimensiones de sistema de ductos principales de extracción de aire	32
16. Dimensiones de tramos del sistema de ductos de extracción de aire	32
17. Caracterización del ventilador para la extracción de aire	33
18. Caracterización del sistema de Filtración	33
19. Requisitos de iluminación del salón	33
20. Información acerca de las lámparas LED antiexplosivas	33
21. Matriz de preferencia para la comparación de sistemas de ventilación	39
22. Dimensiones del salón de envasado de quitaesmalte.....	53
23. Lúmenes actuales en el salón	54
24. Lúmenes con el sistema propuesto en el salón	54
25. Consumo energético y costo por equipo mensual en la actualidad.....	55
26. Consumo energético y costo por equipo mensual con el sistema propuesto	55
27. Criterios utilizados para la matriz de riesgo ocupacional	55
28. Matriz de riesgo ocupacional del envasado	56
29. Matriz de riesgo ocupacional de la tapadora.....	57
30. Matriz de riesgo ocupacional del empaque.....	58
31. Características de Ventilador DA 9/9 RPM bajos a medios	59
32. Características de Ventilador DA 9/9 RPM medios a altos	60

LISTA DE GRÁFICOS

Figura	Página
1. Ejemplos de tipos de turbina de ventiladores centrífugos.....	11
2. Ejemplos de tipos de turbina de ventiladores axiales	12
3. Ejemplo típico de una curva característica de ventiladores	13
4. Ejemplos de accesorios para ductos.....	14
5. Ejemplo de derivación de ductos	15
6. Ejemplo de direcciones de flujo en difusores de aire.....	17
7. Ejemplo de diseños de entrada y salida de aire.....	18
8. Curva característica de ventilador.....	28
9. Ventilador centrífugo de doble aspiración marca Soler & Palau	34
10. Dimensiones del ventilador del sistema de inyección y extracción	34
11. Filtro de 6 bolsas marca Bacclean	35
12. Lámparas LED antiexplosión 4000 lm marca Sylvania.....	35
13. <i>Layouts</i> del sistema de inyección de aire	36
14. <i>Layouts</i> del sistema de extracción de aire	37
15. <i>Layouts</i> de la distribución de líneas e iluminación	38
16. Procedimiento estándar de operación pt. 1	40
17. Procedimiento estándar de operación pt. 2	41
18. Procedimiento estándar de operación pt. 3	42
19. Carta de factor de fricción de Fanning para la inyección y extracción	54
20. Esquema de caudales del sistema de inyección	59
21. Esquema de caudales del sistema de extracción	59
22. Curva característica del ventilador DA 9/9.....	60
23. Gráfica para la corrección de BPH	61
24. Hoja de seguridad del quitaesmalte pt.1	62
25. Hoja de seguridad del quitaesmalte pt. 2	63
26. Hoja de seguridad del quitaesmalte pt. 3	64

RESUMEN

Este trabajo presenta un análisis de la situación actual de acuerdo con la ventilación de un salón de envasado de quitaesmalte en una planta cosmética con el fin de brindar una propuesta de ventilación de presión negativa. Para esto, se establecieron los cambios por hora de aire necesarios para el tipo de área. Esto ayudó a establecer los caudales requeridos para la ventilación del salón. Además, se dimensionaron los ductos de inyección y extracción de aire, así como se determinaron las características del ventilador y filtro a utilizar. Asimismo, se desarrolló una matriz de preferencias para verificar si el sistema propuesto ayudaba a solucionar otros riesgos de salud ocupacional.

A partir de esto se determinaron los cambios por hora en el suministro y retorno del aire, siendo 20.38 h^{-1} y 21.75 h^{-1} , respectivamente. Se calcularon los caudales de funcionamiento obteniendo $0.93 \text{ m}^3/\text{s}$ para la inyección y $0.99 \text{ m}^3/\text{s}$ para la extracción. Al realizar la matriz de preferencias con ayuda de una matriz de riesgo se estableció que el sistema propuesto podría ayudar con las condiciones de los empleados, lo cual refleja que el sistema traerá beneficios para la salud y seguridad ocupacional.

I. INTRODUCCIÓN

Las diferentes actividades de la producción y envasado en la industria cosmética están sujetas a emisiones y procesos que, de una u otra manera, afectan el ambiente y a los trabajadores. Por esta razón, es de vital importancia la circulación de aire limpio en las áreas de trabajo.

En este trabajo de graduación, se propone un diseño de sistema de inyección y extracción de presión negativa de aire para que el salón de envasado de quitaesmalte cumpla con las buenas prácticas de manufactura establecidos en el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA). Se analizarán las condiciones actuales de ventilación para lograr establecer las variables de diseño. Asimismo, con este diseño, se quiere promover las condiciones de seguridad industrial y salud ocupacional del área. Todo esto se desarrollará en un laboratorio de producción de cosméticos que cuenta con la certificación de buenas prácticas de manufactura.

II. OBJETIVOS

A. General

- Proponer el diseño del sistema de presión negativa del flujo de aire del área de envasado para validar los requerimientos establecidos en el RTCA 71.03.49:08 y cumplir con la salud y seguridad ocupacional de los trabajadores.

B. Específicos

- Establecer los caudales de inyección y extracción de aire que requieren los equipos y determinar el sistema de filtración para que el ambiente cumpla con las buenas prácticas de manufactura de cosméticos.
- Elaborar el diseño y el *layout* del sistema de inyección y extracción de aire para determinar la ubicación de los ductos y líneas de producción.
- Hacer una matriz de preferencias para establecer una comparación entre costos, consumo energético y salud ocupacional del sistema de extracción de aire actual con el sistema propuesto, y determinar la opción con la ponderación más alta.
- Establecer un procedimiento estándar de operación (PEO) para el sistema de inyección-extracción, indicando manejo de los equipos, uso de los filtros, mantenimiento y cambio de estos para el cumplimiento con el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 71.03.49:08

III. JUSTIFICACIÓN

El flujo de fluidos “es una operación unitaria que estudia la mecánica de los fluidos y el transporte de un fluido de un punto a otro” (Orozco, 1998). El flujo de aire en los ambientes de envasado es una de las variables importantes de establecer para su adecuado funcionamiento de estos. En las condiciones actuales de la economía de los negocios, es importante cumplir con los requerimientos establecidos, entre ellos las buenas prácticas de manufactura que se encuentran en el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 71.03.49:08 (Ministerio de Economía et al., 2008) para verificar que los laboratorios cumplan con esto, se realizan auditorías externas por parte de una entidad del Ministerio de Salud Pública, la cual otorga una licencia sanitaria y un certificado de buenas prácticas de manufactura. Lo anterior compromete a toda la industria cosmética a que esté en un proceso de mejora continua en todos sus niveles de operación.

El Reglamento Centroamericano RTCA 71.03.49:08, Sección 6, “Edificios e instalaciones”, inciso 4, “Áreas de producción”, literal f, establece que es necesario que las áreas de producción cuenten con un sistema de inyección y extracción de vapores en la producción de esmaltes, por los productos químicos utilizados. En el envasado de quitaesmalte, es esencial contar con este tipo de sistema debido a que sus principales componentes son acetona y acetato de etilo, solventes volátiles que producen vapores irritables e inflamables, lo cual pone en peligro la salud y seguridad de los trabajadores. Asimismo, este reglamento indica que es importante brindar el equipo de protección personal necesario para las diversas actividades realizadas, en este caso, guantes, mascarillas KN y lentes para garantizar la salud ocupacional general.

Durante la observación de la situación actual de trabajo, se encontraron tres riesgos importantes en los subprocesos del envasado de quitaesmalte (llenado, tapado y empaque). Estos riesgos fueron el mecánico, el químico y el físico. El mecánico se centra en la falta de organización en la planta; el químico, en la falta de ventilación para la eliminación de los vapores dañinos (ver Figuras 24-26); y el físico radica principalmente en la falta de iluminación del salón. Esto influye en el incumplimiento del RTCA, por lo cual garantizar la adecuada ventilación ayudará a ofrecer una buena seguridad y salud ocupacional para los trabajadores en las diversas áreas de riesgo.

Con base en lo anterior y a los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de Ingeniería Química, se propone el diseño de un sistema de inyección y extracción de aire con presión negativa para el área de envasado de quitaesmalte. Para este, se toma en cuenta el aspecto de salud ocupacional y seguridad industrial. Este diseño consistirá en una evaluación del aire, su calidad con su respectivo balance de masa para establecer los requerimientos de este, además de establecer cuántos cambios por hora se necesita de este flujo.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Industria cosmética

La industria cosmética guatemalteca es una de las líderes en la región de Centroamérica. En Guatemala, hay muchas oportunidades de desarrollo para la industria cosmética, puesto que se tiene una riqueza en términos de biodiversidad. La exportación de productos cosméticos y de higiene en 2017 tuvo un valor de \$336.4 millones (Corzo, 2019). Debido a la amplia competencia, es importante que el mercado nacional sea fortalecido e innovado constantemente para mantener su puesto (El Economista, 2017).

El proceso de fabricación de cosméticos se basa principalmente en mezclado, envasado y empaque. Lo primero que se debe hacer es revisar la materia prima que será transformada en el proceso, se revisan sus propiedades fisicoquímicas (como el pH, viscosidad y peso) y organolépticas (como el color y olor). Si estas pasan el análisis de calidad, continúan a la fase de formulación y mezclado. En esta parte, se hace una mezcla homogénea siguiendo las especificaciones del producto (Editores Cosmetic LATAM, 2021).

Antes de envasar, se vuelve a realizar un análisis de calidad para rectificar que la formulación haya sido la correspondiente al producto en fabricación. En el envasado, se debe asegurar que el área esté limpia con el fin de que el producto no se contamine con ningún agente externo (Universidad Veracruzana, 2016). Para asegurar que los productos cosméticos sean de calidad y tengan los requerimientos sanitarios esperados, se debe trabajar con las buenas prácticas de manufactura.

B. Buenas prácticas de manufactura

Las buenas prácticas de manufactura (BPM) son regulaciones para las industrias con el fin de que los productos sean seguros y efectivos. Estas regulaciones requieren que exista una alta calidad para que se reduzca o elimine la contaminación y los posibles errores en el momento de su fabricación. Al ponerlas en práctica, se protege al comprador de adquirir un producto defectuoso o dañino para su salud (International Society for Pharmaceutical Engineering, 2021).

Las buenas prácticas de manufactura abordan tópicos como el mantenimiento de registro y documentación, calificaciones del personal, saneamiento, limpieza, verificación del equipo, validación de procesos y manejo de quejas. La mayoría de las BPM son generales por lo que cada industria y laboratorio puede decidir el plan y la estrategia para implementar los controles. De esta forma, se tiene una flexibilidad y se pueden interpretar dependiendo de las necesidades y objetivos de las distintas empresas (International Society for Pharmaceutical Engineering, 2021).

C. Reglamento Técnico Centroamericano: RTCA 71.03.49:08

Este documento es un reglamento de la región de Centroamérica que establece las buenas prácticas de manufactura para los laboratorios fabricantes de productos cosméticos. Tiene como objetivo establecer el control sanitario mediante la regulación de los procesos de fabricación para que tengan una alta calidad. El documento consta de las siguientes secciones: objeto, ámbito de aplicación, definiciones, requisitos, estructura organizativa, edificios e instalaciones, equipo, sistema de agua, documentos, contratos a terceros, auditorías y vigilancia y verificación.

En la sección de estructura organizativa se establece que la empresa debe tener una organización que se pueda demostrar por medio de un organigrama, que sus trabajadores tengan las calificaciones necesarias para realizar las funciones operativas y que se realice constantemente capacitaciones. Además, indica que el personal debe estar en buena salud para evitar infecciones o contaminación en los productos. En la sección de edificios e instalaciones se dan las generalidades que debe tener la infraestructura, por ejemplo, ser de fácil limpieza y mantenimiento, estar alejado de fuentes contaminantes, ser diseñado para que exista una fluidez del proceso, contar con los equipos de emergencia como extintores. Asimismo, enumera las características y requisitos para cada área del laboratorio (Ministerio de Economía; et al., 2008).

Otra sección importante es la de los documentos. En este reglamento se enfatiza la importancia de tener la documentación adecuada en todas las áreas. Estos documentos deben ser redactados de forma clara y legible, dejando copia de estos para el acceso del personal, deben ser aprobados por las personas autorizadas y se deben actualizar periódicamente. Un ejemplo de la documentación son los procedimientos estándar de operación. Este es un procedimiento escrito con las instrucciones para realizar operaciones de naturaleza general. Este debe tener la información necesaria para asegurar la uniformidad de producción y la calidad (Ministerio de Economía; et al., 2008).

D. Procedimiento estándar de operación

El procedimiento estándar de operación (PEO), también conocido como procedimiento normal de operación (PNO), es un documento requerido para las buenas prácticas de manufactura establecidas en el RTCA 71.03.49:08 en la sección 10 de documentos (Ministerio de Economía; et al., 2008).

Este documento especifica las actividades y procesos necesarios para completar una tarea de acuerdo con las regulaciones. Define las prácticas esperadas en una industria con altos estándares de calidad. Esto quiere decir que este tipo de documento es necesario para cualquier operación dentro de la empresa. Al crear el PEO de un proceso o equipo se aseguran las eficiencias, consistencia, reducción

de errores, resolución de conflictos entre pares, un ambiente seguro y saludable, protección para el personal en los momentos donde se debe resolver un problema del proceso y también sirve para controlar el proceso. Elaborar un procedimiento estándar de operación consiste en sistematizar todos los procesos y documentarlos detalladamente de forma clara y concisa (Brampton Small Business Enterprise Centre, s.f.).

E. Fluidos incompresibles y compresibles

Los fluidos se pueden clasificar como no compresibles y compresibles. Si la densidad no cambia significativamente al modificar la temperatura y presión el fluido es no compresible, mientras que si existen cambios significativos en la densidad es un fluido compresible. Los líquidos entran en la categoría de no compresibles y los gases en los compresibles. Para realizar distintos procedimientos de mecánica de fluidos se utiliza la ecuación de Bernoulli, esta es para fluidos incompresibles. La ecuación toma en cuenta el trabajo mecánico realizado por fuerzas externas sobre el fluido, energía mecánica potencial, energía cinética y la fricción del sistema. La ecuación se presenta a continuación:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 + \sum F_f$$

(Geankoplis, 1991)

Para los fluidos compresibles se utilizan las ecuaciones de la segunda ley de Newton, la primera ley de termodinámica, la ley de gases ideales y la ley de conservación de masa. Otra herramienta importante es el número de Mach, es la relación de la velocidad del gas y la velocidad del sonido local:

$$Ma = \frac{v}{\sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}}$$

En esta ecuación v es la velocidad del fluido, γ es la relación de calor específico, R la constante de gases ideales, T la temperatura y M la masa molecular del gas (Teng & Medina, 2014). Para determinar las dimensiones de tuberías o ductos de fluidos compresibles se puede usar un flujo isotérmico o flujo adiabático. Cuando se conocen las condiciones de entrada se sugiere utilizar el primero, mientras que, si solo se conocen las de salida, se prefiere usar las ecuaciones de flujo adiabático. En ciertas condiciones es posible realizar el dimensionamiento de tuberías y ductos de flujos compresibles con la ecuación de Bernoulli. Con el fin de establecer si es correcto emplear esta ecuación se debe determinar la caída de presión p_2/p_1 y el número de Mach ya que existen tablas (Tabla 1 y 2) donde muestran el error que existiría si se usa la ecuación para fluidos incompresibles:

Tabla 1.

Comparación entre fluidos compresibles e incompresibles conociendo la salida del fluido

		TABLE 1A. MACH NUMBER AT PIPE OUTLET (Mi_2)											
		0.01	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
P_2/P_1 (incompressible)	0.01	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.02%	0.02%	0.03%	0.04%	0.05%
	0.05	0.00%	0.00%	0.01%	0.03%	0.07%	0.12%	0.19%	0.27%	0.37%	0.48%	0.60%	0.74%
	0.1	0.00%	0.01%	0.02%	0.09%	0.21%	0.37%	0.57%	0.82%	1.11%	1.45%	1.83%	2.25%
	0.2	0.00%	0.02%	0.06%	0.26%	0.58%	1.02%	1.59%	2.27%	3.07%	3.97%	4.98%	6.08%
	0.3	0.00%	0.03%	0.11%	0.43%	0.97%	1.71%	2.66%	3.80%	5.12%	6.61%	8.26%	10.04%
	0.4	0.00%	0.04%	0.15%	0.59%	1.31%	2.32%	3.61%	5.15%	6.95%	8.97%	11.21%	13.61%
	0.5	0.00%	0.04%	0.17%	0.69%	1.56%	2.77%	4.31%	6.19%	8.38%	10.86%	13.61%	16.59%
	0.6	0.00%	0.05%	0.18%	0.74%	1.67%	2.98%	4.68%	6.77%	9.26%	12.12%	15.33%	18.84%
	0.7	0.00%	0.04%	0.18%	0.71%	1.60%	2.90%	4.61%	6.77%	9.42%	12.56%	16.18%	20.21%
	0.8	0.00%	0.04%	0.14%	0.58%	1.34%	2.45%	3.97%	5.98%	8.56%	11.81%	15.76%	20.38%
	0.9	0.00%	0.02%	0.09%	0.35%	0.82%	1.53%	2.56%	4.01%	6.07%	8.96%	12.99%	18.30%
	0.91	0.00%	0.02%	0.08%	0.32%	0.75%	1.41%	2.36%	3.72%	5.68%	8.48%	12.47%	17.85%
	0.92	0.00%	0.02%	0.07%	0.29%	0.68%	1.28%	2.15%	3.42%	5.25%	7.94%	11.88%	17.34%
	0.93	0.00%	0.02%	0.06%	0.26%	0.61%	1.14%	1.93%	3.09%	4.79%	7.34%	11.20%	16.73%
	0.94	0.00%	0.01%	0.06%	0.23%	0.53%	1.00%	1.70%	2.73%	4.28%	6.67%	10.41%	16.02%
	0.95	0.00%	0.01%	0.05%	0.19%	0.45%	0.85%	1.46%	2.35%	3.73%	5.91%	9.50%	15.16%
	0.96	0.00%	0.01%	0.04%	0.16%	0.37%	0.70%	1.20%	1.95%	3.12%	5.06%	8.41%	14.12%
	0.97	0.00%	0.01%	0.03%	0.12%	0.28%	0.53%	0.92%	1.51%	2.46%	4.08%	7.10%	12.79%
	0.98	0.00%	0.00%	0.02%	0.08%	0.19%	0.36%	0.63%	1.05%	1.72%	2.94%	5.45%	11.03%
	0.99	0.00%	0.00%	0.01%	0.04%	0.10%	0.19%	0.32%	0.54%	0.91%	1.61%	3.27%	8.37%
0.992	0.00%	0.00%	0.01%	0.03%	0.08%	0.15%	0.26%	0.44%	0.73%	1.31%	2.73%	7.63%	
0.995	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.05%	0.09%	0.16%	0.28%	0.47%	0.84%	1.84%	6.23%	
0.999	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.03%	0.06%	0.10%	0.18%	0.41%	2.99%	

Nota. Adaptada de Teng & Medina (2014)

Tabla 2.

Comparación entre fluidos compresibles e incompresibles conociendo la entrada del flujo

		TABLE 1B. MACH NUMBER AT PIPE INLET (M_{i1})										
		0.01	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
p_2/p_1 (incompressible)	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0.05	15.56%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0.1	2.41%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0.2	0.41%	12.97%	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0.3	0.13%	3.63%	20.26%	—	—	—	—	—	—	—	—
	0.4	0.06%	1.49%	6.77%	—	—	—	—	—	—	—	—
	0.5	0.03%	0.71%	3.02%	17.26%	—	—	—	—	—	—	—
	0.6	0.01%	0.36%	1.49%	7.14%	26.14%	—	—	—	—	—	—
	0.7	0.01%	0.18%	0.75%	3.34%	9.36%	29.04%	—	—	—	—	—
	0.8	0.00%	0.09%	0.36%	1.52%	3.89%	8.66%	22.34%	—	—	—	—
	0.9	0.00%	0.03%	0.13%	0.55%	1.35%	2.72%	5.19%	10.71%	—	—	—
	0.91	0.00%	0.03%	0.12%	0.48%	1.17%	2.35%	4.44%	8.81%	—	—	—
	0.92	0.00%	0.02%	0.10%	0.42%	1.01%	2.01%	3.75%	7.23%	21.16%	—	—
	0.93	0.00%	0.02%	0.08%	0.35%	0.85%	1.70%	3.13%	5.88%	14.05%	—	—
	0.94	0.00%	0.02%	0.07%	0.29%	0.71%	1.40%	2.56%	4.71%	10.16%	—	—
	0.95	0.00%	0.01%	0.06%	0.24%	0.57%	1.13%	2.04%	3.68%	7.43%	—	—
	0.96	0.00%	0.01%	0.04%	0.19%	0.44%	0.87%	1.56%	2.78%	5.33%	—	—
	0.97	0.00%	0.01%	0.03%	0.14%	0.32%	0.63%	1.13%	1.97%	3.63%	9.12%	—
	0.98	0.00%	0.01%	0.02%	0.09%	0.21%	0.41%	0.72%	1.24%	2.23%	4.78%	—
0.99	0.00%	0.00%	0.01%	0.04%	0.10%	0.20%	0.35%	0.59%	1.03%	2.03%	—	
0.992	0.00%	0.00%	0.01%	0.03%	0.08%	0.16%	0.27%	0.47%	0.81%	1.58%	5.37%	
0.995	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.05%	0.10%	0.17%	0.29%	0.50%	0.95%	2.66%	
0.999	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.03%	0.06%	0.10%	0.18%	0.44%	

Nota. Adaptada de Teng & Medina (2014)

F. El aire: composición, contaminación y sus efectos en la salud

El aire es un fluido compresible, una mezcla de gases que constituye a la atmósfera de la Tierra. Sus principales compuestos son: nitrógeno, que es el 78%, oxígeno, el 21% y el resto son diversos gases como argón, dióxido de carbono. Estas fracciones son constantes ya que su cambio no es significativo según el lugar y el tiempo. La propiedad que cambia dependiendo de la localización y el periodo es la humedad. La humedad es la cantidad de vapor de agua que existe en el aire (hasta un 5%), esta afecta el clima, procesos naturales y tecnológicos (Helmenstine, 2022).

El aire se puede mezclar con otras sustancias y partículas, cuando esto sucede el aire está contaminado. Los contaminantes pueden ser el polvo, aerosoles, humo de vehículos e industrias, polen, gases dañinos como el monóxido de carbón, ozono, dióxido de nitrógeno, metano, entre otros. Estos agentes externos determinan la calidad del aire, por lo que se ve afectado por la localización, actividad humana y clima. Cuando la presencia de los contaminantes es significativa esto presenta un peligro para la salud de la población ya que puede provocar enfermedades respiratorias severas si no se mantiene un control (World Health Organization, 2023).

Dentro de las industrias químicas, durante la manufactura de diversos productos, gases y vapores pueden liberarse por lo que es fundamental mantener un sistema de ventilación que se ajuste a las necesidades de cada planta.

G. Sistema de ventilación

En el RTCA 71.03.49:08 en la sección de edificios e instalaciones, en la parte de área de producción se establece que el laboratorio cosmético debe contar con un sistema de inyección y extracción de aire si se producen tintes o esmaltes. Esto es debido a la producción de gases o vapores tóxicos que pueden afectar la salud del personal (Ministerio de Economía; et al., 2008).

La ventilación es un proceso en donde el aire contaminado es reemplazado por aire limpio y puro. Para esto es necesario un sistema de inyección y extracción de aire. Estos producen un flujo constante. Este tiene como propósito crear un ambiente confortable, saludable y sustituir el aire extraído del área requerida. Puede ser de presión negativa cuando la cantidad de aire inyectada es menor a la extraída, o bien, de presión positiva que es lo inverso (Soluciones MCAT, 2020).

La ventilación industrial se puede dar de dos formas: mecánica y natural. La ventilación mecánica, también conocida como forzada, se produce con equipos mecánicos, esta se da para controlar el aspecto térmico y la limpieza del aire del área de trabajo. Para este tipo de ventilación se deben determinar los factores de caudal de aire, velocidad, temperatura, humedad y distribución de espacio en el lugar a implementar el sistema. La ventilación natural se da mediante la instalación de rejillas en donde se utilizan los recursos naturales. No obstante, para este tipo se debe realizar un estudio donde se determinen los flujos y corrientes del aire, la presión y otros factores para que el diseño del sistema sea el adecuado (Soluciones MCAT, 2020).

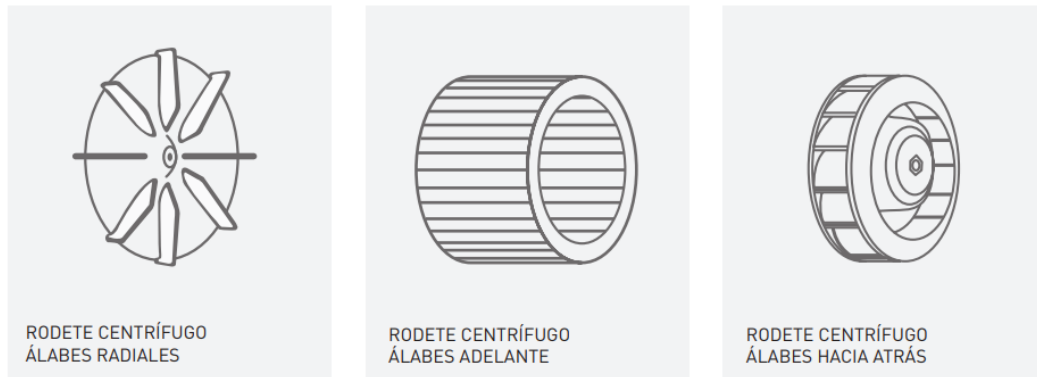
1. Partes de un sistema de ventilación

Ventiladores: son máquinas con la capacidad de desplazar el aire. Se componen de elemento rotativo, soporte y motor. El elemento rotativo es el componente que rota en el eje, conocido como hélice o rodete. Se le llama hélice si la dirección en la que sale el aire es paralela al eje del ventilador, usualmente esta puede desplazar una cantidad de aire significativa con poca presión. Se le conoce

como rodete cuando la dirección de salida del aire es perpendicular al eje, estos mueven una menor cantidad de aire, pero con presiones mayores. La pieza que permite el movimiento de este elemento rotativo es el motor (Soler & Palau, s.f.).

Según su trayectoria pueden ser centrífugos o axiales. En los primeros el aire entra de forma axial y sale con una dirección perpendicular. De acuerdo con el tipo de turbina, los centrífugos se clasifican en pala radial, álabe adelantado y de pala atrasada. Los de pala radial son los menos utilizados ya que no son eficientes y producen una gran cantidad de ruido. No obstante, son utilizados para materiales granulares o pulverulentos puesto que los álabes no retienen el material permaneciendo limpios. Los de álabe adelantado contienen varios álabes de poca anchura, estos proporcionan un mayor caudal y una menor presión que los de tipo de pala atrasada. Se utilizan en el área residencial y comercial. El consumo energético de este tipo baja al reducir el caudal y aumentar la presión. Por último, los centrífugos con pala atrasada consisten en palas curvadas en sentido opuesto al giro, son los más utilizados para potencias grandes por sus altas eficiencias. Otra ventaja es que se mantienen limpios por lo que, si el aire no está limpio, la suciedad no se acumula en las palas (Soler & Palau, 2017).

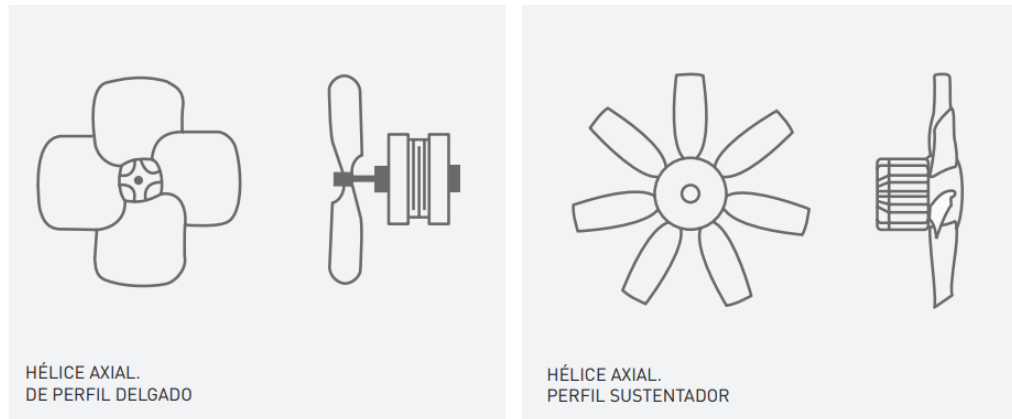
Figura 1.
Ejemplos de tipos de turbina de ventiladores centrífugos



Nota. Adaptado de Soler & Palau (s.f.)

Los ventiladores axiales son en los que el aire ingresa y egresa de la hélice con trayectorias paralelas al eje, estos son adecuados cuando se va a mover un caudal grande de aire con baja presión. Puede ser de perfil delgado, este se utiliza cuando se requiere un ventilador compacto en donde el espacio es limitado. Estos suelen ser energéticamente eficientes. También pueden ser de perfil sustentador, estos se utilizan cuando es necesario un flujo de aire controlado y direccional. Además, trabajan con alta velocidad para tener un rendimiento aerodinámico (Soler & Palau, 2017).

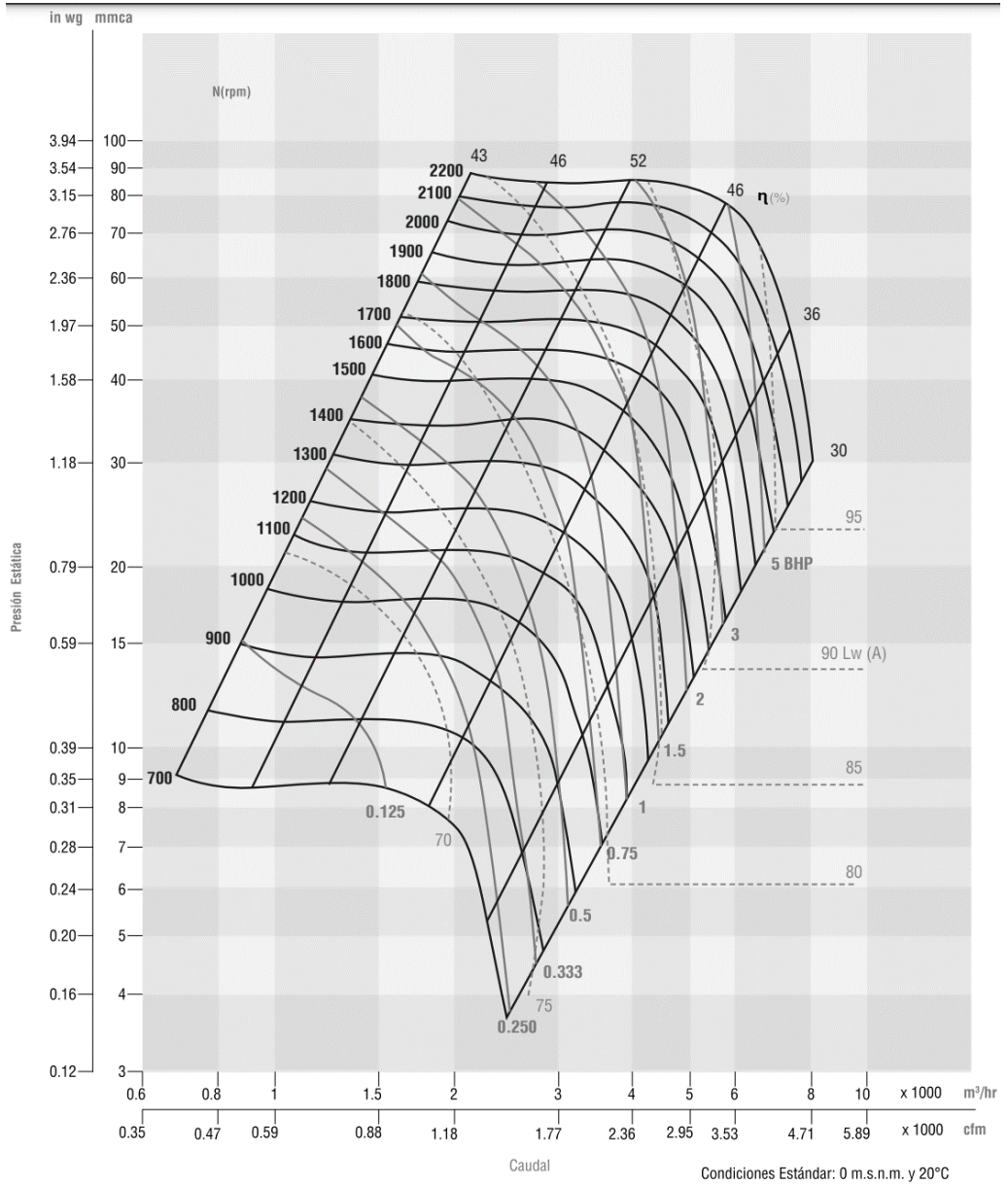
Figura 2.
Ejemplos de tipos de turbina de ventiladores axiales



Nota. Adaptado de Soler & Palau (s.f.)

Para escoger un ventilador, los proveedores brindan una herramienta muy útil que es la curva característica del mismo. Esta curva es una representación gráfica del comportamiento del ventilador en términos de caudal del aire y de la presión estática bajo diferentes condiciones de operación. Sus componentes son el caudal de aire que puede expresarse como metros cúbicos por hora (m^3/h) o pies cúbicos por minuto (CFM), la presión estática expresada en pulgadas de agua o milímetros de columna de agua, eficiencia del ventilador, la potencia hidráulica de freno (BHP) y en algunos casos el aspecto sonoro del ventilador, a continuación, tenemos un ejemplo, pero las propiedades en la curva pueden ir cambiando respecto al proveedor.

Figura 3.
Ejemplo típico de una curva característica de ventiladores



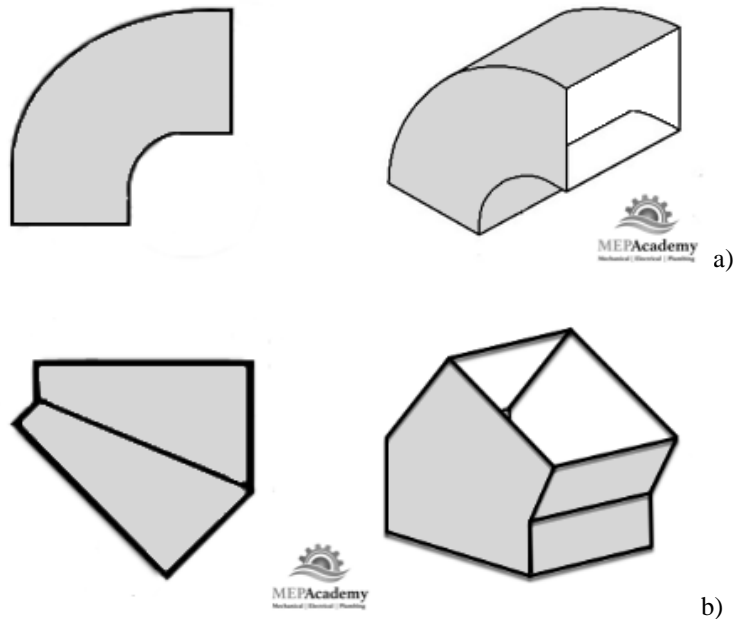
Nota. Adaptado de Soler & Palau (s.f.)

Ductos: son los componentes que tienen como propósito transportar el aire en una trayectoria determinada. Deben estar diseñados para evitar fugas y para minimizar la resistencia al flujo de aire. La velocidad a que se desplaza el aire es importante ya que, si la velocidad es muy pequeña, las partículas del aire pueden causar acumulaciones dentro de los ductos. Sin embargo, si la velocidad es muy alta puede ocasionar que el ruido cause problemas (Canadian Centre for Occupational Health and Safety, 2023).

Se pueden clasificar por la velocidad del fluido dentro del ducto: puede ser un sistema de baja velocidad si esta es menor a 10 m/s, es un sistema de velocidad media si se encuentra entre 10 a 13 m/s y es de alta velocidad si son mayores a 13 m/s. También se pueden clasificar dependiendo de la presión estática, si esta es menor a 3 pulgadas de agua son de baja presión, si va de 3 a 6 pulgadas de agua es de presión media y si es de 6 a 10 pulgadas de agua son de alta presión. Usualmente los de presión media se utilizan para los ductos principales y los de baja presión para derivaciones (The Engineering ToolBox, 2018).

Los ductos necesitan de accesorios para unir dos ductos y desviar la dirección del flujo de aire. Los más utilizados son los codos, estos pueden ser de 90° o de 45°.

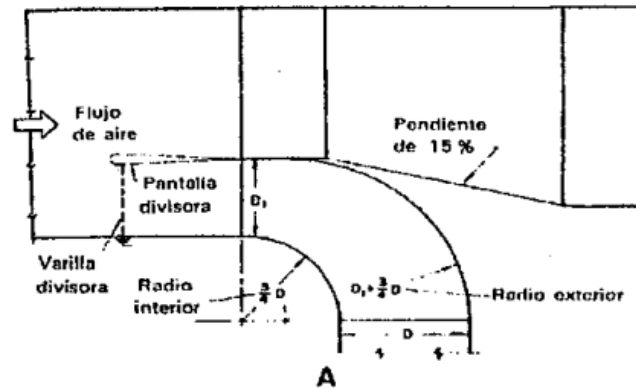
Figura 4.
Ejemplos de accesorios para ductos



Nota. a) codo de 90° b) codo de 45°. Adaptado de MEP Academy. (2020)

En los ductos rectangulares pueden existir varias desviaciones, como, por ejemplo:

Figura 5.
Ejemplo de derivación de ductos



Filtros de aire: se utilizan para limpiar el aire de partículas, polvo y contaminantes antes de que entre al salón. Para que estos sean eficaces se debe tomar en cuenta el tamaño de las partículas en suspensión y el grado de concentración de las distintas partículas. Existen varios tipos de filtros de aire, los de fibra de vidrio que se utilizan en sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, está compuesto por capas de fibra de vidrio que atrapan partículas de polvo y otros contaminantes, filtros de carbón activado que se utilizan para eliminar olores y gases nocivos del aire, filtros electrostáticos que pueden ser permanentes o desechables y son efectivos para eliminar partículas pequeñas.

También están los filtros HEPA (high efficiency particulate air) que son utilizados en industrias relacionadas a la salud ya que eliminan el 99.97% de las partículas que pasan a través de estos y retienen partículas de hasta 0.3 micrones, los filtros ULPA que son de alta eficiencia de partículas ultrafinas, se utilizan en aplicaciones de alta pureza, los filtros de fotocatalisis que usan luz ultravioleta para descomponer los contaminantes orgánicos y gases (Macrofilter, 2023).

Los filtros tienen distintas clasificaciones según los tamaños de partículas que retienen, se consideran polvos gruesos a las partículas mayores a 10 micrones como insectos, fibras textiles, arena, esporas y estos filtros se utilizan en aplicaciones simples como filtros de circulación, filtros de escape para cabinas de pintura en aerosol, los polvos finos son los que van de 1 a 10 micrones como polen, cenizas finas, polvo de cemento y se usan en filtros de admisión de aire exterior con bajos requisitos de pureza, prefiltros, y por último las partículas suspendidas que son las partículas que son menores a 1 micrón, como los gérmenes, bacterias, humos de tabaco, vapores, aerosoles, sus aplicaciones se

basan en filtros finales para habitaciones limpias (Emmerling Weyl, 2022). Según la norma EN 779, los filtros se pueden clasificar de diferentes formas como lo muestra la Tabla 3.

Tabla 3.
Clasificación de filtros EN779

Clase de filtro	Caída de presión en la prueba final (Pa)	Arrastre promedio (Am), prueba ASHRAE	Eficiencia promedio (Em) de partículas de 0.4 micrones	Eficiencia mínima de partículas de 0.4 micrones
G1	250	$50\% \leq Am < 65\%$		
G2	250	$65\% \leq Am < 80\%$		
G3	250	$80\% \leq Am < 90\%$		
G4	250	$90\% \leq Am$		
M5	450		$40\% \leq Em < 60\%$	
M6	450		$60\% \leq Em < 80\%$	
F7	450		$80\% \leq Em < 90\%$	35%
F8	450		$90\% \leq Em < 95\%$	55%
F9	450		$95\% \leq Em$	70%

Nota. Adaptado de EMW¹ (2022)

Otra forma de clasificar los filtros es por medio de MERV (*Minimum Efficiency Reporting Value*) que ayuda a identificar la eficiencia de estos, está basado en la capacidad para retener partículas sólidas suspendidas en el aire, entre más grande el número MERV, mayor la eficiencia del filtro. La Tabla 4 se encuentra esta clasificación de filtros.

Tabla 4.
Clasificación MERV de filtros

MERV	Eficiencia por tamaño promedio de partícula		
	3.0-10 micrones	1.0-3.0 micrones	0.3-1.0 micrones
1-4	< 20%	-	-
5	> 20%	-	-
6	> 35%	-	-
7	> 50%	-	-
8	> 70%	> 20%	-
9	> 75%	> 35%	-
10	> 80%	> 50%	-
11	> 85%	> 65%	> 20%
12	> 90%	> 80%	> 35%
13	> 90%	> 85%	> 50%
14	> 95%	> 90%	> 75%
15	> 95%	> 90%	> 85%
16	> 95%	> 95%	> 95%

Nota. Adaptado de EPA² (2023)

¹ EM: Emmerling, W: Weyl

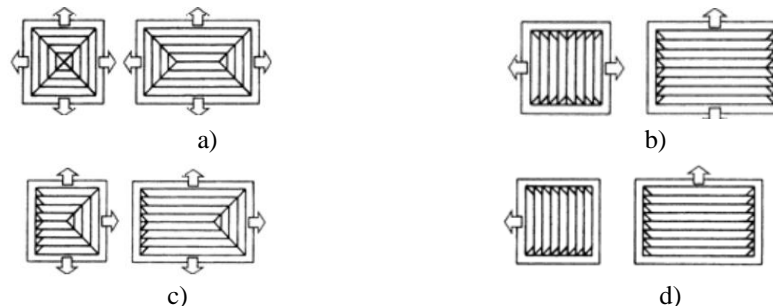
² Environmental Protection Agency

Difusores y rejillas de suministro: son los elementos finales cuya función es el ingreso o extracción del aire. Deben brindar la mejor distribución o captación de aire posible. Los difusores distribuyen de forma uniforme la inyección del aire dentro de un área determinada mientras que las rejillas solamente son el punto de entrada o salida del aire (Soler & Palau, 2017).

Las rejillas pueden ser por impulsión para la salida del aire, y pueden tener lamas curvas o lamas rectas. También pueden ser de retorno para la extracción del aire. Estas son más sencillas ya que la dirección del aire no tiene mayor significancia. De este tipo, existen de retícula, de puerta, de suelo y de conductos. Las rejillas de retícula son para la instalación en techos y, al tener una gran superficie, pueden extraer grandes caudales, las rejillas de puerta tienen lamas fijas en forma de V invertida, lo cual hace que sean adecuadas en puertas puesto que impiden la visión por medio de la rejilla; las rejillas de suelo son más utilizadas en la impulsión; y las rejillas de conductos tienen marcos biselados con lamas verticales (Soler & Palau, 2019).

Los difusores pueden ser de techo (cuadrados o circulares), rectilíneos, de suelo y de inducción. La difusión en el techo puede tener difusores circulares contruidos por varios conos que impulsan el aire paralelamente al techo y otras direcciones. Los cuadrados tienen el mismo comportamiento que los circulares, pero pueden tener descarga por cuatro, tres, dos o un lado. Los difusores rectilíneos son usados principalmente en los muros y sistemas de aire acondicionado; pueden tener aletas paralelas, horizontales o inclinadas, usualmente fijas. Los difusores de suelo llevan aletas regulables para direccionar el caudal del aire, pero hay que tener cuidado de no obstaculizarlos con muebles u otros bienes. Los difusores de inducción ayudan a la mezcla del aire impulsado con el del área (Soler&Palau, 2022).

Figura 6.
Ejemplo de direcciones de flujo en difusores de aire

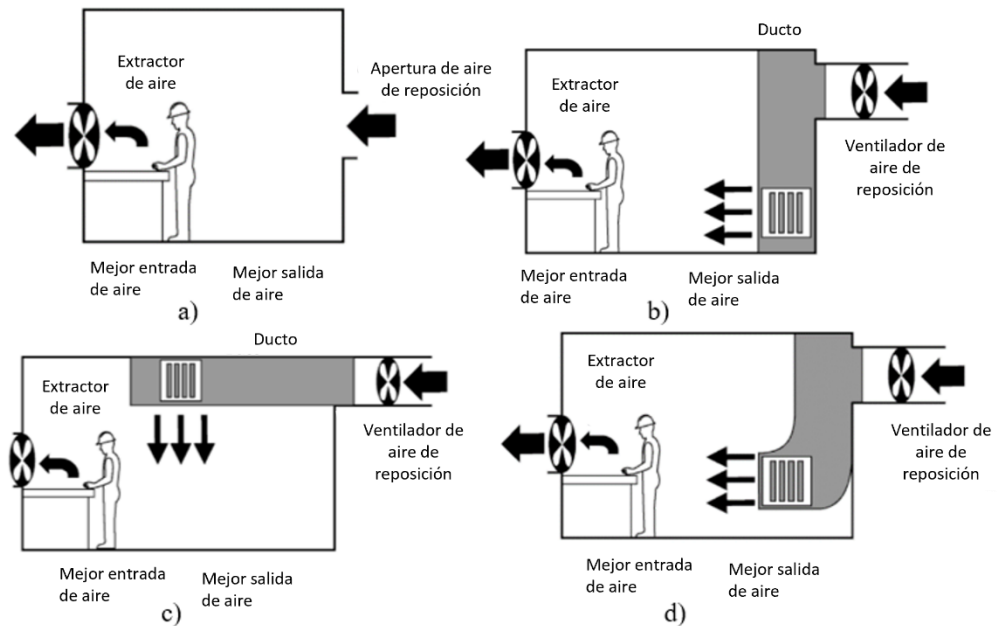


Nota. a) flujo a 4 direcciones b) flujo a 2 direcciones c) flujo a 3 direcciones d) flujo a una dirección. Adaptado de Soler & Palau (2022).

Inyección y extracción de aire: el aire del exterior es inyectado al interior del área determinada y al mismo tiempo, el aire viciado es expulsado del ambiente (Soluciones MCAT, 2021). La inyección

y extracción se puede dar por dilución o por una ventilación localizada. La ventilación por dilución es la más común, reduce la concentración de los contaminantes del aire mediante la mezcla del aire contaminado con aire fresco y limpio. Este tipo de sistema es más eficiente cuando la extracción está situada cerca de los trabajadores expuestos y la inyección detrás del trabajador. Las limitaciones se encuentran en que no remueve completamente los contaminantes, no es efectivo para productos altamente tóxicos. Existen varios diseños recomendados para este tipo de ventilación:

Figura 7.
Ejemplo de diseños de entrada y salida de aire.



Nota. Adaptado de *Canadian Center for Occupational Health and Safety (CCOHS) (2023)*

En la Figura 7, a) se puede observar que si se va a trabajar solamente con una entrada de aire natural es aconsejable colocar un ventilador de extracción frente al área de trabajo, en la 7 b) se muestra que si se tiene una inyección de aire en la parte de abajo se aconseja colocar el ventilador de extracción en el área de trabajo, la 7 c) establece que al tener el suministro de aire en el techo se puede colocar un extractor frente al área de trabajo y en la 7 d) se ve que es parecida a 7 b) lo que cambia es que la inyección de aire es en un nivel más alto lo cual hace que el ducto tenga una curvatura.

Sensores: son importantes para asegurarse que el equipo este trabajando correctamente, los más utilizados son los de temperatura, presión y flujo o velocidad del aire (Arrow Electronics, 2021).

Sistema de control y automatización: esta parte es fundamental para un sistema de ventilación ya que ayuda que las condiciones de operación sean óptimas para garantizar eficiencia. Generalmente se monitorea el caudal del aire, la presión, el consumo de energía eléctrica, temperatura y nivel de

vibraciones. Además, se pueden colocar controles para apagar y encender el sistema en horarios establecidos (Soler & Palau, 2022)

La importancia de tener el sistema de ventilación apropiado para la industria se centra en dos aspectos fundamentales: la salud y bienestar de los trabajadores, y la mejora de las condiciones operacionales. Esto último se refiere al control de olor, humedad y vapores (Soluciones MCAT, 2020).

La inyección y extracción de aire sirve para tener control de algunos parámetros como la calidad, temperatura y presión. Al tener una mejor calidad de aire, las partículas contaminantes en el aire reducen por lo que se elimina el factor contaminante del ambiente. Para esto es necesario que el sistema de ventilación cuente con filtros especiales (Soluciones MCAT, 2020).

Si una empresa no cuenta con un sistema de ventilación adecuada para las actividades realizadas en el área puede poner en riesgo la salud de las personas. Algunos efectos de una mala ventilación son: la sensación de agotamiento constante, reducir las habilidades cognitivas, aumento en reacciones alérgicas, cansancio, dolores de cabeza e irritación en la garganta y ojos (Siber Ventilación, 2016).

H. Quitaesmalte

Los quitaesmaltes generalmente tienen como base la acetona, la manera más sencilla y de bajo costo es mezclando 90% de acetona con el 10% de agua, sin embargo, el compuesto de mayor presencia tiene un efecto negativo en las uñas, provocando que estas se sequen. Por esta razón, se tienen una mayor cantidad de compuestos para reducir los efectos negativos. La composición del quitaesmalte varía dependiendo del proveedor, pero la general es de 30-60% acetona, 10-35% acetato de etilo, 5-20% alcohol etílico o isopropílico, 8-12% agua y 6-10% glicerina (ver figuras 24-26). La acetona es el principal y mayor solvente, el acetato de etilo es un solvente más fuerte y menos volátil por lo que se usa en combinación, el alcohol etílico o isopropílico no es un solvente en sí, sin embargo, su presencia ayuda a solubilizar la glicerina con la acetona. La glicerina se agrega debido a que ayuda a fortalecer y lubricar las uñas, pero esta es inmisible con la acetona (Estados Unidos Patente n° 4735798, 1988).

Como se expresó, la acetona es el principal solvente por lo que, al momento de la manufactura del quitaesmalte, sus características sobresalen. La acetona es un líquido incoloro con un olor y sabor característico. Este solvente tiende a evaporarse rápidamente en el aire. Es altamente inflamable y es irritante. La exposición a vapores de acetona puede causar irritación de ojos y nariz, dolor de garganta, tos, dolor de cabeza, mareos, vértigo, inestabilidad y confusión (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 1994). El acetato de etilo, el segundo solvente del quitaesmalte es un líquido incoloro con un olor dulce frutal. Es un líquido inflamable e irritante. Su exposición puede

provocar irritación de ojos severa, mareos, debilidad y dolor de cabeza (American Chemical Society , 2019).

El alcohol etílico (etanol) o isopropílico es el compuesto que ayuda a que la glicerina se solubilice con la glicerina. El etanol es un líquido incoloro con un olor característico. Es inflamable es su estado líquido y gaseoso. El contacto constante con este puede generar irritación en la piel y ojos, así como mareos o asfixia (Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water, 2022). El alcohol isopropílico es un líquido incoloro con un olor específico, es volátil. Esta categorizado como un compuesto inflamable e irritante. Provoca irritación en los ojos, nariz y garganta (Nationa Research Council, 1984). La glicerina es un líquido viscoso incoloro que es miscible con el etanol, no es tóxico y solamente genera efectos al ser puesto en contacto directo con los ojos, causando dolor y sensación de quemadura (Navarro, 2019).

I. Salud ocupacional

La salud ocupacional consiste en promover y mantener el bienestar físico, mental y social del personal. Esto se logra mediante un control de riesgos, prevención de desviaciones de salud y la adaptación al trabajo. Mantener la salud ocupacional en las empresas no solamente es de beneficio para los trabajadores, sino que también trae ventajas a la compañía. Esto es porque se aumenta la productividad y motivación del personal, lo que conlleva a una mejor calidad de productos (Organización Panamericana de la Salud, s.f.).

Los riesgos ocupacionales son las situaciones peligrosas que están relacionados a las actividades laborales que afectan la salud del trabajador. Estos pueden ser químicos, biológicos, ergonómicos, físicos, mecánicos, eléctricos, psicosociales e incendios o explosiones. Los riesgos químicos se refieren a la exposición de compuestos o preparaciones químicas, vapores o humos de solventes y gases volátiles, inhalación de partículas y polvo, inhalación, ingestión y adsorción de los diversos productos químico. Los riesgos biológicos consisten en la exposición de agentes patógenos, virus, hongos, parásitos, bacterias, picaduras de insectos, sangre u otros fluidos corporales (Occupational Safety and Health Administration, 2018).

Los riesgos mecánicos son atropellamientos, atrapamientos, caídas, contacto con altas temperaturas u objetos filosos y manipulación incorrecta de herramientas y equipos. Los riesgos eléctricos incluyen los choques eléctricos. Los riesgos psicosociales son los relacionados con estrés laboral, daños por terceros, agresiones y un entorno social negativo. Los riesgos físicos se refieren al calor, deficiencias de oxígeno, exceso de ruido, iluminación deficiente, vibraciones, radiaciones, exposición solar y temperaturas extremas. Los riesgos ergonómicos son definidos como los que

afectan la espalda, cuello, hombros y extremidades del trabajador, incluyen levantamiento de cargas pesadas, malas posturas prolongadas y acciones repetitivas (Grupo CTAIMA, 2023).

En Latinoamérica, el número de heridos y lesiones diarias es de treinta y seis, las cuales están relacionadas con accidentes ocupacionales. Algunas de las enfermedades por una mala salud ocupacional son dolor de espalda, pérdida de audición, enfermedades pulmonares e intoxicaciones. Además, 300 trabajadores fallecen por este tipo de incidentes. En algunos países, las lesiones y muertes ocupacionales representan del 2 al 14% de su PIB. Por esta razón, es importante velar por la salud ocupacional dentro de los lugares de trabajo. Esta involucra a los trabajadores y a los empresarios para que el lugar de trabajo se mantenga seguro y saludable (Organización Panamericana de la Salud, s.f.).

V. ANTECEDENTES

La industria cosmética es una actividad en donde la salud física y mental de los trabajadores se ven afectados. Esto ha fomentado la investigación respecto a la salud laboral en la industria. Entre estas se encuentra la realizada en 2021 por Liliana González de la universidad Autónoma Metropolitana, en esta se observó que los trabajadores se encontraban expuestos varios factores de riesgo como exposición prolongada a químicos, altas temperaturas, levantamiento manual constante y utilización de maquinarias y herramientas sin supervisión y control de trabajo. Esto también representó un ambiente laboral desfavorable.

Otra investigación se llevó a cabo el 2016 por Jesús Franco, Lucía Meléndez y otros donde analizaron la salud de una empresa de cosméticos, realizaron un estudio y evaluación integral del proceso de trabajo para identificar los riesgos y brindar recomendaciones de mejora. Se establecieron que los principales potenciales riesgos fueron el ruido, exposición de sustancias químicas, ventilación deficiente y calor.

July Jiménez, Edgar Duvan y Rafael Cortés realizaron un estudio para el sistema de gestión de seguridad y salud para una empresa cosmética en 2021. Identificaron que este negocio a pesar de tener un gran reconocimiento nacional cuenta con deficiencias en su gestión de Seguridad ocupacional lo cual la deja vulnerable a multas y sanciones. Al realizar encuestas uno de los mayores riesgos que identifican los trabajadores es el químico, lo cual se debe a que deben trabajar con diversas sustancias que pueden llegar a representar daños a su salud si no son utilizadas y manejadas adecuadamente.

En 2014 se realizó un estudio al sector cosmético por Sandra Fernández donde se realizó un análisis de una empresa para ver la solidez de esta, uno de los factores que influyó en esto fue que contaba con los sistemas para un funcionamiento de alta calidad, donde se incluye un sistema de ventilación y climatización adecuado.

VI. METODOLOGÍA

A. Fase de observación de campo

1. **Toma de mediciones del salón.** Se realizó una visita técnica al salón de envasado con el fin de establecer las dimensiones de largo, ancho y alto con el propósito de calcular el volumen de la sala. Para lo cual se utilizó una cinta métrica.
2. **Establecimiento de condiciones actuales de operación.**
 - a. Para conocer el consumo energético actual del salón de envasado se llevó un registro de la potencia de cada ventilador doméstico, motores de las bandas transportadoras, taponadoras y llenadoras, y lámparas. Además, se determinó la cantidad de tiempo que estos son utilizados con el fin de obtener los costos que se generan por estos.

Tabla 5.

Ejemplo de cuadro de registro de los equipos del salón de envasado

Cantidad	Descripción	Energía (W)	Horas usadas	Consumo energético diario (kW)	Consumo energético mensual (kW)	Costo (Q.)

Nota. Elaboración propia

- b. Para establecer si la iluminación del área en la actualidad era la requerida se realizó una suma de los lúmenes de las lámparas y esta se comparó con los lúmenes necesarios para el tipo de salón.
 - c. Para conocer la situación de la seguridad ocupacional actual se tomó en cuenta los efectos que una persona tiene al estar en el salón por un tiempo determinado para ver si hay alguna molestia durante ese periodo. Además, se realizó la matriz de criterios (Tabla 6) para la evaluación objetiva de estas. En la Tabla 7 se puede observar la matriz de criterios donde en el eje x está la probabilidad mientras que en el eje y se encuentra el impacto que tendrá, para obtener la matriz se deben multiplicar ambos ejes, entre mayor sea el número, mayor es el nivel de riesgo.

Tabla 6.*Ejemplo de matriz de riesgos de los trabajadores (seguridad ocupacional)*

Proceso	Sub - proceso	Descripción	Entradas	Salidas	Act. Laborales	Riesgos de salud		Calificación del riesgo				Medidas de control	Calificación del riesgo				Medida de mitigación
						Tipo	Riesgo	I	P	IxP	Nivel de riesgo		I	P	IxP	Nivel de riesgo	
						Químico											
						Biológico											
						Físico											

Nota. I: impacto, P: probabilidad. Elaboración propia

Tabla 7.*Ejemplo de matriz de criterios*

IMPACTO	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD						

Impacto		Criterios de calificación	
Muy severo	5	Fatalidad	
Severo	4	Necesita suspensión laboral	
Medio	3	Necesita hospitalización	
Bajo	2	Necesita primeros auxilios	
Muy bajo	1	Malestar	

Probabilidad / frecuencia		Criterios de calificación	
Más alta	5	Diariamente	
Alta	4	Semanalmente	
Media	3	Mensualmente	
Baja	2	Trimestralmente	
Muy baja	1	Semestralmente	

Nota. Esta tabla indica a que se refiere cada impacto o probabilidad. El impacto indica lo que sucede con el trabajador, muy severo indica fatalidad, severo indica suspensión laboral mayor de tres semanas, medio es para hospitalización de 1 día a 3 semanas, bajo es que solo se necesita una revisión en la clínica de la empresa y muy bajo es que no necesita ningún tipo de revisión médica. Elaboración propia.

B. Fase de diseño del sistema de ventilación de inyección y extracción de aire

- 1. Determinación del caudal necesario del sistema.** Para establecer el caudal de aire necesario se encontró los cambios de aire por hora para este tipo de cuarto. A continuación, se calculó el caudal de aire necesario utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Caudal de aire (CFM)} = \frac{V [ft^3] * ACH [h^{-1}]}{60 [\frac{min}{h}]}$$

(Oxycom, 2017).

Donde:

ACH son los cambios de aire por hora

CFM son pies cúbicos por minuto

V es el volumen del salón en pies cúbicos

- 2. Determinación del tipo de filtro a utilizar.** Con el fin de escoger el tipo de filtro a usar se definió el tamaño de partículas por filtrar, el MERV (eficiencia mínima) y la eficiencia de filtración (Nieto, 2012).
- 3. Selección del tipo de ventilador.** Existen dos tipos de ventilador: el axial y centrífugo. Por lo que la selección se hizo en función de las características del flujo de aire.
- 4. Cálculo del consumo energético y de los costos.** Se determinaron los requerimientos energéticos del sistema de ventilación, el costo del equipo y su instalación. Se hizo un cuadro como la Tabla 5 con los datos del sistema de ventilación propuesto.
- 5. Elaboración de matriz de riesgos laborales.** Se utilizó el formato dado en el Tabla 6.

C. Fase de elaboración del *layout* del sistema de inyección y extracción de aire propuesto

1. Determinación del tamaño de los ductos a instalar.

- A partir de las características del ventilador (caudal y área) se calculó la velocidad del aire dentro del ducto.

$$Q = AV$$

Donde:

Q es el caudal de aire en m³/s

A es el área transversal del ducto m²

V es la velocidad del aire m/s

- Con la ecuación anterior se determinó el área del ducto después del sistema de filtros.

- c. Se determinaron las pérdidas de fricción que existen en los ductos largos con accesorios mediante las ecuaciones de Geankoplis (1991):

$$Ff = 4f \frac{\Delta L}{De} * \frac{v^2}{2g_c}$$

Donde:

f es el factor de Fanning

L es el largo del ducto m

De es el diámetro equivalente: $\frac{2ab}{a+b}$

V es la velocidad m/s

$$hf = k_f \frac{v^2}{2g_c}$$

Donde:

K_f es la constante que depende del tipo de accesorio utilizado

- d. La velocidad luego de estos accesorios se calculó mediante la ecuación de Bernoulli encontrada en Geankoplis (1991):

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 + \rho * \sum F_f$$

Donde:

P es la presión Pa

ρ es la densidad del fluido

h es la altura m

ΣF_f es la sumatoria de las pérdidas por fricción

- e. Se determinó el caudal que pasa por ese ducto, con la corrección el área para que el caudal sea el deseado y se estableció el caudal real que pasa por el mismo.
- f. A partir de este paso, se calcularon los tramos del sistema de ductos utilizando la siguiente expresión:

$$\frac{Q_1}{A_1} = \frac{Q_2}{A_2}$$

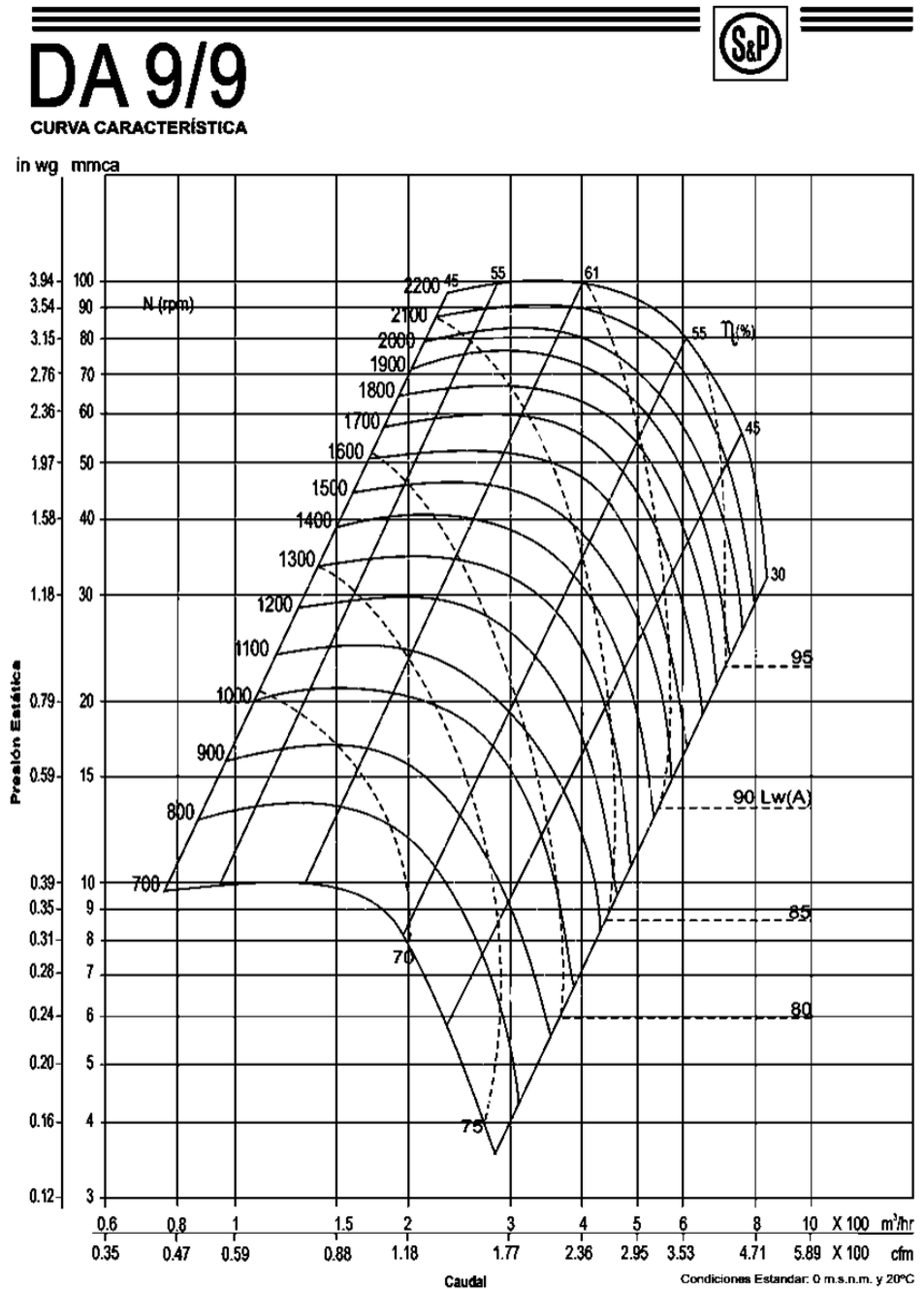
Donde:

Q es el caudal de aire en m³/s

A es el área transversal del ducto m²

- b. Se utilizó la curva característica del ventilador en la Figura 8 para encontrar la eficiencia, RPM y BHP:

Figura 8.
Curva característica de ventilador



Nota. Adaptado de Soler & Palau (2021)

3. **Posicionamiento de las rejillas y los difusores de aire.** Esto se hizo relacionando el largo del salón y el número de rejillas que se deseaban.

4. **Determinación de las posiciones de las líneas de producción.** Para esto se establecieron las dimensiones de cada espacio de trabajo con el fin de crear un espacio libre de riesgo de tropiezo o caída para velar la seguridad ocupacional de los trabajadores.
5. **Posicionamiento de lámparas LED.** Como ya se conocía la cantidad de lúmenes necesarios para este tipo de ambiente, se dividió este valor con los lúmenes de las lámparas seleccionadas.

D. Fase de realización de la matriz de preferencias

1. **Establecer los factores a evaluar.** Se creó una tabla con la lista de criterios como costo, salud y seguridad ocupacional, y cumplimiento con el reglamento.
2. **Determinación de la ponderación de cada criterio.** Se colocó la ponderación máxima de cada factor en base a su importancia.
3. **Calificación de factores.** Se calificaron los criterios de cada opción tomando en cuenta la ponderación máxima.
4. **Determinación de calificación final.** Para esto, primero, se multiplicó la calificación propuesta con la ponderación máxima. Luego, se sumó.
5. **Selección de la mejor opción.** Se escogió la opción que haya obtenido la mayor calificación en la matriz de la Tabla 9.

Tabla 9.

Ejemplo de la matriz de preferencias

Criterios	Ponderación	Opción 1	Opción 2
Ubicación	4	3	3
Seguridad	10	2	8
		32	92

Nota. Elaboración propia

E. Fase de realización del procedimiento estándar de operación

1. **Establecer los objetivos del procedimiento estándar de operación.** Se escogió la opción que haya obtenido la mayor calificación.
2. **Determinar las responsabilidades de las personas.** Se establecieron las responsabilidades principales a cumplir para este procedimiento estándar de operación.
3. **Redactar las generalidades del procedimiento.** Se realizó un glosario para introducir los temas a tratar en el procedimiento

4. **Enumerar el procedimiento detallado.** El sistema se realizó para que los operadores puedan encender y apagar el sistema. El operador de mantenimiento será el encargado de hacer las revisiones periódicas.

VII. RESULTADOS

En las siguientes tablas y figuras se muestra el diseño propuesto del sistema de extracción e inyección de aire de la planta de cosméticos. En las Tablas 10 y 11 se presenta el volumen del salón analizado, así como los caudales de aire esperados dentro de este.

Tabla 10.

Volumen del salón de envasado en metros cúbicos

Volumen	164.95	m³
----------------	---------------	----------------------

Nota. Elaboración propia.

Tabla 11.

Caudal de aire en el salón de envasado en metros cúbicos por hora y cambios de aire por hora

Proceso	Inyección	Extracción
Caudal (m ³ /s)	0.934	0.997
Cambios por hora	20.382	21.757

Nota. Elaboración propia.

Las dimensiones del sistema de ductos, sus tramos y los caudales del sistema de ventilación propuesto se presentan en las Tablas 12, 13, 15 y 16. Las caracterizaciones de los ventiladores de inyección y extracción se presentan en las Tablas 14 y 17. En la Tabla 18, está la caracterización del filtro a utilizar dentro del sistema de ventilación.

Tabla 12.

Dimensiones de sistema de ductos principales de inyección de aire

Tramo	Caudal (m ³ /s)	Caudal (CFM)	De (m)	De (in)	Ducto rectangular		Velocidad (m/s)
					a (in)	b (in)	
A-B	0.94	2000.00	0.28	11.02	11.91	10.25	11.99
B-C	0.94	2000.00	0.29	11.48	11.00	12.00	11.08
C-D	0.93	1978.78	0.31	12.12	8.00	25.00	7.24
D-F	0.70	1484.09	0.29	11.26	8.00	19.00	7.24
F-H	0.47	989.39	0.25	9.90	8.00	13.00	7.24
H-J	0.23	494.70	0.19	7.47	8.00	7.00	7.24

Nota. Ver el esquema de caudales de inyección en el apéndice (Figura. 20). Elaboración propia.

Tabla 13.*Dimensiones de tramos del sistema de ductos de inyección de aire*

Tramo	Caudal (m3/s)	Caudal (CFM)	De (m)	De (in)	Ducto rectangular		Velocidad (m/s)
					a (in)	b (in)	
D-E	0.23	494.70	0.17	6.86	8.00	6.00	7.24
F-G	0.23	494.70	0.17	6.86	8.00	6.00	7.24
H-I	0.23	494.70	0.17	6.86	8.00	6.00	7.24
J-K	0.23	494.70	0.17	6.86	8.00	6.00	7.24

Nota. Ver el esquema de caudales de inyección en el apéndice (Figura. 20)

Tabla 14.*Caracterización del ventilador para la inyección de aire*

Marca	Soler & Palau
Modelo	Da 9/9
Presión estática (mmh2o)	23.19
Eficiencia	44%
Rpm	1225
Bhp	0.66
Motor (hp)	1.00

Nota. Elaboración propia

Tabla 15.*Dimensiones de sistema de ductos principales de extracción de aire*

Tramo	Caudal (m3/s)	Caudal (CFM)	De (m)	De (in)	Ducto rectangular		Velocidad (m/s)
					a (in)	b (in)	
A-B	1.009	2138.00	0.28	11.02	11.91	10.25	12.81
B-C	1.009	2138.00	0.29	11.48	11.00	12.00	11.85
C-D	0.997	2112.27	0.32	12.41	9.00	20.00	8.58
D-F	0.748	1584.20	0.29	11.25	9.00	15.00	8.58
F-H	0.498	1056.14	0.24	9.47	9.00	10.00	8.58
H-J	0.249	528.07	0.16	6.43	9.00	5.00	8.58

Nota. Ver el esquema de caudales de extracción en el apéndice (Figura 21). Elaboración propia

Tabla 16.*Dimensiones de tramos del sistema de ductos de extracción de aire*

Tramo	Caudal (m3/s)	Caudal (CFM)	De (m)	De (in)	Ducto rectangular		Velocidad (m/s)
					a (in)	b (in)	
D-E	0.25	528.07	0.16	6.43	9.00	5.00	8.58
F-G	0.25	528.07	0.16	6.43	9.00	5.00	8.58
H-I	0.25	528.07	0.16	6.43	9.00	5.00	8.58
J-K	0.25	528.07	0.16	6.43	9.00	5.00	8.58

Nota. Ver el esquema de caudales de extracción en el apéndice (Figura 21). Elaboración propia

Tabla 17.*Caracterización del ventilador para la extracción de aire*

Marca	Soler & Palau
Modelo	Da 9/9
Presión estática (mmh₂o)	34.78
Eficiencia	48%
Rpm	1430
Bhp	0.86
Motor (hp)	1.00

Nota. Elaboración propia**Tabla 18.***Caracterización del sistema de Filtración*

Marca	Bacclean
Tipo	Bolsa
Modelo	BP9-A014
No. Bolsas	6
Clasificación	F9
Merv	15

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 19 se muestran las candelas y lúmens necesarios para el salón. En la Tabla 20 se presentan la cantidad de luces LED antiexplosivas para cumplir con los requisitos de iluminación del salón.

Tabla 19.

Requisitos de iluminación del salón

Candelas necesarias	30	foot candles
Área del salón	754	pies cuadráticos
Lúmens necesarios para el área	22620	lumens

Nota. Elaboración propia**Tabla 20.**

Información acerca de las lámparas LED antiexplosivas

Luminancia	4000	lm
Potencia	40	W
Cantidad	8	
Total	32000	lm

Nota. Elaboración propia

Las Figuras 9 y 10 muestran el tipo de ventilador centrífugo a utilizar en el sistema propuesto, así como las dimensiones de este. La Figura 11 presenta el filtro con las caracterizaciones previamente expuestas en la Tabla 18. Las lámparas LED antiexplosivas que se requieren para la iluminación del salón son las que están en la Figura 12.

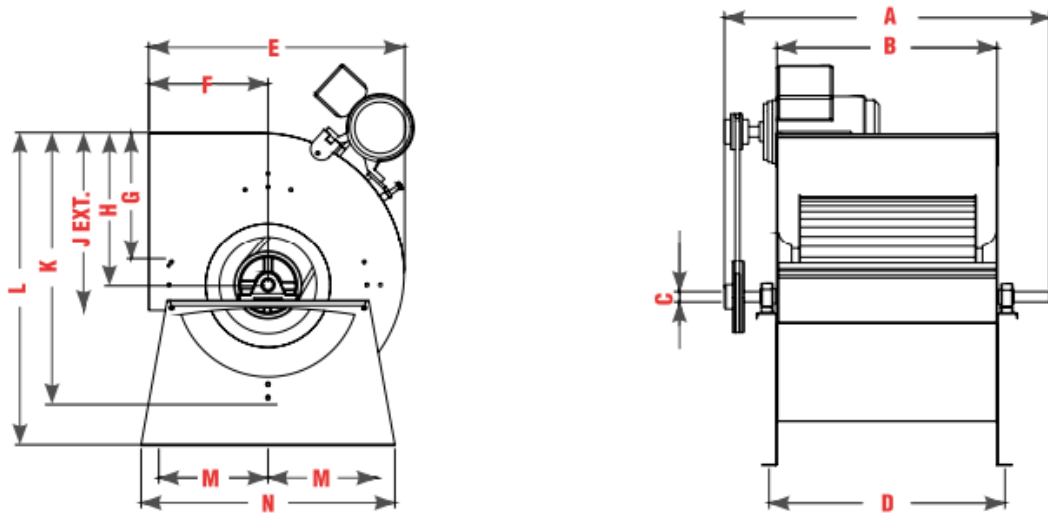
Figura 9.

Ventilador centrífugo de doble aspiración marca Soler & Palau



Figura 10.

Dimensiones del ventilador del sistema de inyección y extracción



Nota. Dimensiones del ventilador: A. 0.53 m, B. 0.30 m, C. 0.002 m, D. 0.334 m, E. 0.38 m, F. 0.184 m, G. 0.18 m, H. 0.218 m, J. 0.26 m, K. 0.392 m, L. 0.491 m, M. 0.15, N. 0.38

Figura 11.
Filtro de 6 bolsas marca Bacclean

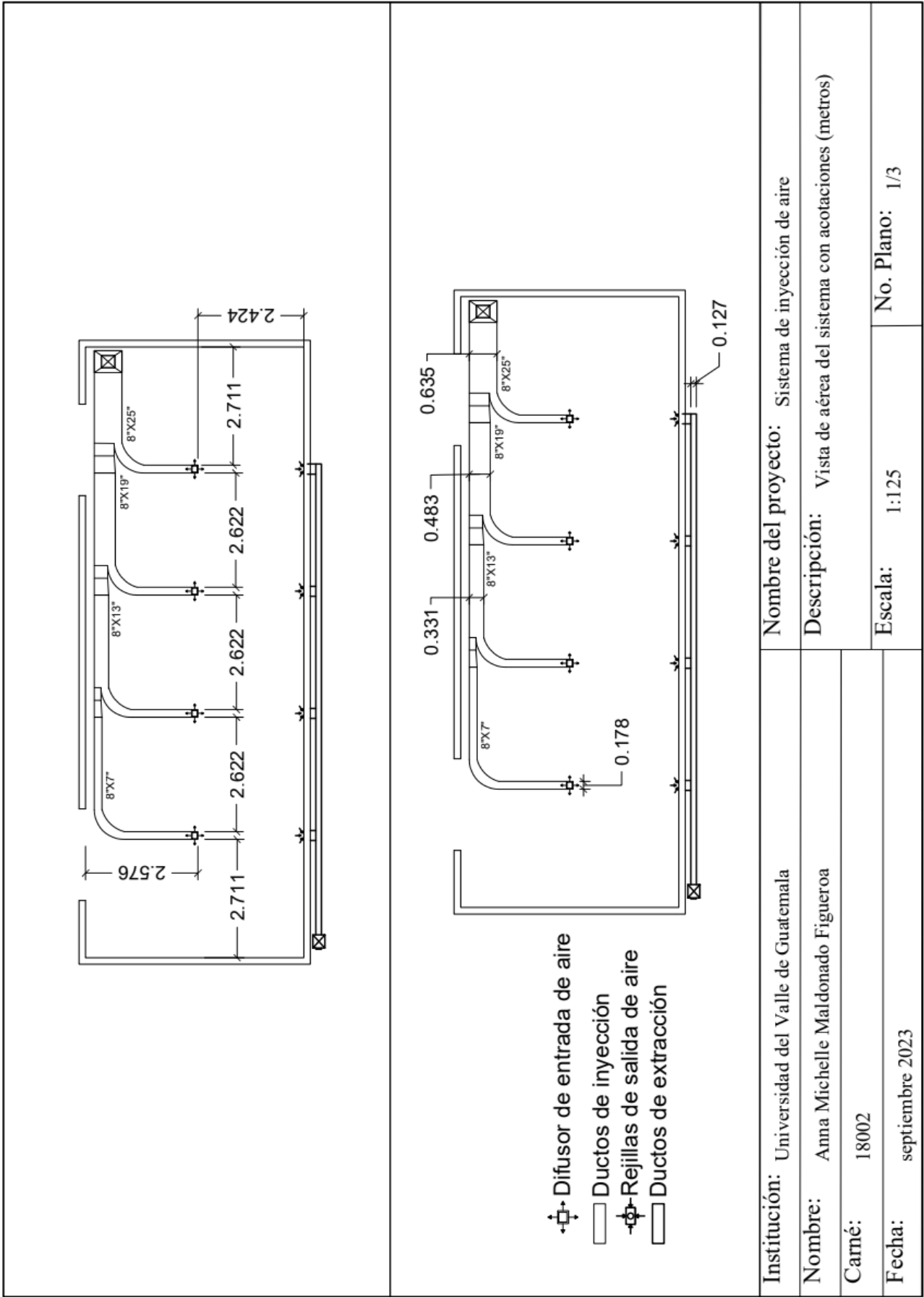


Figura 12.
Lámparas LED antiexplosión 4000 lm marca Sylvania



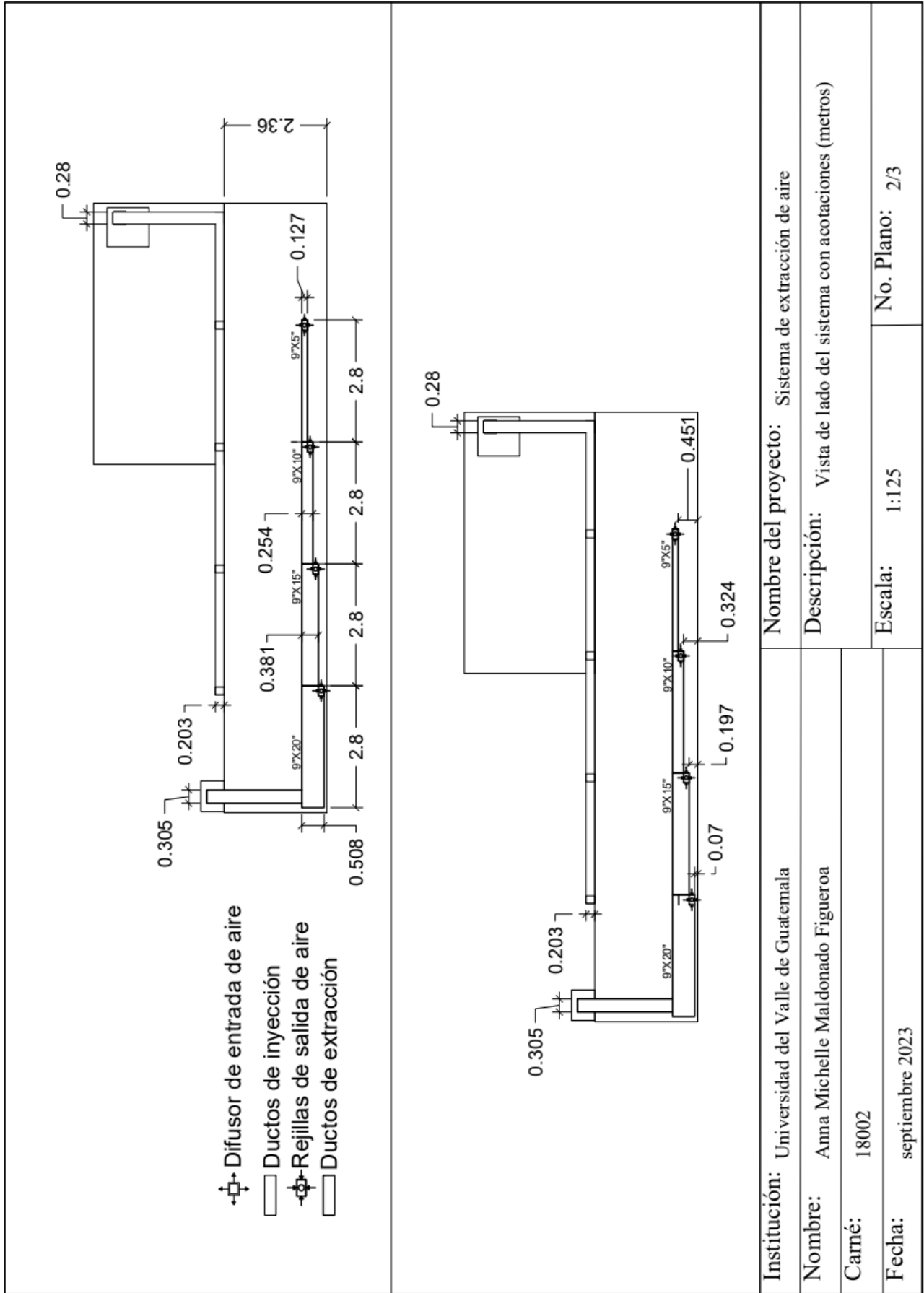
En las Figuras 13 a la 15 se presentan los *layouts* del sistema de ventilación recomendado, tanto de inyección como de extracción de aire. Asimismo, se muestra la distribución propuesta de las líneas de producción y de iluminación del salón.

Figura No. 13.
Layouts del sistema de inyección de aire



Institución:	Universidad del Valle de Guatemala	Nombre del proyecto:	Sistema de inyección de aire
Nombre:	Anna Michelle Maldonado Figueroa	Descripción:	Vista de aérea del sistema con acotaciones (metros)
Carné:	18002	Escala:	1:125
Fecha:	septiembre 2023	No. Plano:	1/3

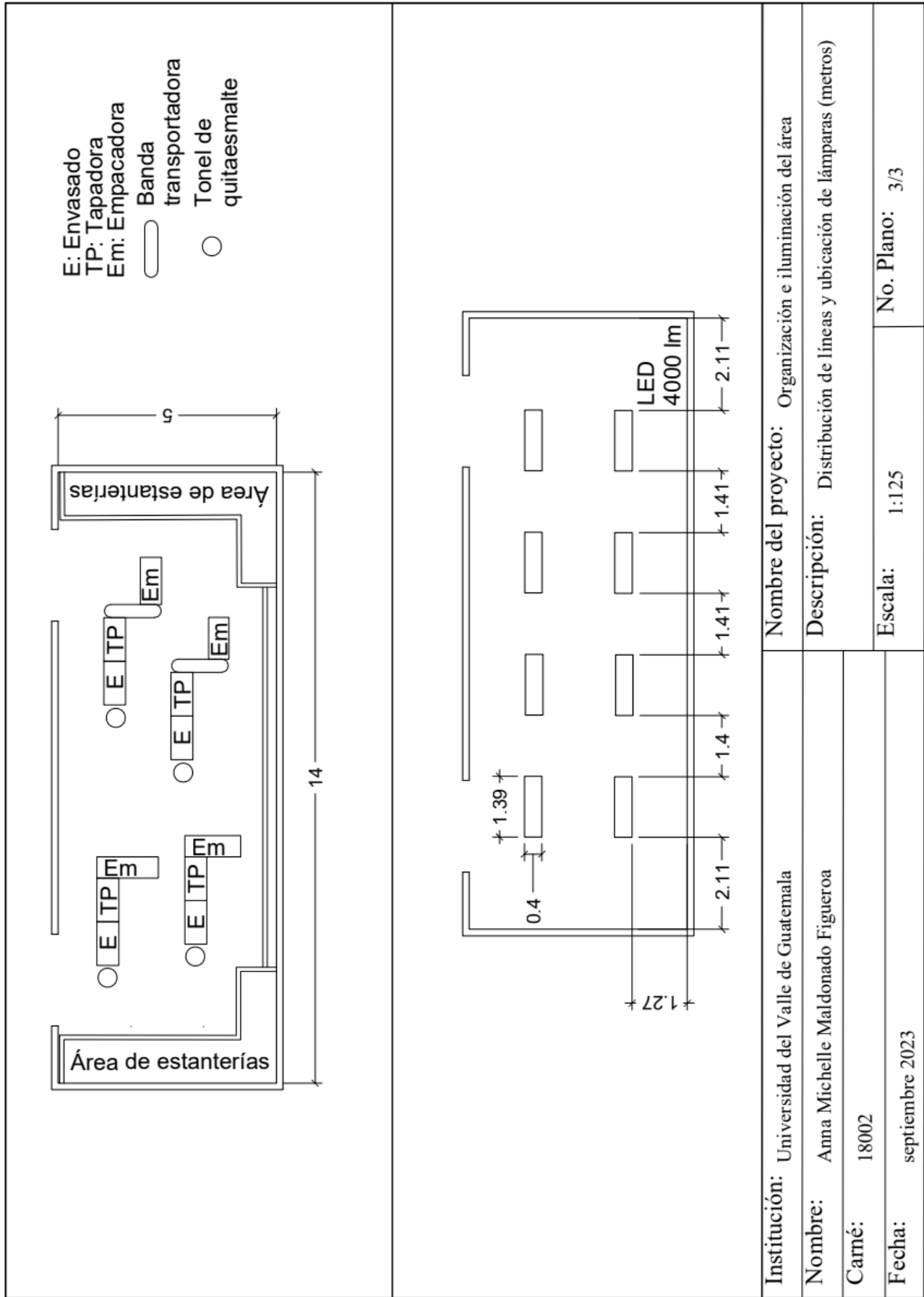
Figura No. 14.
Layouts del sistema de extracción de aire



Institución: Universidad del Valle de Guatemala	Nombre del proyecto: Sistema de extracción de aire	
Nombre: Anna Michelle Maldonado Figueroa	Descripción: Vista de lado del sistema con acotaciones (metros)	
Carné: 18002	Escala: 1:125	No. Plano: 2/3
Fecha: septiembre 2023		

Figura No. 15.

Layouts de la distribución de líneas e iluminación



La Tabla 21 presenta la matriz de preferencias realizada para comparar diversos criterios del sistema de ventilación actual con el propuesto para poder determinar la opción que trae mayor beneficio a la empresa cosmética.

Tabla 21.

Matriz de preferencia para la comparación de sistemas de ventilación

Criterios	Ponderación	Sistema actual	Sistema propuesto
Cumplimiento con RTCA	0.4	5	8
Salud ocupacional	0.25	3	9
Eficiencia de producción	0.15	7	8
Costo de operación	0.2	7	6
Total ponderado		5.2	7.85

Nota. Elaboración propia

Las Figuras 16 a la 18 exponen el procedimiento estándar de operación que se necesita para el sistema de inyección y extracción de aire propuesto. Este contiene el objetivo, algunas generalidades y el procedimiento que se debe seguir al momento de su implementación.

Figura 16.
Procedimiento estándar de operación pt. 1

Procedimiento estándar de operación 06 – 01 – 011	
Mantenimiento y prevención de errores en el sistema de ventilación del área de envasado de quitaesmalte	Fecha vigencia: 18/09/2023
	Sust. al de fecha: 30/03/2024
	Página 1 de 3

<p>1. Objetivo:</p> <p>1.1. Garantizar el cumplimiento del Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 71.03.49:08 para asegurar la producción de cosméticos seguros</p> <p>1.2. Operar de una forma segura el sistema de ventilación para minimizar riesgos a la seguridad y salud ocupacional.</p> <p>1.3. Proporcionar una guía para las capacitaciones de los operadores y personal de mantenimiento con el fin de que conozcan los procedimientos de ventilación.</p> <p>2. Responsabilidad:</p> <p>2.1. La responsabilidad de la supervisión del cumplimiento de este P.E.O. es del jefe de mantenimiento.</p> <p>2.2. La responsabilidad de cumplir con los procedimientos es del personal de mantenimiento bajo la supervisión del jefe de producción.</p> <p>3. Generalidades:</p> <p>3.1. Filtro bolsa: dispositivo que ayuda a la eliminación de partículas del aire. Es un saco fabricado con materiales filtrantes que atrapan las partículas, permitiendo que el aire lo atraviese.</p> <p>3.2. Ductos: son canales que sirven para el transporte del aire desde un punto de entrada hasta su extracción.</p> <p>3.3. Presión negativa: se usa para que el aire fluya del exterior hacia el interior, de esa forma se evita que el aire contaminado se propague a otras áreas.</p> <p>3.4. Presión positiva: en este caso el aire fluye del interior hacia el exterior, esto evita que el aire que esta contaminado del exterior entre en el área determinada.</p> <p>3.5. Balómetro: es un instrumento que sirve para la medición confiable del flujo de aire.</p> <p>3.6. El sistema extrae el aire 0.99 m3/s e inyecta a 0.93 m3/s.</p> <p>4. Procedimiento:</p> <p>4.1. Antes de empezar se debe asegurar que el sistema esté instalado de forma segura, todas sus piezas fijas y en su lugar.</p> <p>4.2. Revisar que ningún material, equipo o mueble bloquee las rejillas de extracción del aire.</p> <p>4.3. Verificar que no existan fugas en los ductos de transporte de aire.</p> <p>4.4. Asegurarse que las piezas eléctricas estén posicionadas correctamente y que los sistemas de seguridad funcionen.</p> <p>4.5. Observar si las aspas de los ventiladores se encuentran libre de obstáculo. Recuerde que este llega a altas velocidades así que precaución con sus extremidades.</p> <p>4.6. Revisar que los ventiladores estén funcionando en la dirección que se necesita.</p> <p>4.7. Verificar los sensores de temperatura y presión para ver si están calibrados y si no es así, notificar y pedir que los proveedores le den mantenimiento.</p> <p>4.8. Encender el sistema de inyección y extracción</p>

F. Preparó	F. Revisó		F. Aprobó	Versión
Michelle Maldonado	Ing. Gte. Control de Calidad	Ing. Gerente. Fabricación	Lic. Gerente General	1.22

Figura 17.
Procedimiento estándar de operación pt. 2

Procedimiento estándar de operación 06 – 01 – 011	
Mantenimiento y prevención de errores en el sistema de ventilación del área de envasado de quitaesmalte	Fecha vigencia: 18/09/2023
	Sust. al de fecha: 30/03/2024
	Página 2 de 3

4.9. Verificar que los ventiladores estén funcionando y revisar que el flujo de aire sea el adecuado. Esto se puede realizar con la ayuda de un balómetro.

4.10. Comprobar que la temperatura, humedad y presión sean las esperadas.

4.11. Anote cualquier valor que salga de los parámetros y calibrar el instrumento para que el funcionamiento del sistema sea el óptimo

4.12. Cuando el diferencial de presión sobrepase el límite brindado por el proveedor, el filtro se debe cambiar. Este se debe cambiar cada 6 meses para que el funcionamiento de este sea el deseado.

4.13. Completar la documentación con los datos obtenidos de las pruebas de funcionamiento para que quede el registro de pruebas, ajustes y problemas detectados.

4.13.1. Ejemplo de documentación

Fecha: _____
 Realizado por: _____

Componente	Limpieza	Calibración	Observaciones	Resolución
Ductos				
Filtros de aire				
Ventiladores				
Motores				
Sensores de temperatura				
Sensores de presión				
Salida del aire				

Medición	Valor	Dentro de los límites	Observaciones	Resolución
Temperatura				
Presión				
Diferencial de presión				
Flujo de aire				
Potencia del motor				

Componente	Fecha de mantenimiento	Próximo mantenimiento
Ductos		
Filtros de aire		
Ventiladores		
Motores		
Sensores de temperatura		
Sensores de presión		
Balómetro		

Revisado por: _____
 Firma: _____

F. Preparó	F. Revisó		F. Aprobó	Versión
Michelle Maldonado	Ing. Gte. Control de Calidad	Ing. Gerente. Fabricación	Lic. Gerente General	1.22

Figura 18.
Procedimiento estándar de operación pt. 3

	Procedimiento estándar de operación 06 – 01 – 011	
	Mantenimiento y prevención de errores en el sistema de ventilación del área de envasado de quitaesmalte	Fecha vigencia: 18/09/2023
		Sust. al de fecha: 30/03/2024
		Página 3 de 3

4.14. Realizar una revisión del sistema mensualmente por el operador de mantenimiento para asegurar su funcionamiento óptimo

Anexo 1. Revisiones del P.E.O.

Fecha de Vencimiento	Firma Revisó		Firma Aprobó

F. Preparó	F. Revisó		F. Aprobó	Versión
Michelle Maldonado	Ing. Gte. Control de Calidad	Ing. Gerente. Fabricación	Lic. Gerente General	1.22

VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al realizar la observación de campo, se identificó que no se estaba cumpliendo con el Reglamento Técnico Centroamericano, ya que el salón de envasado de quitaesmalte no cuenta con un sistema de inyección y extracción de aire para el tipo de actividad realizada. Además, los trabajadores no tienen ningún tipo de equipo de protección personal. Esto trae como consecuencia que la salud ocupacional se vea afectada. En las Tablas 28-30, se enumeran los principales riesgos bajo las condiciones actuales de ventilación.

Los efectos del riesgo químico fueron dolor de cabeza ligero, un ardor constante en la garganta y nariz, y ardor y enrojecimiento en los ojos. Estos se presentaron luego de estar en el salón por un periodo de 20 minutos. Por el movimiento que se le da a los toneles y envases del quitaesmalte, la concentración de los vapores irritables e inflamables es de 553 ppm. El riesgo mecánico se puede presentar por el desorden y falta de organización de las estanterías donde se guardan las cajas y empaques, incluso hay una estantería colocada frente a una puerta, lo cual puede causar una caída en un sismo. Ahora bien, el riesgo físico se debe a la falta de iluminación del cuarto de envasado, los lúmenes deberían ser de 21000 a 52500 (300-750 luxes); no obstante, el salón solo cuenta con 16800 lúmenes (Arquitectos de Cádiz, 2017; Asanza, 2013).

Al medir el salón se determinó que el volumen total es de 164.945 m^3 (5825 pies^3) (ver Tabla 10 y Tabla 22 en ANEXOS). Este valor sirvió para establecer el caudal de aire requerido. Los cambios teóricos de aire por hora necesarios para este tipo de salón son 20 h^{-1} (Oxycom, 2017). De esta forma se calculó que el caudal de aire mínimo debe ser de $3299.48 \text{ m}^3/\text{h}$ (1942 CFM). El caudal de extracción debe ser mayor al de suministro por el riesgo de inhalación de los productos químicos, como acetona y acetato de etilo.

Al contactar al proveedor, este recomendó que se usara un ventilador de doble aspiración (modelo DA 9/9) de la marca Soler & Palau (ver Figura 9) por el caudal deseado y los cambios por hora necesarios. El caudal inicial de inyección fue de $3398.02 \text{ m}^3/\text{h}$ (2000 CFM). Además, se escogió un ventilador centrífugo de doble aspiración porque tiene un consumo bajo de energía y su nivel sonoro es mínimo, por lo que funciona en el ambiente estudiado (Nakomsa, s.f.).

En la Tabla 11 se encuentran los caudales reales de aire de inyección y extracción luego de tomar en cuenta los diferenciales de presión, pérdidas de fricción (10.05 J/kg para la inyección y 10.98 J/kg para la extracción) y dimensiones de los ductos (ver cálculos 1-6 en ANEXOS). Asimismo, el hecho que los cambios de aire por hora para el suministro sean menores que para la extracción hace que se tenga un sistema con presión negativa. Esto ayuda a crear un ambiente controlado minimizando la salida de los vapores a salones exteriores. Para estos cálculos se utilizó la ecuación de Bernoulli. Esto fue posible debido a que al realizar una comparación entre el número de Mach y la relación de presiones del

fluido se determinó que no existiría una variación significativa entre usar la expresión de Bernoulli y la expresión para fluidos compresibles isotérmicos (Tabla 1).

Se obtuvo que el caudal de inyección debe ser de $0.934 \text{ m}^3/\text{s}$ y cada difusor debe inyectar $0.23 \text{ m}^3/\text{s}$ (494.70 CFM). Con estos caudales, los cambios reales de hora en el salón son de 20.38 h^{-1} . Asimismo, se determinó que el caudal de extracción tiene que ser de $0.997 \text{ m}^3/\text{s}$, cada rejilla extraerá $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ (528.07 CFM), lo cual indica que los cambios reales por hora son de 21.75 h^{-1} (Tablas 11-13 y Tablas 15-16) Se tendrán 4 difusores y 4 rejillas con el mismo caudal para tener una mejor distribución de aire. Las velocidades fueron variando para obtener un mejor barrido de aire dentro del área designada.

Los diferenciales de presión se dieron principalmente por el paso del fluido por el filtro. En la Tabla 18, están las características del filtro a utilizar. Este es el filtro de bolsa por la eficiencia de inyección requerido por la industria cosmética (Figura 11). Se escogió un MERV 15, ya que el tamaño de partícula que se quiere filtrar es de 0.3 a $1 \text{ }\mu\text{m}$ (Mechanical Repts, Inc., 2013).

En las Tablas 14 y 17 se dan las características de los dos ventiladores que se necesitan para el suministro y retorno del aire. Además, en la figura 10 se pueden observar las dimensiones del ventilador para ambos procesos (inyección y extracción). Estos fueron escogidos al comparar los caudales necesarios con las tablas características del ventilador en específico. Debido a que los datos de las tablas y curvas características se encuentran a condiciones estándar se utilizó un factor de corrección para la presión estática, para los BHP y para el cálculo de la potencia del motor (Figura 23). Se determinó que el motor para ambos ventiladores sería de un caballo de fuerza puesto que si se llegase a aumentar el envasado del quitaesmalte es posible incrementar los caudales de inyección y extracción del salón para continuar con los cambios de aire por hora mínimos.

En las Figura 13 y 14 se observa el sistema de ventilación propuesto, donde se tendrá la inyección en el techo del salón, mientras que la extracción estará en la pared. Esto es para que el barrido del aire del salón sea más eficiente para la eliminación de vapores del ambiente. Otro punto importante es que a partir de los tramos principales de los ductos se comienzan a hacer derivaciones para transportar el aire a los difusores y extractores. El aire podrá movilizarse en cada una de estas debido a la ley de continuidad para el flujo de fluidos. Cada tramo secundario es del mismo tamaño para poder tener una uniformidad en la extracción e inyección de aire. Para la inyección los tramos secundarios son de 8×6 pulgadas mientras que para la extracción son de 9×5 pulgadas. Además, el tener 4 rejillas de extracción y 4 difusores ayuda a evitar zonas muertas dentro del salón, sirve para tener mantener un ambiente confortable para las personas y facilita la renovación del aire eliminando los contaminantes. Dentro del salón se tendrán dos termohigrómetros con su hoja de registro para que de esa forma se tenga un control y se pueda verificar que el sistema de ventilación esté funcionando como se desea.

En la Figura 15 se encuentra la distribución de las cuatro líneas de producción con sus respectivas estanterías. Esto se realizó debido a lo antes expuesto, a la falta de organización y falta de espacio dentro

del área determinada (Tablas 28-30). La nueva distribución permite facilidad de movimiento, determina un lugar para los toneles de quitaesmalte, así como las cajas y tapas para el producto final, permite el uso de un carrito para transportar los toneles de quitaesmalte sin ningún obstáculo. Asimismo, se establecen dos tipos de áreas, a los lados del salón se encuentra un sitio delimitado para las estanterías con el fin de que todos los empaques e insumos para el producto final se coloquen ahí, mientras que también hay un área marcada al fondo del sitio de envasado con el propósito de que se mantenga libre sin ningún tipo de estorbo.

En la Figura 15 también se observa la distribución de las lámparas para cumplir con los requerimientos de luminancia. Al tener 8 lámparas LED de 4000 lúmenes (Figura 12), se tendrán 32000 lúmenes total, esto cumple con lo expuesto en la Tabla 19 debido a que los necesarios para este salón por su área son 22620 lúmenes. Se colocaron las lámparas dejando 1.41 m entre cada lámpara debido a que de esta forma se tendría un ambiente con una iluminación uniforme por la curva de distribución de luz de esta. Las distancias entre la lámpara y la pared son de 2.11 m puesto que en esa área se colocarán las estanterías por lo que de esta manera se aprovecha la luminancia de estas. Además, para la distribución de la iluminación se tomaron en cuenta los difusores para no obstaculizar la inyección de aire de ninguna forma.

En la Tabla 21 se encuentra la matriz de preferencias para la comparación de los sistemas de ventilación, se compararon varios criterios, como el cumplimiento con el Reglamento Técnico de Centroamérica, la salud ocupacional, la eficiencia de producción y el costo de operación. Las ponderaciones para cada criterio fueron establecidas luego de llegar a un consenso técnico en la planta cosmética establecida. Se decidió una ponderación del 40% para el cumplimiento del Reglamento Centroamericano debido a que sin esto la empresa puede verse en riesgo de no obtener su licencia sanitaria, lo cual provocaría que saliera del mercado. La salud ocupacional cuenta con una ponderación del 25% ya que de esta manera se prioriza la seguridad y bienestar de los que desarrollan un papel fundamental en la organización, además, al tener personal saludable se obtiene un mejor rendimiento y a una mayor motivación para desempeñar sus roles. El costo de operación cuenta con un 20% de ponderación puesto que es un criterio importante ya que es esencial que esta parte de la producción sea rentable y no cause pérdidas innecesarias.

El sistema actual cuenta con un puntaje de 5 de acuerdo con el cumplimiento con el RTCA porque no se tiene un sistema de ventilación de inyección y extracción de aire en el salón de envasado y tampoco se tienen los equipos de protección personal para el tipo de trabajo que se realiza. Tiene un 3 en salud ocupacional porque al no tener un buen sistema de ventilación los vapores (553 ppm) y partículas del quitaesmalte están en constante contacto con el personal. Se tiene un 7 en eficiencia de producción y en el costo de operación puesto que no se tiene ningún inconveniente con estos dos criterios, pero siempre existe un espacio para la mejora.

El sistema propuesto cuenta con un 8 en el criterio de cumplimiento con el RTCA debido a que se estaría realizando un sistema apropiado de ventilación con sus respectivos controles y se estaría brindando los equipos de protección personal a los operadores. Sin embargo, esto no abarca todo lo que indica el reglamento por lo que existe una oportunidad para nuevas propuestas enfocadas en otras áreas de este. La salud ocupacional tiene un puntaje de 9 porque al ya contar con la ventilación adecuada el riesgo químico disminuye, al brindar un equipo de protección personal como lo son las mascarillas KN, guantes y lentes, tendrán más seguridad para tratar con el quitaesmalte. Además, para el sistema propuesto también se darán capacitaciones constantes que enfatizen la importancia del uso de los equipos de protección personal y mantener todo organizado dentro del área de trabajo para no ocasionar ningún siniestro que afecte su salud.

El sistema propuesto ayudará a cumplir con el reglamento, minimizar riesgos de salud ocupacional y debido a esto la eficiencia de la producción podría aumentar. La única desventaja que presenta el sistema propuesto es el aumento en el costo de operación por el consumo energético de ambos ventiladores, por lo cual en ese criterio se tiene un 6, la diferencia con el puntaje actual no presenta diferencia debido a que en cuanto a costos la variación no es significativa. Al realizar la ponderación el sistema propuesto obtuvo un mayor puntaje por lo que la implementación de este podría ser beneficioso para la empresa de cosméticos debido a los aspectos previamente mencionados.

El procedimiento estándar de operación se encuentra en las figuras 16-18. El título del documento es el Mantenimiento y prevención de errores del sistema de ventilación del área de envasado de quitaesmalte. El documento cuenta con tres objetivos, los cuales se enfocan principalmente en el cumplimiento con el RTCA, la operación segura del sistema y las capacitaciones para el personal acerca del sistema. Este Procedimiento Estándar de Operación muestra los pasos para darle un mantenimiento al sistema de ventilación propuesto. Se determinó que los principales responsables de este P.E.O. son los encargados de mantenimiento, ellos serán los encargados de hacer las revisiones detalladas del equipo periódicamente. Mientras que los operarios solamente lo encenderán y apagarán ya que de esa forma se estructuró el sistema. Es fundamental que se tengan las firmas de revisado y aprobado de cada documento, así como la fecha de vencimiento del P.E.O. Si se realizan los mantenimientos y las revisiones constantes como lo indica el documento, el sistema de ventilación podrá tener una vida útil mayor.

IX. CONCLUSIONES

1. El caudal de aire de inyección del sistema de ventilación propuesto es de 0.93 m³/s y el de extracción de 0.99 m³/s, lo que cumple con los cambios por hora recomendados y la presión negativa para un salón de envasado cosméticos de quitaesmalte de uñas. Además, como el tamaño de partícula varía entre 0.3 y 1 µm, se utilizó un filtro de 6 bolsas de clasificación F9 y MERV 15, cumpliendo con la recomendación para una industria cosmética que debe tener una eficiencia del 85-95%.
2. Los ventiladores para el suministro y retorno de aire son de marca Soler & Palau, con motores con potencia de 1 caballo de fuerza (hp). Para la extracción, se utilizó uno de 1430 revoluciones por minuto con una eficiencia de 48%; en la inyección se empleará uno de 1225 revoluciones por minuto con una eficiencia del 44%. Se colocó el sistema de ductos de inyección en el techo del salón y el de extracción en la parte inferior del salón, para que se tenga un barrido adecuado de vapores dentro del mismo. En ambos casos se recomiendan 4 difusores y 4 rejillas para distribuir el aire de una manera uniforme durante todo el proceso.
3. Como se evidencia en la matriz de preferencias, el sistema propuesto presentará beneficios para la empresa cosmética debido a que cumple con el Reglamento Técnico Centroamericano. Esto minimiza los riesgos de salud ocupacional al tener un sistema de ventilación efectivo, un sistema de iluminación adecuado y líneas de operación eficientes, contribuyendo a un aumento en la productividad del proceso de envasado.
4. En el procedimiento estándar de operación, se establecen que las personas responsables de la manipulación del sistema tienen que ser las del área de mantenimiento de la empresa. Esto es debido a que tienen el conocimiento técnico operativo para el uso adecuado del sistema, lo que contribuye a que se alargue la vida útil del mismo.

X. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la implementación del sistema de inyección y extracción propuesto, manteniendo una constante revisión y calibración para asegurarse que los cambios por hora mínimos ($19-20 \text{ h}^{-1}$) sean constantes, garantizando una reducción o mitigación del riesgo químico de seguridad y salud ocupacional.
2. Se recomienda el diseño de dosificadores de tapas para eliminar las bolsas actuales que producen un efecto desordenado para mitigar el riesgo psicosocial.
3. Se recomienda la instalación de un cielo falso con el fin de eliminar el polvo y cualquier contaminante que se encuentre en las láminas, ya que, al momento de colocar un sistema de ventilación, estas partículas se liberarán al ambiente de envasado.
4. Se recomienda revisar que las conexiones eléctricas cuenten con tierra para que el usuario se encuentre protegido de descargas eléctricas y que el sistema tenga estabilidad.
5. Se recomienda mejorar la instalación eléctrica para la maquinaria del sistema de envasado (llenadoras, tapadoras, motores de bandas) con el fin de mitigar el peligro a un choque eléctrico.
6. Se recomienda establecer un plan para el desecho de los filtros del sistema de ventilación, como tener una opción de limpiarlo para volver a utilizarlo, o bien, contratar a un tercero la eliminación correcta de este tipo de material.
7. Se recomienda mantener en archivado cada documentación del procedimiento estándar de operación de mantenimientos y de revisiones con el fin de conocer las deficiencias del sistema para reforzarlas en el futuro.

XI. REFERENCIAS

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades . (mayo de 1994). Resumen de salud pública acetona. Estados Unidos. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs21.pdf

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (29 de octubre de 2021). *Acetona (Acetone)*. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades <https://rb.gy/ltu6oj>

American Chemical Society . (11 de marzo de 2019). *Ethyl acetate*. Chemistry for life <https://www.acs.org/molecule-of-the-week/archive/e/ethyl-acetate.html>

Arrow Electronics. (30 de septiembre de 2021). *Sensores para aplicaciones y soluciones de HVAC*. <https://rb.gy/ctbke8>

Bernstein, M. (1988). *Estados Unidos Patente n° 4735798*.

Brampton Small Business Enterprise Centre. (s.f.). *What is a Standard Operating Procedure (SOP)? Start Strengthen Succeed* <https://rb.gy/v6jfd2>

Canadian Centre for Occupational Health and Safety. (01 de mayo de 2023). *Canadian Centre for Occupational Health and Safety*. <https://www.ccohs.ca/oshanswers/prevention/ventilation/introduction.pdf>

Canadian Centre for Occupational Health and Safety. (21 de junio de 2023). *Industrial Ventilation*. Canadian Centre for Occupational Health and Safety <https://www.ccohs.ca/oshanswers/prevention/ventilation/ducts.html>

Corzo, M. (2019). *Acerca de nosotros*. AGEXPORT Guatemala <https://export.com.gt/publico/comision-de-cosmeticos>

Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water. (30 de junio de 2022). *Ethanol (Ethyl alcohol)*. Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water <https://rb.gy/ro3ljo>

Editores Cosmetic LATAM. (13 de julio de 2021). *¿Cuáles son los procesos de fabricación de los cosméticos?* Cosmetic LATAM: Portal de noticias sobre la Industria cosmética <https://www.cosmeticalatam.com/index.php/2021/07/13/cuales-son-los-procesos-de-fabricacion-de-los-cosmeticos/>

El Economista. (19 de diciembre de 2017). *La industria cosmética guatemalteca se ha posicionado en 11 mercados latinoamericanos*. Perspectiva: <https://rb.gy/t5c47n>

Emmerling Weyl. (2022). *Clases de filtros según EN 779 y EN 1822*. Filtertechnik <https://www.emw.de/es/filtros-campus/filter-classes.html>

Energy Trust of Oregon. (julio de 2013). *FOOTCANDLE LIGHT GUIDE*. https://www.lightingdesignlab.com/sites/default/files/pdf/Footcandle_Lighting%20Guide_Rev.072013.pdf

Environmental Protection Agency. (13 de marzo de 2023). *What is a MERV rating?* United States Environmental Protection Agency <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/what-merv-rating>

Fernández, S. (2014). Estudio del Sector Cosmético. Caso de empresa y oportunidades comerciales en Latinoamérica. Córdoba: Universidad de Córdoba.

Franco, J., Meléndez, L., Valdovinos, N., Gómez, M., & Gaona, E. (diciembre de 2016). Análisis de la salud en el trabajo en una empresa de cosméticos en México. *Salud de los trabajadores*, 24(2), 105-119. <http://ve.scielo.org/pdf/st/v24n2/art05.pdf>

Geankoplis, C. (1991). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. México, D.F.: CECSA.

González, L. (julio de 2021). Salud laboral en una fábrica de productos cosméticos. *Estado de México 2019*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Grupo CTAIMA. (09 de febrero de 2023). *¿Cuáles son los 7 tipos de riesgos laborales (con ejemplos)?* <https://www.ctaima.com/blog/cuales-son-los-7-tipos-de-riesgos-laborales-con-ejemplos/>

Helmenstine, A. (04 de abril de 2022). *The chemical composition of air*. Thought Co <https://www.thoughtco.com/chemical-composition-of-air-604288>

International Society for Pharmaceutical Engineering. (2021). *What is GMP?* International Society for Pharmaceutical Engineering <https://ispe.org/initiatives/regulatory-resources/gmp/what-is-gmp>

Jiménez, J., Duvan, E., & Cortés, R. (2021). Diseño del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo para la Empresa Cosmética S.A.S. Bogotá, Colombia: Universidad ECCI. <http://rb.gy/jsczh9>

Light-tec. (s.f.). *Lámpara contra polvo y humedad 36W*. <http://www.light-tec.com.gt/wp-content/uploads/2023/01/FICHA-TECNICA-LAMPARA-CONTRA-POLVO-Y-HUMEDAD-36w-1.pdf>

Macrofilter. (10 de febrero de 2023). *Guía completa para elegir un filtro de aire*. <https://filtrosindustrialesmacrofilter.com/la-mejor-manera-de-elegir-un-filtro-de-aire-guia-completa/>

Mechanical Electrical and Plumbing Academy. (02 de octubre de 2020). *Rectangular Ducts and Fittings*. <https://mepacademy.com/rectangular-ducts-and-fittings/>

Ministerio de Economía; et al. (2008). *Productos cosméticos. Buenas prácticas de manufactura para los laboratorios fabricantes de productos cosméticos*. Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 71.03.49:08

https://www.mineco.gob.gt/sites/default/files/buenas_practicas_de_manufacturaras_cosmeticos.pdf

National Research Council. (1984). Emergency and Continuous Exposure Limits for Selected Airborne Contaminants. *National Academies Press*, 2. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK208299/>

Navarro, R. (23 de diciembre de 2019). *Glicerina*. Mi Farma <https://www.atida.com/es-es/blog/diccionario-farmacia/que-es-la-glicerina-para-que-sirve/>

Occupational Safety and Health Administration. (noviembre de 2018). *Occupational Hazards*. https://www.osha.gov/sites/default/files/2018-11/fy10_sh-20839-10_circle_chart.pdf

Organización Panamericana de la Salud. (s.f.). *Salud de los Trabajadores: Recursos - Preguntas Frecuentes*. Organización Panamericana de la Salud https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=1527:workers-health-resources&Itemid=1349&limitstart=2&lang=es

Orozco, M. (1998). *Operaciones unitarias*. México: LIMUSA.

Real Academia Española. (s.f.). *Lama*. Real Academia Española <https://dle.rae.es/lama>

Real Academia Española. (s.f.). *Quitaesmalte*. Real Academia Española <https://dle.rae.es/quitaesmalte>

Siber Ventilación. (2016a). *Contaminantes que generan aire viciado y cómo eliminarlos*. <http://rb.gy/rtwuwy>

Siber Ventilación. (2016b). *Ventilación en el lugar de trabajo: seguridad y productividad*. Siber: Ventilación inteligente <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/ventilacion-trabajo/>

Soler & Palau. (22 de marzo de 2017). *Fórmula para calcular el caudal (con y sin normativa)*. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/formula-caudal/#:~:text=Se%20puede%20definir%20el%20caudal,la%20ventilaci%C3%B3n%20es%20el%20aire.>

Soler & Palau. (02 de enero de 2017). *Rejilla ventilación: el elemento clave para una distribución adecuada*. <http://rb.gy/sao0bv>

Soler & Palau. (05 de abril de 2017). *Ventiladores axiales: qué son, características y prestaciones*. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/ventiladores-axiales-que-son/>

Soler & Palau. (21 de abril de 2017). *Ventiladores centrífugos: tipos y características*. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/ventiladores-centrifugos/>

Soler & Palau. (29 de julio de 2019). *Tipos de rejillas de ventilación*. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/tipos-rejillas-ventilacion/>

Soler & Palau. (22 de julio de 2022). *Automatización de los Sistemas de Ventilación Industrial*. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/automatizacion-de-los-sistemas-de-ventilacion-industrial/>

Soler & Palau. (s.f.). *Capítulo 6. ¿Qué es un ventilador? Características y clasificación*. <https://www.solerpalau.mx/ASW/recursos/mven/Capitulo%206%20Manual%20de%20Ventilacion.pdf>

Soler & Palau Ventilation Group. (marzo de 2021). *DA-DAT. Ventiladores Centrífugos* <https://www.solerpalau.mx/ASW/recursos/prod/catalogo%20da%20dat2021.pdf>

Soler&Palau. (2022). *Difusión del aire*. <https://www.solerpalau.com/es-es/hojas-tecnicas-difusion-del-aire/>

Soluciones MCAT . (2021). *Inyección y extracción de aire*. <https://mcat.com.mx/inyeccion-y-extraccion-de-aire-industrial/>

Soluciones MCAT. (2020). *Ventilación Industrial | Especialistas en la Calidad del Aire*. MCAT <https://mcat.com.mx/ventilacion-industrial/>

Sortino, R. (2001). Radiación y distribución de planta (Layout) como gestión empresarial. *Invenio*, 4(6), 125-139. <https://www.redalyc.org/pdf/877/87740609.pdf>

Teng, F., & Medina, P. H. (2014). Compressible Fluid Flow Calculation Methods. *Chemical Engineering*, 32-40.

The Engineering ToolBox. (2018). *Duct Systems - Pressure Classifications*. https://www.engineeringtoolbox.com/duct-systems-pressure-classification-d_2150.html

Universidad Veracruzana. (2016). *¿Cómo se elaboran cosméticos de calidad?*
Elaboración de cosméticos
<https://lumen.uv.mx/recursoseducativos/ElaboracionCosmeticos/tema2.html>

World Health Organization. (2023). *Air pollution*. https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1

XII. ANEXOS

La sección de anexos se divide en dos partes, la primera que muestran datos y esquemas, y la segunda que desglosa los cálculos. Los datos utilizados para obtener los resultados del diseño propuesto del sistema de ventilación se encuentran en la Tabla 22 y Figura 19. En la Tabla 23 y 24 se presentan los lúmenes del salón en la actualidad, así como los del sistema propuesto. En las Tablas 25 a la 30 se muestran los datos de consumo energético, criterios y matrices de la matriz de riesgo ocupacional utilizados para realizar la de preferencias. En las Figuras 20 y 21 están los esquemas de los caudales del sistema de inyección y extracción. Las características y curvas utilizadas para la determinación de los ventiladores a utilizar se encuentran en las Tablas 31 y 32, así como en las Figuras 22 y 23. La hoja de seguridad del quitaesmalte envasado en la planta cosmética estudiada se muestra en las Figuras 24, 25 y 26.

La segunda parte de cálculos contiene los nueve cálculos principales para los procesos de inyección y extracción de aire que se necesitan para proponer un sistema de ventilación.

A. Datos y esquemas

Tabla 22.

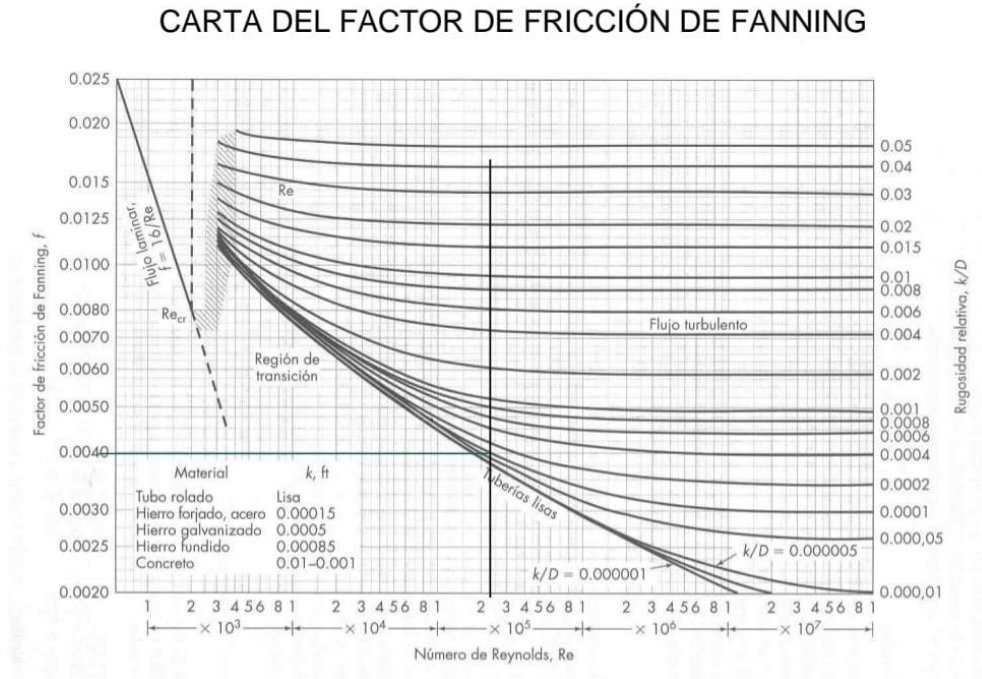
Dimensiones del salón de envasado de quitaesmalte

Dimensiones	(m)
Largo	14
Ancho	5
Alto	2.36

Nota. Elaboración propia

Figura 19.

Carta de factor de fricción de Fanning para la inyección y extracción



Nota. Adaptado de Sinnot

Tabla 23.

Lúmenes actuales en el salón

Cantidad	Tipo	W	lm	lm T
4	LED	40	2600	10400
4	LED	96	1600	6400
Total				16800

Nota. Elaboración propia

Tabla 24.

Lúmenes con el sistema propuesto en el salón

Cantidad	Tipo	W	Lumens	Lm T
6	LED	40	4000	24000
Total				24000

Nota. Elaboración propia

Tabla 25.*Consumo energético y costo por equipo mensual en la actualidad*

Cantidad	Descripción	Energía (HP)	Energía (W)	Horas usadas	Consumo energético diario (kW)	Consumo energético mensual (kW)	Costo (Q.)
4	Lamparas LED	-	40	10	1.60	48.00	64.61
4	Lámparas LED	-	96	10	3.84	115.20	155.07
3	Ventiladores	-	144	10	4.32	129.60	174.45
4	Motores para las taponaderas	0.25	186.43	8	5.97	178.97	240.90
4	Motores llenadoras	0.75	559.28	8	17.90	536.90	722.71
2	Bandas transportadoras	0.5	372.85	8	5.97	178.97	240.90
Total					39.588	1187.64	1598.64

Tabla 26.*Consumo energético y costo por equipo mensual con el sistema propuesto*

Cantidad	Descripción	Energía (HP)	Energía (W)	Horas usadas	Consumo energético diario (kW)	Consumo energético mensual (kW)	Costo (Q.)
4	Motores para las taponaderas	0.25	186.43	8	5.97	178.97	240.90
4	Motores llenadoras	0.75	559.28	8	17.90	536.90	722.71
	Bandas transportadoras	0.5	372.85	8	5.97	178.97	240.90
1	Motor de inyección	1	745.7	10	7.46	223.71	301.13
1	Motor de extracción	1	745.7	10	7.46	223.71	301.13
8	LED	-	40	10	3.20	96.00	129.22
Total					47.94	1438.26	1936.00

Nota. Elaboración propia**Tabla 27.***Criterios utilizados para la matriz de riesgo ocupacional*

NIVEL DE RIESGO	I x P
RIESGO ALTO	>11
RIESGO MEDIO	4<11
RIESGO BAJO	<4

Nota. Elaboración propia

Tabla 28.
Matriz de riesgo ocupacional del envasado

PROCESO	SUBPROCESO	DESCRIPCIÓN	ENTRADAS	SALIDAS	ACTIVIDADES LABORALES	RIESGOS DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO		CALIFICACIÓN DEL RIESGO			MEDIDAS DE CONTROL			CALIFICACIÓN DE RIESGO CONTROLADO			MEDIDAS DE MITIGACIÓN					
						TIPOS DE RIESGO	RIESGO	I	P	I x P	NIVEL DE RIESGO	I	P	I x P	NIVEL DE RIESGO	I		P	I x P	NIVEL DE RIESGO		
Envasado de quitesmale	Llenadora	El quitesmale es transportado de un tonel a su envase por medio de una llenadora	1. Envase quitesmale 2. Quitesmale	1. Envase con quitesmale 2. Quitesmale no envasado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Transporte de tonel con quitesmale 2. Colocación de envase en superficie de trabajo 3. Instalación de tubos de llenadora en tonel 4. Activación de pedal de llenadora 5. Envío a tapadora 	Químicos	Exposición e inhalación de vapores (acetona, acetato de etilo), adsorción de productos químicos	2	5	10	MEDIO	Mejorar sistema de ventilación Colocar los toneles de quitesmale fuera de las vías de paso Identificar todos los toneles de rescudación y de quitesmale	2	3	6	MEDIO	Brindar equipo de protección como mascarillas, lentes y guantes					
						Biológicos	N/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Realizar un análisis para establecer si se debe colocar un sistema de climatización y verificar que las lámparas estén siendo eficientes	
						Físicos	Calor, iluminación deficiente	1	5	5	MEDIO	Mejorar la ventilación Instalar rejones y en una mejor posición las lámparas	1	2	2	BAJO	-	-	-	-	-	
						Mecánicos	Punzamiento con llenadora, caídas por objetos mal posicionados	3	4	12	ALTO	Señalizar los dispensadores de líquido Colocar estanterías suficientes para el producto Quitar del camino las cajas de empaque así como los toneles	3	1	3	BAJO	-	-	-	-	-	Buscar cerrar el área de la máquina en la parte puntiaguada y señalizar áreas de paso
						Ergonómicos	Malas posturas, sedentación prolongada, levantamiento de cargas	1	4	4	BAJO	Colocar señales de posturas correctas Fomentar levantarse luego de cierto tiempo Brindar el equipo para transportar los toneles	1	1	1	BAJO	-	-	-	-	-	Crear tumos rotativos para evitar la sedentación prolongada
						Eléctricos	Choque eléctrico	4	2	8	MEDIO	Cerrar el área donde está el motor así como proteger las conexiones a la electricidad	4	1	4	BAJO	-	-	-	-	-	Asegurar que el producto no entre en contacto con las conexiones
						Incendio/Explosión	N/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
						Psicosocial	Estrés laboral	1	5	5	MEDIO	Mantener el área ordenada y organizada	1	2	2	BAJO	-	-	-	-	-	Fomentar la toma de descansos
						Otros	N/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

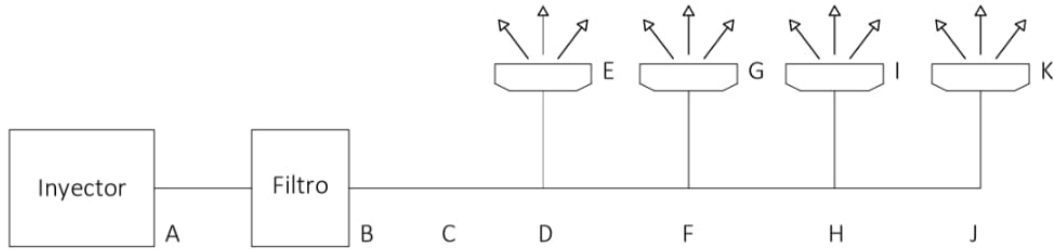
Tabla 29.
Matriz de riesgo ocupacional de la tapadora

PROCESO	SUBPROCESO	DESCRIPCIÓN	ENTRADAS	SALIDAS	ACTIVIDADES LABORALES	RIESGOS DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL RIESGO		CALIFICACIÓN DEL RIESGO		MEDIDAS DE CONTROL		CALIFICACIÓN DE RIESGO		MEDIDAS DE MITIGACIÓN							
						TIPOS DE RIESGO	RIESGO	I	P	I x P	NIVEL DE RIESGO	I	P		I x P	NIVEL DE RIESGO					
Envasado de quitesmate	Tapadora	El envase con producto se lleva hacia el área donde se tapan, puede ser manual o con una tapadora	1. Envase con quitesmate 2. Tapas	1. Producto envasado 2. Tapas no utilizadas	1. Colocación de tapas en envase. 2. Ajuste de etapas (manual o mecánico) 3. Colocación en banda transportadora para empaquetado final 4. Activación de pedal de tapadora	Químicos	Adsorción de productos químicos	2	4	8	MEDIO	Asegurar que la superficie donde se tapa esté recta y limpia	2	2	4	BAJO	Brindar guantes para el manejo del envase				
						Biológicos	N/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Físicos	Calor, iluminación deficiente	1	5	5	MEDIO	Mejorar la ventilación Instalar mejores y en una mejor posición las lámparas	1	2	2	BAJO	Revisar que ningún objeto esté bloqueando la rejilla de extracción y verificar si se debe colocar nuevas fuentes de luz				
						Mecánicos	Prensa de manos, caídas por objetos mal posicionados	2	4	8	MEDIO	Señalizar las máquinas para ajustar la tapa Colocar estanterías suficientes para el producto Quitar del camino las cajas de empaque así como los productos terminados	2	1	2	BAJO	Señalizar áreas de paso y capacitar al personal del buen uso de la maquinaria				
						Ergonómicos	Malas posturas, sedentación prolongada	1	4	4	BAJO	Colocar señales de posturas correctas Fomentar levantarse luego de cierto tiempo Brindar el equipo para transportar cajas con producto terminado	1	1	1	BAJO	Crear turnos rotativos para evitar la sedentación prolongada				
						Eléctricos	Choque eléctrico	4	2	8	MEDIO	Cerrar el área donde está el motor así como proteger las conexiones a la electricidad	4	1	4	BAJO	Asegurar que el producto no entre en contacto con las conexiones				
						Incendio/Explosión	N/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
						Psicosocial	Estrés laboral	1	5	5	MEDIO	Mantener el área ordenada y organizada	1	2	2	BAJO	Fomentar la toma de descansos				
						Otros	N/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 30.
Matriz de riesgo ocupacional del empaque

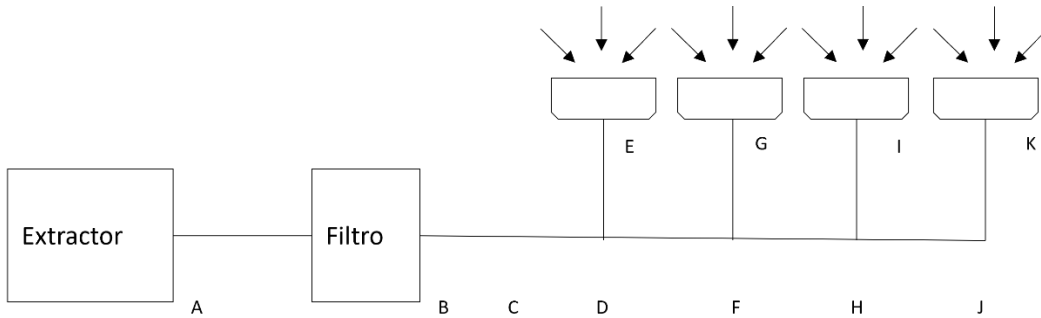
PROCESO	SUBPROCESO	DESCRIPCIÓN	ENTRADAS	SALIDAS	ACTIVIDADES LABORALES	RIESGOS DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL		CALIFICACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO			MEDIDAS DE CONTROL			CALIFICACIÓN DE NIVEL DE RIESGO			MEDIDAS DE MITIGACIÓN							
						TIPOS DE RIESGO	RIESGO	I	P	I x P	NIVEL DE RIESGO	I	P	I x P	I	P		I x P						
Envasado de quitaesmalte	Empaque	El producto terminado se envía con una banda transportadora al área de colocación en cajas	1. Producto terminado 2. Cajas de empaque	1. Producto empaquetado 2. Cajas no utilizadas	1. Colocación de productos en caja 2. Preparación de lotes de cajas 3. Colocar los lotes en el área determinada	Químicos	N/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
						Biológicos	N/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
						Físicos	Iluminación deficiente	1	5	5	MEDIO	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
						Mecánicos	Caidas por objetos mal posicionados	2	4	8	MEDIO	2	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
						Ergonómicos	Levantamiento de cajas, bipedestación prolongada	1	4	4	BAJO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
						Eléctricos	N/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
						Incendio/Explosión	N/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
						Psicosocial	Estrés laboral	1	5	5	MEDIO	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
						Otros	N/A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Figura 20.
Esquema de caudales del sistema de inyección



Nota. Elaboración propia

Figura 21.
Esquema de caudales del sistema de extracción



Nota. Elaboración propia

Tabla 31.
Características de Ventilador DA 9/9 RPM bajos a medios

DA 9/9		PRESIÓN ESTÁTICA mmca/ inwg																									
		6.35 mm / 0.250"		9.52 mm / 0.375"		11.11 mm / 0.437"		12.70 mm / 0.500"		15.88 mm / 0.625"		19.05 mm / 0.750"		22.22 mm / 0.875"		23.81 mm / 0.937"		25.40 mm / 1.000"		31.75 mm / 1.250"		34.92 mm / 1.375"		38.10 mm / 1.500"			
RPM		CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP		
	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	
700		1307	0.20	351	0.05																						
		2221	71	596	68																						
750		1474	0.27	1078	0.17	362	0.06																				
		2504	73	1832	72	615	69																				
850		1763	0.44	1574	0.36	1407	0.31	1109	0.22																		
		2995	77	2674	76	2391	74	1884	72																		
950		2029	0.65	1901	0.57	1814	0.53	1694	0.48	1237	0.30																
		3447	79	3230	79	3082	78	2878	76	2102	76																
1050		2285	0.90	2184	0.83	2124	0.79	2051	0.74	1842	0.63	1441	0.44														
		3882	82	3711	81	3609	81	3485	79	3130	79	2448	77														
1150		2536	1.21	2450	1.14	2403	1.10	2349	1.05	2216	0.95	2017	0.83	1677	0.63	1279	0.43										
		4309	84	4163	84	4083	83	3991	82	3765	82	3427	80	2849	80	2173	79										
1250		2783	1.58	2708	1.51	2667	1.47	2623	1.42	2523	1.33	2395	1.21	2213	1.07	2087	0.99	1927	0.88								
		4728	86	4601	86	4531	85	4457	84	4287	84	4069	83	3760	83	3546	82	3274	81								
1350				2960	1.94	2924	1.90	2887	1.85	2804	1.76	2708	1.65	2587	1.53	2512	1.46	2423	1.38	1812	0.90						
				5029	87	4968	87	4905	86	4764	86	4601	86	4395	85	4268	85	4117	84	3079	82						
1400				3085	2.18	3051	2.14	3016	2.10	2940	2.00	2853	1.89	2748	1.77	2687	1.71	2615	1.64	2169	1.25	1724	0.89				
				5241	88	5184	88	5124	87	4995	87	4847	87	4669	86	4565	86	4443	85	3685	84	2929	83				
1450								3143	2.36	3072	2.26	2993	2.15	2900	2.04	2848	1.97	2788	1.90	2442	1.56	2159	1.31	902	0.52		
								5340	88	5219	88	5085	88	4927	87	4839	87	4737	87	4149	85	3668	84	1533	84		

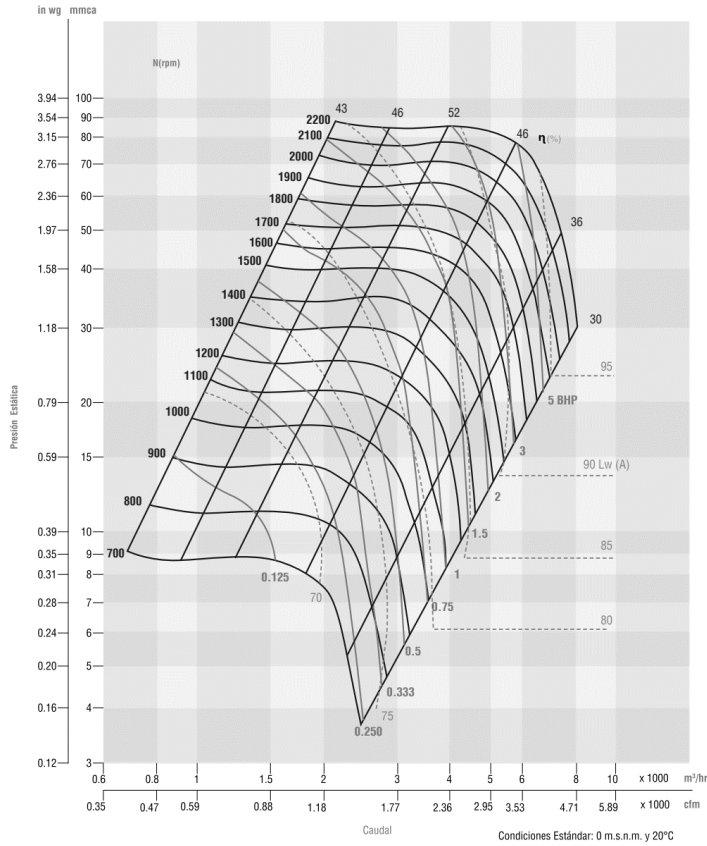
Nota. Adaptado de Soler & Palau

Tabla 32.
Características de Ventilador DA 9/9 RPM medios a altos

RPM	PRESIÓN ESTÁTICA mmca/ inwg																							
	28.57mm / 1.125"		31.75mm / 1.250"		38.10mm / 1.500"		44.45mm / 1.750"		50.80mm/2.000"		57.15mm/2.250"		60.32 mm /2.375"		63.50 mm /2.500"		69.85mm / 2.750"		76.20 mm / 3.000"		80.01 mm / 3.15"		88.90 mm / 3.500"	
	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP
m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	m³/hr	dB (A)	
1500	2827	2.04	2670	1.87	2155	1.37																		
	4803	88	4536	88	3661	87																		
1550	2997	2.35	2868	2.19	2472	1.76	893	0.60																
	5092	89	4873	89	4200	88	1517	84																
1650	3306	3.01	3211	2.86	2953	2.51	2527	2.01	926	0.71														
	5617	91	5456	90	5017	90	4293	87	1573	85														
1750	3593	3.75	3517	3.61	3327	3.29	3051	2.88	2612	2.31	982	0.85												
	6105	92	5975	92	5653	91	5184	90	4438	89	1668	88												
1850	3868	4.58	3803	4.44	3651	4.13	3452	3.77	3166	3.32	2730	2.68	2391	2.20	1057	1.02								
	6572	94	6461	93	6203	93	5865	92	5379	91	4638	90	40629	91	1796	88								
1950	4134	5.50	4077	5.36	3948	5.06	3792	4.72	3587	4.32	3299	3.82	3109	3.51	2877	3.14	1152	1.22						
	7024	95	6927	95	6708	94	6443	94	6094	93	5605	92	5282	93	4888	91	1957	91						
2025	4330	6.26	4277	6.12	4161	5.82	4025	5.49	3856	5.11	3634	4.66	3492	4.40	3323	4.10	2874	3.31						
	7357	96	7267	96	7070	95	6839	95	6551	94	6174	94	5933	94	5646	93	4883	93						
2100	4524	7.08	4474	6.93	4368	6.63	4247	6.31	4102	5.94	3922	5.52	3812	5.29	3684	5.03	3355	4.40	2883	3.52	1300	1.57		
	7686	97	7601	97	7421	96	7216	96	6969	95	6664	95	6477	95	6259	95	5700	94	4898	93	2209	93		
2150	4651	7.65	4604	7.51	4503	7.21	4390	6.88	4258	6.52	4098	6.12	4002	5.90	3893	5.65	3619	5.08	3243	4.34	2938	3.75		
	7902	97	7822	97	7651	97	7459	97	7234	96	6963	96	6799	96	6614	95	6149	95	5510	94	4992	94		
2200	4778	8.26	4733	8.12	4637	7.82	4530	7.49	4408	7.13	4264	6.74	4180	6.52	4085	6.29	3853	5.77	3541	5.11	3303	4.62	1300	1.75
	8118	98	8041	98	7878	97	7697	97	7489	97	7245	97	7102	96	6940	96	6546	96	6016	95	5612	94	2209	94

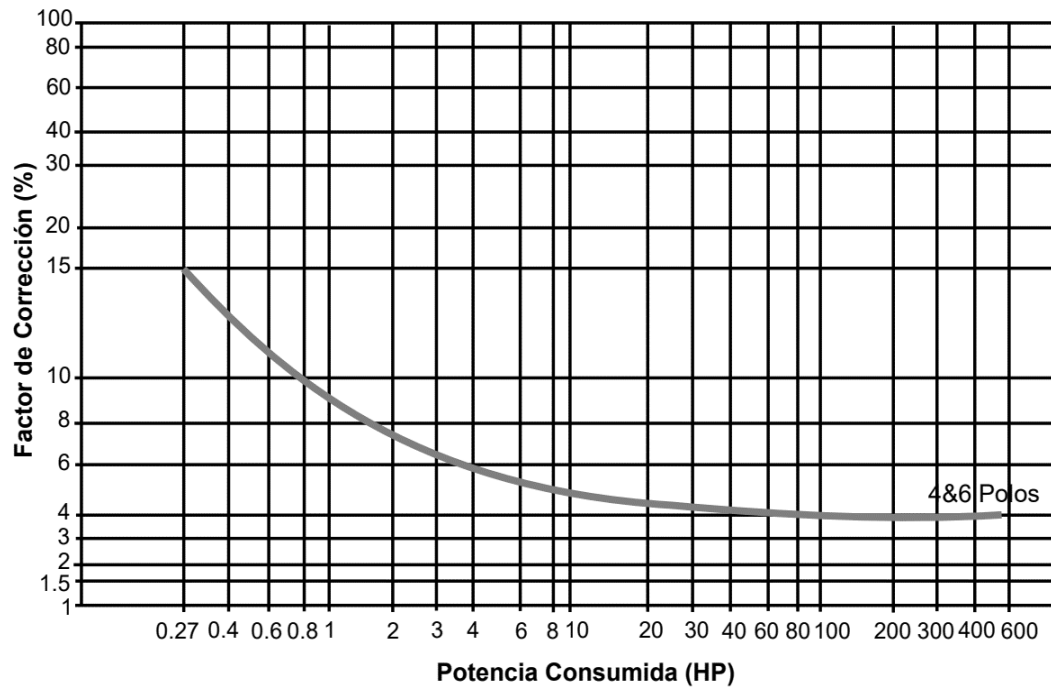
Nota. Adaptado de Soler & Palau

Figura 22.
Curva característica del ventilador DA 9/9



Nota. Adaptado de Soler & Palau

Figura 23.
Gráfica para la corrección de BPH



Nota. Adaptado de Soler & Palau

Figura 24.
Hoja de seguridad del quitaesmalte pt.1

Hoja de Seguridad del quitaesmalte


Nombre del producto: Quitaesmalte

Identificación de los peligros

Clasificación:

- Toxicidad específica en determinados órganos - Categoría 3
- Peligros de aspiración - Categoría 2
- Irritación cutánea – Categoría 3
- Irritación visual – Categoría 2A
- Líquidos inflamables – Categoría 2
- Toxicidad aguda, Oral – Categoría 4

Pictogramas



Palabras de advertencia

Peligro

Indicaciones de peligro

Vapores y líquidos extremadamente inflamables, dañino por ingestión, peligroso si ingresa a vías respiratorias, causa irritación de ojos severo, causa irritación cutánea, puede causar somnolencia y mareos.

Consejos de precaución

Lavar con agua y jabón después de su manejo, no comer, beber o fumar al usar este producto, usar guantes de protección, lentes de protección y mascarillas, mantener alejado del calor, superficies calientes, chispas u otras fuentes de ignición, mantener el contenedor cerrado, usar equipo anti-explósión, tomar acciones para prevenir descargas estáticas, evitar inhalar polvos, gases y vapores, usar solo en áreas abiertas o con ventilación adecuadas.

Primeros auxilios

- En caso de ingestión: beber agua abundante, evitar vómito, pedir atención médica.
- En caso de contacto en ojos: lavar con agua por un periodo de tiempo de 15 a 20 minutos, remover lentes de contacto, pedir atención médica si la molestia continúa.
- En caso de contacto con la piel: quitar la ropa contaminada, lavar con agua o ducharse, pedir atención médica si existe irritación cutánea.
- En caso de incendio: utilizar químicos secos, espumas resistentes al alcohol

Figura 25.
Hoja de seguridad del quitaesmalte pt. 2

En caso de inhalación: buscar aire fresco.

Medidas de vertido accidental

Procedimiento de emergencia

Eliminar todas las fuentes de ignición, no tocar o caminar por el material vertido, aislar el área de peligro, no inhalar vapores, procurar una ventilación apropiada, recoger con materiales absorbentes o en su defecto arena o tierra seca y depositar en contenedores para residuos para su eliminación adecuada. Limpiar restos con agua abundante

Manejo y almacenamiento

Lavado de manos luego del uso, no permita que entre en contacto con los ojos o piel, no inhalar vapores o gases, tener buenas prácticas de higiene personal, queda prohibido comer, tomar y fumar en áreas de trabajo, remover ropa contaminada y equipo de protección antes de ingresar a áreas de comida. Tener disponibles estaciones de lavado de ojo y de duchas en áreas donde el material sea usado y almacenado.

Mantener contenedores cerrados e identificados correctamente, almacenar en lugares secos, con áreas ventiladas, alejados del calor y de la luz solar.

Control de exposición y protección personal

Protección respiratoria: mascarillas de tipo KN

Protección cutánea: usar guantes aprobados para tener protección ante los químicos, usar un delantal para evitar contacto con la piel.

Protección visual: utilizar protección para ojos como lentes

Límites recomendados de lo químicos

Acetona

NIOSH: REL de 250 ppm en turnos de 10 horas

ACGIH: TLV de 500 ppm en turnos de 8 horas y 750 ppm de STEL

Acetato de etilo

NIOSH: REL de 400 ppm en turnos de 10 horas

ACGIH: TLV de 400 ppm en turnos de 8 horas

OSHA: PEL de 400 ppm en turnos de 8 horas

Alcohol isopropílico

NIOSH: REL de 400 ppm en turnos de 10 horas

ACGIH: TLV de 200 ppm en turnos de 8 horas

Figura 26.
Hoja de seguridad del quitaesmalte pt. 3

OSHA: PEL de 400 ppm en turnos de 8 horas

Propiedades físicas y químicas

Aspecto: líquido color rosa, celeste, amarillo, verde, lila o transparente

Olor: característico

Punto de ebullición: 56.5°C

Punto de fusión: 94°C

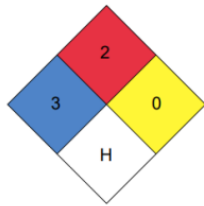
Temperatura de auto ignición: 540°C

Presión de vapor (20°C): 233 hPa

Densidad (20°C): 0.818 g/ml

pH: 7-10

Otra información



B. Cálculos

1. Proceso de inyección

Cálculo 1.

Velocidad en la salida del ventilador

$$v = \frac{Q}{A}$$
$$v = \frac{3398.02 \frac{m^3}{h} * \frac{1 h}{3600 s}}{0.07874 m^2}$$
$$v = 11.99 \frac{m}{s}$$

Nota. El caudal fue brindado por el proveedor y el área es del modelo DA 9/9. Este cálculo se realizó para las correcciones de velocidad con el área real de los ductos.

Cálculo 2.

Velocidad luego del filtro

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$
$$v_2 = \sqrt{\frac{2 * (\Delta P + \frac{1}{2} \rho v_1^2)}{\rho}}$$
$$v_2 = \sqrt{\frac{2 * (-0.5 Pa + \frac{1}{2} * 1.27 \frac{kg}{m^3} * [11.99 \frac{m}{s}]^2)}{1.27 \frac{kg}{m^3}}}$$
$$v_2 = 11.96 \frac{m}{s}$$

Nota. El diferencial fue brindado por el proveedor, 0.5 Pa.

Cálculo 3.

Dimensiones del ducto

$$A = \frac{Q}{v}$$
$$A = \frac{3398.02 \frac{m^3}{h} * \frac{1 h}{3600 s}}{11.96 \frac{m}{s}} = 0.0789 m^2$$

Convertir el área a pulgadas cuadradas porque con esa dimensión se encuentran de forma comercial los ductos y fijar un lado del ducto.

Lado a = 11 in

$$b = \frac{A}{a} = \frac{122.41 \text{ in}^2}{11 \text{ in}} = 11.12 \text{ in}$$

Este lado b se aproxima al valor más alto, b = 12 in y el área es 132 in².

Nota. El procedimiento anterior se utilizó para calcular todas las dimensiones de los ductos.

Cálculo 4.

Pérdidas de fricción por largo y accesorios de los ductos.

- Por el largo del ducto

$$Ff = 4f \frac{\Delta L}{De} * \frac{v^2}{2g_c}$$

$$Ff = 4 * 0.0040 * \frac{1.7206 \text{ m}}{0.2915 \text{ m}} * \frac{\left(11.08 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{kg} * \text{m}}{\text{kg fuerza} * \text{s}^2}} = 0.59123 \text{ J/kg}$$

Nota. El cálculo se hizo para la determinación de todas las pérdidas por fricción del ducto por su longitud.

- Por accesorios (codo de 90°)

$$hf = k_f \frac{v^2}{2g_c}$$

$$hf = 0.75 * \frac{\left(11.08 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{kg} * \text{m}}{\text{kg fuerza} * \text{s}^2}} = 4.70 \text{ J/kg}$$

Nota. El cálculo se utilizó para la determinación de todas las pérdidas por fricción del ducto por accesorios.

Cálculo 5.

Velocidad del fluido luego de las pérdidas por fricción

$$P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 = P_3 + \frac{1}{2}\rho v_3^2 + \rho g h_3 + \rho * \sum F_f$$

$$v_3 = \sqrt{2 * \frac{\frac{1}{2} * 1.1689 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left(11.08 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 - 1.27 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 2.57 \text{ m} - 1.27 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 10.05 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}{1.27 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

$$v_3 = 7.24 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cálculo 6.

Área del tramo del ducto para los inyectores.

$$\frac{Q_1}{A_1} = \frac{Q_2}{A_2}$$

$$A_2 = \frac{\frac{3361.97 \frac{m^3}{h}}{4} * 0.129 m^2}{3361.97 \frac{m^3}{h}} = 0.0323 m^2$$

Nota. Esta ecuación se utilizó para establecer el área del ducto principal luego de los cuatro desvíos.

Cálculo 7.

Cambios por hora reales en el salón de envasado

$$ACH = \frac{Q}{V}$$

$$ACH = \frac{3361.97 \frac{m^3}{h}}{164.945 m^3} = 20.38 h^{-1}$$

Cálculo 8.

Número de Mach

$$Ma = \frac{11.99 \frac{m}{s}}{\sqrt{\frac{1.4 * 8.314 \frac{m^3 Pa}{mol K} * 236.15 K}{0.029 \frac{kg}{mol}}}} = 0.034$$

Cálculo 9.

Relación de presiones del fluido

$$\frac{p}{p_0} = \frac{1}{\left\{1 + \left[\frac{(\gamma - 1)}{2}\right] Ma^2\right\}^{\frac{1}{1-\gamma}}}$$

$$\frac{p}{p_0} = \frac{1}{\left\{1 + \left[\frac{(1.4 - 1)}{2}\right] * 0.034^2\right\}^{\frac{1}{1-1.4}}} = 0.99$$

2. Proceso de extracción

Se repitieron los cálculos de la inyección, pero se utilizó el caudal que se quería extraer.

XIII. GLOSARIO

- **Acetona:** sustancia química utilizada como disolvente. Es un líquido incoloro con sabor y olor característicos. Su evaporación ocurre fácilmente y es altamente inflamable (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2021)
- **Caudal:** cantidad de un fluido que pasa por una sección por unidad de tiempo (Soler & Palau, 2017)
- **Layout:** implica la distribución de una planta o instalación teniendo en cuenta los espacios para mover materiales y personal (Sortino, 2001).
- **PEO:** procedimiento estándar de operación, documento que contiene instrucciones para la realización de las distintas operaciones (Ministerio de Economía; et al., 2008).
- **Quitaesmalte:** sustancia líquida utilizada para remover el esmalte de uñas que contiene acetona (Real Academia Española, s.f.).
- **Lamas:** tira o lámina delgada y plana de un material duradero que se usa en las rejillas (Real Academia Española, s.f.).
- **Aire viciado:** aire en el interior de un área que no ha sido renovado por lo que es contaminado (Siber Ventilación, 2016).