

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TESIS

Diseño de un sistema de ventilación localizada para mitigar la concentración de compuestos orgánicos volátiles en el área de Molienda de 50 m² para la fabricación de pintura

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Eléctrico.

Elaborado por

Daniel Dalí Quispe Alvarez

 [0009-0009-5378-6290](https://orcid.org/0009-0009-5378-6290)

Asesor

Dr. Manuel Augusto Villavicencio Chávez

 [0000-0003-0142-7930](https://orcid.org/0000-0003-0142-7930)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	(Quispe, 2025)
Referencia/Reference	Quispe, D. (2025). <i>Diseño de un sistema de ventilación localizada para mitigar la concentración de compuestos orgánicos volátiles en una planta de fabricación de pintura</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A Dios por todo en esta vida.

*A mis padres por haberme criado
y educado para ser un profesional.*

*A mi esposa Susan por estar a mi lado
y apoyarme en todo sentido.*

Agradecimientos

A Dios por las enseñanzas y la dirección puesta en su ley como guía de vida y darme las bases para poder desarrollarme en esta vida. A mis padres y hermano que me dieron todo lo que necesite y me impulsaron para desarrollarme como profesional y me enseñaron lo que es una familia.

A mi esposa Susan a la que amo y respeto en gran manera, agradezco todo el apoyo que me brinda y que permite que ser mejor persona.

A mis demás familiares que siempre me vieron y cuidaron de mi desde muy pequeño agradezco su apoyo y su amor fraternal.

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo mitigar la concentración de compuestos orgánicos volátiles (VOC) generados dentro de una planta de fabricación de pintura en el área de Molienda durante el proceso de mezcla en los tanques con agitadores. Durante el proceso de medición de la concentración de VOC se encontraron gases con concentraciones entre 500 y 1300 ppm, después de implementar el sistema de ventilación se lograron niveles de concentración entre 2 a 10 ppm reduciendo así el riesgo de la salud de los trabajadores por exposición a los VOC dentro de estos ambientes según exige la normativa nacional.

Mitigar la concentración de los VOC se logró mediante el diseño de ventilación localizada, el cual depende de determinar el caudal de extracción y la potencia requerida. La verificación de la concentración de los VOC ha sido validada mediante mediciones con analizador de gases ubicándolo en la zona de respiración de los trabajadores por lo que, la metodología es de tipo aplicada.

La investigación fue realizada tomando en cuenta antecedentes que describen el riesgo y problemas a la salud de los trabajadores en plantas de pintura debido a la exposición a solventes orgánicos volátiles. A su vez hay otras investigaciones que indican que estos sistemas constituyen un método son efectivos para tener un nivel adecuado de concentración de VOC.

Se concluye que el sistema de ventilación localizada logra mitigar los VOC identificados y se recomienda dar seguimiento al funcionamiento del sistema de ventilación verificando el caudal de operación y midiendo periódicamente los niveles de VOC dentro de estos ambientes laborales en plantas de fabricación de pintura.

Palabra clave – Compuestos orgánicos volátiles, ventilación localizada, límites máximos permisibles.

Abstract

This research aims to mitigate the concentration of volatile organic compounds (VOC) generated within a paint manufacturing plant in the grinding area during the mixing process in agitator tanks. During the VOC concentration measurement process, gases with concentrations between 500 and 1,300 ppm were found. After implementing the ventilation system, concentration levels between 2 and 10 ppm were achieved, thus reducing the health risk to workers from exposure to VOC in these environments, as required by national regulations.

Mitigation of VOC concentrations was achieved through the design of localized ventilation, which depends on determining the extraction flow rate and the required power. VOC concentration verification was validated through measurements with a gas analyzer located in the workers' breathing zone, thus using an applied methodology. The research was conducted based on historical data describing the risks and health problems faced by workers in paint plants due to exposure to volatile organic solvents. Other research indicates that these systems are effective in maintaining adequate levels of VOC concentrations.

It is concluded that the localized ventilation system successfully mitigates the identified VOC, and it is recommended that ventilation system performance be monitored by verifying the operating flow rate and periodically measuring VOC levels in these work environments in paint manufacturing plants.

Keyword – Volatile organic compounds, localized ventilation, maximum permissible limits.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xi
Capítulo I. Generalidades	1
1.1 Antecedentes de la Investigación	1
1.2 Identificación y Descripción del problema de investigación.....	2
1.3 Formulación del problema	3
1.4 Justificación e Importancia.....	3
1.5 Objetivo General.....	3
1.6 Hipótesis General	3
1.7 Variables y Operacionalización de variables.....	4
1.8 Metodología de la investigación.....	4
1.8.1 Unidad de análisis	4
1.8.2 Tipo, enfoque y nivel de investigación.....	4
1.8.3 Diseño de investigación	5
1.8.4 Descripción de la propuesta.....	5
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual	6
2.1 Marco teórico.....	6
2.1.1 Sistema de ventilación general	6
2.1.2 Velocidad de captura	9
2.1.3 Velocidad de Transporte.....	10
2.1.4 Tasa de Generación de Compuestos Orgánicos Volátiles	11
2.1.5 Campanas de Aspiración.....	12

2.1.6 Ductos de Transporte	15
2.1.7 Método de diseño de ductos para pérdidas de presión	15
2.1.8 Diseño del depurador para VOC's	20
2.1.9 Ventiladores centrífugos	20
2.2 Marco conceptual	21
2.2.1 Compuestos orgánicos volátiles.....	21
2.2.2 Media ponderada en el tiempo (TWA)	22
CAPÍTULO III. Desarrollo del Trabajo de Investigación.....	24
3.1 Análisis y procesamiento de datos.....	24
3.1.1 Cálculo de la Tasa de Generación de Compuestos Orgánicos Volátiles	24
3.1.2 Cálculo de Caudal de Extracción por Dilución.....	24
3.1.3 Cálculo y selección de campana de captación.....	25
3.1.4 Dimensionamiento de ductos de transporte	27
3.1.5 Dimensionamiento de Depurador de VOC's.....	34
3.1.6 Selección de Ventiladores.....	34
Capítulo IV. Resultados, Contrastación de Hipótesis, y Discusión de Resultados.....	37
4.1 Análisis de resultados.....	37
4.2 Contrastación de la Hipótesis	41
Conclusiones	42
Recomendaciones	43
Referencias bibliográficas.....	44
Anexos	47

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Matriz de operacionalización.....	4
Tabla 2: Rango de Velocidad de Captura.	10
Tabla 3: Rango de Velocidad de Captura	10
Tabla 4: Tipo de campana de captación.	13
Tabla 5: CD3-10 Codo, 90 grados, $r/D=2.5$	17
Tabla 6: WYE ED5-1, 30 grados, convergente.	19
Tabla 7: Resumen de los VOC emanados.....	24
Tabla 8: Resumen de caudales para mitigar VOC.	25
Tabla 9: Resumen de datos del brazo móvil seleccionado.....	26
Tabla 10: Resumen de diámetros de ducto de transporte.....	28
Tabla 11: Pérdidas de presión primarias de los ductos.....	28
Tabla 12: Datos de caudal y dimensión del codo.....	29
Tabla 13: Datos de caudal del codo.....	29
Tabla 14: Caída de presión de los ductos.....	31
Tabla 15: Datos de caudal del WYE.	31
Tabla 16: Caída de presión de los ductos.....	33
Tabla 17: Caída de presión de los ductos correspondiente a la ruta crítica.	33
Tabla 18: Datos de caudal y caída de presión del extractor centrífugo.	35
Tabla 19: Características del extractor centrífugo de simple entrada.....	35
Tabla 20: Medición de velocidades de extracción en la boca de la campana.....	37
Tabla 21: Medición de velocidades de extracción en la boca de la campana.....	38
Tabla 22: Concentración de VOC sin ventilación en 2019.	40
Tabla 23: Concentración de VOC con ventilación en 2023.	40

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Factores de dilución en locales con diferentes tipos de ventilación.....	9
Figura 2: Mezclado de insumos para producción de pintura dentro de un contenedor.	11
Figura 3: Brazo móvil con campana de captación.	12
Figura 4: Esquema de brazo móvil con campana de captación.	14
Figura 5: Curva caudal vs presión del brazo móvil con campana de captación.	14
Figura 6: Software Design Tools Duct Sizer.	16
Figura 7: Codo CD3-10, 90 grados, $r/D=2.5$	18
Figura 8: WYE ED5-1, 30 grados, convergente.....	19
Figura 9: Gráfico de caudal vs caída de presión del brazo móvil.	26
Figura 10: Caída de presión del codo CD3-10 $r/D=2.5$	30
Figura 11: Caída de presión del codo ED5-1 WYE 30°	32
Figura 12: Extractor centrífugo de simple entrada instalado.	36
Figura 13: Concentración de Cumeno en zona de molienda.	39

Introducción

Esta investigación se enfoca en mitigar la concentración de VOC generados en una planta de fabricación de pintura correspondiente al área de Molienda en el cual se usan solventes orgánicos como parte de la materia prima en su preparación. En el área de molienda se cuenta con 6 equipos de mezcla por agitación, los cuales pueden procesar tanques de pintura con un volumen entre 300 a 400 galones. El proceso de molienda se lleva a cabo durante todo el horario laboral de 8 horas motivo por el cual hay emisiones continuas de VOC. Durante el proceso de molienda de la pintura se realizaron mediciones mediante el uso de analizador de gases encontrándose VOC como Tolueno, Cumeno, Xileno, Acetona y Metiletilcetona con concentraciones entre 500 y 1300 ppm según la medición encontrada por cada VOC. Luego de implementar el sistema de ventilación se pudo mitigar estas concentraciones hasta rangos entre 2 a 7 ppm. Esto permite reducir la concentración de estos VOC, minimizando el riesgo de la salud de los trabajadores que operan en esta área los cuales al estar expuestos en promedio durante 8 horas pueden sufrir daños al sistema respiratorio, digestivo e incluso puede producir cáncer. Los niveles de concentración de VOC a los cuales se debe reducir deben estar por debajo de lo que establece el Decreto Supremo N° 015-2005-SA y su respectiva actualización correspondiente a la Resolución Ministerial N° 733-2024-MINSA.

El sistema de ventilación localizada implementado logró mitigar la concentración de VOC emitidas por los 6 equipos de mezcla de pintura del área de molienda. Este sistema ha sido diseñado basándose en el caudal requerido según el volumen de emisión de VOC y la potencia eléctrica requerida para vencer las pérdidas de presión en los ductos del sistema. Estos sistemas de ventilación se componen por campanas de captación, ductos de transporte, depurador, ventilador centrífugo y una chimenea. La concentración de los VOC con el sistema de ventilación implementado ha sido validada mediante un analizador de gases portátil el cual

ha sido ubicado a una altura de 1.5 m sobre el nivel piso correspondiente a la altura de respiración promedio de los trabajadores y a su vez en las zonas más cercanas a la emisión de VOC por donde transitan los operadores. Durante el proceso de medición se tomaron datos en intervalos de 1 a 3 segundos durante el proceso de molienda, por tal motivo la metodología es de tipo aplicada basada en la recolección de los datos obtenidos.

Los antecedentes encontrados para la elaboración de este trabajo de investigación describen los riesgos por exposición prolongada a VOC en ambientes laborales interiores y detallan los problemas a la salud que pueden tener los trabajadores en plantas de fabricación de pintura debido al uso de solventes orgánicos. Existen trabajos de investigación que aplican distintos métodos de control como son el método Banding que reduce la exposición de los trabajadores mediante el análisis de la distribución de procesos u otros métodos como son la ventilación mecánica de tipo localizada. Este último método es descrito como el más eficiente debido a que se enfoca directamente en la zona de emisión de VOC.

Las conclusiones a las que se llega demuestran que es posible mitigar la concentración de VOC para esta aplicación logrando el cumplimiento del requerimiento del DS N° 015-2005-SA y la RM N° 733-2024-MINSA. Entre las recomendaciones propuestas se requiere evaluar periódicamente el funcionamiento del sistema de ventilación realizando mediciones de velocidad o caudal en cada punto de emisión de VOC y a su vez realizar mediciones periódicas de la concentración de VOC en la zona de trabajo. Además, se plantean otras recomendaciones enfocadas en la optimización del sistema de ventilación propuesto.

Capítulo I. Generalidades

1.1 Antecedentes de la Investigación

Coronel et al. (2024) en el artículo científico “Evolución de la ventilación mecánica en la contaminación ambiental en su relación con las emisiones contaminantes producidas a través del proceso de soldadura SMAW en el campus Ochoa león del Instituto Superior Tecnológico Ismael Pérez Pazmiño” afirman que la ventilación mecánica es uno de los métodos más efectivos para mitigar las emisiones de contaminantes en el medio ambiente y en espacios cerrados donde se realizan procesos industriales y a las personas exponen su salud durante las largas horas, dentro de las alternativas considera la ventilación focalizada como una de las más eficientes debido a que este método requiere menor potencia del extractor.

Hernández-Baltazar et al. (2023) indica que los disolventes orgánicos son uno de los principales factores de riesgo en las industrias de fabricación de pintura debido a su volatilidad y que puede afectar la salud de los trabajadores según el tiempo de exposición diaria. Entre los compuestos orgánicos nocivos que ha identificado se encuentran el plomo, benceno y tolueno, por tal motivo recalca la importancia de mejorar las medidas de seguridad como la ventilación y también contar con personal capacitado.

Guerrero (2023) en su tesis de investigación “Aplicación del Método Control Banding para reducir la exposición de los trabajadores a agentes químicos peligrosos en una planta de pintura” evalúa los resultados por medio del cuestionario de la norma española NTP 749 que considera los riesgos relacionados con el almacenaje, transporte y producción. Mediante el método Banding se aplicaron las siguientes medidas la adquisición de transportadoras de gravedad y el almacenamiento de los solventes en un lugar con ventilación adecuada clasificando según sus características.

Según el Instituto de Salud Pública de Chile (2021) en su “Guía para la evaluación cuantitativa de sistemas de ventilación localizada” afirma que el sistema de ventilación localizada es el método por excelencia para el control por medio de la captación de agentes químicos en su foco de emisión e indica que la forma de evaluar el funcionamiento es determinando la velocidad de captura, el diseño de ductos, el caudal de diseño y la presión del sistema.

Cubanos (2021) afirman que los sistemas de ventilación localizada deben ser utilizados con la finalidad de diluir agentes químicos clasificados como tóxicos y evitar su propagación. Estos sistemas deben lograr capturar los contaminantes lo más cerca posible a la fuente y garantizar el arrastre de los contaminantes para evitar que se sedimenten en los ductos.

1.2 Identificación y Descripción del problema de investigación

Debido a problemas de salud presentados por los trabajadores en una planta de fabricación de pintura, se procedió en el año 2019 a realizar la medición de la concentración de VOC dentro de la zona de producción denominada Molienda encontrándose que los niveles de ciertos agentes químicos se encontraban por encima de los valores límites permisibles establecido en el Decreto Supremo N° 015-2005-SA.

Hagras, Ahmed, El-Khatib, y Ali (2017) afirman que la exposición a los VOC supone un alto riesgo de insuficiencia respiratoria, asma, irritación en el tracto respiratorio y pulmones, además este estudio demostró que las ratas expuestas en talleres de pintura de automóviles presentaron cambios histopatológicos en la tráquea y pulmones.

Rincón y Ortiz (2015) en su investigación “Descripción de la jerarquía de controles frente al peligro químico por exposición a compuestos orgánicos volátiles generados por procesos de pintura en el sector industrial” concluyó en su estudio que dentro de las actividades industriales relacionados con la pintura se identificaron un total de 107 sustancias químicas, de las cuales el 55% son VOC que generan efectos agudos y crónicos en la salud de trabajadores. De estos compuestos se evidenció que el 16% son reconocidos como

carcinógenas según IARC y un 5 % están identificadas en el Sistema de Vigilancia del Cáncer Ocupacional.

Riveros (2017) afirma que en una planta de fabricación de pintura hay altas concentraciones de VOC generadas por disolventes, estos superan los Valores Límite Umbral (TLV) establecidos en el Decreto Supremo N° 015-2005-SA. Entre los compuestos encontrados están: Xileno, Tolueno.

1.3 Formulación del problema

A partir de la información analizada, surge la siguiente pregunta ¿Se podrá mitigar la alta concentración de VOC encontrada dentro del ambiente laboral en una planta de fabricación de pintura?

1.4 Justificación e Importancia

Este documento trata de reducir el riesgo de la exposición de las personas que trabajan dentro de los ambientes de trabajo de una planta de pintura mediante un sistema de extracción forzado.

1.5 Objetivo General

Diseñar de un sistema de ventilación localizada para mitigar la concentración de VOC en el área de Molienda de una planta de fabricación de pintura.

1.6 Hipótesis General

El diseño del sistema de ventilación localizada logrará mitigar la concentración de VOC en el área de Molienda de una planta de fabricación de pintura.

1.7 Variables y Operacionalización de variables

Tabla 1

Matriz de operacionalización.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente: Diseño de un sistema de ventilación localizada.	Sistema de extracción forzada que permita mitigar los VOC.	Sistema de extracción compuesto por: - Ventilador centrífugo - Ductos - Campana de captación.	- Caudal de extracción. - Velocidad de captación. - Velocidad de transporte. - Pérdidas de presión - Potencia de ventilador.	- Caudal (m ³ /h, cfm) - Velocidad (m/s, fpm) - Pérdidas de presión (Pa/inwg) - Potencia de ventilador (kW, HP)
Variable Dependiente: Concentración de compuestos orgánicos volátiles.	Nivel de concentración de VOC dentro de un ambiente laboral de una planta de fabricación de pintura.	Los VOC presentes en estos ambientes son: - Cumeno - Xileno - Tolueno - Acetona - Metiletilcetona	Concentración de VOC.	Concentración de VOC (mg/m ³ , ppm)

1.8 Metodología de la investigación

1.8.1 Unidad de análisis

La unidad de análisis la concentración de VOC dentro del área de Molienda de una planta de fabricación de pintura de uso industrial y doméstico ubicada en Lima compuesto por 6 puntos de agitación con recipientes entre 300 y 400 gal.

1.8.2 Tipo, enfoque y nivel de investigación

De acuerdo al problema planteado el enfoque que se aplicará a esta investigación es de tipo cuantitativo. El nivel de estudio aplicado es de tipo explicativo debido a que se analizará las variables. Según lo mencionado anteriormente el tipo de investigación es de tipo aplicado debido a que se busca encontrar una solución óptima para el problema planteado.

1.8.3 *Diseño de investigación*

El diseño de la investigación es experimental, por lo que el análisis se realizará sobre los datos recopilados.

1.8.4 *Descripción de la propuesta*

La planta de fabricación de pintura cuenta con un área denominada Molienda, a su vez está conformada por seis mezcladores donde se realiza el proceso de mezclado de las materias primas. Durante el proceso de mezclado los contenedores emiten compuestos orgánicos volátiles entre los cuales se han identificado: Tolueno, Xileno, Acetona, Metiletilcetona y Cumeno. Debido al riesgo que representan estos VOC a los trabajadores se propone implementar un sistema de extracción localizado para cada una de las mezcladoras y así evitar su propagación. Este sistema de ventilación se conforma de campanas de captación, red de ductos, extractor centrífugo y chimenea.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

2.1.1 Sistema de ventilación general

Según Echeverri (2020) la ventilación general tiene por objetivo mantener las condiciones adecuadas del aire dentro de un ambiente tomando en consideración la temperatura, humedad y cumplir con los límites máximos permisibles de compuestos en el aire. La finalidad de la ventilación general es preservar la salud de los trabajadores.

Dentro de la ventilación general se considera la ventilación por dilución como uno de los métodos más adecuados para el control del nivel de concentración de gases y/o vapores dentro de los ambientes laborales interiores en la industria. La dilución de los compuestos tóxicos se alcanza de forma más efectiva mediante un sistema de extracción localizada.

2.1.1.1 Sistema de Extracción Localizado

Bernal et al. (2008) indica que el objetivo de un sistema de extracción localizada es captar el contaminante en la vecindad inmediata del punto donde se ha generado, evitando así que se difunda al ambiente general del local.

Estos sistemas se componen de cuatro elementos básicos: campanas, conductos, depurador y ventilador.

- a) Campanas: Es la parte del sistema que capta los contaminantes.
- b) Conductos: Es la parte del sistema por donde circula el aire con los contaminantes, va conectado a la campana hasta el depurador.
- c) Depurador: Esta parte del sistema se instala para reducir el impacto al medio ambiente atrapando o tratando los contaminantes para que únicamente se expulse aire limpio.
- d) Ventilador: Es la parte que impulsa el aire para que circule desde la campana, conducto, depurador y que proporciona la energía necesaria para el sistema.

La descarga final de los gases y/o vapores se realiza por medio de una chimenea que tenga la altura suficiente para evitar el retorno del aire extraído.

2.1.1.2 Ventilación por Dilución

Según American Conference of Governmental and Industrial Hygienists (2000), aplica la siguiente ecuación para identificar la tasa de ventilación necesaria para mantener la generación de gases, aplicando un balance de material considerando que no hay contaminantes en el suministro del aire. Se plantea la Ecuación 1 el cual compara la generación de gases y la extracción de aire para así determinar la concentración que se logra alcanzar en la zona de ocupación.

$$V * d(C) = G * d(t) - Q * C * d(t) \quad (1)$$

V: Volumen de control (m³)

G: Tasa de generación (mg/h)

Q: Caudal efectivo de ventilación (m³/h)

C: Concentración de gas o vapor (mg/m³)

t: Tiempo (h)

Las consideraciones para el modelamiento son las siguientes:

- Se establece una tasa de generación de compuestos orgánicos volátiles constante, según se describe previamente.
- Para desarrollar la ecuación anterior se define la C₀ como la concentración inicial en un instante determinado.

De las consideraciones anteriores la Ecuación 2 obtenida es la siguiente:

$$\frac{G - Q * C(t)}{G - Q * C_0} = e^{-\frac{Q}{V} * t} \quad (2)$$

Despejando, se puede obtener la Ecuación 3:

$$C(t) = \frac{G}{Q} - \left(\frac{G - Q * C_0}{Q} \right) * e^{-\frac{Q}{V} * t} \quad (3)$$

$C(t)$: Concentración de gas o vapor en función del tiempo. (mg/m³)

C_0 : Concentración inicial. (mg/m³)

Según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2006), según describe en NPT-741, a la ventilación por dilución se debe aplicar un factor de seguridad K, el cual varía entre 1 y 10 de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- La eficacia de la mezcla y distribución de aire del lugar o espacio que se ventila.
- La toxicidad del disolvente. En caso tenga menor límite permisible, mayor es el valor K.
- Consideraciones a criterio según la experiencia del higienista.

La ecuación 4 muestra la relación entre el caudal de diseño y el caudal efectivo de ventilación. Se considera que el factor K varía entre 1 y 10:

$$Q_D = K * Q_e \quad (4)$$

Donde:

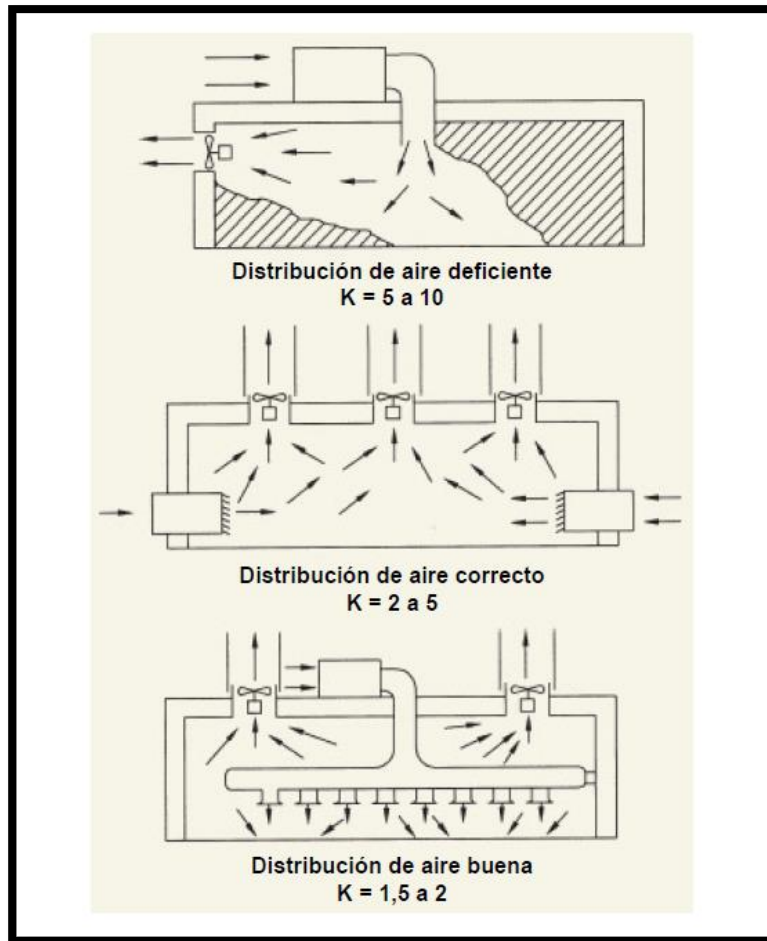
Q_e : Caudal efectivo de ventilación (m³/h)

K: Factor que varía entre 1 y 10 según Figura 1.

Q_D : Caudal de diseño (m³/h)

Figura 1

Factores de dilución en locales con diferentes tipos de ventilación.



Nota. Fuente: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. NTP 741: Ventilación general por dilución.

2.1.2 Velocidad de captura

Bernal et al. (2008) define a la velocidad de captura como la necesaria para conseguir el arrastre del aire contaminado hacia la campana de aspiración. El valor de la velocidad depende de las condiciones en que se genera los contaminantes y el estado del movimiento del aire en el lugar.

Tabla 2

Rango de Velocidad de Captura.

Condiciones de Dispersión de Contaminante	Ejemplos	Velocidad de Captura (m/s)
Liberado sin velocidad en aire tranquilo.	Evaporación de tanques.	[0.254 – 0.508]
Liberado a una velocidad lenta en aire moderadamente tranquilo.	Cabinas de pintura, decapado, soldadura, enchapado.	[0.508 – 1.016]
Generación activa en zona de movimiento rápido de aire.	Cabinas de pintura con poca profundidad, llenado de barriles, trituradora.	[1.016 – 2.54]
Liberado con una velocidad alta en una zona de movimiento de aire rápido.	Molienda, limpieza abrasiva, lijados.	[2.54 – 10.16]

Nota. Fuente: American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH). Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice. 27rd Edition. (2000)

2.1.3 Velocidad de Transporte

Según American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2000), define a la velocidad de transporte a la correspondiente agua debajo de la conexión de la campana del ducto. Esta velocidad se determina de acuerdo al material a transportar en el conducto.

Tabla 3

Rango de Velocidad de Captura

Naturaleza de los contaminantes	Ejemplos	Velocidad de diseño (fpm)
Vapores, gases, humos	Todo tipo de vapores, gases y humos.	1000 – 2000
Humos	Humo de soldadura	2000 – 2500
Polvo fino y ligero	Pelusa de algodón, polvo de madera fino.	2500 – 3000
Polvo seco y polvos	Polvo de moldeo de bakelita, pelusa de yute, polvo de jabón.	3000 – 4000
Polvo industrial promedio	Polvo de molienda, polvo de yute de lana.	3500 – 4000
Polvo pesado	Torneado de metales, polvo de chorro de arena.	4000 – 4500
Polvo más pesado	Polvo de plomo, polvo de cemento húmedo, asbesto, otros.	4500 a más

Nota. Fuente: American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH). Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice. 27rd Edition. (2000)

2.1.4 Tasa de Generación de Compuestos Orgánicos Volátiles

Riveros (2017), la generación de compuestos orgánicos volátiles es emanada de la mezcla de material prima para preparación de pintura a base de solventes. La tasa de generación de compuestos orgánicos volátiles según las condiciones del proyecto se calcula mediante la ecuación 5:

$$G = \frac{A * P * m}{R * T} * \bar{M} * 1000 \quad (5)$$

Donde:

G: Tasa de generación (mg/h)

A: Área de emanación de gases (m²)

P: Presión de vapor a 20°C (Pa)

m: Velocidad de evaporación (m/h)

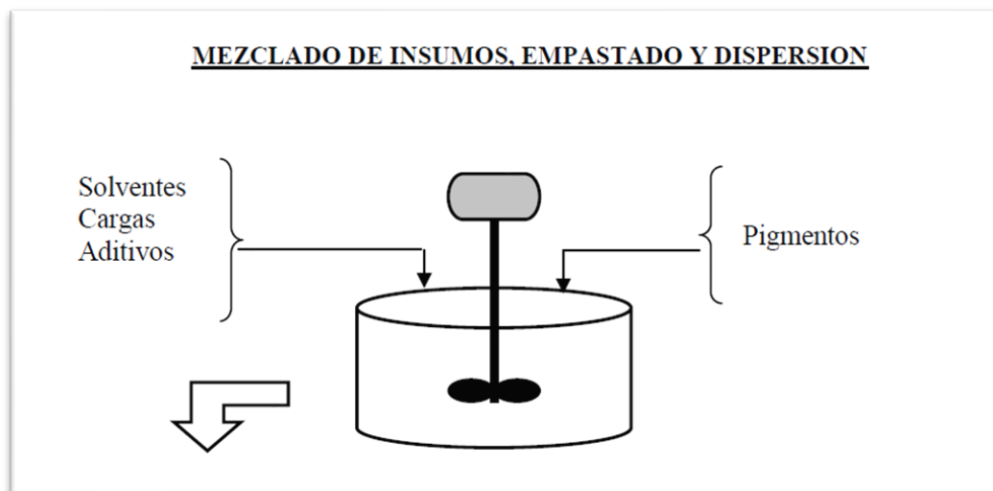
$\bar{M}$: Masa molecular del gas (g/mol)

R: Constante universal de los gases (J/mol.K)

T: Temperatura (K)

Figura 2

Mezclado de insumos para producción de pintura dentro de un contenedor.



Nota. Contenedor con un mezclador en el centro en forma de disco zigzag.

2.1.5 Campanas de Aspiración

Carrillo (2011) describe que los sistemas de extracción localizados logran la captación mediante el uso de campanas. Estas campanas de captación se pueden clasificar según su forma en: cerramiento, receptoras y captoras.

Las campanas de captación permiten extraer contaminantes en el foco de generación generando un flujo de aire que no permita que estos contaminantes se dispersen.

La selección de las campanas se realiza de acuerdo a las condiciones de uso y operación del sistema de ventilación.

2.1.5.1 Brazo Móvil con Campana de Captación

Los brazos móviles se aplican para la extracción de humos, polvo y gases de forma localizada. Su principal beneficio es el fácil posicionamiento y maniobrabilidad para ubicarlo en el punto de emanación de gases.

Los brazos móviles están conformados por tubos o mangas flexibles unidos mediante articulaciones que soportan su propia estructura y permite grados de libertad horizontal o vertical y por una campana de captación que se puede colocar lo más cerca posible al punto de emanación de contaminantes.

Figura 3

Brazo móvil con campana de captación.

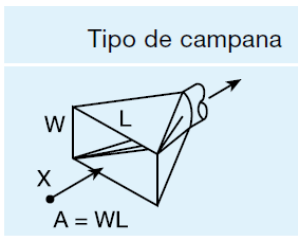


Nota. Brazo móvil de extracción modelo ASA-4 de 4 m de la marca Geovent según anexo 7.

El cálculo para determinar las dimensiones de la campana requerida y la distancia a la que se pueda colocar del punto de emanación de VOC se puede determinar con la ecuación mostrada en la tabla 4.

Tabla 4

Tipo de campana de captación.

Tipo de campana	Descripción	Caudal (cfm)
 Tipo de campana	Campana simple	$Q = v(10x^2 + A)$

Nota. Fuente: INDUSTRIAL VENTILATION a Manual of Recommended Practice 27raEdición.

Considerando la información de la Tabla 4 se plantea la ecuación para la campana del brazo móvil con un área circular según se muestra en la ecuación 6:

$$\begin{aligned}
 Q_{BM} &= v(10x^2 + A) \\
 A &= \pi \times \frac{D^2}{4}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Donde:

Q_{BM} : Caudal de extracción de un brazo móvil (m3/s)

v: Velocidad de captura a una distancia x de la campana (v=0.25m/s)

x: Distancia máxima del punto de emanación a la boca de la campana (m)

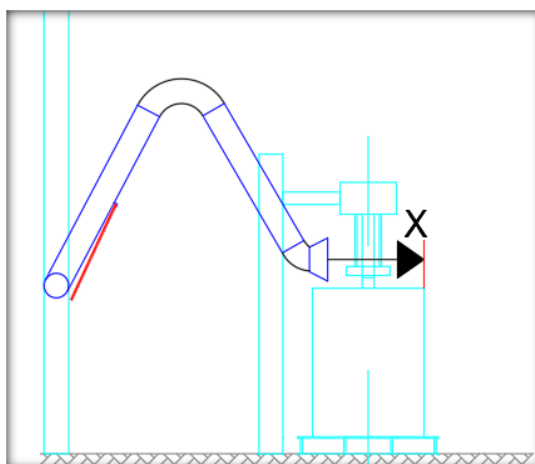
A: Área de la boca de la campana (m2)

D: Diámetro de la boca de la campana (m)

A continuación, se muestra en la Figura 4 un esquema de cómo se montará el brazo móvil, colocándose a una distancia “x” (m) del punto más alejado de emanación de contaminantes.

Figura 4

Esquema de brazo móvil con campana de captación.

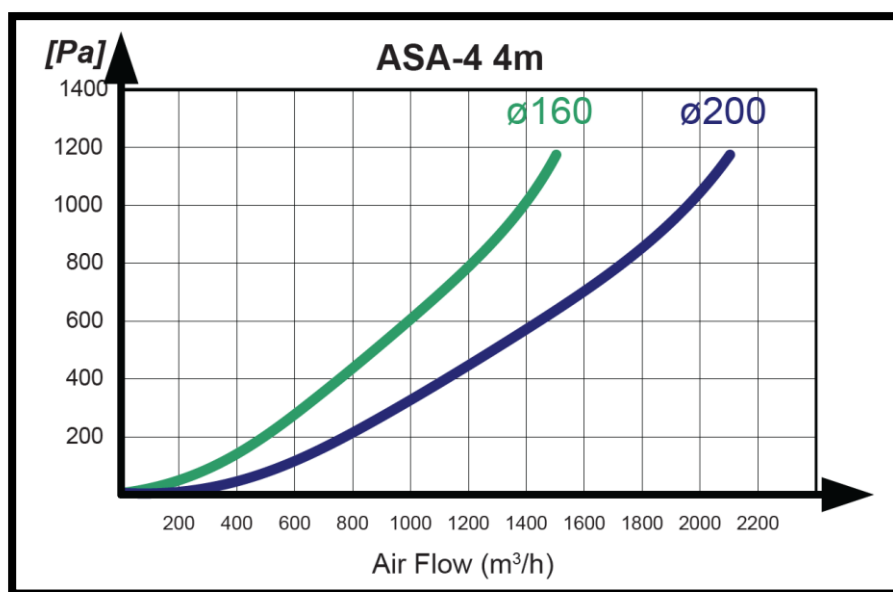


Nota. Brazo móvil de extracción modelo ASA-4 de 4 m de la marca Geovent.

Estos brazos móviles han sido caracterizados mediante una curva que relaciona la caída de presión y el caudal de captación según se muestra en la figura 5.

Figura 5

Curva caudal vs presión del brazo móvil con campana de captación.



Nota. Curva característica del brazo móvil de extracción modelo ASA-4 según el anexo 7.

2.1.6 Ductos de Transporte

El transporte de los gases y VOC se realiza por medio de ductos y se recomienda que sean de sección circular para reducir la fricción al paso del flujo de aire con los gases extraídos. Los ductos de transporte conducen los gases desde la campana de captación hasta el depurador con una velocidad de transporte que se encuentra entre 1000 y 2000 fpm según recomienda la Tabla 3.

2.1.7 Método de diseño de ductos para pérdidas de presión

Según Echeverri (2000) el balanceo de la red de ductos se debe llevar a cabo considerando la velocidad de transporte entre 1000 a 2000 fpm en todo el recorrido de ductos.

Las pérdidas de presión representan la fuerza que opone los ductos al aire al transitar dentro de estos. El cálculo de las pérdidas de presión en los ductos rectos y accesorios se determina usando los datos de caudal de aire y el diámetro de ducto correspondiente según las normas ASHRAE – Fundamentals Handbook 2001.

2.1.7.1 Pérdidas primarias

Es la pérdida que genera el entorno del aire en un tramo recto de ducto debido a la rugosidad y la turbulencia del aire que pasa a través del ducto. ASHRAE evalúa las pérdidas primarias con la siguiente Ecuación 7:

$$\Delta P_1 = f * \frac{L_{ducto}}{D_{ducto}} * \frac{\rho_{aire+voc} * V_t^2}{2} \quad (7)$$

Donde:

ΔP_1 : Pérdidas primarias en los ductos. (Pa)

V_t : Velocidad de transporte. (m/s)

L_{ducto} : Longitud del ducto. (m)

D_{ducto} : Diámetro del ducto. (m)

f : Factor de fricción.

El factor de fricción se puede determinar por medio del diagrama de Moody o por la ecuación de Darcy usando iteraciones, se muestra la Ecuación 8 correspondiente:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7 D_{ducto}} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (8)$$

ε : Rugosidad absoluta del material de tubería. (m)

Re: Número de Reynolds.

El número de Reynolds es adimensional y está definido por la Ecuación 9:

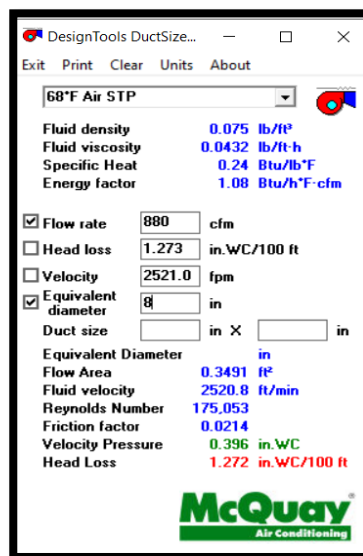
$$Re = \frac{\rho_{VOC} * V_t * D_{ducto}}{\mu} \quad (9)$$

μ : Viscosidad dinámica del fluido (2.17x10-5 Pa.s)

Las pérdidas primarias también se pueden determinar con el uso de diagramas o aplicaciones de diseño como Design Tools Duct Sizer el cual requiere datos de ingreso como el caudal y velocidad, con los cuales se puede obtener la caída de presión lineal y la dimensión del ducto correspondiente.

Figura 6

Software Design Tools Duct Sizer.



Nota. Fuente: McQuay.

2.1.7.2 Pérdidas secundarias

Las pérdidas secundarias son generadas por los accesorios en la red de ductos de extracción, entre los cuales se encuentran codos, bifurcaciones y otros.

Según ASHRAE – Fundamentals Handbook 2001, se aplica la Ecuación 10 para determinar las pérdidas secundarias es la siguiente:

$$\Delta P_2 = Co * Pv = Co * \left(\frac{Vt}{4005} \right)^2 \quad (10)$$

Donde:

ΔP_2 : Caída de presión en el accesorio (inwg)

Co: Coeficiente de pérdida según el tipo de accesorio.

Pv: Presión de velocidad (inwg)

Vt: Velocidad de transporte (m/s)

2.1.7.2.1 Pérdidas Secundarias en Codos

Los codos son accesorios que desvían el recorrido del aire. Los codos de 90° permiten unir tramos rectos que se encuentran en distintas direcciones. El coeficiente de pérdida (Co) para un codo se determina mediante la siguiente tabla:

Tabla 5

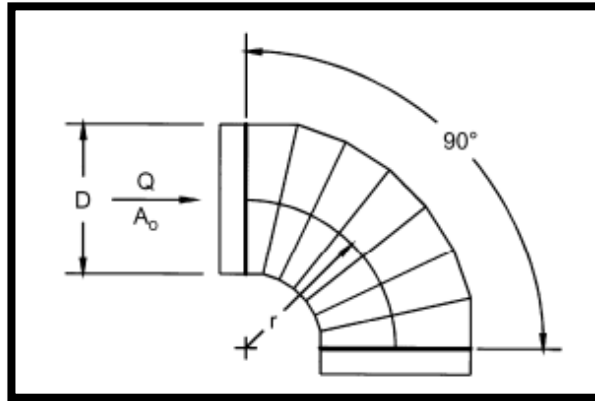
CD3-10 Codo, 90 grados, r/D=2.5

D (mm)	75	150	230	300	380	450	690	1500
Co	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.03

Nota. Fuente: ASHRAE - Fundamentals Handbook 2001.

Figura 7

Codo CD3-10, 90 grados, $r/D=2.5$



Nota. Fuente: ASHRAE - Fundamentals Handbook 2001.

2.1.7.2.2 Pérdidas Secundarias en WYE

Los WYE son accesorios que sirven para desviar el recorrido, en los cuales hay dos entradas y una salida. Una entrada y una salida se encuentran de forma recta y la otra entrada se encuentra con un ángulo recomendado de 30° o 45°. La Ecuación 11 se aplica para este accesorio:

$$\Delta P_{WYE(S-C)} = C_b * \frac{V_S}{V_C} * P_v = C_b * \frac{V_S}{V_C} * \left(\frac{V_S}{4005} \right)^2 \quad (11)$$

Donde:

$\Delta P_{WYE(S-C)}$: Caída de presión en el accesorio WYE (inwg)

C_b : Coeficiente de pérdida

P_v : Presión de velocidad (inwg)

V_s : Velocidad de transporte en el ingreso del accesorio. Ver figura 8.

V_c : Velocidad de transporte en el ingreso del accesorio. Ver figura 8.

El coeficiente de pérdida (C_b) para un codo se determina mediante la tabla 6:

Tabla 6

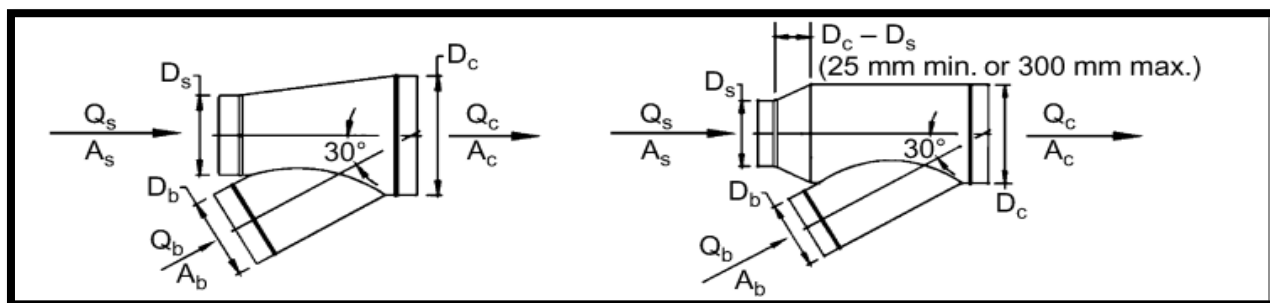
WYE ED5-1, 30 grados, convergente.

As/Ac	Ab/Ac	Cb								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.8	0.2	-3.75	0.11	0.65	0.79	0.84	0.86	0.88	0.94	1.12
	0.3	-9.88	-0.99	0.29	0.63	0.74	0.78	0.81	0.87	1.09
	0.4	-18.88	-2.75	-0.36	0.28	0.48	0.55	0.56	0.57	0.61
	0.5	-29.98	-4.71	-0.96	0.04	0.36	0.46	0.47	0.46	0.47
	0.6	-43.46	-7.05	-1.64	-0.20	0.26	0.41	0.43	0.41	0.39
	0.7	-59.34	-9.77	-2.40	-0.44	0.19	0.38	0.41	0.38	0.34
	0.8	-77.64	-12.88	-3.26	-0.69	0.13	0.38	0.42	0.37	0.31
	0.9	-98.35	-16.38	-4.20	-0.95	0.09	0.40	0.45	0.39	0.30
	1.0	-121.4	-20.27	-5.24	-1.23	0.06	0.45	0.51	0.43	0.31

Nota. Fuente: ASHRAE - Fundamentals Handbook 2001.

Figura 8

WYE ED5-1, 30 grados, convergente.



Nota. Fuente: ASHRAE - Fundamentals Handbook 2001.

Otra forma de determinar estas pérdidas secundarias según ASHRAE es mediante el uso del software Duct Fitting Database el cual permite determinar las pérdidas secundarias con los datos previamente mostrados en cada tipo de accesorio.

2.1.8 Diseño del depurador para VOC

León (2020) describe el proceso de adsorción el cual usa carbón activado. El proceso consiste en pasar los VOC a través de un lecho de carbón activado, el cual mantiene sus propiedades hasta que se sature. Además, afirma que el proceso de adsorción de carbón activado se puede usar para rangos de caudal entre 0.05-30 m³/s y concentraciones de VOC entre 20 y 5000 ppmv.

El diseño del depurador de VOC propuesto está formado por filtros de carbón activado que puedan retener los VOC que ha sido conducido a través de los ductos. Además, este depurador también deberá contar con unos prefiltros de polvo que eviten el paso de partículas más pesadas o cualquier objeto que pueda ingresar al extractor centrífugo.

Las dimensiones del depurador se determinan considerando que la velocidad a través de los filtros debe ser como máximo 500 fpm. La caída de presión que genere el depurador está directamente relacionado a la presencia del carbón activado y los filtros de polvo.

2.1.9 Ventiladores centrífugos

Zúñiga (2021) describe a los ventiladores centrífugos como turbo-máquinas que gracias al aporte de la energía de un rodete que gira sobre su propio eje genera una diferencia de presión produce el movimiento de un volumen de aire.

Los ventiladores son equipos que constan de una voluta, rodete y sistema de accionamiento. El rodete al girar aspira el aire por la parte central, para posteriormente descargar el aire a través de sus álabes. Los ventiladores centrífugos tienen tres tipos de rodetes:

- Ventiladores con álabes curvadas hacia adelante: Tienen álabes curvados en el mismo sentido que la dirección de giro, se usan para mover volúmenes bajos o medios a baja presión. Este tipo de equipos se recomienda usar cuando el aire tiene muy baja concentración de partículas contaminantes.

- Ventiladores con álabes curvadas hacia atrás: Este tipo de ventilador es más silencioso debido a que tienen velocidades más bajas en el rodete.
- Ventiladores con álabes rectos: Tienen los álabes en forma radial. Estos equipos se usan para mover bajos y medianos volúmenes a altas presiones para mejorar la corriente de aire con mayores concentraciones de partículas contaminantes.

Los ventiladores centrífugos a diferencia de los ventiladores axiales ocupan mayor espacio, mueven menos volumen de aire, pero tienen mayores presiones.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 *Compuestos orgánicos volátiles*

Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana (2021) define a los compuestos orgánicos volátiles como sustancias químicas principalmente basadas en carbono que se evaporan fácilmente a condiciones normales (20 °C y 0.01KPa). Los VOC son emitidos principalmente por la industria del transporte, procesos industriales o el uso de solventes que se presentan en la industria de la pintura.

2.2.1.1 Descripción de medidor de VOC

El presente trabajo evaluará la concentración de gases dentro del ambiente laboral de la planta de fabricación de pintura mediante el uso de un equipo de detección de gases portátil modelo X-am 8000.

Como se describe en el Anexo 3, el detector de gases X-am 8000 cuenta con un sensor electroquímico de gases O₂/VOC y a su vez cuantifica la concentración de compuestos orgánicos volátiles en ppm. Además, cuenta con una bomba de succión que permite acoplar una sonda de hasta 45 metros de longitud que permite medir la concentración de gases a una distancia prudente y reduce el riesgo de exposición del operador del detector de gases.

2.2.1.2 Efectos en la salud

La exposición de las personas a los VOC puede generar enfermedades de acuerdo al potencial de peligro. ACGIH (2000) indica que el potencial de peligro para la salud es caracterizado por el valor límite umbral (TLV). El TLV se refiere a la concentración máxima de una sustancia en el aire a la que un trabajador puede estar diariamente sin afectar su salud.

Debido a la variedad de VOC se generan distintos efectos sobre la salud. Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) (2024) los efectos en la salud pueden incluir:

- Irritación de ojos, nariz y garganta.
- Dolores de cabeza, pérdida de coordinación y náuseas.
- Daños en el hígado, los riñones y el sistema nervioso central.
- Algunos compuestos orgánicos pueden causar cáncer en los animales, y se sospecha o se sabe que algunos causan cáncer en los seres humanos.

En el caso específico de un VOC como es el Cumeno, la Organización Internacional del Trabajo (s.f.) ha identificado que la exposición prolongada o repetida puede afectar al hígado o al tracto digestivo, además esta sustancia es posiblemente carcinógena para los seres humanos.

2.2.2 Media ponderada en el tiempo (TWA)

El Decreto Supremo 015-2005-SA (2005) define TWA como la concentración media de un agente químico que se encuentra en la zona de respiración del trabajador y se calcula ponderando respecto al tiempo en un intervalo de una jornada que se considera de 8 horas. Se puede calcular mediante la Ecuación 12:

$$TWA = \frac{\sum C_i * T_i}{8} \quad (12)$$

TWA: Media ponderada en el tiempo.

Ci: Concentración i-ésima

Ti: Tiempo de exposición en horas asociadas a cada valor de Ci

2.2.2.1 Valor límite permisible – media ponderada en el tiempo (TLV-TWA)

El Ministerio de Salud del Perú (2005) considera el valor de TLV-TWA como el valor máximo permitido dentro de un ambiente laboral interno donde un trabajador labora en un periodo de 8 horas diarias.

CAPÍTULO III. Desarrollo del Trabajo de Investigación

3.1 Análisis y procesamiento de datos

3.1.1 Cálculo de la Tasa de Generación de Compuestos Orgánicos Volátiles

De acuerdo al caso de estudio se debe calcular las emisiones de VOC provenientes de los recipientes con pinturas en proceso de preparación según como se muestra en la figura 2. Por ello se aplica la Ecuación 5 que permite determinar la tasa de emisiones. Los VOC que se analizan son los que se han registrado en el informe de Monitoreo de gases mostrados en el anexo 6.

Tabla 7

Resumen de los VOC emanados.

D (mm)	Pvap (Pa)	$\bar{M}$ (g/mol)	G (mg/h)
Cumeno	427	120.19	$9.26 \cdot 10^3$
Xileno	1070	106.16	$2.05 \cdot 10^4$
Tolueno	3800	92.14	$6.32 \cdot 10^4$
Acetona	24000	58	$2.51 \cdot 10^5$
Metiletilcetona	10500	72	$1.37 \cdot 10^5$

Nota. Elaboración propia.

3.1.2 Cálculo de Caudal de Extracción por Dilución

El caudal se calcula usando la Ecuación 3 tomando en consideración la tasa de emanación y concentraciones máximas de VOC registradas. Este caudal debe ser el adecuado para reducir la concentración hasta los valores establecidos en el DS N° 015-2005- MINSA según los datos de la tabla 6.1 del anexo 6.

Tabla 8

Resumen de caudales para mitigar VOC.

COV's	C ₀ (mg/m ³)	G (mg/h)	C(t) (TWA) (mg/m ³)	Qvoc (m ³ /h)
Cumeno	6404.91	9.26*10 ³	246	94
Xileno	2380.99	2.05*10 ⁴	434	68.5
Tolueno	1897.44	6.32*10 ⁴	188	335.6
Acetona	1563.51	2.51*10 ⁵	1187	212
Metiletilcetona	3443.63	1.37*10 ⁵	590	232
Caudal efectivo de ventilación unitario (Q _{e-u}):				941.7

Nota. Elaboración propia.

Para determinar el caudal de diseño unitario (Q_{d-u}) se considera una distribución de aire bueno, de acuerdo a este criterio se aplica la Ecuación 4 con un factor de K=1.5:

$$Q_{d-u} = K * Q_{e-u} = 1.5 * 941.7 = 1412.5 \frac{m^3}{h} <> 830.9 \text{ cfm}$$

Luego de determinar el caudal de diseño unitario (Q_{d-u}) se procede a multiplicar por la cantidad de puntos de extracción los cuales son 6 unidades:

$$Q_D = Q_{d-u} * 6 = 1412.5 * 6 = 8475.19 \frac{m^3}{h} <> 4985.4 \text{ cfm}$$

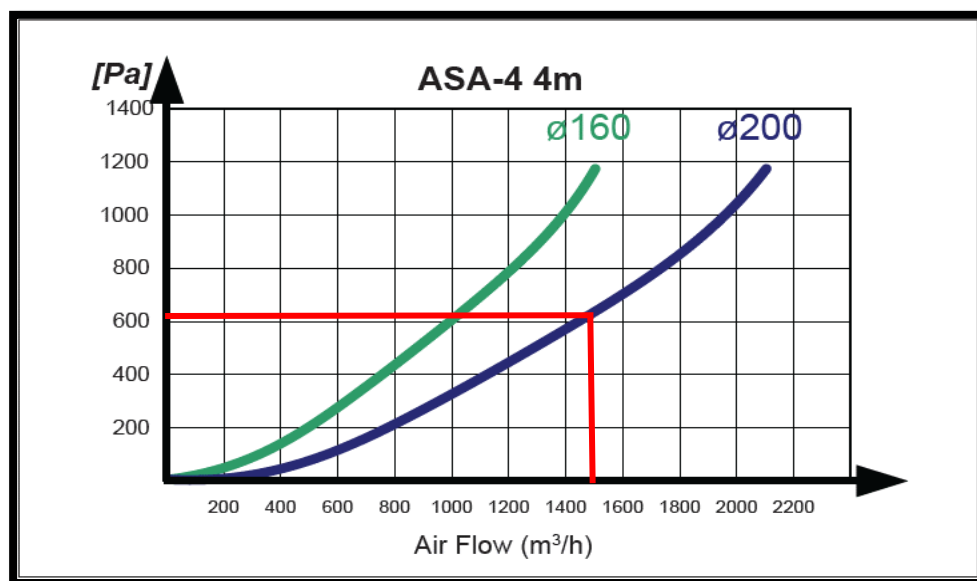
El caudal total requerido para el área de Molienda es 4985.4 cfm.

3.1.3 Cálculo y selección de campana de captación

El sistema de extracción localizada logra una distribución de aire bueno debido al diseño de la campana de captación sostenida por un brazo móvil que se puede colocar muy cerca de la fuente de emanación de VOC producidos por el proceso de molienda de pintura. Considerando la curva mostrada en la figura 5 se recomienda usar la curva del brazo móvil de Ø200 mm que pueda extraer el caudal $Q_{d-u} = 1412.5 \frac{m^3}{h}$.

Figura 9

Gráfico de caudal vs caída de presión del brazo móvil.



Nota. Curva característica del brazo móvil de extracción modelo ASA-4 según anexo 7.

La figura 9 permite determinar la caída de presión del brazo móvil. En la siguiente tabla 9 se muestra el resumen de los datos obtenidos relacionados al brazo móvil.

Tabla 9

Resumen de datos del brazo móvil seleccionado.

MODELO	ASA4-4
Longitud (L)	4 m
Diámetro de tubos (D_{tubo})	Ø8" <> Ø200 mm
Diámetro de campana ($D_{campana}$)	Ø12" <> Ø300 mm
Caída de presión del brazo móvil (SP)	600 Pa <> 2.4"CA.

Nota. Elaboración propia.

Los datos técnicos del brazo móvil permiten verificar la distancia de colocación adecuada entre su campana y la zona de emisión de compuestos orgánicos volátiles según se muestra la figura 4, para lo cual se considera la Ecuación 6.

$$Q_{d-u} = v * (10 * x^2 + A)$$

Q_{d-u} : Caudal de extracción unitario ($Q_{d-u} = 1471.91 \text{ m}^3/\text{h} <> 0.409 \text{ m}^3/\text{s}$)

v : Velocidad de captura (Tabla 1). ($v = 0.25 \text{ m/s}$)

x : Distancia al punto de emanación. (m)

A : Área de la boca de la campana Ø12" ($A=0.073 \text{ m}^2$)

$$0.409 = 0.25 * (10 * x^2 + A)$$

$$x = 0.395 \text{ m}$$

La campana a usarse es una de Ø12" conectado con mangas flexibles a unos tubos de Ø8". Esta campana puede generar una velocidad de captación de 0.25 m/s a una distancia de 0.395 m respecto a la boca de la campana. Bajo estas condiciones la velocidad en la boca de la campana ($V_{campana}$):

$$V_{campana} = \frac{Q_{d-u}}{A} = 5.8 \text{ m/s}$$

3.1.4 Dimensionamiento de ductos de transporte

La red de ductos centraliza la captación de los seis brazos móviles a un ducto principal. En la figura 6.1 del anexo 6 se presenta el esquema de los ductos que se plantea implementar.

El dimensionamiento de ductos se realiza considerando la velocidad de transporte (V_t) para los VOC y el caudal de extracción requerido por los brazos móviles. El rango de velocidad recomendado según la Tabla 3 se encuentra entre 5.08 y 10.16 m/s debido a que se consideran como vapores. En base a este rango de velocidad se dimensiona los valores nominales para ductos. Se presenta en la tabla 10 el resumen de los diámetros obtenidos.

Tabla 10

Resumen de diámetros de ducto de transporte.

CÓDIGO DE DUCTO	CAUDAL (m³/h)	VELOCIDAD DE TRANSPORTE (Vt) (m/s)	DIÁMETRO INTERIOR (m/in)
A-B	8475.19	9.60	(0.558/22)
B-C	7062.66	9.68	(0.508/20)
C-D	5650.12	9.56	(0.457/18)
D-E	4237.59	9.07	(0.406/16)
E-F	2825.06	9.16	(0.330/13)
F-G	1412.53	7.74	(0.254/10)

Nota: Elaboración propia.

3.1.4.1 Método de cálculo de pérdidas

3.1.4.2 Pérdidas primarias

Las pérdidas primarias $\Delta P_{1-ductos}$ en los ductos están generadas por los tramos rectos de la red de ductos. Estas pérdidas se determinaron usando el Software Design Tools Duct Sizer.

Tabla 11

Pérdidas de presión primarias de los ductos.

Código de ducto	Diámetro interior (in)	Caudal (cfm)	Velocidad de transporte (Vt) (m/s)	Pérdida de Presión (inwg/100ft)	Longitud de ducto (m)	Pérdida de presión (inwg)
A-B	22	4985.40	9.60	0.21	50	0.35
B-C	20	4154.50	9.68	0.239	12	0.10
C-D	18	3323.60	9.56	0.266	12	0.11
D-E	16	2492.70	9.07	0.278	12	0.11
E-F	13	1661.80	9.16	0.366	12	0.15
F-G	10	830.90	7.74	0.366	12	0.15
Pérdidas de presión primarias $\Delta P_{1-ductos} =$						0.956

Nota: Elaboración propia.

Las pérdidas primarias resultante de los tramos rectos de los ductos es: $H_1 = 0.956 \text{ inwg}$

3.1.4.3 Pérdidas secundarias

Las pérdidas secundarias ($\Delta P_{2-ductos}$) son generadas por los accesorios en la red de ductos de extracción, entre los cuales se encuentran codos, bifurcaciones y otros. ASHRAE mediante el software Duct Fitting Database puede determinar las pérdidas secundarias con los datos de caudal y diámetros previamente determinados:

(a) Pérdidas Secundarias en Codos

El codo seleccionado es el que se muestra en la figura 7. La caída de presión se determina usando los datos de diámetro y caudal que pasa a través del codo es:

Tabla 12

Datos de caudal y dimensión del codo.

Accesorio	Caudal (m³/h)	Diámetro interior (mm/in)	Velocidad de transporte (Vt) (fpm)
Codo	8475.19	(558/22)	1889.64

Nota. Elaboración propia.

Para el cálculo de caída de presión del codo se usa la Ecuación 10. El coeficiente C_o para el codo de 90° CD3-10 se determinar mediante el uso de la Tabla 6 considerando que el diámetro del ducto es 558 mm, se procede a interpolar entre los diámetros de 450 mm y 690 mm:

Tabla 13

Datos de caudal del codo.

Diámetro (mm)	C_o
690	0.05
558	X
450	0.06

Nota. Elaboración propia.

El valor del coeficiente de pérdida se determina interpolando los datos en la Tabla 13:

$$C_o = 0.056$$

Por lo tanto, la caída de presión del codo resulta mediante el uso de la Ecuación 10:

$$\Delta P_{codo} = 0.056 * \left(\frac{1889.64}{4005} \right)^2 = 0.0124 \text{ inwg}$$

La pérdida de presión en el codo resulta 0.013 inwg, posteriormente se procede a calcular usando los mismos valores de entrada en el software de ASHRAE Duct Fitting Database:

Figura 10

Caída de presión del codo CD3-10 r/D=2.5

CD3-10 Elbow, 7 Gore, 90 Degree, r/D = 2.5 (UMC 1985, Report SRF1285)				
GLOBAL INDUVENT Tel: Fax:		ASHRAE DUCT FITTING DATABASE Version # 5. 00.00		
		miércoles, 5 de Julio de 2023		
(CD3-10) Elbow, 7 Gore, 90 Degree, r/D = 2.5 (UMC 1985, Report SRF1285)				
INPUTS		OUTPUTS		
Diameter (D, in.)	22.0	Velocity (Vo, fpm)	1968	
Flow Rate (Q, cfm)	5195	Vel Pres at Vo (Pv, in. wg)	0.24	
Density (lbm/ft^3)	0.075	Loss Coefficient (Co)	0.06	
		Pressure Loss (in. wg)	0.01	

Nota. Fuente: software ASHRAE Duct Fitting Database.

Se verifica que ambos procedimientos para determinar la caída de presión resultan el mismo valor, por lo se procede calcular la caída de presión de todos los codos de la red de ductos:

Tabla 14**Caída de presión de los ductos.**

Accesorio	Caudal (m ³ /h)	Diámetro interior (m/in)	ΔP_{codo} (inwg)
Codo 1	8831.47	(0.558/22)	0.013
Codo 2	8831.47	(0.558/22)	0.013
Codo 3	8831.47	(0.558/22)	0.013
Codo 4	8831.47	(0.558/22)	0.013
Codo 5	1471.91	(0.254/10)	0.014
Codo 6	1471.91	(0.254/10)	0.014
Caída de presión total ($\sum \Delta P_{codo}$) =			0.08

Nota. Elaboración propia.

(b) Perdidas Secundarias en WYE

El WYE seleccionado es el que se muestra en la figura 8. La caída de presión se determina usando los datos de diámetro y caudal que pasa a través de este accesorio:

Tabla 15**Datos de caudal del WYE.**

Accesorio	Caudal Qc (m ³ /h)	Caudal Qc (m ³ /h)	Diámetro Ds (mm/in)	Diámetro Db (mm/in)	Diámetro Ds (mm/in)
Wye	8475.19	7062.66	(508/20)	(254/10)	(558/22)

Nota. Elaboración propia.

El cálculo de caída de presión de WYE se usa la ecuación 11. El coeficiente Cs para el accesorio WYE se determinar mediante el uso de la Tabla 7, previo a determinar las áreas As y Ac correspondientes a los diámetros Ds y Dc.

El coeficiente de pérdida C_b se calcula por medio de la Tabla 7, por lo que previamente se procede a calcular los siguientes parámetros:

$$\frac{A_s}{A_c} = \left(\frac{D_s}{D_c}\right)^2 = \left(\frac{20}{22}\right)^2 = 0.826$$

$$\frac{A_b}{A_c} = \left(\frac{D_b}{D_c}\right)^2 = \left(\frac{10}{22}\right)^2 = 0.206$$

$$\frac{Q_s}{Q_c} = \frac{7359.56}{8831.47} = 0.833$$

Con los valores obtenidos se procede a interpolar el valor de $C_s = -0.04$. Por lo que la pérdida de presión en este accesorio se calcula usando la ecuación 2.13.

$$\Delta P_{WYE(S-C)} = C_s * \frac{V_s}{V_c} * \left(\frac{V_s}{4005}\right)^2 = (-0.04) * \frac{V_{(20\text{ in})}}{V_{(22\text{ in})}} * \left(\frac{V_{(20\text{ in})}}{4005}\right)^2$$

$$\Delta P_{WYE(S-C)} = (-0.02) * \frac{1985.492}{1969.08} * \left(\frac{1985.49}{4005}\right)^2 = -0.01$$

La pérdida de presión en el codo resulta -0.01 inwg, posteriormente se procede a calcular usando los mismos valores de entrada en el software de ASHRAE:

Figura 11

Caída de presión del codo ED5-1 WYE 30°

ED5-1 Wye, 30 Degree, Converging (Sepsy 1973)			
Input		Output	
Diameter (Ds, in.)	20	Branch	
Diameter (Db, in.)	10	Velocity (Vb, fpm)	1587
Diameter (Dc, in.)	22	Vel Pres at Vb (Pvb, in. wg)	0.16
Flow Rate (Qs, cfm)	4329	Loss Coefficient (Cb)	-1.34
Flow Rate (Qb, cfm)	865.8	Branch Pressure Loss (in. wg)	-0.21
Density (lbm/ft^3)	0.075	Main	
		Velocity (Vs, fpm)	1984
		Velocity (Vc, fpm)	1968
		Vel Pres at Vs (Pvs, in. wg)	0.25
		Vel Pres at Vc (Pvc, in. wg)	0.24
		Loss Coefficient (Cs)	-0.04
		Main Pressure Loss (in. wg)	-0.01

Nota. Fuente: software ASHRAE Duct Fitting Database.

Se verifica que se obtienen los mismos resultados por lo que se procede calcular las pérdidas de presión en todos los accesorios WYE:

Tabla 16

Caída de presión de los ductos.

Accesorio	Caudal Qc (m³/h)	Caudal Qs (m³/h)	Diámetro Ds (m/in)	Diámetro Db (mm/in)	Diámetro Dc (mm/in)	ΔP_{codo} (inwg)
WYE 1	8831.47	7359.56	(0.558/22)	(254/10)	(558.8/22)	-0.01
WYE 2	7359.56	5887.64	(0.558/22)	(254/10)	(508/20)	0.00
WYE 3	5887.64	4415.73	(0.558/22)	(254/10)	(457.2/18)	0.00
WYE 4	4415.73	2943.82	(0.558/22)	(254/10)	(406.4/16)	0.01
WYE 5	2943.82	1471.91	(0.254/10)	(254/10)	(330.2/13)	0.07
Caída de presión total ($\sum \Delta P_{WYE}$) =						0.07

Nota. Elaboración propia.

Con los datos obtenidos previamente se obtiene la caída de presión de la ruta crítica según la distribución mostrada en el anexo 6, correspondientes a los siguientes accesorios.

Tabla 17

Caída de presión de los ductos correspondiente a la ruta crítica.

TRAMOS / ACCESORIOS	ΔP_{ductos} (inwg)
Codo 1	0.013
Codo 2	0.013
Codo 3	0.013
Codo 4	0.013
Codo 5	0.014
Codo 6	0.014
WYE 1	-0.01
WYE 2	0.00
WYE 3	0.00
WYE 4	0.01
WYE 5	0.07
DC-22-1	0.372

DC-22-2	0.102
DC-22-3	0.113
DC-22-4	0.119
DC-22-5	0.156
DC-22-6	0.156
Caída de presión total ($\sum \Delta P$)	1.168

Nota. Elaboración propia.

La caída de presión de los ductos total se determina aplicando un factor de seguridad de 1.2:

$$\sum \Delta P_{Ductos} = 1.2 (1.168 \text{ inwg}) = 1.4 \text{ inwg}$$

3.1.5 Dimensionamiento de Depurador de VOC

El depurador de VOC está conformado por dos etapas de filtración: filtros azules para evitar el paso del polvo y filtros de carbón activado para capturar los VOC. La caída de presión en el depurador según los **datos de campo** es el siguiente:

$$\sum \Delta P_{Depurador} = 3.06 \text{ inwg}$$

3.1.6 Selección de Ventiladores

Recopilando los datos obtenidos previamente el caudal total requerido para los 6 brazos móviles es:

$$Q_{total} = 8831.47 \text{ m}^3/h$$

Las pérdidas de presión total requerido se determinan sumando las pérdidas de presión en los brazos móviles, ductos y del depurador:

$$\Delta P_{Total} = \Delta P_{Brazo móvil} + \Delta P_{Ductos} + \Delta P_{Depurador}$$

$$\Delta P_{Total} = 2.4 + 1.4 + 3.06 = 6.86 \text{ inwg}$$

Tomando en consideración los datos anteriores se muestra el resumen en la tabla 18.

Tabla 18

Datos de caudal y caída de presión del extractor centrífugo.

Zona	Q_{total} (m³/h)	ΔP_{total} (inwg)
Molienda	8831.47	6.86

Nota. Elaboración propia.

El extractor requerido para esta aplicación es de tipo centrífugo de simple entrada. Según el anexo 4 se procede a determinar las características del ventilador, las cuales se resumen en la tabla 19.

Tabla 19

Características del extractor centrífugo de simple entrada.

Características	Zona de molienda
Modelo	200 BC-SW
Caudal (m³/h)	8831.47
Caída de presión (inwg)	6.86
Revoluciones (RPM)	2258
Motor (HP)	12.5

Nota. Elaboración propia.

Respecto a las condiciones de montaje de estos equipos se conectan a la red de ductos por medio de una junta flexible para así evitar la transmisión de vibraciones generadas por el funcionamiento del extractor.

Además, el extractor centrífugo cuenta con una base de concreto armado que soporta la inercia generada por el equipo. El extractor centrífugo también cuenta con soporte anti vibratorios para mantener su correcto funcionamiento con un rango de vibración aceptable.

Figura 12

Extractor centrífugo de simple entrada instalado.



Nota: Extractor anclado en suelo de concreto armado con soportes anti vibratorias.

Capítulo IV. Resultados, Contrastación de Hipótesis, y Discusión de Resultados

4.1 Análisis de resultados

El sistema de extracción localizado impulsado por el extractor centrífugo y conducido a través de la red de ductos, genera la velocidad necesaria para extraer los VOC y se registra en la boca de la campana de los brazos móviles las siguientes velocidades según los datos de la tabla 5.2 del Anexo 5.

Tabla 20

Medición de velocidades de extracción en la boca de la campana.

TAG Brazo Móvil	BM-01	BM-02	BM-03	BM-04	BM-05	BM-06
Velocidad (m/s)	5.20	5.10	5.05	5.10	5.30	5.15

Nota. Fuente: Informe de monitoreo de velocidades. PJ21-0799-QR-MEC-PFV-01.

Tomando en considerando que el diámetro de la boca de la campana es $\varnothing D = 0.3$ m:

$$A_{campana} = \pi \frac{D^2}{4} = \pi \frac{0.3^2}{4} = 0.07 \text{ m}^2$$

El caudal del brazo móvil se puede determinar con la ecuación 13:

$$Q_{BM} = V_{campana} * A_{campana} \quad (13)$$

Donde:

Q_{BM} : Caudal de extracción en un brazo móvil (m³/s)

$V_{campana}$: Velocidad en la boca de la campana (m/s)

$A_{campana}$: Área de la boca de la campana (m²)

Bajo estas condiciones la velocidad promedio en la boca de la campana es 5.15 m/s, por lo que igualando la ecuación 6 y 13 se puede determinar la distancia máxima de extracción real que tienen las campanas de los brazos móviles para extraer los VOC es:

$$V_{cam} * A_{campana} = v(10x^2 + A)$$

$$5.15 * 0.07 = 0.25(10x^2 + 0.07)$$

$$x = 0.37 \text{ m}$$

De la tabla anterior se deduce el caudal total de extracción por cada brazo móvil y el caudal total de extracción del ventilador centrífugo.

Tabla 21

Medición de velocidades de extracción en la boca de la campana.

TAG Brazo Móvil	150-BM-01	150-BM-02	150-BM-03	150-BM-04	150-BM-05	150-BM-06
$Q_{BM} \text{ (m}^3/\text{s)}$	0.368	0.36	0.357	0.36	0.375	0.364

Nota. Elaboración propia.

El caudal total de extracción es la suma de los caudales de cada brazo móvil.

$$Q_{EC} = 2.184 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} <> 7862.4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} <> 4625.35 \text{ cfm}$$

Para estas condiciones se estima que la caída de presión que tiene todo el sistema y la potencia que absorbe el motor del extractor son:

$$SP_{Total} = 6,8 \text{ inwg}$$

$$POT = 8 \text{ HP}$$

La potencia absorbida en este caso se encuentra dentro de la capacidad del motor seleccionado de 12.5 HP.

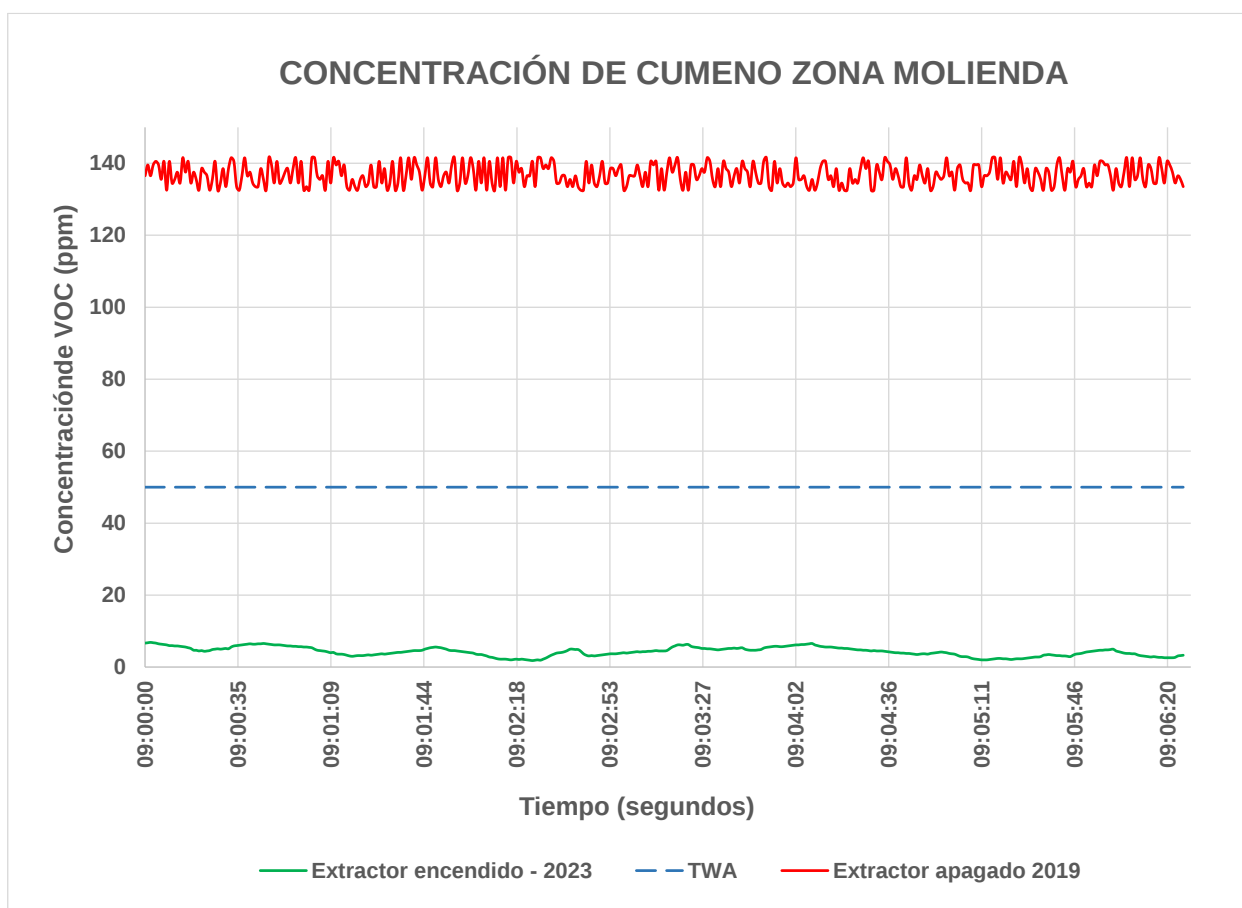
La concentración de VOC dentro de este ambiente laboral se ve reducida durante el funcionamiento del sistema de extracción localizada. Se realizaron mediciones en la zona de

respiración y se toma como referencia uno de los VOC encontrados, el Cumeno tiene el límite máximo permitido corresponde a 50 ppm según la tabla 6.1 del anexo 6.

Según los datos obtenidos con la medición del detector de gases VOC en un periodo de 6 minutos se muestra en la gráfica de la figura 13.

Figura 13

Concentración de Cumeno en zona de molienda.



Nota. Fuente: Informe de monitoreo de gases. PJ21-0799-QR-MEC-MG-01.

Además del Cumeno se puede obtener la proporción en la que se presentan los otros gases mediante los factores de conversión del analizador de gases según la tabla 6.3 del anexo 6. En la tabla 22 y 23 se muestran las concentraciones de los gases del 2019 y 2023.

Tabla 22

Concentración de VOC sin ventilación en 2019.

Agentes químicos	Sensor	F.R.	Concentración 2019		
			TWA	Promedio	Máximo
			ppm	ppm	ppm
Cumeno	PID HC	1.8	50	136.8	1305
Xileno	PID HC	0.8	100	57.6	549.2
Tolueno	PID HC	0.7	50	52.8	503.5
Acetona	PID HC	0.9	500	69.1	654.1
Metiletilcetona	PID HC	1.6	200	122.6	1169.4

Nota. Fuente: Informe de monitoreo de gases. PJ21-0799-QR-MEC-MG-01.

Tabla 23

Concentración de VOC con ventilación en 2023.

Agentes químicos	Sensor	F.R.	Concentración 2023		
			TWA	Promedio	Máximo
			ppm	ppm	ppm
Cumeno	PID HC	1.8	50	4.31	6.9
Xileno	PID HC	0.8	100	1.91	3.07
Tolueno	PID HC	0.7	50	1.67	2.68
Acetona	PID HC	0.9	500	2.15	3.45
Metiletilcetona	PID HC	1.6	200	3.83	6.13

Nota. Fuente: Informe de monitoreo de gases. PJ21-0799-QR-MEC-MG-01.

En la tabla 23 se verifica que la concentración medida en el 2019 alcanza valores pico de hasta 140 ppm, sin embargo, con el funcionamiento del sistema de extracción localizado se logró reducir la concentración hasta niveles entre 2 y 10 ppm según la gráfica de la figura 13.

4.2 Contrastación de la Hipótesis

Hipótesis	Resultados
HIPÓTESIS GENERAL: El diseño del sistema de ventilación localizada logrará mitigar la concentración de VOC en una planta de fabricación de pintura.	El funcionamiento del sistema de extracción localizado obtuvo los siguientes resultados: Reducir la concentración de VOC dentro del ambiente laboral hasta valores límites permisibles dentro de una planta de fabricación de pintura, y evitar que estos gases se esparzan. La medición de la concentración del Cumeno realizada con el detector de gases demostró que su concentración logró reducirse por debajo de su límite máximo permisible de 50 ppm según establece el DS N° 015-2005-SA. De la misma forma se pudo determinar que los otros VOC también se redujeron por debajo de sus respectivos límites máximos permisibles.

Conclusiones

El diseño del sistema de extracción localizado logró que los VOC no se expandan dentro de la planta de fabricación de pintura alcanzando una gran efectividad debido al diseño mecánico que usa brazos móviles. Los brazos móviles permiten manipular y direccionar al punto de emanación de gases teniendo un alcance de extracción desde la boca de la campana de hasta 37 cm para la captación de este tipo de gases.

Las mediciones realizadas sobre el nivel de concentraciones del cumeno dentro de la planta de pintura demuestra que su concentración se ha reducido por debajo de la concentración máxima permitida de 50 ppm según establece los requerimientos de la normativa nacional. El funcionamiento del sistema de extracción localizado logró mitigar la concentración del cumeno hasta 6.9 ppm como máximo.

Se logró el control de la concentración de los VOC que representan un riesgo para el personal que labora dentro de estos ambientes hasta niveles por debajo de los límites máximos permitido asegurando así la mejora de la calidad de aire y reduciendo en gran medida los riesgos de salud a los que se expone el personal que labora durante 8 horas de forma continua.

Según la distancia entre la campana del brazo móvil y los envases que contienen la pintura en proceso de molienda hay un rango de velocidad recomendado que se encuentra entre [5.15, 5.8] m/s y la distancia varía inversamente entre [37,39] cm.

Recomendaciones

El sistema de ventilación tiene una velocidad de extracción en la campana de 5.15 m/s que no debe reducirse debido a que reduce la efectividad con la que se captura los VOC presentes en el aire. Sin embargo, tampoco se recomienda elevar esta velocidad debido a que se estará extrayendo parte de la materia prima que se usa en la mezcla de preparación de pintura perjudicando su calidad.

La velocidad de extracción en la boca de la campana se ha diseñado con un valor de 5.8 m/s, en caso se supere puede generar sobre presión en la manga del brazo móvil por lo que puede deformarlo y obstruir el caudal que pasa a través de este, por lo que se recomienda tener en consideración puntos de alivio que permitan regular en exceso de presión en la red de ductos.

Se recomienda implementar un control del extractor centrífugo mediante un sensor de presión correctamente ubicado que pueda regular el caudal automáticamente según la cantidad de brazos móviles que requieran extraer. Además, esto también permitirá tener un mejor ahorro energético debido a que el extractor operaría según la carga requerida.

Se debe realizar inspecciones periódicas en cada uno de los brazos móviles midiendo la velocidad en la boca de su campana y realizando mediciones periódicas de las concentraciones de VOC para verificar la efectividad del sistema.

Las emisiones al exterior son competencias referentes al medio ambiente que están fuera del alcance del DS N° 015-2005-SA, aun contando el sistema de ventilación con un depurador, se recomienda realizar los análisis de emisiones en la chimenea.

Referencias bibliográficas

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2025). *El impacto de los compuestos orgánicos volátiles en la calidad del aire interior*. <https://espanol.epa.gov/cai/el-impacto-de-los-compuestos-organicos-volatiles-en-la-calidad-del-aire-interior>
- American Conference of Governmental and Industrial Hygienists. (2000). *Industrial ventilation: A manual of recommended practice for design* (27th ed.). ACGIH.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2001). *ASHRAE handbook: Fundamentals*. ASHRAE.
- Baqués Merino, R. A., Ávila Roque, I., & Panol Quintana, M. (2021). Clasificación de los sistemas de ventilación en el ambiente laboral. Requisitos fundamentales para su diseño y evaluación en salud y seguridad. *Revista Cubana de Salud y Trabajo*, 22(2), 17-26.
- Bernal, F., Castejón, E., Cavallé, N., & Hernández, A. (2008). *Higiene industrial*. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (5ta edición).
- Carrillo, H. (2011). *Diseño y cálculo de un sistema de extracción localizada de humos metálicos y gases provenientes del proceso de soldadura*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral].
- Coronel, D., Toasa, P., Espinoza, R., & Erreyes, J. (2024). *Evolución de la ventilación mecánica en la contaminación ambiental en su relación con las emisiones contaminantes producidas a través del proceso de soldadura SMAW en el campus Ochoa León del Instituto Superior Tecnológico Ismael Pérez Pazmiño*. *Ciencia Latina Internacional*, 8(4). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4

- Decreto Supremo N.º 015-2005-SA. (2005) *Reglamento sobre valores límite permisibles para agentes químicos en el ambiente de trabajo*. Diario Oficial El Peruano, 6 de julio de 2005.
- Echeverri, C. (2020). *Ventilación industrial* (2ª ed.). Ediciones de la U.
- Geovent. (s.f.). *Brazo ASA-4* [Ficha técnica]. Geovent. <https://www.geovent.es/product/brazo-asa-4/#Technical-data>
- Guerrero Ruiz, M. R. (2023). Aplicación del Método Control Banding para reducir el riesgo por exposición de los trabajadores a agentes químicos peligrosos en una empresa de pinturas en Lima (Tesis de maestría). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Hagras, A. E., Ahmed, M. E., El-Khatib, S. M., & Ali, H. A. (2017). Exposure to airborne particles and organic solvents among painting workers. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)*, 11(10), 26–38.
- Hernández-Baltazar, L., Santos-Vázquez, U., Martínez-García, S. G., Arias-Rico, J., Santos-Villegas, N., & Baltazar-Téllez, R. M. (2023). Riesgos a la salud en los trabajadores por exposición a pinturas. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 12(23), 94–100.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2006). *NTP 741: Ventilación general por dilución*. INSST. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/21-serie-ntp-numeros-716-a-750-ano-2006/ntp-741-ventilacion-general-por-dilucion>
- Instituto de Salud Pública de Chile. (2021). Guía de evaluación cuantitativa de sistemas de ventilación localizada.
- León, L. (2020). *Apoyo técnico al Grupo de Gestión Ambiental Urbana del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible con respecto a la vigilancia y control de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana. (2021). *Guía nacional para el control, monitoreo y seguimiento de emisiones de compuestos orgánicos volátiles*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/GUIA-EMISIONES-COMPUESTOS-VOLATILES.pdf>
- Organización Internacional del Trabajo. (s.f.). *Ficha de seguridad de la sustancia química (ICSC) 170: Cumeno*. https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=170&p_edit=&p_version=2&p_lang=es
- Rincón, C. G., Ortiz, A. M. (2015). Descripción de la jerarquía de controles frente al peligro químico por exposición a compuestos orgánicos volátiles generados por procesos de pintura en el sector industrial. *Investigación en Enfermería: Imagen y Desarrollo*, 17(1), 149-169.
- Riveros, R. (2017). *Compuestos orgánicos volátiles (COVs) en la industria de pinturas y sus disolventes en Perú – análisis de caso y estrategias de gestión ambiental y salud ocupacional*. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Zúñiga, P. (2021). *Recomendaciones básicas para la selección de ventiladores (Nota técnica N71)*. Instituto de Salud Pública de Chile.

Anexos

Anexo 1: Matriz de consistencia.....	48
Anexo 2: Informe de servicio de monitoreo IFM-19-0151	49
Anexo 3: Ficha técnica de detector de gases X-am 3500/8000	52
Anexo 4: Curva de operación del extractor centrífugo del área de molienda.....	57
Anexo 5: Informe de mediciones de velocidad. PJ21-0799-QR-MEC-PFV-01.....	58
Anexo 6: Informe de mediciones de gases PJ21-0799-QR-MEC-MG-01	62
Anexo 7: Ficha técnica de brazo de extracción modelo ASA-4	66

Anexo 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Dependiente
¿Se podrá reducir la alta concentración de VOC dentro de un ambiente laboral en una planta de pintura?	Diseñar de un sistema de ventilación localizada para la mitigar la concentración de VOC en una planta de fabricación de pintura.	El diseño del sistema de ventilación localizada logrará mitigar la concentración de VOC en una planta de fabricación de pintura.	Concentración de compuestos orgánicos volátiles (VOC).
			Variable Independiente
			Diseño del sistema de ventilación localizada.

Anexo 2: Informe de servicio de monitoreo IFM-19-0151

2.1 Metodología de Muestreo y Análisis

Para realizar el monitoreo se optó por el protocolo de medición U.S.EPA TO14 apéndice B (fuente Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air - Second Edition), por lo que se contó un analizador fijo de detección de compuestos orgánicos volátiles. Este monitor tiene un tiempo de respuesta de 4 segundos, caracterizándolo como un instrumento idóneo para determinación de trazas de vapores orgánicos en el ambiente del trabajo. En la siguiente tabla se muestra el tiempo de muestreo en el área de interés.

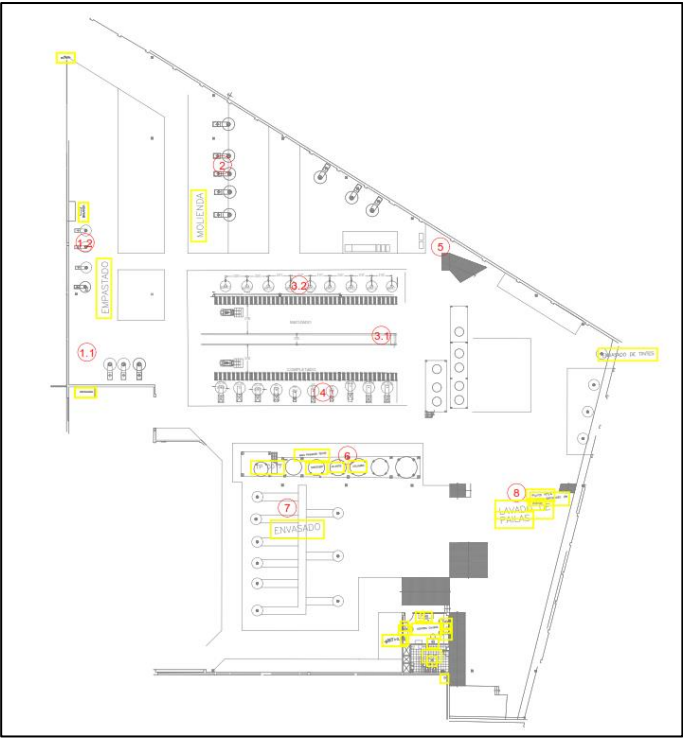
Tabla 2.1

Ubicación del punto de muestreo.

PUNTO	ÁREA	INICIO		TÉRMINO	
		Fecha	Hora	Fecha	Hora
1	Molienda	Mar. 19/08	15:29 a.m.	Mié. 21/08	09:40 a.m.

Figura 2.1

Punto de muestreo en zona de producción de la planta de pintura.



2.2 Equipos utilizados

En la tabla 2.2 se detallan los principales equipos utilizados para el desarrollo del presente informe.

Tabla 2.2

Equipo utilizado en proceso de muestreo de gases.

NOMBRE DE EQUIPO	MARCA / MODELO	SERIE	PARÁMETROS
Detector de gases	Drager Polytron 7000		- Acetona de
			- etileno
			- Metanol
Detector de gases	Drager Pir 3000	ARLA-0148	- Isopropanol
			- Tolueno
			- Xileno
			- Acetona
			- Metiletilcetona
			- Cumeno

2.3 Actividades Preliminares

Para cada punto de monitoreo se realizaron las siguientes actividades:

- Gestión de permisos para acceder al punto de Monitoreo.
- Ubicación del módulo en consenso con los usuarios del servicio.
- Descarga de datos con un interfaz IR y el software LogChart2.
- Traslado al siguiente punto de Monitoreo.

2.4 Metodología de Muestreo

Para el monitoreo de los vapores orgánicos se utilizó dos equipos de la marca Drager, el método de medición fue por difusión, el cual consiste en el ingreso del gas a la cámara de medición a través de un filtro o membrana. El tiempo de monitoreo por cada punto son de 24 horas como mínimo.

2.5 Resultados del Monitoreo

Los resultados obtenidos en el punto de muestreo de los detectores de gases.

Tabla 2.3

Equipo utilizado en proceso de muestreo de gases.

VOC	Fórmula	DV (air)	Sensor	Máximo [ppm]	Mínimo [ppm]	Promedio [ppm]	TWA [ppm]	IR
Acetato de etileno (vinilo)	C ₄ H ₆ O ₂	3	OV1	32.0	0.0	17.6	400	0.0
Metanol	CH ₃ OH	1.1	OV1	48.0	0.0	26.4	200	0.1
Isopropanol	C ₃ H ₈ O	2.1	OV1	12.0	0.0	6.6	200	0.0
Tolueno	C ₇ H ₈	3.14	PIR 3000	503.5	0.0	52.8	50	1.1
Xileno	C ₈ H ₁₀	3.7	PIR 3000	549.2	0.0	57.6	100	0.6
Acetona	C ₃ H ₆ O	2	PIR 3000	659.1	0.0	69.1	500	0.1
Metiletilcetona	C ₄ H ₈ O	2.41	PIR 3000	1169.4	0.0	122.6	200	0.6
Cumeno	C ₉ H ₁₂	4.2	PIR 3000	1305.0	0.0	136.8	50	2.7

DV (aire): Densidad Relativa del Vapor respecto al aire

IR: Índice de Riesgo, es el resultado de dividir el Valor Promedio entre el TWA

TWA: Limite Permissible de concentración para una jornada laboral de 8 horas.

*Los datos descargados están en el Anexo1: Punto N° 2: Monitoreo de vapores explosivos en Inflamables de la

Planta Esmalte - Área de Molienda.

Anexo 3: Ficha técnica de detector de gases X-am 3500/8000



Dräger X-am® 8000 Equipos de detección multi-gas

Las mediciones de supervisión y control nunca fueron tan fáciles y cómodas: El detector de 1 a 7 gases mide gases tóxicos así como gases y vapores inflamables y oxígeno simultáneamente, ya sea en modo bomba o difusión. El innovador diseño de señalización y las prácticas funciones de ayuda garantizan plena seguridad a lo largo de todo el proceso.

Fácil alternancia entre modo bomba y modo difusión

Detección de impactos que le informa de intensos esfuerzos mecánicos

Asistentes para la mediciones de supervisión, detección de fugas y pruebas específicas de benceno con el PID (pre-tubo)

Módulo Bluetooth® opcional para conectar con la app CSE Connect para Android e iOS

Bluetooth® es una marca comercial registrada de Bluetooth SIG, Inc.



El indicador D-Light verde brillante (opcional) indica: probado y listo para usar

Cinco puertos para los DrägerSensors® para medir hasta siete gases; dos nuevos sensores PID de alto rendimiento

Pantalla a color de fácil lectura con función de zoom

Carga por inducción

Homologación del rendimiento de las mediciones por un organismo de homologación externo (Europa): Gases y vapores inflamables: metano, propano, n-nonano, oxígeno y determinados gases tóxicos

Dräger. Tecnología para la vida.

Especificaciones técnicas

Dimensiones (Al x An x Pr)	179 x 77 x 42 mm	
Peso	Aprox. 495 g, dependiendo de la configuración de sensores, sin correa, sin bomba Aprox. 550 g, dependiendo de la configuración de sensores, sin correa, con bomba	
Carcasa	Carcasa duradera de dos componentes	
Pantalla	Pantalla a color de alto contraste	
Temperatura	-20 °C hasta 50 °C	
Presión	700 a 1300 hPa (función de medición) 800 a 1100 hPa (uso en zonas con riesgo de explosión)	
Humedad relativa	10 a 90 % (a corto plazo hasta 95 %) HR	
Alarmas	Visual:	3 LED "rojos" (alarmas de gas), 3 LED "amarillos" (alarmas del dispositivo)
	Acústica	Multitono, normalmente 100 dB(A) a 30 cm
	Vibratoria	
Índice de protección de entrada	IP 68	
Suministro de energía	Batería de iones de litio, recargable, carga por inducción	
Tiempo de funcionamiento (difusión)	Con CatEx y 3 sensores EC	Normalmente 24 horas
	Con IR y 3 sensores EC	Normalmente 22 horas
	Con 3 sensores EC	Normalmente 120 horas
	Con CatEx, PID y 3 sensores EC	Normalmente 17 horas
	Con IR, PID y 3 sensores EC	Normalmente 16 horas
	Con CatEx-, IR y 3 sensores EC	Normalmente 14 horas
	Solo PID	Normalmente 42 horas
Tiempos de carga	Normalmente 4 horas después de su uso durante un turno máx. de 10 horas	
Tiempo de puesta en marcha	Normalmente < 60 segundos para los sensores estándar	
Almacenamiento de datos	24 Mb, p. ej., a 10 minutos por hora de exposición al gas con valores de medición cambiantes cada segundo en los 7 canales: Aprox. 400 horas	
Funcionamiento con bomba	Longitud máx. de la sonda: 45 m	
Certificados	Marcado de protección frente a explosiones:	
	ATEX/IECEx	I M1/II 1G Ex da ia I Ma, Ex da ia IIC T4 Ga
	EAC	PO Ex da ia I Ma X 0Ex da ia IIC T4 Ga X
	cCSAus	Clase I, Zona 0, AEx da ia IIC T4 Ga Clase II, Div. 1, Grupo E, F, G C22.2 N.º 152, ANSI-ISA 12.13.01:2000
	ANZEx	Ex da ia I Ma, Ex da ia IIC T4 Ga
	Rendimiento de las mediciones:	
	Protección frente a explosiones según ATEX:	
	EN 60079-29-1 (CatEx 125 PR, gas CatEx 125 PR, (Dual) IR Ex, XXS H2 HC) CatEx 125 PR y IR Ex (Dual): metano, propano, n-nonano, etc. La siguiente disposición se aplica al CatEx 125 PR y al gas homologado «n-nonano»: Solo en combinación con el adaptador de bomba «Nonano», referencia: 3720225	
	Deficiencia/exceso de oxígeno: EN 50104 (XXS O ₂ / XXS O ₂ PR)	

Especificaciones técnicas

		Gases tóxicos: EN 45544-1, EN 45544-2, EN 45544-3 (XXS H ₂ S LC, XXS CO LC, (Dual) IR CO ₂)
	Directivas	Software: EN 50271 2014/34/EU (ATEX) 2014/30/EU (EMV) 2011/65/EU (RoHS) 2014/90/EU (MED)
	Homologación en el sector naval/Marina	DNV GL
Garantía del fabricante	3 años para el equipo 1 año para la fuente de energía	
	Sensores: consulte el manual "DrägerSensor® & Portable Instruments Handbook"	

Información para pedidos

Dräger X-am® 8000		Referencia	
Dräger X-am® 8000		83 25 800	
Consta de: Equipo con fuente de alimentación (batería de iones de litio), registrador de datos, correa de hombro, certificado del fabricante, certificado de calibración y cargador (opcional). Un dispositivo totalmente funcional puede equipar hasta 5 sensores y una bomba integrada opcional.			
Las instrucciones de uso se incluyen de serie en los siguientes idiomas: DE, EN, FR, ES, PT, IT, NL, RU, ZH, JA			
Instrucciones de uso bajo pedido (es necesario indicarlo al hacer el pedido), también disponibles en los siguientes idiomas: DA, FI, NO, SV, PL, HR, SL, SK, CS, BG, RO, HU, EL, TR, KO		90 33 656	
Las instrucciones de uso, si se solicitan, también están disponibles en los siguientes idiomas: LT, LV, ET		93 00 108 disponible para descargar en el sitio web: www.draeger.com/ifu	
Manual técnico disponible en los siguientes idiomas: DE, EN, FR, ES, RU		90 33 665 disponible para descargar en el sitio web: www.draeger.com/ifu	
Opciones de dispositivos seleccionables al hacer el pedido	Bomba integrada con adaptador de bomba Módulo Bluetooth® Transpondedor RFID (El módulo de carga/cargador de alimentación puede descartarse al realizar el pedido.)		
Puerto 1: Sensor PID o IR	Puerto 2: Sensor IR o CatEx	Puertos 3-5: Sensores electroquímicos (formato XXS).	
Sensores	Rango de medición	Resolución	Referencia
Cat-Ex 125 PR ^{1, 2}	0–100 % LIE 0–100 vol % CH ₄	1 % LIE	68 12 950
Cat-Ex 125 PR Gas ¹	0–100 % LIE 0–100 vol % CH ₄ 0–50000 ppm CH ₄ L	1 % LIE 10 ppm, límite de detección 50 ppm	68 13 080
Dual IR Ex/CO ₂ ES ¹	0–100 % LIE 0 – 100 vol. % metano, propano, etano, n-butano	1 % LIE 0,1 vol. % CH ₄	68 51 880

Información para pedidos

	0 – 5 vol. % CO ₂	0,01 vol. % CO ₂ o 50 ppm CO ₂	
Dual IR Ex/CO ₂ HC ¹	0–100 % LIE 0 – 100 vol. % metano, propano, etano, n-butano 0 – 100 vol. % CO ₂	1 % LIE 0,1 vol. % CH ₄ 0,1 Vol. %	68 00 276
IR Ex ES ¹	0–100 % LIE 0 – 100 vol. % metano, propano, etano, n-butano	1 % LIE 0,1 vol. % CH ₄	68 51 881
IR CO ₂ ES	0 – 5 vol. % CO ₂	0,01 vol. % CO ₂ o 50 ppm CO ₂	68 51 882
PID LC ppb (10.6 eV) ³	0,05-10 ppm isobutileno 0-5 ppm benceno	Según el valor del gas, comenzando por 10 ppb	68 13 500
PID HC (10.6 eV) ³	0-2000 ppm isobutileno 0-1000 ppm benceno	Según el valor del gas, comenzando por 0,1 ppm	68 13 475
XXS O ₂ ²	0–25 vol %	0,1 Vol. %	68 10 881
XXS O ₂ PR	0–30 vol %	0,1 Vol. %	68 00 530
XXS O ₂ 100	0–100 vol %	0,5 vol %	68 12 385
XXS O ₂ /H ₂ S LC	0–25 vol % O ₂ 100 ppm H ₂ S	0,1 Vol. % 0,1 ppm	68 14 137
XXS CO LC ²	0–2000 ppm	1 ppm	68 13 210
XXS CO HC	0–10 000 ppm	5 ppm	68 12 010
XXS CO / H ₂ compensado	0–2000 ppm CO	2 ppm	68 11 950
XXS H ₂ S LC ²	0-100 ppm	0,1 ppm	68 11 525
XXS H ₂ S HC	0-1000 ppm	2 ppm	68 12 015
XXS CO LC / H ₂ S LC	0–2000 ppm CO/ 0-100 ppm H ₂ S	1 ppm CO 0,1 ppm H ₂ S	68 13 280
XXS CO LC / O ₂	0–2000 ppm CO/ 0–25 vol %	1 ppm CO 0,1 vol % O ₂	68 13 275
XXS CO LC / HCN	0–2000 ppm CO 0 – 50 ppm HCN	1 ppm CO 0,1 ppm HCN	68 00 040 Póngase en contacto con Dräger para comprobar su disponibilidad
XXS NO	0-200 ppm	0,1 ppm	68 11 545
XXS NO ₂	0-50 ppm	0,1 ppm	68 10 884
XXS NO ₂ LC	0-50 ppm	0,02 ppm	68 12 600
XXS SO ₂	0-100 ppm	0,1 ppm	68 10 885
XXS PH ₃	0-20 ppm	0,01 ppm	68 10 886
XXS PH ₃ HC	0–2000 ppm	1 ppm	68 12 020
XXS HCN	0-50 ppm	0,1 ppm	68 10 887
XXS HCN PC	0-50 ppm	0,5 ppm	68 13 165
XXS NH ₃	0-300 ppm	1 ppm	68 10 888
XXS CO ₂	0–5 vol %	0,1 Vol. %	68 10 889
XXS Cl ₂	0-20 ppm	0,05 ppm	68 10 890
XXS H ₂	0–2000 ppm	5 ppm	68 12 370
XXS H ₂ HC	0–4 vol %	0,01 vol %	68 12 025
XXS OV	0-200 ppm	0,5 ppm	68 11 530
XXS OV-A	0-200 ppm	1 ppm	68 11 535
XXS Aminas	0-100 ppm	1 ppm	68 12 545

Información para pedidos

XXS Mercaptanos	0-40 ppm	0,5 ppm	68 12 535
XXS COCl ₂	0-10 ppm	0,01 ppm	68 12 005
XXS Ozono	0-10 ppm	0,01 ppm	co68 11 540

Sensores con cinco años de garantía

XXS E CO	0-2000 ppm	2 ppm	68 12 212
XXS E H ₂ S	0-200 ppm	1 ppm	68 12 213
XXS E O ₂	0-25 vol%	0,1 % vol.	68 12 211

ES = Ahorro de energía

HC = Alta concentración

¹ Calibraciones especiales posibles para los sensores de explosividad Ex (estándar: metano).

² Tres años de garantía del fabricante para estos sensores. Los derechos legales derivados de defectos no se verán afectados.

³ Para actualizar un instrumento existente con PID, pida también: Juego de piezas de repuesto del sensor 68 13 767

Fuente de alimentación

Suministro eléctrico (incluye carcasa posterior)	Se incluye de serie	83 26 817
--	---------------------	-----------

Accesorios de carga

Módulo cargador por inducción (1 equipo)	se incluye de serie, puede deseleccionarse	83 25 825
Adaptador para carga a red		83 25 736
Cargador de corriente para 1 equipo	se incluye de serie, puede deseleccionarse	83 16 997
Cargador de corriente 100-240 V CA; 1,33 A, para cargar hasta 5 equipos	requiere el adaptador 83 25 736	83 21 849
Cargador de corriente 100-240 V CA; 6,25 A, para cargar hasta 20 equipos	requiere el adaptador 83 25 736	83 21 850
Cable conector para vehículo 12/24 V para cargar 1 equipo		45 30 057
Cable conector para vehículo 12/24 V CC para cargar hasta 5 equipos	requiere el adaptador 83 25 736	83 21 855
Montaje en vehículo	requiere adaptador para enchufe de alimentación (83 25 736) y cable conector de vehículo 12/24 V CC (83 21 855)	83 27 636
Kit cargador de vehículo	con fuente de alimentación (83 21 855), adaptador (83 25 736) y kit de montaje (83 27 636) - sin unidad de potencia inductiva	83 28 283

Accesorios de bomba

Filtro de polvo y agua para la entrada de la bomba	incluido en el dispositivo cuando la bomba está seleccionada como opción	83 19 364
Filtro de polvo y agua para la entrada de la bomba (paquete de 20 filtros)		37 05 997
Adaptador de bomba	incluido en el dispositivo cuando la bomba está seleccionada como opción	83 26 820
Adaptador de bomba «Nonano»	Se requiere si la homologación del rendimiento de medida según EN 60079-29-1 es necesaria para el CatEx a fin de medir el gas «Nonano».	37 20 225

Anexo 4: Curva de operación del extractor centrífugo del área de molienda

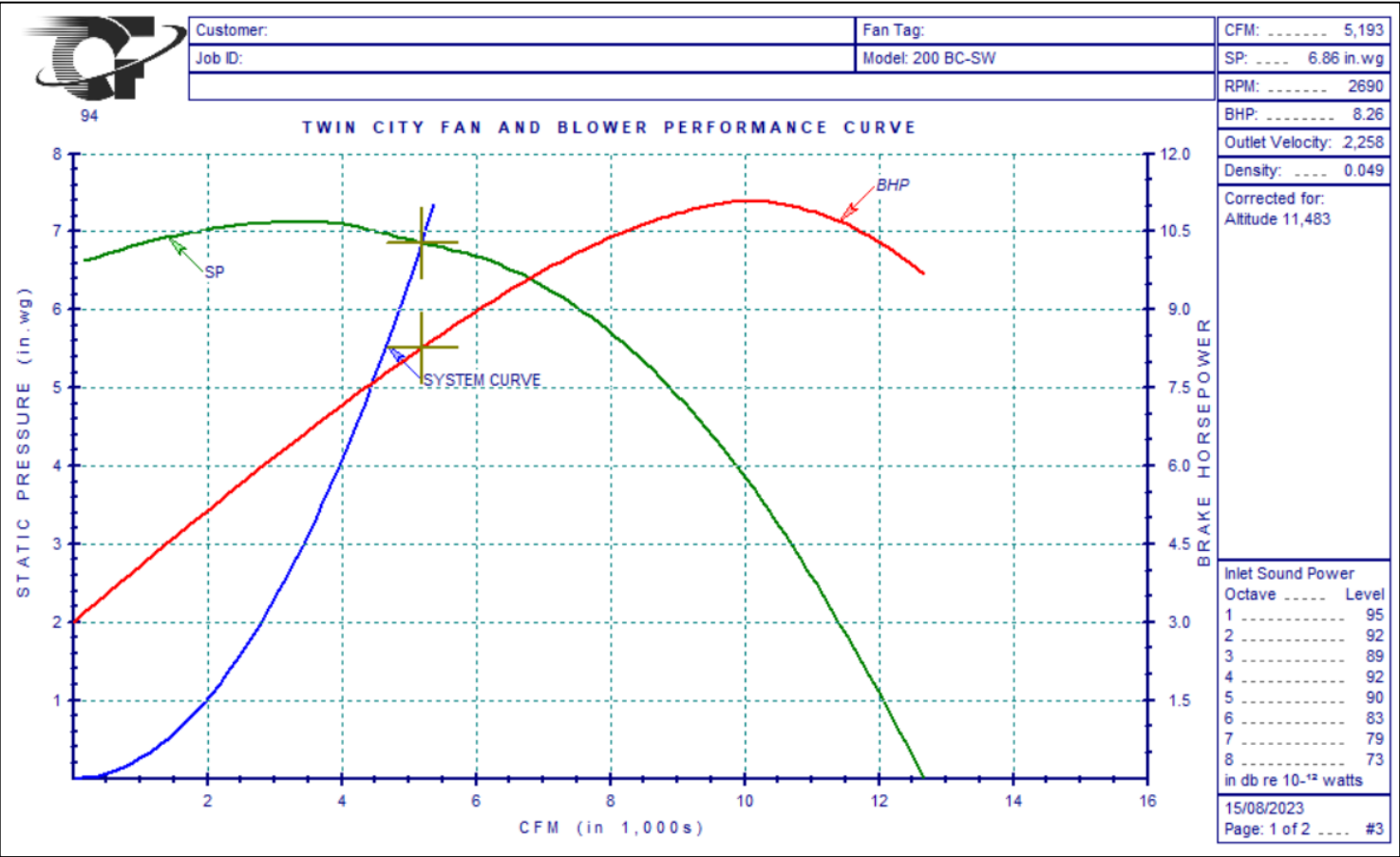


Figura 5.1

Cálculo de caudal de campana de captación con pestañas del brazo móvil.

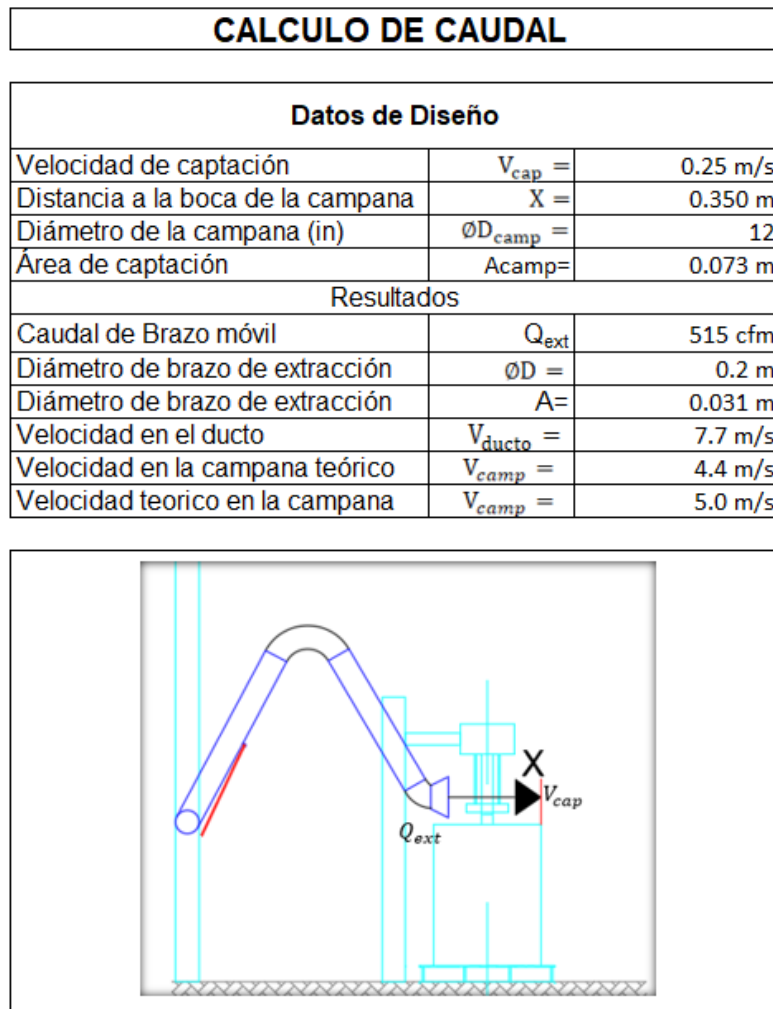
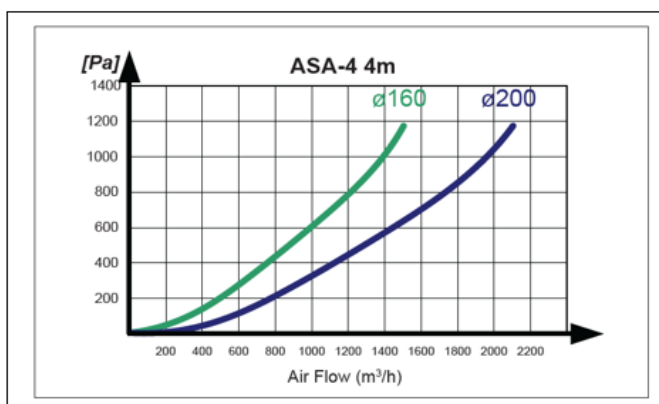


Figura 5.2

Cálculo de caída de presión y velocidad de captación de campana.

Caudal - Caída de presión		
Caudal de Brazo móvil	Q_{ext}	876 m ³ /h
Longitud de brazo extractor	L =	4 m
Caída de presión en brazo extractor	SP =	250 Pa
Caída de presión en brazo extractor	SP =	1 inH ₂ O

VELOCIDAD EN LA CAMPANA (V _{camp})	
Velocidad de operación	5.0 m/s
Velocidad mínima en la campana	4.4 m/s
Velocidad máxima en la campana	10.0 m/s



El equipo utilizado en el monitoreo de campo para las mediciones de velocidad de aire en el área de Molienda, se mencionan en la siguiente tabla:

Tabla 5.1

Equipo utilizado para medición de Velocidad de Captura.

Parámetro	Equipo	Marca	Modelo	Serie	Rango	Certificado
Velocidad	Anemómetro	LUTRON	AM-4206	S.024146	0.4 – 25 m/s	LFV-22-1037

Tabla 5.2

Medición de velocidades de extracción en la boca de la campana.

TAG Brazo Móvil	BM-01	BM-02	BM-03	BM-04	BM-05	BM-06
Velocidad (m/s)	5.20	5.10	5.05	5.10	5.30	5.15

Figura 5.4

Certificado de calibración de anemómetro



CERTIMET
Certificaciones e Innovaciones Metroológicas

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACORDE
A LA NORMA TÉCNICA ISO/IEC 17025:2017



CERT-MF-011 Rev.1
Página 1 de 2

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LFV-22-1037

Laboratorio de Flujo

Expediente: 415-22-1301

1. Solicitante : ACIS PROCESS S.A.C.

Dirección : Av. Cerro Grande Nro. 192 Urb. San Ignacio De Monterrico Lima - Lima - Santiago De Surco

2. Instrumento de Medición : Anemómetro

Marca : LUTRON

Modelo : AM-4206

Serie : S.024146

Intervalo de Indicación : 0,4-25,0 m/s

División de escala : 0,01 m/s

Exactitud : $\pm (2\% + 0.2 \text{ m/s})$

Procedencia : Taiwan

Identificación : No Indica

Área o Ubicación : No Indica

Fecha de Calibración : 2022-12-27

Fecha de Emisión : 2022-12-27

3. Método de Calibración

Determinación del error del instrumento e incertidumbre, por método de comparación directa con patrón trazable a INACAL

4. Lugar de Calibración

Laboratorio de Flujo de Certimet SAC

Mza. e Lote. 1 H.U. Viv. los Angeles, San Juan de Lurigancho - Lima

5. Patrón de Referencia

Patrón Utilizado	Nº Certificado	Trazabilidad
Barotermohigrómetro	CCP-0261-001-22	ILAC-MIRA A2LA
Equipo patrón FLUKE	LFP-333-2021	INACAL-DM

Este documento de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son válidos únicamente para el objeto calibrado y se refieren al momento y a las condiciones en que fueron ejecutadas las mediciones.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones le corresponde al usuario programar una recalibración a intervalos apropiados, la cual está en función al uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

CERTIMET S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios del uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados del documento.

Este documento de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa y por escrito de CERTIMET S.A.C.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable del laboratorio de CERTIMET S.A.C.

Autenticación



Autorizado





Ing. Lenin Ludeña A.
Gerente Técnico

Jr. Las Galaxias 2600 Of. 202
Urb. Los Angeles - SJL

+51 941 101 546
(01) 380 3727

informes@certimet.com.pe
ventas@certimet.com.pe

www.certimet.com.pe

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LFV-22-1037

Laboratorio de Flujo

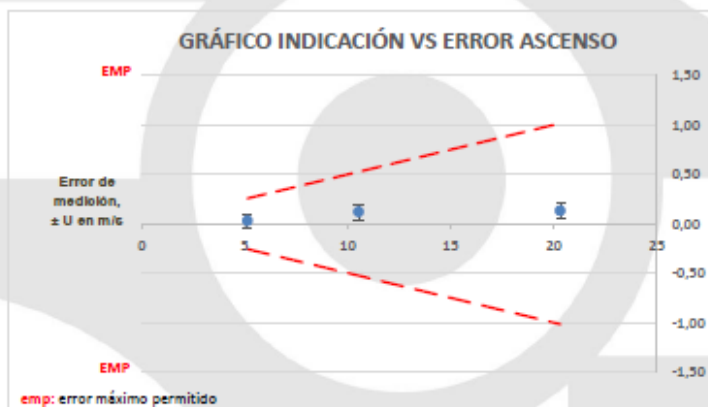
Expediente: 415-22-1301

6. Condiciones Ambientales

	Temperatura	Humedad	Presión Atmosférica
Inicial	20,4 °C	62,9 %hr	983,1 mbar
Final	20,3 °C	63,0 %hr	983,1 mbar

7. Resultados de la Calibración

Indicación del Patrón m/s	Indicación del Equipo m/s	Corrección m/s	Incertidumbre m/s
5,13	5,1	0,03	0,07
10,52	10,4	0,12	0,08
20,33	20,2	0,13	0,08



8. Observaciones:

- » La incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura $k=2$ de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95%.
- » Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de CALIBRADO en el instrumento.

***** Fin del documento *****

Anexo 6: Informe de mediciones de gases PJ21-0799-QR-MEC-MG-01

6.1 METODOLOGÍA DE MEDICIÓN APLICADA

Para realizar el monitoreo se optó por el protocolo de medición U.S.EPA TO14 apéndice B (fuente Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air - Second Edition), por lo que se contó un analizador portátil de detección de compuestos orgánicos volátiles. Este monitor tiene un tiempo de respuesta de 1 segundos, caracterizándolo como un instrumento idóneo para determinación de trazas de vapores orgánicos en el ambiente del trabajo.

Estándares de comparación: La identificación de los parámetros se realizó de acuerdo a los componentes de interés producidos en el área de Molienda.

Tabla 6.1

Valor límite permisible de los gases emitidos.

PARÁMETRO VOC	FÓRMULA	UNIDAD	(1) TLV-TWA	(2) TLV-STEL
Tolueno	C ₇ H ₈	ppm	50	188
Xileno	C ₈ H ₁₀	ppm	100	434
Acetona	C ₃ H ₆ O	ppm	500	1187
Metiletilcetona	C ₄ H ₈ O	ppm	200	590
Cumeno	C ₉ H ₁₂	ppm	50	246

- (1) Valor Limite Permisible - Media Ponderada en el Tiempo (TLV-TWA), representan las condiciones en las cuales la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos 8 horas diarias y 40 horas semanales durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos a su salud. [Fuente: Decreto Supremo N° 015-2005 –SA].
- (2) Valor Límite Permisible– exposición de corta duración (TLV-STEL), Las exposiciones por encima del TLV-TWA hasta el valor STEL no deben tener una duración superior a 15 minutos ni repetirse más de cuatro veces al día, debe haber por lo menos un periodo de 60 minutos entre exposiciones sucesivas de este rango. [Fuente: Decreto Supremo N° 015-2005-SA].

Tabla 6.3

Datos de medición de gases en el área de molienda.

Parámetro	Fórmula	Sensor	F.R.	TLV-TWA (ppm)	SIN EXTRACTOR				CON EXTRACTOR	
					2019		2023		2023	
					Promedio	Máximo	Promedio	Máximo	Promedio	Máximo
					(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
Tolueno	C7H8	PID HC	0.7	50	52.80	503.50	9.77	15.56	1.67	2.68
Xileno	C8H10	PID HC	0.8	100	57.60	549.20	11.17	17.78	1.91	3.07
Acetona	C3H6O	PID HC	0.9	500	69.10	654.10	12.56	20.00	2.15	3.45
Metiletilcetona	C4H8O	PID HC	1.6	200	122.60	1169.40	22.33	35.56	3.83	6.13
Cumeno	C9H12	PID HC	1.8	50	136.8	1305	25.12	40.00	4.31	6.9

A continuación, se muestran las siguientes graficas correspondientes a la concentración del Cumeno en el área de Molienda en el año 2023:

Figura 6.2

Registro de medición de la concentración de cumeno.

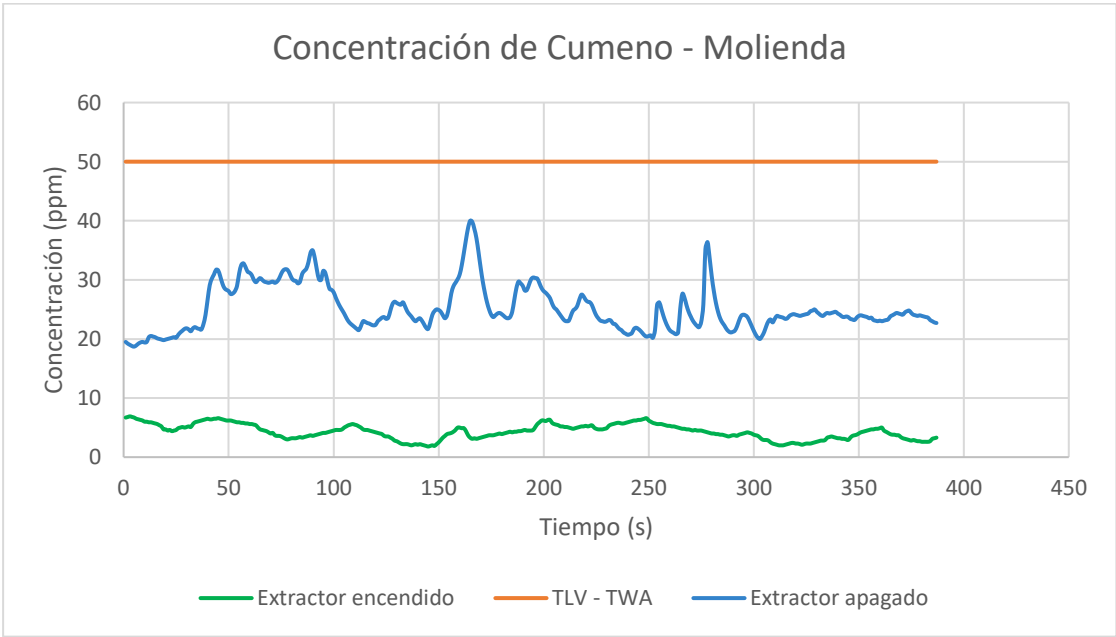


Figura 6.3

Registro fotográfico de la medición de la concentración de Cumeno con el uso del medidor de gases XAM 8000 con extractor apagado.



Figura F.4

Registro fotográfico de la medición de la concentración de Cumeno con el uso del medidor de gases XAM 8000 con extractor encendido.



Anexo 7: Ficha técnica de brazo de extracción modelo ASA-4



PJ21-0799-QR-MEC-BM-FT-01

Extraction arms

ASA-4 arm – with alu

Geovent ASA-4 extraction arm for welding fumes, grinding dust and fumes etc, where the operators needs are in focus when it comes to maneuverability, ergonomic and efficiency. The hose and ALU duct are mounted on the outside of the carrying arm, in order to let the air flow pass more freely resulting in the lowest possible pressure drop. The arm is mainly constructed in ALU parts, in order to keep the total weight down, which result in smooth operation. The arm has 3 stables and 3 turning points. The arm can be extended up to 8m by means of extension arms. The ASA4 is available in length of 2,0m, 3,0 m, and 4,0 m.

The ASA-4 arm is a duct arm with external carrying arm and aluminum duct with hose, see picture. ASA-4 has a lower pressure drop, than the ASA-3, but use and construction is basically almost the same as the ASA-3.

Description

Wall bracket: Steel console in powder enamel yellow RAL 1007. The console is turn able up to 180°.

Hood: Light weight aluminum hood in ø160 or ø200mm, which is equipped with an integrated ergonomic handle. The hood is as standard covered in powder enamel yellow RAL 1007. Move able in all possible positions.

Can be supplied in custom made colors upon request/ surcharge.

Arm and friction joints: 25x25 mm aluminum pipe, connected via joints with friction discs and plate springs. Inner arm part is reinforced with 30x30 mm EL-galvanized bracket and equipped with gas spring

Capacity: Up to 2.000 m³/h (depending on ø diameter), which makes it suitable for all types of welding fumes and glue fumes, where large airflows are required.

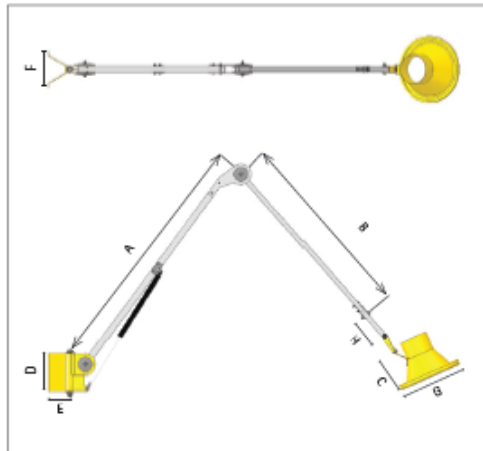
Typical use: ø160 mm = 800-1.000 m³/h for MIG/MAG welding in black steel ø200 mm = 800-1.000 m³/h for MIG/MAG welding in stainless steel

Recommended installation height: min. 2.500 mm



ASA-4 arm

Dimensions



Ordering table		
Art. No	Description	Weight
ASA4-2-160	2,0 m – ø160 mm	9 kg
ASA4-2-200	2,0 m – ø200 mm	10 kg
ASA4-3-160	3,0 m – ø160 mm	10 kg
ASA4-3-200	3,0 m – ø200 mm	11 kg
ASA4-4-160	4,0 m – ø160 mm	11 kg
ASA4-4-200	4,0 m – ø200 mm	12 kg

Arm	A [mm]	B [mm]	D [mm]	E [mm]	F [mm]
2,0 m	870	700	206	120	200
3,0 m	1370	1210	206	120	200
4,0 m	1865	1700	206	120	200

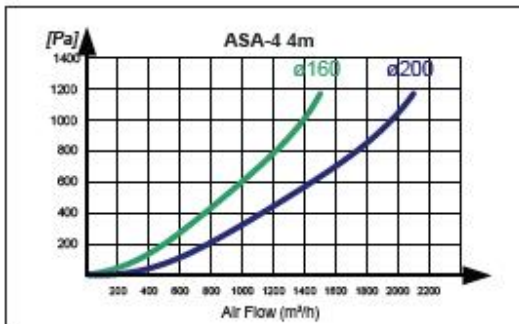
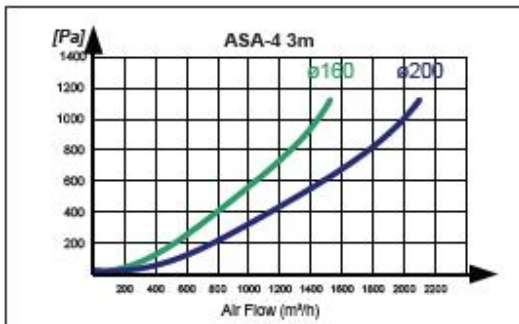
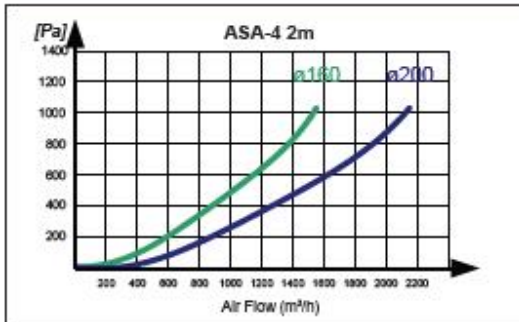
Hood	C [mm]	G [mm]	H [mm]
Hood ø125 mm	240	250	200
Hood ø160 mm	225	355	200
Hood ø200 mm	180	355	200

HOVEDGADEN 86 • DK - 8831 LØGSTRUP • Tlf.: (+45) 8664 2211 • E-mail: salg@geovent.dk

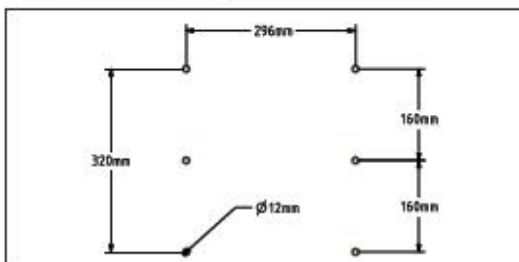


ASA-4 arm with alu

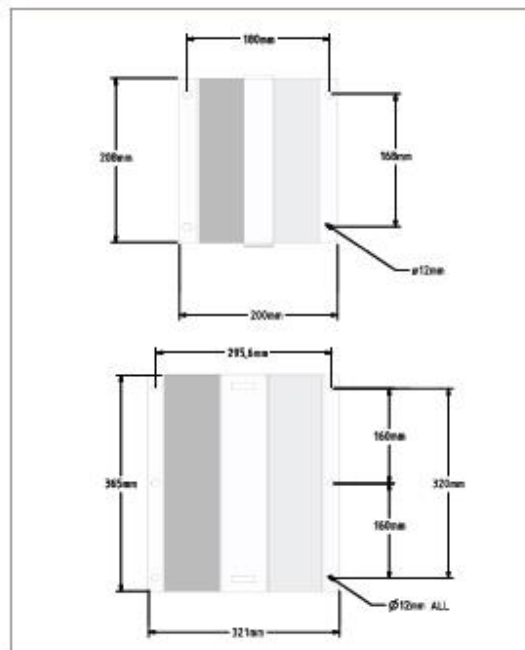
Pressure drop



Dimensional drawing of the extension arm



Dimensional drawing of the wall bracket



Special Solution