



**Diseño de sistema de extracción y ventilación localizada
para el control de humos en el área de fundición**

Wilson Andrés García Vásquez

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Mecánico

Asesor

Andrés Felipe Colorado Granda, Doctor (PhD) en Ingeniería Mecánica y Aeroespacial

Asesor externo de la empresa Ventilación y Control Ambiental

Jorge Mario Hernández Torreglosa, Especialista en Ventilación y Aire Acondicionado

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Mecánica
Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita

(García Vásquez, 2024)

Referencia

W. A. García Vásquez (2024). *Diseño de un sistema de extracción y ventilación localizada para el control de humos en el área de fundición*. Trabajo de grado profesional, Ingeniería Mecánica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2024.

Estilo APA 7 (2020)



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Pedro León Simancas.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A mi madre Rosa Vásquez por su crianza con amor y nobleza desde pequeño me inculco la importancia de la educación y el conocimiento, a pesar de las adversidades siempre me enseñó a ser un hombre responsable, humilde, honesto y respetuoso. Cuya virtud es mi mayor fuente de inspiración.

A mi padre Jaime García que a pesar de no vivir siempre conmigo, desde pequeño me inculco hacía el buen camino, me apoyo hasta el final de este siglo académico y quiere lo mejor de mí. A mi hermana Liceth Contreras que desde pequeño cuidaba de mí y siempre ha estado pendiente de mí.

A mis dos hijas, Hazel García y Heily García que se han vuelto el motivo más grande por el que quiero salir adelante y ser una persona de bien, que me miren como una figura ejemplar y digna de admirar.

A Yuris Galeano madre de mis dos hijas por darme el regalo más grande que hay en el mundo, además desde que la conocí a estado velando por mí y ayudándome en lo que más pueda.

Finalmente, a mi familia y amigos que no creían que podía salir adelante y formarme como profesional.

Agradecimientos

A todos los familiares y amigos que han sido parte del proceso educativo y de alguna manera han influido positivamente para llevarme a ser la persona que actualmente soy.

A mis profesores que gracias a sus conocimientos inculcaron el amor por el conocimiento y el sentido crítico que me caracteriza.

A mi asesor Ing. Andrés Colorado por su profesionalismo y diligencia durante el proceso de práctica académica.

A mi asesor Ing. Jorge Hernández por ser abierto con el conocimiento y facilitarme el camino hacia la perspectiva industrial.

A todos los compañeros de Ventilación y Control Ambiental S.A.S, que compartieron parte de sus conocimientos conmigo, y además me hicieron ver el mundo laboral con otra perspectiva.

Tabla de contenido

Resumen	10
Introducción.....	11
1 Objetivos.....	12
1.1 Objetivo general	12
1.2 Objetivos específicos	12
2 Marco teórico.....	13
2.1 Normativa técnica.....	13
2.2 Calidad del aire	13
2.3 Conceptos generales de la ventilación	14
2.4 Sistema de ductos.....	14
2.5 Componentes de ductería	14
2.6 Sistema de captación	15
2.7 Tipos de captación	16
2.8 Métodos de dimensionamiento y balanceo de ductos	17
2.8.1 Método de Igual Fricción	17
2.8.2 Método de presión de velocidad.....	18
2.9 Sistema de impulsión (Ventilador)	18
2.10 Tipos de ventilador	18
2.11 Sistema de filtración	19
3 Metodología.....	20
4 Levantamiento sistema LEV	21
5 Ingeniería Conceptual.....	28
5.1 Valores de referencia para el diseño de sistema LEV.....	28
5.2 Unidades de medidas utilizadas	29
5.3 Sistema LEV 1 – Horno fusor.....	30
5.3.1 Descripción del proceso.....	30
5.3.2 Campana y encerramientos para el control de emisiones.....	30
5.3.3 Ruta Sistema de Extracción	34
5.3.4 Equipo de control de contaminación.....	35
5.3.5 Tipo de del Ventilador	36
5.3.6 Chimenea	37
5.4 Sistema LEV 2 – Horno de sostenimiento y punto manual	38
5.4.1 Descripción del proceso.....	38
5.4.2 Campana y encerramientos para el control de emisiones.....	38
5.4.3 Ruta Sistema de Extracción	42
5.4.4 Equipo de control de contaminación.....	43
5.4.5 Tipo de del Ventilador	44
5.4.6 Chimenea	45
5.5 Sistema LEV 3 – Celdas robotizadas	45

5.5.1	Descripción del proceso.....	45
5.5.2	Campana y encerramientos para el control de emisiones.....	46
5.5.3	Ruta Sistema de Extracción	49
5.5.4	Equipo de control de contaminación.....	50
5.5.5	Tipo de del Ventilador	50
5.5.6	Chimenea	51
6	Ingeniería general o básica	52
6.1	Sistema LEV 1 – Horno fusor.....	52
6.1.1	Campanas, encerramiento y sistema de extracción para el control de emisiones.....	52
6.1.2	Diseño y balanceo del sistema de ductos de extracción	58
6.1.3	Equipo de control de contaminación.....	61
6.1.4	Selección de ventilador.....	63
6.1.5	Silenciador	65
6.1.6	Chimenea	67
6.1.7	Diámetro y Velocidad de descarga	67
6.1.8	Altura de la chimenea.....	68
6.1.9	Descarga tipo Tubo concéntrico	68
6.2	Sistema LEV 2 – Hornos de sostenimiento	69
6.2.1	Campanas, encerramiento y sistema de extracción para el control de emisiones.....	69
6.2.2	Diseño y balanceo del sistema de ductos de extracción	76
6.2.3	Equipo de control de contaminación.....	80
6.2.4	Selección de ventilador.....	82
6.2.5	Silenciador	83
6.2.6	Chimenea	85
6.2.7	Diámetro y Velocidad de descarga	85
6.2.8	Altura de la chimenea.....	85
6.2.9	Descarga tipo Tubo concéntrico	86
6.3	Sistema LEV 3 – Celdas robotizadas	87
6.3.1	Celdas robotizadas 1 y 2	87
6.3.2	Celdas robotizadas 3.....	89
6.3.3	Diseño y balanceo del sistema de ductos de extracción	91
6.3.4	Equipo de control de contaminación.....	94
6.3.5	Chimenea	96
6.3.6	Diámetro y Velocidad de descarga	97
6.3.7	Altura de la chimenea.....	97
6.3.8	Descarga tipo Tubo concéntrico	98
7	Conclusiones	99
8	Referencias	100
9	Anexo.....	101

Lista de tablas

Tabla 1. INDUSTRIAL VENTILATION, velocidades de captura recomendadas	28
Tabla 2. INDUSTRIAL VENTILATION, velocidades de transporte recomendadas	29
Tabla 3. Cálculo de área abierta para acceso de aire	55
Tabla 4. Cálculo de flujo para cada campana para el manejo de escoria	56
Tabla 5. Cálculo de flujo de aire.....	57
Tabla 6. Balanceo del sistema de ductos de extracción.....	60
Tabla 7. Condiciones para la selección del ventilador y presión estática calculada	61
Tabla 8. Ventilador seleccionado	64
Tabla 9. Cálculo de atenuación acústica del silenciador	67
Tabla 10. Cálculo de área abierta para acceso de aire	72
Tabla 11. Cálculo de flujo para cabina de encerramiento punto manual	74
Tabla 12. Caudal de flujo para túnel de enfriamiento	75
Tabla 13. Caudales de flujo campana suspendida coquillado	76
Tabla 14. Balanceo del sistema de ductos de extracción.....	78
Tabla 15. Condiciones para la selección del ventilador y presión estática calculada.....	79
Tabla 16. Ventilador seleccionado	82
Tabla 17. Cálculo de atenuación acústica del silenciador.	84
Tabla 18. Cálculo de área abierta para acceso de aire	88
Tabla 19. Cálculo de flujo en las dos áreas de acceso de aire	90
Tabla 20. Rejillas de extracción de aire para las celdas robotizadas	91
Tabla 21. Balanceo del sistema de ductos de extracción.....	93
Tabla 22. Condiciones para la selección del ventilador y presión estática calculada	94
Tabla 23. Ventilador seleccionado	95

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Horno estacionario o crisol de fundición.....	16
Ilustración 2 Horno de carbón	17
Ilustración 3 Vista en planta de cuarto de fundición	22
Ilustración 4 Vista lateral del cuarto de fundición.....	22
Ilustración 5 Corte longitudinal sobre la vista superior.....	23
Ilustración 6 Horno de fundición.....	24
Ilustración 7 Contaminación generada durante la descarga	25
Ilustración 8 Horno de sostenimiento.....	26
Ilustración 9 Celda robotizada.....	26
Ilustración 10 Puesto de trabajo manual.....	27
Ilustración 11. Campana para Horno fusor	31
Ilustración 12. Campana para la bandeja de escoria.....	32
Ilustración 13. Encerramiento en la descarga del horno fusor	34
Ilustración 14. Ruta del sistema de ductos.	35
Ilustración 15. Esquema filtro de cartuchos.....	36
Ilustración 16. Ventilador centrifugo.....	37
Ilustración 17. Campana horno de sostenimiento.....	39
Ilustración 18. Cabina encerramiento para punto manual	41
Ilustración 19. Tomas de extracción túnel de enfriamiento.....	42
Ilustración 20. Ruta sistema de horno de sostenimiento	43
Ilustración 21. Esquema filtro de cartuchos.....	44
Ilustración 22. Ventilador centrifugo.....	44
Ilustración 23. Cerramiento celda robotizada 1 y 2	47
Ilustración 24. Cerramiento celda robotizada 3.....	49
Ilustración 25. Sistema de horno de fundición	50
Ilustración 26. Ventilador centrifugo.....	51
Ilustración 27. Sistema LEV horno fusor	53
Ilustración 28. Campanas hornos fusores	54
Ilustración 29. Campana para bandeja de escoria.....	55
Ilustración 30. Cerramiento celda robotizada 3.....	58
Ilustración 31. Trayectoria de ductería para balanceo de energía	59
Ilustración 32. Filtro de talegas o mangas	63
Ilustración 33. Ventilador centrifugo.....	65
Ilustración 34. Silenciador absortivo tipo concéntrico	66
Ilustración 35. Altura de la chimenea sistema LEV celdas robotizadas.....	68
Ilustración 36. Ducto concéntrico sobre chimenea para evitar ingreso de agua lluvia	69
Ilustración 37. Sistema LEV horno fusor	70
Ilustración 38. Campanas hornos fusores	72

Ilustración 39. Cabina encerramiento para punto manual	73
Ilustración 40. Tomas de extracción túnel de enfriamiento.....	75
Ilustración 41. Campana suspendida coquillado	76
Ilustración 42. Trayectoria de ductería para balanceo de energía	77
Ilustración 43. Filtro de cartuchos	81
Ilustración 44. Ventilador centrifugo.....	83
Ilustración 45. Silenciador absortivo tipo concéntrico	84
Ilustración 46. Altura de la chimenea sistema LEV hornos de sostenimiento	86
Ilustración 47. Ducto concéntrico sobre chimenea para evitar ingreso de agua lluvia	86
Ilustración 48. Cerramiento celdas robotizada 1 y 2	88
Ilustración 49. Cerramiento celda robotizada 3.....	90
Ilustración 50. Trayectoria de ductería para balanceo de energía	92
Ilustración 51. Ventilador centrifugo.....	96
Ilustración 52. Altura de la chimenea sistema LEV celdas robotizadas.....	97
Ilustración 53. Ducto concéntrico sobre chimenea para evitar ingreso de agua lluvia	98

Siglas, acrónimos y abreviaturas

ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
ASHRAE	Asociación Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado
CFM	Pies cúbicos por minuto
CPH	Renovación de aire en cambios por hora
Cu	Cobre
FPM	Pies por minuto
HVAC	Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado
MERV	Valor Mínimo de Informe de Eficiencia
PSI	Libra por pulgada cuadrada
SMACNA	Asociación Nacional de Contratistas de Conductos de Aire Acondicionado y Ventilación
Zn	zinc

Resumen

El semestre de industria fue realizado en la empresa Ventilación y Control de Aire Ambiental SAS donde se presentó la oportunidad de implementar un sistema de extracción y ventilación para un espacio de producción de una empresa encargada de la fundición de latón. Actualmente esta área no cuenta con un sistema de ventilación que atenúe las exigentes condiciones ambientales propias de la ciudad.

El presente informe da a conocer el diseño de un sistema de extracción y ventilación para el control de gases contaminantes provocados por la fundición de latón, se requiere retener y captar gases como el cobre (Cu), zinc (Zn) y otros metales producidos en el proceso de fundir el latón. El objetivo de este diseño es extraer todos los gases contaminantes de metales pesados para mantener un ambiente sano y evitar además la deposición de gases contaminantes a la atmosfera cumpliendo con la normativa colombiana que actualmente se encuentra vigente, con el diseño de estos sistemas se control de contaminantes se busca disminuir el impacto a los trabajadores del área que lidia con la exposición de gases contaminantes de metales pesados que pueden generales problemas de salud a largo plazo.

Palabras clave: Ventilación, extracción, fundición de latón, emisiones, contaminantes.

Introducción

VENTILACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL S.A.S (VECAM) es una empresa dedicada a la consultoría, diagnóstico, diseño, fabricación y montaje de soluciones integrales de higiene ocupacional, con énfasis en control de ruido, ventilación general y exhaustiva, Iluminación, climatización, comisionamiento HVAC, auditorías energéticas y equipos para movimiento, climatización y limpieza de aire.

VECAM cuenta con una amplia experiencia en el campo de la ventilación industrial, cuenta con un equipo de ingeniería que desarrolla proyectos para diferentes clientes que buscan empresas para desarrollar sistemas de ventilación en sus instalaciones. El propósito de la ventilación es reducir la exposición de las personas a los contaminantes producidos por los procesos industriales, incluidos los gases, vapores o polvos inflamables y/o explosivos. Consiste en la extracción continua de aire en un área específica con el objetivo de reducir la concentración de contaminantes en el área circundante a la fuente de emisión del contaminante.

En la mayoría de las industrias donde las materias primas se convierten en productos comerciales, se generan residuos y los productos contaminantes de estos procesos deben eliminarse antes de que sean liberados al medio ambiente o, peor aún, se conviertan en un peligro para los propios trabajadores de la empresa.

Los tipos de contaminantes que se pueden producir son gases, neblinas, polvos, virutas y demás, entonces, cada tipo de contaminante requiere de diferentes métodos para la captación y su posterior deposición. En este caso, se hace un análisis para el control de material particulado que se genera al momento de la realización de una fundición de latón.

Estos contaminantes que se pueden producir en la fundición contienen elementos muy nocivos tanto para el medio ambiente como para las personas que lo respiren, por lo tanto, es de suma importancia el tratamiento correcto del material particulado resultante de la fundición.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

- Diseñar un sistema de extracción LEV, para el control de humos, gases y material particulado en los procesos de fundición de latón.

1.2 Objetivos específicos

- Identificación de condiciones óptimas de operación.
- Cálculo de caída de presión de sistema de ventilación por método de balanceo de presiones.
- Selección de equipos y materiales para: ductos, ventilador, filtros, motor.
- Modelación CAD y planos.

2 Marco teórico

El acondicionamiento del aire toma gran importancia cuando el ambiente no brinda las condiciones de comodidad que necesitan las personas para desempeñar una actividad, cuando se requiere un ambiente especial de trabajo o se necesita almacenar productos a unas condiciones específicas.

La sensación de incomodidad se presenta por la generación y acumulación de calor al interior de los espacios de trabajo, dicha generación está supeditado a factores como la ganancia de calor sensible a través de superficies expuestas al sol, la generación de calor de máquinas térmicas y aparatos eléctricos, y el calor latente generado por el metabolismo de las personas, entre otros.

Los principales criterios de diseño y dimensionamiento de sistemas HVAC se encuentran de la guía de La Asociación Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado, conocida por sus siglas en inglés como (ASHRAE). Así mismo, el dimensionamiento y selección de equipos de un sistema de acondicionamiento de aire debe ser considerado de alta eficiencia, a continuación, se explica de manera rápida el proceso de cálculo y componentes de diseño de un sistema de ventilación.

2.1 Normativa técnica

La norma actualmente vigente en Colombia para el control de emisiones de fuentes fijas es la norma 909 de 2008. Este estipula los estándares de descarga permisibles de contaminantes de fuentes fijas, y es el documento por el que todas las empresas, incluidos los establecimientos comerciales, deben cumplir (Ministerio de Ambiente, 2008). El propósito de esta norma es regular cualquier organización que pueda descargar algún tipo de contaminantes a la atmósfera.

2.2 Calidad del aire

Para cualquier tipo de aplicación industrial, la calidad del aire representa un tema de vital importancia y está regulada a nivel internacional por el estándar ANSI/ASHRAE 62.1, Ventilation

for Acceptable Indoor Air Quality. La forma más práctica de asegurar una calidad de aire adecuado es inyectar aire exterior con alto nivel de filtración mediante ventilación mecánica, el diseño debe garantizar una óptima distribución en los espacios según la carga térmica requerida, para ello, se debe hacer consideraciones de balanceo de presiones y caudales de aire. (American Society of Heating R. a.-C., ANSI/ASHRAE 62.1-2016: Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality, 2016).

2.3 Conceptos generales de la ventilación

la ventilación es un método común de reducir la exposición de las personas a los contaminantes que se originan en los procesos industriales. Es útil también para prevenir la acumulación de gases, vapores o polvos inflamables y/o exposición (Quinchia & Puerta, 2017).

2.4 Sistema de ductos

Son los encargados de dirigir y distribuir la corriente de aire desde la admisión de aire exterior a los diferentes espacios a acondicionar, pasando por los elementos de control y equipos del sistema. Los ductos pueden ser de sección circular, rectangular, ovalada o combinación de estas formas y se compone de diferentes elementos como tramos rectos, codos, ramales o “yees”, transiciones etc. que permiten adaptarse a un diseño en particular (Quinchia & Puerta, 2017).

El diseño del sistema de ductos es importante porque consume parte de la energía total debido a la fricción del aire con las paredes, por lo tanto, deben ser diseñados usando buenas prácticas de ingeniería y guías, tales como, manuales ASHRAE y la SMACNA HVAC Duct Systems Design Manual.

2.5 Componentes de ductería

- **Ductos principales:** Son los encargados de transportar y de distribuir el aire frío que sale del evaporador de la unidad de refrigeración hacia los ramales. Son los de mayor diámetro en el sistema (Goodfellow & Wang, Volume 2).

- **Ductos ramales:** Son los encargados de distribuir el aire frío que por todo el lugar o zona a acondicionar y son de menor diámetro.
- **Dampers:** Son dispositivos que se encargan de graduar el flujo de aire que pasa por los ductos de acuerdo a las necesidades del lugar y se utilizan para el equilibrio y el correcto funcionamiento del sistema (Quinchia & Puerta, 2017).
- **Soportes:** Una parte fundamental en la instalación de sistemas de ventilación es la ubicación de los equipos y de los ductos que permiten circular el aire de inyección hasta el punto deseado, generalmente se necesitan estructuras y elementos que permitan el soporte del mismos. El diseño de los soportes esta superditado a la instalación, permitiendo así, la versatilidad de formas y materiales.
- **Rejillas de Suministro:** Son elementos que se encargan de dar salida y dirección al flujo de aire que viene de los ductos, el tamaño, tipo y ángulo de divergencia depende del caudal de diseño y el tiro de la distribución del espacio.
- **Rejillas de retorno:** Estas se encargan de dar entrada al aire que se desea recircular desde el espacio de acondicionamiento. Se determina según el caudal que se desee extraer.
Para rejillas de suministro y retorno se debe garantizar una velocidad de paso acorde a la aplicación. El fluido en movimiento puede generar ruidos molestos (Goodfellow & Wang, Volume 2).

2.6 Sistema de captación

El nombre general utilizado para los sistemas de captación es de campanas. Su principal función es captar los diferentes contaminantes generados en los procesos industriales.

Dado que la mayoría de los contaminantes carecen de inercia, su movimiento está relacionado con el proceso mismo.

Una campana puede pensarse como un magneto, es decir, como si tuviera una fuerza de atracción para cada molécula de aire en la vecindad, disminuyéndose su capacidad de atracción a medida que las moléculas se apartan de ella (Quinchia & Puerta, 2017).

2.7 Tipos de captación

Existen diferentes tipos de captación de los contaminantes, de acuerdo a las características de las sustancias, las corrientes de aire presentes, el espacio disponible y los procesos que se realizan.

- Enceramiento:** para que la captación sea efectiva se necesita un buen encerramiento de la fuente de contaminación con el fin de proporcionar volúmenes mínimos de aire a extraer y para evitar que haya escapes al ambiente de trabajo, ya que después de que los contaminantes se mezclan con el aire del ambiente, es difícil y antieconómico su captación porque habría que mover grandes cantidades de aire. Es importante anotar que siempre debe de existir ingreso de aire, ya que este es el medio de transporte del contaminante (Quinchia & Puerta, 2017). Ilustración 1

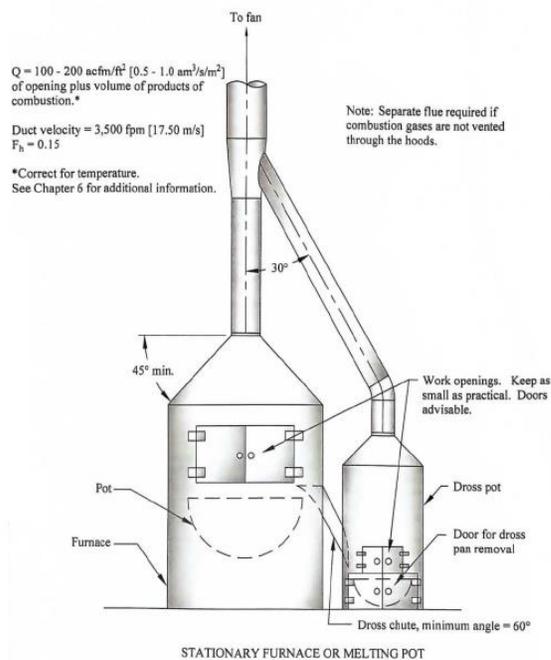


Ilustración 1 Horno estacionario o crisol de fundición

- **Cabinas:** En un sistema de protección idéntico al anterior, con la diferencia que no puede lograrse un cierre total de las paredes. Generalmente poseen paredes laterales y traseras, pero carecen de paredes frontales. La parte libre permite el acceso del operador o las piezas hacia el proceso (Quinchia & Puerta, 2017). Ilustración 2

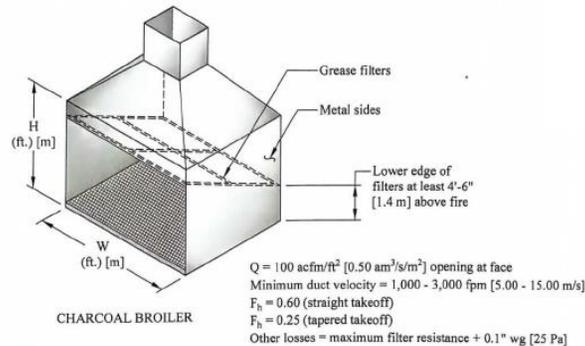


Ilustración 2 Horno de carbón

Para los dos tipos de campanas anteriores, el flujo que ingresa se calcula multiplicando la velocidad de captación del contaminante, para este caso 150 fpm (Ilustración 1 e Ilustración 2), por el área de la cara abierta del encerramiento o la cabina.

Existen múltiples aplicaciones para las cabinas, debido a que se facilita el control de la contaminación y la cantidad de flujo requerido para el control relativamente bajo.

2.8 Métodos de dimensionamiento y balanceo de ductos

2.8.1 Método de Igual Fricción

Es un método muy popular en el dimensionamiento de ductos para el suministro, el retorno y descarga de aire en sistemas de baja y media presión. El método de "igual fricción" significa dimensionar el sistema con una pérdida por fricción específica o una pérdida de presión estática por cada cien (100 ft) pies equivalentes de ducto, el valor utilizado para esta "constante" es

totalmente dependiente de la experiencia y el deseo del diseñador (American Society of Heating R. a.-C., 2009).

2.8.2 Método de presión de velocidad

Este método es una aproximación de diseño balanceado que trata de igualar las pérdidas en fracciones de presión de velocidad. El balanceo durante la fase de diseño significa realizar el ajuste de pérdidas en los ramales que van a una unión de manera que, las pérdidas calculadas en cada ramal sean iguales. En cualquier esquema de balanceo, el diseño es un proceso de tanteo y error por etapas. El diseñador ensaya con diferentes diámetros de ductos, tipos de entrada a las rejillas, etc., hasta que dos ramales coincidan tanto como sea posible en la demanda de presión estática (Quinchia & Puerta, 2017).

2.9 Sistema de impulsión (Ventilador)

Es el encargado de inducir el movimiento del aire en el espacio, el diseño es importante para evitar ineficiencias innecesarias, condiciones de calidad del aire inaceptable y niveles de ruido excesivos, que puedan generar inconformidad de los ocupantes del espacio.

El sistema de impulsión más común usado en los sistemas HVAC, posee un elemento giratorio accionado por un motor eléctrico, el aire que entra en el centro del impulsor giratorio, se lanza hacia afuera por direccionamiento tangencial de una carcasa, comúnmente llamada voluta (Quinchia & Puerta, 2017). El aire que sale del rotor tiene alta energía cinética que se convierte en presión estática en la voluta, la presión estática que gana el fluido debe ser suficiente para vencer las pérdidas de presión localizadas en los diferentes elementos del sistema (ACGIH, 2016).

2.10 Tipos de ventilador

- **Ventiladores Axiales:** Son aquellos en los que el aire sigue la dirección del eje del rotor estando alineadas la entrada y la salida, es decir formando un ángulo de 180° , son muy usados en la industria por poseer alta eficiencia mecánica (Quinchia & Puerta, 2017).
- **Ventiladores Centrifugos:** Son aquellos en los que el aire entra a través de una abertura concéntrica con el eje del rotor, el cual posee alabes solidarios y se dispone en una carcasa en espiral o voluta. Sin importar el giro del rotor, las condiciones de entrada y salida forman un ángulo de 90° , por lo que el aire sale de los alabes a causa de la fuerza centrífuga y es direccionado por la conducción tangencial de la voluta (Quinchia & Puerta, 2017).

2.11 Sistema de filtración

En los sistemas HVAC, la calidad del aire depende del nivel de filtración del sistema, uno de los métodos de uso más generalizados son los filtros colectores, que contienen una estructura porosa compuesta de un material granular o fibrosa que tiende a retener las partículas según pasa el fluido que los transporta a través de los espacios vacíos del filtro. La eficiencia colectora de un filtro se designa en función del diámetro de las partículas que se deseen retener.

Los filtros se clasifican según la escala de valor mínimo de informe de eficiencia (MERV) definida en la norma ANSI/ASHRAE 52.2 (2017). El rendimiento del filtro se evalúa en tres rangos de tamaño:

- $E1$ $0,3 - 1 \mu m$
- $E2$ $1 - 3 \mu m$
- $E1$ $3 - 10 \mu m$

El cumplimiento del estándar ASHRAE 62.1 en sistemas HVAC, generalmente requiere filtración de al menos MERV 8, para aire exterior, cuya eficiencia mínima no está especificada en el rango 1; captura el 20 % de las partículas en el rango 2 y 70 % en el rango 3.

3 Metodología

En concertación con el cliente se realiza un análisis de procedimiento de ingeniería a seguir y se define el orden de la propuesta en los siguientes lineamientos:

- **Levantamiento sistema LEV:** Se realiza visita a campo, con el propósito de recoger información que aporte a la solucionar de la problemática presente en la compañía. Esta información consta de la toma de medidas del espacio de trabajo, fotografías del lugar y medición del contaminante, este se toma con la ayuda de un generador de contaminación que identifica cada punto de emisión y el tipo de contaminante generado en el proceso de fundición para posteriormente pasar al diseño del sistema de ventilación industrial solicitado por la compañía, el cual incluye el desarrollo de la ingeniería conceptual y básica.
- **Desarrollo de ingeniería conceptual:** En esta etapa se define de manera teórica las posibles alternativas de solución para un problema específico, que sean prácticas y realizables desde el punto de vista funcional y en costos. La ingeniería conceptual sirve para identificar la viabilidad técnica y económica del proyecto y marcará la pauta para el desarrollo de la ingeniería básica y de detalle. Se basa en un estudio previo (estudio de viabilidad) y en la definición de los requerimientos del proyecto.
- **Desarrollo de ingeniería general o básica:** En esta etapa de ingeniería general o básica quedarán reflejados definitivamente todos los requerimientos del cliente, las especificaciones básicas, el cronograma de realización y la valoración económica.

4 Levantamiento sistema LEV

Inicialmente para el diseño del sistema LEV de los hornos de fundición de latón, se realizó una visita con el fin de observar el proceso de fundición de latón, como se generaba la contaminación y tomar medidas de la planta de fundición.

Lo primero que se realiza en el proceso, es fundir todos los metales necesarios para la obtención del latón principalmente cobre (Cu), zinc (Zn) y otros metales, llegándose a alcanzar temperaturas entre los 900°C y los 940°C, que es la temperatura promedio para la fundición de latón.

Después de obtener la materia prima totalmente fundida se pasa a unos hornos de sostenimiento, que su principal función es mantener el latón en estado líquido. Desde esos hornos de sostenimiento, se realiza el proceso de elaboración de productos. Estos productos se llevan a cabo con la colocación de la fundición de latón en unos moldes de arena, el proceso se hace de forma automatizada o manual.

En la visita se evidenciaron varios problemas referidos a la captación y extracción de los humos producidos en el proceso de fundición. Uno de los problemas observados es la campana que actualmente se tiene para la extracción de los humos de fundición, la cual no presenta un proceso de captación eficiente para los altos flujos de aire salientes por la boquilla del crisol, otros de los problemas observados es que el desgaste del material refractario con el cual está recubierto las campanas de extracción, el mal funcionamiento de los filtros actuales y por último el ventilador no cumplía con las características necesarias y adecuadas para mover la gran cantidad de aire que se requiere en el proceso.

Para el diseño del sistema LEV del cuarto de fundición de latón se utilizó la siguiente información obtenida de la visita a la localidad.

- En las Ilustración 3, Ilustración 4 y Ilustración 5, se muestra los planos del área de fundición, donde se evidencia las columnas, vigas, paredes, soportes, ductos, con medidas muy detalladas para saber exactamente por donde se debe tirar el nuevo sistema de extracción y ventilación de los hornos de fundición, sostenimiento y celdas robotizadas o manuales

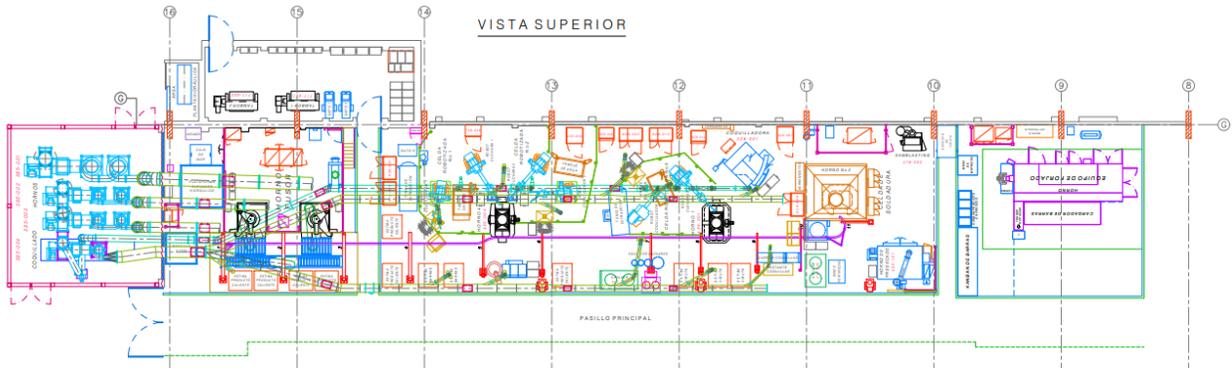


Ilustración 3 Vista en planta de cuarto de fundición

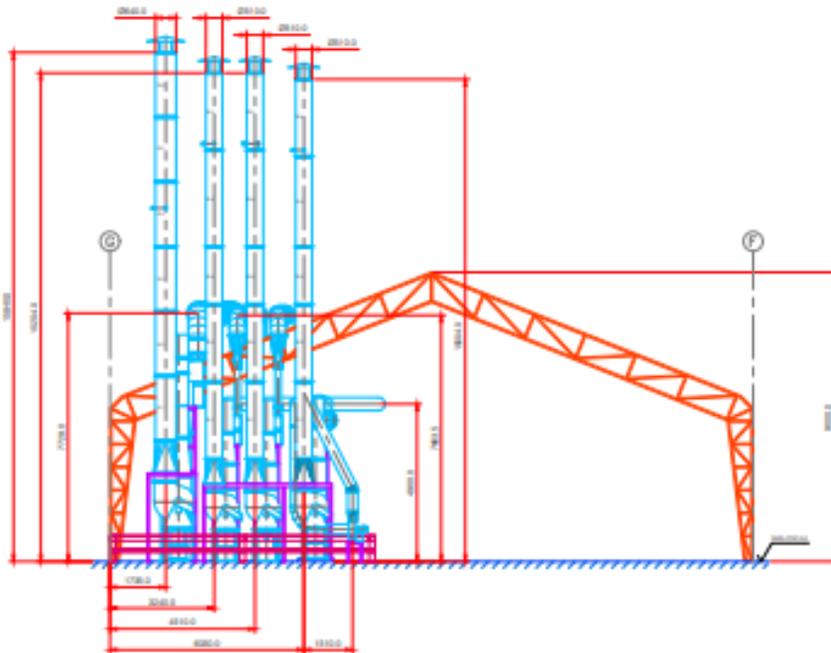


Ilustración 4 Vista lateral del cuarto de fundición

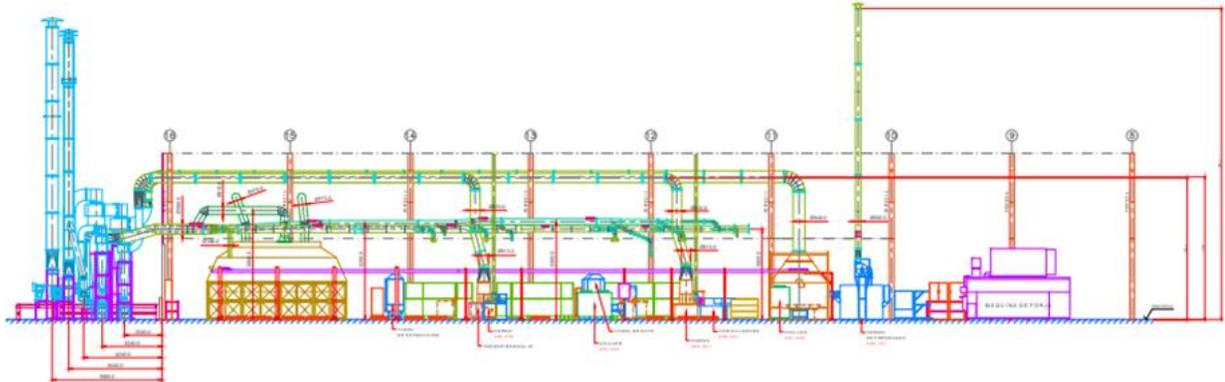


Ilustración 5 Corte longitudinal sobre la vista superior

- Imágenes tomadas por nosotros mismo con más detalle, donde apreciamos distancias de muros a equipos, dimensiones de equipos actuales y observación del proceso de fundición.

En la Ilustración 6, se puede observar como la campana del horno de fundición no captan toda la contaminación producida durante la fundición



Ilustración 6 Horno de fundición

En la Ilustración 7, se observa la contaminación durante la descarga del material fundido desde los hornos de fundición para ser transportado al horno de sostenimiento, muy claramente se puede observar que el sistema de extracción actual no está siendo eficiente. Ilustración 7



Ilustración 7 Contaminación generada durante la descarga

En la Ilustración 8, se observa el horno de sostenimiento que es el encargado de mantener el materia fundido en forma de colada, de este horno se saca material para realizar los productos ya sea de forma automatizada o de forma manual y en las Ilustración 9 y Ilustración 10, también podemos visualizar las celdas para los procesos automatizado y el puesto de trabajo manual.



Ilustración 8 Horno de sostenimiento



Ilustración 9 Celda robotizada



Ilustración 10 Puesto de trabajo manual

5 Ingeniería Conceptual

A continuación, se desarrolla el diseño conceptual del sistema de ventilación localizada para el control de humos (material particulado) en el proceso de fundición de latón. El diseño se dividió en 3 sistemas de extracción de aire.

5.1 Valores de referencia para el diseño de sistema LEV

Los valores de referencia recomendados para las velocidades de captura y de transporte para el proceso y tipo de contaminante, utilizados para el diseño de los sistemas de ventilación, son los rangos resaltados en color verde en la Tabla 1 y la Tabla 2, los cuales corresponden a lo recomendado en el libro “INDUSTRIAL VENTILATION a manual of Recommended practice for Design”.

Tabla 1. INDUSTRIAL VENTILATION, velocidades de captura recomendadas

CONDICIONES DE DISPERSIÓN DEL CONTAMINANTE	EJEMPLO	VELOCIDAD DE CAPTURA (FPM)*
Liberación con velocidad prácticamente nula en el aire quieto	Evaporación de tanques, desengrase etc.	50 – 100 fpm 0,25 – 0,50 m/s
Liberación a baja velocidad en aire en movimiento moderado	Soldadura, baños electrolíticos, decapado	100 – 200 fpm 0,50 – 1,01 m/s
Generación activa en una zona de rápido movimiento de aire	Aplicación de pintura a pistola, llenado de recipiente, transportadores, trituración	200 – 500 fpm 1,01 – 2,54 m/s
Liberación con alta velocidad inicial en una zona de movimiento de aire muy rápido	Pulido, operaciones de abrasión en general. Esmerilado, chorro abrasivo.	500 – 2000 fpm 2,54 – 10,16 m/s

Tabla 2. INDUSTRIAL VENTILATION, velocidades de transporte recomendadas

NATURALEZA DE CONTAMINANTES	EJEMPLO	VELOCIDAD DE DISEÑO FPM
Vapores, gases y neblinas	Todos los vapores, gases y neblinas	1000 – 1200 fpm 5,08 – 6,1 m/s
Humos	Humos de óxidos de Zinc y aluminio	1400 – 2000 fpm 7,11 – 10,16 m/s
Polvo volátil muy fino	Pelusa de algodón, polvo de madera, polvo de litio	2000 – 2500 fpm 10,16 – 12,7 m/s
Polvo seco y material pulverizado o triturado	Polvo fino de caucho, polvo de moldeado de baquelita, hilaza, polvo de algodón, viruta, polvo de jabón, desbastada de cuero	2500 – 3000 fpm 12,7 – 15,24 m/s
Polvo promedio industrial	Aserrín (pesado y húmedo), polvo de esmerilado, polvo de pulidoras, polvo de lana, grano de café, polvo de suela, polvo de granito, polvillo de sílice, material suspendido en general, corte de ladrillo, polvo arcilloso, polvo de piedra caliza, fibras de asbesto, fundición general.	3500 – 4000 fpm 17,78 – 20,32 m/s
Polvo pesado	Torneado de metales, tambores de limpieza de material fundido y desmoldado de este, tamizado de arena, desperdicios animales, torneado de latón, polvo de perforación de hierro fundido, polvo de plomo.	4000 – 4500 fpm 20,32 – 22,86 m/s
Polvo y mezclas pesadas	Polvo de plomo con pequeñas partículas, traslado de fibras de asbesto hacia las máquinas, partículas de pulido con felpa (pegajosas, viscosas), polvo de cal viva.	4500 fpm y más 22,86 m/s y más

5.2 Unidades de medidas utilizadas

- fpm: unidad de velocidad en pies por minutos (sistema ingles).
- cfm: unidad de caudal de aire en pies cúbicos por minuto (sistema ingles).
- cph: unidad de renovación de aire en cambios por hora.

5.3 Sistema LEV 1 – Horno fusor

5.3.1 Descripción del proceso

En la zona del horno fusor identifican 3 puntos con generación de humos del proceso de fundición.

- En la boca del horno cuando se carga los componentes y durante el proceso de fundición
- En el recipiente donde deposita la escoria que se va acumulando en la superior de la fundición
- Durante el llenado del recipiente donde se traslada la colada desde el horno fusor hasta los hornos de sostenimiento.

La característica de la emisión en los tres puntos es humos metálicos de la fundición, donde sobresale el óxido de zinc.

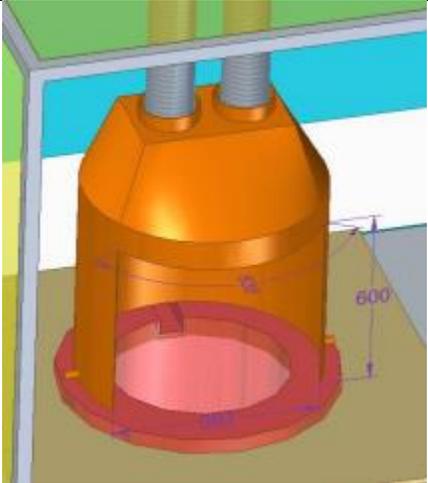
5.3.2 Campana y encerramientos para el control de emisiones

5.3.2.1 Campana en la boca del horno fusor

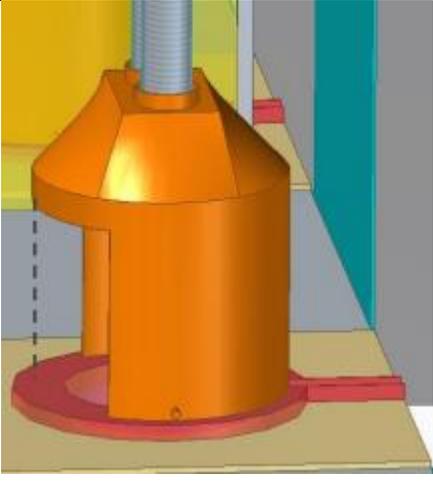
En la Ilustración 11. Campana para Horno fusor se muestra la campana recomendada para el control de las emisiones en la boca del horno fusor, donde se considera lo siguiente para el diseño:

- La campana en la parte superior cubre la totalidad del diámetro de la boca del horno fusor.
- El área abierta dejada para el diseño, tiene una altura de 600 mm y una ancho de 840 mm, para un área de 0,50 m² (5,43 ft²).
- La velocidad de captura en el área abierta es de 250 fpm para el cálculo del caudal de extracción, teniendo en cuenta que la emisión está contenida al interior de la campana y la velocidad de generación es considerable.
- El caudal de extracción calculado es aproximadamente de 1356 cfm, para un total de 2713 cfm para las dos campanas.

- La extracción de aire en las dos campanas trabajara al tiempo.
- La campana tiene un punto pivotante como la campana actual, para poder inclinar la campana a medida que se inclina el horno para descargar la colada al recipiente de transporte.
- El material recomendado para la campana es acero inoxidable 304 calibre 16.



Dimensiones del área abierta



El diseño de la campana abarca toda la boca del horno

Equipo/Proceso	Horno Fusor Derecho		Equipo/Proceso	Horno Fusor Izquierdo	
Ancho Abierto	840 mm	33,1 in	Ancho Abierto	840 mm	33,1 in
Altura Abierta	600 mm	23,6 in	Altura Abierta	600 mm	23,6 in
Área Frontal	0,50 m ²	5,43 ft ²	Área Frontal	0,50 m ²	5,43 ft ²
Velocidad de Captura	1,27 m/s	250 fpm	Velocidad de Captura	1,27 m/s	250 fpm
CAUDAL	2305 m³/h	1356 cfm	CAUDAL	2305 m³/h	1356 cfm

Ilustración 11. Campana para Horno fusor

5.3.2.2 Campana en la bandeja de escoria

En la Ilustración 12. Campana para la bandeja de escoriase muestra la campana recomendada para el control de las emisiones en la bandeja de escorias, donde se considera lo siguiente para el diseño:

- La campana recomendada cubre la totalidad de la bandeja de escoria
- El área abierta dejada para el diseño, tiene una altura de 350 mm y un ancho de 500 mm, para un área de 0,18 m² (1,88 ft²)
- La velocidad de captura en el área abierta es de 150 fpm para el cálculo del caudal de extracción, teniendo en cuenta que la emisión está contenida al interior de la campana y la velocidad de generación es baja.
- El caudal de extracción calculado es aproximadamente de 283 cfm, para un total de 565 cfm para las dos campanas.
- La extracción de aire en las dos campanas trabajara al tiempo.
- El material recomendado para la campana es acero inoxidable 304 calibre 16.

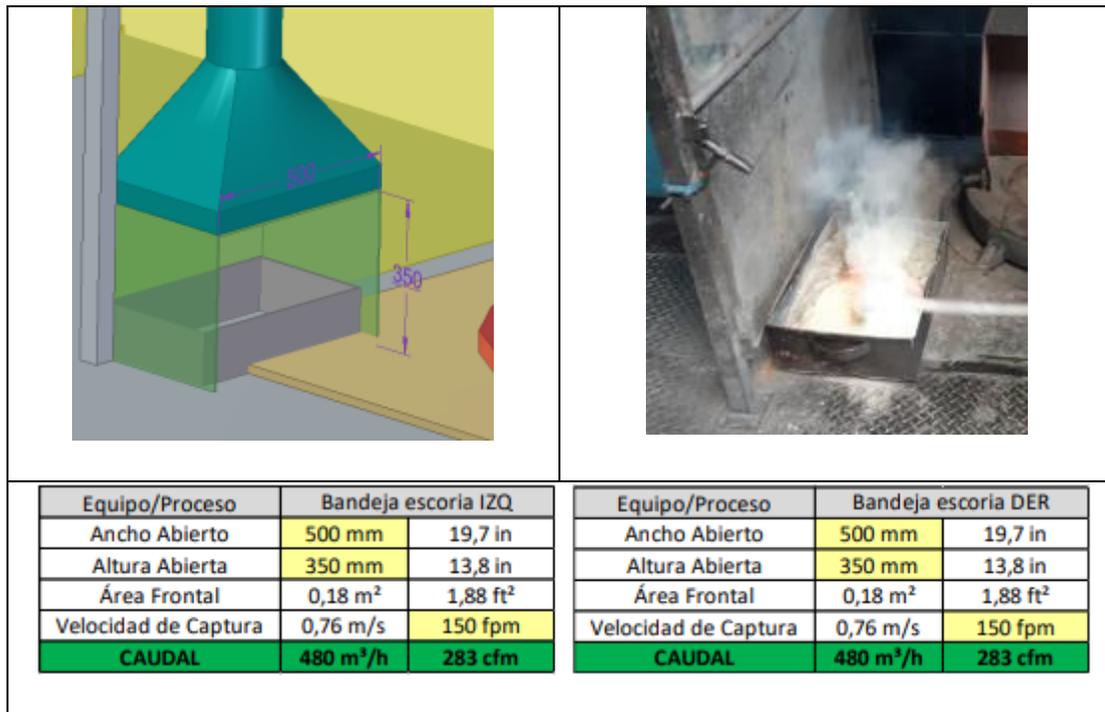
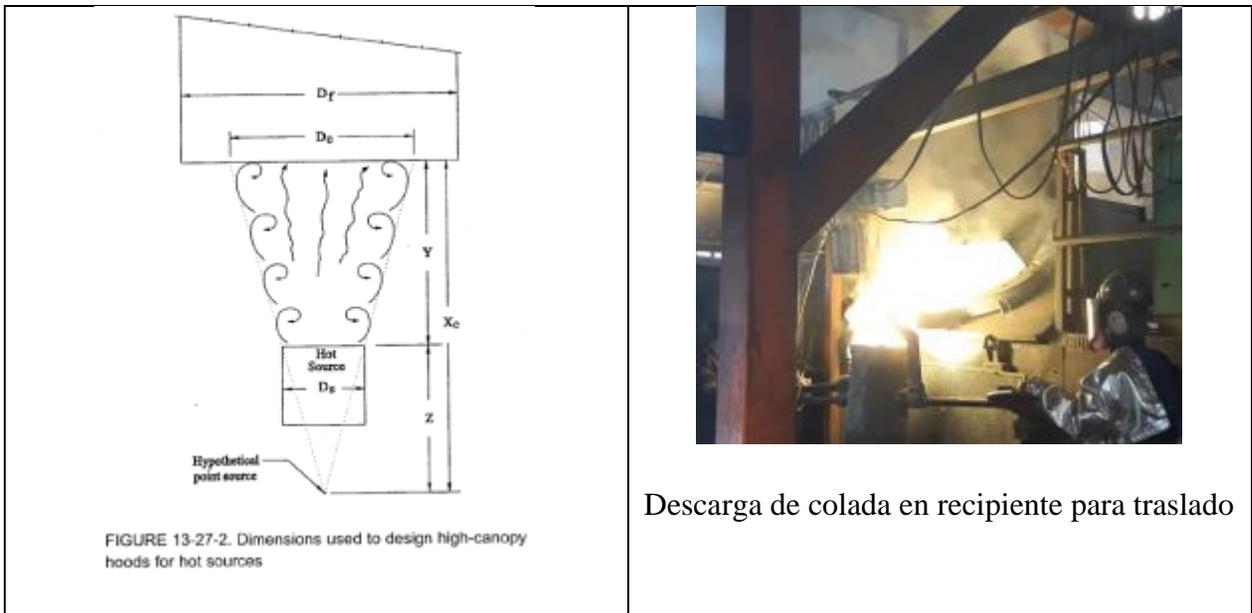


Ilustración 12. Campana para la bandeja de escoria

5.3.2.3 Encerramiento descargue de fundición a recipiente de traslado

En la Ilustración 13. Encerramiento en la descarga del horno fusorse muestra el encerramiento actual el cual se recomienda mantener para el control de emisiones durante el descargue de colada al recipiente de traslado, donde se considera lo siguiente para el diseño:

- Mantener el encerramiento actual, el cual debe mejorarse para tapan los espacios abiertos.
- El caudal de extracción calculado es aproximadamente de 7200 cfm.
- Con una extracción de 7200 cfm, se obtiene una renovación de aire de 127 cph.
- Durante el descargue de colada se debe dejar solo abiertas solo 2 puertas (puerta 1 y 2) y se debe cerrar las puertas en los hornos fusores (puerta 3 y 4).
- Adicionalmente se recomienda instalar rejillas para facilitar la entrada de aire para mejorar la distribución del aire que ingresa al encerramiento.



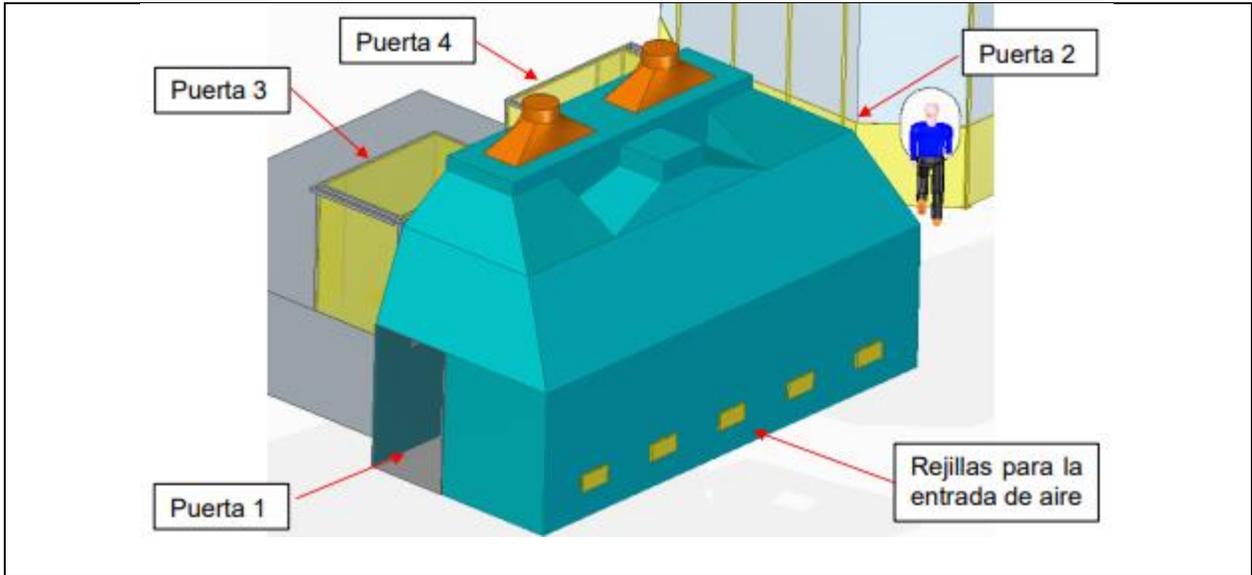
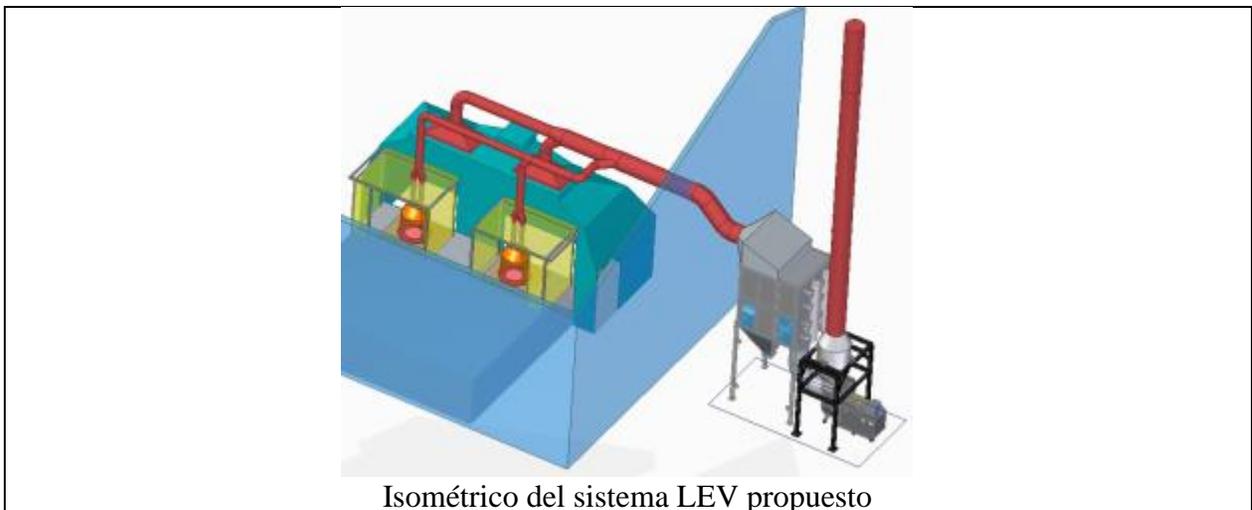


Ilustración 13. Encerramiento en la descarga del horno fusor

5.3.3 Ruta Sistema de Extracción

En la Ilustración 14. Ruta del sistema de ductos, se muestra la ruta de ductos propuestas para el sistema LEV 1.



Isométrico del sistema LEV propuesto

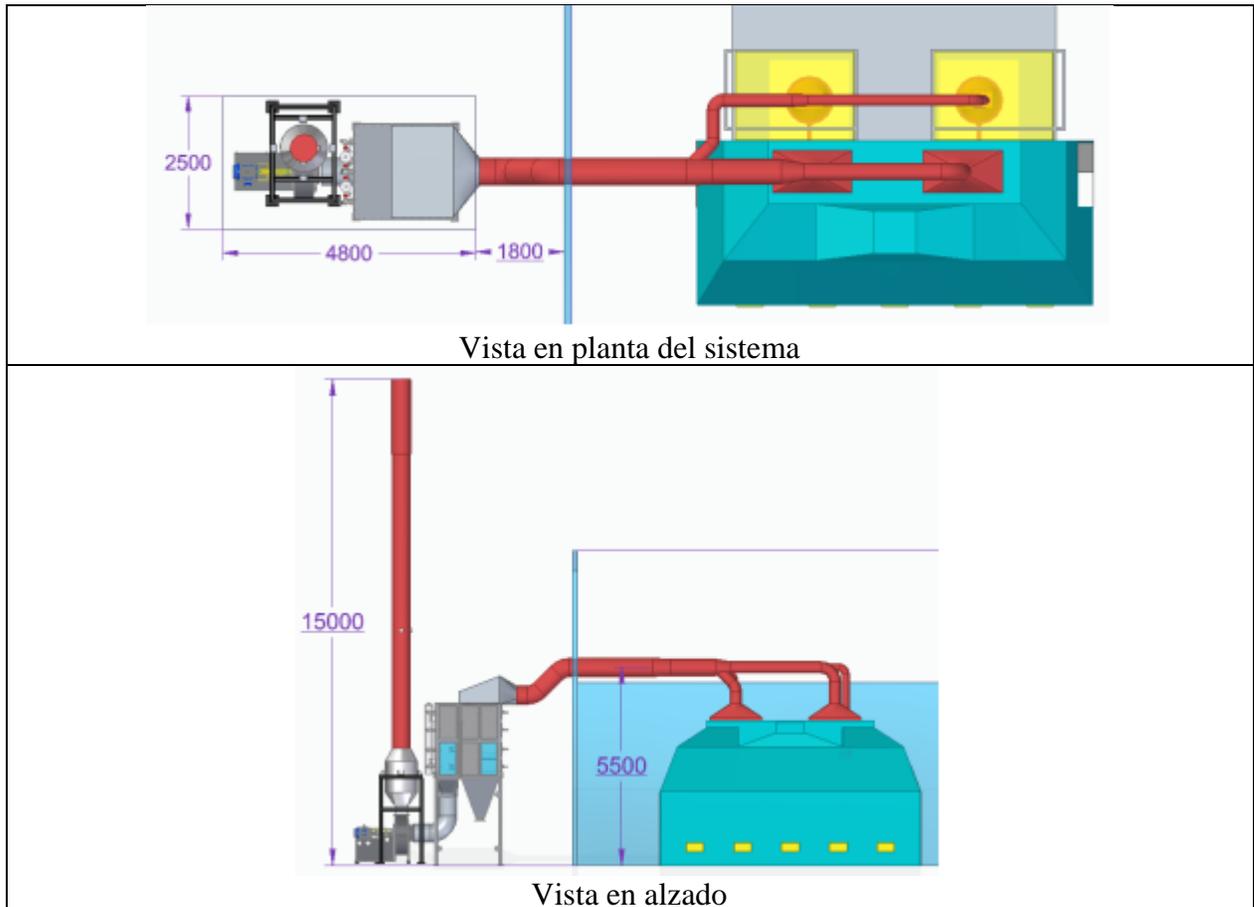


Ilustración 14. Ruta del sistema de ductos.

5.3.4 Equipo de control de contaminación

Para el control de material particulado se propone el uso de un equipo de filtración de cartuchos para evitar emisiones al exterior, el cual tendrá un recipiente donde se acumula el material retenido en el filtro.

Los cálculos preliminares arrojan que el filtro de cartuchos debe de cumplir con las siguientes especificaciones:

- Relación aire tela menor o igual a 4.
- Cartuchos en poliéster de dimensión estándar o comercial.
- Debe tener un sensor de presión y un controlador para la activación del pulso de limpieza (válvulas solenoides).

- Realizar la limpieza de los cartuchos con aire comprimido.

En la Ilustración 15, se muestran un esquema del filtro de cartuchos especificado.

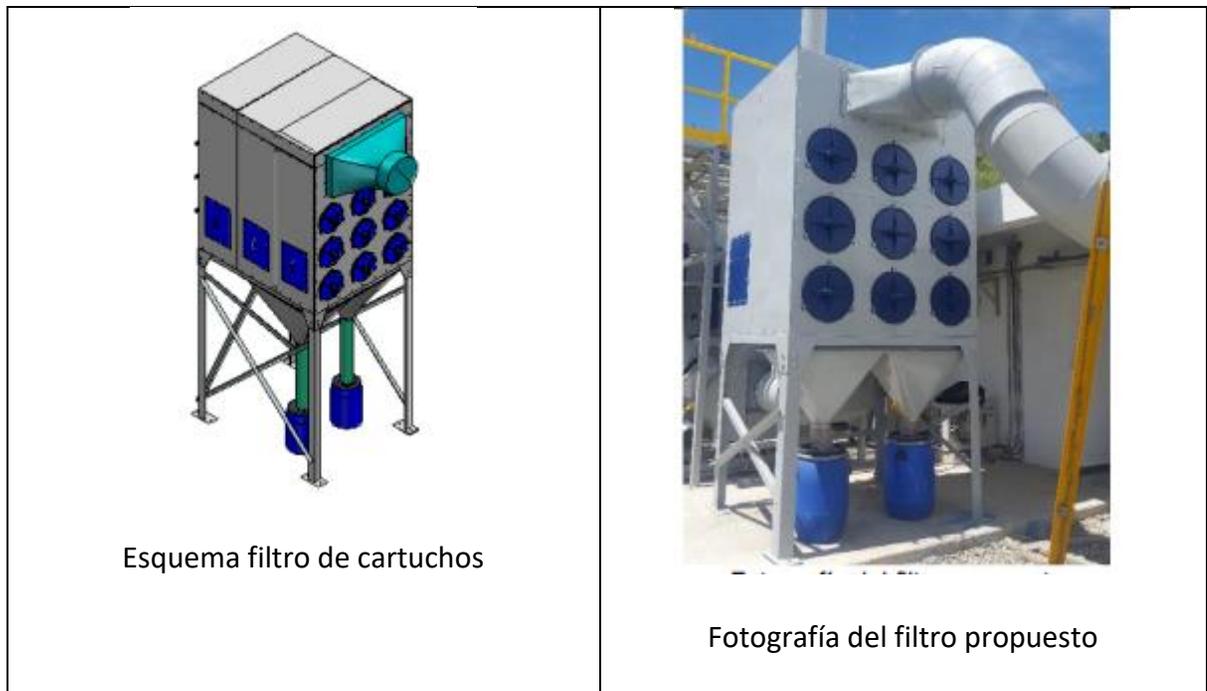


Ilustración 15. Esquema filtro de cartuchos

5.3.5 Tipo de del Ventilador

En la Ilustración 16, se muestra el ventilador centrífugo propuesto para el sistema de extracción de aire, la potencia del motor requerido con los precálculos es de 30 HP aproximadamente.

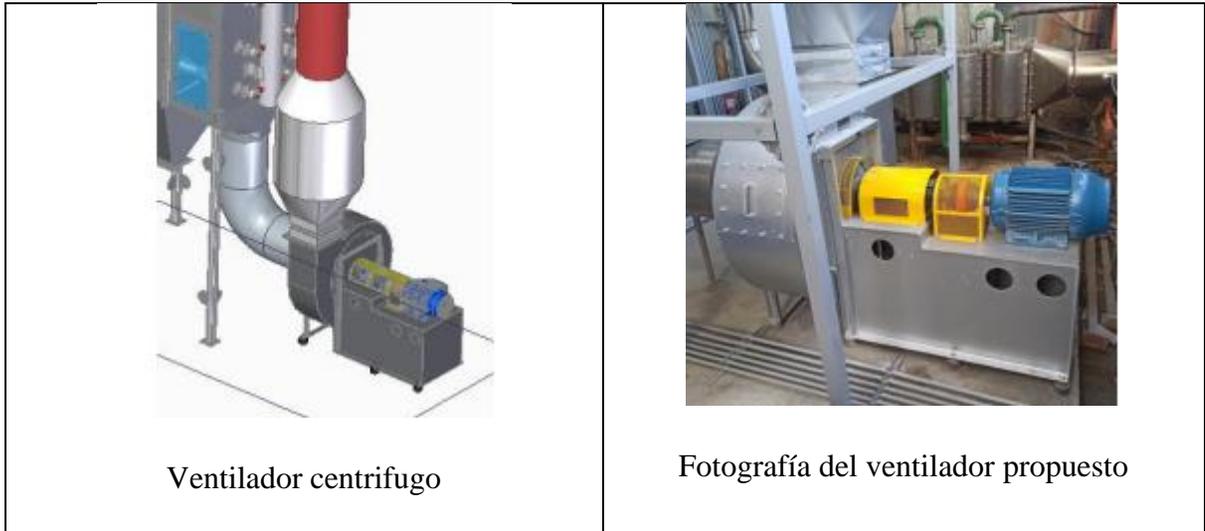


Ilustración 16. Ventilador centrifugo

5.3.6 Chimenea

Los sistemas de extracción descargan el aire al ambiente a través de una chimenea, la cual debe garantizar las siguientes características:

- Velocidad de descarga mínima de 3000 FPM
- Niples para el muestreo del aire a mínimo 4 diámetros desde la última perturbación y a 4 diámetros mínimo hasta la descarga
- No se incluye plataforma para realizar los muestreos isocinéticos.
- Se recomienda una altura de 15 metros para la chimenea, cumpliendo con las recomendaciones de la normatividad vigente.
- Tubo concéntrico en su descarga para evitar el ingreso de lluvia en su interior hasta el ventilador

Con base a la experiencia que Ventilación y Control Ambiental S.A.S posee en el diseño y montaje de sistemas de ventilación industrial, se sugiere que la altura de descarga de la chimenea sea de 15 metros.

5.4 Sistema LEV 2 – Horno de sostenimiento y punto manual

5.4.1 Descripción del proceso

En la zona de los hornos de sostenimiento se identifican 5 puntos con generación de humos del proceso:

- Durante el llenado de los 2 hornos de sostenimiento.
- Al interior de los 2 túneles de enfriamiento.
- En el puesto de trabajo llamado punto manual.

La característica de la emisión en los puntos es humos metálicos de la fundición, donde sobresale el óxido de zinc, pequeñas concentraciones de formaldehído en el punto manual y el túnel de enfriamiento.

5.4.2 Campana y encerramientos para el control de emisiones

5.4.2.1 Campana hornos de sostenimiento

En la Ilustración 17 se muestra la campana recomendada para el control de las emisiones en los hornos de sostenimiento, donde se considera lo siguiente para el diseño:

- Se rediseña la campana de los hornos de sostenimiento, de tal forma que su cubra totalmente la boca de los hornos.
- El área abierta en cada cara en los hornos de sostenimientos tiene una altura de 750 mm y un ancho de 550 mm, para un área de 0,41 m² (4,44 ft²) por cada cara.
- La velocidad de captura en el área abierta es de 250 fpm para el cálculo del caudal de extracción, teniendo en cuenta que la emisión está contenida al interior de la campana y la velocidad de generación es considerable.
- El caudal de extracción calculado aproximadamente es de 2220 cfm para cada horno, para un total de 4440 cfm.

- La extracción de aire en las dos campanas trabajara al tiempo.
- La campana contara con compuertas que permitirán reducir el área abierta similar a las actuales y que permitan el funcionamiento d ellos brazo robotizados.
- Se recomienda fabricar la campana en acero inoxidable debido a las altas temperaturas del proceso.

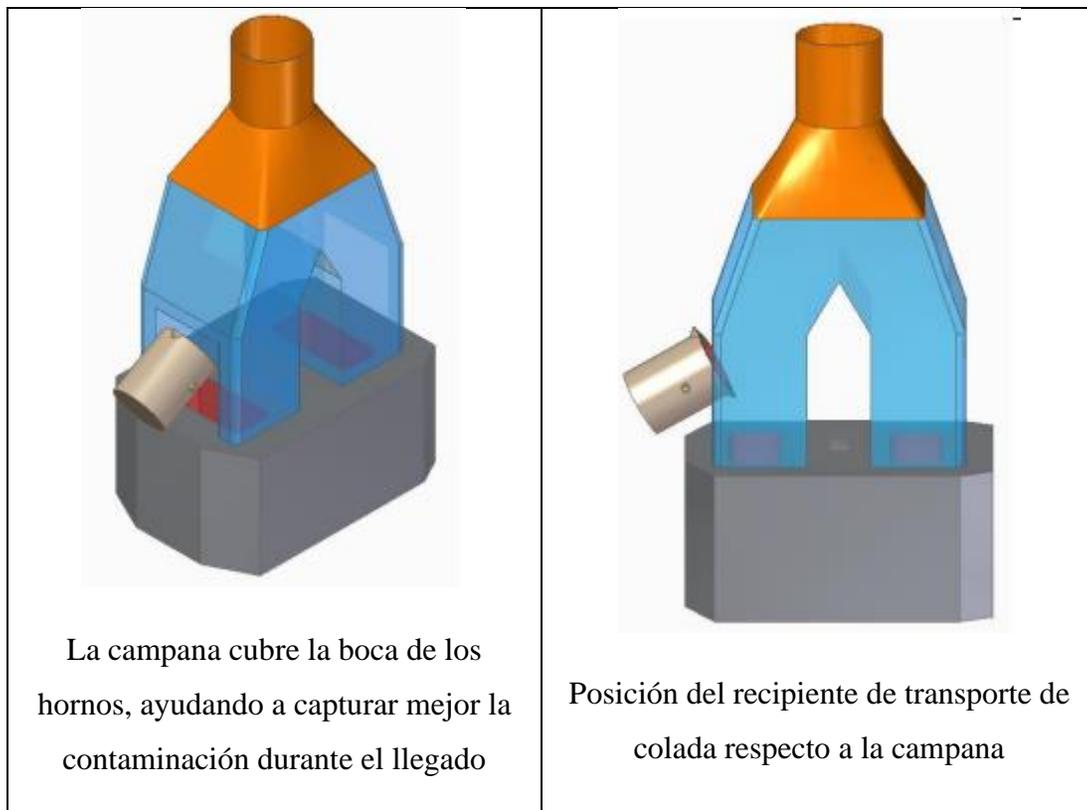
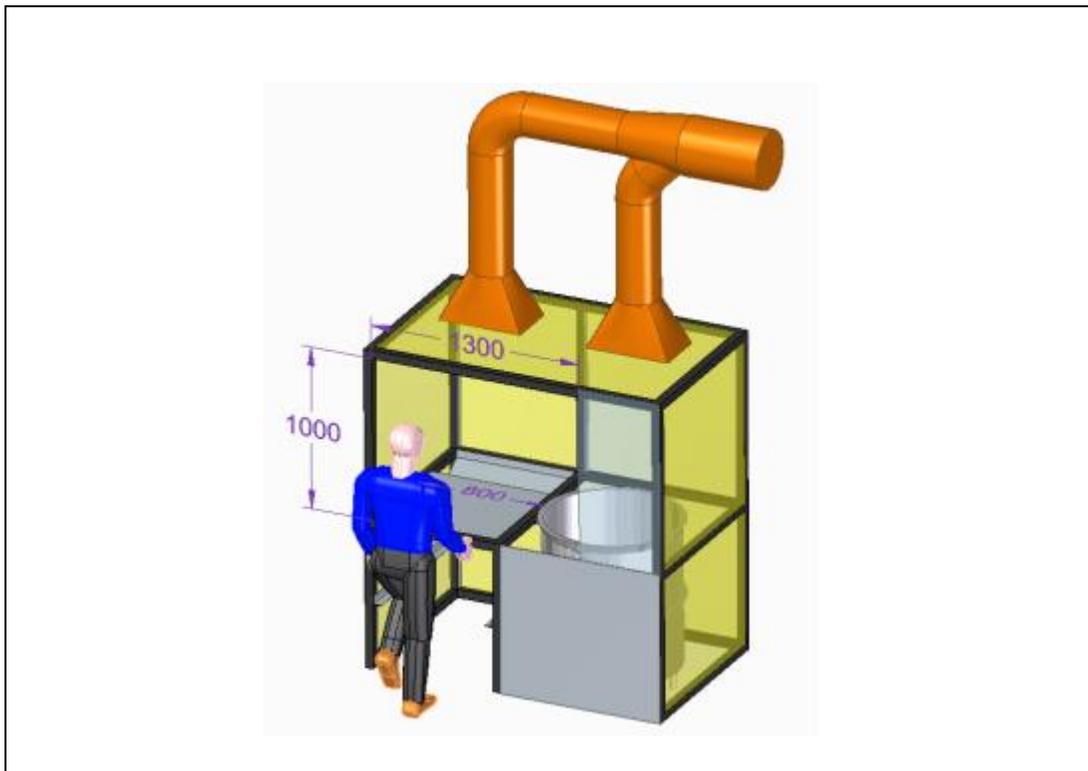


Ilustración 17. Campana horno de sostenimiento

5.4.2.2 Campana punto manual

En la Ilustración 18 se muestra cabina encerramiento recomendada para el punto manual donde el tanque de grafito y la mesa de trabajo están dentro del encerramiento. para el diseño se considera lo siguiente:

- Se diseña una cabina encerramiento donde la mesa de trabajo y el tanque de grafito quedan contenidas al interior del encerramiento, con la finalidad de mantener contenida la contaminación.
- El encerramiento tiene una tapa superior en el lado del tanque para reducir la caudal extracción.
- El área abierta en cada cara en los hornos de sostenimientos tiene una altura de 1000 mm y un ancho de 1300 mm, para un área de 1,3 m² (13,99 ft²).
- La velocidad de captura en el área abierta es de 120 fpm para el cálculo del caudal de extracción, teniendo en cuenta que la emisión está contenida al interior de la campana y la velocidad de generación es baja.
- El caudal de extracción calculado es aproximadamente de 1680 cfm
- Se recomienda fabricar la cabina en acero inoxidable teniendo en cuenta el trabajo con elementos calientes.



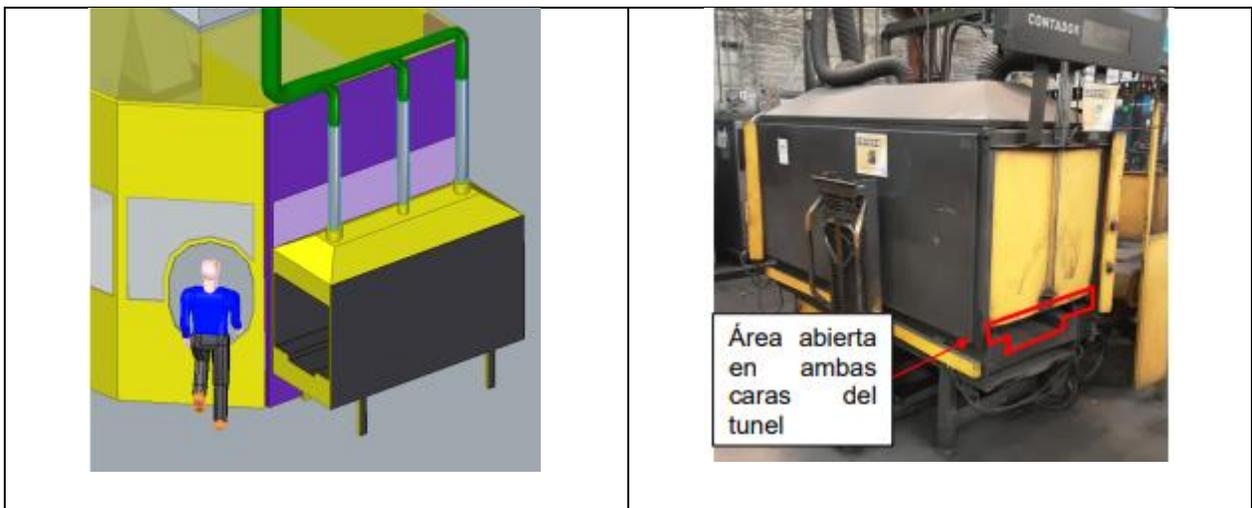
Equipo/Proceso	Punto Manual	
Ancho Abierto	1300 mm	51,2 in
Altura Abierta	1000 mm	39,4 in
Área Frontal	1,30 m ²	13,99 ft ²
Velocidad de Captura	0,61 m/s	120 fpm
CAUDAL	2854 m³/h	1679 cfm

Ilustración 18. Cabina encerramiento para punto manual

5.4.2.3 Campana túnel de enfriamiento

En la Ilustración 19 se muestra el túnel de secado actual con la conexión de los puntos de extracción, donde se considera lo siguiente para el diseño:

- Se propone utilizar las tomas de extracción actuales túnel de enfriamiento.
- Se debe mantener las puertas cerradas en el túnel de enfriamiento.
- El área abierta en cada cara en los hornos de sostenimientos tiene una altura de 150 mm y un ancho de 835 mm, para un área de 0,13 m² (1,35 ft²).
- La velocidad de captura en el área abierta es de 120 fpm para el cálculo del caudal de extracción, teniendo en cuenta que la emisión está contenida al interior de la campana y la velocidad de generación es baja.
- El caudal de extracción calculado es aproximadamente de 324 cfm por cada túnel.

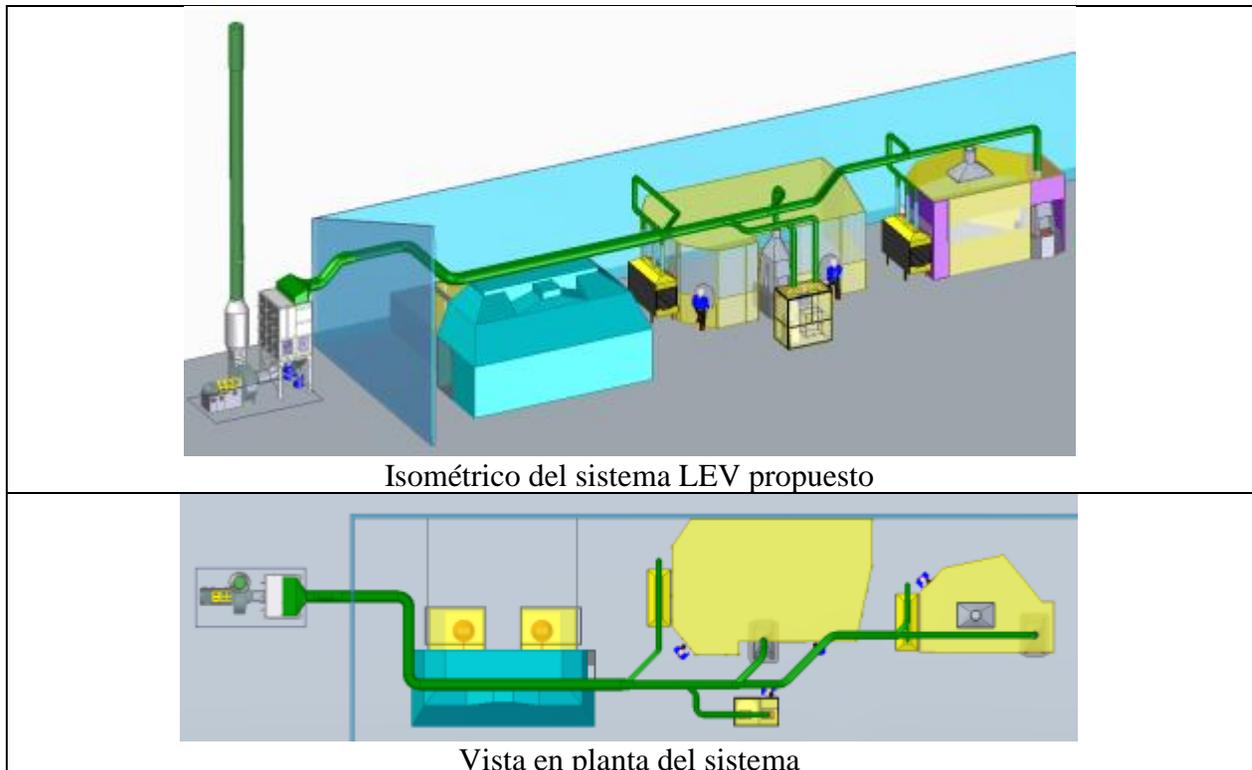


Equipo/Proceso	Túnel Enfriamiento	
Ancho Abierto	835 mm	32,9 in
Altura Abierta	150 mm	5,9 in
Numero Caras abiertas	2	2
Área Frontal	0,25 m ²	2,70 ft ²
Velocidad de Captura	0,61 m/s	120 fpm
CAUDAL	550 m³/h	324 cfm

Ilustración 19. Tomas de extracción túnel de enfriamiento

5.4.3 Ruta Sistema de Extracción

En la Ilustración 20, se muestra la ruta de ductos propuestas para el sistema LEV 2.



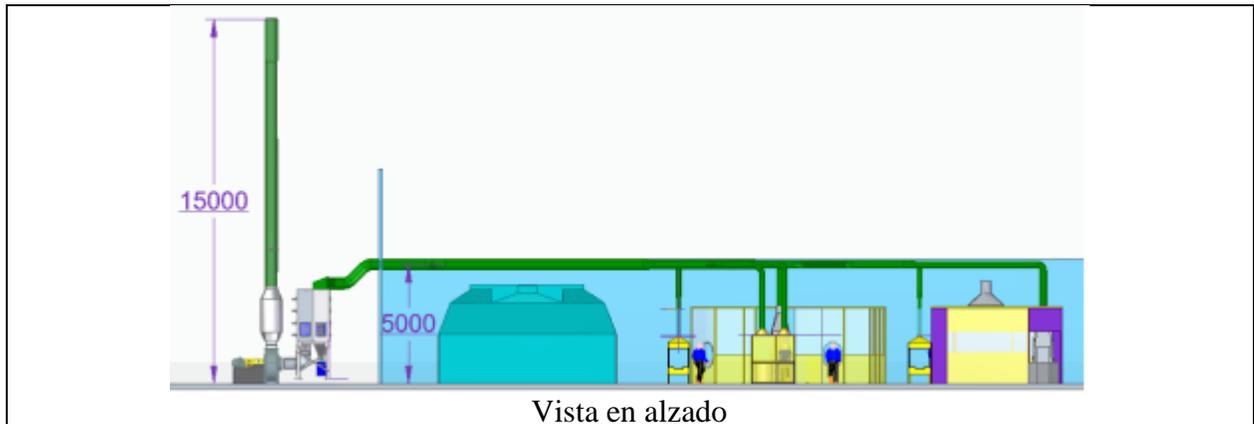


Ilustración 20. Ruta sistema de horno de sostenimiento

5.4.4 Equipo de control de contaminación

Para el control de material particulado se propone el uso de un equipo de filtración de cartuchos para evitar emisiones al exterior, el cual tendrá un recipiente donde se acumula el material retenido en el filtro.

Los cálculos preliminares arrojan que el filtro de cartuchos debe de cumplir con las siguientes especificaciones:

- Relación aire tela menor o igual a 4.
- Cartuchos en poliéster de dimensión estándar o comercial.
- Debe tener un sensor de presión y un controlador para la activación del pulso de limpieza (válvulas solenoides).
- Realizar la limpieza de los cartuchos con aire comprimido.

En la Ilustración 21 se muestran un esquema del filtro de cartuchos especificado.

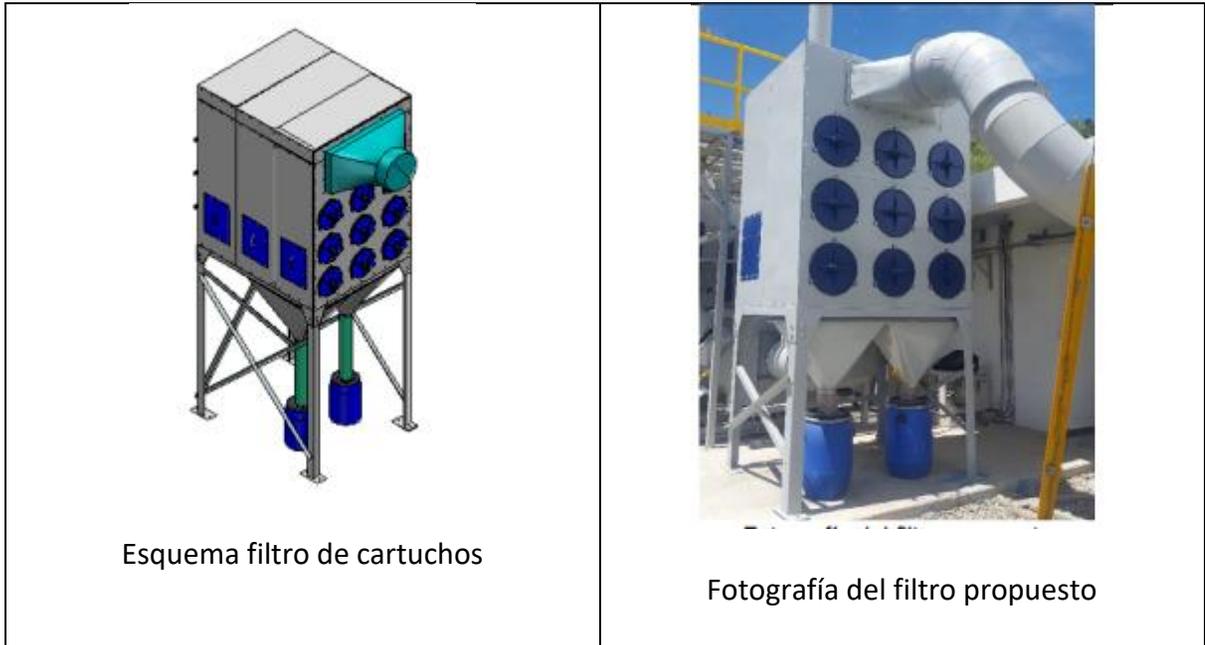


Ilustración 21. Esquema filtro de cartuchos

5.4.5 Tipo de del Ventilador

En la Ilustración 22, se muestra el ventilador centrífugo propuesto para el sistema de extracción de aire. La potencia del motor requerido con los precálculos es de 15 HP aproximadamente.

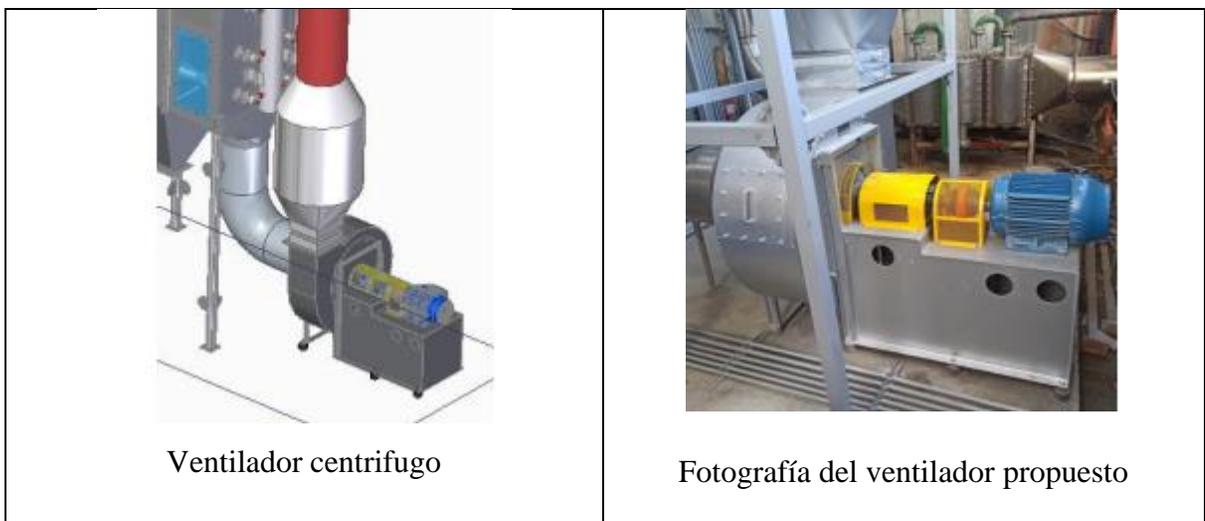


Ilustración 22. Ventilador centrífugo

5.4.6 Chimenea

Los sistemas de extracción descargan el aire al ambiente a través de una chimenea, la cual debe garantizar las siguientes características:

- Velocidad de descarga mínima de 3000 FPM.
- Niples para el muestreo del aire a mínimo 4 diámetros desde la última perturbación y a 4 diámetros mínimo hasta la descarga.
- No se incluye plataforma para realizar los muestreos isocinéticos, ya que la empresa opta por instalar andamios.
- Se recomienda una altura de 15 metros para la chimenea, cumpliendo con las recomendaciones de la normatividad vigente.
- Tubo concéntrico en su descarga para evitar el ingreso de lluvia en su interior hasta el ventilador

Con base a la experiencia que Ventilación y Control Ambiental S.A.S posee en el diseño y montaje de sistemas de ventilación industrial, se sugiere que la altura de descarga de la chimenea sea de 15 metros.

5.5 Sistema LEV 3 – Celdas robotizadas

5.5.1 Descripción del proceso

En las celdas robotizadas se identifican 2 zonas con generación de humos y gases al interior:

- Cuando el robot ingresa el cucharón a la colada.
- Cuando el robot vierte la colada en el molde.
- Durante el desmolde.

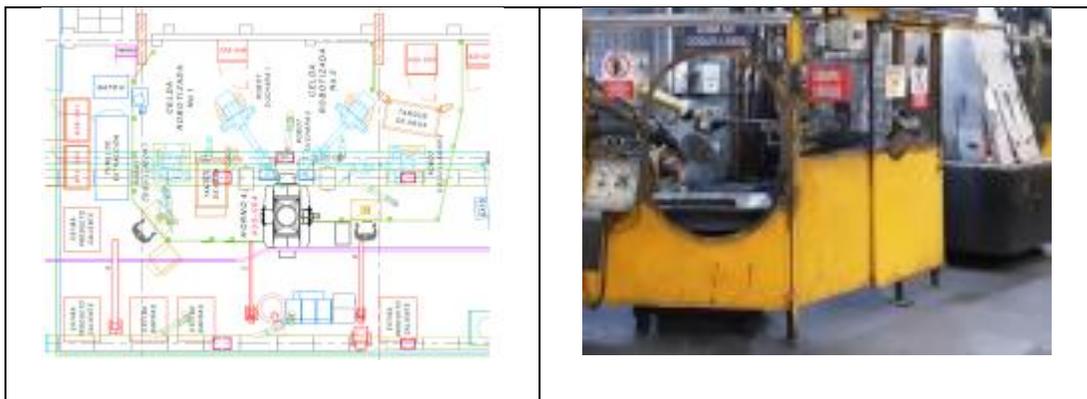
La característica de la emisión en los puntos es humos metálicos de la fundición, donde sobresale el óxido de zinc y formaldehído en el desmoldeo.

5.5.2 Campana y encerramientos para el control de emisiones

5.5.2.1 Celdas robotizadas 1 y 2

En la Ilustración 23 se muestra el cerramiento recomendado para el control de las emisiones en las celdas robotizadas 1 y 2, donde se considera lo siguiente para el diseño:

- Se diseña un encerramiento respetando el perímetro actual de las celdas.
- El cerramiento consta de parte metálica y área con material transparente (vidrio o acrílico) para que los operarios puedan vigilar la operación del brazo al interior del cerramiento.
- Cada cerramiento tiene dos puestos de trabajo, donde el área abierta tiene una altura de 1130 mm y un ancho de 800 mm, para un área de 0,91 m² (9,74 ft²) por cada cara abiertas.
- La velocidad de captura en el área abierta es de 120 fpm para el cálculo del caudal de extracción, teniendo en cuenta que la emisión está contenida al interior de la campana y la velocidad de generación es baja.
- El caudal de extracción calculado aproximadamente para la celda es de 6900 cfm.
- Con una extracción de 6900 cfm, se obtiene una renovación de aire de 80 cph.



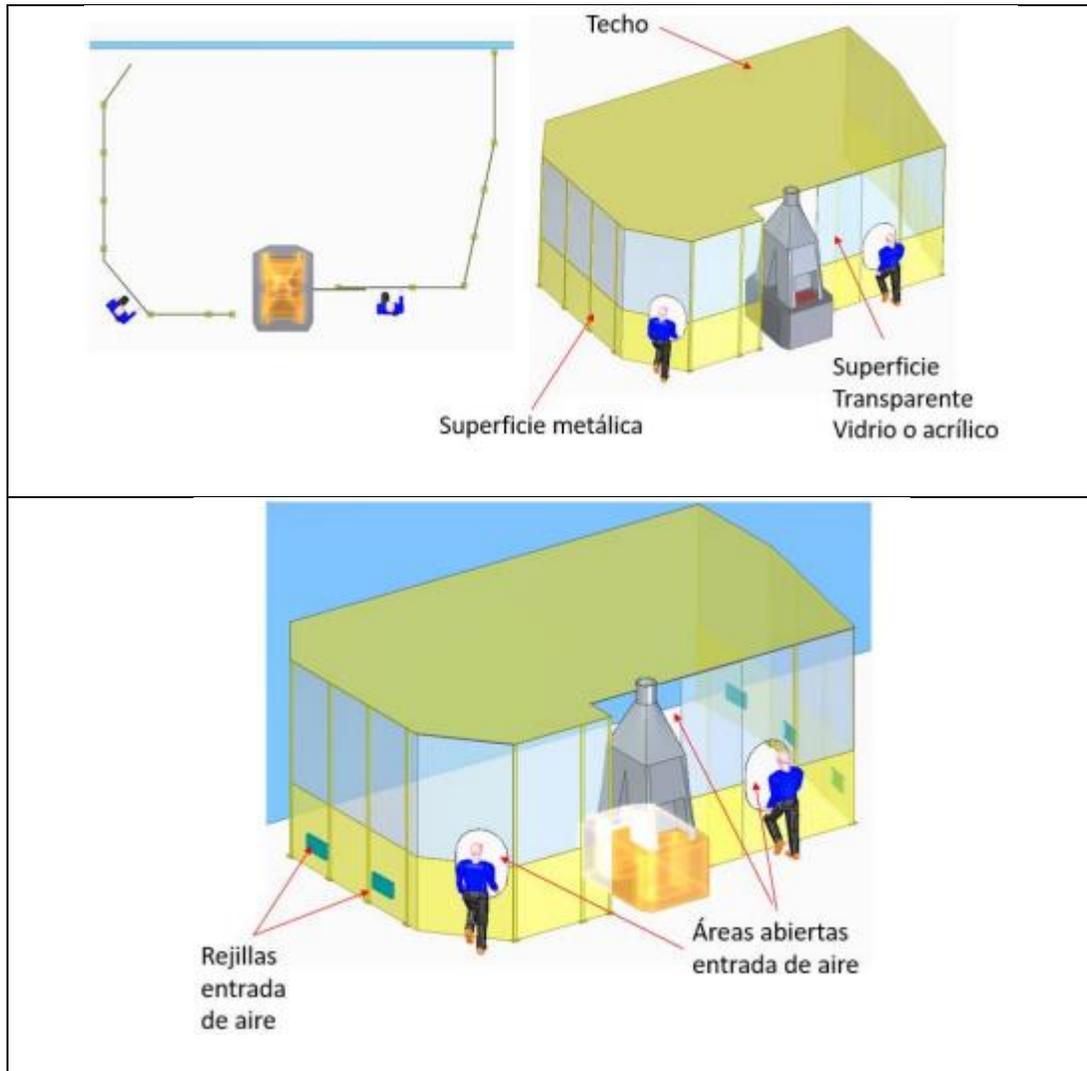


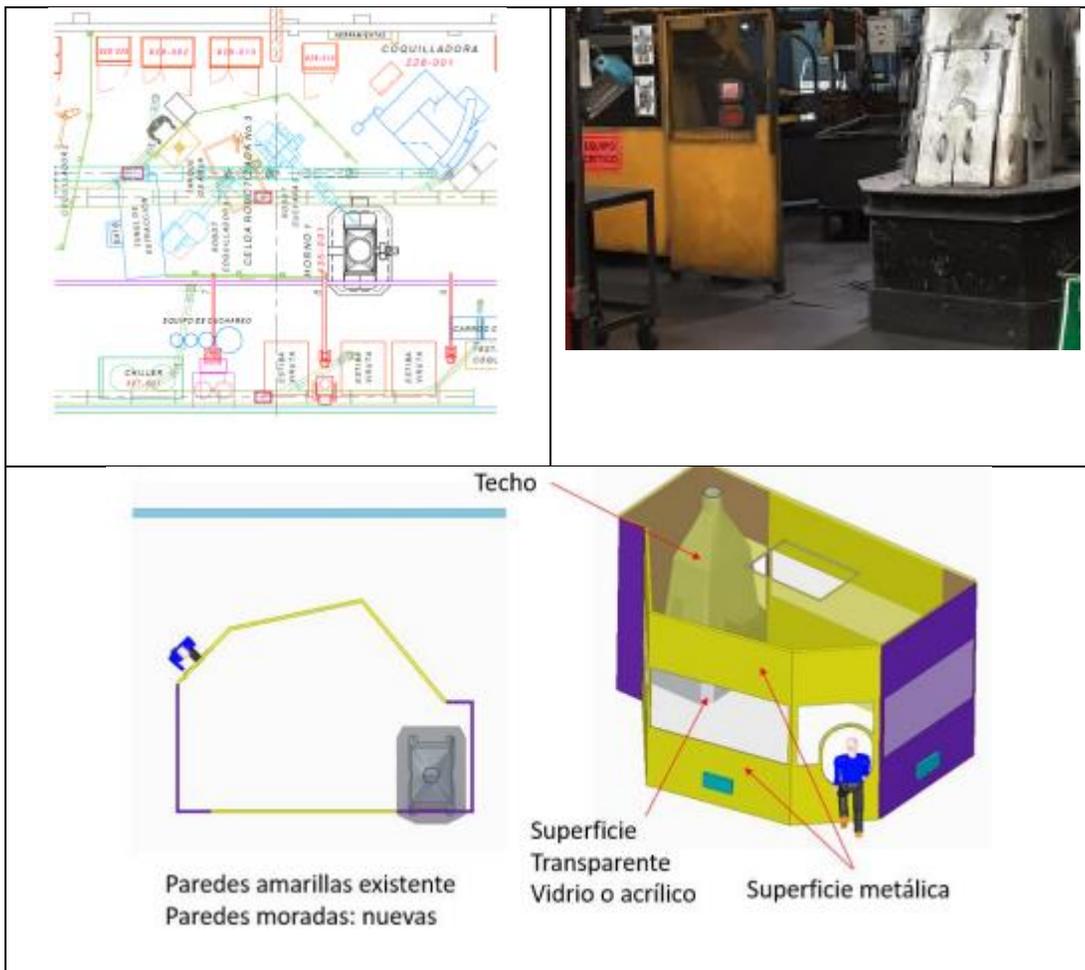
Ilustración 23. Cerramiento celda robotizada 1 y 2

5.5.2.2 Celdas robotizadas 3

En la Ilustración 24 se muestra el cerramiento recomendado para el control de las emisiones en las celdas robotizadas 3, donde se considera lo siguiente para el diseño:

- Se diseña un encerramiento respetando el perímetro actual de las celdas.
- El cerramiento consta de parte metálica y área con material transparente (vidrio o acrílico) para que los operarios puedan vigilar la operación del brazo al interior del cerramiento.

- Cada cerramiento tiene dos puestos de trabajo, donde el área abierta tiene una altura de 1130 mm y un ancho de 800 mm, para un área de 0,91 m² (9,74 ft²) por cada cara abiertas.
- La velocidad de captura en el área abierta es de 120 fpm para el cálculo del caudal de extracción, teniendo en cuenta que la emisión está contenida al interior de la campana y la velocidad de generación es baja.
- El caudal de extracción calculado aproximadamente para la celda es de 3900 cfm.
- Con una extracción de 3900 cfm, se obtiene una renovación de aire de 120 cph.



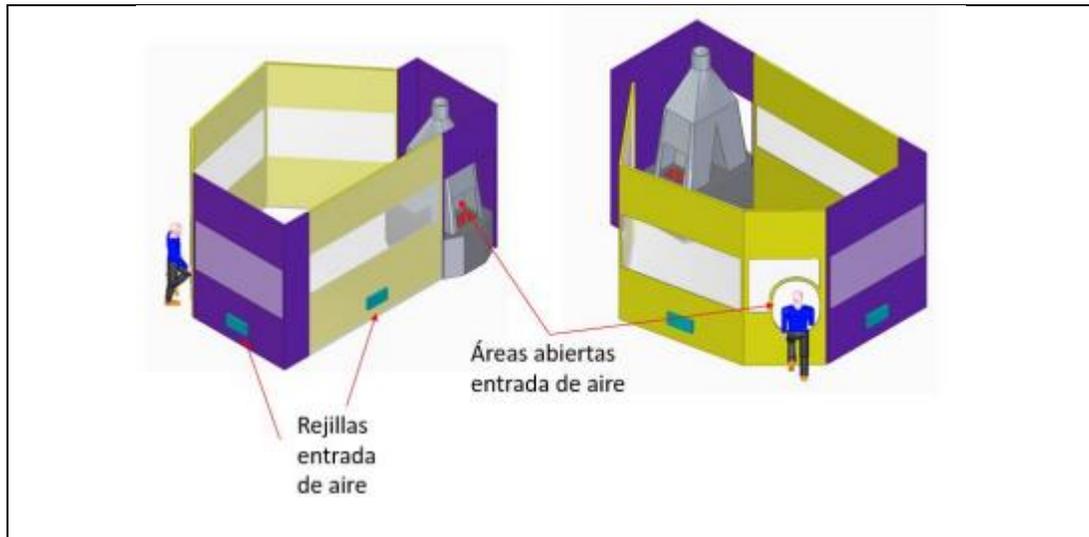
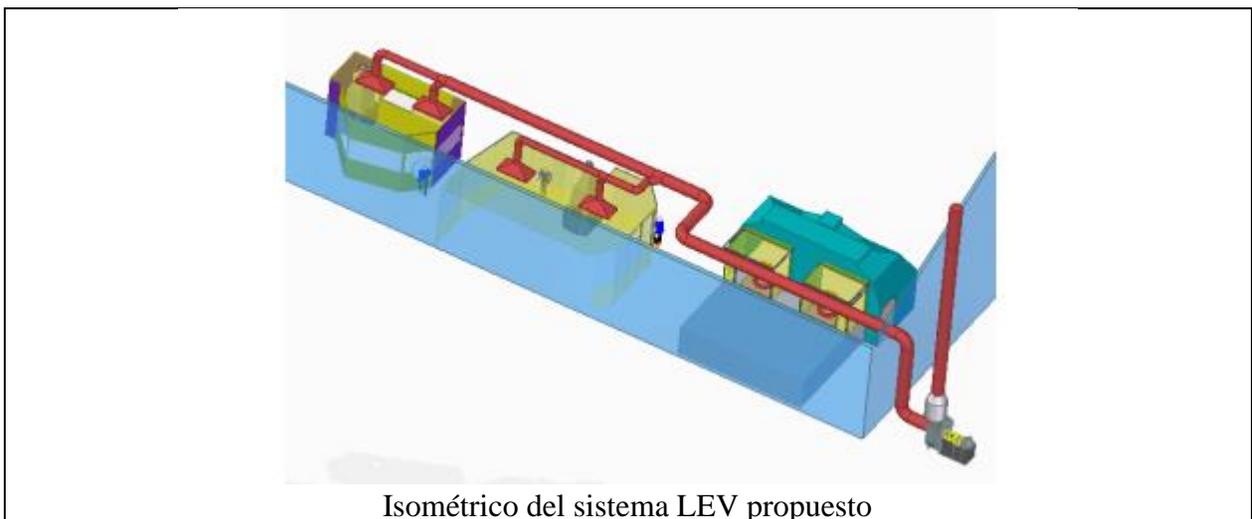


Ilustración 24. Cerramiento celda robotizada 3

5.5.3 Ruta Sistema de Extracción

En la Ilustración 25, se muestra la ruta de ductos propuestos para el sistema LEV 3.



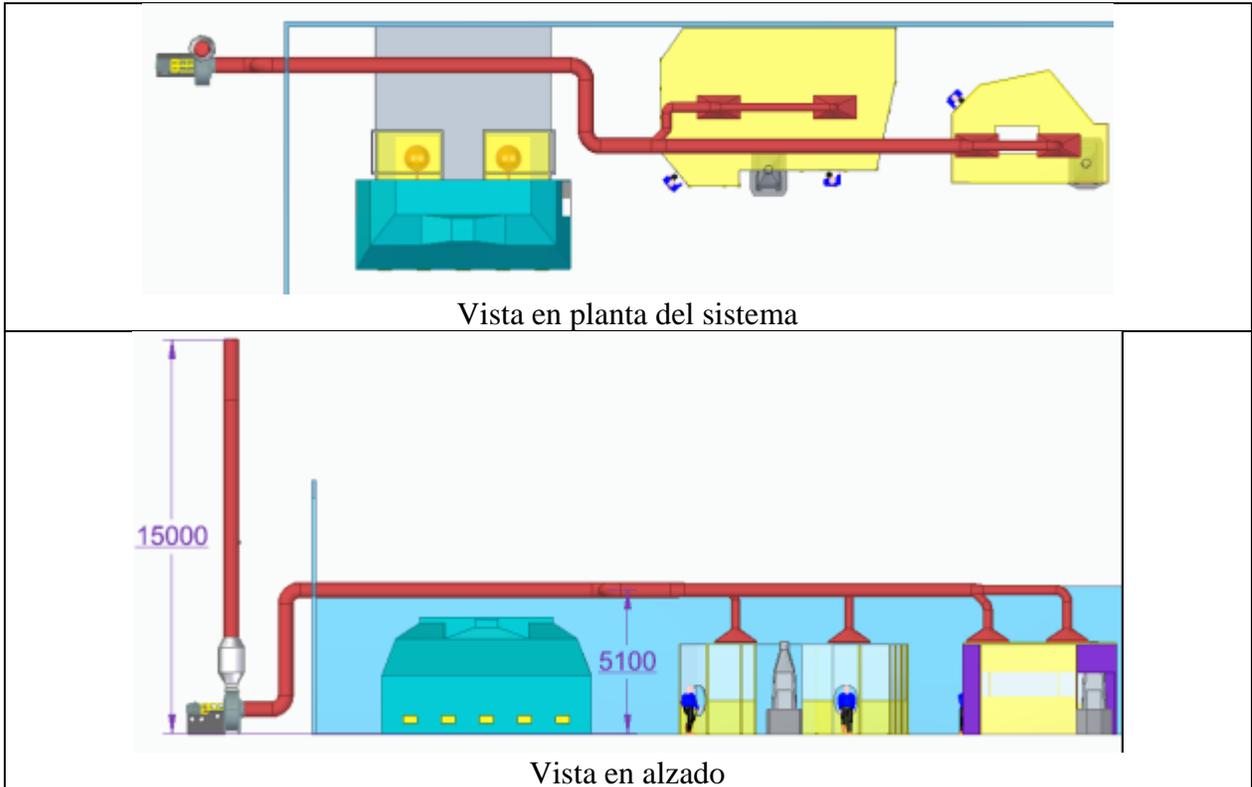


Ilustración 25. Sistema de horno de fundición

5.5.4 Equipo de control de contaminación

No se propone equipo de limpieza de aire debido a que las emisiones son pequeñas y la cantidad de aire ayuda a diluir los contaminantes.

5.5.5 Tipo de del Ventilador

En la Ilustración 26, se muestra el ventilador centrífugo propuesto para el sistema de extracción de aire. La potencia del motor requerido con los precálculos es de 15 HP aproximadamente.

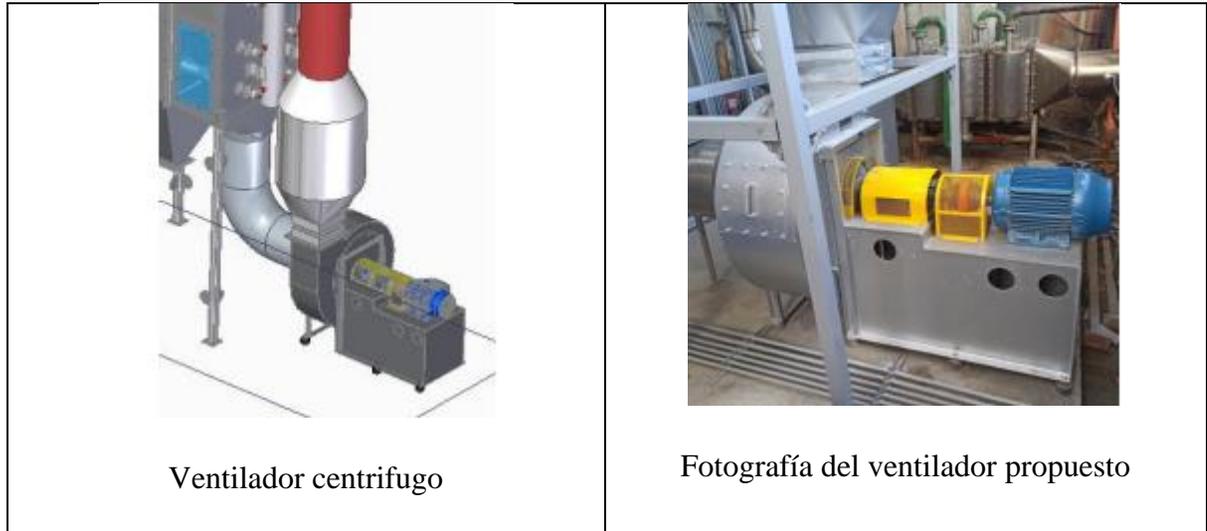


Ilustración 26. Ventilador centrifugo

5.5.6 Chimenea

Los sistemas de extracción descargan el aire al ambiente a través de una chimenea, la cual debe garantizar las siguientes características:

- Velocidad de descarga mínima de 3000 FPM.
- Niples para el muestreo del aire a mínimo 4 diámetros desde la última perturbación y a 4 diámetros mínimo hasta la descarga.
- No se incluye plataforma para realizar los muestreos isocinéticos, ya que la empresa opta por instalar andamios.
- Se recomienda una altura de 15 metros para la chimenea, cumpliendo con las recomendaciones de la normatividad vigente.
- Tubo concéntrico en su descarga para evitar el ingreso de lluvia en su interior hasta el ventilador.

Con base a la experiencia que Ventilación y Control Ambiental S.A.S posee en el diseño y montaje de sistemas de ventilación industrial, se sugiere que la altura de descarga de la chimenea sea de 15 metros.

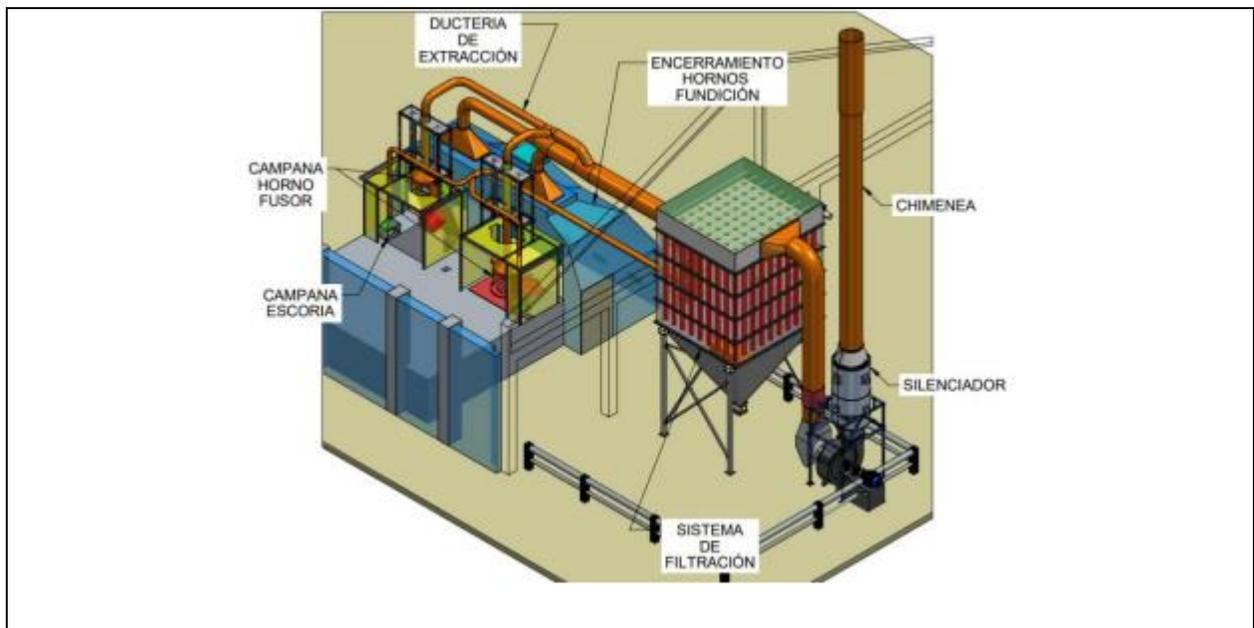
6 Ingeniería general o básica

En la ingeniería de básica, damos conocer mejor el sistema LEV, donde mostramos ya el lugar donde va a quedar ubicar el sistema, diseño de las campanas, cabinas, rutas, balanceo de presiones, sistema de filtración, selección de ventiladores, chimeneas, silenciadores.

6.1 Sistema LEV 1 – Horno fusor

6.1.1 Campanas, encerramiento y sistema de extracción para el control de emisiones

En la Ilustración 27, se muestra el esquema del sistema de extracción propuesto, donde se puede observar la trayectoria de ductería y la ubicación de las cabinas de acuerdo con los puntos de emisión identificados.



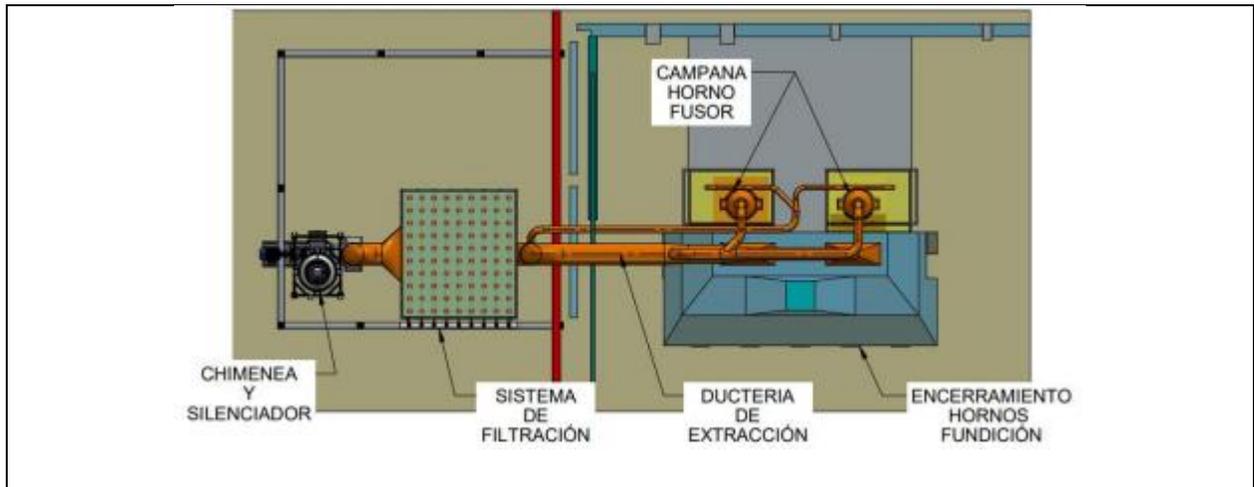


Ilustración 27. Sistema LEV horno fusor

6.1.1.1 Campana en la boca del horno fusor

En la Ilustración 28, se muestra la campana recomendada para el control de las emisiones en la boca del horno fusor, donde se considera lo siguiente para el diseño:

- La campana en la parte superior cubre la totalidad del diámetro de la boca del horno fusor.
- La extracción de aire en las dos campanas trabajara al tiempo.
- Las campanas tienen un sistema de izaje para elevar y bajar, lo que indica que tendrían dos posiciones, en la posición 1 la campana se encuentra sobre el horno en funcionamiento permitiendo la extracción de los gases y humos generados en el proceso y en la posición 2 se eleva la campana con el sistema de izaje con el fin de que el crisol del horno se mueva y se pueda hacer el vaciado de la colada ya fundida.

Para el cálculo del caudal de extracción de las campanas se selecciona una velocidad de captura de 250 FPM (1,27 m/s) y el caudal de extracción es de 1356 CFM (2305 m³ /h) para cada horno fusor.

El cálculo de los flujos se puede observar en la Tabla 3

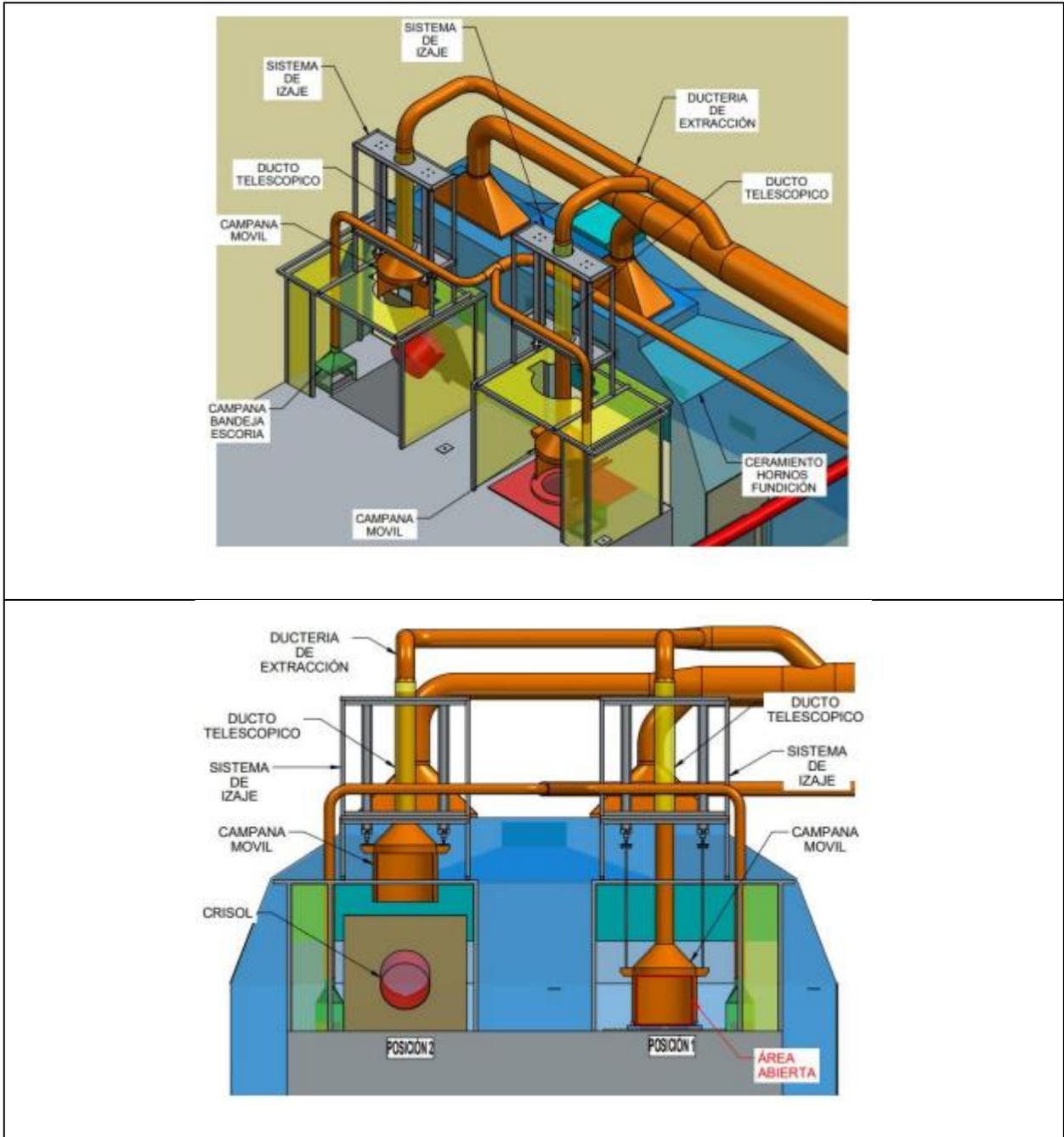


Ilustración 28. Campanas hornos fusores

Tabla 3. Cálculo de área abierta para acceso de aire

Equipo/Proceso	Horno Fusor	
Ancho Abierto	840 mm	33,1 in
Altura Abierta	600 mm	23,6 in
Área Frontal	0,50 m ²	5,43 ft ²
Velocidad de Captura	1,27 m/s	250 fpm
CAUDAL	2305 m³/h	1356 cfm

6.1.1.2 Campana bandeja de escoria

En la Ilustración 29 se muestra la campana recomendada para el control de las emisiones en la bandeja de escorias y se hacen las siguientes consideraciones para el diseño:

- La campana recomendada cubre la totalidad de la bandeja de escoria.
- La extracción de aire en las dos campanas, trabajaran al mismo tiempo.

Para el cálculo del caudal de extracción de la campana se selecciona una velocidad de captura de 200 FPM (1.02 m/s)

El caudal de extracción es aproximadamente de 398 CFM (677 m³ /h). En la Tabla 4 muestra los cálculos de la campana para el control de gases y humos generados.

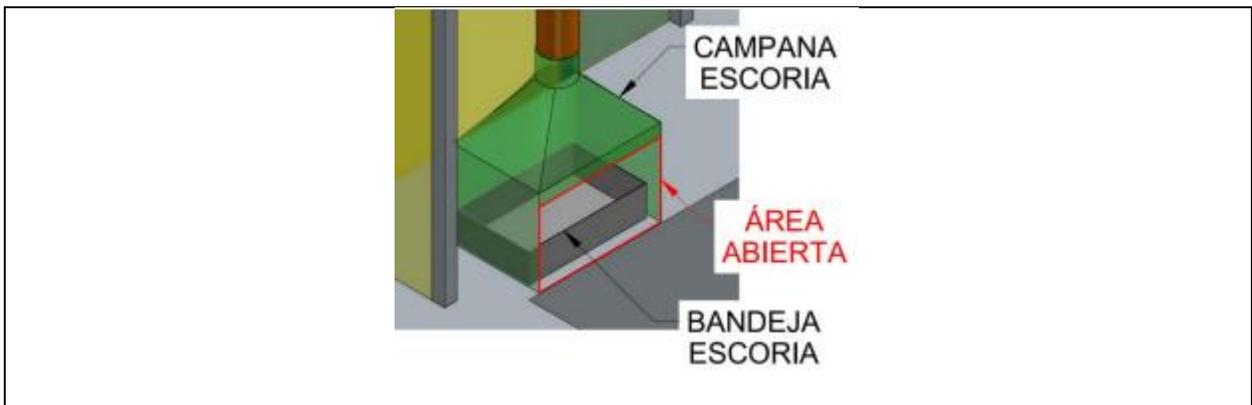


Ilustración 29. Campana para bandeja de escoria

Tabla 4. Cálculo de flujo para cada campana para el manejo de escoria

Equipo/Proceso	Bandeja escoria IZQ	
Ancho Abierto	500 mm	19,7 in
Altura Abierta	370 mm	14,6 in
Área Frontal	0,19 m ²	1,99 ft ²
Velocidad de Captura	1,02 m/s	200 fpm
CAUDAL	677 m³/h	398 cfm

6.1.1.3 Encerramiento hornos de fundición

En la Ilustración 30, se muestra el encerramiento actual, el cual se recomienda mantener para el control de emisiones durante el descargue de colada al recipiente de traslado, donde se hacen las siguientes consideraciones para el diseño:

- Mantener el encerramiento actual, el cual debe mejorarse para tapar hasta donde sea posible los espacios abiertos.
- Durante el descargue de colada se debe dejar solo abiertas solo 2 puertas (puerta 1 y 2) y se debe cerrar las puertas en los hornos fusores (puerta 3 y 4).

Para el cálculo del caudal de extracción del encerramiento se utiliza la metodología recomendada por la ACGIH en el Industrial Ventilation edición 31 en la página 15- 40, Rectangular high Canopy Hoods para procesos de alta temperatura, donde se selecciona una velocidad de 100 FPM (0.51 m/s). El caudal de extracción es de 7209 CFM (12248 m³/h) como se muestra en la Tabla 5

Tabla 5. Cálculo de flujo de aire

Ancho mínimo Campana - Dc	$D_c=0,5X^{0,88}$	
Diametro de la Fuente - Ds	350 mm	
Temperatura Emisión - Tf	1100 °C	
Temperatura del cuarto - Tamb	2012 °F	
	30 °C	
	86 °F	
Altura Campana - Y	2200 mm	
	7,216 ft	
Velocidad Area remanente - Vr	0,51 m/s	
	100,4 fpm	
Distancia Hipotetica - Xc	9,8 ft	
	2985 mm	
Diametro minimo Campana - Dc	3,72 ft	
	1135 mm	
Area Fuente de emisión - As	1,04 ft ²	
Velocidad Cara abierta Campana - Vf	110 fpm	
Diametro recomendado campana - D	9,4959 ft	
	2895 mm	
Area Diametro minimo - Ac	10,89 ft ²	
Area Diametro recomendado - Af	70,82 ft ²	
Caudal de Extracción	7209 cfm	

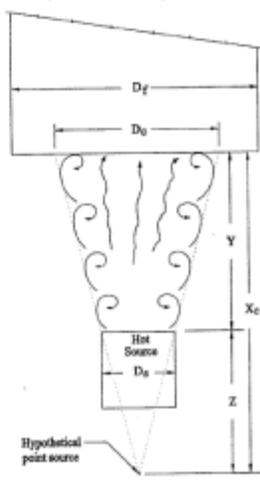
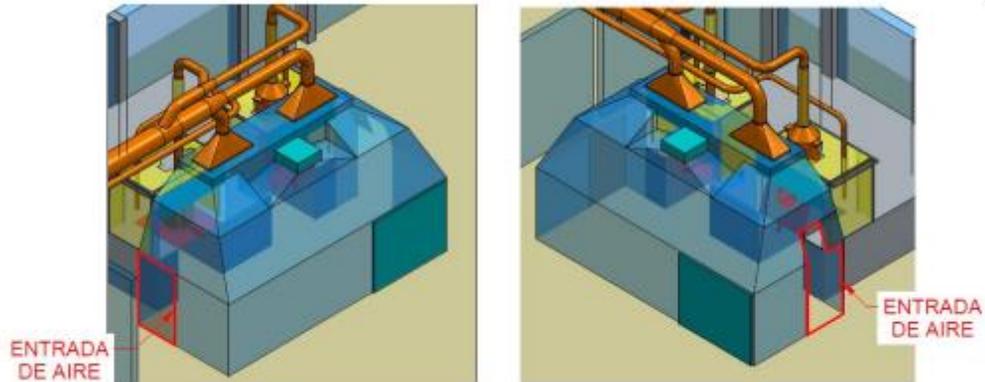


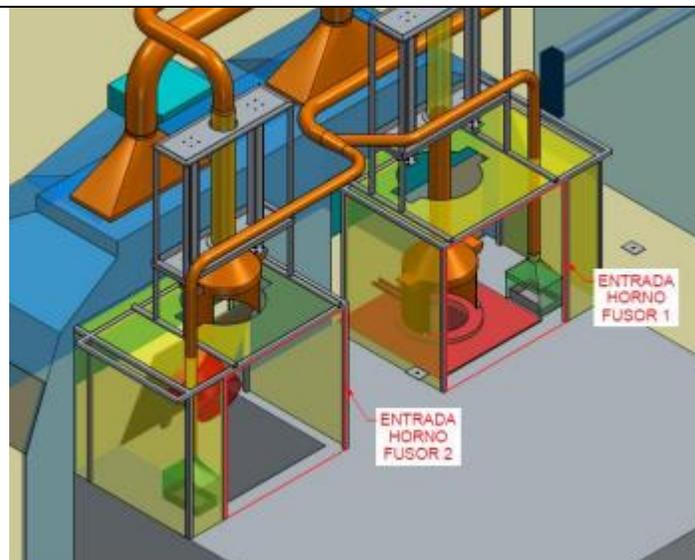
FIGURE 13-27-2. Dimensions used to design high-canopy hoods for hot sources

Para garantizar una adecuada captación, se debe garantizar lo siguiente:

- Las áreas resaltadas en rojo en la Ilustración 30 deben permanecer abiertas para la entrada de aire y refrescar a los operarios.
- La entrada a los hornos fusores 1 y 2 deben cerrarse para garantizar una adecuada contención de los humos metálicos durante el descargue de la colada al recipiente de traslado (caldero).
- Se debe cerrar la pared del cerramiento actual que está enfrente del control de mando de los hornos, instalando material trasparente como vidrio que permita visualizar el trabajo al interior del cerramiento.



Puertas abiertas para la entrada de aire



Las entradas deben permanecer cerradas durante el descargue de la colada de fundición

Ilustración 30. Cerramiento celda robotizada 3

6.1.2 Diseño y balanceo del sistema de ductos de extracción

El sistema de ductos de extracción se diseña y balancea bajo las recomendaciones y procedimientos establecidos por la ACGIH en la guía “Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice for Design, 31th Edition”, con el fin de garantizar los caudales requeridos en cada una de las campanas del sistema y definir los diámetros.

En la Ilustración 31 se presenta mediante un esquema la trayectoria de ductería propuesta para el sistema de extracción, donde se enumera cada punto de captación y cada intersección entre dos ramales de ductos. Esto con el fin de facilitar el entendimiento de la hoja de cálculo de balance de energías donde se define la presión estática total del sistema, la cual se determina teniendo en cuenta los caudales, la velocidad de transporte, la trayectoria de ductería (tramos rectos y accesorios), y se encuentran, finalmente, los diámetros de diseño.

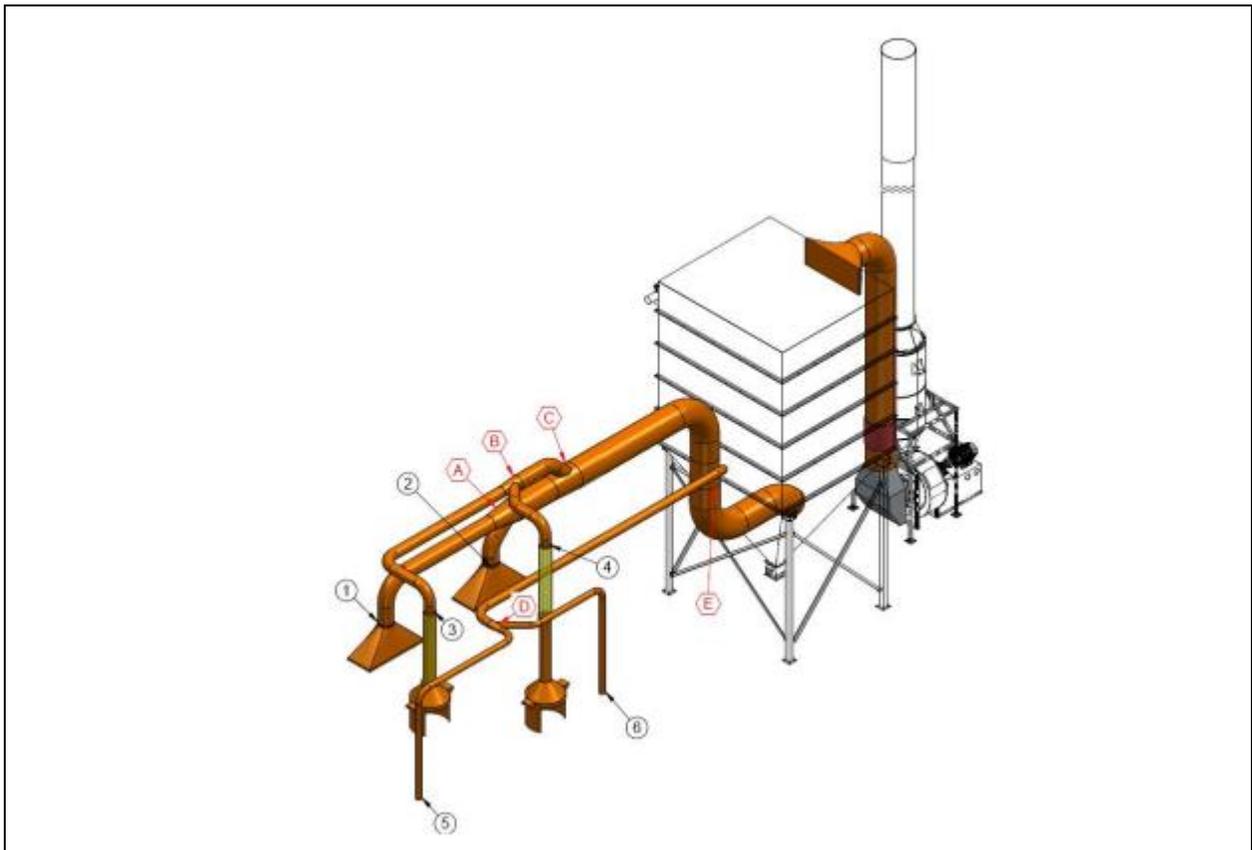


Ilustración 31. Trayectoria de ductería para balanceo de energía

La Tabla 6 se muestran un resumen del diseño y balanceo del sistema de extracción de aire, donde se muestra el caudal, las velocidades y los diámetros de los ductos.

Tabla 6. Balanceo del sistema de ductos de extracción

INTERSECCIÓN		A		B		C	
TRAMO DE DUCTO:		1-A	2-A	3-B	4-B	A-C	B-C
NOMBRE DEL PUNTO DE EMISIÓN:		Campara Cerramiento 1	Campara Cerramiento 2	Campara Hornos fuor 1	Campara Hornos fuor 2		
ENTRA EN :			1-A		3-B		A-C
LLEGA A :		A-C	A-C	B-C	B-C	C-E	C-E
Altitud	m.s.n.m.	2550	2550	2550	2550	2550	2550
Presión atmosférica	P atm	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731
Temperatura BS del Aire Captado o de la Mezcla de Aire	°C	50	50	50	50	50	50
Humedad Relativa del Aire Captado o de la Mezcla de Aire	%	50	50	50	50	50	50
Humedad específica	#H2O/ #Aire Seco	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Entalpia	kJ/kg	196,98	196,98	196,98	196,98	196,98	196,98
Factor de Corrección	df	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
CAUDAL	cfm	3800	3800	1180	1400	7600	2780
Velocidad de Transporte, Vt	fpm	3500	3500	3500	3500	3500	3500
Diámetro del Ducto (inicial)	in	14,11	14,11	8,50	8,56	19,95	12,07
Diámetro del Ducto REAL	in	12,80	12,80	8,86	8,86	19,69	11,81
	mm	325	325	225	225	500	300
Total Pérdidas Ramal	in H2O	1,32	1,29	1,07	1,03	1,34	1,37
BALANCE	%	102%		103%		102%	

INTERSECCIÓN		D		E		FILTRO	FAN	
TRAMO DE DUCTO:		S-D	G-D	C-E	D-E	E-FILTRO	FILTRO-FAN	FAN-CHIMENEA
NOMBRE DEL PUNTO DE EMISIÓN:		Campara Escoria 1	Campara Escoria 2					
ENTRA EN :			S-D		C-E			
LLEGA A :		D-E	D-E	E-FILTRO	E-FILTRO	FILTRO-FAN	FAN-CHIMENEA	
Altitud	m.s.n.m.	2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550
Presión atmosférica	P atm	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731
Temperatura BS del Aire Captado o de la Mezcla de Aire	°C	50	50	50	50	50	50	50
Humedad Relativa del Aire Captado o de la Mezcla de Aire	%	50	50	50	50	50	50	50
Humedad específica	#H2O/ #Aire Seco	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Entalpia	kJ/kg	196,98	196,98	196,98	196,98	196,98	196,98	196,98
Factor de Corrección	df	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
CAUDAL	cfm	400	400	30380	810	11190	11190	11190
Velocidad de Transporte, Vt	fpm	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
Diámetro del Ducto (inicial)	in	4,63	4,58	23,32	6,51	24,21	24,21	24,21
Diámetro del Ducto REAL	in	4,92	4,92	22,64	6,89	23,62	23,62	24,63
	mm	125	125	575	175	600	600	625
Total Pérdidas Ramal	in H2O	1,90	1,63	1,63	1,68	2,62	2,98	3,35
BALANCE	%	102%		103%				

En la Tabla 7 se presentan los criterios necesarios para la selección del ventilador del sistema de extracción LEV 1 HORNOS FUSORES

Tabla 7. Condiciones para la selección del ventilador y presión estática calculada

CRITERIOS PARA SELECCIONAR EL VENTILADOR			
CONDICIONES LOCALES:			
ALTITUD	2550 msnm	T	50 °C
PRESIÓN ATMÓSFERICA	556 mmHg	FC	0,66
CAUDAL	19012 m ³ /h		11190 cfm
PRESIÓN ESTÁTICA (PE) DUCTERÍA+CHIMENEA			3,15 inH2O
PE CORREGIDA DUCTERÍA +CHIMENEA			4,75 inH2O
PRESIÓN ESTÁTICA (PE) ADICIONAL	FILTRO DE MANGAS		5,0 inH2O
	SILENCIADOR		1,0 inH2O
EFFECT SYSTEMS FAN	INLET BOX		1,9 inH2O
	INLET SYSTEM EFFECT		0,00 inH2O
	OUTLET SYSTEM EFFECT		0 inH2O
PRESIÓN ESTÁTICA REQUERIDA			12,60 inH2O
			7,28 Onzas
			3139 Pascal
TIPO DE CONTAMINANTE			Humos metalicos de Fundición

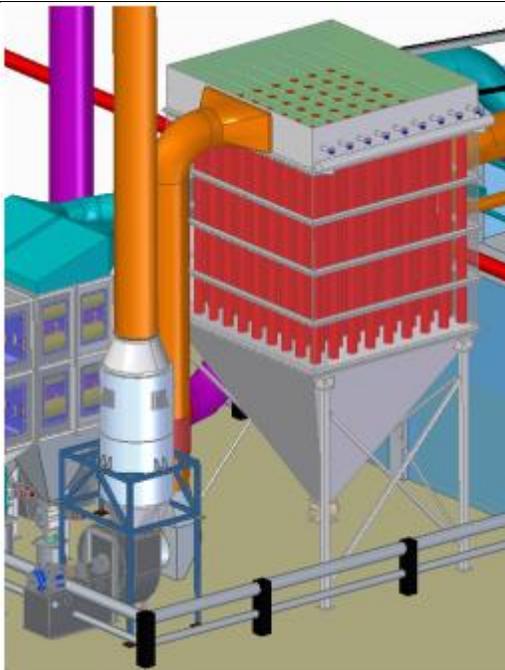
6.1.3 Equipo de control de contaminación

Para el control de material particulado se propone el uso de un equipo de filtración con talegas (mangas) para evitar emisiones al exterior teniendo en cuenta que durante el cargue de la fundición al recipiente de transporte (calderos) se observa una cantidad de humos considerable. El filtro seleccionado tiene las siguientes características.

- Caudal de aire filtrado: 11190 cfm.
- Tipo de contaminante: Humos metálicos (óxido de zinc).
- Temperatura de trabajo: 50°C.
- Relación aire tela: 8:1.
- Diámetro de la talega: Ø 6,25” (comercial).
- Longitud de la Talega: 10 ft (3 metros).
- Cantidad de talegas: 90.
- Arreglo: 10 X 9.
- Material de la talega: Poliéster.

- Canastillas y Venturi.
- Sistema de autolimpieza con aire comprimido 90 - 100 PSI.
- Permite recuperar material almacenado en recipientes de recolección.
- Tablero para control de limpieza y diferencial de presión.
- Plataformas para mantenimiento.
- Válvula rotativa y/o un recipiente ajustado a la tolva para la descarga del material colectado.

En la Ilustración 32, se muestra el esquema de la unidad de filtración seleccionada para el sistema de extracción. Se resalta que las dimensiones son basadas en los equipos de referencia de VECAM y que en la ingeniería de detalle el fabricante define el dimensionamiento final del equipo.



Filtro talegas o mangas



Fotografía del filtro propuesto

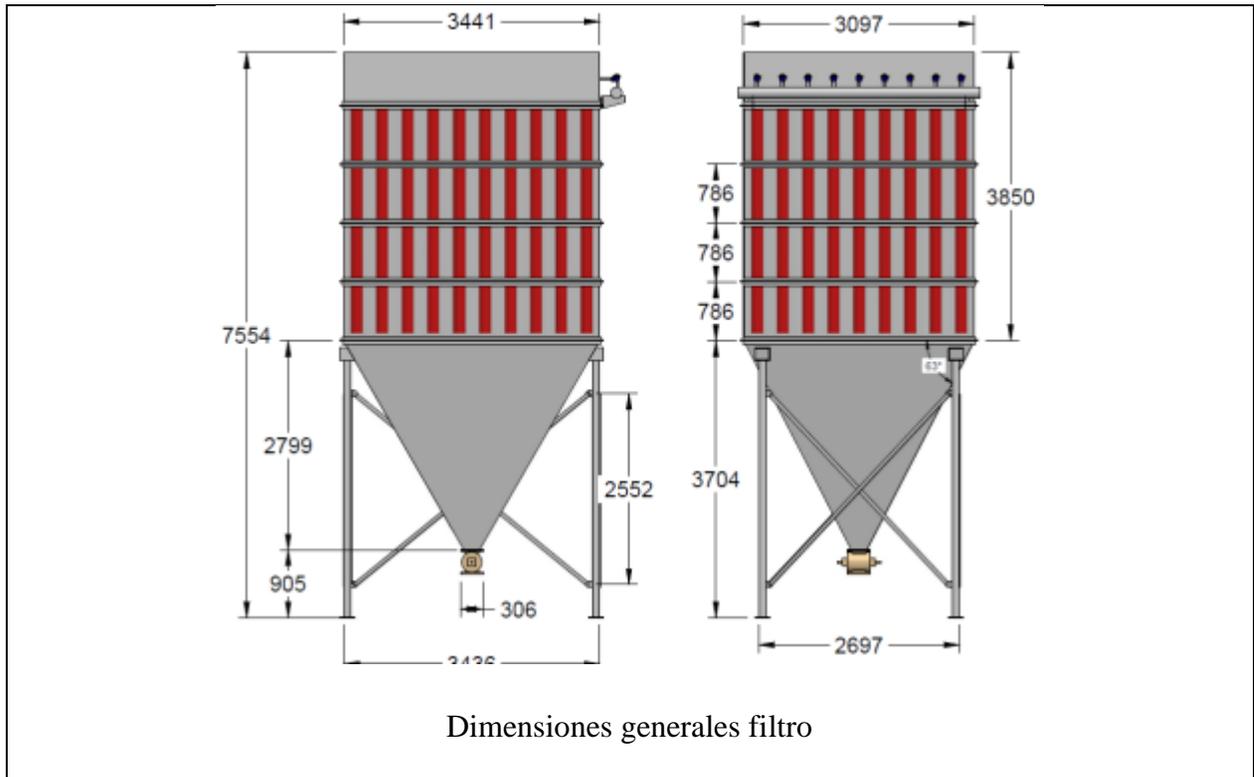


Ilustración 32. Filtro de talegas o mangas

6.1.4 Selección de ventilador

En la Tabla 8 se presentan las especificaciones del ventilador seleccionado para la condición de operación requerida de 11190 cfm y 12,6 in H₂O.

Tabla 8. Ventilador seleccionado

PARÁMETROS	VALOR	OBSERVACIÓN
Tipo de Ventilador	Ventilador centrífugo industrial	
Tipo de Rotor	Aspas plana inclinadas hacia atrás para trabajo industrial	
Ciudad	Funza (Colombia)	2550 msnm
Temperatura del aire	Ambiente	
Caudal de aire	11160 cfm (condiciones actuales)	Estos dos parámetros son los necesarios para la selección del ventilador
Presión Estática	12,6 inH ₂ O (3139 Pa) corregida a condiciones estándar	
Referencia del ventilador	AH 2021 CLASE 20	Marca: VECAM S.A.S o similar
Caudal del ventilador	11520 CFM	
Presión Estática (PE)	13 inH ₂ O	
RPM del rotor	1463 RPM	
BHP	34,4	
Motor	40 HP a 1800 rpm, ALTA EFICIENCIA IE3 (3F-60HZ-440V)	
Ancho	100%	
Arreglo	8	
Material constructivo	Acero al carbón	
Tipo de transmisión y sujeción	Acople directo	Se requiere uso de variador de frecuencia para obtener las revoluciones del rotor deseadas
Rotación	Sentido horario, visto desde el motor	Se puede ajustar a los requerimientos de CORONA necesidades de montaje
Descarga	Superior vertical	
Nivel de Ruido	Máximo 85 dB(A), evaluado a 1 m de distancia	Se requiere instalar silenciador en la descarga del ventilador
Sistema anti vibración	El ventilador debe estar soportado sobre unas bases de caucho anti-vibratorias.	
	La succión y la descarga del ventilador deben estar acopladas a la ductería mediante sección de material flexible	Si en el área donde estará ubicado el ventilador hay solventes orgánicos se deben utilizar materiales resistentes a dichos productos
	La chimenea, no debe estar soportada por el ventilador	Disponer estructura que soporte la chimenea y el silenciado
A prueba de explosión	N/A	
El ventilador debe de tener	<ul style="list-style-type: none"> - Compuerta de inspección - Drenaje - Guardas de protección en el eje y el sistema de transmisión 	

En la Ilustración 33 se muestra el ventilador centrifugo propuesto para el sistema de extracción de aire.

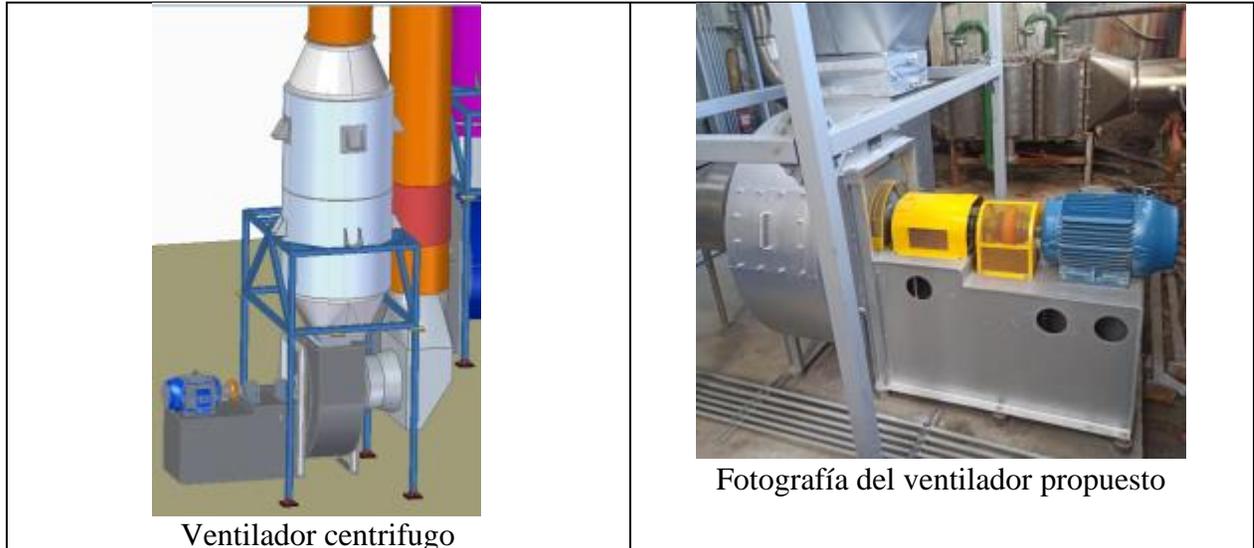


Ilustración 33. Ventilador centrifugo

6.1.5 Silenciador

De acuerdo con las condiciones de operación del equipo seleccionado, VENTILADOR AH2021, basados en el catálogo de VECAM, los niveles de ruido generados por el ventilador exceden los límites permisibles para zona industrial de 85 dB(A), por lo cual se hace necesario instalar un silenciador acústico tipo absorbivo, con el fin de garantizar que los niveles de ruido estén dentro de los límites permisibles, En la Ilustración 34 se presenta el esquema del silenciador acústico.

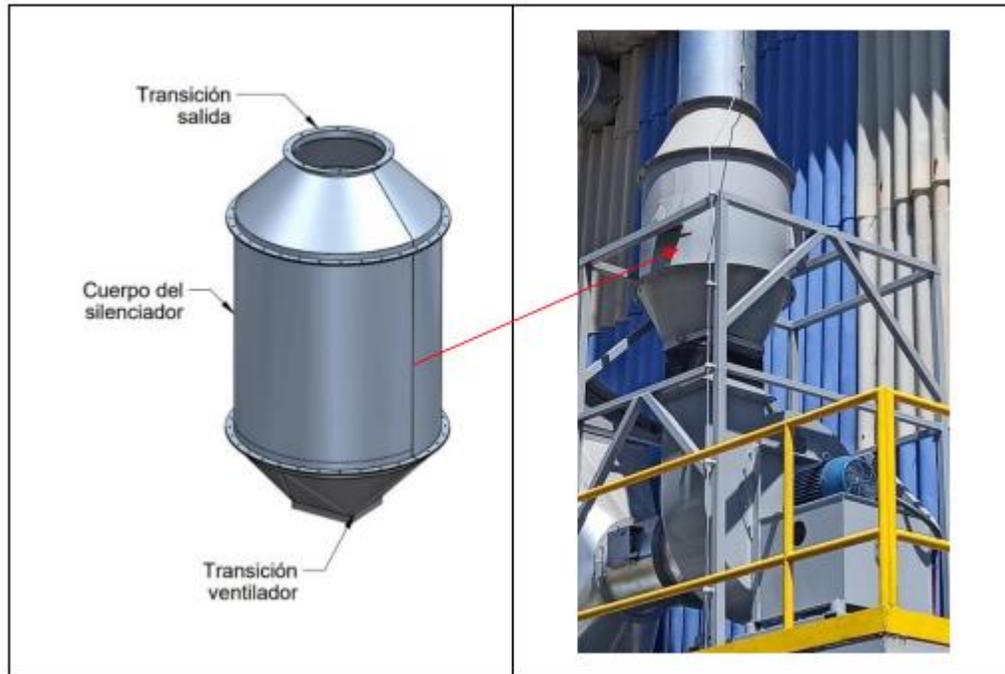


Ilustración 34. Silenciador absorbivo tipo concéntrico

En la Tabla 9, se muestra la atenuación acústica del silenciador, resaltando que los cálculos se realizan para los niveles de ruido de este equipo en particular. Si el equipo seleccionado en la ingeniería de detalle es otra referencia, se requiere validar con el espectro de frecuencia el nivel de ruido al que puede reducirse.

Tabla 9. Cálculo de atenuación acústica del silenciador

	Frecuencia (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Lana Mineral Espesor 2"	0,50	0,85	0,95	1,00	1,00	1,00
D_0/S	0,884					
Ruido Evaluado dB(Z)	114,1	107,6	100,2	90,0	84,8	80,0
La (1metro)	13,6	28,6	33,5	36,0	36,0	36,0
NR	87,2	81,7	77,9	75,0	72,6	70,8
Longitud Recomendada	1,97	0,90	0,67	0,42	0,34	0,26
Longitud silenciador	2,00 m					
La (long) dB(Z)	27,2	57,3	66,9	71,9	71,9	71,9
Ruido atenuado dB(Z)	87	50	33	18	13	8
Diferencia respecto esperado dB(Z)	0,3	31,4	44,6	56,9	59,7	62,7
NPS dBA equiv	70,8					
PE total	0,677 inH2O					

6.1.6 Chimenea

Los sistemas de extracción descargan el aire al ambiente a través de una chimenea, la cual debe garantizar las siguientes características:

- Velocidad de descarga mínima de 3000 FPM.
- Niples para el muestreo del aire a mínimo 4 diámetros desde la última perturbación y a 4 diámetros mínimo hasta la descarga.
- Se recomienda una altura de 15 metros para la chimenea, cumpliendo con las recomendaciones de la normatividad vigente.
- Tubo concéntrico en su descarga para evitar el ingreso de lluvia en su interior hasta el ventilador.

6.1.7 Diámetro y Velocidad de descarga

Las buenas prácticas de ingeniería recomiendan una velocidad mayor o igual a 3000 FPM. Para el sistema de extracción hornos fusores, con un caudal de 11190 CFM y una velocidad de 3291 FPM, se tiene un diámetro de 25 pulgadas (635 mm).

6.1.8 Altura de la chimenea

Con base a la experiencia que Ventilación y Control Ambiental S.A.S posee en el diseño y montaje de sistemas de ventilación industrial, se sugiere que la altura de descarga de la chimenea sea de 15 metros.

En la Ilustración 35 se muestra la altura de la chimenea del sistema LEV para las celdas robotizadas y la altura de la chimenea con respecto al techo de la planta de recubrimientos industriales.

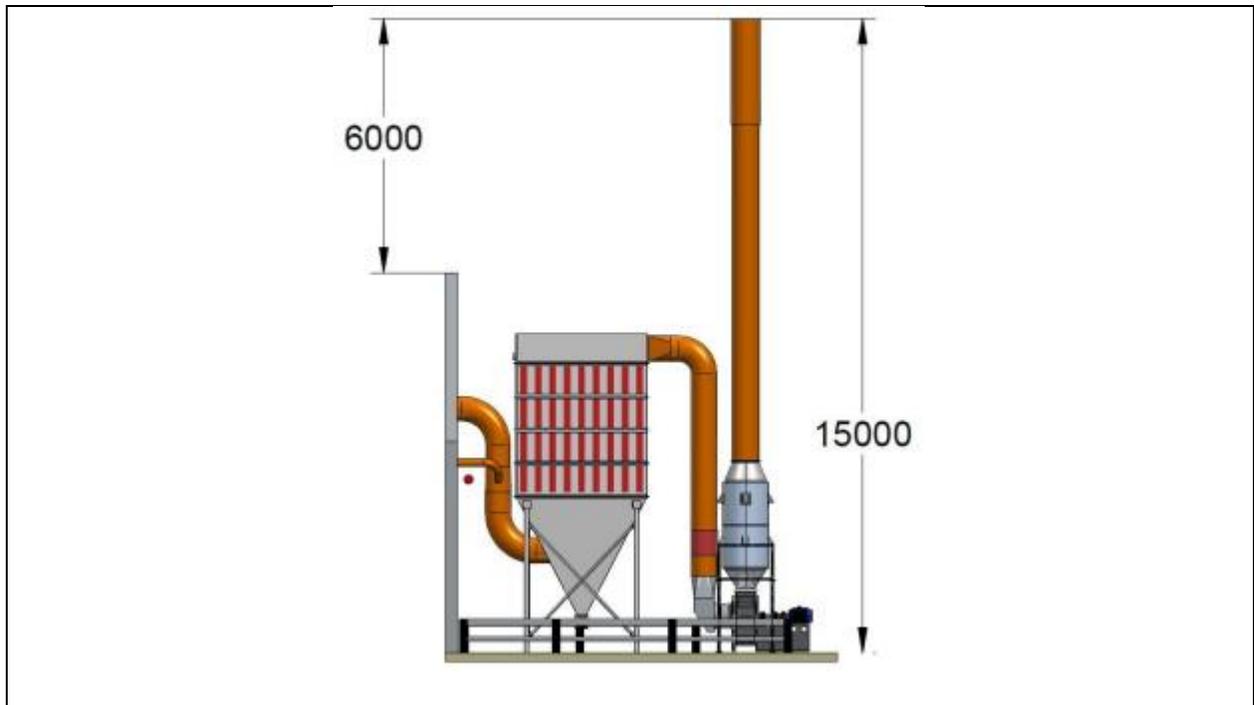


Ilustración 35. Altura de la chimenea sistema LEV celdas robotizadas

6.1.9 Descarga tipo Tubo concéntrico

Para la descarga de la chimenea se recomienda la instalación de un tubo concéntrico, el cual presenta la menor pérdida de presión y evita la entrada de agua lluvia. Para la fabricación de este accesorio se deben tener en cuenta las recomendaciones de la SMACNA. Ver Ilustración 36

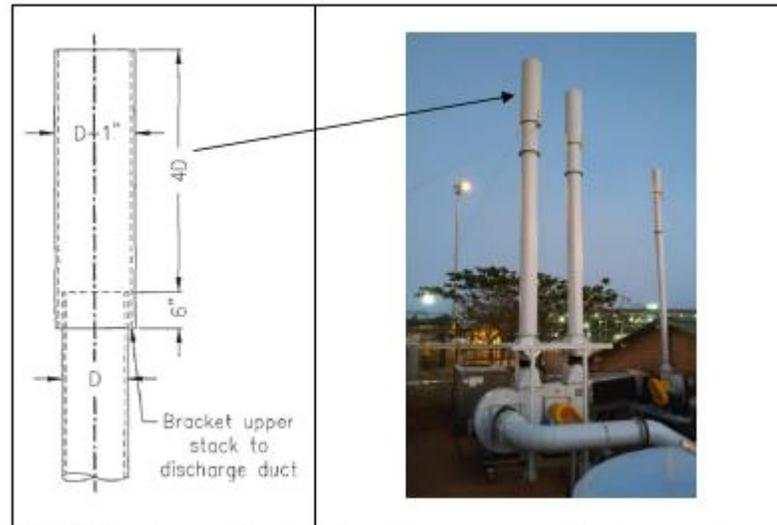


Ilustración 36. Ducto concéntrico sobre chimenea para evitar ingreso de agua lluvia

6.2 Sistema LEV 2 – Hornos de sostenimiento

6.2.1 Campanas, encerramiento y sistema de extracción para el control de emisiones

En la Ilustración 37, se muestra el esquema del sistema de extracción propuesto, donde se puede observar la trayectoria de ductería y la ubicación de las cabinas de acuerdo con los puntos de emisión identificados.

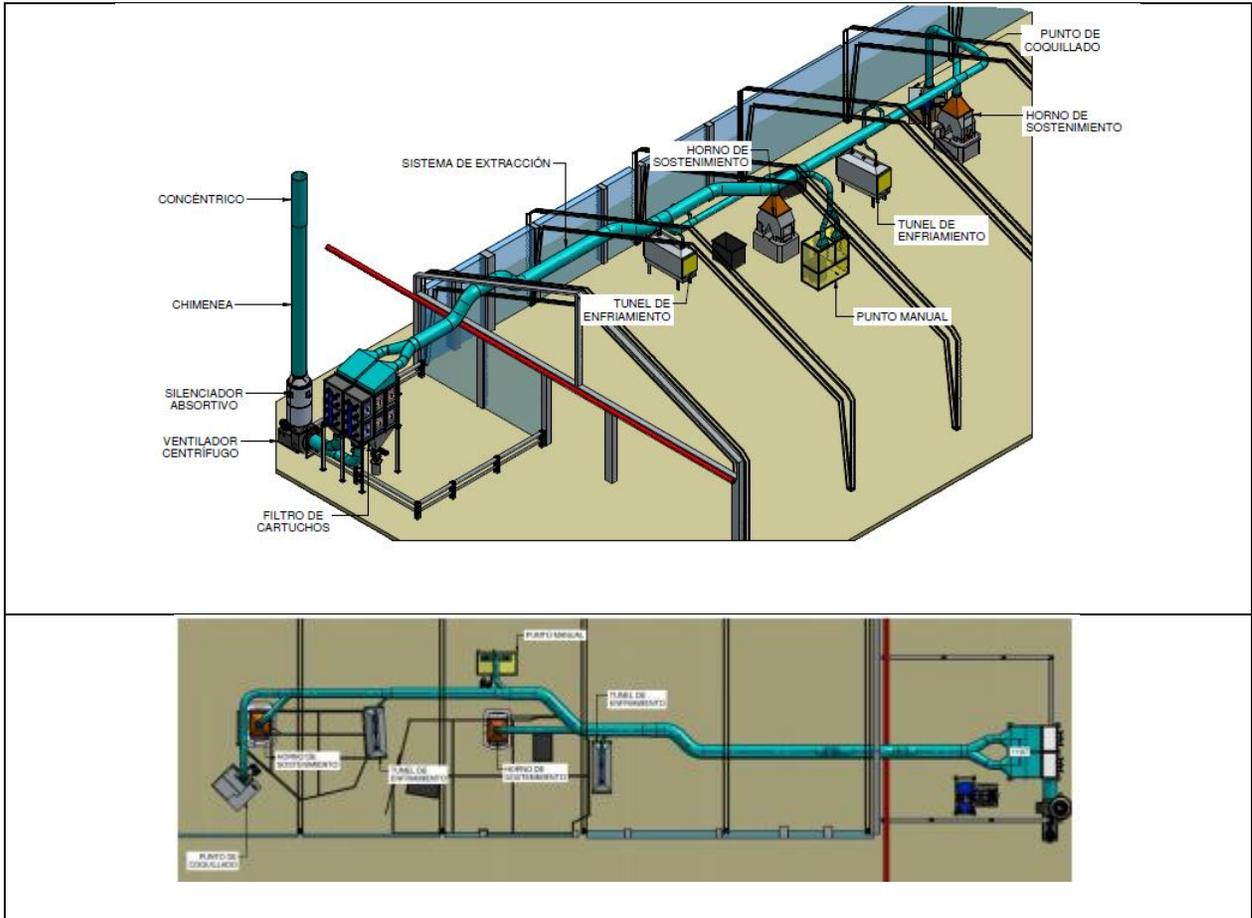


Ilustración 37. Sistema LEV horno fusor

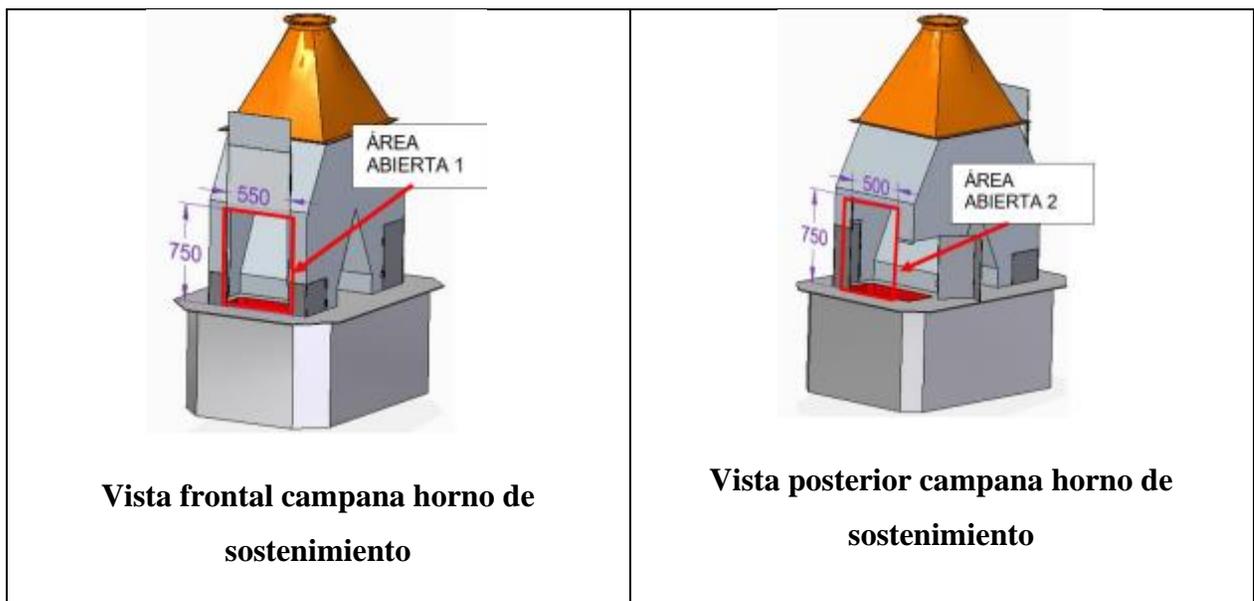
6.2.1.1 Campana y encerramiento para el control de emisiones

En la Ilustración 38, se muestra la campana recomendada para el control de las emisiones en los hornos de sostenimiento, donde se considera lo siguiente para el diseño:

- Se rediseña la campana de los hornos de sostenimiento, de tal forma que su cubra totalmente la boca de los hornos.
- El área abierta para una de las caras en los hornos de sostenimientos tiene una altura de 750 mm y un ancho de 550 mm, para un área de 0,41 m² (4,44 ft²), la otra cara tiene una altura de 750 mm y un ancho de 500 mm, para un área de 0,38 m² (4,04 ft²), se deja una compuerta en el lateral de la campana que tiene un área abierta de 500 de alto y 475 de ancho, para un área de 0,24 m² (2,56 ft²), con un área total abierta de 0,79 m² (11,03 ft²).

- La velocidad de captura en el área abierta es de 250 fpm (1,27 m/s) para el cálculo del caudal de extracción, teniendo en cuenta que la emisión está contenida al interior de la campana y la velocidad de generación es considerable.
- El caudal de extracción calculado aproximadamente es de 2758 cfm (3601 m³ /h) para cada horno.
- La extracción de aire en las dos campanas trabajara al tiempo.
- Se recomienda fabricar la campana en acero inoxidable debido a las altas temperaturas del proceso
- Las paredes de la campana deben ser doble con aislante térmico de 2 pulgadas de espesor al interior, para disminuir la temperatura superficial.
- Las puertas deben contar con elementos que permitan manipularlas con facilidad y que no produzcan quemadura al personal, el cual debe utilizar guantes adecuados para las temperaturas que pueden adquirir dichas superficies.

El cálculo de los flujos se puede observar en la Tabla 10.



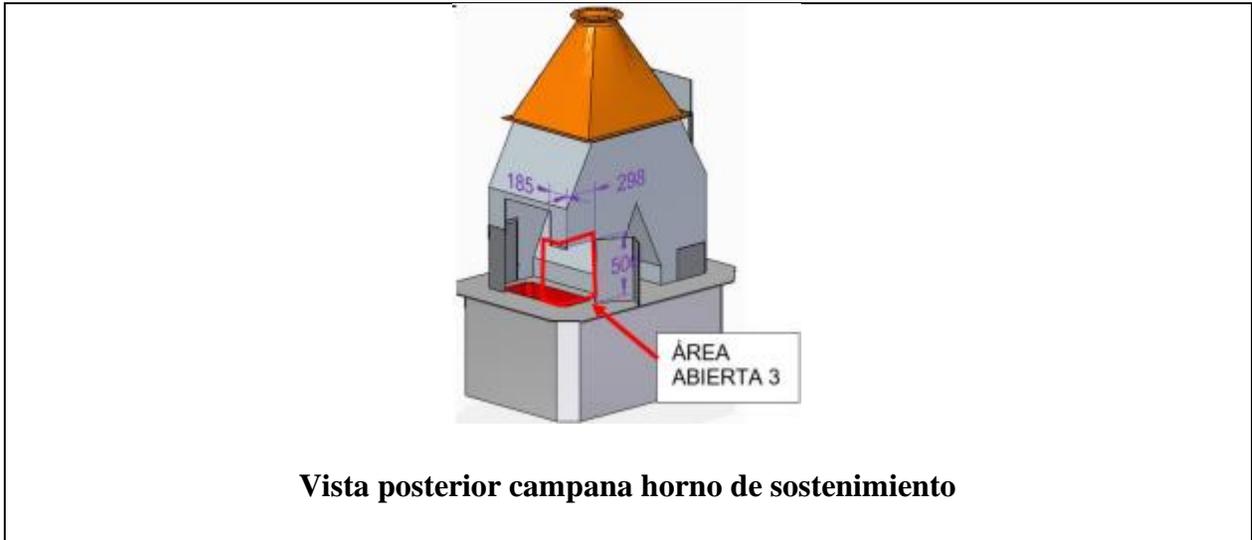


Ilustración 38. Campanas hornos fusores

Tabla 10. Cálculo de área abierta para acceso de aire

Equipo/Proceso	HORNO SOSTENIMIENTO	
Ancho Abierto	550 mm	21,7 in
Altura Abierta	750 mm	29,5 in
Área Frontal	0,41 m ²	4,44 ft ²
Ancho Abierto	500 mm	19,7 in
Altura Abierta	750 mm	29,5 in
Treasera	0,38 m ²	4,04 ft ²
Ancho Abierto	475 mm	18,7 in
Altura Abierta	500 mm	19,7 in
Treasera	0,24 m ²	2,56 ft ²
Suma de Áreas Abiertas	0,79 m ²	11,03 ft ²
Velocidad de Captura	1,27 m/s	250 fpm
CAUDAL	3601 m³/h	2758 cfm

6.2.1.2 Campana punto manual

En la Ilustración 39, se muestra cabina encerramiento recomendada para el punto manual donde el tanque de grafito y la mesa de trabajo están dentro del encerramiento. para el diseño se considera lo siguiente:

- Se diseña una campana tipo cabina donde la mesa de trabajo y el tanque de grafito quedan contenidas al interior de este, con la finalidad de mantener el control de la contaminación.
- La cabina tiene una tapa superior en el lado del tanque para reducir el caudal extracción.
- El área abierta en cada cara en los hornos de sostenimientos tiene una altura de 1000 mm y un ancho de 1300 mm, para un área de 1,3 m² (13,99 ft²).
- La velocidad de captura en el área abierta es de 150 fpm (0,76 m/s) para el cálculo del caudal de extracción, teniendo en cuenta que la emisión está contenida al interior de la campana y la velocidad de generación es baja.
- El caudal de extracción calculado es de 2099 cfm (3567 m³ /h) como se muestra en la Tabla 11.
- Se sugiere fabricar la cabina en acero inoxidable teniendo en cuenta el trabajo con elementos calientes y la presencia de pequeñas concentraciones de formaldehído.

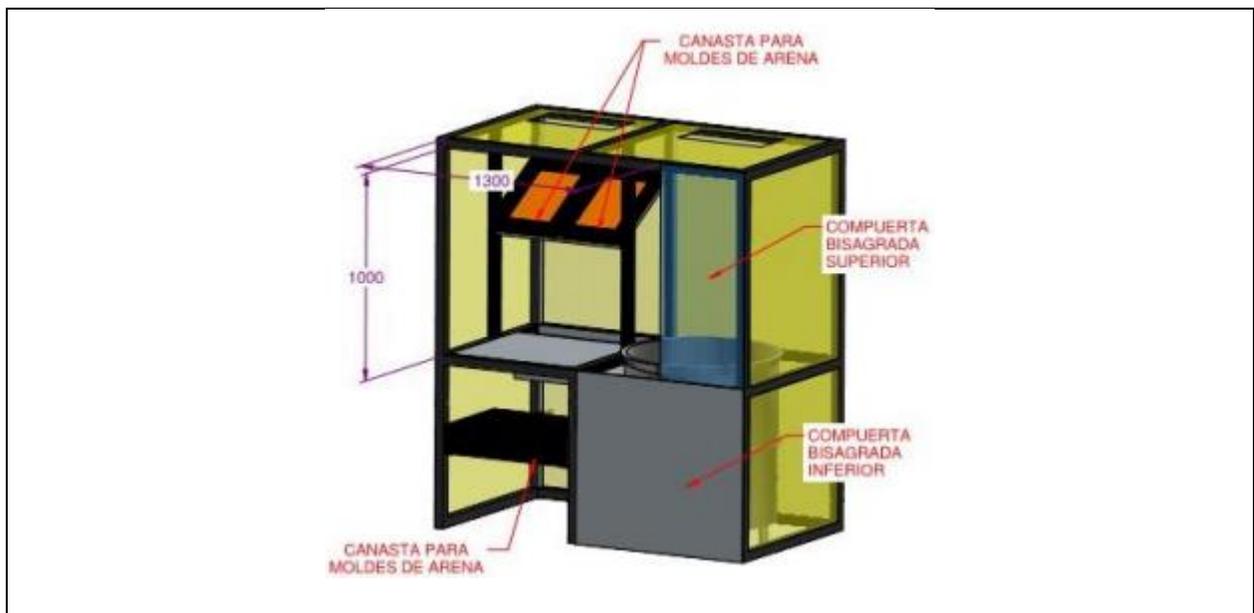


Ilustración 39. Cabina encerramiento para punto manual

Tabla 11. Cálculo de flujo para cabina de encerramiento punto manual

Equipo/Proceso	Punto Manual	
Ancho Abierto	1300 mm	51,2 in
Altura Abierta	1000 mm	39,4 in
Área Frontal	1,30 m ²	13,99 ft ²
Velocidad de Captura	0,76 m/s	150 fpm
CAUDAL	3567 m³/h	2099 cfm

6.2.1.3 Campanas del túnel de enfriamiento

En la Ilustración 40, se muestra el túnel de enfriamiento actual con la conexión del punto de extracción, donde se considera lo siguiente para el diseño

- Se utilizar dos de las tomas de extracción localizadas actualmente en el túnel de enfriamiento.
- Se debe mantener las puertas cerradas en el túnel de enfriamiento • El área abierta en cada cara en los hornos de sostenimientos tiene una altura de 160 mm y un ancho de 800 mm, para un área de 0,26 m² (2,76 ft²) tomando las dos caras abiertas del túnel de enfriamiento como se muestra en la Ilustración 5.
- La velocidad de captura en el área abierta es de 150 fpm (0,76 m/s) para el cálculo del caudal de extracción, teniendo en cuenta que la emisión está contenida al interior de la campana y la velocidad de generación es baja.
- El caudal de extracción calculado es aproximadamente de 413 cfm (702 m³ /h) por cada túnel como se muestra en la Tabla 12.



Ilustración 40. Tomas de extracción túnel de enfriamiento

Tabla 12. Caudal de flujo para túnel de enfriamiento

Equipo/Proceso	Tunel Enfriamiento	
Ancho Abierto	800 mm	31,5 in
Altura Abierta	160 mm	6,3 in
Numero Caras abiertas	2	2
Área Frontal	0,26 m ²	2,76 ft ²
Velocidad de Captura	0,76 m/s	150 fpm
CAUDAL	702 m³/h	413 cfm

6.2.1.4 Campana máquina de coquillado

En la Ilustración 41, se muestra la máquina de coquillas donde se muestra la campana suspendida sugerida para este punto de emisión, se considera lo siguiente para el diseño:

- Ubicar una campana suspendida a una altura de 600 mm desde el punto de operación, con dimensiones de 700 mm de ancho y 500 mm de largo, como se muestra en la Ilustración 6.
- La velocidad de captura en el área abierta es de 150 fpm (0,76 m/s) para el cálculo del caudal de extracción, teniendo en cuenta que la emisión está contenida al interior de la campana y la velocidad de generación es baja.
- El caudal de extracción calculado es aproximadamente de 3255 cfm (5531 m³ /h) como se muestra en la Tabla 13.
- Se sugiere fabricar la cabina en acero inoxidable teniendo en cuenta el trabajo con elementos calientes y la presencia de pequeñas concentraciones de formaldehído.

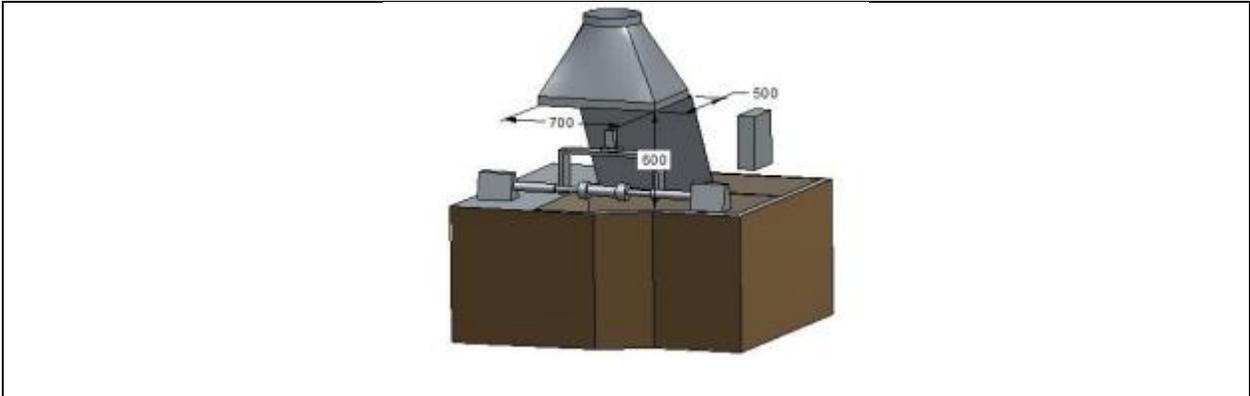


Ilustración 41. Campana suspendida coquillado

Tabla 13. Caudales de flujo campana suspendida coquillado

Equipo/Proceso	Horno Fusor Izquierdo	
Ancho Abierta	700 mm	27,6 in
largo Abierta	500 mm	19,7 in
Altura	600 mm	23,6 in
Velocidad de Captura	0,76 m/s	150 fpm
CAUDAL	5531 m³/h	3255 cfm

6.2.2 Diseño y balanceo del sistema de ductos de extracción

El sistema de ductos de extracción se diseña y balancea bajo las recomendaciones y procedimientos establecidos por la ACGIH en la guía “Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice for Design, 31th Edition”, con el fin de garantizar los caudales requeridos en cada una de las campanas del sistema y definir los diámetros.

En la Ilustración 42, se presenta mediante un esquema la trayectoria de ductería propuesta para el sistema de extracción, donde se enumera cada punto de captación y cada intersección entre dos ramales de ductos. Esto con el fin de facilitar el entendimiento de la hoja de cálculo de balanceo de energías donde se define la presión estática total del sistema, la cual se determina teniendo en cuenta los caudales, la velocidad de transporte, la trayectoria de ductería (tramos rectos y accesorios), y se encuentran, finalmente, los diámetros de diseño.

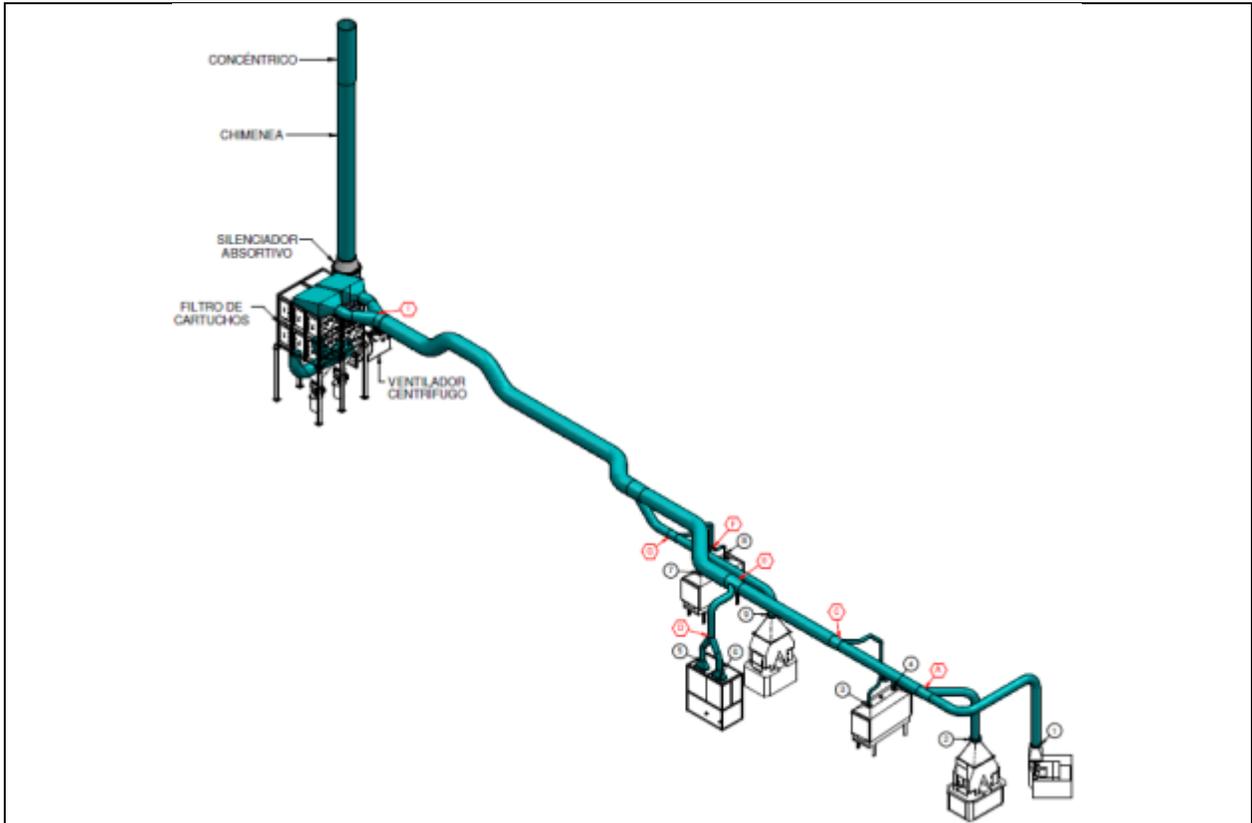


Ilustración 42. Trayectoria de ductería para balanceo de energía

La Tabla 14, se muestran un resumen del diseño y balanceo del sistema de extracción de aire, donde se muestra el caudal, las velocidades y los diámetros de los ductos.

Tabla 14. Balanceo del sistema de ductos de extracción

INTERSECCIÓN		A		B		C		D	
TRAMO DE DUCTO:		1-A	2-A	3-B	4-B	A-C	B-C	5-D	6-D
NOMBRE DEL PUNTO DE EMISIÓN:		Campana coquillado	Campana Horno sott 2	campana Tunel 1	campana Tunel 1			carramiento punto manual	carramiento punto manual
ENTRA EN :			1-A	4-B	3-B		A-C	6-D	5-D
LLEGA A :		A-C	A-C	B-C	B-C	C-E	C-E	D-E	D-E
Altitud	m.s.n.m.	2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550
Presión atmosférica	P atm	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731
Temperatura BS del Aire Captado o de la Mezcla de Aire	°C	40	40	40	40	40	40	40	40
Humedad Relativa del Aire Captado o de la Mezcla de Aire	%	50	50	50	50	50	50	50	50
Humedad específica	#H2O/ #Aire Seco	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Entalpia	kJ/kg	124,23	124,23	124,23	124,23	124,23	124,23	124,23	124,23
Factor de Corrección	df	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
CAUDAL	cfm	3500	3000	210	210	6500	420	1050	1050
Velocidad de Transporte, Vt	fpm	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
Diámetro del Ducto (inicial)	in	13,54	12,54	3,32	3,32	18,45	4,69	7,42	7,42
Diámetro del Ducto REAL	in	12,80	11,81	3,35	3,35	17,72	4,92	7,87	7,87
	m.m	325	300	85	85	450	125	200	200
Total Pérdidas Ramal	in H2O	1,34	1,37	0,97	0,97	1,47	1,52	0,68	0,68
BALANCE	%	102%		100%		104%		100%	
Velocidad de Transporte REAL	fpm	3920	3943	3438	3438	3797	3180	3105	3105

E		F		G		H		FILTRO	FAN	
C-E	D-E	7-F	8-F	9-G	F-G	E-H	G-H	H-FILTRO	FILTRO-FAN	FAN-CHIMENEA
		campana Tunnel 2	campana Tunnel 2	Campana Hornos 1						
	C-E	8-F	7-F		9-G		E-H			
E-H	E-H	F-G	F-G	G-H	G-H	H-FILTRO	H-FILTRO	FILTRO-FAN	FAN-CHIMENEA	
2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550
0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
124,23	124,23	124,23	124,23	124,23	124,23	124,23	124,23	124,23	124,23	124,23
0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
6920	2100	215	215	3200	430	9020	3630	12650	12650	12650
3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
19,04	10,49	3,36	3,36	12,95	4,75	21,74	13,79	25,74	25,74	25,74
18,70	9,84	3,35	3,35	11,81	4,92	22,64	12,80	24,61	25,59	25,59
475	250	85	85	300	125	575	325	625	650	650
1,61	1,59	1,02	1,02	1,44	1,49	1,84	1,89	2,69	3,39	3,58
101%		100%		104%		102%				
3628	3974	3520	3520	4206	3255	3227	4065	3831	3542	3542

En la Tabla 15, se presentan los criterios necesarios para la selección del ventilador del sistema de extracción LEV 2 HORNOS DE SOSTENIMIENTO

Tabla 15. Condiciones para la selección del ventilador y presión estática calculada

CRITERIOS PARA SELECCIONAR EL VENTILADOR			
CONDICIONES LOCALES:			
ALTITUD	2550 msnm	T	40 °C
PRESIÓN ATMOSFERICA	556 mmHg	FC	0,68
CAUDAL	21492 m³/h		12650 cfm
PRESIÓN ESTÁTICA (PE) DUCTERÍA+CHIMENEA			3,58 inH2O
PE CORREGIDA DUCTERÍA +CHIMENEA			5,23 inH2O
PRESIÓN ESTÁTICA (PE) ADICIONAL	FILTRO DE CARTUCHOS		5,0 inH2O
	SILENCIADOR		1,0 inH2O
EFFECT SYSTEMS FAN	INLET BOX		0,0 inH2O
	INLET SYSTEM EFFECT		0,33 inH2O
	OUTLET SYSTEM EFFECT		0 inH2O
PRESIÓN ESTÁTICA REQUERIDA			11,56 inH2O
			6,68 Onzas
			2878 Pascal
TIPO DE CONTAMINANTE			Humos metalicos de Fundición

6.2.3 Equipo de control de contaminación

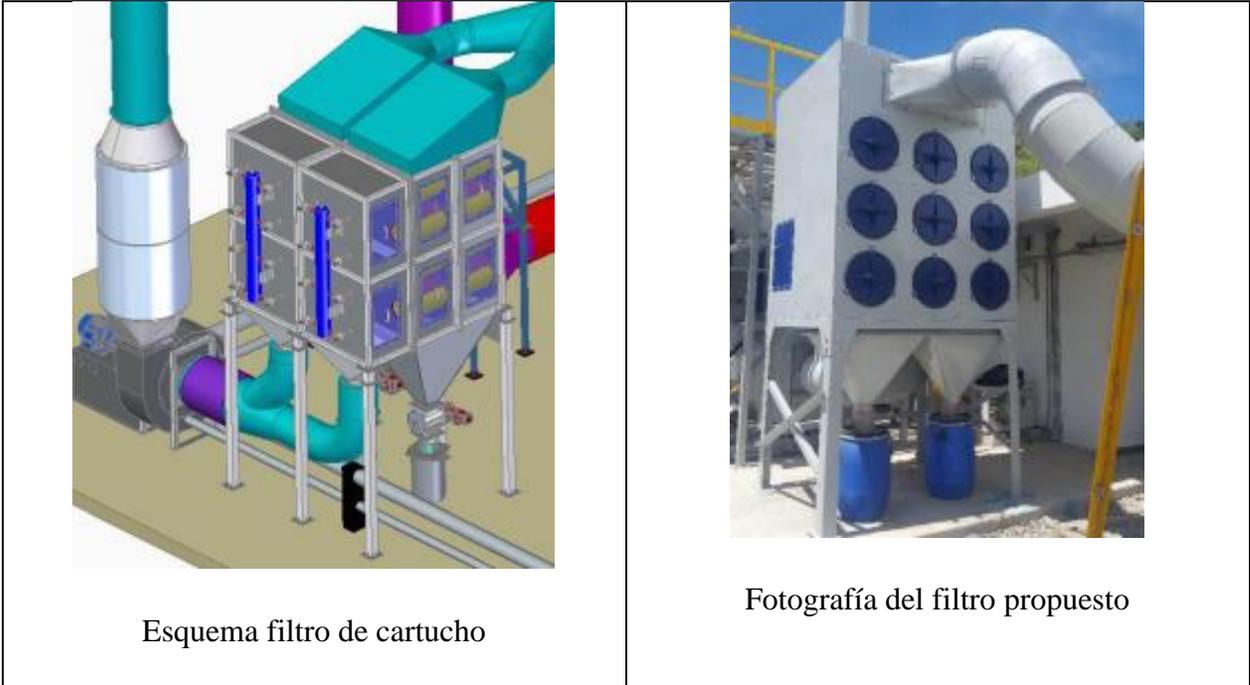
Para el control de material particulado se propone el uso de un equipo de filtración de cartuchos para evitar emisiones al exterior, el cual tendrá un recipiente donde se acumula el material retenido en el filtro.

- Caudal de aire filtrado: 12650 cfm.
- Tipo de contaminante: Polvos.
- Temperatura de trabajo: 40°C.
- Relación aire tela: 4:1.
- Sistema de autolimpieza con aire comprimido 90 - 100 PSI.
- Permite recuperar material almacenado en recipientes de recolección.

Especificaciones del filtro:

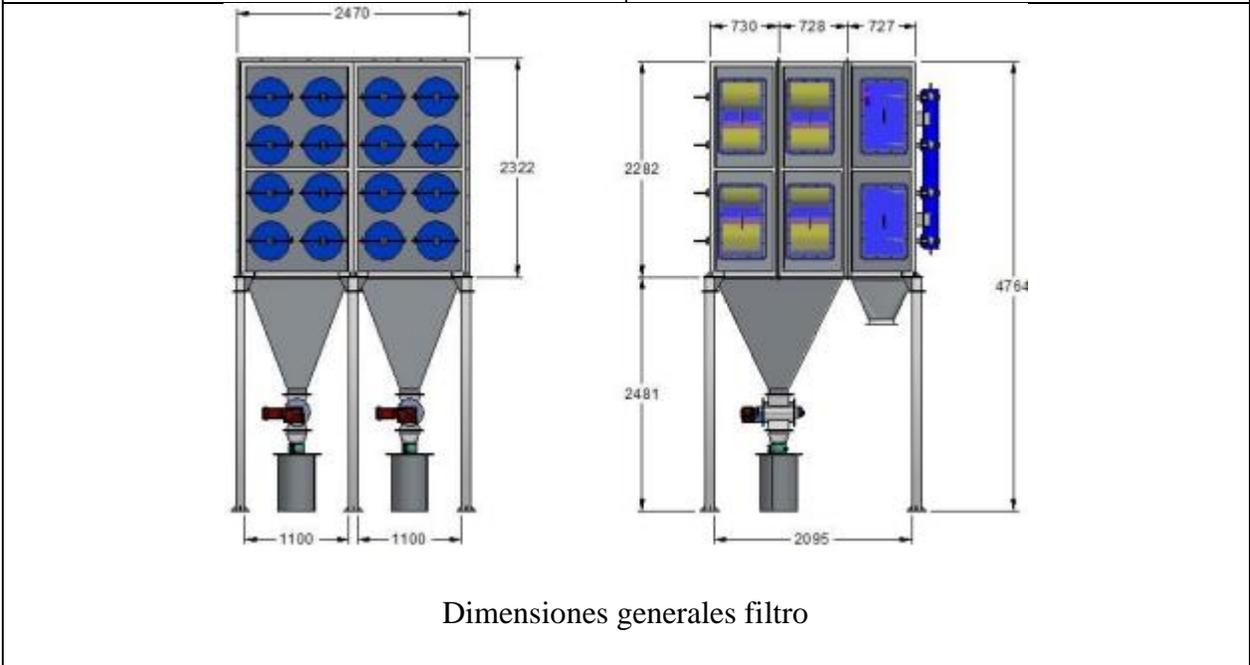
- Material del cartucho: poliéster de dimensión estándar o comercial.
- Tablero para control de limpieza y diferencial de presión.
- Válvula rotativa y/o un recipiente ajustado a la tolva para la descarga del material colectado.

En la Ilustración 43, se muestra el esquema de la unidad de filtración seleccionada para el sistema de extracción. Se resalta que las dimensiones son basadas en los equipos de referencia de VECAM y que en la ingeniería de detalle el fabricante define el dimensionamiento final del equipo.



Esquema filtro de cartucho

Fotografía del filtro propuesto



Dimensiones generales filtro

Ilustración 43. Filtro de cartuchos

6.2.4 Selección de ventilador

En la Tabla 16, se presentan las especificaciones del ventilador seleccionado para la condición de operación requerida de 12650 cfm y 11,56 in H₂O.

Tabla 16. Ventilador seleccionado

PARÁMETROS	VALOR	OBSERVACIÓN	
Tipo de Ventilador	Ventilador Centrifugo Industrial		
Tipo de Rotor	Para alta presión y caudales medios		
Ciudad	Funza (Colombia)	2550 msnm	
Temperatura del aire	Ambiente		
Caudal de aire	12650 cfm (condiciones actuales)	Estos dos parámetros son los necesarios para la selección del ventilador	
Presión Estática	11,56 inH ₂ O (2878 Pa) corregida a condiciones estándar		
Referencia del ventilador	Ventilador AH2021	Marca: VECAM	
Caudal del ventilador	12960 CFM		
Presión Estática (PE)	12 inH ₂ O		
RPM del rotor	1470 RPM		
BHP	37,2		
Motor	40 HP a 3600 rpm, ALTA EFICIENCIA IE3 (3F-60HZ-220V)		
Ancho	100%		
Arreglo	8		
Material constructivo	Acero al carbón		
Tipo de transmisión y sujeción	Acople directo		Se requiere uso de variador de frecuencia para obtener las revoluciones del rotor deseadas
Rotación	Sentido antihorario, visto desde el motor		Se puede ajustar a los requerimientos de CORONA y las necesidades de montaje
Descarga	Superior vertical		
Nivel de Ruido	Máximo 85 dB(A), evaluado a 1 m de distancia	Requiere instalar silenciador en la descarga del ventilador	
Sistema anti vibración	El ventilador debe estar soportado sobre unas bases de caucho anti-vibratorias.		
	La succión y la descarga del ventilador deben estar acopladas a la ductería mediante sección de material flexible	Si en el área donde estará ubicado el ventilador hay solventes orgánicos se deben utilizar materiales resistentes a dichos productos	
	La chimenea no debe estar soportada por el ventilador	Disponer estructura que soporte la chimenea	
A prueba de explosión	No requiere		
El ventilador debe de tener	<ul style="list-style-type: none"> - Compuerta de inspección - Drenaje - Guardas de protección en el eje y el sistema de transmisión - Balanceo dinámico y estático 		

En la Ilustración 45, se muestra el ventilador centrifugo propuesto para el sistema de extracción de aire.

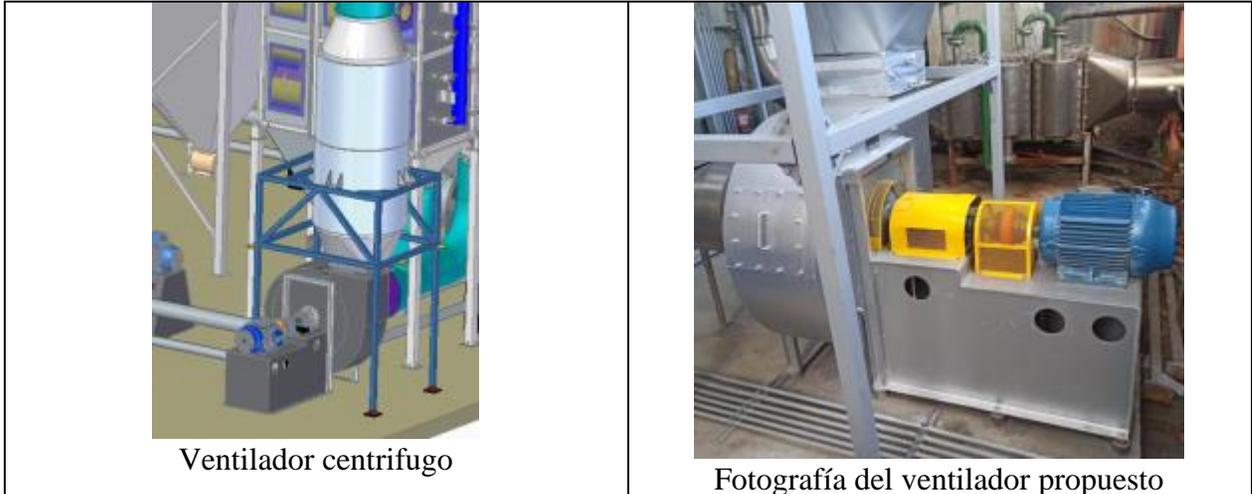


Ilustración 44. Ventilador centrifugo

6.2.5 Silenciador

De acuerdo con las condiciones de operación del equipo seleccionado, VENTILADOR AH2021, basados en el catálogo de VECAM, los niveles de ruido generados por el ventilador exceden los límites permisibles para zona industrial de 85 dB(A), por lo cual se hace necesario instalar un silenciador acústico tipo absorbivo, con el fin de garantizar que los niveles de ruido estén dentro de los límites permisibles, En la Ilustración 45, se presenta el esquema del silenciador acústico.

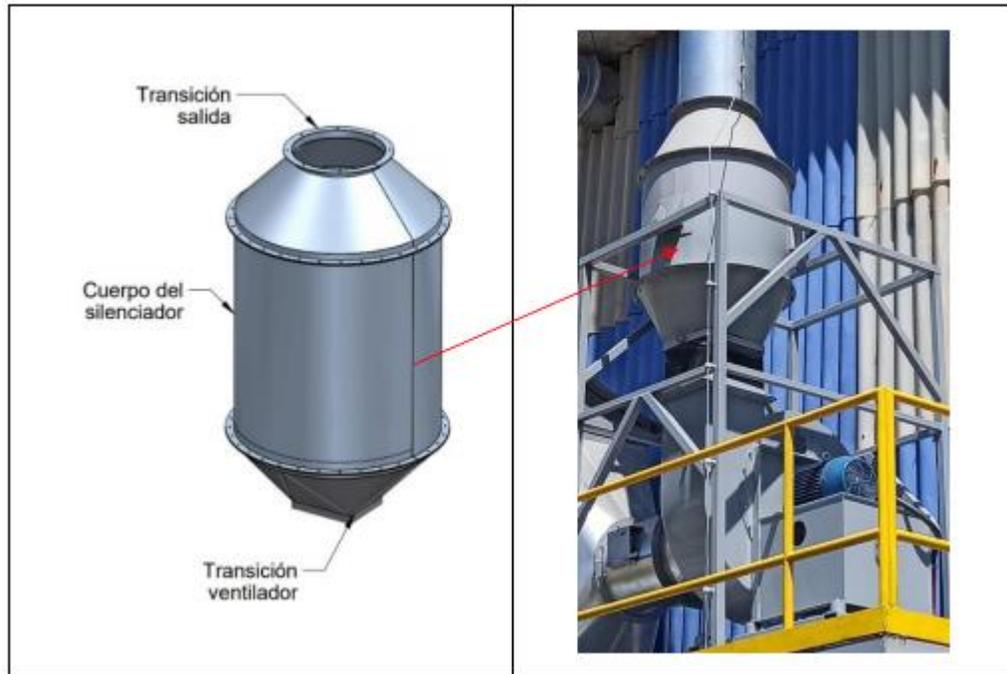


Ilustración 45. Silenciador absorbente tipo concéntrico

En la Tabla 17, se muestra la atenuación acústica del silenciador, resaltando que los cálculos se realizan para los niveles de ruido de este equipo en particular. Si el equipo seleccionado en la ingeniería de detalle es otra referencia, se requiere validar con el espectro de frecuencia el nivel de ruido al que puede reducirse.

Tabla 17. Cálculo de atenuación acústica del silenciador.

	Frecuencia (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Lana Mineral Espesor 2"	0,50	0,85	0,95	1,00	1,00	1,00
D_0/S	0,884					
Ruido Evaluado dB(Z)	114,1	107,6	100,2	90,0	84,8	80,0
L_a (1metro)	13,6	28,6	33,5	36,0	36,0	36,0
NR	87,2	81,7	77,9	75,0	72,6	70,8
Longitud Recomendada	1,97	0,90	0,67	0,42	0,34	0,26
Longitud silenciador	2,00 m					
L_a (long) dB(Z)	27,2	57,3	66,9	71,9	71,9	71,9
Ruido atenuado dB(Z)	87	50	33	18	13	8
Diferencia respecto esperado dB(Z)	0,3	31,4	44,6	56,9	59,7	62,7
NPS dBA equiv	70,8					
PE total	0,677 inH2O					

6.2.6 Chimenea

Los sistemas de extracción descargan el aire al ambiente a través de una chimenea, la cual debe garantizar las siguientes características:

- Velocidad de descarga mínima de 3000 FPM.
- Niples para el muestreo del aire a mínimo 4 diámetros desde la última perturbación y a 4 diámetros mínimo hasta la descarga.
- Se recomienda una altura de 15 metros para la chimenea, cumpliendo con las recomendaciones de la normatividad vigente.
- Tubo concéntrico en su descarga para evitar el ingreso de lluvia en su interior hasta el ventilador.

6.2.7 Diámetro y Velocidad de descarga

Las buenas prácticas de ingeniería recomiendan una velocidad mayor o igual a 3000 FPM. Para el sistema de extracción hornos fusores, con un caudal de 12650 CFM y una velocidad de 3532 FPM, se tiene un diámetro de 25 pulgadas (635 mm).

6.2.8 Altura de la chimenea

Con base a la experiencia que Ventilación y Control Ambiental S.A.S posee en el diseño y montaje de sistemas de ventilación industrial, se sugiere que la altura de descarga de la chimenea sea de 15 metros.

En la Ilustración 46, se muestra la altura de la chimenea del sistema LEV para las celdas robotizadas y la altura de la chimenea con respecto al techo de la planta de recubrimientos industriales.

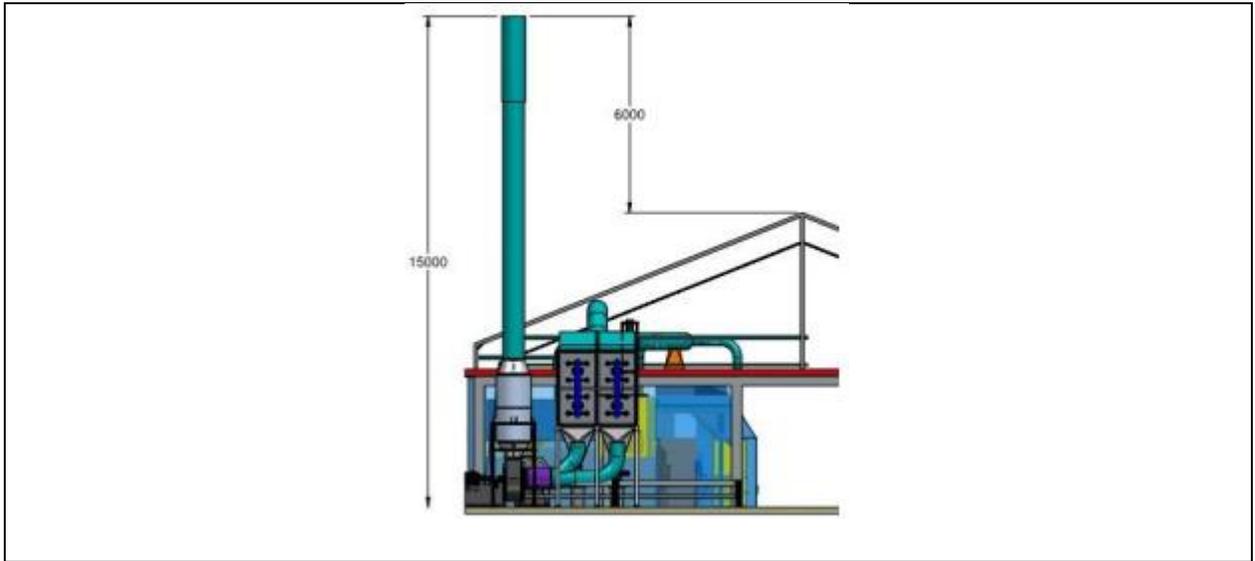


Ilustración 46. Altura de la chimenea sistema LEV hornos de sostenimiento

6.2.9 Descarga tipo Tubo concéntrico

Para la descarga de la chimenea se recomienda la instalación de un tubo concéntrico, el cual presenta la menor pérdida de presión y evita la entrada de agua lluvia. Para la fabricación de este accesorio se deben tener en cuenta las recomendaciones de la SMACNA. Ver Ilustración 47.

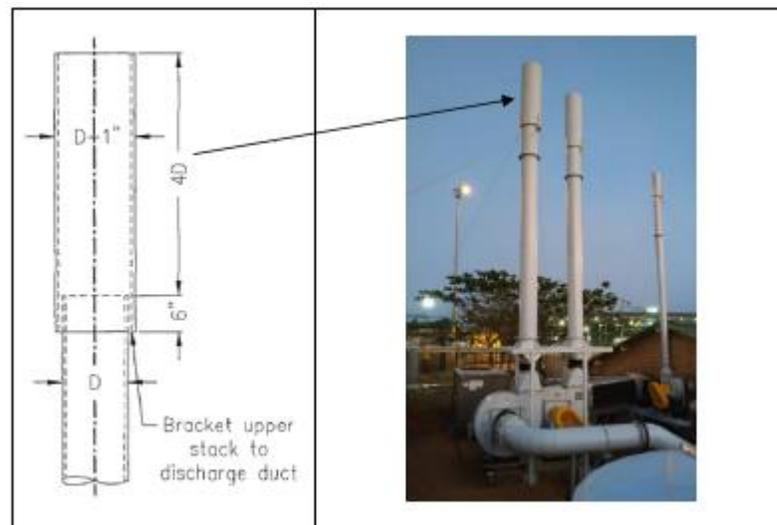


Ilustración 47. Ducto concéntrico sobre chimenea para evitar ingreso de agua lluvia

6.3 Sistema LEV 3 – Celdas robotizadas

6.3.1 Celdas robotizadas 1 y 2

En la Ilustración 48, se muestra el encerramiento recomendado para el control de las emisiones en las celdas robotizadas 1 y 2, donde se consideran los siguientes aspectos para el diseño:

- Se realiza respetando el perímetro actual de las celdas.
- Su estructura está conformada de parte metálica y otra con material transparente (vidrio o acrílico) para que los operarios puedan observar permanentemente la operación del brazo al interior del encerramiento.
- Posee dos puestos de trabajo, donde los operarios están localizados externamente y desarrollan sus actividades por medio de dos áreas abiertas (caras abiertas 1 y 2) que poseen las mismas dimensiones: altura de 1130 mm y ancho de 800 mm, para un área de 0,91 m² (9,74 ft²) por cada cara abierta.
- Se tiene una tercera área (área abierta 3), que corresponde a el espacio entre las puertas abatibles y el horno de sostenimiento 1, con un área abierta de 0,59 m² (9,4 ft²).

Debido a que la emisión de contaminación durante el proceso de trabajo se presenta al interior del encerramiento y donde no va a permanecer personal expuesto, se propone para el cálculo del caudal de extracción, remover el aire interno 80 veces en una hora, es decir, 80 CPH. Por lo tanto, el caudal de aire de extracción será de 6904 CFM (11730 m³/h).

El flujo de aire ingresará por las tres áreas abiertas descritas anteriormente, el cálculo de los flujos se puede observar en la Tabla 18.

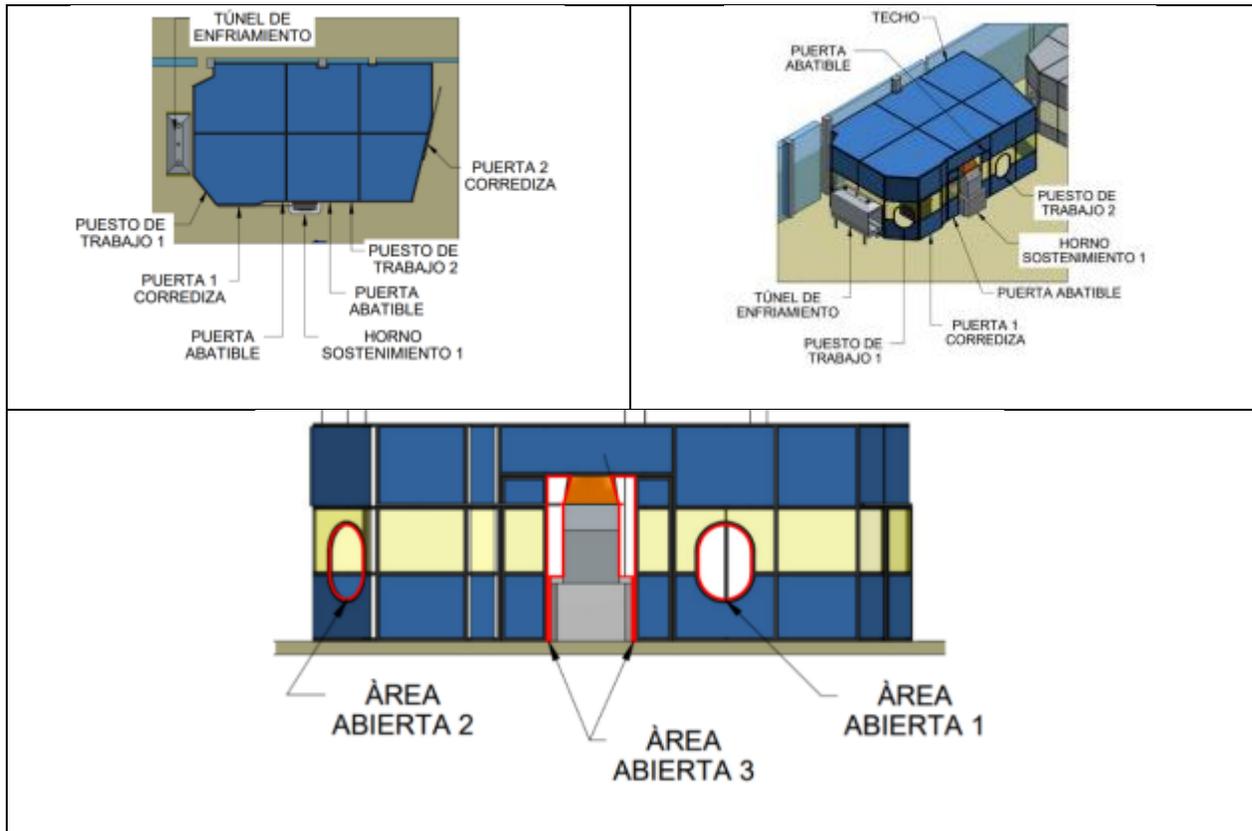


Ilustración 48. Cerramiento celdas robotizada 1 y 2

Tabla 18. Cálculo de área abierta para acceso de aire

Equipo/Proceso	CELDA ROBOTIZADA 1 Y 2	
Área cerramiento	45,82 m ²	493,2 ft ²
Altura Cerramiento	3200 mm	10,50 ft
Volumen Cerramiento	146,62 m ³	5177,79 ft ³
Renovacion de aire	80 cph	80 cph
CAUDAL	11730 m³/h	6904 cfm
Velocidad Transversal	0,07 m/s	14 fpm
Area Abierta 1	0,91 m ²	9,8 ft ²
Area Abierta 2	0,91 m ²	9,8 ft ²
Area Abierta 3	0,87 m ²	9,4 ft ²
Suma areas abiertas	2,69 m ²	29,0 ft ²
Velocidad area abierta:	1,21 m/s	238 fpm

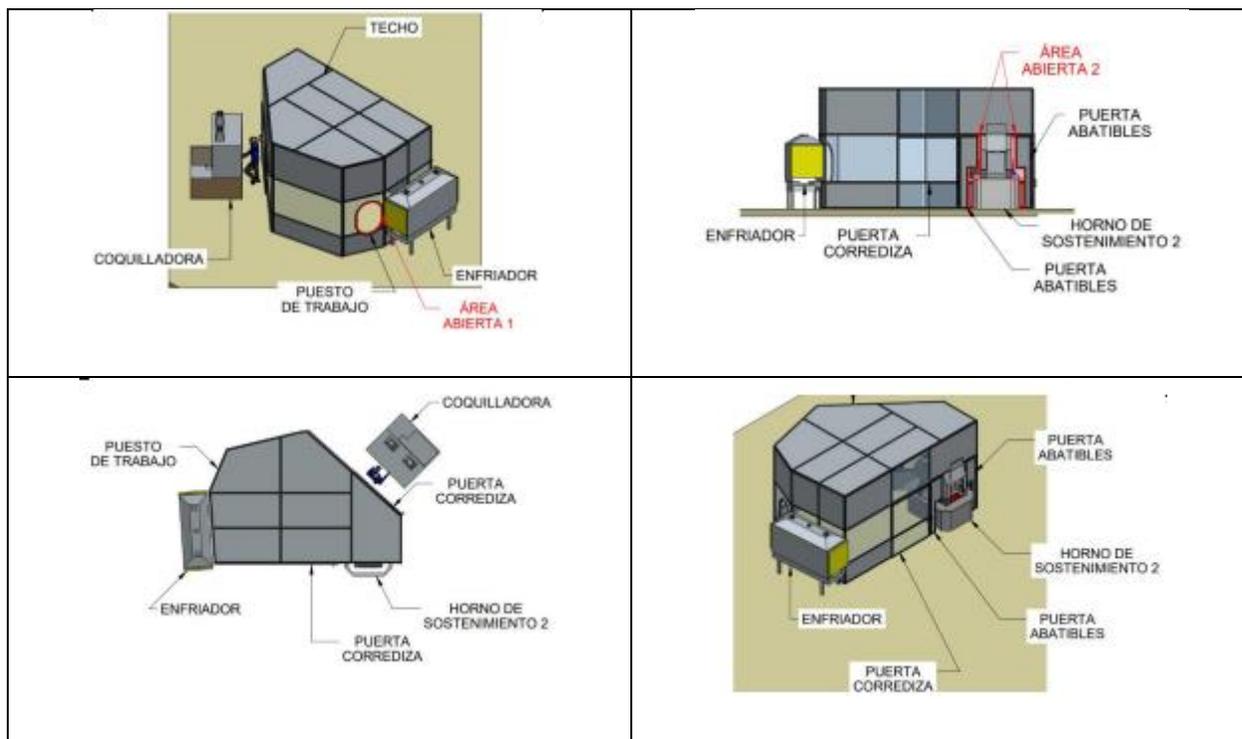
6.3.2 Celdas robotizadas 3

En la Ilustración 49, se muestra el encerramiento recomendado para el control de las emisiones en las celdas robotizadas 3, donde se consideran los siguientes aspectos para el diseño:

- Se realiza respetando el perímetro actual de las celdas.
- Su estructura está conformada de parte metálica y otra con material transparente (vidrio o acrílico) para que los operarios puedan observar permanentemente la operación del brazo al interior del encerramiento.
- Tiene un puesto de trabajo, con un área abierta que posee las siguientes dimensiones: altura de 1130 mm y un ancho de 800 mm, para un área de 0,91 m² (9,74 ft²).
- Se tiene un área abierta 2, que corresponde a el espacio entre las puertas abatibles y el horno de sostenimiento 2, para un área de 0,59 m² (6,4 ft²) por cada cara abiertas.

Debido a que la emisión de contaminación durante el proceso de trabajo se presenta al interior del encerramiento y donde no va a permanecer personal expuesto, se propone para el cálculo del caudal de extracción, remover el aire interno 120 veces en una hora, es decir, 120 CPH. Por lo tanto, el caudal de aire de extracción será de 3894 CFM (6616 m³/h).

El flujo de aire ingresará por las dos áreas abiertas descritas anteriormente, el cálculo de los flujos se puede observar en la Tabla 19.


Ilustración 49. Cerramiento celda robotizada 3
Tabla 19. Cálculo de flujo en las dos áreas de acceso de aire

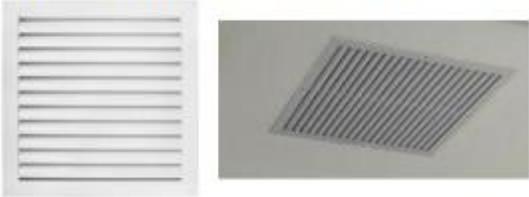
Equipo/Proceso	CELDA ROBOTIZADA 3	
Área cerramiento	17,23 m ²	185,5 ft ²
Altura Cerramiento	3200 mm	10,50 ft
Volumen Cerramiento	55,14 m ³	1947,04 ft ³
Renovación de aire	120 cph	120 cph
CAUDAL	6616 m³/h	3894 cfm
Velocidad Transversal	0,11 m/s	21 fpm
Area Abierta 1	0,91 m ²	9,8 ft ²
Area Abierta 2	0,59 m ²	6,4 ft ²
Suma areas abiertas	1,50 m ²	9,8 ft ²
Velocidad area abiertas	1,23 m/s	398 fpm

6.3.3 Diseño y balanceo del sistema de ductos de extracción

El sistema de ductos de extracción se diseña y balancea bajo las recomendaciones y procedimientos establecidos por la ACGIH en la guía “Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice for Design, 31th Edition”, con el fin de garantizar los caudales requeridos en cada una de las campanas del sistema y definir los diámetros.

En la Tabla 20, se muestran las dimensiones, caudal de extracción, cantidad y referencia de las rejillas de extracción a instalar en el cerramiento de la celda robótica 1 y 2, donde se requiere extraer un caudal de 6904 CFM y en el cerramiento de la celda robótica 3 donde se requiere extraer un caudal 3894 CFM.

Tabla 20. Rejillas de extracción de aire para las celdas robotizadas

Parámetros	Celda Robotizada 1 y 2	Celda Robotizada 3
Dimensiones Ancho x altura	24" x 16"	20" x 16"
Caudal por rejilla	1150 cfm	975 cfm
Cantidad	6 unidades	4 unidades
Referencia	Rejilla aleta fija con dâmpen, referencia L-RA o similar	
Ilustración		

En la Ilustración 50, se presenta mediante un esquema la trayectoria de ductería propuesta para el sistema de extracción, donde se enumera cada punto de captación y cada intersección entre dos ramales de ductos. Esto con el fin de facilitar el entendimiento de la hoja de cálculo de balanceo de energías donde se define la presión estática total del sistema, la cual se determina teniendo en cuenta los caudales, la velocidad de transporte, la trayectoria de ductería (tramos rectos y accesorios), y se encuentran, finalmente, los diámetros de diseño.

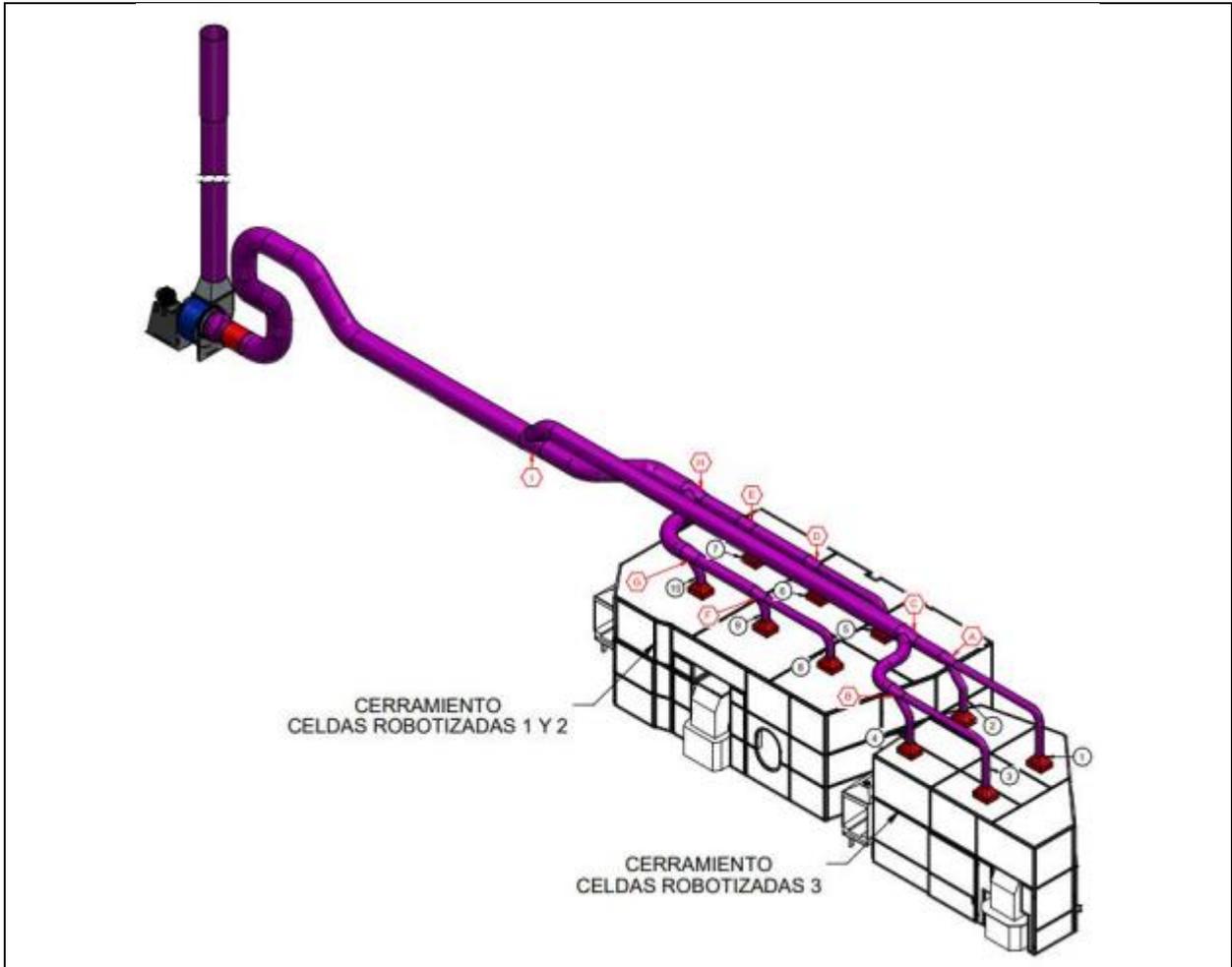


Ilustración 50. Trayectoria de ductería para balanceo de energía

La Tabla 21, se muestran un resumen del diseño y balanceo del sistema de extracción de aire, donde se muestra el caudal, las velocidades y los diámetros de los ductos.

Tabla 21. Balanceo del sistema de ductos de extracción

BALANCE DE ENERGÍAS Y CÁLCULO DE PRESIÓN ESTÁTICA											
INTERSECCIÓN		A		B		C		D		E	
TRAMO DE DUCTO:		1-A	2-A	3-B	4-B	A-C	B-C	5-D	6-D	D-E	7-E
NOMBRE DEL PUNTO DE EMISIÓN:											
ENTRA EN :			1-A	3-B		A-C		5-D		D-E	
LLEGA A :			A-C		B-C		C-D		D-E		E-F
Altitud	m.s.n.m.	2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550
Presión atmosférica	P atm	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731
Temperatura BS del Aire Captado o de la Mezcla de Aire	°C	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Humedad Relativa del Aire Captado o de la Mezcla de Aire	%	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Humedad específica	#H2O/ #Aire Seco	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Entalpia	kJ/kg	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60
Factor de Corrección	df	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
CAUDAL	cfm	1000	1000	965	965	2000	1930	1175	1175	2350	1175
Velocidad de Transporte, Vt	fpm	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
Díámetro del Ducto (Inicial)	in	8,56	8,56	8,41	8,41	12,11	11,90	9,28	9,28	13,13	9,28
Díámetro del Ducto REAL	in	7,87	7,87	7,87	7,87	12,79	12,79	8,85	8,85	12,79	8,85
	mm	200	200	200	200	325	325	225	225	325	225
Total Pérdidas Ramal	in H2O	0,76	0,78	0,64	0,64	0,79	0,82	0,60	0,58	0,64	0,65
BALANCE	%	100%		104%		104%		104%		101%	
Velocidad de Transporte REAL	fpm	2960	2960	2857	2857	2242	2163	2751	2751	2634	2751

BALANCE DE ENERGÍAS Y CÁLCULO DE PRESIÓN ESTÁTICA											
INTERSECCIÓN		F		G		H		I		FAN	CHIMENEA
TRAMO DE DUCTO:		8-F	9-F	F-G	10-G	E-H	G-H	C-I	H-I	I-FAN	FAN-CHIMENEA
NOMBRE DEL PUNTO DE EMISIÓN:											
ENTRA EN :			8-F	F-G		E-H	H-I				
LLEGA A :			F-G		G-H		H-I	I-FAN	I-FAN	FAN-CHIMENEA	
Altitud	m.s.n.m.	2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550
Presión atmosférica	P atm	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731	0,731
Temperatura BS del Aire Captado o de la Mezcla de Aire	°C	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Humedad Relativa del Aire Captado o de la Mezcla de Aire	%	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Humedad específica	#H2O/ #Aire Seco	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Entalpia	kJ/kg	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60
Factor de Corrección	df	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
CAUDAL	cfm	1140	1140	2280	1140	3525	3420	3930	6945	10875	10875
Velocidad de Transporte, Vt	fpm	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	3200
Díámetro del Ducto (Inicial)	in	9,14	9,14	12,03	9,14	16,08	15,84	16,98	22,57	28,24	24,96
Díámetro del Ducto REAL	in	8,85	8,85	12,79	8,85	14,76	14,73	18,70	21,65	24,60	24,60
	mm	225	225	325	225	375	375	475	550	625	625
Total Pérdidas Ramal	in H2O	0,57	0,55	0,60	0,61	0,74	0,77	1,00	1,01	2,42	2,57
BALANCE	%	104%		101%		104%		101%			
Velocidad de Transporte REAL	fpm	2669	2669	2555	2669	2967	2240	2061	2717	3295	3295

En la Tabla 22, se presentan los criterios necesarios para la selección del ventilador del sistema de extracción LEV 3 CELDAS ROBOTIZADAS.

Tabla 22. Condiciones para la selección del ventilador y presión estática calculada

CRITERIOS PARA SELECCIONAR EL VENTILADOR			
CONDICIONES LOCALES:			
ALTITUD	2550 msnm	T	30,0 °C
PRESIÓN ATMÓSFERICA	556 mmHg	FC	0,71
CAUDAL	18477 m ³ /h		10875 cfm
PRESIÓN ESTÁTICA (PE) DUCTERÍA+CHIMENEA			2,57 inH2O
PE CORREGIDA DUCTERÍA +CHIMENEA			3,63 inH2O
PRESIÓN ESTÁTICA (PE) ADICIONAL	FILTRO DE CARTUCHOS		
	SILENCIADOR		
EFFECT SYSTEMS FAN	INLET BOX		
	INLET SYSTEM EFFECT		0,38 inH2O
	OUTLET SYSTEM EFFECT		0 inH2O
PRESIÓN ESTÁTICA REQUERIDA			4,00 inH2O
			2,31 Onzas
			997 Pascal
TIPO DE CONTAMINANTE			Gases/Humos diluidos

6.3.4 Equipo de control de contaminación

Para el sistema de extracción no se propone equipo de limpieza teniendo en cuenta las siguientes condiciones observadas:

- El caudal de extracción genera una renovación de aire de 80 CPH en la celda robotizada 1 y 2, y una renovación de 120 CPH en la celda robotizada 3.
- La generación de humos metálicos es pequeña, por lo que se espera que la concentración de emisión de material particulado sea menor a la requerida por la norma.
- Una baja emisión de gases de formaldehído (proveniente resina de los moldes de fundición), los cuales se diluyen en el flujo de aire de extracción.
- Una generación de vapores pequeña de los tanques de agua con grafito, que se pueden diluir en el flujo de extracción.
- No obstante, es opcional si la empresa opta por la instalación de este equipo de control.

Selección de ventilador

En la Tabla 23, se presentan las especificaciones del ventilador seleccionado para la condición de operación requerida de 10875 cfm y 4 in H₂O.

Tabla 23. Ventilador seleccionado

PARÁMETROS	VALOR	OBSERVACIÓN
Tipo de Ventilador	Ventilador centrífugo industrial	
Tipo de Rotor	Aspas curvas inclinadas hacia atrás para trabajo industrial	
Ciudad	Funza (Colombia)	2550 msnm
Temperatura del aire	Ambiente	
Caudal de aire	10875 cfm (condiciones actuales)	Estos dos parámetros son los necesarios para la selección del ventilador
Presión Estática	4 inH ₂ O (997 Pa) corregida a condiciones estándar	
Referencia del ventilador	BCS 300	Marca: VECAM S.A.S o similar
Caudal del ventilador	11374 CFM	
Presión Estática (PE)	4 inH ₂ O	
RPM del rotor	1187 RPM	
BHP	8,8	
Motor	10 HP a 1800 rpm, ALTA EFICIENCIA IE3 (3F-60HZ-440V)	
Ancho	100%	
Arreglo	8	
Material constructivo	Acero al carbón	
Tipo de transmisión y sujeción	Acople directo	Se requiere uso de variador de frecuencia para obtener las revoluciones del rotor deseadas
Rotación	Sentido horario, visto desde el motor	Se puede ajustar a los requerimientos de CORONA necesidades de montaje
Descarga	Superior vertical	
Nivel de Ruido	Máximo 75 dB(A), evaluado a 1 m de distancia	No se requiere instalar silenciador en la descarga del ventilador
Sistema anti vibración	El ventilador debe estar soportado sobre unas bases de caucho anti-vibratorias.	
	La succión y la descarga del ventilador deben estar acopladas a la ductería mediante sección de material flexible	Si en el área donde estará ubicado el ventilador hay solventes orgánicos se deben utilizar materiales resistentes a dichos productos
	La chimenea, no debe estar soportada por el ventilador	Disponer estructura que soporte la chimenea.
A prueba de explosión	N/A	
El ventilador debe de tener	<ul style="list-style-type: none"> - Compuerta de inspección - Drenaje - Guardas de protección en el eje y el sistema de transmisión 	

En la Ilustración 51, se muestra el ventilador centrifugo propuesto para el sistema de extracción de aire.

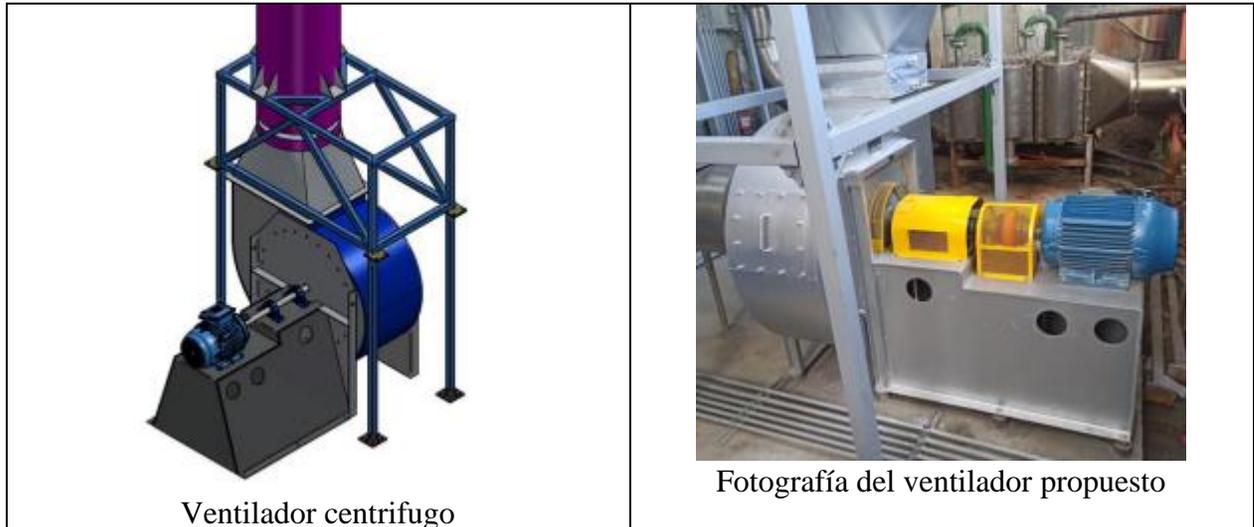


Ilustración 51. Ventilador centrifugo

6.3.5 Chimenea

Los sistemas de extracción descargan el aire al ambiente a través de una chimenea, la cual debe garantizar las siguientes características:

- Velocidad de descarga mínima de 3000 FPM.
- Niples para el muestreo del aire a mínimo 4 diámetros desde la última perturbación y a 4 diámetros mínimo hasta la descarga.
- Se recomienda una altura de 15 metros para la chimenea, cumpliendo con las recomendaciones de la normatividad vigente.
- Tubo concéntrico en su descarga para evitar el ingreso de lluvia en su interior hasta el ventilador.

6.3.6 Diámetro y Velocidad de descarga

Las buenas prácticas de ingeniería recomiendan una velocidad mayor o igual a 3000 FPM. Para el sistema de extracción hornos fusores, con un caudal de 10875 CFM y una velocidad de 3295 FPM, se tiene un diámetro de 25 pulgadas (635 mm).

6.3.7 Altura de la chimenea

Con base a la experiencia que Ventilación y Control Ambiental S.A.S posee en el diseño y montaje de sistemas de ventilación industrial, se sugiere que la altura de descarga de la chimenea sea de 15 metros.

En la Ilustración 52 , se muestra la altura de la chimenea del sistema LEV para las celdas robotizadas y la altura de la chimenea con respecto al techo de la planta de recubrimientos industriales.

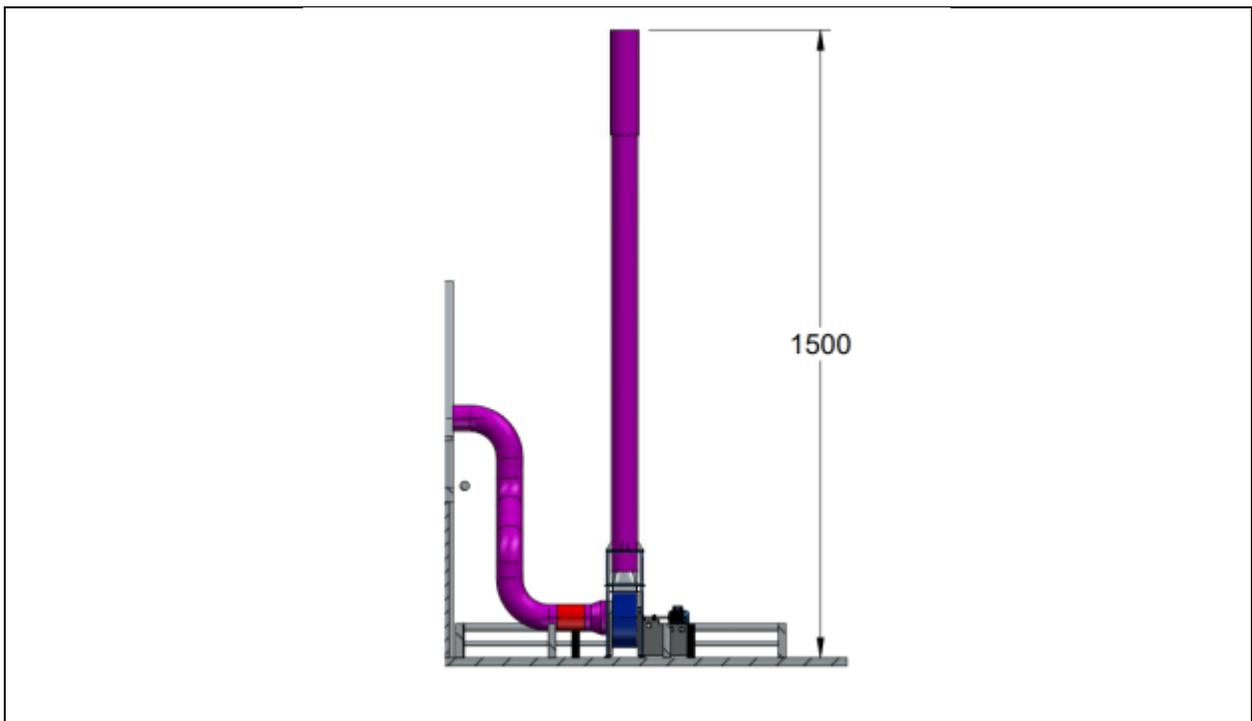


Ilustración 52. Altura de la chimenea sistema LEV celdas robotizadas

6.3.8 Descarga tipo Tubo concéntrico

Para la descarga de la chimenea se recomienda la instalación de un tubo concéntrico, el cual presenta la menor pérdida de presión y evita la entrada de agua lluvia. Para la fabricación de este accesorio se deben tener en cuenta las recomendaciones de la SMACNA. Ver Ilustración 53.

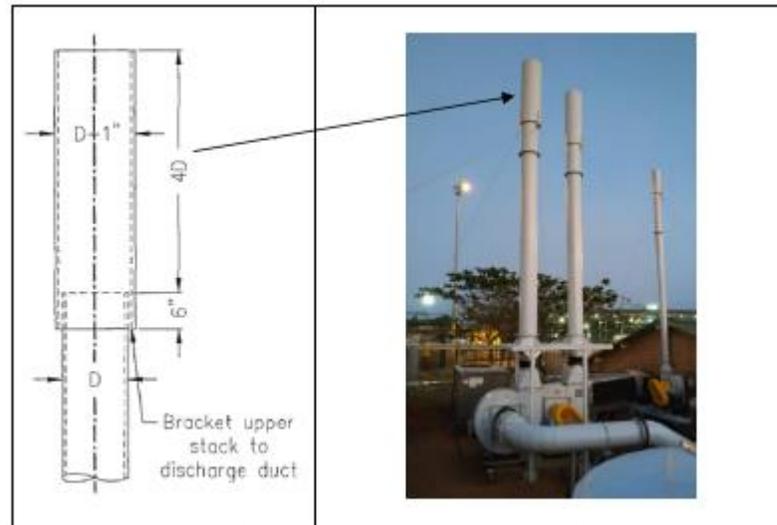


Ilustración 53. Ducto concéntrico sobre chimenea para evitar ingreso de agua lluvia

7 Conclusiones

Con el análisis y resultado obtenido en el diseño de un sistema de extracción y ventilación localizada para la extracción de humos metálicos tenemos:

- Para el cálculo de caudal, se trabajó con el área de trabajo y la velocidad de captación mínima requeridos por la norma (ASHRAE), para tener un caudal no muy grande. Esto nos implicó la selección de un ventilador pequeño y poco ruidoso.
- Se seleccionó material adecuados para la fabricación del sistema LEV.
- En el diseño de la ruta de sistema LEV, se buscó que los tramos en los ductos y accesorios fueran lo más pequeños posibles para disminuir las pérdidas en el sistema. Por otro lado, también se buscó que el radio de curvatura no fuera tan pequeño, para que la caída de presión en el sistema disminuyera y tener menor pérdidas en el sistema.
- Para el sistema de filtración, se seleccionó un filtro de cartuchos y un filtro de mangas, ya que se manejaron caudales muy altos en el sistema de extracción y se necesitaba garantizar una buena retención de todo el material particulado generado durante la fundición del latón.
- Se entregó un diseño de un sistema de extracción capaz de cumplir con todas las necesidades de seguridad en temas de contaminación, y se aseguró de que sistema cumpliera con las normativas vigentes de emisión de contaminantes.

8 Referencias

ACGIH. (2016). *Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice for Design (29th ed.)*. Cincinnati, OH: ACGIH.

American Society of Heating, R. a.-C. (2009). *ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS*. Atlanta, GA: ASHRAE.

American Society of Heating, R. a.-C. (2016). *ANSI/ASHRAE 62.1-2016: Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality*. Atlanta, GA: ASHRAE.

Goodfellow, h. D., & Wang, Y. (Volume 2). *Industrial Ventilation Desing Guidebook*. Engineering Desing and Applications: Academic Press.

Ministerio de Ambiente. (2008). Resolución 909. Diario oficial No. 47.051, pp.1-36.

Quinchia, R., & Puerta, J. L. (2017). *Ventilacion Industrial y Equipos de Limpieza de Aire. Cuarta Edición*. Medellin-Colombia.

9 Anexo

Departamento de Ingeniería Mecánica



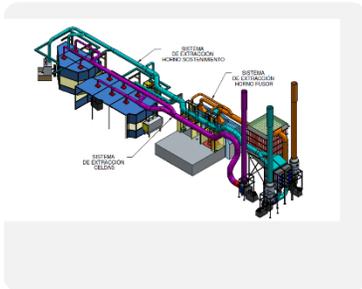
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
Facultad de Ingeniería

PRACTICANTE: Wilson Andrés García Vásquez
ASESORES: Andrés Colorado - Jorge Mario Hernandez

PROGRAMA: INGENIERIA MECÁNICA
Semestre de la práctica: 2023-2

El proyecto busca implementar un sistema de ventilación que atenúe las exigentes condiciones ambientales en una planta de fundición de latón.

Se realiza la identificación de las condiciones ambientales y civiles de la planta para realizar el cálculo y diseño de un sistema de ventilación localizada con el método de balanceo por caída de presiones.



Se realiza modelaciones 3D del sistema seleccionado y sus respectivos planos.

Se selecciona materiales para la fabricación de ductería, cabinas, campanas, ventiladores, filtros, silenciadores, chimeneas, soportes y encerramientos.

Introducción

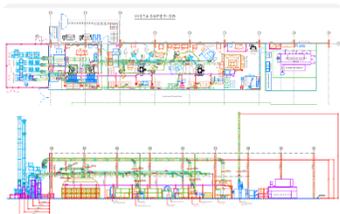
Las empresas industriales requieren instalaciones que promuevan la comodidad y bienestar de los trabajadores. Por lo tanto, los sistemas de ventilación mecánica son una opción atractiva para mantener un ambiente libre de contaminación.

Los criterios de diseño de estos sistemas se basan en la normativa de la ASHRAE, asociación que establece estándares en la industria de la calefacción, refrigeración y aire acondicionado

Metodología

Se realiza un levantamiento (tomas de medidas) del lugar donde se va a realizar el diseño de un sistema de ventilación y extracción localizada.

Desarrollo de ingeniería conceptual y ingeniería general o básica.

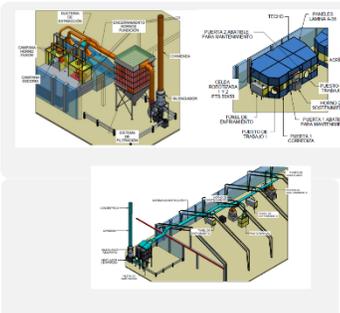


Resultados

El sistema de ventilación localizada en el espacio de producción cumple con los parámetros de diseño establecidos, incluyendo el caudal de suministro.

Área de trabajo libre de contaminación, garantizando un ambiente adecuado para los trabajadores.

La emisión de contaminantes al ambiente cumple con las normativas vigentes de emisión de contaminantes.



Objetivos

- ✓ Identificación de condiciones óptimas de operación.
- ✓ Cálculo de caída de presión de sistemas por métodos de balanceo de presiones.
- ✓ Selección de equipos y materiales para ductos, ventiladores, filtros y motores.
- ✓ Modelación CAD.
- ✓ Planos.

Conclusiones

- ✓ Para el cálculo de caudal, se trabajó con el área de trabajo y la velocidad de captación mínima requeridos por la norma (ASHRAE), para tener un caudal no muy grande. Esto nos implicó la selección de un ventilador pequeño y poco ruidoso.
- ✓ Se seleccionó material adecuado para la fabricación del sistema LEV.
- ✓ En el diseño de la ruta de sistema LEV, se buscó que los tramos en los ductos y accesorios fueran lo más pequeños posibles para disminuir las pérdidas en el sistema. Por otro lado, también se buscó que el radio de curvatura no fuera tan pequeño, para que la caída de presión en el sistema disminuyera y tener menor pérdidas en el sistema.

DATOS DE CONTACTO DEL AUTOR:

+57 3004489431

wilsona.garcia@udea.edu.co

wilsongarcia19

<http://linkedin.com/in/wilson-garcia-609254273/>