

Universidad Internacional de las Américas

Escuela de Ingeniería Electromecánica

Modalidad de tesis para optar por el grado de Bachillerato en Ingeniería Electromecánica

“Propuesta para la instalación de un sistema de extracción de aire de una máquina de recubrimiento de catéteres en un cuarto limpio que satisfaga condiciones de productividad y cumplimientos normativos”

Autor: Diego Morales Alfaro

Tutor: Ing. Gilbert Mora Jiménez

San José, San Pedro

Marzo, 2025

Contenido

Resumen Ejecutivo	8
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	9
Planteamiento del problema.....	9
Objetivos	9
<i>Objetivo general</i>	9
<i>Objetivos específicos</i>	9
Justificación	10
Antecedentes	10
<i>Antecedentes internacionales</i>	10
<i>Antecedentes nacionales</i>	14
Limitaciones.....	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	18
1. Cuarto Limpio.....	18
1.1 Partículas	18
1.2 Clasificación	18
1.2.2 Clasificación de número de ISO.	18
2. Ventilación	20
2.1 Sistema de conductos.....	21
2.1.1 Fundamentos de diseño.....	22
2.1.2 Componentes del sistema de conductos.....	25
2.1.3 Procedimiento para el diseño de los conductos.	28
2.1.4 Velocidad de transporte.....	29
2.1.5 Caída de presión en el sistema de conductos.	31
2.2 <i>Pérdidas localizadas en accesorios</i>	32
2.2.1 Coeficientes de pérdidas por fricción.	32
2.3 <i>Principios de diseño para los sistemas de ventilación</i>	35
2.3.1 Balanceo de conductos en un sistema de ventilación.	37
2.4 <i>Selección de ventilador</i>	40
2.5 <i>Selección de componentes electrónicos para la ventilación</i>	42

3. Ingeniería de costos	45
3.1 <i>Objetivos</i>	45
3.2 <i>Organización del proceso de control</i>	46
3.3 <i>Presupuesto</i>	48
3.4 <i>Modalidades de evaluación de proyectos</i>	50
3.5 <i>Métodos de evaluación de proyectos</i>	50
3.5.1 <i>Relación beneficio-costos (B/C)</i>	50
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	54
Enfoque de la investigación	54
Enfoque cuantitativo	54
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE DATOS.....	57
Posicionamiento de ductos.....	57
Trayectoria de tuberías.....	60
Diseño del sistema	63
Presupuesto y viabilidad del proyecto	72
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
Conclusiones.....	76
Recomendaciones	77
CAPÍTULO IV: PROPUESTA.....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79

Índice de Figuras

Figura 1.	19
<i>Clasificación ISO de cuartos limpios.</i>	19
Figura 2.	22
<i>Tipos de flujo</i>	22
Figura 3.	23
<i>Ley de conservación de la masa.</i>	23
Figura 4.	26
<i>Codo de 90.</i>	26
Figura 5.	26
<i>Entradas.</i>	26
Figura 6.	27
<i>Expansiones.</i>	27
Figura 7.	27
<i>Concentraciones concéntricas y abrupta.</i>	27
Figura 8.	28
<i>Compuerta tipo mariposa.</i>	28
Figura 9.	30
<i>Velocidades mínimas en el ducto.</i>	30
Figura 10.	33
<i>Coefficiente de pérdida por fricción, codos de 90°.</i>	33
Figura 11.	33
<i>Coefficiente de pérdida por fricción para entradas yees.</i>	33
Figura 12.	34
<i>Coefficiente de pérdida por fricción, codo de 90° por partes.</i>	34

Figura 13.	35
<i>Principios de diseño para los sistemas de ventilación.</i>	35
Figura 14.	36
<i>Principios de diseño para los sistemas de ventilación.</i>	36
Figura 15.	42
<i>Curva característica de un sistema de ventilación.</i>	42
Figura 16.	43
<i>Selección de conductor.</i>	43
Figura 17.	44
<i>Selección de corriente para motores monofásicos.</i>	44
Figura 18.	46
<i>Alcance y objetivos según el tiempo.</i>	46
Figura 19.	58
<i>Diagrama de posición de máquina en cuarto limpio.</i>	58
Figura 20.	59
<i>Diagrama de equipo.</i>	59
Figura 21.	59
<i>Marcaje de posiciones.</i>	59
Figura 22.	61
<i>Trayectoria de ductería 1.</i>	61
Figura 23.	62
<i>Trayectoria de ductería 2.</i>	62
Figura 24.	64
<i>Sección UV diagrama simplificado.</i>	64
Figura 25.	68

<i>Distribución del tramo principal.</i>	68
Figura 26.	71
<i>Diagrama unifilar del inversor.</i>	71

Índice de Tablas

Tabla 1.	63
Material de ductería.	63
Tabla 2.	66
Velocidades de flujo de los sistemas.	66
Tabla 3.	69
Resumen de cálculos de ramal principal.....	69
Tabla 4.	70
Diseño mecánico del sistema.	70
Tabla 5.	70
Diseño eléctrico del sistema.....	70
Tabla 6.	72
Costos de la parte mecánica.	72
Tabla 7.	72
Costos de la parte eléctrica.	72
Tabla 8.	73
Cantidad de horas trabajadas.	73
Tabla 9.	74
Mano de obra.	74

Tabla 10.	74
Comparación de costos.	74

Resumen Ejecutivo

En Costa Rica existen múltiples plantas de manufactura, tanto nuevas, establecidas y en crecimiento, las cuales representan grandes inversiones para el país. En el caso de plantas nuevas, el trabajo total se debe delegar al especialista de la construcción, ya que es el profesional que planifica, coordina y supervisa varios aspectos de un proyecto de construcción, desde los cimientos del edificio hasta las facilidades de este; a diferencia de las plantas en crecimiento, donde la mayoría de la infraestructura ya existe y lo que se necesita son extensiones de dichas facilidades del edificio.

Muchas de estas empresas, cuando llegan nuevos sistemas, máquinas y procesos, optan por la contratación de una empresa tercerizada que realice estas extensiones de facilidades para el uso correcto del equipo o maquinaria que se vaya a instalar y, dependiendo del alcance del proyecto, estas implementaciones implican un gasto considerable de dinero, ya que pueden incluir desde el diseño de lo que se vaya a realizar hasta la instalación de todas las facilidades previstas. Además, el tener personal externo a la empresa conlleva todo tipo de papeleo y supervisión para lograr el mejor trabajo posible.

El objetivo del presente proyecto de tesis radica en establecer el costo-beneficio de realizar estos trabajos con personal interno de la empresa, igualmente desde el diseño hasta la instalación, con miras a reducir los costos y hacerlo con mayor rapidez; sin embargo, esto se determinará efectuando una comparación entre lo que cobra una empresa externa y el costo de ejecutarlo internamente.

Por ende, se pretende definir si realmente es más rentable tener un equipo para efectuar los proyectos de instalación, que realice tareas múltiples de transferencia de máquinas e instalación de facilidades, lo cual podría representar un ahorro para la empresa al disponer del personal propio. Esto se demostrará realizando los cálculos necesarios para la selección de equipo, además de contemplar la afectación que tiene el proyecto sobre la planta, efectuando un cálculo de costo-beneficio y, finalmente, determinar si es rentable o no la realización de un proyecto con mano de obra interna de la empresa.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

¿Cuál es la mejor propuesta de diseño e instalación para un sistema de extracción de aire en una máquina de recubrimiento de catéteres ubicada en un cuarto limpio, mediante una comparación entre recursos de la empresa y una contratación externa, con el fin de obtener el mayor costo-beneficio?

Objetivos

Objetivo general

Determinar cuál es la mejor propuesta de diseño e instalación para un sistema de extracción de aire en una máquina de recubrimiento de catéteres ubicada en un cuarto limpio, mediante una comparación entre recursos de la empresa y una contratación externa, con el fin de obtener el mayor costo-beneficio

Objetivos específicos

1. Establecer el cumplimiento de los requisitos del sistema mediante un análisis exhaustivo de las normativas aplicables y las especificaciones de diseño, con el fin de asegurar el rendimiento óptimo de un sistema de extracción de aire para una máquina de recubrimiento de catéteres en un entorno de cuarto limpio.
2. Analizar el sistema de extracción de la máquina, mediante el estudio de los diagramas del equipo, para determinar las ubicaciones iniciales de las instalaciones, desde la máquina hasta los sistemas de ventilación.
3. Definir la trayectoria óptima para el diseño en el entorno de sala limpia, mediante una inspección de las infraestructuras existentes en el sitio, con el fin de identificar la ruta más eficiente y adecuada.
4. Efectuar el diseño integral de un sistema de extracción basado en la información recopilada, utilizando *software* de diseño y realizando los cálculos necesarios para los sistemas de extracción, para lograr un diseño funcional.
5. Realizar un análisis comparativo para la implementación de un sistema de ventilación propuesto, evaluando la opción de utilizar recursos internos de la empresa frente a la

contratación de un proveedor externo, mediante la recopilación de la información pertinente y los presupuestos correspondientes, con el fin de determinar cuál alternativa ofrece el mejor costo-beneficio.

Justificación

Actualmente, en Costa Rica hay una creciente entrada de empresas con capital extranjero que eligen el país para instalar una de sus sedes de manufactura, el mayor ingreso lo representa la industria de dispositivos médicos.

Las nuevas empresas que incursionan en el país tienen siempre un reto y se centra en conformar sus instalaciones, lo cual conlleva grandes inversiones, desde el edificio, sus facilidades, capacitaciones, maquinaria, personal y muchas cosas más. Además, hay otras que deciden seguir invirtiendo en el país e implementando nuevos procesos, situación que conduce a nuevos gastos.

Para el inicio de los nuevos proyectos subcontratan a otras compañías para implementar diversas tareas, cuando se podría utilizar recursos directos de la propia empresa. Por eso, se efectuará un estudio para determinar cuál es el mejor costo-beneficio para la entidad, si realizando el proyecto con mano de obra interna o subcontratando el proceso.

Se realizará un análisis del sistema de tuberías, determinando la mejor trayectoria posible con sus respectivos accesorios, repensando los flujos que necesita la máquina para funcionar y obteniendo todos los datos para la selección del equipo de ventilación que cubra las necesidades de la máquina. Luego de efectuar los cálculos y la selección del equipo de ventilación, se procederá con una recolección de los costos y de los imprevistos que pueden aparecer, a través de un estudio costo-beneficio, para determinar si es más factible implementar internamente el proyecto en la empresa, o subcontratar el proceso.

Antecedentes

Antecedentes internacionales

Antecedente N.º 1.

Instituto: Universidad Tecnológica del Perú, Perú.

Título: *Diseño de un sistema de aire acondicionado y ventilación mecánica para los sectores I, II y III del Centro de Salud Mental Comunitario en el distrito de San Juan de Miraflores, Lima.*

Autor: Álvarez Villanueva, Gerson André Luis.

Año: 2022

En este trabajo se puede resaltar el diseño del sistema de ventilación mecánico para un centro de salud. En el proyecto se realiza los cálculos, la selección de los equipos y de los ductos, todos estos datos los saca desde la perspectiva de los sectores de un centro de salud; además de la utilización de ductería cuadra que servirá como referencia de los cálculos que se vaya a realizar.

La relevancia del proyecto radica en que se debe realizar la selección de equipos según los requerimientos de la máquina, y esta selección es muy importante, ya que una mala selección de los equipos de ventilación puede provocar un mal funcionamiento o daño de algún dispositivo del equipo. También hay que considerar el impacto que tendrá sobre el centro de salud, ya que se debe tener claro que las personas que van a respirar el aire son pacientes, así que hay que calcular bien los ciclos de aire en la ubicación.

Uno de los puntos a tomar en consideración es el presupuesto con el que va a trabajar, ya que es para un centro de salud comunitario, por lo que se puede crear un gran diseño, pero el presupuesto puede no ser suficiente, así que debe lograr la mejor calidad de diseño con el presupuesto establecido para el proyecto. Lo ideal sería hablar con el centro de salud y saber cuál sería el presupuesto con el que cuenta y, con este dato, empezar el diseño.

Antecedente N.º 2.

Instituto: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Ecuador.

Título: *Análisis de los sistemas de ventilación en edificios de Guayaquil para el control de bioseguridad.*

Autor: Cedillo Carrillo, Jan Brandon y Miranda Mejía, Freibert Joffre.

Año: 2022.

Se elije este proyecto porque en uno de sus objetivos específicos evalúa la mejor práctica de diseño de los sistemas de ventilación. Esto es relevante, ya que en la búsqueda de antecedentes es el único proyecto que menciona directamente la utilización de una norma a nivel país que determine el diseño.

Lo más importante es el modo de aplicar las bases para el diseño de la ventilación, ya que se toma en consideración las normas del país para este tipo de proyectos y las reglas de diseño. Lo anterior es de suma importancia en bioseguridad, dado que se manejan muchos desechos que pueden ser peligrosos y que necesitan ventilación localizada.

Se resalta, en este caso, la importancia de utilizar las reglas de diseño, ya que estas marcan una diferencia entre un buen diseño que vaya a funcionar correctamente, y un diseño que realmente no sirva para nada.

Antecedente N.º 3.

Instituto: Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas.

Título: *Evaluación de las condiciones de ventilación para la actualización del sistema integral de ventilación Unidad Minera Yauricocha, Perú.*

Autor: Tejada Romero, Ronald César y Mucha Gómez, Fredy.

Año: 2022.

El proyecto propone realizar el estudio de la ventilación de minas para solucionar el problema del sistema. En este caso se resalta el cálculo de caudal y presión en los ventiladores principales y secundarios que influye en la actualización del sistema integral de ventilación, ya que al hacer el análisis en una mina, debe considerar distintos tipos de caudales.

Aunque el escenario de este proyecto es distinto al que se efectuará en la presente propuesta, la importancia que tiene el cálculo del caudal y la presión son de suma importancia, ya que, por un lado, la mina los necesita para mantener las condiciones de trabajo del lugar y, si no se cumplen estos caudales y presiones, puede tener serias consecuencias. Por el otro lado, si la máquina de recubrimiento de catéter no posee las condiciones adecuadas, ocasionaría que la máquina, en el mejor de los casos, deje de funcionar y el peor escenario lo representa el daño de un equipo de la unidad.

Perú es una locación que cuenta con bastantes trabajos de graduación con respecto a la ventilación y extracción, esto se debe a que en dicho país abunda la minería y estos conceptos de ventilación y extracción son muy importantes para asegurar el aérea de trabajo de la mejor forma posible. Aunque el enfoque del presente proyecto es distinto al planteado en esta tesis, los fundamentos son los mismos y son las bases para cualquier sistema de extracción y ventilación.

Antecedente N.º 4.

Instituto: Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Título: *Propuesta de diseño de un sistema de extracción de humos metálicos y gases para un taller de soldadura de una empresa.*

Autor: Quintero Hernández, Jesús y Fares Lozano, Alexander Lautaro.

Año: 2023.

Este proyecto crea un sistema de extracción de aire para un taller de soldadura. En el documento no incursionan tanto en el cálculo de los caudales, pero trabajan la parte del diseño de la tubería de la zona donde se necesita extraer los gases hasta los accesorios. Esto es relevante para el diseño de la ductería ya que, dependiendo de la distancia del ducto, su forma y la cantidad de accesorios, así puede cambiar el flujo y, dependiendo de esto, puede variar el modelo de ventilador por emplear.

En las conclusiones del proyecto se determinó que un sistema de ventilación de áreas exhaustivas específicas y una extracción general es más efectivo, ya que no permite que se dispersen los gases. Esta información sirve para entender que no todas las extracciones trabajan de la misma manera y, dependiendo de las condiciones que se requieran, así cambiará el sistema. De ahí la importancia de una elección correcta de los accesorios y de los equipos de ventilación.

Antecedente N.º 5.

Instituto: Universidad César Vallejo, Perú.

Título: *Sistema de ventilación y parámetros de operación en una sala de grupos electrógenos de una planta industrial-*

Autor: Riveros Gerónimo, Santos Marquiños.

Año: 2022.

En este caso se determinó que este diseño permitió mejorar los parámetros de operación de la sala de generación, alcanzando el flujo de aire requerido de $51,20 \text{ m}^3/\text{s}$ ($184512,18 \text{ m}^3/\text{h}$) para garantizar una correcta ventilación de los equipos. Se determinó que la temperatura, el flujo de aire y el calor disipado en el ambiente, son los parámetros más importantes y críticos para el diseño del sistema de ventilación de la sala.

Aquí fue necesario valorar aspectos del ambiente para obtener los resultados esperados. Por consiguiente, hay que considerar qué tanto afectarán estos parámetros en el diseño y tomarlos en cuenta, ya que todos los flujos dependen de la temperatura. Esto puede provocar que sea más fácil o difícil transportar un fluido; por lo que es importante considerar este tipo de aspectos que pueden ser realmente significativos al momento de diseñar el proyecto.

Antecedente N.º 6.

Instituto: Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Perú

Título: *Dimensionamiento de ductos para el sistema de ventilación del área de foyer del cine – Ilo.*

Autor: Jacinto Paredes, Joe Leonard.

Año: 2019.

Lo más relevante de este proyecto es el cálculo de la ductería, donde muestran las fórmulas para el tamaño de ductos y rejillas para el flujo que se va a utilizar. Estos cálculos son necesarios para obtener el dimensionamiento del ducto y esto es importante para zonas donde la colocación física del ducto es complicada.

Si por motivos de infraestructura es necesario hacer cambios en el tamaño del ducto, es importante considerarlo en los cálculos, ya que por solo cambiar los accesorios, agregando o quitando reducciones y ampliaciones, se pueden ver comprometidos los flujos. De ahí la importancia de un correcto diseño de ductería, además de un buen cálculo matemático para mantener en flujo ante cambios físicos en la ductería.

Antecedentes nacionales

Antecedente N.º 1.

Instituto: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Título: *Propuesta de diseño de sistemas mecánicos para la instalación de bandas transportadoras, hidrociclón y criba en la planta secundaria del quebrador Ochomogo.*

Autor: Vargas Bolaños, Diana Marcela.

Año: 2021.

Se realiza un análisis de viabilidad técnico-financiera que oriente a la empresa a una toma de decisiones. Luego de realizar toda la propuesta de diseño, se enfoca en el análisis financiero, donde se analizan los datos obtenidos y se valora qué tan viable es el proyecto; en este se analiza cuál es tiempo de recuperación y la empresa toma la decisión de si realizar el proyecto o no.

En este tipo de proyectos, por ser un tema de reinversión, entra mucho en juego cuánto tiempo se tardará en recuperar el dinero, ya que al fin y al cabo, lo que importa a los inversionistas es saber en cuánto tiempo se recuperará su inversión. Este documento sirve como base para

entender esta temática, pero el punto del proyecto es si es más rentable o no realizarlo de una forma u otra, ya que el proyecto, independientemente del resultado, se debe efectuar.

Antecedente N.º 2.

Instituto: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Título: *Diseño de horno de fundición y del proceso semiautomático de la fabricación de calibradores de aluminio, en la empresa Equipos El Prado, S. A.*

Autor: Ramírez González, Hillary Fabiola.

Año: 2020.

En este proyecto se diseña un sistema de extracción de gases bajo los estándares de ASHRAE (la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado) y criterios de ingeniería adecuados al espacio y facilidades.

Este diseño de ventilación se estableció con los requisitos mínimos de eficiencia energética, se obtuvo realizando la selección del equipo de extracción de humos con base en cálculos del caudal y pérdidas de carga, así como dimensionamiento de campana de extracción y conducto. Los estándares de ASHRAE son una base para el diseño de aires acondicionados y calefacción, así que abarcan mucho ese campo de trabajo. Tiene las bases necesarias para ciertos diseños dentro de estos ámbitos, así que podría ser una opción a tomar en consideración para la presente propuesta.

Antecedente N.º 3.

Instituto: Universidad de Costa Rica.

Título: *Desarrollo de un sistema de costeo multivariable para una empresa metalmecánica.*

Autor: Brenes Morera, Eckson; Herrera Solís, Ericka y Siles Núñez, Sasha Andrea.

Año: 2023.

Este proyecto desarrolla la efectividad real de los trabajos y la exactitud de los precios de las cotizaciones. Esto es importante para poder determinar el valor de la mano de obra del proyecto, además de obtener exactitud en los precios para las cotizaciones. Toda esta información es significativa, ya que después de la realización del diseño de extracción de la máquina, hay que calcular cuál es el valor del trabajo en su totalidad, desde materiales, mano de obra y todas las afectaciones que puede tener el proyecto en costo.

En todo proyecto, después de los cálculos, de los diseños, de la toma de decisiones, viene la parte más importante y es la consideración de los costos, ya que a las empresas lo que les importa, al final, es cuánto van a gastar y qué ganancia obtendrán. Dentro del proyecto es una

diferenciación inmediata, ya que este se debe realizar independientemente de la decisión que se vaya a tomar, pero en este caso en específico, hay que considerar tanto la parte económica como las ventajas y desventajas de hacer el proyecto de una manera u otra.

Antecedente N.º 4.

Instituto: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Título: *Modelo de sistemas electromecánicos integrados de gestión para pequeñas y medianas empresas (Pymes) en el sector industrial aplicado en La Nacional S. A., según la norma ISO 50001.*

Autor: Saborío Ortiz, Óscar Mario.

Año: 2023.

Este proyecto abarca toda la parte de instalación eléctrica, aquí se toma en consideración la instalación de motores trifásicos utilizando los lineamientos del NEC 2014, además de contemplar la potencia de la máquina y cómo se van a repartir todas estas cargas.

Esto es importante para esta propuesta, ya que una correcta selección de los equipos y sus facilidades es indispensable para proyectos electromecánicos, máxime que está enfocado en las Pymes, que son empresas que apenas van iniciando. De ahí la relevancia de un buen diseño para el correcto funcionamiento del proyecto total.

También se trabaja en el levantamiento de circuitos para cada caja de circuitos. Por ende, este proyecto se utilizará de guía para el diseño de cableado eléctrico de los motores de los sistemas de ventilación y extracción de la máquina de recubrimiento de catéter.

Es importante resaltar que el proyecto se enfoca directamente en el sistema de extracción; entonces, se evidencia la importancia del cálculo del cableado de los sistemas de ventilación, ya que una mala selección de cableado podría provocar incendios y los daños serían considerables. Por ende, se piensa utilizar el NEC para obtener este dato tan importante.

Antecedente N.º 5.

Instituto: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Título: *Diseño de un sistema de acondicionamiento de aire y extracción mecánica para la sucursal del Instituto Nacional de Seguros de Jacó, Puntarenas.*

Autor: Mejías Murillo, Roberto.

Año: 2019.

Este proyecto realiza un diseño de aire acondicionado y extracción mecánica. Destaca el hecho de que se calculan las rutas críticas para realizar, posteriormente, la selección de los equipos, lo cual es muy importante, ya que calculando las rutas críticas de los flujos se tendrán cubiertas todas las zonas de trabajo; por consiguiente, son necesarias para la selección de los equipos que se vaya a utilizar y no tener problemas de flujo a futuro, en el trabajo del sistema.

En el mismo trabajo se efectúa un análisis financiero y se hace la comparación entre diferentes proveedores; además, consideran los materiales, instalación e inversión inicial. Esto es importante, ya que la comparación entre varios proveedores externos permite una visión general de cómo está el mercado en la instalación de facilidades; asimismo, permite analizar cuál le conviene más para obtener un buen trabajo y a un costo aceptable para la instalación.

Limitaciones

- Se debe realizar una aproximación de la salida de los ductos, ya que la máquina está prevista para el 2025 y no se podrá tener en lugar para calcular exactamente su posición, por lo cual se podría ver afectada la distancia de los ductos.
- La máquina viene con especificaciones por parte del proveedor que se deben cumplir para validar la garantía, eso significa que hay que garantizar las peticiones del proveedor con respecto a su diseño de máquina. Al momento de efectuar los cálculos y el diseño de la trayectoria hay mejoras que se podrían realizar, pero por parte del proveedor no se pueden hacer, así que quedan como una recomendación.
- Dificultad de encontrar información fiable sobre sistemas de ventilación y extracción localizados, ya que no hay tanta documentación como sí la hay con respecto de los sistemas de aires acondicionados o sistemas de tuberías.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Aquí se presenta la información necesaria para poder entender el proyecto y la explicación de cómo se piensa desarrollar, ya que se incorporan definiciones, fórmulas y procedimientos para realizar el diseño del proyecto. Estas son las bases bibliográficas para fundamentar que el proyecto se está realizando de una manera correcta, ya que toda esta información está aprobada, revisada y publicada por entidades expertas en los temas que se desarrollará.

1. Cuarto limpio

Según el ISO 14644-1:2015 (Organización Internacional de Estandarización), un cuarto limpio es una sala dentro de la cual se controla y clasifica la concentración numérica de partículas en el aire, y está diseñada, construida y operada de manera que controle la introducción, generación y retención de partículas dentro de la habitación.

1.1 Partículas

Es un pedazo diminuto de materia con límites físicos definidos, puede ser determinado por el tamaño, la concentración y la distribución.

1.2 Clasificación

1.2.1 Tamaño de partículas. Uno o más de un tamaño de partícula umbral situado dentro del rango de $\geq 0,1 \mu\text{m}$ a $\geq 5 \mu\text{m}$ para determinar la limpieza de la concentración de partículas en el aire para su clasificación.

1.2.2 Clasificación de número de ISO.

La clase de limpieza del aire por concentración de partículas se designará mediante un número de Clase ISO. La concentración máxima permitida de partículas para cada tamaño de partícula considerado se determina a partir de la tabla 1. Las concentraciones del número de partículas para diferentes tamaños de umbral en la tabla 1 no reflejan el tamaño real de las partículas, ni la distribución del número en el aire y sirven como criterio únicamente para la clasificación. (ISO 14644-1, 2015, pp. 1-4)

Figura 1.

Clasificación ISO de cuartos limpios.

Clase Numero ISO (N)	Concentraciones máximas permitidas (partículas/m ³) para partículas iguales y mayores que el tamaño considerado, que se muestran a continuación.					
	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	5 µm
1	10 ^b	d	d	d	d	e
2	100	24 ^b	10 ^b	d	d	e
3	1 000	237	102	35 ^b	d	e
4	10 000	2 370	1 020	352	83 ^b	e
5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	d, e, f
6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
7	c	c	c	352 000	83 200	2 930
8	c	c	c	3 520 000	832 000	29 300
9 ^g	c	c	c	35 200 000	8 320 000	293 000

Notas importantes sobre la figura 1 (tabla 1, según ISO 14644-1, 2015, p. 5):

- a. Todas las concentraciones de la tabla son acumulativas, p. ej. para ISO Clase 5. Las 10.200 partículas mostradas en 0,3 µm incluyen todas las partículas iguales y mayores que este tamaño.
- b. Estas concentraciones darán lugar a grandes volúmenes de muestra de aire para su clasificación. Podrá aplicarse un procedimiento de muestreo secuencial; ver el anexo D.
- c. Los límites de concentración no son aplicables en esta región de la tabla debido a la muy alta concentración de partículas.
- d. Las limitaciones estadísticas y de muestreo para partículas en bajas concentraciones hacen que la clasificación sea inapropiada.
- e. Las limitaciones en la recolección de muestras, tanto para partículas en bajas concentraciones como para tamaños mayores a 1 µm, hacen que la clasificación en este tamaño de partícula sea inapropiada, debido a posibles pérdidas de partículas en el sistema de muestreo.
- f. Para especificar este tamaño de partícula en asociación con ISO Clase 5, el descriptor de macropartícula M puede adaptarse y usarse junto con al menos otro tamaño de partícula.
- g. Esta clase solo es aplicable para el estado operacional. (ISO 14644-1, 2015, p. 5)

2. Ventilación

La ventilación es un método común para reducir la exposición de las personas a los contaminantes que se originan en los procesos industriales y evitar así enfermedades profesionales. Es útil también para controlar el calor, la toxicidad o la potencial explosividad de su ambiente.

Para diseñar un sistema de ventilación industrial, debe procederse así:

- Identificar las fuentes de contaminación.
- Seleccionar la campana adecuada para capturar los contaminantes.
- Establecer una succión capaz de capturar y transportar el aire contaminando.

La elección de un sistema de ventilación exhaustiva local para la extracción de contaminantes debe tomar en cuenta, entre otros factores, la ubicación y magnitud de las fuentes contaminantes, la simultaneidad de su funcionamiento y la disponibilidad de espacio para las instalaciones. Los sistemas de posible elección son los siguientes:

- Extracción y tratamiento independiente de cada fuente. La instalación y funcionamiento de equipos de extracción y tratamiento individual es comparativamente más costoso. Puede ser usado para la captación de contaminantes especiales que no convenga incorporar a los sistemas de ramales múltiples por su naturaleza corrosiva, inflamable, tóxica, etc.
- Sistemas de ramales múltiples de alta velocidad. Para iniciar el proyecto conviene disponer de un plano de las instalaciones industriales y del diagrama de flujo del proceso. Esta información preliminar ayuda a ubicar las fuentes de generación de los contaminantes. En la ventilación localizada se deben captar los contaminantes emitidos en su lugar de origen, antes de que puedan dispersarse en el ambiente general del local.
- Sistemas de baja velocidad con cámaras de sedimentación. Los sistemas de extracción localizada de baja velocidad con cámaras son diferentes a los de alta velocidad. Las velocidades mínimas de transporte, para evitar el depósito de las partículas, sólo se mantienen en los conductos conectados a las campanas, también llamados ramales; el conducto principal se sobredimensiona de manera que la velocidad sea muy inferior al valor de transporte. La misión del ramal principal es proveer un camino con muy poca pérdida de presión desde los puntos de unión de los ramales hasta el equipo de control o el ventilador. Esto contribuye a mantener el equilibrio entre los ramales y a menudo ocasiona un menor consumo de energía. (Echeverri Londoño, 2011, pp. 29-31)

2.1 Sistema de conductos

El sistema de conductos, que va desde el dispositivo de captura hasta el equipo de control, incluye: conductos rectos; accesorios, tales como codos y entradas; dispositivos de control de caudal (compuertas); y soportes de los conductos.

Los conductos de un sistema de ventilación exhaustiva local deben cumplir las siguientes funciones:

- Llevar el aire contaminado desde las diferentes campanas al punto de descarga.
- Conseguir el mínimo consumo de energía (disminuyendo las pérdidas por fricción).
- Asegurar la velocidad de transporte adecuada para que el contaminante no se deposite y tapone el conducto.
- Mantener el sistema equilibrado en todo momento.
- Mediante un adecuado diseño, hay que asegurar que en cada campana se capte el caudal del aire requerido.

El sistema de conductos se fabrica, ya sea de metal o de plástico; el material es seleccionado por las características de la corriente de aire, consideraciones estructurales, costos de compra e instalación, estética y otros factores. Los sistemas de conductos de metal pueden manejar temperaturas hasta de aproximadamente 540 °C, pero solamente ciertas aleaciones pueden tolerar corrientes corrosivas.

En términos de construcción, los sistemas de conductos pueden ser rígidos o flexibles. Como el nombre lo indica, los sistemas de conductos rígidos, sean de metal o de plástico, tienen una forma fija. Contrariamente, los sistemas de conductos flexibles pueden doblarse para tomar en cuenta situaciones donde el espacio es limitado o donde su disposición es tan intrincada que los accesorios rígidos no pueden cumplir con los requerimientos de construcción

Los procedimientos de diseño que se consideran a continuación, son fundamentales para determinar las dimensiones de los conductos y las pérdidas de presión (pérdidas por fricción) de un sistema de ventilación exhaustiva local. Con estos resultados así obtenidos y el caudal de aire que debe moverse en el sistema, se definen las características del ventilador, tales como el tamaño, su tipo, el número de revoluciones del rotor y la potencia requerida. Se debe contar con los siguientes datos:

- Distribución en planta de las zonas de trabajo, de los equipos y sus dimensiones, etc.

- Esquema del sistema de conductos, incluyendo las dimensiones en planta y elevación, la ubicación del equipo de control y del ventilador, etc. Se debe identificar cada tramo de los ramales (conductos secundarios) y el conducto principal con números y/o letras.
- Un diseño previo o esquema de la campana a instalar para el control de cada operación.

2.1.1 Fundamentos de diseño. Se entiende como régimen de flujo, la forma como se comporta el movimiento de un fluido a lo largo de un conducto. La observación de los fluidos lleva a distinguir dos tipos de movimiento de gran importancia:

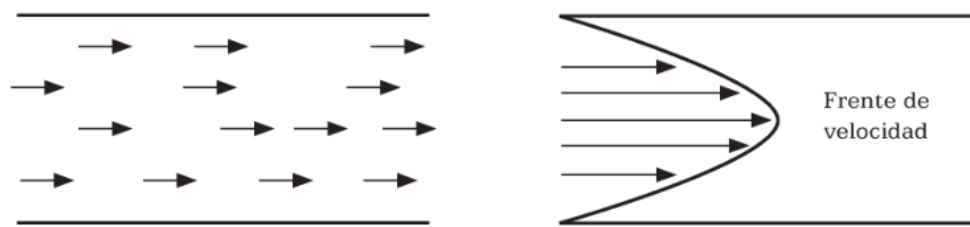
- Régimen laminar.
- Régimen turbulento.

Se llama flujo laminar al tipo de movimiento de un fluido cuando éste es perfectamente ordenado, la trayectoria de la corriente de aire en movimiento es bien definida y las líneas de flujo no se entrecruzan.

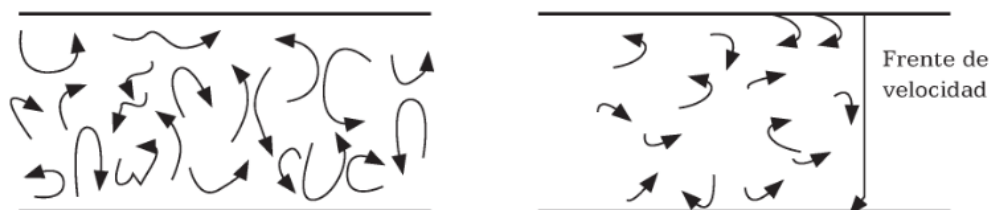
El régimen turbulento se caracteriza por el movimiento desordenado de partículas; el flujo dentro del conducto se vuelve errático y se produce la mezcla transversal del líquido. Es el único que existe en los conductos de ventilación. La velocidad en cada punto de la corriente de aire no es constante como ocurre en el flujo laminar, sino que varía aleatoriamente con el tiempo, ordenándola alrededor de su valor medio.

Figura 2.

Tipos de flujo.



(a) Flujo Laminar



(b) Flujo Turbulento

Reynolds descubrió que la velocidad de la corriente de aire era solamente una de las variables determinantes de la naturaleza del flujo dentro de un conducto, las otras son: el diámetro del conducto, la densidad de la corriente de aire y su viscosidad. Estas cuatro variables, combinadas en un solo parámetro adimensional, forman el número de Reynolds:

$$R_e = \frac{D\rho_g V}{\mu_g}$$

En el cual:

R_e = Número de Reynolds, adimensional.

D = Diámetro del conducto, m.

ρ = Densidad de la corriente de aire, kg/m^3 .

V = Velocidad de la corriente de aire a través del conducto, m/s.

μ = Viscosidad de la corriente de aire, $\text{kg/m}\cdot\text{s}$.

Para números de Reynolds inferiores a 2.100, el flujo en conductos es siempre laminar. En condiciones ordinarias, el flujo es turbulento para números de Reynolds superiores a 4.000. Entre 2.100 y 4.000 se encuentra una región de transición en la que el tipo de flujo puede ser laminar o turbulento, dependiendo de las condiciones de entrada al conducto y de la distancia medida a partir de la entrada.

La ecuación de continuidad o conservación de masa es una herramienta muy útil para el análisis de fluidos que fluyen a través de conductos con diámetro variable. En estos casos, la velocidad del flujo cambia debido a que el área transversal varía de una sección del conducto a otra.

Figura 3.

Ley de conservación de la masa.



El caudal másico en el punto 1 del conducto debe ser igual al caudal másico en el punto 2, en vista de que la corriente gaseosa no puede cruzar las paredes del conducto y porque no hay “fuentes” ni “sumideros” donde la corriente de aire fuese creada o destruida en el interior del conducto; por lo tanto, el balance de masa en el conducto es:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

m_1 = Caudal másico en el punto 1 del conducto, kg/s.

m_2 = Caudal másico en el punto 2 del conducto, kg/s.

La ecuación de Bernoulli es una relación fundamental de la mecánica de fluidos. Es la aplicación del teorema de la conservación de la energía, incluye la energía mecánica, cinética y potencial. El teorema de Bernoulli demuestra que entre dos puntos (1 y 2) de un conducto ideal sin pérdidas dentro del cual circula aire, se considera como un fluido incompresible.

Del teorema de Bernoulli se desprende que la presión total es la suma algebraica de las presiones estática y dinámica:

$$PT = Pe + Pv$$

En la cual:

PT = Presión total, mm H₂O.

Pe = Presión estática, mm H₂O.

Pv = Presión de velocidad, mm H₂O.

Aun cuando es más riguroso y consistente expresar los términos de la ecuación de Bernoulli en términos energéticos (Joule), los ingenieros en ventilación industrial prefieren utilizar las unidades de presión (mm H₂O). Se escogió esta unidad porque las mediciones prácticas de cambios de presión se hacen con manómetros llenos de agua.

La presión total puede ser positiva o negativa con respecto a la presión atmosférica, y es una medida del contenido energético del aire, y siempre desciende a medida que el aire se mueve a lo largo de un conducto, sólo aumenta cuando pasa a través del ventilador. La presión estática en un conducto es igual en todas direcciones, mientras que en la presión de velocidad, una función de la velocidad varía a través de la sección transversal del conducto. La velocidad en el conducto es más alta en el centro y más baja en las paredes del conducto. Sin embargo, para una corriente gaseosa que fluye en un conducto largo, recto, la velocidad promedio se aproxima a la velocidad de la línea central. La presión de velocidad de una corriente gaseosa en un conducto es siempre

positiva, mientras que la presión estática es negativa antes del ventilador (succión) y positiva después del ventilador (impulsión). La presión estática es la presión utilizada para vencer la resistencia al flujo.

Las pérdidas por fricción caen dentro de varias categorías:

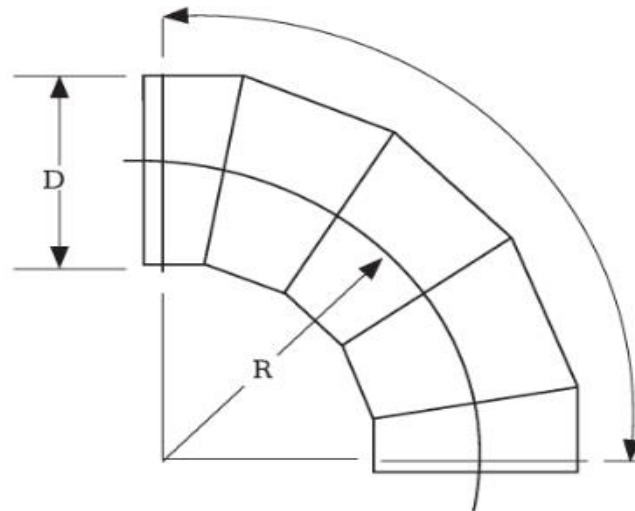
- Pérdidas a través de conductos rectos.
- Pérdidas a través de los accesorios de los conductos (codos y entradas, entre otros).
- Pérdidas en los equipos de control.
- Pérdidas en campanas.
- Pérdidas en ventiladores.
- Pérdidas en chimeneas.

2.1.2 Componentes del sistema de conductos. Un sistema de conductos consiste en conductos rectos, accesorios, dispositivos de control de caudal y soportes. El conducto recto o tramos de conducto se explica por sí mismo y es fácil de visualizar. La categoría “accesorios”; sin embargo, comprende una variedad de componentes que realizan una o más de las siguientes funciones:

- Cambian la dirección de la corriente de aire conducida.
- Modifican la velocidad de la corriente.
- Unen otro(s) conducto(s).
- Facilitan la conexión de dos o más componentes.
- Permiten la expansión/contracción cuando aparecen esfuerzos térmicos.

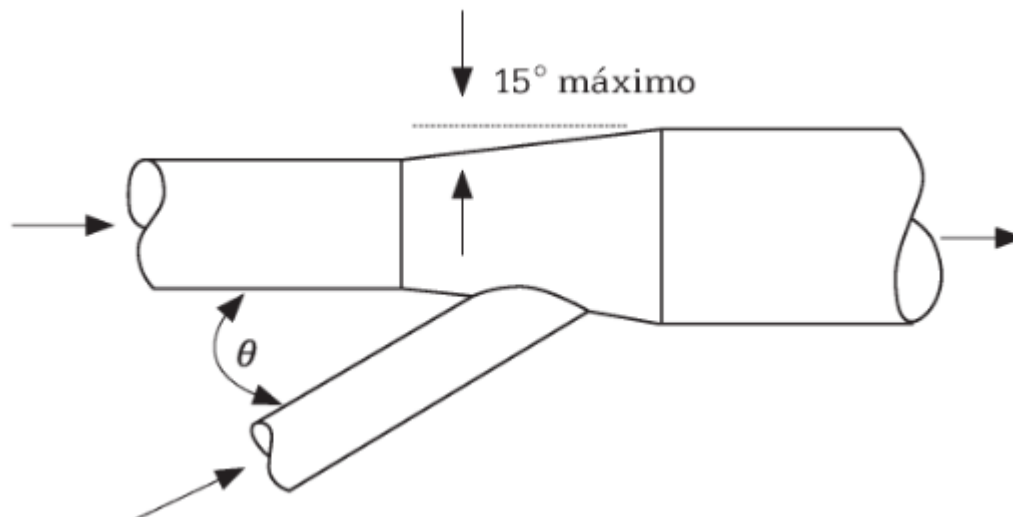
Los accesorios comúnmente utilizados son los codos. Estos sirven para cambiar la dirección de la corriente de aire, normalmente en 30°, 45°, 60° o 90°, aunque igual pueden diseñarse para otros ángulos. El radio a la línea central del codo determina la razón a la que ocurre este cambio de dirección. El radio de curvatura estándar es 1,5 veces el diámetro del codo.

Figura 4.
Codo de 90.



Las entradas (*yees*) son utilizadas cuando dos o más corrientes de aire deben conectarse. Las conexiones comúnmente se hacen a 30°, 45°, 60° o a algún otro ángulo.

Figura 5.
Entradas.



Las expansiones o contracciones se requieren siempre que deban unirse conductos de diferentes diámetros. Las contracciones pueden ser concéntricas o abruptas. En las contracciones

concéntricas, el diámetro se estrecha gradualmente desde la sección transversal mayor a la más pequeña. Sin embargo, en las contracciones abruptas, el diámetro disminuye inmediatamente.

Figura 6.

Expansiones.

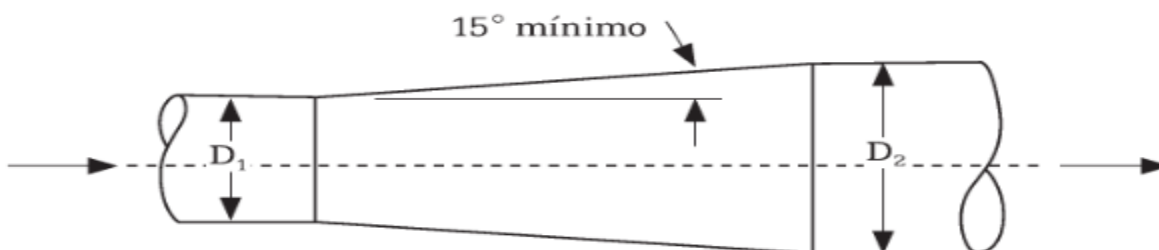
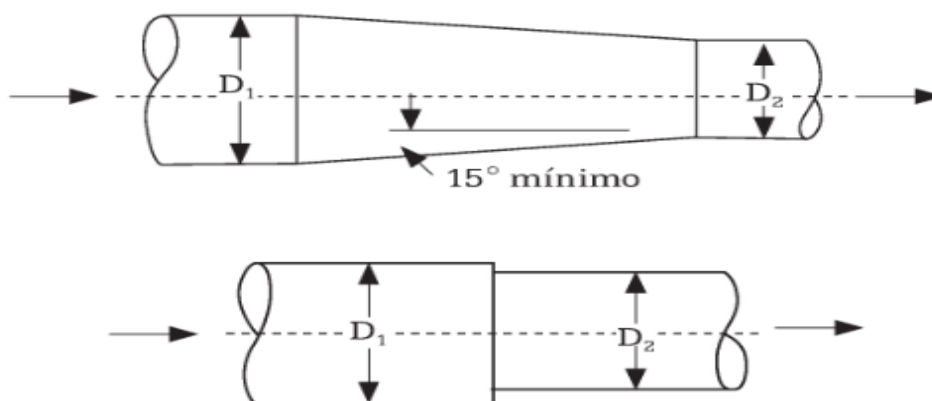
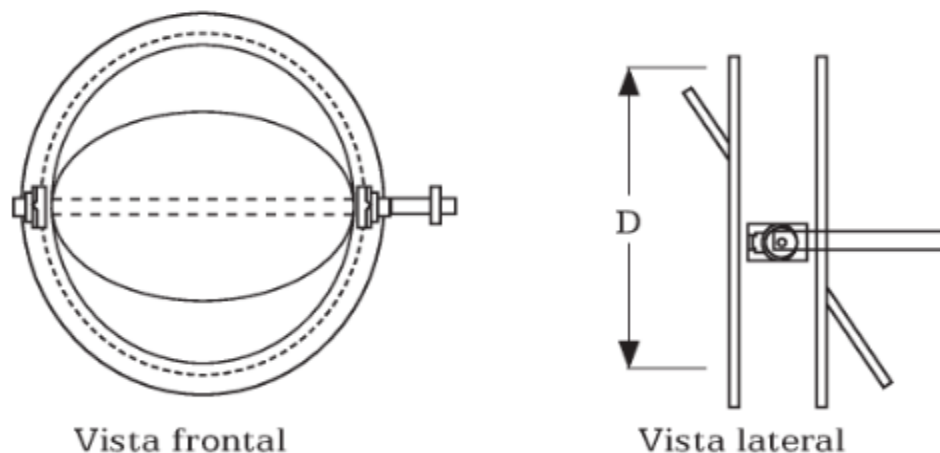


Figura 7.

Concentraciones concéntricas y abrupta.



Para controlar el caudal a través de sistemas de ventilación, se utilizan compuertas. La compuerta más utilizada es la del tipo mariposa, que consiste en un plato sujeto a una varilla que se gira para controlar la corriente gaseosa.

Figura 8.*Compuerta tipo mariposa.*

2.1.3 Procedimiento para el diseño de los conductos. De nuevo, las variables primarias para el diseño del tamaño del sistema de conductos son la longitud, el diámetro y el espesor de pared. La longitud necesaria del sistema de conductos depende de factores tales como la distancia de la fuente al dispositivo de control y el número requerido de cambios en la trayectoria. Sin tener un conocimiento específico de la distribución de la fuente, es imposible determinar la longitud exactamente. Como el caudal de aire (Q) es usualmente conocido, la variable clave es la velocidad de transporte en el conducto (V_t). Esta variable debe escogerse cuidadosamente. Si la V_t seleccionada es muy baja, el conducto estará sobredimensionado y, más importante, la velocidad no será suficientemente alta para conducir las partículas de la corriente de aire al equipo de control. Sin embargo, si V_t es muy alta, la presión estática será excesiva, como lo será el correspondiente consumo de energía del ventilador. El caudal de aire y la velocidad de transporte se relacionan a través de la ecuación de continuidad. O sea que, conocido el caudal de diseño, se reemplaza en la ecuación y resultan dos incógnitas: la velocidad de transporte y el área de la sección transversal. Es habitual que se elija la velocidad como parámetro de diseño, siguiendo ciertos criterios que se verán más adelante, para así obtener el área:

$$A = \frac{Q}{V_t}$$

En la cual:

A = Área de la sección transversal del conducto, m^2 .

Q = Caudal del aire, m^3/s .

V_t = Velocidad de transporte de la corriente de aire en el conducto, m/s .

En los sistemas de ventilación industrial se eligen conductos circulares, salvo razones de fuerza mayor, en lugar de conductos rectangulares, debido a que:

- Producen menores pérdidas por fricción, pues la sección circular es la que presenta menor perímetro para áreas iguales.
- Presentan mayor resistencia mecánica a la deformación cuando su presión interna es menor que la presión atmosférica.
- Tienen una distribución de velocidades más uniforme en su sección que la distribución correspondiente a conductos rectangulares, pues las velocidades en sus ángulos inferiores son prácticamente nulas. Así se logra transportar las partículas en suspensión hasta el equipo de control, evitando que se depositen en los conductos y los obstruyan, cuando la velocidad es seleccionada de manera adecuada.

Por lo tanto, para conductos circulares, la ecuación resulta ser:

$$\pi \frac{D^2}{4} = \frac{Q}{V_t}$$

En la cual:

D = Diámetro del conducto, m .

Q = Caudal del aire, m^3/s .

V_t = Velocidad de transporte de la corriente de aire en el conducto, m/s .

Despejando el diámetro resulta:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{V_t \pi}}$$

A partir de aquí, a no ser que se indique lo contrario, se considerará el empleo de conductos circulares en los casos que se analicen.

2.1.4 Velocidad de transporte. La velocidad de transporte depende de las características de los contaminantes captados en la campana. Generalmente varía entre 10 a 30 m/s . Una velocidad de transporte baja en el conducto será adecuada para corrientes gaseosas que contienen contaminantes gaseosos o partículas muy finas; mientras que una velocidad más alta será necesaria

para conducir una corriente gaseosa con una gran cantidad de partículas pesadas o húmedas. La selección de una velocidad dentro de un conducto depende de las características de los contaminantes captados en la campana de aspiración.

Figura 9.

Velocidades mínimas en el ducto.

<i>Contaminante</i>	<i>Ejemplo</i>	<i>V_t (m/s)</i>
Vapores, gases, humos de combustión	Todos los vapores, gases y humos	5-10
Humos de soldadura	Soldadura	10-13
Partículas muy finas y ligeras	Partículas de algodón, aserrín, talco	13-15
Partículas finas y secas	Partículas de caucho, baquelita, algodón, virutas (ligeras), detergente, cuero	15-20
Partículas industriales	Partículas de café, cuero, sílice, ladrillo, arcilla, fundiciones, caliza	18-20
Partículas pesadas	Partículas de viruta metálica, moldes de fundición, madera,	20-23
Partículas pesadas y húmedas	Partículas de cemento	> 23

Las velocidades de transporte en los conductos no deben superar los 30 m/s debido a que:

- Se incrementan las pérdidas por fricción, aumentando la potencia requerida para la circulación del aire.
- Se incrementa la acción abrasiva de las partículas, que depende de sus características, aumentando el desgaste de los conductos y sus accesorios, incrementando los gastos de mantenimiento del sistema de ventilación.
- Se incrementa el ruido producido por el aire y las partículas que éste transporta.
- Se incrementan las vibraciones de los conductos, obligando a una sujeción más costosa de estos.

En caso de tratarse de gases o vapores, estos se diluyen en el aire y la velocidad de diseño, que se obtiene a través de un cálculo económico, suele estimarse entre 5 y 10 m/s. Cuando la velocidad aumenta para un mismo caudal, disminuye la sección y se incrementan las pérdidas en los conductos, en tanto que disminuyen los costos de instalación por ser conductos de menor

tamaño. Cuando la velocidad disminuye, aumenta el área de la sección transversal del conducto, disminuyendo las caídas de presión y aumentando los costos de la instalación.

2.1.5 Caída de presión en el sistema de conductos. Las pérdidas de energía en los sistemas de ventilación debido a la fricción, son calculadas tradicionalmente como fracciones de la presión de velocidad. Técnicamente, las ecuaciones utilizadas para estimar las pérdidas se aplican solamente a aquellas regiones en el sistema de ventilación donde no hay cambios en la presión de velocidad, es decir, donde el diámetro del conducto es constante. Estas regiones incluyen conductos rectos, campanas y accesorios, tales como acoples y codos simples.

La pérdida por fricción de un sistema de conductos es una función compleja de varias variables: el diámetro y longitud del conducto, la velocidad de transporte y viscosidad y densidad del gas.

Para estimar la pérdida por fricción por cada 100 m (hf_{100}) a condiciones estándar para sistemas de conductos galvanizados redondos, se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$hf = 518,72 * \frac{V^{1,8}}{D^{1,18}} * d$$

hf = Pérdidas por fricción (mmH₂O).

V = Velocidad de transporte (m/s).

D = Diámetro del ducto (mm).

d = Distancia del ducto (m).

Para estimar las pérdidas por fricción para conductos de otros materiales, se debe multiplicar el valor por un factor de corrección por rugosidad.

Los conductos se construyen cuadrados, rectangulares y redondos principalmente. Para hallar el diámetro de un conducto de sección circular, equivalente a un conducto rectangular de lados A y B, que sea capaz de conducir el mismo caudal de aire, con la misma caída de presión; para se utiliza la expresión:

$$D = 1,265 * \sqrt[5]{\frac{A^3 * B^3}{A^3 + B^3}}$$

D = Diámetro (mm).

A = Lado (mm).

B = Lado (mm). (Echeverri Londoño, 2011, pp. 77-100)

2.2 Pérdidas localizadas en accesorios

Las pérdidas para accesorios también han sido compiladas con base en datos experimentales. Estas pérdidas se deben a las turbulencias producidas por cambios de dirección (codos) y los cambios de sección (contracciones o expansiones de los conductos, transición de conductos circulares a rectangulares y viceversa). Para su cálculo se pueden emplear dos metodologías:

2.2.1 Coeficientes de pérdidas por fricción. Es costumbre expresar las pérdidas por fricción (h_f) en accesorios en términos de presión de velocidad:

$$h_f = nP_v$$

En la cual:

h_f = Pérdidas por fricción, mm H₂O.

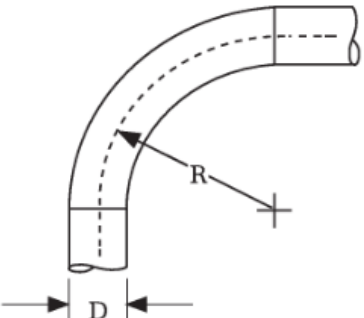
n = Coeficiente de pérdidas por fricción.

P_v = Presión de velocidad de la corriente de aire, mm H₂O.

El accesorio de mayor interés son los codos de 90° , que son indiscutiblemente el accesorio más utilizado en sistemas de control de la contaminación del aire. Los valores de los coeficientes de pérdida por fricción para codos varían de acuerdo con el diámetro y con el radio de curvatura (R).

Figura 10.

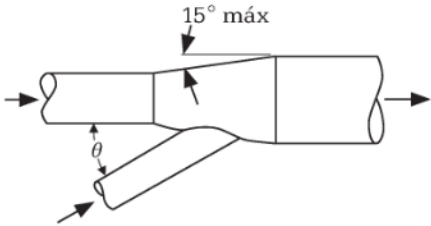
Coeficiente de pérdida por fricción, codos de 90°.

Accesorio	Radio de curvatura	n
	0.50 D	0.80
	1.00 D	0.52
	1.25 D	0.43
	1.50 D	0.39
	1.75 D	0.32
	2.00 D	0.27
	2.25 D	0.26
	2.50 D	0.22
	2.75 D	0.26

Otro accesorio de importancia en los sistemas de control de la contaminación del aire son las entradas (yees).

Figura 11.

Coeficiente de pérdida por fricción para entradas yees.

Accesorio	Ángulo (θ)	n
	10	0.06
	15	0.09
	20	0.12
	25	0.15
	30	0.18
	35	0.21
	40	0.25
	45	0.28
	50	0.32
	60	0.44
	90	1.00

Las pérdidas por fricción en las entradas se le atribuyen solamente al conducto lateral, que luego de la unión, cambia de dirección. Estas pérdidas también incluyen las producidas por el cambio de sección transversal entre los conductos que llegan a la entrada y el conducto que sale de ésta.

Cuando los dos conductos que llegan a la entrada cambian ambos de dirección, se considera una caída de presión debida a la entrada para cada uno de ellos. El ángulo, a partir del cual se obtiene el coeficiente de pérdidas por fricción, se calcula como el ángulo que forma el conducto que empalma con la prolongación, hacia atrás, del eje del conducto que sale de la entrada. En el diseño del trazado de los conductos se considera adecuado adoptar un valor de $n = 0.18$, que corresponde a una entrada de 30° , salvo que las necesidades impuestas por el proyecto indiquen la conveniencia de adoptar otros valores de ángulos para las entradas. (Echeverri Londoño, 2011, pp. 100-104)

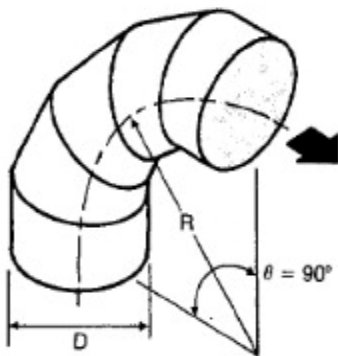
Hay dos tipos de codos: los lisos, que son los que son producidos en fábricas, y los constructivos, que son los compuestos por diferentes partes para poder tener el codo deseado. Este tipo de codo tiene su propio coeficiente de pérdidas por fricción.

Generalmente, estos codos de 90° son confeccionados artesanalmente, ya que dependen de la necesidad del proyecto. Es necesario mencionar que estos codos son de los accesorios más caros de confeccionar por su dificultad.

Figura 12.

Coeficiente de pérdida por fricción, codo de 90° por partes.

B. Elbow, Round, 3 to 5 pc — 90° (2)



No. of Pieces	Coefficient C				
	R/D				
	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
5	—	0.46	0.33	0.24	0.19
4	—	0.50	0.37	0.27	0.24
3	0.98	0.54	0.42	0.34	0.33

Fuente: SMACNA (2012).

2.3 Principios de diseño para los sistemas de ventilación

Figura 13.

Principios de diseño para los sistemas de ventilación.

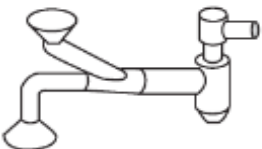







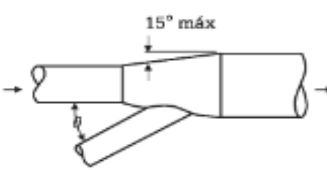
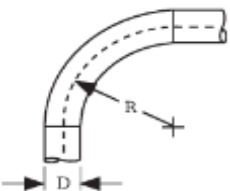
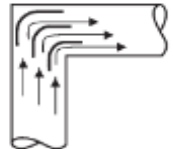



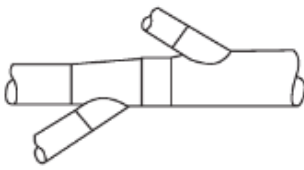
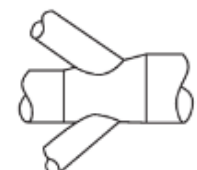
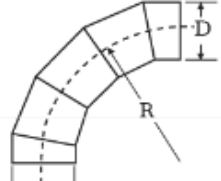
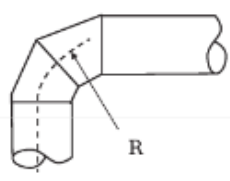
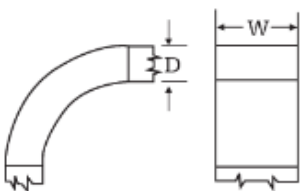
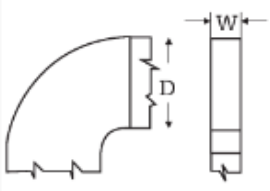
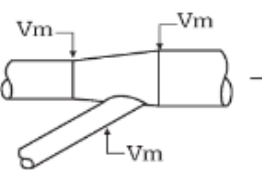
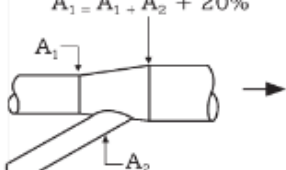
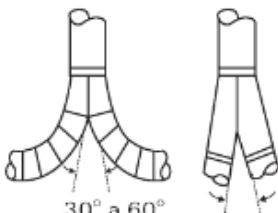
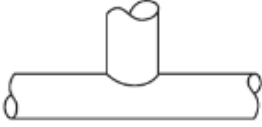
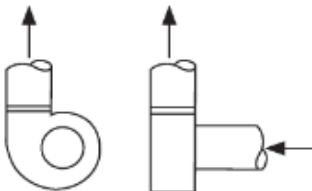
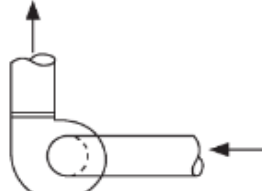
<i>Principio</i>	<i>Correcto (Menos resistencia)</i>	<i>Incorrecto (Más resistencia)</i>
Racionalizar el sistema tanto como sea posible para reducir al mínimo las turbulencias y la resistencia.		
Los conductos lisos y rígidos proporcionan menos resistencia que los conductos corrugados y flexibles.		
Los conductos cortos ofrecen una menor resistencia que los conductos largos.		
Trazos rectos ofrecen menor resistencia que trazos con cambios de dirección.		
Los ramales deben entrar en las expansiones en un ángulo de 30° o menor preferiblemente. En caso necesario, se aceptan ángulos hasta de 45°. Los ramales no deben entrar directamente opuestos el uno al otro.		
Los codos con un radio de curvatura amplio ofrecen una menor resistencia que las curvas abruptas.		
Los conductos con diámetros grandes ofrecen una menor resistencia que los conductos con diámetros pequeños.		
Los conductos redondos ofrecen una menor resistencia que los conductos cuadrados.		

Figura 14.

Principios de diseño para los sistemas de ventilación.

<i>Principio</i>	<i>Correcto (menos resistencia)</i>	<i>Incorrecto (más resistencia)</i>
Los ramales no deben entrar directamente opuestos el uno al otro.		
Los codos deben tener un radio de curvatura desde la línea del centro igual a 2 o 2.5 veces el diámetro.		
Se debe mantener una relación W/D alta cuando se usan conductos rectangulares.		
El diámetro del conducto se debe calcular para que proporcione la velocidad de transporte seleccionada o mayor que esta.		$A_1 = A_1 - A_2 + 20\%$ 
Los ramales deben entrar en un ángulo de 30° o menor preferiblemente. En caso necesario, se aceptan ángulos hasta de 45° .		
La entrada al ventilador preferiblemente debe ser recta.		

2.3.1 Balanceo de conductos en un sistema de ventilación. Desde el punto de vista neumático, el balance de conductos en un sistema de ventilación requiere la determinación de:

- El caudal de aire que entra a cada campana.
- Las caídas de presión en cada campana.
- El caudal en cada tramo de conducto.
- La velocidad de transporte en cada tramo de conducto.
- El caudal de aire que manejará el ventilador.
- La presión estática a la entrada y salida del ventilador.

A menos que el diseñador pueda calcular estos valores con razonable precisión, no hay seguridad de que un sistema de conductos determinado llene exactamente los requisitos, ni se puede predecir que los requisitos de potencia del sistema estén dentro de los límites de precisión esperados en ingeniería. La siguiente es la secuencia de diseño más común:

- Elaborar un plano de la distribución en planta, preferiblemente a escala, de los sectores de trabajo, de los equipos que requieren la extracción y sus dimensiones.
- Elaborar un esquema del sistema de conductos, incluyendo las dimensiones en planta y en elevación, la ubicación del equipo de control y del ventilador, etc. Se debe identificar cada tramo de los ramales (conductos secundarios) y el conducto principal con números y/o letras.
- Determinar, a partir del esquema del trazado de la red de conductos, la longitud de cada tramo recto y el número y tipo de codos y uniones necesarios, así como de los equipos necesarios.
- Diseñar las campanas de captación de acuerdo con la operación a controlar y calcular el caudal de diseño.
- Seleccionar la velocidad de transporte mínima necesaria para cada sección del sistema, dependiendo de la naturaleza del material que será transportado por ellas.
- Estudiar los planos, bosquejos y la distribución del sistema de conductos y verificar que no haya factores externos (operación, accesibilidad, estructuras de soporte disponibles o condiciones del lugar) que obliguen a otra disposición.
- Localizar las campanas en forma que los tramos de los conductos sean tan cortos como sea posible y que los ramales de menor diámetro y con pérdidas de fricción más altas puedan

entrar al conducto principal cerca de la entrada del ventilador, con la mínima distancia desde la campana hasta el conducto principal.

Hasta aquí no se necesita hacer cálculos de pérdidas por fricción y todos los valores son aproximados. Los bosquejos no necesitan ser precisos, ya que el propósito de esta parte es llegar tan rápido como sea posible a una etapa donde se pueda aplicar un amplio juicio general. Luego se debe:

- Inspeccionar el bosquejo del sistema de conductos para ver si los ramales que se originan a alguna distancia del conducto principal deberían unirse con otros, formando conductos secundarios para reducir la fricción; si la distribución debería cambiarse para economizar en el tamaño de los conductos; si detalles del edificio, la maquinaria u otras obstrucciones interfieren con los tramos de los conductos cuyos tamaños son ahora conocidos en forma aproximada y llegar a una distribución final más adecuada.
- Dibujar el esquema de conductos seleccionado finalmente, dejando suficiente espacio para notas sobre caudales, velocidades y otros datos.
- Calcular las pérdidas de presión, caudales, velocidades de transporte y diámetros de los conductos.
- Revisar todos los cálculos.
- Preparar los dibujos definitivos y un listado de materiales.

Los cálculos empiezan en el extremo de la entrada del ramal más alejado del ventilador y continúan paso a paso a través del conducto principal y los restantes ramales hasta llegar al ventilador. Los cálculos son progresivos y los valores acumulativos.

En un sistema de ventilación industrial en funcionamiento, para todos los tramos que comienzan en distintas campanas y terminan en una misma entrada, la caída de presión estática siempre deberá ser la misma. O sea, en la práctica siempre se produce lo que se denomina “equilibrio o balance de la presión estática en cada entrada”, que determina que el caudal total de aire succionado por el ventilador se distribuya de forma automática entre los diferentes tramos, de acuerdo con la resistencia que presenta cada uno de ellos.

Las pérdidas de presión, que se producen al circular el aire a través de una campana y por el conducto conectado a ella, hasta la entrada correspondiente, se clasifican en tres tipos:

- Pérdidas por fricción en tramos rectos de conductos.

- Pérdidas localizadas en accesorios o particularidades.
- Pérdidas por la entrada.

La suma de estas pérdidas, que se expresa en mm H₂O, constituye la presión estática total del tramo considerado.

La longitud equivalente es —como dice su nombre— una equivalencia de los accesorios. La finalidad de este método es buscar la equivalencia de cada accesorio y representarlo como un ducto recto para realizar los cálculos.

Cuando se desea calcular un sistema de ventilación industrial por el método de longitud equivalente, los pasos a seguir son:

1. Determinar la distribución de la red de conductos.
2. Elegir el ramal que, por sus características, tales como caudal a conducir, longitud, y cantidad y tipo de accesorios, se considera que producirá la pérdida de presión mayor (ramal principal). En caso de que la elección no sea la correcta, puede ocurrir que haya que realizar más pasos hasta lograr el equilibrio estático del sistema.
3. Calcular los diámetros de los conductos para que cumplan con las necesidades del proyecto, teniendo como datos el caudal mínimo de aire a succionar por la campana conectada a dicho ramal y la velocidad mínima dentro del conducto, que se selecciona de acuerdo con el tipo del contaminante a transportar. Si el diámetro obtenido no corresponde a un diámetro comercial, entonces se elige el diámetro comercial de menor magnitud más cercano para el caso en que el contaminante succionado sean partículas. Para el caso de gases o vapores, se puede seleccionar el diámetro comercial de mayor o de menor magnitud; esta selección debe estar basada en criterios de mayor economía del proyecto. Con este nuevo diámetro se recalcula la velocidad real de transporte.
4. Se determinan las pérdidas por fricción, las pérdidas en accesorios y las pérdidas a la entrada de la campana. La presión estática total o caída de presión total del ramal se obtiene sumando las pérdidas anteriores.
5. Se repite el cálculo para el ramal que concurre a la misma entrada que el ramal anterior y se determina su presión estática.
6. Se comparan las presiones estáticas de ambos ramales. Si las pérdidas de presión resultan equilibradas, es decir, son iguales entre sí, se adoptan las características de los conductos previamente calculados.

7. En caso contrario, la presión estática total del tramo con menor valor se denomina presión estática variable y deberá ser aumentada hasta lograr igualarla con la presión estática fija o que gobierna (ramal principal o ramal con las mayores pérdidas). Para ello se deben variar las características de los conductos, manteniendo o aumentando los caudales, o disminuyendo el diámetro del conducto, hasta lograr el equilibrio buscado.
8. A continuación, la entrada considerada se conecta al tramo denominado tronco. El caudal que circula por el conducto troncal es la suma de los caudales que circulan por cada uno de los conductos que concurren a la entrada; a partir de este dato, las dimensiones y la caída de presión se calculan siguiendo los mismos pasos anteriores. El cálculo de la caída de presión se realiza sumando las pérdidas por fricción y las pérdidas en los accesorios del tronco, ya que, al no estar conectado a una campana, no existen las pérdidas a la entrada. Pero, además, se debe tener en cuenta la caída de presión producida cuando sea necesaria una aceleración de la corriente de aire en el tronco.
9. Se continúa con el diseño, avanzando de entrada en entrada hasta llegar a la última entrada. En cada entrada se deben satisfacer las condiciones de equilibrio, comenzando por el tramo bajo estudio siempre en una campana.

2.4 Selección de ventilador

Para mover el aire a través de un sistema de ventilación exhaustiva, es necesario suministrar energía para vencer las pérdidas de presión del sistema. En la gran mayoría de los casos, el suministro de energía proviene de máquinas denominadas ventiladores.

Su funcionamiento se basa en el suministro de energía mecánica al aire a través de un rotor que gira a alta velocidad y que incrementa la energía cinética del aire, que luego se transforma parcialmente en presión estática. Los ventiladores se dividen en dos grandes grupos: los ventiladores axiales y los ventiladores centrífugos

Los ventiladores axiales transmiten la energía al aire por medio de un movimiento de giro en remolino provocado por el rotor. En este tipo de ventiladores, el movimiento del aire a través del rotor se realiza conservando la dirección del eje de éste.

Los ventiladores axiales se usan para mover grandes cantidades de aire en espacios abiertos. Tienen una eficiencia mecánica alta, que puede llegar hasta el 95%, pero no puede vencer caídas de presión muy elevadas (entre 5 y 25 mm H₂O). Debido a esto, la principal aplicación de

los ventiladores axiales se encuentra en el campo de la ventilación general y se les conoce con el nombre de extractores o inyectores de aire.

Los ventiladores centrífugos se refieren a la forma en la cual comunica el ventilador la energía a la corriente de aire. El aire entra en el ventilador a través de una abertura concéntrica con el eje de una pieza que gira a gran velocidad, llamado rotor. El rotor está provisto de álabes adheridos a este. El aire circula entre los álabes hacia el exterior a causa de la fuerza centrífuga y abandona el rotor con una velocidad mayor que en la entrada. El aire de salida se recoge en una carcasa en espiral, llamada voluta, y sale del ventilador a través de una conducción tangencial a la voluta, provocando que sea más sencillo pasar por las pérdidas de presión.

La selección de un ventilador consiste en elegir aquel que satisfaga los requisitos de caudal y presión con que debe circular el aire, para la temperatura de operación y la altitud de la instalación. Además, se debe determinar su tamaño, el número de revoluciones a las que debe girar el rotor, la potencia que debe ser entregada a su eje, el rendimiento con el que funciona, la disposición de la transmisión, el ruido generado, etc.

Los ventiladores están determinados por el caudal y la presión. Como resultado final del cálculo de un sistema de ventilación, se obtiene el caudal total a extraer que circula por este y la presión requerida por el sistema. La presión se puede indicar como la presión estática del ventilador y representa las pérdidas del sistema:

$$P_{e \text{ ventilador}} = P_{e \text{ salida}} - P_{e \text{ entrada}} - P_{v \text{ entrada}}$$

Donde:

$P_{e \text{ salida}}$ = Presión estática a la salida del ventilador, mm H₂O.

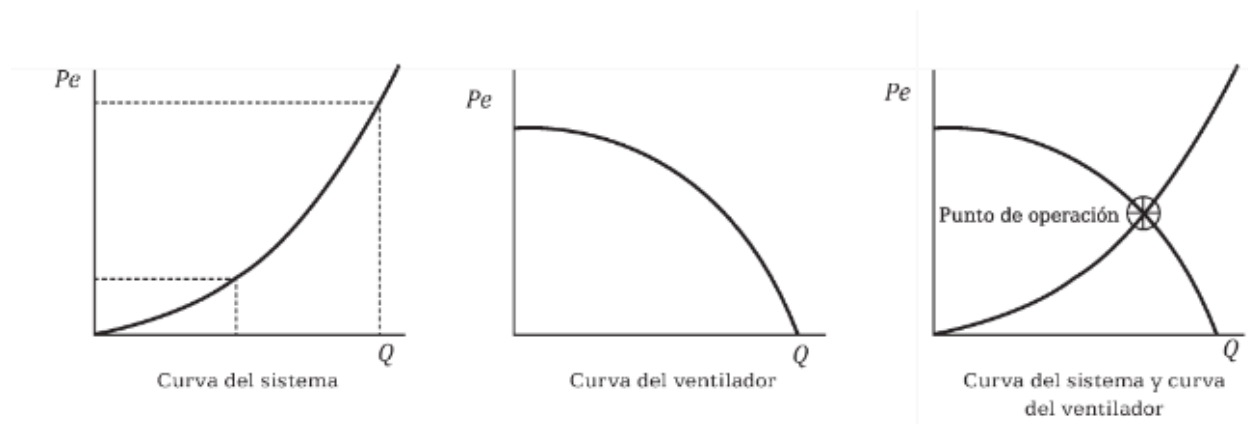
$P_{e \text{ entrada}}$ = Presión estática a la entrada del ventilador, mm H₂O.

$P_{v \text{ entrada}}$ = Presión de velocidad a la entrada del ventilador, mm H₂O.

El conocimiento de las curvas características del sistema de ventilación y del ventilador ayudan a visualizar cómo se selecciona un ventilador. La curva característica del sistema de ventilación es la representación gráfica de la presión requerida en función del caudal que circula por dicho sistema, las curvas características del sistema de ventilación y el ventilador. Para desarrollar la curva del sistema de ventilación, el ventilador se hace girar a diferentes velocidades y se grafica el caudal y los valores absolutos de la presión estática. A medida que se aumenta la velocidad del ventilador, aumentan el caudal y la presión estática.

Figura 15.

Curva característica de un sistema de ventilación.



Se debe escoger el ventilador que tenga una velocidad de rotación que caiga en el punto de operación del sistema de ventilación, para que proporcione el caudal y la presión estática necesarios. Algunos fabricantes dan a conocer el funcionamiento de los ventiladores mediante sus curvas características. También los fabricantes suelen presentar la información referida a los ventiladores, mediante una serie de tablas en las que se indican el tamaño de éstos, el caudal y la presión requerida por el sistema, y a partir de estos datos se obtienen la velocidad de rotación y la potencia consumida. (Echeverri Londoño, 2011, pp. 111-138)

2.5 Selección de componentes de potencia y control para la ventilación

Figura 16.

Selección de conductor.

Tabla 310.15(B)(16) (antes Tabla 310.16) Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60° C a 90° C (140° F a 194° F). No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (enterrados directamente), basadas en una temperatura ambiente de 30° C (86° F)°.

Calibre AWG o kcmil	Temperatura nominal del conductor [Ver Tabla 310.104(A).]						Calibre AWG o kcmil
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	
	Tipos RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW			Tipos TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2		Tipos TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
Tipos TW, UF	Tipos RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	Tipos TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	Tipos TW, UF	Tipos RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE	Tipos TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2		
	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			
18**	—	—	14	—	—	—	—
16**	—	—	18	—	—	—	—
14**	15	20	25	—	—	—	—
12**	20	25	30	15	20	25	12**
10**	30	35	40	25	30	35	10**
8	40	50	55	35	40	45	8
6	55	65	75	40	50	55	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	115	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	145	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	195	230	260	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500
600	350	420	475	285	340	385	600
700	385	460	520	315	375	425	700
750	400	475	535	320	385	435	750
800	410	490	555	330	395	445	800
900	435	520	585	355	425	480	900
1000	455	545	615	375	445	500	1000
1250	495	590	665	405	485	545	1250
1500	525	625	705	435	520	585	1500
1750	545	650	735	455	545	615	1750
2000	555	665	750	470	560	630	2000

Figura 17.

Selección de corriente para motores monofásicos.

Tabla 430.248 Corrientes de plena carga en amperes para motores monofásicos de corriente alterna
 Los siguientes valores de corriente de plena carga corresponden a motores que funcionan a la velocidad usual y motores con características normales de par. Las tensiones enumeradas son las nominales de los motores. Las corrientes enumeradas debe permitirse para sistemas con intervalos de tensión de 110 a 120 volts y de 220 a 240 volts

Caballos de fuerza	115 Volts	200 Volts	208 Volts	230 Volts
$\frac{1}{6}$	4.4	2.5	2.4	2.2
$\frac{1}{4}$	5.8	3.3	3.2	2.9
$\frac{1}{3}$	7.2	4.1	4.0	3.6
$\frac{1}{2}$	9.8	5.6	5.4	4.9
$\frac{3}{4}$	13.8	7.9	7.6	6.9
1	16	9.2	8.8	8.0
$1\frac{1}{2}$	20	11.5	11.0	10
2	24	13.8	13.2	12
3	34	19.6	18.7	17
5	56	32.2	30.8	28
$7\frac{1}{2}$	80	46.0	44.0	40
10	100	57.5	55.0	50

240.6 Valores en amperes nominales normalizados.

(A) Fusibles e ruptores de circuito de disparo fijo. Los valores en amperes nominales normalizados de los fusibles e interruptor automático de tiempo inverso son: 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000 y 6000 amperes. Los valores en amperes nominales normalizadas adicionales para fusibles deben ser de 1, 3, 6, 10 y 601. Debe permitirse el uso de fusibles y ruptores de circuito de tiempo inverso con valores nominales en amperes no normalizadas.

(B) Interruptor automático de disparo ajustable. La capacidad nominal de corriente de los interruptores automático de disparo ajustable que tengan medios externos para regular el ajuste de la corriente (ajuste de tiempo largo) que no cumplan los requisitos de la sección 240.6(C), debe ser el valor máximo posible de ajuste.

(C) Interruptor automático de disparo ajustable y acceso restringido. Debe permitirse que un interruptor automático que tiene acceso restringido al medio de ajuste tenga uno(s) valor(es) nominal(es) en amperes que sea(n) igual(es) a la posición de corriente ajustada (ajuste de tiempo largo). (NEC, 2014, p. 100)

3. Ingeniería de costos

La ingeniería de costos genera las estimaciones de todo aquello que fundamente la formulación de presupuestos mediante procesos de análisis y toma de decisiones, siendo sus componentes básicos las funciones administrativas de planeación y el control. Esta disciplina permite a ingenieros, auditores, supervisores y administradores de proyectos, contar con los criterios para la realización de análisis económico-financieros que expongan la factibilidad y rentabilidad de un proyecto o negocio. Por ello, se considera oportuno ofrecer un espacio de exposición y análisis acerca de las áreas de conocimiento que integran el quehacer de esta área, considerada ésta la principal finalidad de la presente obra. (Alvarado Verdín, 2016, p. 4)

3.1 Objetivos

Los objetivos constituyen el propósito de la planeación y definen los fines de la integración del personal, la dirección y el control. De acuerdo con la estructura empresarial, los objetivos se clasifican en:

- ◆ Operativos o verificables. Son aquellos que en su argumento exponen un resultado concreto que desea obtenerse en un plazo determinado.
- ◆ Genéricos o no verificables. Son aquellos en cuyo argumento exponen una serie de hechos o actividades que se pretende desarrollar en un plazo determinado.

En términos generales, el argumento de los objetivos debe contener lo siguiente:

1. Atributo. Indica la acción, intención o compromiso de la empresa.
2. Plazo. Fecha o periodo en el cual debe generarse el resultado o cumplimiento del compromiso.

De manera adicional, en el caso de los objetivos operativos o verificables debe incluirse:

3. Meta. Indicador o elemento que permite cuantificar el resultado deseado.
4. Índice. Unidad con que se mide la meta.

Asimismo, los objetivos, ya sean operativos o genéricos, deben cumplir con la condición SMART (por sus siglas en inglés de: *Specific* [Específico], *Measurable* [Medible], *Achievable* [Alcanzable], *Relevant* [Retador] y *Timely* [a tiempo]), en atención a lo siguiente:

- ◆ Específicos. Deben establecer con claridad el resultado o la condición deseada.

- ◆ Medibles. Deben incluir, dentro de lo posible, un indicador o elemento que permita medir y evaluar el progreso en el cumplimiento del objetivo.
- ◆ Alcanzables. Su propuesta debe ser acorde con las condiciones preexistentes de la empresa y su entorno.
- ◆ Retadores. Deben proponer una condición motivante y de compromiso a los responsables, así como de trascendencia en lo referente a sus actividades.
- ◆ Tiempo. Deben establecer el plazo o la fecha de término del compromiso o resultado. De acuerdo con sus alcances, los objetivos se clasifican en tres tipos: estratégicos, tácticos y operacionales.

Figura 18.

Alcance y objetivos según el tiempo.

Tipo	Descripción	Ejemplo
Estratégicos	Indican los resultados que debe lograr la empresa como entidad total.	Elevar en dos años el nivel de ventas de la empresa en 30%.
Tácticos o funcionales	Señalan los resultados que han de alcanzar, en forma específica, las áreas o unidades de la empresa.	Para el área de producción: Disminuir el nivel de productos rechazados, por el sistema de control de calidad, a razón de 5% semestral.
Operacionales	Refieren los resultados que habrán de lograr las áreas operativas de la empresa, tales como unidades o departamentos.	Para el departamento de ventas: Elevar las ventas en 10 000 unidades del producto A durante el segundo trimestre del año en la zona occidente.

Fuente: Alvarado Verdín (2016, pp. 19-21)

3.2 Organización del proceso de control

La realización del proceso de control es particularmente difícil, ya que a través de éste se da seguimiento a todas las actividades empresariales. Por tanto, dicho proceso debe llevarse a cabo mediante puntos de control, los cuales constituyen actividades que, por su importancia estratégica, se distinguen para constituirse en los puntos de observación y medición durante el desarrollo de las operaciones.

El proceso de control se compone de tres pasos, los cuales se describen a continuación.

1. Definición de los estándares. La mayoría de las actividades empresariales pueden expresarse en términos mensurables y tangibles, por lo que es necesario determinar los patrones o unidades mediante los cuales se analizarán los resultados de las operaciones, que se denominan estándares. Éstos pueden ser de diversos tipos, no obstante, todos deben facilitar, tanto en términos cuantitativos como cualitativos, la evaluación o verificación de los resultados obtenidos durante el desarrollo de las actividades. A pesar de la diversidad de estándares es posible distinguir cuatro tipos fundamentales: de cantidad, de calidad, de costo y de tiempo; por ejemplo, el nivel de ventas esperado, el volumen de producción, el tiempo de respuesta y los costos estimados. Sin embargo, puede darse el caso de que alguna actividad no pueda establecerse en términos cuantificables, lo que motiva a definir y emplear medidas subjetivas, que ciertamente tienen serias limitaciones. No obstante, son mejores que no tener ninguna norma que conlleve a ignorar la función de control.
2. Medición. Para determinar el desempeño de cualquier proceso, se requiere contar con información acerca de cómo se desarrollan, por lo que es necesario estructurar procedimientos y métodos de medición. La información o los resultados obtenidos de los procesos de medición, al ser cotejados contra los estándares establecidos, permiten definir la condición que guarda la actividad con su desempeño ideal o esperado. Cabe señalar que existen diversos métodos para obtener información confiable con fines de medición, los cuales pueden combinarse. Entre dichos métodos destacan los siguientes:
 - ◆ Observación personal. Ofrece conocimientos y juicios de primera mano acerca de la actividad. Su condición subjetiva la sujeta a puntos de vista personales, además de que también consume mucho tiempo, lo que limita su grado de confiabilidad.
 - ◆ Informes estadísticos. En la actualidad, a los informes estadísticos se les relaciona con el uso de sistemas informáticos, los cuales facilitan la recopilación, organización, análisis, interpretación y presentación de información de manera adecuada para la organización. En consecuencia, el uso de estos informes es efectivos para agilizar el proceso de toma de decisiones con respecto a una determinada actividad. El proceso de comparar los resultados de los procesos contra una norma o estándar consiste en determinar su nivel de desempeño o cumplimiento; así, de presentarse alguna diferencia a ésta se le denomina desviación o variación. Bajo condiciones de operación normales deben esperarse ciertos

niveles de variación en las actividades, por lo que es fundamental establecer los rangos de variación aceptables. Las desviaciones que excedan el rango permisible requieren de acciones correctivas, a fin de no afectar el logro de objetivos. Sin embargo, puede darse el caso de encontrar desviaciones positivas, es decir, que las mediciones muestren desempeños superiores a los estándares, los cuales deben ser analizados con detalle a efecto de determinar si la desviación positiva fue efecto de un desempeño extraordinario no previsto o del resultado de imprecisiones e inexactitudes en la norma o en el proceso de medición.

3. Acciones correctivas. Siempre hay que tener presente que el propósito del control es mantener la actividad organizacional dentro de parámetros de tolerancia predefinidos, con el fin de evitar el desvío de las operaciones de los objetivos vigentes. Por tanto, en caso de existir desviaciones, los responsables deberán llevar a cabo una combinación de las siguientes acciones correctivas:

- ◆ Corrección del desempeño actual. Consiste en determinar cómo y por qué la actividad ha sufrido desviación, además de proponer la acción correctiva inmediata para reencausar la actividad a condiciones de desempeño correctas.
- ◆ Revisión del estándar. Cabe la posibilidad de que la variación tenga origen en un estándar no realista. En tales casos, el estándar requiere revisión, adecuación, actualización o adopción de otro.
- ◆ No hacer nada. El proceso de control presume la definición y adopción de estándares contra los cuales han de evaluarse las actividades. Debe recordarse que los objetivos son, por definición, tangibles, verificables y, por ende, medibles.

3.3 Presupuesto

Los presupuestos se manifiestan como la herramienta tradicional utilizada en el proceso de control, ya que permiten transformar las acciones previstas en la planeación en términos monetarios, pudiéndose emplear con diversos fines, entre los que se encuentran:

- ◆ Facilitar la asignación de responsabilidades, así como la coordinación de las actividades de la empresa, mediante un criterio común para medirlas y controlarlas.
- ◆ Facilitar la definición de las necesidades y del flujo de los recursos financieros.
- ◆ Facilitar el análisis y la distribución de los recursos de acuerdo con las prioridades.

- ◆ Permitir la evaluación de la relación beneficio-costos de las diferentes acciones contempladas en la planeación.

En términos generales, el presupuesto como herramienta, es una técnica de planeación y predeterminación de cifras sobre bases estadísticas y de apreciación para obtener una estimación programada y sistemática de las condiciones de operación y de los resultados que espera una organización en un periodo determinado.

El presupuesto es de gran importancia debido a que cumple diversos objetivos, tales como:

- ◆ Previsión. Se refiere a disponer, por anticipado, de todo lo conveniente para atender en tiempo las necesidades de las operaciones definidas en la planeación. Sin embargo, la obtención de resultados depende de la información que se posee en el momento de efectuar las estimaciones que estructuran los presupuestos.
- ◆ Organización. Luego de establecer los objetivos generales de la organización, es posible precisar los objetivos departamentales que indican las metas que se pretende lograr en relación con las ventas, producción, compras, finanzas y personal, entre otros, dando origen a tantos presupuestos como departamentos funcionales existan. La elaboración de los presupuestos para cada unidad, permite apreciar si cada uno de éstos cumple con las funciones establecidas, por lo que el presupuesto constituye uno de los elementos que facilitan la auditoría de funciones. En consecuencia, el presupuesto simplifica el ajuste o la modificación de la estructura de la entidad, en caso necesario, para que la organización opere bajo las mejores condiciones posibles.
- ◆ Coordinación e integración. Permite pronosticar las condiciones acerca de la disposición de los recursos de la organización, lo que facilita conocer por anticipado las situaciones de desequilibrio entre las diferentes secciones que integran la organización, condición que permite desarrollar los planes de contingencia que garantizan la continuidad en la operación coordinada de todas y cada una de las secciones organizacionales, de acuerdo con los objetivos de la entidad.
- ◆ Dirección. El presupuesto facilita el desarrollo de políticas que apoyan la toma de decisiones, considerando que ofrece una visión integral acerca de las condiciones de operación de la organización.

3.4 Modalidades de evaluación de proyectos

La evaluación de un proyecto consiste en dos procesos principales:

1. Evaluación técnica. Se refiere a la revisión de la propuesta sobre los recursos materiales y de operación del proyecto, con el propósito de constatar que cumplan con las normas y especificaciones definidas en los estudios técnico y administrativo, a fin de aprobar aquellas alternativas que cumplan con estas.
2. Evaluación económica. Se refiere al análisis de los aspectos económicos y financieros de las alternativas aprobadas técnicamente, a efecto de generar información objetiva que apoye el proceso de toma de decisiones sobre la alternativa más viable.

La evaluación económica puede realizarse bajo diferentes modalidades, por lo que debe definirse bajo cuál de ellas ha de realizarse la evaluación luego de considerar la naturaleza y el propósito del proyecto, así como de la perspectiva del entorno político, económico, social y tecnológico. (Alvarado Verdín, 2016, pp. 27-30)

3.5 Métodos de evaluación de proyectos

A los métodos de evaluación de proyectos se les conoce como criterios o evaluación dinámicos, ya que se basan en el impacto del cambio de valor del dinero en el tiempo sobre las inversiones que se pretende realizar. Cada método de evaluación genera un parámetro cuyos valores permiten determinar la viabilidad de la alternativa en análisis de manera clara y objetiva.

3.5.1 Relación beneficio-costo (B/C). La relación expone una razón que indica en qué proporción los beneficios son más grandes que los costos. De manera general, la razón beneficio-costo se expresa como:

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{beneficios} - \text{desbeneficios}}{\text{costos}}$$

El concepto de la relación propone que, por beneficios, deben considerarse todos los conceptos que proporcionan una ventaja económica al promotor del proyecto, como utilidades y reembolsos, mientras que los desbeneficios son los conceptos que ofrecen una desventaja o impacto económico, como las multas o los pagos por deducibles, en tanto que los costos están representados por la inversión inicial (E0). De manera práctica, la relación beneficio-costo puede reexpresarse, en

cuanto a la diferencia entre los beneficios y los desbeneficios, de la siguiente manera:

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{beneficios} - [\text{desbeneficios} + \text{CAO} + \text{depreciación} + \text{impuestos}]}{\text{costos}}$$

Esto lleva a establecer que la relación puede calcularse al considerar la siguiente ecuación:

$$\frac{B}{C} = \frac{S_0}{E_0}$$

S_0 = Ingresos Netos

E_0 = Inversión Inicial

Cabe resaltar que el cálculo de la relación B/C requiere que los beneficios y los costos se encuentren en la misma unidad de tiempo, ya que no se pueden combinar montos a futuro, anualidades o presente, tal como se refiere a continuación.

a) Beneficios y costos a valor presente.

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum \text{VPB}}{\sum \text{VPC}}$$

Pudiendo definirse como:

$$\frac{B}{C} = \frac{S_0}{E_0}$$

b) Beneficios y costos a valor futuro B.

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum VFB}{\sum VFC}$$

Pudiendo definirse como:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum VFI}{\sum VFE}$$

c) Beneficios y costos en anualidades:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum \text{CAUE BENEFICIOS}}{\sum \text{CAUE COSTOS}}$$

Pudiendo definirse como:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum \text{CAUE INGRESOS}}{\sum \text{CAUE EGRESOS}}$$

Criterios de evaluación

$$\frac{B}{C} > 1.0; \text{ se acepta la alternativa}$$

$$\frac{B}{C} \approx 1.0; \text{ se replantea la alternativa}$$

$$\frac{B}{C} < 1.0; \text{ se rechaza la alternativa}$$

El B/C es uno de los parámetros más importantes en la evaluación de proyectos de inversión públicos y privados; de hecho, es requerido en las carpetas de evaluación de obras

públicas financiadas por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) o el Banco Mundial (BIRF). (Alvarado Verdín, 2016, pp. 247-249)

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Enfoque de la investigación

Los enfoques “constituyen posibles elecciones para enfrentar problemas de investigación” (p. 2). El enfoque indica la manera en la que se aborda el fenómeno, marca la ruta a seguir para responder a la pregunta y los objetivos de investigación; asimismo, ayuda a definir la profundidad en que se desea aproximarse al tema de estudio.

Enfoque cuantitativo

El enfoque cuantitativo, el análisis de la información se basa en cantidades o en dimensiones. Es decir, el elemento numérico tiene protagonismo. Cuando en una investigación se usa un enfoque cuantitativo, las hipótesis del investigador son sometidas a mediciones numéricas y sus resultados se analizan de forma estadística. Se trata, entonces, de una investigación objetiva y rigurosa en la que los números son significativos.

Investigación con enfoque cuantitativo					
Objetivo	Variable	Indicador	Definición conceptual	Definición operacional	Definición instrumental
Establecer los cumplimientos del sistema, mediante un análisis de las normas aplicables y especificaciones de diseño para garantizar el funcionamiento de un sistema de extracción de aire para una máquina de recubrimiento.	Normativas y cálculos de diseño.	La cantidad de reglas que se van a utilizar para la realización del diseño.	Los cumplimientos son los parámetros que se tiene que seguir para realizar un diseño correctamente.	Búsqueda de las mejores reglas para utilizar en el diseño.	Normativas y libros de texto.

<p>Analizar el sistema de extracción de la máquina, por medio de diagramas del equipo, para obtener las posiciones iniciales.</p>	<p>Diagramas constructivos de la máquina.</p>	<p>Posición de las zonas de extracción de la máquina.</p>	<p>Para obtener los puntos de ventilación de la máquina, hay que analizar el diagrama del equipo para identificar las inyecciones y extracciones de aire, además de determinar su posición.</p>	<p>Realizar el análisis y las mediciones del diagrama de la máquina.</p>	<p>Programa de diseño en 2D.</p>
<p>Definir en el cuarto limpio, la mejor trayectoria física para el diseño, a través de una inspección de las estructuras existentes.</p>	<p>Trayectoria de las facilidades de los equipos de extracción de aire.</p>	<p>La posición física de las facilidades del equipo.</p>	<p>Para tener la mejor trayectoria de las facilidades del equipo, se debe hacer un reconocimiento del lugar, ya que físicamente hay obstáculos que es necesario contemplar para el diseño.</p>	<p>Se analizará y se medirá la zona del entrecielo del cuarto limpio y la entreplanta que está arriba del cuarto limpio, para determinar la mejor trayectoria.</p>	<p>Distribución en planta.</p>
<p>Efectuar el diseño completo para un sistema de extracción con base en la información recopilada.</p>	<p>Diseño del sistema.</p>	<p>Las mejores rutas y materiales para el diseño.</p>	<p>Con los flujos necesarios y la trayectoria, realizar los cálculos para obtener físicamente el mejor sistema, además de la elección de la ventilación que</p>	<p>Realización de cálculos con la obtención de datos de la trayectoria del sistema, para seleccionar el mejor sistema de ventilación que cumpla con los</p>	<p>Programa de diseño y cálculos para la determinación de la ventilación.</p>

			concuere con los cálculos.	requerimientos de la máquina.	
Realizar una comparación para la implementación de sistema de ventilación propuesto, entre recursos propios de la empresa versus la contratación una empresa externa.	Costo-beneficio del proyecto.	La diferencia de realizar el proyecto con mano de obra interna o un proveedor externo.	El costo-beneficio indica en qué proporción los beneficios son más grandes que los costos.	Se confeccionará una tabla de costos donde estén estipulados todos los gastos, además de todos los beneficios y desventajas del proyecto. Posteriormente se comparará.	Tabla Excel.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE DATOS

La recolección de datos para el presente proyecto fue complicada, ya que Costa Rica no cuenta con una norma para sistemas de ventilación y extracción centralizados, lo más cercano sería el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, pero en este documento no se detallan las extracciones y ventilaciones industriales.

Se trató de basar el proyecto en las normas ISO y ASHRAE, pero estas normas se especializan principalmente en cuartos limpios y sus cambios de aire, o en sistemas de aire acondicionado, pero el fuerte del proyecto es la ventilación localizada.

Después de una larga búsqueda, el diseño mecánico se basó en el documento titulado: *Ventilación Industrial* (Carnicer Royo, 2011), libro especializado en la ventilación centralizada, el cual trata desde los conceptos más básicos hasta los más complicados, pasando por recomendaciones de diseño y selección de ventilación, por lo que este libro fue la base para el diseño mecánico del proyecto.

Para la parte de diseño eléctrico se utilizó la norma NFPA 70, edición 2014 (NEC, 2014), ya que esta norma es la que se utiliza en Costa Rica para los diseños eléctricos. Para el resto de especificaciones o montajes se siguieron las recomendaciones de los proveedores de cada marca. Para el resto especificaciones o montajes, se siguieron las recomendaciones de los proveedores de cada marca; así como en la parte de soportería, donde especificaban la cantidad requerida por metro.

Posicionamiento de ductos

Para desarrollar este punto, se realizará un análisis del diagrama del equipo para identificar las posiciones de los ductos en la máquina, además del análisis del diagrama, se determinará el posicionamiento de la máquina en el cuarto limpio a través de un plano donde se indica la posición final del equipo. Por último, se efectuará el marcaje en el suelo del cuarto limpio para obtener la silueta de las posiciones del sistema de extracción.

El equipo con el cual se trabajará tiene un ancho de 5 m y un largo de 21 m, se considera un equipo bastante grande, ya que el producto debe pasar por varios procesos para obtener el resultado deseado. El funcionamiento del equipo se divide en varias etapas:

- Se realiza el ingreso de los catéteres a la máquina a través de unos rodillos giratorios.

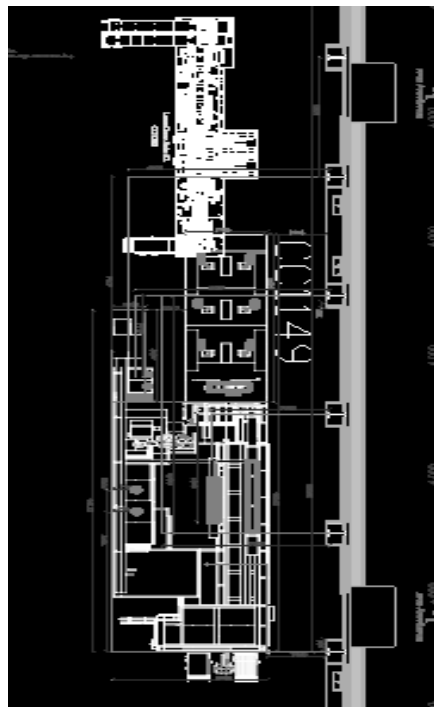
- A través de una banda, los catéteres pasan por una unidad que les provoca una porosidad en la superficie para que se facilite la adherencia del recubrimiento.
- Los catéteres son sumergidos en el recubrimiento
- Ya recubiertos, pasan por una línea de hornos que secan el recubrimiento recién colocado.
- Pasan por un sistema de lámpara UV que sella el recubrimiento del catéter.
- Por último, pasa por una línea de enfriamiento y salen de la máquina.

Considerando la cantidad de procesos que tiene el equipo, esto provoca que tenga varias líneas de ductos que deban salir y entrar al equipo; además de desplazarse por el cuarto limpio y el edificio, lo cual supone un reto ya que el equipo no estará disponible hasta el 2025, por lo cual se debe realizar un marcaje de la máquina y de los ductos que posee para cada proceso.

El primer paso es la visualización del posicionamiento de la máquina. Esto se logra con el plano del edificio donde se encuentra la posición de todas las máquinas que llegarán según el plan del proyecto. Estas posiciones son preliminares, por lo que se busca la posición más beneficiosa para cada máquina. Luego se procede con un programa de diseño, a sacar las distancias de la máquina con respecto al cuarto limpio y ver la posición del plano con respecto a la posición física en el cuarto limpio, para visualizar la ubicación óptima de la máquina.

Figura 19.

Diagrama de posición de máquina en cuarto limpio.

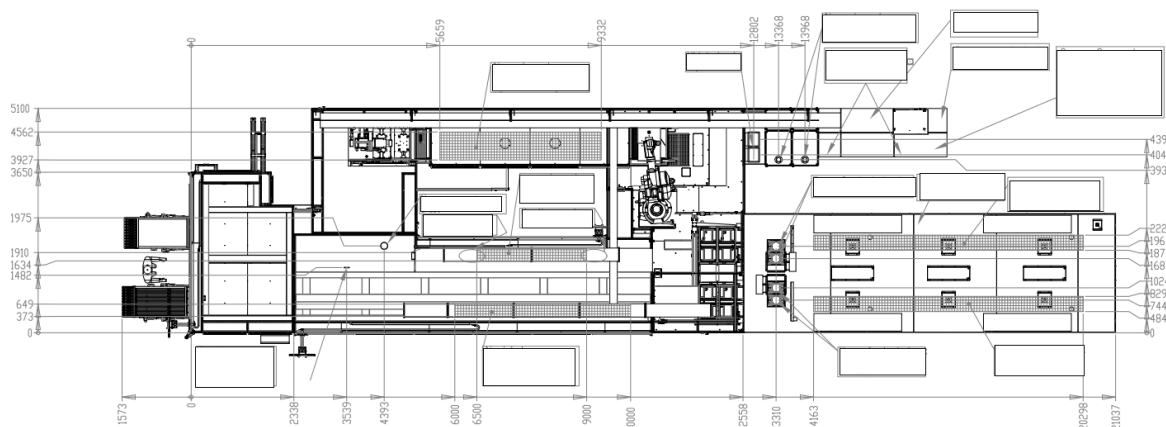


Obtenidos todos los datos, se procede a marcar la silueta de la máquina con cinta para proseguir con el siguiente paso, que sería el marcaje de las salidas y entradas de los ductos del equipo.

Posteriormente, se analizan los puntos de extracción del equipo con el diagrama brindado por el proveedor, donde se muestra la posición de cada sección y sus coordenadas dentro de la máquina. Este diagrama es la base para identificar toda la ductería en el equipo y poder marcar la silueta en el cuarto limpio, para utilizarla de referencia con la finalidad de visualizar la trayectoria de los ductos.

Figura 20.

Diagrama de equipo.



Por último, se marca la silueta de los ductos en el suelo del cuarto limpio, lo cual será empleado como referencia, ya que la maquina aún no está en sitio y es necesario para efectuar los cálculos correspondientes del sistema.

Figura 21.

Marcaje de posiciones.



Trayectoria de tuberías

En este punto se definirá la trayectoria física para el diseño. Se analiza toda la estructura del edificio y todas las facilidades existentes, esto se debe realizar debido a que la trayectoria física de los ductos se debe adaptar a todas las estructuras existentes. Además, el diseño del sistema depende de este paso, ya que se requiere calcular la cantidad de ductos para cada sección y sus respectivos accesorios; sin esta información no se podrá realizar el diseño.

Para ejecutar este punto es importante tener definidas las posiciones de partida de los ductos, ya que a partir de ellas se definirán las trayectorias físicas.

Después de elaborar la silueta de la máquina y de los ductos en el cuarto limpio, es necesario trazar las trayectorias. Esto es importante, ya que los ductos de la máquina no suben directamente hacia su posición, si no que pasan por el cuarto limpio, luego por el entrecielo del cuarto limpio y finaliza en el entresuelo del edificio. Para definir esta trayectoria hay que contemplar el tamaño del ducto que se vaya a utilizar y todas las facilidades del edificio, como son: tuberías contra incendios, ductos de aire acondicionado, canastas de cableado eléctrico, etc.

Antes de definir la trayectoria de la tubería, hay que identificar la máquina en el entresuelo del edificio, ya que en este lugar se encuentran todos los equipos y facilidades de planta, como por ejemplo: los aires acondicionados, tuberías, centros de puntos de red y todo lo que necesita el edificio para funcionar. Por ende, se debe identificar la silueta de la máquina y las posiciones de las tuberías en el entresuelo, para evitar colisiones con los equipos existentes y trazar la trayectoria más conveniente para el sistema.

Para definir la mejor trayectoria, el primer paso es identificar el ascenso de los ductos en el entrecielo, por lo cual se debe identificar el posicionamiento de la silueta del suelo con la entrada al entrecielo, ya que esta trayectoria sube de manera paralela hacia arriba y estas deben coincidir.

Para encontrar la ubicación exacta para la subida de los ductos, se procede a utilizar el marcaje de la máquina y las siluetas de los ductos que se habían marcado anteriormente en el suelo del cuarto limpio. En este espacio se coloca un nivel láser, ya que su función es señalar la posición exacta que hay desde el suelo hasta el entrecielo del cuarto limpio.

Luego de tener la posición exacta, se ingresa al entrecielo y se visualiza lo que esta alrededor, ahí se buscarán puntos de referencia que suban al entresuelo para tener una ubicación más exacta, ya que esto servirá para determinar la posición de salida de los ductos. Además, se

pueden visualizar todas las facilidades que hay en el lugar para elegir la mejor trayectoria posible con el espacio que se encuentra disponible.

Ya teniendo la posición de salida de los ductos y la trayectoria de la tubería, con una cinta métrica se procede a medir las distancias de la trayectoria y se enlista la cantidad de accesorios necesarios. Esto se utilizará, luego, para dos cosas: la primera es obtener la lista de materiales de los ductos, y la segunda, para el diseño del sistema. Este procedimiento se debe repetir con todas las zonas de la máquina.

Los diseños adjuntos son una referencia de las trayectorias utilizadas. La selección de cada trayectoria se basa en el espacio que estaba disponible en el entretecho. Como se ha mencionado con antelación en el documento, en el espacio por donde pasan las tuberías hay otros objetos que dificultan trayectorias más simples; aun tomando esto en cuenta, se trató de realizar las trayectorias más cortas y con menos accesorios para hacer el mejor diseño posible.

Figura 22.

Trayectoria de ductería 1.

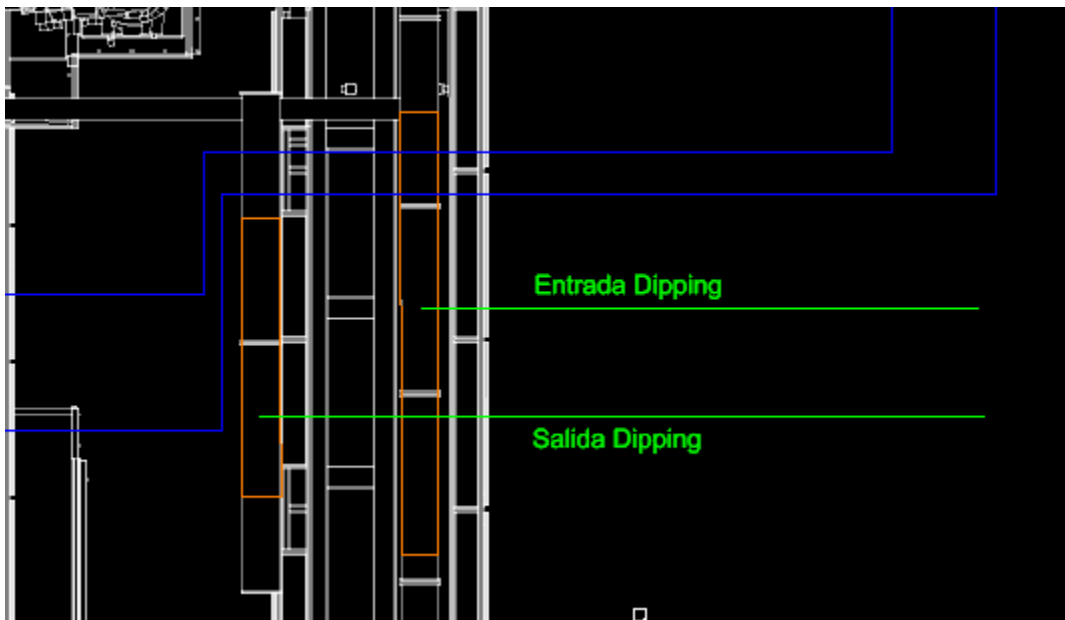
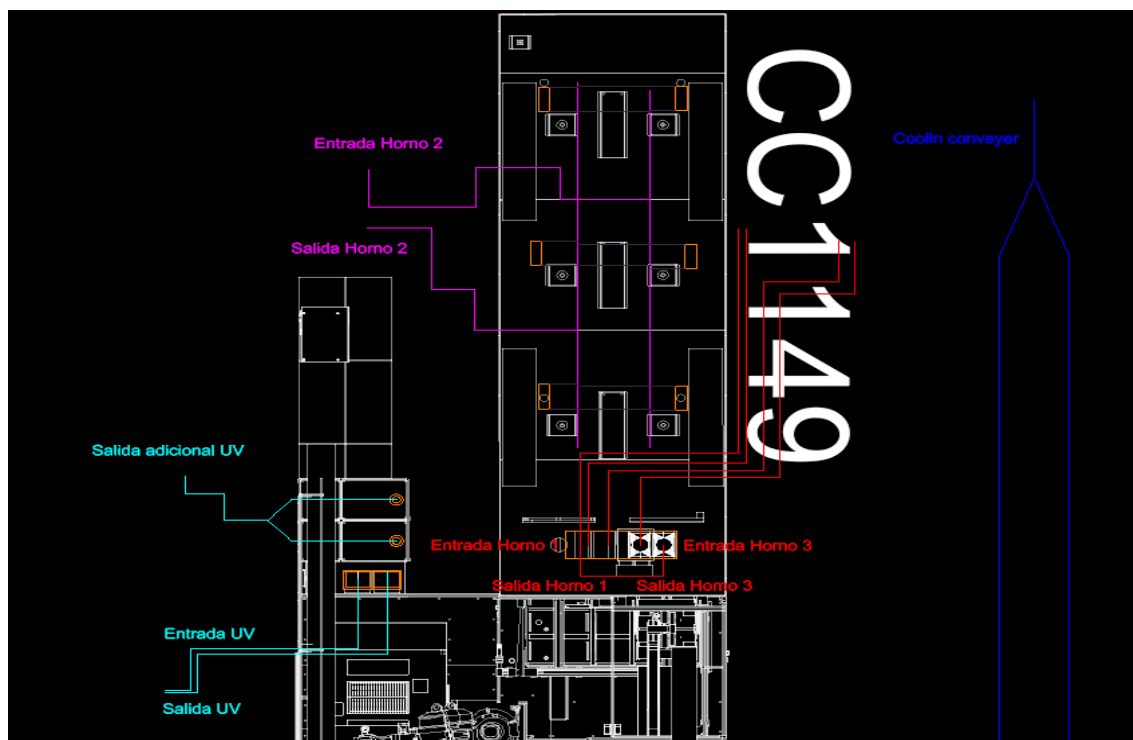


Figura 23.*Trayectoria de ductería 2.*

La mejor manera de realizar este reconocimiento de ductos es directamente en la zona de trabajo, ya que brinda una trayectoria más real y precisa de cada uno de los ductos y, al momento del montaje, será más preciso y no será necesario realizar cambios con respecto al diseño.

Hay que recalcar que esta parte del proyecto es muy importante, ya que el nuevo diseño de la trayectoria se tiene que acoplar a los sistemas ya existentes. Si se elabora el diseño del sistema antes de efectuar las trayectorias físicas, puede haber problemas en el diseño final, tanto en la posición final de los ductos como en el diseño del sistema, debido a que podrían omitirse cosas, como faltantes material o sobredimensionar el sistema; además de que los cálculos de pérdidas de presión no serán exactos.

Ya teniendo todas las trayectorias definidas, se puede obtener la cantidad de material necesario para efectuar el proyecto, la cantidad de ductos rectos y sus accesorios. La obtención de esta información es esencial para los cálculos de caída de presión y para lograr la ventilación adecuada, además de la cotización de los materiales del proyecto. Se elabora una lista de materiales a utilizar para el diseño.

Tabla 1.*Material de ductería.*

Unidad	Cantidad	Descripcion
Salida Dipping	2pz	Reduccion de 400mm a 250mm
	2m	Ducto 250mm
	1pz	Pantalon entran 2 de 250 mm y una salida de 400mm
	1m	Ducto 400mm
	1pz	Codo 400mm
Entrada Dipping	1m	Ducto 400mm
	1pz	Codo 400mm
	1pz	Pantalon entran 2 de 250 mm y una salida de 400mm
	2m	Ducto 250mm
	2m	Ampliacion 250mm a 400mm
Cooling	2m	Ducto 160mm
	1pz	Pantalon entran 2 de 160 mm y una salida de 200mm
	14m	Ducto 200mm
	3pz	Codo 200mm
Entrada Horno 1Y 3	21m	Ducto 200 mm
	12pz	Codo 200mm
	1pz	T 200mm
Salida Horno 1Y 3	20m	Ducto 200 mm
	12pz	Codo 200mm
Entrada Horno 2	7m	Ducto 200mm
	4pz	Codo 200mm
	1pz	Rejilla
	1pz	Reduccion de 200mm a 100mm
	6m	Ducto 100mm
Salida Horno 2	8m	Ducto 200mm
	5pz	Codo 200mm
	1pz	ampliacion 100mm a 200mm
	7m	Ducto 100mm
Entrada UV	1pz	Rejilla
	6m	Ducto 400mm
	4pz	Codos 400mm
	1pz	Reduccion de 400mm a 280mm
	1m	Ducto 280mm
Salida UV	1m	Ducto 280mm
	1pz	Ampliacion de 280mm a 400mm
	7m	Ducto 400mm
	4pz	Codo 400mm
Salida adicional UV	8m	Ducto 100mm
	1pz	Pantalon entran 2 de 100 mm y una salida de 100mm
	4pz	Codo 100mm

Diseño del sistema

Para elaborar el diseño del sistema, se debe contemplar la distribución de los ductos, ya que es un punto importante para efectuar los cálculos. Anteriormente fue posible obtener la trayectoria de los ductos, con esta información se consigue la cantidad de metros de ducto con sus respectivos accesorios, ya que cada ductería tiene su pérdida y esto afecta a todo el sistema.

Se debe contar con los siguientes datos:

- Distribución en planta de las zonas de trabajo, de los equipos y sus dimensiones, etc.
- Esquema del sistema de conductos, incluyendo las dimensiones en planta y elevación, la ubicación del equipo de control y del ventilador, etc. Se debe identificar cada ducto secundario y el conducto principal.
- Cantidad de ductos y accesorios que se requiera utilizar.

Los conductos de un sistema de ventilación exhaustiva local deben cumplir las siguientes funciones:

- Llevar el aire desde los diferentes puntos de descarga.
- Conseguir el mínimo consumo de energía.
- Asegurar la velocidad de transporte sea adecuada.
- Mantener el sistema equilibrado en todo momento.

Una de variables importantes de determinar es el caudal que se moverá a través del ducto y la velocidad. Esto se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$Q = A * V$$

Q = Caudal de la corriente de aire (m³/s).

V = Velocidad de la corriente de aire a través del conducto (m/s).

A = Área de la sección transversal del conducto (m²).

Para realizar el primer paso es importante aclarar que el proveedor de la máquina condicionó el equipo con ciertas especificaciones por los componentes que posee cada sección, por lo que hay que apegarse a estas especificaciones del equipo por un tema de garantía. Los datos que aporta el proveedor son el tamaño de los ductos y los flujos de aire de cada ramal.

En primer término, se debe calcular la velocidad y la presión principal del ramal que se esté trabajando, estos datos se utilizarán para calcular las caídas de presión de los ductos y sus accesorios. Para calcular la velocidad se despejaría la fórmula de caudal de corriente de aire, y para la presión se aplica la siguiente fórmula:

$$Pv = \left(\frac{V}{4.034} \right)^2$$

Pv = Presión de velocidad (mmH₂O)

V = Velocidad de la corriente de aire a través del conducto (m/s).

La velocidad de transporte generalmente varía entre 10 a 30 m/s, eso depende de lo que se quiera extraer. Una velocidad de transporte baja en el conducto será adecuada para corrientes gaseosas que contienen contaminantes gaseosos o partículas muy finas, mientras que una velocidad más alta será necesaria para conducir una corriente gaseosa con una gran cantidad de partículas pesadas o húmedas.

Tabla 2.

Velocidades de flujo de los sistemas.

Unidad	Velocidad (m/s)
Salida Dipping	11,052
Entrada Dipping	12,119
cooling	10,610
entrada horno 1	10,610
entrada horno 3	10,610
salida horno 1	10,610
salida horno 3	10,610
Entrada horno 2	8,842
Salida Horno 2	8,842
Entrada UV	6,631
Salida UV	7,737
Salidas adicional UV	8,842

El caudal y los diámetros de los ductos estarán determinados por el proveedor de la máquina. Según el libro *Ventilación Industrial* (Carnicer Royo, 2011), se recomienda que el diseño para extracciones de vapores y aire deben tener una velocidad de 5-10 m/s.

En la realización de los cálculos de velocidad se detectó que en varias zonas de la máquina, la velocidad de flujo es más alta que la velocidad recomendada, sobrepasando los 10 m/s. En este caso, para efectuar un mejor diseño, se debe ampliar los diámetros de los ductos para reducir la velocidad y mantener el flujo necesario en estos ramales de ducto. Esto provocaría menos pérdidas por fricción y beneficiaría el diseño.

La pérdida por fricción de un sistema de conductos se debe, principalmente, a los siguientes aspectos:

- Diámetro.
- Longitud del conducto.
- La velocidad de transporte.
- Viscosidad.
- Densidad del gas.

El siguiente paso es calcular las pérdidas de presión en los ductos rectos y en los accesorios.

Para las pérdidas de fricción en ductos rectos se aplica la siguiente fórmula:

$$hf = 518,72 * \frac{V^{1,8}}{D^{1,18}} * d$$

hf = Pérdidas por fricción (mmH₂O).

V = Velocidad de transporte (m/s).

D = Diámetro del ducto (mm).

d = Distancia del ducto (m).

En el diseño de la máquina es necesario, en algunas unidades, pasar de ducto cuadrado a redondo, esto provoca una caída de presión considerable, por lo que se utiliza la siguiente fórmula, la cual genera una equivalencia entre el ducto cuadrado y redondo, por lo que la caída de presión es despreciable.

$$D = 1,265 * \sqrt[5]{\frac{A^3 * B^3}{A^3 + B^3}}$$

D = Diámetro (mm).

A = Lado (mm).

B = Lado (mm).

Un punto relevante al momento de realizar los cálculos de pérdidas de presión en los ductos rectos, es que no en todos los casos los ramales son de un mismo diámetro y se pueden ramificar, por lo que hay que considerar estos elementos durante el diseño, ya que hay que ajustar los flujos para las ramificaciones, además de hacer los cálculos para los diámetros que son distintos.

El siguiente paso sería determinar las pérdidas de presión en los accesorios. Cada accesorio tiene su forma particular de obtener su pérdida por fricción, lo importante es conseguir el coeficiente de pérdida por fricción. Eso depende del accesorio, para los accesorios tradicionales se utilizaron las tablas del libro *Ventilación Industrial* (Carnicer Royo, 2011), y para accesorios más específicos se emplearon las tablas de pérdidas de coeficiente de SMACNA (Asociación Nacional

de Contratistas de Chapa y Aire Acondicionado, 2012); y si el accesorio resultaba ser muy específico, se acudió a la hojas de datos para buscar el coeficiente de pérdida por fricción o directamente a la pérdida por fricción, esto dependiendo del manual del accesorio.

Una vez obtenido el coeficiente de fricción, se utiliza la siguiente fórmula para obtener la pérdida de fricción:

$$hf = n * pv$$

hf = Pérdidas por fricción (mmH₂O).

n = Coeficiente de pérdida por fricción.

pv = Presión de velocidad de corriente de aire (mmH₂O).

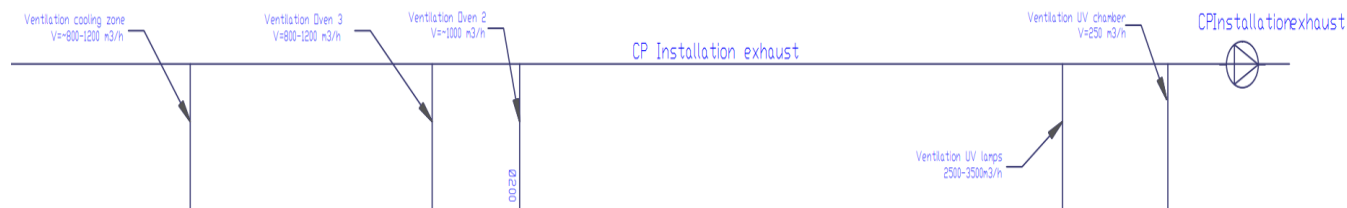
Muchos de los tramos poseen accesorios muy específicos, como intercambiadores de calor, filtros, silenciadores, entre otros. En estos casos especiales se consultó al proveedor las fichas técnicas de cada accesorio para obtener la pérdida por fricción.

Para realizar el diseño se tuvo que analizar cada ramal por separado, considerando las distancias y sus respectivos accesorios ya que, aunque es una sola máquina, se debe efectuar el análisis individualmente, ya que cada ducto es para un proceso distinto y cambia flujos, diámetros y distancias. Posteriormente, los ductos ramales se conectan a un ducto principal según el diagrama del proveedor y, para finalizar, estos gases salen del edificio.

Después de elaborar el diseño en cada ramal y obtener las pérdidas por fricción, se procede a la selección de la ventilación de cada zona según el diseño del proveedor; además, se puede realizar el diseño del tramo principal.

Figura 25.

Distribución del tramo principal.



Para el tramo principal se efectuó el cálculo de todos los ramales que estaban conectados, logrando, así, obtener la ruta crítica. Esta ruta se determina donde haya mayor pérdida por fricción y, a través de ésta, seleccionar la ventilación principal.

Se debe considerar que, de los ramales secundarios que suben al ramal principal, unos poseen una ventilación y otros no por diseño del proveedor de la máquina, por lo cual se debe buscar la ruta más crítica de acuerdo con lo que se analiza en cada ramal secundario, considerando su trayectoria desde la máquina hasta su posición final y las pérdidas de presión; esto con la finalidad de determinar el ramal que tenga la mayor pérdida de presión, el cual se establecería como la ruta crítica.

Tabla 3.

Resumen de cálculos de ramal principal.

Unidad	Pa
Salida hiorno 2	11728
Salida adicional UV	12092
Salida del horno 3	5352
Salida UV	5138
Cooling	14192

En este caso, el tramo con mayor pérdida sería el *cooling*, ya que este presenta la mayor pérdida de presión en el sistema; por ende, es la ruta crítica.

La ruta crítica se puede determinar como la trayectoria con más pérdidas de fricción, por lo cual el aire tendrá más dificultad para pasar por los ductos; en consecuencia, necesita una ventilación que le ayude a sobrepasar esas pérdidas.

En tabla del diseño del sistema se encuentra el cálculo de cada ramal con sus respectivas pérdidas por fricción y los flujos. En esta tabla resumen es posible visualizar el resultado de trayectoria de cada ramal. Aquí el dato a resaltar sería la pérdida de presión y el flujo, ya que este aspecto determinará qué tipo de ventilación se debe utilizar.

Tabla 4.*Diseño mecánico del sistema.*

Unidad	Pa	mmH2O	hf(ln WC)	m ³ /h	m ³ /s	CFM
Salida Dipping	3170	323,23	12,71	5000	1,39	2942,9
Entrada Dipping	3425	349,24	13,74	3400	0,94	2001,2
cooling	10339	1054,28	41,47	1200	0,33	706,3
entrada horno 1	8761	893,38	35,14	1200	0,33	706,3
entrada horno 3	5220	532,30	20,94	1200	0,33	706,3
salida horno 1	4959	505,65	19,89	1200	0,33	706,3
salida horno 3	5440	554,76	21,82	1200	0,33	706,3
Entrada horno 2	4682	477,42	18,78	1000	0,28	588,6
Salida Horno 2	4663	475,53	18,71	1000	0,28	588,6
Entrada UV	1837	187,32	7,37	3000	0,83	1765,7
Salida UV	2332	237,83	9,36	3500	0,97	2060,0
Salidas adicional UV	6311	643,60	25,32	250	0,07	147,1
Tramo principal	14192	1447,22	56,93	6150	1,71	3619,8

Para la selección de ventilación, se eligió los ventiladores centrífugos para los ramales secundarios y para principal, ya que estos ventiladores manejan caídas de presión más altas que los ventiladores axiales.

Luego de la búsqueda y selección de los ventiladores centrífugos, se procedió a realizar el diseño eléctrico con la norma NFPA 70, edición 2014 (NEC, 2014). En la tabla resumen del diseño eléctrico se puede visualizar las especificaciones eléctricas de la ventilación, además de la selección del cableado, guardamotor y contactar. Todo el sistema de control se encontraría dentro del gabinete eléctrico de la máquina y la ventilación en el entresuelo del edificio; estos serán conectados a través del cableado con su respectiva soportería.

Tabla 5.*Diseño eléctrico del sistema.*

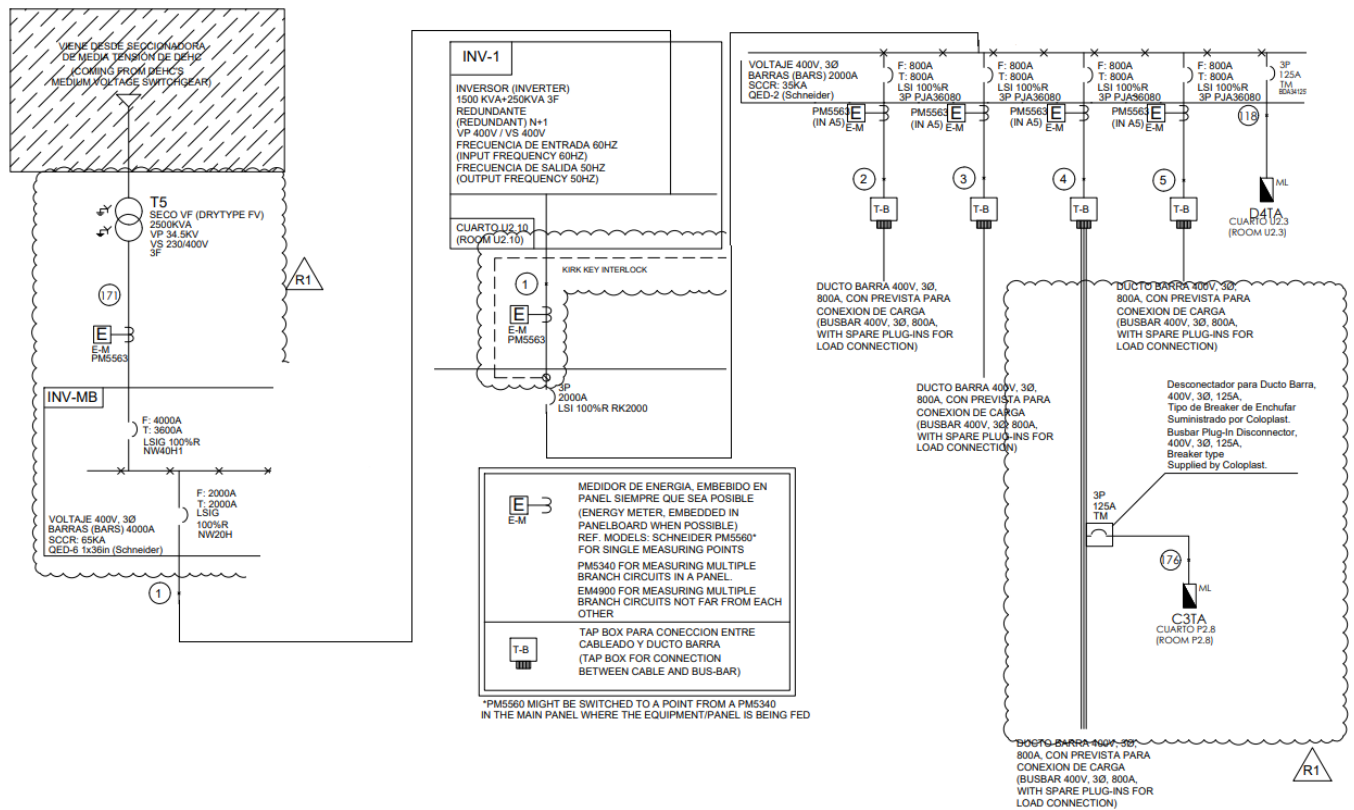
Modelo	Tension V (50Hz)	Intensidad A	Potencia kW	Velocidad rpm	Calibre de cable	Guarda Motor	Contactador
GR 501	3X400V	16.5	7.5	2890	14	TERMOMAGNÉTICO GV2ME20, 3P, 13-18A	LC1D18BD, 3P AC-3, 18A
MAE 711	3X400V	46.25	18.5	2800	8	3RV20314WA10 S2 CLASE10 42-52A	LC1D50AP7, 3P AC-3, 50A
MHR 632	3X400V	12.2	5.5	2800	14	TERMOMAGNÉTICO GV2ME16, 3P, 9-14A	LC1D18BD, 3P AC-3, 18A
ZM 352	3X400V	9.21	4	2800	14	TERMOMAGNÉTICO GV2ME16, 3P, 9-14A	LC1D12P7, 3P AC-3, 12A
MM 301	3X400V	11.5	5.5	2850	14	TERMOMAGNÉTICO GV2ME16, 3P, 9-14A	LC1D12P7, 3P AC-3, 12A
MHR 812	3X400V	55	22	2800	6	3RV20314WA10 S2 CLASE10 42-52A	LC1D65AP7, 3P AC-3, 65A

Para este diseño se contempló la parte mecánica y eléctrica, dado que para el funcionamiento correcto se necesitan ambas partes. Durante todo el diseño se utilizó, como soporte, libros de textos especializados, tal como el de *Ventilación Industrial* (Carnicer Royo, 2011) y normas como la NFPA 70 (NEC, 2014), para obtener el diseño más funcional posible y a mejor precio, ya que este tipo de proyectos se deben adaptar a su entorno para lograr los mejores resultados posibles.

Un punto a destacar es que este equipo tiene una alimentación de 400 V a 50 Hz, ya que el fabricante y la empresa son de origen europeo, por lo que planta posee líneas de alimentación exclusivas para las máquinas de producción. Estos es posible ya que la planta posee un inversor que convierte el voltaje y es trasportado por un ducto barra donde, a través de un desconector, llega la alimentación al equipo.

Figura 26.

Diagrama unifilar del inversor.



En la figura anterior se puede visualizar el diagrama unifilar, se puede apreciar todo el proceso para obtener la alimentación necesaria que utilizan las máquinas para su correcto funcionamiento, desde la conexión de la empresa proveedora de electricidad hasta el desconector del ducto barra.

Presupuesto y viabilidad del proyecto

En este apartado se desglosará el costo del proyecto por parte de un proveedor externo y por la empresa. Además de la comparación de costos, también se analizará el beneficio de comparar ambas, ya que cada uno posee ventajas y desventajas con respecto a la ejecución del proyecto.

Primero, se presentan los costos por concepto de materiales, estos incluyen toda la parte mecánica, como serían los ductos con su respectiva soportería. En esta tabla no se va a representar el ducto principal, ya que existe en el edificio y, por lo tanto, ahí llegarían los ramales secundarios.

Tabla 6.

Costos de la parte mecánica.

Cotizacion de materiales ductos	
Dipping	\$ 3,358.25
Cooling	\$ 3,658.25
oven	\$ 8,033.25
UV	\$ 7,228.25
Total	\$ 22,278.00

Seguidamente, se presentan los costos de la parte eléctrica, aquí estarían contemplados los ventiladores, el cableado, canastas para cables, soportes, guardamotores y los contactores.

Tabla 7.

Costos de la parte eléctrica.

Cotizacion de materiales eléctricos	
Dipping	\$ 851.30
oven	\$ 6,483.62
UV	\$ 1,700.51
Extraccion principal	\$ 2,449.96
Total	\$ 11,485.39

En el siguiente punto, se desglosa los costos por concepto de la mano de obra del trabajo. Aquí es importante aclarar que se emplearán cuatro personas para la instalación de todo el proyecto, quienes tardarían alrededor de 178 horas. Esta cantidad de tiempo se estimó por experiencias de anteriores proyectos de instalación; además, se considera el salario por hora proporcionado por la empresa, para las personas que efectuarían el trabajo. La cantidad de horas se determina dependiendo de la zona que se vaya a trabajar, ya que esto depende de la longitud de la trayectoria y la dificultad del área.

Tabla 8.

Cantidad de horas trabajadas.

Zona	Trabajo	Tiempo (H)
Salida Dipping	Hacer hueco	2
	Montaje de ductos	4
	Soportería	3
	Montaje de ventilacion	4
	Instalacion cableado	2
Entrada Dipping	Hacer hueco	2
	Montaje de ductos	4
	Soportería	3
cooling	Hacer hueco	2
	Montaje de ductos	6
	Soportería	4
entrada horno 1	Hacer hueco	2
	Montaje de ductos	6
	Soportería	4
entrada horno 3	Hacer hueco	2
	Montaje de ductos	7
	Soportería	4
salida horno 1	Hacer hueco	2
	Montaje de ductos	8
	Soportería	3
	Montaje de ventilacion	4
	Instalacion cableado	2
salida horno 3	Hacer hueco	2
	Montaje de ductos	8
	Soportería	4
	Montaje de ventilacion	4
	Instalacion cableado	2
Entrada horno 2	Hacer hueco	2
	Montaje de ductos	5
	Soportería	3
Salida Horno 2	Hacer hueco	2
	Montaje de ductos	5
	Soportería	3
Entrada UV	Hacer hueco	2
	Montaje de ductos	7
	Soportería	4
	Montaje de ventilacion	4
	Instalacion cableado	2
Salida UV	Hacer hueco	2
	Montaje de ductos	7
	Soportería	4
	Montaje de ventilacion	4
	Instalacion cableado	2
Salidas adicional UV	Hacer hueco	2
	Montaje de ductos	5
	Soportería	3
Ducto principal	Montaje de ductos	6
	Soportería	4
Total de tiempo		178
Dias		7.4

Luego de obtener la cantidad de horas por cada tarea a realizar, se elabora el presupuesto del costo por hora y la cantidad de personas necesarias para el trabajo.

Un punto a resaltar es que la empresa posee un departamento para este tipo de proyectos, por lo que la mano de obra está destinada exclusivamente a estas tareas; en consecuencia, no hay que afectar otros departamentos de la empresa y se pueden concentrar en la realización de estos trabajos.

Tabla 9.

Mano de obra.

Mano de obra	
Dipping	\$ 666.67
Cooling	\$ 333.33
oven	\$ 2,333.33
UV	\$ 1,333.33
Extraccion principal	\$ 277.78
Total	\$ 4,944.44

Para finalizar el análisis de los costos de la instalación, se plantea una comparación entre el costo del proveedor y el costo de realizarlo internamente en la empresa. Se visualiza que el costo por realizarlo internamente en la empresa será menor y representa un ahorro en el proyecto de un 61%.

Tabla 10.

Comparación de costos.

Instalacion del proyecto		
Zonas	Proveedor	Empresa
Dipping	\$ 23,049	\$ 4,876
Cooling	\$ 21,017	\$ 3,992
oven	\$ 32,331	\$ 16,850
UV	\$ 15,469	\$ 10,262
Extraccion principal	\$ 7,790	\$ 2,728
Total	\$ 99,656	\$ 38,708

Al analizar la parte económica, es factible percatarse de que al efectuar el proyecto internamente resulta mucho más económico que contratar a un proveedor, dado que representa un 39% del costo de hacerlo con un externo o bien, se está ahorrando un 61%.

Gran parte del ahorro se debería a la mano de obra dedicada a los proyectos y la compra directa de materiales de trabajo; además, al realizar el diseño, permite tener un control en la cantidad de materiales a comprar.

Hay que tomar en consideración que el impacto del proyecto será el mismo de ser realizado por el proveedor o por la empresa, ya que, sin importar quien efectúe finalmente el trabajo, debe ejecutar las mismas tareas. Todo esto está considerado en un plan de transferencia para la máquina, el cual depende de qué tanto haya que intervenir en la zona donde se hará el trabajo.

El beneficio del proyecto se puede ver en la resolución de los costos, ya que el beneficio se encuentra en la parte económica, porque la empresa podrá obtener un ahorro si lo concreta con sus propios medios; además que se tendrá más control del proyecto.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se determinó la mejor propuesta de diseño e instalación para un sistema de extracción de aire, a través de la comparación entre recursos de la propia empresa y un proveedor externo. Se concluyó que la mejor propuesta es la ejecución del proyecto con recursos propios, ya que el costo disminuye considerablemente y, al contemplar todas las variables del proyecto, el beneficio es mayor, ya que la empresa puede manejar todo el proyecto, desde la instalación del equipo, las facilidades y la puesta en marcha de la máquina; además, el personal está disponible en planta ante cualquier inconveniente durante la instalación. Esta comparación de costos se hizo con la finalidad de obtener el mayor costo-beneficio, donde se analiza el costo del proyecto en ambos casos y el beneficio obtenido se visualiza en el ahorro que se puede lograr al ejecutar el proyecto con recursos propios de la empresa.
- Se estableció los cumplimientos del sistema mediante libros de texto especializados en ventilación, recomendaciones de diseño y manuales de equipos de proveedores, ya que en el país no existen normas aplicables para ventilación y extracción localizada. Sucede lo mismo con las normas AHSER, las cuales hablan directamente de la recirculación de los cuartos limpios y sistemas de aire acondicionado, pero de igual manera no profundizan en la ventilación y extracción localizada. Esta valoración se efectuó con la finalidad de garantizar el funcionamiento de un sistema de extracción de aire para una máquina de recubrimiento de catéteres en un cuarto limpio.
- Se analizó el sistema de extracción con diagramas simplificados para contemplar qué incluía cada ramal, el diagrama del cuarto limpio para corroborar la posición de la máquina, además de verificar el plano constructivo del equipo facilitado por el proveedor, donde marcaba la posición de los ductos para obtener las posiciones iniciales de las facilidades desde la máquina hacia los equipos de ventilación.
- Se definió la mejor trayectoria física para el diseño, a través de la ruta más conveniente para cada uno de los ramales, contemplando todas las facilidades existentes y la llegada de cada ducto considerando la distancia del ducto y los accesorios a emplear para obtener la ruta más conveniente.

- Se efectuó el diseño completo para un sistema de extracción cumpliendo con todas las especificaciones para minimizar la caída de presión, contemplando toda la información recolectada para realizar una memoria de cálculo, la cual determinó el diseño final de cada ramal para lograr un diseño funcional.
- Se realizó una comparación para la implementación de un sistema de ventilación propuesto entre recursos propios de la empresa versus la contratación de una empresa externa, mediante la recopilación de la información, análisis de datos, toma de decisiones, el impacto del proyecto dentro de la empresa y se consideró los costos. Finalmente, se determina que la mejor decisión es la realización del proyecto con recursos propios de la empresa, lo cual representa un costo 61% menor que contratar un proveedor externo.

Recomendaciones

- Se recomienda ahondar en estudios de flujos para todos los equipos futuros, con miras a obtener sistemas óptimos en sus funcionamientos, ya que es una industria en crecimiento y es recomendable hacerlo desde el principio para asegurar la calidad de todos los sistemas y no tener problemas en el futuro.
- Se recomienda elaborar una normativa de ventilación y extracción centralizada a nivel país, con la asesoría de ingenieros expertos en el tema, ya que actualmente hay un incremento muy acelerado de las industrias, como las industrias médicas y electrónicas. Todas estas empresas vienen con equipos nuevos que extraen algún químico o vapores y las instalaciones son hechas por proveedores del país, que muchas veces no contemplan la importancia de una ventilación o extracción localizada, además de tomar en cuenta lo que se vaya a extraer y cómo repercute eso en el ambiente y la seguridad, en general.
- El proyecto se planificó con las especificaciones del fabricante, pero al momento de realizar el diseño, se descubre que no está apegado a ciertas especificaciones de diseño. El ejemplo más claro es la velocidad del flujo, ya que esta debe estar a un máximo de 10 m/s y en el diseño hay flujos mayores que este rango, lo cual se podría mejorar agrandando el ducto, provocando que baje la velocidad y las caídas de presión; esto ayuda a los ventiladores, ya que la presión que debe vencer es menor y se puede optar por un tipo distinto de ventilación.

CAPÍTULO VI: PROPUESTA

Esta investigación se ocupa analizar y comparar los trabajos realizados por empresas externas y los trabajos efectuados a lo interno de la empresa, ya que últimamente, en Costa Rica hay un aumento de ingresos de empresas de capital extranjero que implican la necesidad de nuevos edificios, nuevas máquinas y procesos.

Generalmente, al inicio de sus operaciones, estas empresas contratan la construcción de toda la infraestructura para sus plantas de producción; posteriormente, ingresan los nuevos equipos, cuyas facilidades no coinciden con las existentes en los edificios y es necesario adaptarlas contratando toda la instalación de las facilidades y su diseño. La interrogante radica en saber técnicamente, si es mejor para una empresa de esta índole seguir contratando estos servicios y disponer de una persona que se mantenga en constante revisión, o tener el personal propio disponible que se encargue de los proyectos nuevos y los pueda ejecutar.

Se debe analizar el equipo al que se le va a realizar el trabajo y contemplar toda la parte del diseño, ya que generalmente, las máquinas ya vienen con sus respectivos parámetros solicitados por el proveedor, los cuales se deben seguir a cabalidad para cumplir con sus garantías; por ende, es necesario diseñar bajo esa premisa y adaptarse a la máquina.

Al momento de diseñar se contempla el área a donde se efectuará el trabajo y todo lo que está alrededor. Esto es importante, ya que el proyecto se debe adecuar a las estructuras existentes del edificio. Al contemplar eso se puede iniciar con la parte de diseño y de cálculos para cumplir con los requisitos del equipo y del diseño. Ya teniendo el diseño, la parte estructural, las cotizaciones de materiales y la mano de obra se puede comparar con el precio de un proveedor externo y contemplar las ventajas y desventajas de realizar el proyecto por parte una empresa externa.

En resumen, este proyecto aporta la visibilidad de qué tan factible es realizar trabajos por parte de la misma empresa o contratar el trabajo a un proveedor externo, contemplando la parte económica y factibilidad interna de la empresa de efectuar estos trabajos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado Verdín, V. M. (2016). *Ingeniería de costos*. México D. F., México: Grupo Editorial Patria.
Recuperado de: <https://elibro.net/es/ereader/bibliouia/40454>
- Álvarez Villanueva, Gerson André Luis. (2022). *Diseño de un sistema de aire acondicionado y ventilación mecánica para los sectores I, II y III del centro de salud mental comunitario en el distrito de San Juan de Miraflores, Lima*. [Tesis de grado presentada para optar por el grado de Ingeniería Mecánica] Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Perú.
Disponible en: [Diseño de un sistema de aire acondicionado y ventilación mecánica para los sectores I, II y III del centro de salud mental comunitario en el distrito de San Juan de Miraflores, Lima](#)
- ASHRAE. (2007). *Ventilación para una calidad aceptable de aire interior*. Disponible en: [62_1_2007_Spanish_cover.fm](#)
- Brenes Morera, Eckson; Herrera Solís, Ericka y Siles Núñez, Sasha Andrea. (2023). *Desarrollo de un sistema de costeo multivariable para una empresa metalmeccánica*. [Tesis de Ingeniería Industrial]. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Disponible en: [Desarrollo de un sistema de costeo multivariable para una empresa metalmeccánica](#)
- Carnicer Royo, Enrique. (2001). *Ventilación Industrial*. Paraninfo. Disponible en: [VENTILACION INDUSTRIAL \(CARNICER ROYO \).pdf - PDFCOFFEE.COM](#)
- Cedillo Carrillo, Jan Brandon y Miranda Mejía, Freibert Joffre. (2022). *Análisis de los sistemas de ventilación en edificios de Guayaquil para el control de bioseguridad*. [Tesis de Ingeniería Civil]. Instituto: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Ecuador.
- Echeverri Londoño, C. A. (2011). *Ventilación industrial*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
Recuperado de: <https://elibro.net/es/ereader/bibliouia/70982?>.
- Hernández Sampieri, Roberto; Fernández Collado, Carlos y Baptista Lucio, Pilar. (2014). *Metodología de la Investigación*. (6ª. Ed.). España: McGraw Hill. Disponible en: [Metodología de la investigación - Dialnet](#)
- International Standard.(2015). *ISO 14644-1*. Retrieved to: [Estándares iTeh](#)
- Jacinto Paredes, Joe Leonard. (2019). *Dimensionamiento de ductos para el sistema de ventilación del área de foyer del Cine – Ilo*. Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Perú.
Disponible en: [Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima](#)

[Sur: Dimensionamiento de ductos para el sistema de ventilación del área de foyer del Cine – Ilo](#)

- Mejías Murillo, Roberto. (2019). *Diseño de un sistema de acondicionamiento de aire y extracción mecánica para la sucursal del Instituto Nacional de Seguros de Jacó, Puntarenas*. [Proyecto para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería Industrial]. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Disponible en: [diseno_sistema_acondicionamiento_aire_ventilacion.pdf](#)
- NEC. (2014). *NFPA 70*. Disponible en: [Código Eléctrico Nacional 2014 NFPA 70 Español](#)
- Quintero Hernández, Jesús y Fares Lozano, Alexander Lautaro. (2023). *Propuesta de diseño de un sistema de extracción de humos metálicos y gases para un taller de soldadura de una empresa*. [Trabajo para la obtención del título de ingeniero industrial]. Instituto: Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador. Disponible en: [Propuesta de diseño de un sistema de extracción de humos metálicos y gases para un taller de soldadura de una empresa camaronera en Guayaquil](#).
- Ramírez González, Hillary Fabiola. (2020). *Diseño de horno de fundición y del proceso semiautomático de la fabricación de calibradores de aluminio, en la empresa Equipos El Prado, S. A.* [Licenciatura en Ingeniería Industrial]. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Disponible en: [Diseño de horno de fundición y del proceso semiautomático de la fabricación de calibradores de aluminio, en la empresa Equipos El Prado S. A.](#)
- Riveros Gerónimo, Santos Marquiños. (2022). *Sistema de ventilación y parámetros de operación en una sala de grupos electrógenos de una planta industrial*. [Trabajo para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista]. Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú. Disponible en: [Sistema de ventilación y parámetros de operación en una sala de grupos electrógenos de una planta industrial – Chao](#)
- Saborío Ortiz, Óscar Mario. (2023). *Modelo de sistemas electromecánicos integrados de gestión para pequeñas y medianas empresas (Pymes) en el sector industrial aplicado en La Nacional S. A., según la norma ISO 50001*. [Proyecto de Graduación para optar por la Licenciatura en Mantenimiento Industrial]. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Disponible en: [Modelo de sistemas electromecánicos integrados de gestión](#)

[para pequeñas y medianas empresas \(pymes\) en el sector industrial aplicado en La Nacional S. A. según la norma ISO 50001](#)

SMACNA. (2012). *Fitting Loss Coefficient Tables*. Retrieved from: [Tabla de pérdidas de accesorios de conducto Smacna - PDFCOFFEE.COM](#)

Soler & Palau. *Manual de ventilación*. Disponible en: [Manuales de ventilación – S&P](#)

Tejeda Romero, Ronald César y Mucha Gómez, Fredy. (2022). *Evaluación de las condiciones de ventilación para la actualización del sistema integral de ventilación Unidad Minera Yauricocha, Perú*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas] Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas, Universidad Continental, Huancayo, Perú. Disponible en: [Repositorio Continental: Evaluación de las condiciones de ventilación para la actualización del sistema integral de ventilación Unidad Minera Yauricocha](#)

Vargas Bolaños, Diana Marcela. (2021). *Propuesta de diseño de sistemas mecánicos para la instalación de bandas transportadoras, hidrociclón y criba en la planta secundaria del Quebrador Ochomogo*. [Licenciatura en Mantenimiento Industrial]. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. Disponible en: [Propuesta de diseño de sistemas mecánicos para la instalación de bandas transportadoras, hidrociclón y criba en la planta secundaria del Quebrador Ochomogo](#).