



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN MECÁNICA POR EXTRACCIÓN
DE AIRE EN EL ÁREA DE LAVANDERÍA DEL HOSPITAL GENERAL DR. JUAN
JOSÉ ARÉVALO BERMEJO, IGSS, DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Dennis Josué Pérez López

Asesorado por el Ing. Roberto Guzmán Ortiz

Guatemala, noviembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN MECÁNICA POR EXTRACCIÓN
DE AIRE EN EL ÁREA DE LAVANDERÍA DEL HOSPITAL GENERAL DR. JUAN
JOSÉ ARÉVALO BERMEJO, IGSS, DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DENNIS JOSUÉ PÉREZ LÓPEZ

ASESORADO POR EL ING. ROBERTO GUZMÁN ORTIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio César Molina Zaldaña
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN MECÁNICA POR EXTRACCIÓN
DE AIRE EN EL ÁREA DE LAVANDERÍA DEL HOSPITAL GENERAL DR. JUAN
JOSÉ ARÉVALO BERMEJO, IGSS, DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 29 de enero de 2014.



Dennis Josué Pérez López

Guatemala, 28 de octubre de 2014

Ingeniero
Julio César Campos Paiz
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor director:

Por medio de la presente quiero informarle que el trabajo de graduación titulado DISEÑO DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN MECÁNICA POR EXTRACCIÓN DE AIRE EN EL ÁREA DE LAVANDERIA DEL HOSPITAL GENERAL DR. JUAN JOSÉ ARÉVALO BERMEJO, IGSS, DE LA CIUDAD DE GUATEMALA, del estudiante Dennis Josué Pérez López, de la Carrera de Ingeniería Mecánica, quien se identifica con el carné número 200915187, ha sido revisado y concluido satisfactoriamente.

Considerando que el presente trabajo, reúne todos los requerimientos exigidos por esta facultad, por lo que me permito recomendarlo para continuar con los trámites de aprobación.

Atentamente,


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Asesor
Colegiado No. 4,465
Roberto Guzmán Ortiz
INGENIERO MECANICO
Colegiado No. 4,465



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.284.2014

El Coordinador del Área Térmica, de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN MECÁNICA POR EXTRACCIÓN DE AIRE EN EL ÁREA DE LAVANDERIA DEL HOSPITAL GENERAL DR. JUAN JOSÉ ARÉVALO BERMEJO, IGSS, DE LA CIUDAD DE GUATEMALA.** Del estudiante **Dennis Josué Pérez López**, recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Coordinador del Área Térmica
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, Octubre de 2014.



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.298.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, con la aprobación del Coordinador del Área de Complementaria del trabajo de **DISEÑO DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN MECÁNICA POR EXTRACCIÓN DE AIRE EN EL ÁREA DE LAVANDERIA DEL HOSPITAL GENERAL DR. JUAN JOSÉ ARÉVALO BERMEJO, IGSS, DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, del estudiante **Dennis Josué Pérez López**, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"




MA Ing. Julio Cesar Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, Noviembre de 2014.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN MECÁNICA POR EXTRACCIÓN DE AIRE EN EL ÁREA DE LAVANDERÍA DEL HOSPITAL GENERAL DR. JUAN JOSÉ ARÉVALO BERMEJO, IGSS, DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Dennis Josué Pérez López**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
Decano en funciones

Guatemala, noviembre de 2014



AGRADECIMIENTOS A:

**La Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi alma máter de conocimientos y brindarme conciencia de responsabilidad social que todo sancarlista debe tener con el pueblo de Guatemala.

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica, por acogerme, haberme forjado como profesional de la ingeniería y haberme llenado de vastos conocimientos.

**Instituto Guatemalteco
de Seguridad Social,
IGSS, zona 6**

Por haberme permitido realizar mis prácticas intermedias y finales en esta institución y abierto las puertas para poder llevar a cabo este trabajo de graduación.

Mi asesor

Ing. Roberto Guzmán Ortiz, por asesorarme en este trabajo de graduación, aportando sus conocimientos y consejos para poderlo llevar a cabo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. CONCEPTOS GENERALES	1
1.1. El aire	1
1.2. Ventilación	2
1.3. Funciones de la ventilación	5
1.4. Movimiento del aire	8
1.5. Condiciones de trabajo en servicios de lavandería industrial... 12	
1.5.1. Agentes físicos.....	14
1.5.1.1. Ruido	14
1.5.1.2. Iluminación	14
1.5.1.3. Climatización.....	14
1.5.2. Agentes ambientales	15
1.5.2.1. Ventilación.....	16
1.5.3. Agentes biológicos	16
1.5.3.1. Reducción de riesgos	17
1.5.3.2. Control vía dermal	17
2. TIPOS DE VENTILACIÓN.....	19
2.1. Ventilación natural.....	20

2.2.	Ventilación general mecánica (presión positiva)	23
2.3.	Ventilación general mecánica de presión negativa	25
2.4.	Ventilación exhaustiva local.....	27
2.4.1.	Extracción y tratamiento independiente de cada fuente.....	29
2.4.2.	Sistemas de ramales múltiples de alta velocidad	30
2.4.3.	Sistemas de baja velocidad con cámaras de sedimentación	31
2.5.	Combinación de ventilación general mecánica presión positiva y negativa	32
3.	VENTILADORES	35
3.1.	Ventiladores de tipo hélice.....	36
3.2.	Ventiladores de tipo axial	40
3.3.	Ventiladores de tipo centrífugos	42
3.3.1.	Ventiladores centrífugos de aspas radiales	44
3.3.2.	Ventiladores centrífugos con aspas curvadas hacia delante	46
3.3.4.	Ventiladores centrífugos con aspas curvadas hacia delante	47
3.4.	Ventiladores de techo.....	49
3.4.1.	Ventiladores de techo que funcionan por gravedad.....	50
3.4.2.	Ventiladores de techo motorizados	51
4.	MÉTODOS DE DISEÑO DE CONDUCTOS	53
4.1.	Método de igual fricción	58
4.2.	Método de recuperación de presión	66
4.3.	Método T	73

4.3.1.	Costo inicial del sistema.....	78
4.3.2.	Costo de los conductos	78
4.3.3.	Selección del ventilador y su costo	79
5.	MARCO PRÁCTICO.....	81
5.1.	Condiciones iniciales del recinto	82
5.2.	Diseño de conductos.....	84
5.3.	Selección del ventilador	113
5.3.1.	Potencia del ventilador	115
5.3.2.	Leyes de los ventiladores.....	117
5.4.	Selección del motor.....	122
5.4.1.	Potencia del motor.....	123
5.4.2.	Acoplamiento con el ventilador	125
6.	PLAN DE MANTENIMIENTO.....	131
6.1.	Plan de mantenimiento preventivo	131
6.1.1.	Rutinas de mantenimiento	131
6.1.2.	Frecuencia de mantenimiento.....	135
6.1.3.	Cronograma	136
6.1.4.	Mantenimiento de ventiladores	137
6.1.5.	Problemas en ventiladores.....	140
6.1.6.	Procedimiento para la revisión de funcionamiento del sistema de ventilación.....	141
6.1.6.1.	Cronograma de revisión	142
6.1.6.2.	Parámetros de revisión	143

CONCLUSIONES 147
RECOMENDACIONES..... 149
BIBLIOGRAFÍA 151
APÉNDICES..... 155
ANEXOS 1599

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Magnitudes relacionadas al movimiento del aire.....	11
2.	Relación velocidad de aire y presión dinámica.....	11
3.	Maneras de intercambiar calor con el medio ambiente.....	12
4.	Flujo de aire adecuado relacionado a las áreas de lavandería	16
5.	Sistema de ventilación natural	21
6.	Ventilación general mecánica de presión positiva.....	25
7.	Ventilación general mecánica de presión negativa	26
8.	Ventilación exhaustiva local	28
9.	Extracción y tratamiento independiente de cada fuente	29
10.	Sistemas de ramales múltiples de alta velocidad	31
11.	Sistemas de baja velocidad con cámaras de sedimentación	32
12.	Combinación de ventilación general mecánica presión positiva y negativa.....	33
13.	Clasificación de los ventiladores.....	35
14.	Embocadura y voluta de ventilador tipo hélice	37
15.	Ventilador de hélice de impulsor directo e impulsor de banda	38
16.	Ventiladores axiales	41
17.	Ventilador axial	42
18.	Ventilador centrífugo	43
19.	Rodete de ventilador centrífugo álabes radiales	45
20.	Rodete real de ventilador centrífugo álabes radiales	45
21.	Rodete de ventilador centrífugo álabes curvos hacia delante	46
22.	Rodete real de ventilador centrífugo álabes curvos hacia delante	47

23.	Rodete de ventilador centrífugo álabes curvos hacia atrás	48
24.	Rodete real de ventilador centrífugo álabes curvos hacia atrás	48
25.	Ventilador de techo que funciona por gravedad	50
26.	Ventilador de techo motorizado	52
27.	Representación de una parte de sistema de conductos	59
28.	Gráfico de fricción para conducto redondo ($\rho = 0,075 \text{ lbm} / \text{ft}^3$ y $\epsilon = 0.0003 \text{ ft}$)	62
29.	Gráfica relación L/Q	67
30.	Recuperación estática a baja velocidad	68
31.	Gráfico longitud equivalente para el tramo	72
32.	Plano del sistema de ventilación 1	87
33.	Plano del sistema de ventilación 2	88
34.	Tipos de acoplamiento motor-ventilador	126
35.	Plano ubicación equipos de extracción (nivel del suelo)	127
36.	Plano ubicación equipos de extracción (elevado)	128

TABLAS

I.	Composición media del aire seco	2
II.	Composición reales de aire limpio y aire contaminado	2
III.	Valores de temperatura, humedad y velocidad del aire en relación al trabajo desempeñado en una lavandería industrial	15
IV.	Velocidades aconsejables en conductos de aire por nivel de ruido (m/s) 54	
V.	Dimensiones equivalentes para ductos rectangulares	63
VI.	Condiciones climatológicas promedio en la ciudad de Guatemala	81
VII.	Cálculo de las dimensiones de los ductos del sistema de extracción número 1	92

VIII.	Cálculo de las dimensiones de los ductos del sistema de extracción número 2	92
IX.	Continuación cálculo de las dimensiones de los ductos del sistema de extracción número 1	99
X.	Continuación cálculo de las dimensiones de los ductos del sistema de extracción número 2.....	100
XI.	Cálculo de pérdidas generadas en los conductos del sistema de extracción número 1	105
XII.	Cálculo de pérdidas generadas en los conductos del sistema de extracción número 2	106
XIII.	Cálculo de pérdidas generadas por las ranuras en los conductos del sistema de extracción número 1	110
XIV.	Cálculo de pérdidas generadas por las ranuras en los conductos del sistema de extracción número 2.....	110
XV.	Estimación del costo del proyecto	129
XVI.	Frecuencia de actividades de mantenimiento preventivo	135
XVII.	Cronograma de actividades para el mantenimiento del sistema de ventilación para realizarse periódicamente en el año	136
XVIII.	Horas de servicio para cojinetes del sistema de ventilación.....	140
XIX.	Cronograma de revisiones de funcionalidad del sistema de ventilación durante el año	143

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área sección transversal
Q	Caudal
C	Coefficiente de fricción
U	Coefficiente global de transferencia de calor
E	Costo ciclo de vida sistema de conductos
E_p	Costo de energía eléctrica primer año
E_s	Costo inicial
dB	Decibeles
ρ	Densidad
D	Diámetro
USD	Dólar estadounidense
□_e	Eficiencia del motor
□_f	Eficiencia total del ventilador
f	Factor de fricción
α	Factor de material del conducto
ε	Factor de rugosidad
F_s	Factor de servicio
PWEF	Factor de valor presente
°	Grados
°C	Grado centígrado
g/m³	Gramo sobre metro cúbico
Kg/m³	Kilogramo sobre metro cúbico
kW	Kilowatts

lb_m / ft³	Libras masa por pies cúbicos
psi	Libras por pulgada cuadrada
L	Longitud
m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
m³/h	Metros cúbicos por hora
m³/s	Metros cúbicos por segundo
m/s	Metro por segundo
mm	Milímetro
mm c. d. a	Milímetros columna de agua
Re	Número de Reynolds
H_e	Pérdida en la entrada a la campana
H_f	Pérdida de presión
π	Pi
ft	Pies
CFM	Pies cúbicos por minuto
ft/min	Pies por minuto
%	Porcentaje
%Dif	Porcentaje de diferencia
MHP	Potencia del motor
BHP	Potencia del ventilador en caballos de vapor
P_v	Presión de velocidad
P_d	Presión dinámica
P_e	Presión estática
P_t	Presión total
in	Pulgadas
N	Renovaciones de aire por hora
rpm	Revoluciones por minuto

S	Sección de área
AER	Tasa de incremento anual de energía eléctrica
AIR	Tasa de interés anual
T	Temperatura
Y	Tiempo total de trabajo del sistema al año
UFC	Unidad formadora de colonias
E_{duct}	Valor del ducto
E_{fan}	Valor del ventilador
v	Velocidad
v²	Velocidad al cuadrado
V_t	Velocidad de transporte
V	Volumen

GLOSARIO

Cojinete	Elemento mecánico que soporta y gira el árbol transmisor de movimiento giratorio en una máquina.
Confort	Aquello que produce sensaciones de bienestar y comodidades en el ser humano.
Darcy	Factor de fricción usado en hidráulica.
Decibeles	Unidad de medida con la que se expresa la intensidad de los sonidos.
Densidad	Relación de la masa y el volumen de un cuerpo o sustancia.
Esporas	Células de los seres vivos que al separarse de este se dividen hasta constituir un individuo nuevo.
Factor de fricción	Parámetro adimensional utilizado para calcular la pérdida de energía en tuberías debida a la fricción.
Fatiga	En mecánica, disminución de la resistencia mecánica producida a los materiales por esfuerzos repetitivos.

Hipertermia	Aumento de la temperatura por encima de lo normal generado por fallos en el sistema de evacuación de calor.
Hipotermia	Descenso de la temperatura corporal involuntariamente por debajo de los 35 grados centígrados.
Humedad relativa	Relación del vapor de agua contenida en el aire y el vapor de agua saturada en el aire a la misma presión y temperatura.
IGSS	Instituto Guatemalteco de Seguridad Social.
Latitud	Distancia angular medida entre la línea del ecuador y un punto determinado de la Tierra, medido a lo largo del meridiano donde se encuentra dicho punto.
Luxes	Unidad del sistema internacional que se utiliza para la iluminación o el grado de iluminación.
Metabolismo	Todas las reacciones bioquímicas y fisicoquímicas producidas en las células y en el organismo.
Número de Reynolds	Número adimensional que caracteriza el movimiento de un fluido.
Pascales	Unidad de medida de presión en el sistema internacional de unidades.

Polinización	Proceso de transferencia del polen para que este fecunde, lográndose la reproducción de las plantas, por lo general.
Potencia	Cantidad de trabajo que puede ser realizado en determinado tiempo.
Ramales	Uno de los distintos brazos o derivaciones en que está dividido un sistema de conductos hidráulicos.
Rodete	Tipo de rotor instalado dentro de una tubería o conducto encargado de generarle movimiento al fluido.
Saturación	Estado de una mezcla que ya no acepta más cantidad de la sustancia que está siendo diluida.
Sublimación	Proceso en el que se produce cambio de estado sólido a gaseoso sin pasar por el estado líquido.
Vapor de agua	Gas obtenido por la evaporación del agua líquida o por la sublimación del hielo.
Viciado	Aire que se encuentra cargado o no ha sido renovado de sus impurezas en un lugar cerrado.
Viscosidad	Oposición de un fluido a ser deformado tangencialmente o fluir. Se reduce con el aumento de la temperatura.

RESUMEN

Para poder realizar la ventilación por medios mecánicos se utilizan ventiladores, los cuales son los encargados de producir una corriente de aire. Con los ventiladores se logra distribuir aire en lugares en los que se requiere llevar a cabo la renovación de esta para producir la ventilación.

Con el propósito de proporcionar condiciones de confort a un recinto, es importante que la distribución de aire en este sea adecuada, para que todo el volumen contenido de aire en un local sea removido por medio de la renovación. Este aspecto en la ventilación es de los que menor importancia recibe, por lo sencillo que parece, sin embargo, al momento de elegir el tipo de ventilador, tamaño y consideraciones económicas, aerodinámicas y la capacidad que tenga de adaptarse al sistema, se debe lograr que se distribuya correctamente en el lugar. Para poder obtener una distribución adecuada de aire, se debe tomar en cuenta la velocidad y temperatura del aire en el lugar, por lo que es importante seleccionar equipos que sean capaces de satisfacer las necesidades requeridas por el sistema.

Esto se lleva a cabo por la elección correcta del tipo de equipo a instalar, tomando en cuenta las características que el sistema necesita y las disposiciones que se tienen de acoplamiento. Para el Área de Lavandería, por la ubicación de esta en el edificio, no se puede utilizar la ventilación natural, motivo por el cual, el diseño se realizó a través de medios mecánicos.

Para utilizar la ventilación mecánica para el área, se dispone de un sistema que inyecta aire al recinto, pero por motivos de arquitectura del local no

hay manera de que el aire salga naturalmente, es por esto que se llevará a cabo el diseño del sistema de extracción para que la ventilación sea efectiva en esta área. Con esto se logrará que los contaminantes almacenados en el lugar como: gases, malos olores, partículas en suspensión, humedad y alta temperatura sean evacuados por medios mecánicos.

La distribución de los conductos que se utilizan para el sistema de ventilación debe ser diseñada adecuadamente, para que genere las menores pérdidas por fricción. Al momento de elegir el ventilador y motor sean los indicados para consumir la menor cantidad de energía eléctrica posible, para reducir el gasto por consumo de energía.

Los ventiladores se clasifican por medio de sus características, siendo principalmente por la naturaleza de su flujo en el rodete. La selección del ventilador se lleva a cabo por medio del caudal de aire a mover, el diámetro de la entrada del ventilador y la presión estática que debe vencer este. El motor a utilizar como medio para producir energía mecánica está, principalmente elegido por el tipo de ventilador al que será acoplado. Este se elige por medio de la capacidad para hacer girar el ventilador.

Es importante contar con un Plan de Mantenimiento Preventivo para conservar el sistema, y que las fallas que puedan ser generadas por el uso sean reducidas o eliminadas en su totalidad.

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema de ventilación mecánica por extracción de aire para el Área de Lavandería del Hospital Dr. Juan José Arévalo Bermejo, para que la ventilación sea eficiente y con ello brindar confort al personal que labora en dicha área.

Específicos

1. Conocer los métodos, variables o factores a tomar en cuenta para realizar el diseño del sistema.
2. Conocer la situación actual del área como medio de ventilación.
3. Analizar el tipo de ventiladores y extractores con los que se puede dotar el área.
4. Diseñar un sistema de ductos con los que se realizará la conducción del aire a extraer.
5. Diseñar un Plan de Mantenimiento Preventivo adecuado, para que el sistema se conserve.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las instituciones operan de manera que el desarrollo de las actividades realizadas dentro de estas, tengan la capacidad de producir la máxima cantidad de trabajo o se logre proporcionar mayor calidad de servicio en todo ámbito por medio de sus capacidades, aptitudes, habilidades y destrezas. Pero, para lograr obtener esto es necesario que la base principal de la calidad en servicios, que es el capital humano que opera, debe contar con las condiciones necesarias mínimas para que su trabajo sea productivo y eficiente.

El presente trabajo se basa, principalmente, en el diseño de un sistema de ventilación por extracción mecánica para el Área de Lavandería del Hospital General Dr. Juan José Arévalo Bermejo, IGSS, de la ciudad de Guatemala. El objetivo es contar con un sistema que sea capaz de brindar el confort necesario al personal del área, ya que, en esta se produce un exceso de calor por la maquinaria utilizada en el lugar y las condiciones en que se opera. Debido a esto las actividades realizadas por los operarios se ven afectadas por la incomodidad del ambiente, produciendo deficiencias operativas, retardos en las labores del servicio, lentitud, y en ocasiones el paro de actividades de algún operario, por lo desesperante que se puede volver el ambiente dentro del recinto.

El diseño es un sistema de ventilación mecánica por extracción, que tenga la capacidad de generar las renovaciones de aire suficiente en el recinto para que la ventilación sea efectiva para las personas que laboran en el referido lugar.

Asimismo, brindar una ventilación eficiente, ya que en esta área se lleva a cabo el proceso de lavado, secado, planchado y doblado de la ropa utilizada en el hospital.

Es importante la ventilación en este lugar, por la acumulación de calor generado, debido a la cantidad de maquinaria utilizada, porque estas operan básicamente a vapor, además, efectos fisiológicos de las personas que ahí laboran, y principalmente, por la inexistencia de circulación de aire capaz de ventilar el local.

En el diseño del mismo se tomaron en cuenta las variables necesarias para que el sistema opere adecuadamente para lo requerido. El funcionamiento será efectivo siempre que se opere de manera correcta, así como el mantenimiento indicado para que la vida útil de este sea prolongada y que las reparaciones o cambio de elementos que han fallado, produzcan el menor costo posible, razón por la cual el mantenimiento preventivo será indispensable para que el sistema se conserve por más tiempo.

1. CONCEPTOS GENERALES

1.1. El aire

El aire es un compuesto de elementos que envuelven la Tierra y constituyen la atmósfera terrestre, es indispensable para la vida de los seres vivos como los humanos, vegetación y animales.

Está compuesto de una mezcla de gases en proporciones que varían ligeramente unas con otras, notándose que siempre se encuentra en las mismas cantidades, siendo el nitrógeno el elemento neutro vital para la vida animal y el oxígeno que es de suma importancia para la vida de todo ser.

En la composición del aire se puede mencionar que contiene en menores proporciones dióxido de carbono, metano, argón, óxido de nitroso, vapor de agua. Así como sustancias generadas en la tierra como polen, polvo, cenizas y esporas. También los gases contaminantes que son liberados a la atmósfera como: mercurio, flúor, los compuestos de azufre, cloro.

El aire se encuentra en estado seco cuando no contiene nada de humedad (vapor de agua), posee determinada humedad dependiendo de las condiciones del lugar en el que se ubican los individuos, por lo cual, la cantidad de humedad en el aire es condicionante para el confort de las personas.

A continuación, en las tablas I y II se muestra la composición media del aire en estado seco, así como la de aire limpio y contaminado.

Tabla I. **Composición media del aire seco**

COMPONENTES DEL AIRE SECO					
(1'2928 kg/m ³ , a 0 °C 760 mm)					
	Símbolo	En volumen %	En peso %	Contenido en el aire, g/m ³	Peso específico kg/m ³
Nitrógeno	N ₂	78'08	75'518	976'30	1'2504
Oxígeno	O ₂	20'94	23'128	299'00	1'428
Argón	Ar	0'934	1'287	16'65	1'7826
Anh. carbónico	CO ₂	0'0315	0'4.10 E ⁶	0'62	1'964
Otros		0'145	0'0178	0'23	-

Fuente: SOLER & PALAU. *Manual práctico de ventilación*. p. 5.

Tabla II. **Composición reales de aire limpio y aire contaminado**

	AIRE LIMPIO, g/m ³	AIRE CONTAMINADO, g/m ³ Medida anual en una gran ciudad
Óxido de carbono CO	max. 1000	6.000 a 225.000
Dióxido de carbono CO ₂	max. 65.104	65 a 125.104
Anhidrido sulfuroso SO ₂	max. 25	50 a 5.000
Comp. de nitrógeno NO _x	max. 12	15 a 600
Metano CH ₄	max. 650	650 a 13.000
Partículas	max. 20	70 a 700

Fuente: SOLER & PALAU. *Manual Práctico de Ventilación*. p. 5.

1.2. Ventilación

Es el proceso por el cual se sustituye una porción de aire viciado indeseable que se acumula dentro de un recinto, por una porción de aire

exterior que aporta mejores características, nivelando los requerimientos de temperatura, humedad, partículas en suspensión y olores.

La ventilación está directamente relacionada con el control del ambiente de lugares que lo requieran, debido a que en espacios que cuentan con un sistema ineficiente de ventilación, o en locales en los cuales la ventilación es nula por el lugar en el que se sitúa, no presentan las condiciones necesarias para que se dé cambios de aire de forma natural.

La principal función de la ventilación es de reducir y/o eliminar las impurezas que se acumulan en el ambiente, estas se dividen en impurezas mecánicas como: las partículas sólidas en suspensión y las impurezas químicas, tales como: gases o vapores, las cuales en determinadas cantidades en el aire altera la composición química de este.

Entre las impurezas mecánicas están:

- Polvo: por lo general, se utiliza este término para las partículas sólidas mayores a las coloidales que son capaces de formar una suspensión, el polvo suele ser formado por partículas desprendidas de materiales como los textiles, así también puede ser generado por procesos en los cuales genere movimiento y desprendimiento de partículas.
- Polen: es catalogado como polvo, ya que algunas plantas se reproducen transportado de una a otra para que se produzca el proceso de la polinización. Mientras esto se da, el polen se encuentra en el ambiente, por lo cual es tomado como partículas sólidas en suspensión.

- Cenizas: son el producto de la combustión de un material y está constituido principalmente, por sustancias inorgánicas no combustibles, una parte de los residuos de la combustión quedan en el lugar donde ha sido quemado, mientras que otra es emanada al aire formando parte del humo generado.

Entre las impurezas químicas están:

- Vapores: son los gases generados por la aplicación de energía calorífica a algún líquido (en el caso del agua), es generado cuando una sustancia se encuentra por debajo de su temperatura crítica. El vapor es todo aquel gas que se puede condensar por presurización a temperatura constante o por enfriamiento a presión constante.
- Neblinas: se generan por medio de un fenómeno meteorológico el cual se da por medio de la adhesión de gotitas muy pequeñas de agua en la atmósfera las cuales se concentran en el ambiente generando una suspensión. Se considera la diferencia entre neblina y niebla por la intensidad de las partículas las cuales se relacionan con el grado de visibilidad.
- Humos: estos son una suspensión en el aire de diminutas partículas, resultantes por la combustión incompleta de algún material combustible, es generado en motores de combustión de gasolina o diésel, fogatas y brasas.

Es importante tomar en cuenta que en un lugar donde no se produce corriente de aire por algún medio, este se saturará en su temperatura y humedad.

Debido a la falta de ventilación en lugares donde hay concentración de personas, se produce fatiga en el personal, así como pérdida de atención a lo que realizan, paro de labores más frecuentes, desesperación; situaciones que pueden producir accidentes laborales. Los sitios donde se genera una cantidad de polvos o vapores que pueden perjudicar a las personas, es de suma importancia tomar en cuenta la instalación de sistemas de ventilación locales para eliminar estos agentes nocivos.

1.3. Funciones de la ventilación

La ventilación se convierte en parte importante para los seres vivos, las personas, principalmente, debido a que para la supervivencia se requiere del suministro de oxígeno para la respiración y, a la vez, por el movimiento de aire que se genera, controlar el calor que producen los cuerpos debido a sus funciones metabólicas, con esto se controlan las condiciones del ambiente para obtener confort por medio de la variación de temperatura, humedad, velocidad de aire y la eliminación de olores generados en el ambiente.

En lugares donde se utiliza maquinaria o se realizan procesos industriales, la ventilación permite controlar la toxicidad del lugar, en el caso de maquinaria que trabaja con base en combustión o a la explosividad que se pueda generar en un recinto por medio de los procesos realizados en él. Con la ventilación de estos lugares se garantizaría, en el mayor de los casos, la salud del personal que labora o se encuentra en dichos ambientes.

En el caso de ventilar un recinto, se debe de tomar en cuenta factores importantes para que esta sea la adecuada, siendo principalmente los siguientes:

- La funcionalidad que debe tener: tomando en cuenta qué se va a ventilar (sólidos en suspensión, tóxicos a diluir, cantidad de calor en el ambiente, etc.)
- El cálculo de aire que se debe de remover: tomando en cuenta que se puede inducir, extraer o inducir-extraer aire de un recinto según sean las condiciones de este.
- Establecer cuál será el medio por el que se estará transportando el aire que se inducirá o extraerá al recinto.

Los efectos generados en el organismo humano por el exceso de calor y humedad, deben ser balanceados por requerimientos fisiológicos de las personas para contrarrestar la probabilidad de enfermedades y con esto brindar un ambiente sano para los individuos.

En condiciones donde el clima es perjudicial y con la agregación de calor y humedad, debido a los procesos que se realizan en el mencionado sitio, el cuerpo humano es incapaz de eliminar el calor generado por los procesos metabólicos propios de las personas; a la rapidez con que aumenta y a la exposición prolongada y desmedida de las condiciones del ambiente generarán reacciones contraproducentes a las personas.

El cuerpo humano está regido por las leyes físicas como cualquier otro, y pueden ser aplicables las leyes de transferencia de calor entre objetos o cuerpos sólidos y estos con el ambiente. Los valores principales que intervienen en estas leyes son varios, pero solo se analizarán los esenciales.

- Efectos fisiológicos: el organismo se expone a cada momento al calor, cuando esto ocurre, entran en función sus sistemas para regular y equilibrar la temperatura corporal y controlar este equilibrio del cuerpo por medio de tres factores: sudoración, convección y radiación.

- Sudoración: por medio de la sudoración, el cuerpo humano reduce su carga calorífica, a través del sudor evaporado. La evaporación del sudor se produce eficientemente cuando la humedad relativa del aire se encuentra balanceada, en el caso de que el aire se encuentra saturado de agua, este no podrá retirar el sudor producido por el cuerpo, por lo tanto, las energías utilizadas para la producción de este serán empleadas en vano. Como efecto adverso a la producción de sudor, es la eliminación de sales minerales utilizadas por el organismo. Si las sales que se están eliminando no son restablecidas al organismo, se producen las consecuencias del aumento de temperatura corporal, aceleración del ritmo cardíaco, disminución de la presión arterial y deshidratación; provocando el colapso del cuerpo.

- Convección: este medio de transferencia de calor es por el cual el cuerpo humano disminuye su temperatura cuando entra en contacto con un fluido, en el caso del aire; para que la convección sea efectiva es necesario que el aire del ambiente que rodea al cuerpo tenga menor temperatura que este. En el caso de que el aire del ambiente tenga temperatura mayor al cuerpo, este se calentará aumentando su temperatura.

- Radiación: se da cuando el intercambio de calor entre dos cuerpos se produce por medio del tránsito de ondas de energía radiante, las cuales son transmitidas de un cuerpo de mayor temperatura a uno de menor temperatura y viceversa, produciéndose una interacción de rayos infrarrojos que son el medio por el cual se da la radiación.
- Metabolismo: es el conjunto de procesos bioquímicos y físico-químicos que se producen en el organismo, esta transformación en el cuerpo humano genera calor por medio del consumo de energías y se da, principalmente, cuando el cuerpo está bajo trabajo.

1.4. Movimiento del aire

El aire que cubre la Tierra no es una masa sin movimiento, sino que este siempre está en movimiento. Esto ocurre debido a que la energía solar en la superficie de la Tierra es desigual y por los movimientos del sistema solar regidos por la mecánica del sistema.

En lugares cerrados en los que no se produce ninguna corriente de aire, no existe renovación de este naturalmente, es por ello que se utilizan sistemas mecánicos para generar la renovación de aire dentro de los sitios sin medios naturales. Los métodos para crear corrientes de viento se pueden proporcionar por medio de inducción, extracción e inducción-extracción.

Para poder llevar la corriente de aire a un recinto el cual se encuentra aislado, o su ubicación no presenta condiciones para poder optar por un medio

cercano a este para poder generar movimiento de aire, se utilizan conductos los cuales son importantes en el transporte de aire.

El movimiento del aire dentro de conductos se puede observar y medir las siguientes variables:

- Caudal: es la cantidad de aire que circula en relación del tiempo, Q (m^3/h).

$$Q = 3600vS \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

S = sección del conducto (m^2)

v = velocidad del aire (m/s)

- Presión: para que el aire circule, se necesita de una determinada fuerza que lo empuje, a esta fuerza por unidad de superficie se le denomina presión. Existen tres tipos de presión, las cuales se describen a continuación.
 - Presión estática P_e : esta presión es la ejercida en todas direcciones dentro del conducto, se ejerce en dirección del aire, contraria y perpendicular a este, en las paredes del conducto.

En recipientes cerrados con el aire en reposo también se presenta este tipo de presión. La presión estática es positiva cuando es mayor a la atmosférica y negativa si es menor.

- Presión dinámica P_d : esta presión es la que acelera el aire desde cero a la velocidad de régimen. Su presencia es solo en la dirección del aire y se relaciona con la dirección de este, se calcula por medio de las fórmulas:

$$P_d = \frac{v^2}{16} \text{ (mm c. d. a)} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

$$v = 4\sqrt{P_d} \text{ (m/s)} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

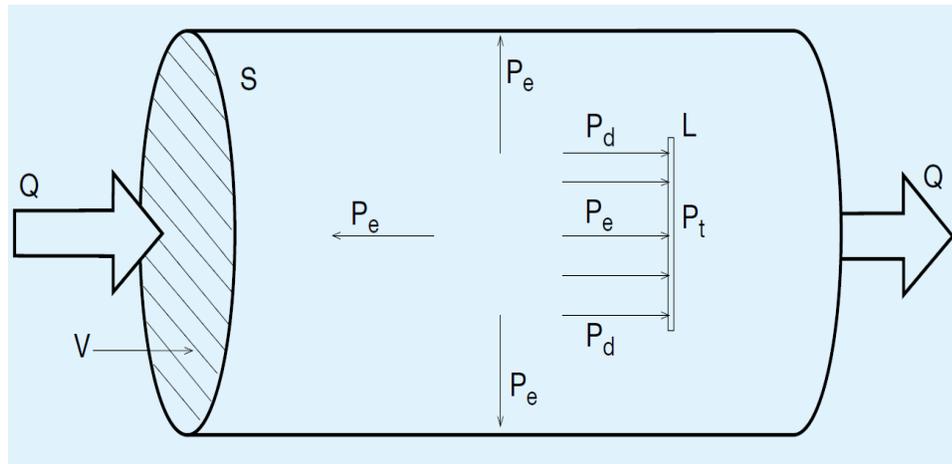
La presión dinámica siempre es positiva. En la figura 2 se puede observar la relación de la velocidad del aire y su presión dinámica.

- Total P_t : esta presión es la que ejerce el aire sobre un cuerpo que se opone a su movimiento. Se representa en la figura 1, ejercida sobre la lámina L que es opuesta en dirección al aire. Esta presión es la sumatoria de las dos antes expuestas.

$$P_t = P_e + P_d \quad \text{(Ecuación 4)}$$

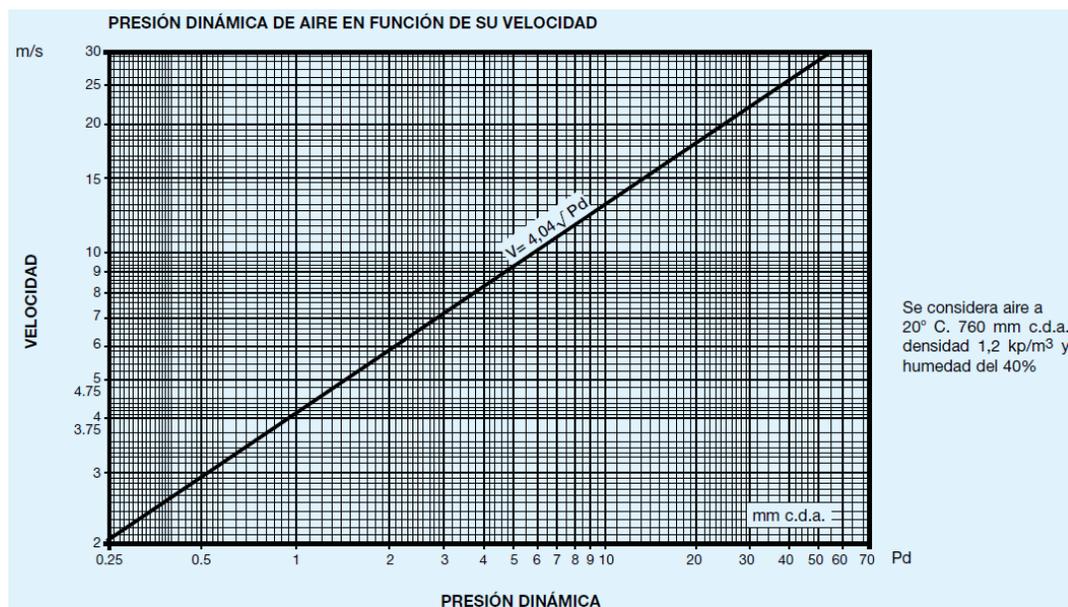
Esta expresión en hidráulica recibe el nombre de ecuación de Bernoulli.

Figura 1. **Magnitudes relacionadas al movimiento del aire**



Fuente: SOLER & PALAU. *Manual práctico de ventilación*. p. 6.

Figura 2. **Relación velocidad de aire y presión dinámica**



Fuente: SOLER & PALAU. *Manual práctico de ventilación*. p. 7.

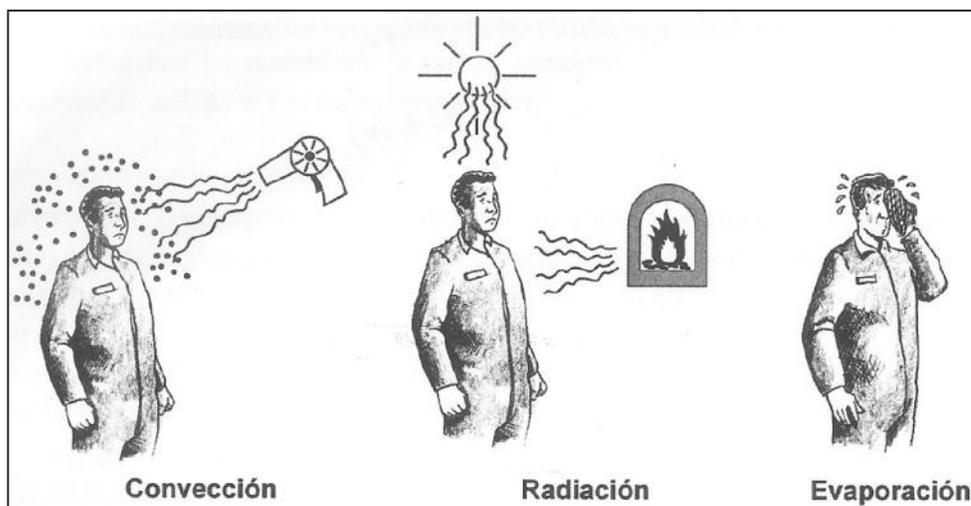
1.5. Condiciones de trabajo en servicios de lavandería industrial

El aumento de temperatura afecta negativamente a las máquinas, especialmente a sus partes electrónicas. En el ser humano, la temperatura afecta negativamente al momento de realizar algún trabajo, ocasionando malestar en el personal, así como riesgos en sus actividades.

Todo ser humano cuenta con mecanismos de autorregulación de temperatura interna para que permanezca alrededor de 37 °C, si esta temperatura aumenta a 40 °C se produce hipertermia y, si disminuye a 35 °C se produce hipotermia.

Al intercambio de temperatura que se lleva a cabo entre el ser humano y el medio ambiente, se puede realizar por medio de convección, radiación, evaporación, conducción y respiración.

Figura 3. **Maneras de intercambiar calor con el medio ambiente**



Fuente: Artículo Fábulas. *Nuestra querida lavandería*. p. 2.

El estado térmico del lugar de trabajo afecta de manera directa e indirecta a la salud del operario, así como a su rendimiento. Industrialmente, en tareas realizadas en lavanderías, el cuidado y concentración son muy importantes para que las unidades de ropa en las máquinas mantengan la fluidez necesaria del proceso. Por esta situación existen normas que limitan algunos factores para proporcionar el confort térmico necesario.

- Velocidad local del aire: durante la época de invierno la temperatura del recinto debe de estar entre 20-24° con una velocidad de aire que no supere los 0,15 metros por segundo. Durante el verano el rango de temperatura se debe de localizar entre 23-26° y la velocidad del aire a 0.25 metros por segundo.
- Asimetría radiante: cuando la radiación es repartida desigualmente en el cuerpo, como cuando se está al lado de maquinaria caliente. Si la radiación se recibe de superficies verticales, el límite de asimetría es de 10 °C y, si es emanada de una superficie horizontal la asimetría debe ser menor a 5 °C.
- Diferencias verticales de temperatura: la diferencia de temperatura corporal entre la cabeza y los tobillos no debe de superar los 3 °C, en caso contrario se podría producir mareos en las personas.

Las condiciones ambientales del lugar de trabajo no deben ser riesgosas en cuanto a seguridad y salud de los trabajadores. Así como las condiciones ambientales del recinto no deben ser incómodos o molestos para el personal, es por esto que se deben de considerar los agentes físicos, ambientales y biológicos.

1.5.1. Agentes físicos

Son los principales elementos por los que se deben comenzar a tomar en cuenta al momento de evaluar un área de trabajo.

1.5.1.1. Ruido

Las personas encargadas de la producción en la lavandería no deben de estar expuestas a un máximo tolerable de 85 decibeles, durante una jornada laboral de 8 horas diarias con ruido continuo.

1.5.1.2. Iluminación

Toda área donde se lleve a cabo el lavado debe tener un valor mínimo de iluminación de 200 luxes, teniendo en cuenta que el servicio deberá de contar sobre el plano de trabajo con una iluminación de 300 luxes.

1.5.1.3. Climatización

Para lograr un ambiente climatológicamente aceptable para el desempeño del personal se deben de tomar en cuenta ciertas situaciones, entre las que se pueden mencionar: tomar acciones sobre las fuentes de calor (focos de calor), disponer de un sistema de ventilación local adecuado para impedir el calentamiento del aire, tomar en cuenta las necesidades metabólicas del personal proporcionándoles una hidratación adecuada, vestuario indicado, rotación de puestos y turnos cortos.

A continuación se muestra la tabla III expresando los valores de temperatura, humedad relativa y velocidad del aire relacionado al tipo de trabajo que se realiza en el Área de Lavandería.

Tabla III. Valores de temperatura, humedad y velocidad del aire en relación al trabajo desempeñado en una lavandería industrial

Trabajo	Temperatura óptima (°C)	% de humedad	Velocidad del aire (m/s)
Trabajo intelectual o físico en posición sentada.	18 a 24	40 a 70	0,1
Trabajo medio o de pie.	17 a 22	40 a 70	0,1 a 0,2
Trabajo duro	15 a 21	30 a 65	0,4 a 0,5
Trabajo muy duro	12 a 18	20 a 60	1 a 1,5

Fuente: Caja Costarricense de Seguro Social. *Manual de operación para el procesamiento de ropa usada hospitalaria en la caja costarricense de seguro social.* p. 83.

1.5.2. Agentes ambientales

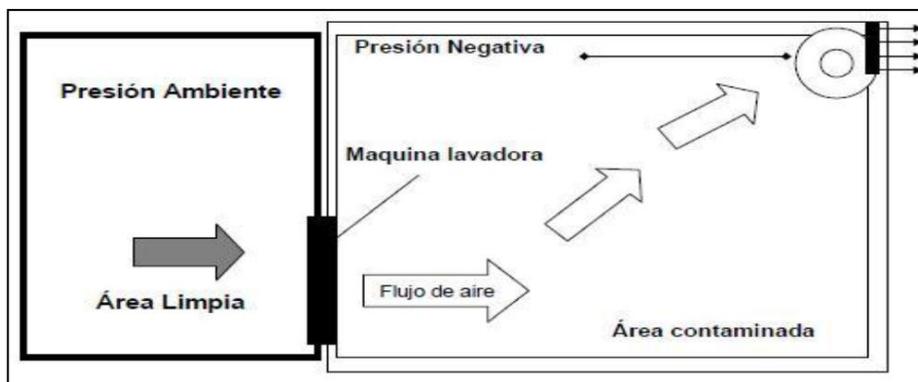
Los elementos que se encuentran en el ambiente de una lavandería industrial, son una combinación de olores, motas y agentes químicos usados en el proceso como desengrasantes y suavizadores, los cuales son utilizados para el lavado de ropa. Todos estos elementos en el ambiente deben de ser controlados de alguna manera, para evitar acumulación excesiva que pueda generar reacciones negativas en el personal.

1.5.2.1. Ventilación

El área donde se lleva a cabo el lavado, debe de dividirse en dos grandes áreas, una sucia donde se manipula la ropa sucia y otra limpia para el procesamiento de la ropa limpia. Se debe tomar en cuenta que el área donde se encuentra la ropa sucia contará con una presión de aire negativa en relación al área de ropa limpia.

La ventilación para poder brindar los requerimientos necesarios, preferiblemente debe de incluir una adecuada entrada de aire, teniendo renovaciones de 5 a 10 recambios de aire por hora.

Figura 4. Flujo de aire adecuado relacionado a las áreas de lavandería



Fuente: Caja Costarricense de Seguro Social. *Manual de operación para el procesamiento de ropa usada hospitalaria en la caja costarricense de seguro social.* p. 83.

1.5.3. Agentes biológicos

Principalmente se enfoca en aquellos agentes que se originan para formar infecciones y enfermedades, entre estos se pueden mencionar: las bacterias,

virus y hongos. Estos agentes poseen la habilidad de afectar la salud de los humanos de diferentes maneras, creando desde reacciones alérgicas hasta enfermedades que puedan generar la muerte. Estos organismos son capaces de sobrevivir con pocos recursos, se reproducen rápidamente y se encuentran en cualquier ambiente que sea propicio para su reproducción.

1.5.3.1. Reducción de riesgos

Para poder llevar a cabo la reducción de riesgos de los agentes biológicos, el personal debe de cumplir con las indicaciones especificadas al momento de ingresar, salir y al estar en el Área de Producción.

Entre las instrucciones que se deben dar al personal para el control de los riesgos de agentes biológicos, se puede mencionar: constante capacitación en técnicas de bioseguridad, brindar un programa de inmunización para el personal, manipular correctamente los objetos punzocortantes y verificar que el personal cumpla con el lavado periódico de manos, así como la limpieza de las áreas de trabajo.

1.5.3.2. Control vía dermal

Los encargados del Área de Lavandería deben coordinar el control de infecciones hospitalarias con el recuento de agentes formadores de colonias de bacterias, las cuales no deben de superar los valores estandarizados de 1X100 UFC en los espacios y áreas donde el personal realiza sus labores, así como controlar la cantidad de partículas en suspensión del ambiente o polución, temperatura del ambiente, humedad y movimiento del aire del lugar.

2. TIPOS DE VENTILACIÓN

La ventilación es un punto muy importante a tomar en cuenta en todo ámbito industrial, principalmente en lugares donde opera el personal debido a que en estas áreas incurre en gran medida la probabilidad de daños a la salud de las personas.

El aire, que es utilizado para la respiración de las personas debe tener la calidad necesaria para no causar daños a la salud de estas. Este debe poseer una calidad necesaria para impedir que genere alteraciones a la salud de las personas, evitando que contenga elevada concentración de contaminantes, entre los que destacan: humo, gases, vapores, polvo, detergentes y calor emanado por las personas que laboran en el área, debido a procesos metabólicos propios del ser humano.

Para reemplazar el aire viciado de un lugar donde se llevan a cabo procesos industriales, se piensa en ventilación, pero se debe de analizar qué tipo de ventilación es la adecuada, tomando en cuenta las condiciones del recinto que se debe ventilar. El proceso de ventilación consiste, principalmente, en renovar el aire del interior de un sitio reemplazándolo por aire exterior fresco que mejore las características necesarias de confort, para el beneficio del proceso y de los operarios.

La renovación del aire viciado de un recinto puede llevarse a cabo de dos maneras:

- Renovación natural: consiste en sustituir el aire interior de un lugar sin la necesidad de instalación alguna, debido a que el diseño del sitio presenta las condiciones necesarias para que esto se lleve a cabo.
- Renovación artificial o forzada: esta se puede dar de dos maneras:
 - Renovación forzada estática: depende de algún tipo de instalación para poder generar corrientes de aire con las que evacuará el aire viciado.
 - Renovación forzada dinámica: depende, principalmente de instalaciones de impulsión y/o extracción, para generar una depresión o sobre presión en el lugar.

2.1. Ventilación natural

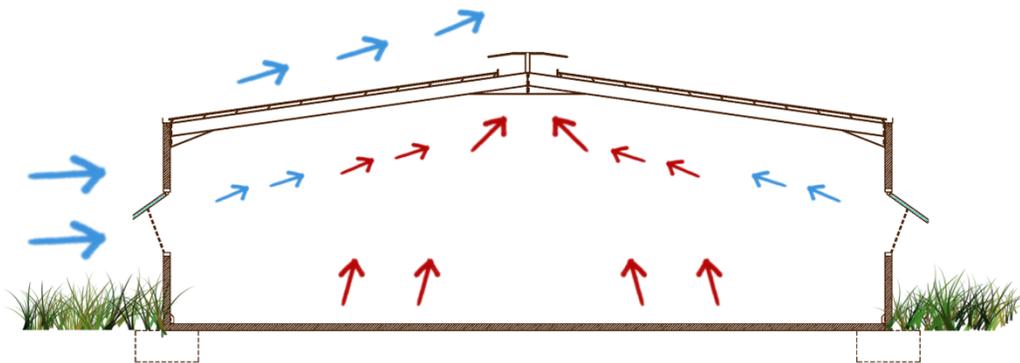
La ventilación natural es el medio por el cual se eliminan los excesos de calor en el interior de lugares, principalmente es usada en climas cálidos. Este tipo de ventilación se da, principalmente, en muros exteriores opuestos que generan la formación de flujos de aire cruzados.

Para lograr que la ventilación natural cumpla con lo requerido, los muros abiertos deben ser orientados en dirección al área donde el flujo de aire es dominante hacia el entorno. Pero un aspecto muy importante a tomar en cuenta es el de controlar que la pérdida de calor producida sea la apropiada para brindar la sensación de confort del personal.

Se debe de tomar en cuenta que las juntas de las aperturas en los muros para ventilar deben de ser tratadas adecuadamente, para que las infiltraciones de aire sean controladas en momentos que el viento aumenta considerablemente.

La ventilación natural no permite que la regulación de temperatura sea la adecuada en momentos que la temperatura fluctúa bruscamente. Este tipo de ventilación no asegura un caudal de aire removido, es por esto que no es posible regular la temperatura ambiental del interior del lugar, por tal motivo se toma, en muchas ocasiones, la ventilación por medios mecánicos.

Figura 5. **Sistema de ventilación natural**



Fuente: Sistema de ventilación natural de una nave. <http://www.construnatura.com/esp/articulo>.
Consulta: 23 de junio de 2014.

Este tipo de ventilación funciona, principalmente con el aprovechamiento de los medios naturales que dispone el lugar, entre los que se pueden mencionar: energía cinética del viento, el tiro natural generado por la diferencia de temperaturas del aire interior del recinto con el exterior, dependiendo de las condiciones atmosféricas, diseño del lugar, orientación y localización de este.

La temperatura generada por la acumulación de calor en lugares donde se realizan procesos industriales, generalmente es superior a la del aire del exterior, por medio de esta variación de temperaturas se obtiene una columna de aire exterior más pesada que la columna de aire interior y esta diferencia de peso, relacionada a un área determinada, realiza una diferencia de presiones la cual es conocida como tiro natural que genera un flujo de aire del exterior al interior del recinto por medio de las aberturas que el lugar tiene, entre las que se pueden mencionar: puertas, ventanas y ranuras presentes en el local.

Se logra obtener un tiro natural de mayor eficiencia, para realizar la ventilación, cuando la diferencia de temperaturas es mayor y las áreas por donde el aire circula (entrada y salida) son relativamente iguales, aunque teóricamente el área de la salida debe ser mayor que la de entrada porque el volumen de aire que sale es mayor en este punto, que el que está entrando, por la expansión que se genera debido al aumento de temperatura.

El medio principal por el que se realiza la ventilación natural es la colocación de ventanas, por tal motivo estas deben ser colocadas tanto longitudinalmente como frontalmente para que la ventilación deseada sea la adecuada debido a que el viento varía en la mayoría de las veces. De esta manera se aprovecharía la dirección del flujo de aire, porque cuando este sopla paralelamente al lado longitudinal se estaría aprovechando el lado frontal, y a la inversa se lograría el mismo efecto.

La distribución de ventanales en las edificaciones debe aprovechar los lugares de presión y vacío con la ubicación de ventanas de entrada y salida para lograr obtener la acción combinada de estos efectos y con esto poder generar una ventilación cruzada dentro del lugar que se desea ventilar y con esto se reduciría la creación de bolsas de aire dentro de este.

Las áreas donde se localiza la baja presión son las próximas a las aristas de la pared que están perpendiculares al flujo del aire, las áreas donde hay vacío serán las paredes que se encuentran longitudinalmente respecto a la dirección del viento. Con la combinación de estos efectos se producirá la ventilación cruzada al momento de abrir las ventanas, disminuyendo la presión y el vacío.

El flujo de aire puede ser controlado en cantidad y dirección al cambiar el área donde pasa el flujo.

2.2. Ventilación general mecánica (presión positiva)

La ventilación mecánica, también es conocida como ventilación dinámica, debido a que el movimiento del aire se logra por medios mecánicos, comúnmente por ventiladores accionados por motores eléctricos. La ventilación mecánica se subdivide según la forma en que el aire es renovado en:

- Ventilación ambiental o general
- Ventilación localizada

En la ventilación mecánica general, el aire introducido se dispersa en todo el espacio antes de lograr salir, es por eso que cuando existe un centro que genera contaminación, esta se dispersa en todo el ambiente antes de salir al exterior. La ventilación mecánica general se subdivide en

- Ventilación mecánica general de presión positiva
- Ventilación mecánica general de presión negativa
- Combinación de las anteriores

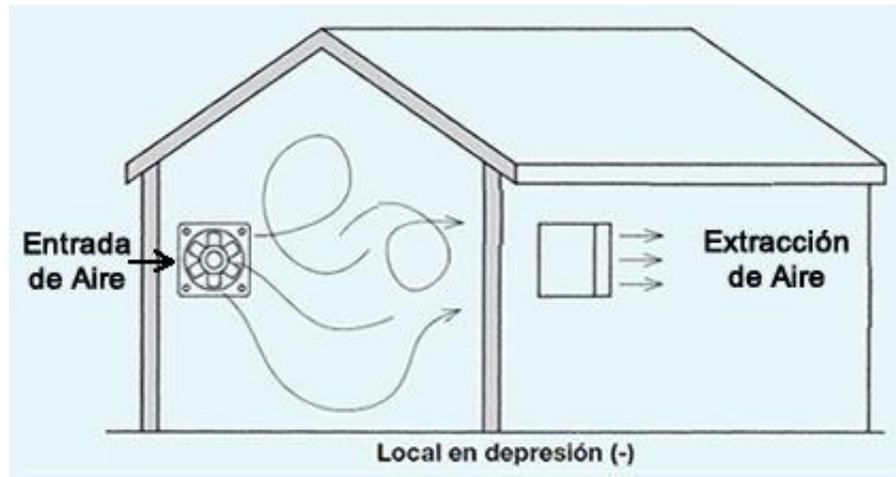
El motivo principal de este apartado es el estudio de la ventilación mecánica general de presión positiva, la cual se lleva a cabo por la inyección de aire por medios mecánicos a un local, lo cual genera una sobrepresión interior con relación a la presión atmosférica. Por este motivo, el aire sale del recinto hacia el exterior por las ranuras, ventanas o puertas.

Mediante el flujo de aire, este a su paso por el lugar barre con los contaminantes del interior y deja el ambiente lleno de aire del exterior.

Las ventajas brindadas por el sistema de ventilación por inyección es que el aire introducido al recinto se lleva a cabo de manera positiva por medio de ventiladores, lo cual brinda la ventaja de poder controlar la distribución en el lugar, el volumen a introducir y la velocidad con la cual se conducirá el aire.

El aire que entra se puede limpiar y calentar si es necesario para mejorar sus características, además que con el sistema de ventilación por inyección de aire se puede llevar a cabo el proceso de recirculación de aire en época invernal. Una ventaja de este sistema es que la sobrepresión generada en el interior del lugar, tiende a evitar que exista entrada de aire en lugares donde no convenga y evita que existan infiltraciones.

Figura 6. **Ventilación general mecánica de presión positiva**



Fuente: Ventilación general mecánica. http://abaco.com.co/ventilacion_mecanica.html.

Consulta: 23 de junio de 2014.

2.3. **Ventilación general mecánica de presión negativa**

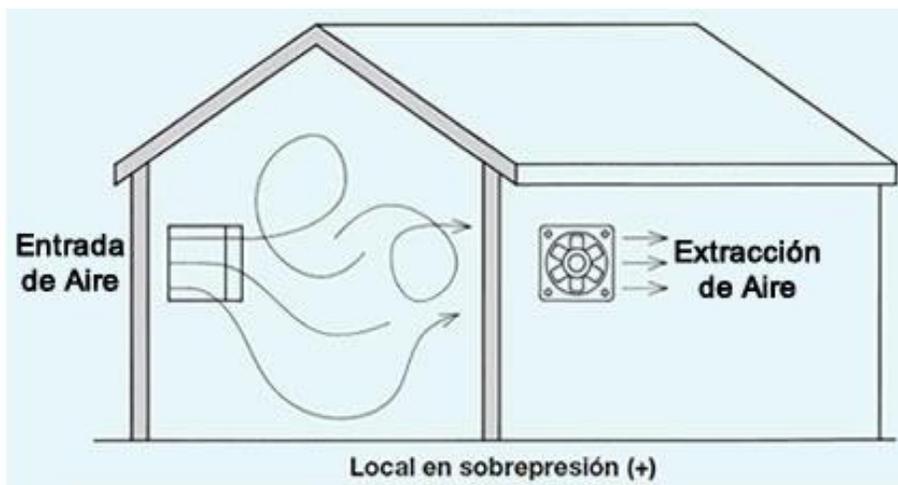
Este tipo de ventilación es el que se genera por medio de la extracción de aire de un recinto, lo que provoca que ocurra una depresión dentro de este con relación a la presión atmosférica. El aire se introduce al sitio por medio de la depresión interior del lugar la cual es generada por un ventilador encargado de extraer el aire viciado y contaminado.

El flujo de aire que entra por medio de la depresión, realiza el mismo trabajo que el tipo de ventilación descrito anteriormente, barriendo el aire del interior causando una renovación en el ambiente que provea las condiciones de confort necesarias para los procesos y/o el personal que labora en el área.

Este método de ventilación es el más utilizado por su simpleza y lo económico que resulta. Para poder llevar a la aplicación este método es importante tomar en cuenta que las entradas de aire se encuentren alejadas de las salidas, porque esto ayudaría a que se ventile efectivamente todo el lugar evitando que, por la cercanía de estas se esté extrayendo aire recién ingresado, lo cual reduciría la ventilación en las áreas alejadas del recinto.

Otro de los aspectos a tomar en cuenta es que el aire del exterior que entra por las ranuras, se contamina gradualmente al cruzar el lugar donde se está utilizando el método de ventilación. Para poder evitar que existan filtraciones, se hace necesaria la instalación de filtros en los lugares que son utilizados para ingresar aire al recinto.

Figura 7. **Ventilación general mecánica de presión negativa**



Fuente: Ventilación general mecánica. http://abaco.com.co/ventilacion_mecanica.html.

Consulta: 23 de junio de 2014.

2.4. Ventilación exhaustiva local

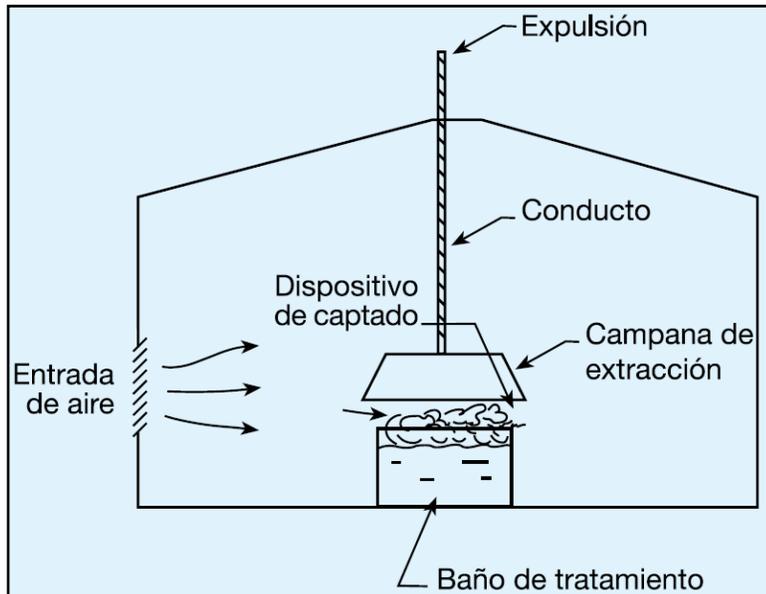
Este tipo de ventilación es utilizado, preferiblemente, para disminuir y prever la dilución de los contaminantes en todo el ambiente del local. En este tipo de ventilación, el aire contaminado es capturado en el lugar donde se está produciendo y con esto evitar que se propague en todo el recinto.

Las ventajas que presenta la ventilación exhaustiva es que se pueden remover los contaminantes antes de que se mezclen con el ambiente y que para diluir se requiere menor cantidad de aire.

Para calcular este tipo de ventilación, no es necesario saber la toxicidad ni la cantidad de contaminante a remover, debido a que el aire a extraer no cae en la necesidad del aire que se respira, estos factores solo caben en la selección del caudal de aire a extraer. Estos sistemas de ventilación son más dificultosos de diseñar en comparación con los sistemas de ventilación general. Las campanas extractoras deben poseer la geometría correcta y tener la ubicación adecuada para poder llevar a cabo su función correctamente.

A esto se le suma que el ventilador y los conductos deben estar bien diseñados, para poder extraer la cantidad de aire necesaria a través de las campanas de captación.

Figura 8. **Ventilación exhaustiva local**



Fuente: SOLER & PALAU. *Manual Práctico de Ventilación*. p. 24.

Básicamente, los sistemas de ventilación exhaustiva local están compuestos por cinco elementos, los cuales son: campana de extracción o sistema de captación, los conductos, el equipo de control que es opcional, el ventilador con motor y el sistema de transmisión de potencia; entre estos y la chimenea por la cual se eliminan los contaminantes al exterior.

En el diseño de un sistema de ventilación se debe identificar la fuente de contaminante, elegir la campana adecuada para realizar la captación correctamente y establecer que la succión elegida sea capaz de capturar los contaminantes y transportarlos al exterior.

Al momento de seleccionar un sistema de ventilación exhaustiva local para realizar la extracción de los contaminantes, es recomendable tomar en cuenta la ubicación y cantidad de contaminante a remover, la simultaneidad con que trabajará el equipo así como del espacio de que se dispone para instalar el sistema. Entre los sistemas que se pueden seleccionar dependiendo del tipo de contaminante que se desea eliminar se pueden mencionar los siguientes:

2.4.1. Extracción y tratamiento independiente de cada fuente

Este sistema de extracción, debido a que se usa de manera independiente a un sistema de ramales múltiples, utiliza filtros, los que atrapan los agentes contaminantes para almacenarlos en el interior donde se recolectan para su posterior eliminación, es el más costoso, en su instalación y funcionamiento, de los equipos de extracción porque se utiliza en sistemas separados, debido al transporte de agentes contaminantes corrosivos, inflamables, tóxicos, etc. Por tal motivo es que su manejo debe ser individual.

Figura 9. **Extracción y tratamiento independiente de cada fuente**



Fuente: Extracción y tratamiento independiente de cada fuente.

http://abaco.com.co/ventilacion_mecanica.html. Consulta: 23 de junio de 2014.

2.4.2. Sistemas de ramales múltiples de alta velocidad

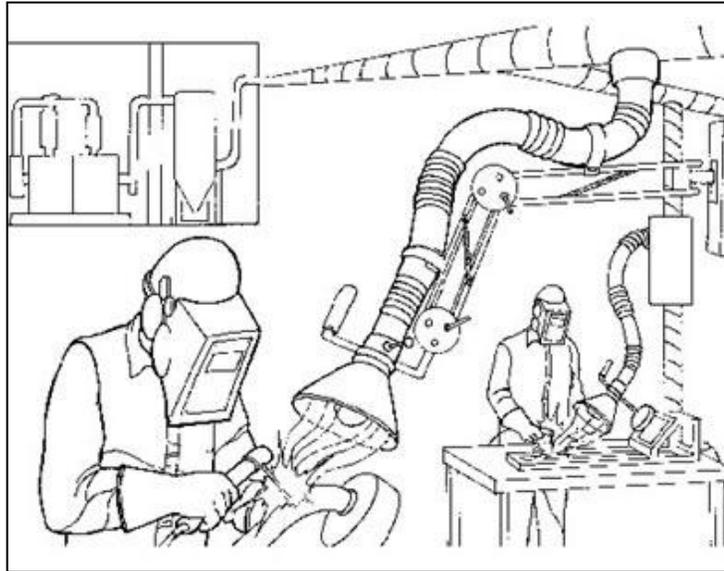
En el inicio de un proyecto de ventilación, se debe contar con los planos del lugar y el diagrama de operación del proceso. Con esto se podrá analizar la ubicación de las fuentes que generan contaminación y se podrá realizar un análisis para poder llevar a cabo la captación de estos agentes con el fin de evitar que se propaguen al ambiente del local.

Como primer paso a tomar, es importante seleccionar el tipo de campana que se instalará en la fuente de contaminante y el diseño de esta. Las dimensiones, tipo y forma de campana son determinados con base en el equipo o proceso que produce el contaminante. Las campanas a seleccionar necesitan de un caudal mínimo de aire para que su funcionamiento sea el adecuado y con esto se pueda obtener la velocidad que controle la difusión de los agentes contaminantes.

La campana seleccionada debe ser conectada a un sistema de conductos que transporta el aire a un equipo que controle y dé tratamiento al aire viciado con el fin de retener los agentes contaminantes. Cuando el sistema lleva a cabo la succión de aire contaminado con partículas, es denominado de alta velocidad, porque es seleccionada una velocidad de 18 metros por segundo, o mayor a esta, para asegurar el transporte de las partículas y evitar que se queden estancadas en el trayecto del ducto.

A diferencia de las partículas, los gases no requieren de velocidades elevadas. Para poder llevar a cabo la succión, se dispone de un ventilador, el cual, por medio de una chimenea, descarga el aire al exterior.

Figura 10. **Sistemas de ramales múltiples de alta velocidad**



Fuente: Sistemas de ramales múltiples de alta velocidad.

http://abaco.com.co/ventilacion_mecanica.html. Consulta: 23 de junio de 2014.

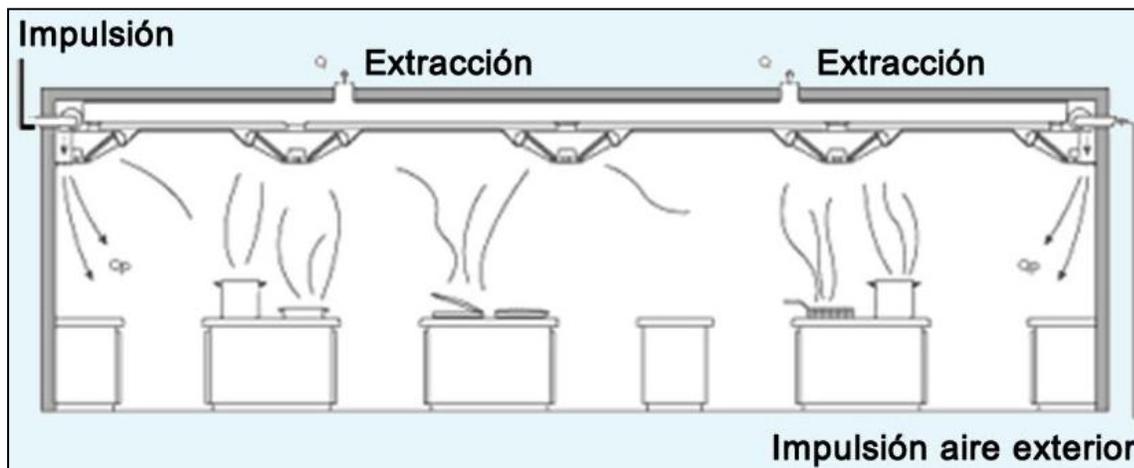
2.4.3. Sistemas de baja velocidad con cámaras de sedimentación

Los sistemas de ventilación de baja velocidad con cámaras de sedimentación varían a los de alta velocidad. La velocidad mínima para el transporte de partículas solo se mantiene en los ductos que están conectados a las campanas (ramales) para evitar que exista almacenamiento de partículas. El conducto principal es sobredimensionado para que la velocidad dentro de este sea menor al valor de conducción.

El trabajo del conducto principal es proporcionar un trayecto con poca pérdida de presión desde los puntos de derivación hasta el equipo de control o al ventilador, esto genera que se mantenga en equilibrio con los ramales y con

ello disminuir el consumo de energía requerida para el funcionamiento del sistema.

Figura 11. **Sistemas de baja velocidad con cámaras de sedimentación**



Fuente: Sistemas de baja velocidad con cámaras de sedimentación.

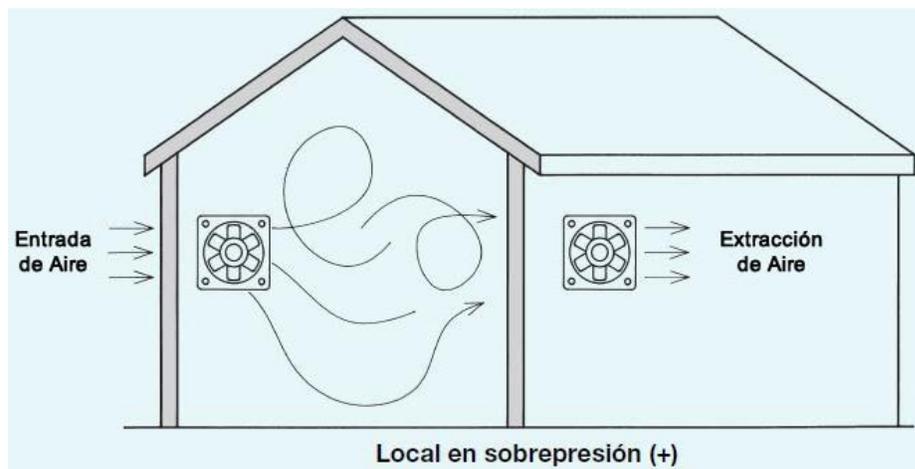
http://abaco.com.co/ventilacion_mecanica.html. Consulta: 23 de junio de 2014.

2.5. Combinación de ventilación general mecánica presión positiva y negativa

Este sistema de ventilación es utilizado para lograr ventilar completamente el lugar de su instalación. Por medio del montaje de ventiladores de inyección y aspiración, se garantiza una uniforme distribución del aire en el recinto. La cantidad de aire que se induce al recinto se distribuye adecuadamente lo cual es determinado por la cantidad de este que circula por los agujeros de alimentación y los de expulsión.

Los sistemas combinados de ventilación pueden ser de diferentes maneras al momento de combinarlos: desde una colocación de ventiladores de hélice hasta colocar un sistema de acondicionamiento total. Los ventiladores encargados de inducir el aire al interior del lugar, deben ser seleccionados de tal manera que entreguen un veinte por ciento más de caudal en comparación con los de extracción. Esta característica, a tomar en cuenta para el diseño, es para que la presión del interior del local sea mayor que la presión ambiental del exterior y con esto disminuir la probabilidad de que existan filtraciones de polvo y otros agentes contaminantes arrastrados por el flujo de aire.

Figura 12. **Combinación de ventilación general mecánica presión positiva y negativa.**



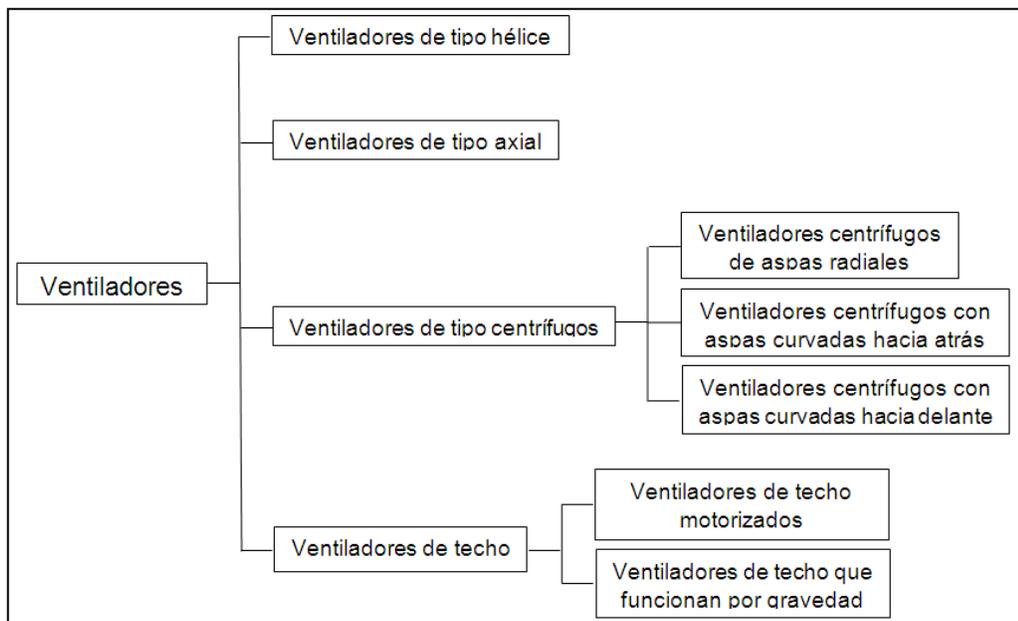
Fuente: Ventilación mecánica. http://abaco.com.co/ventilacion_mecanica.html. Consulta: 23 de junio de 2014.

3. VENTILADORES

Son equipos mecánicos rotatorios con la finalidad de mover determinadas cantidades de aire por medio de ejercer cierta presión al flujo, obteniendo como producto la circulación de este para lograr vencer las pérdidas de carga generadas por la fricción del material de los conductos.

Los ventiladores poseen la capacidad de elevar la presión a 1,5 libras por pulgada cuadrada; cuando esta aumenta hasta las 10 libras por pulgada cuadrada se les denomina sopladores y cuando la presión es aun mayor pasan a tomar el nombre de compresores.

Figura 13. **Clasificación de los ventiladores**



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Word 2007.

Los ventiladores se clasifican por medio de sus características, principalmente, por la naturaleza del flujo que pasa por las aspas del rodete, es por esto que los impulsores o rodetes pueden ser de flujo radial, axial, mixto o de flujo transversal. Los nombres utilizados para los ventiladores comúnmente se originan por su tipo de clasificación y otros toman su nombre por las características que presentan.

Principalmente, los ventiladores se dividen en dos grandes grupos: los ventiladores axiales y los centrífugos.

3.1. Ventiladores de tipo hélice

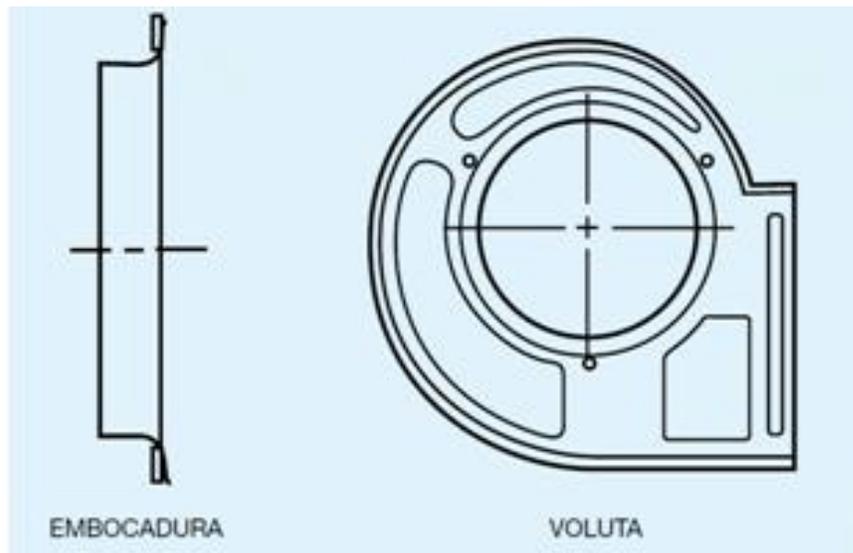
Este tipo de ventiladores es conocido como propulsor de flujo axial, la principal característica de estos es la forma de su carcasa o estructura. Estos ventiladores se pueden montar dentro de un marco de estructura o panel para evitar entrar en contacto con este al momento que esté en servicio.

Estos ventiladores consisten de una hélice o rotor instalados en el interior de una estructura, por lo que la dirección del flujo de aire es la línea paralela en la dirección del eje del ventilador. Su principal función es trasladar aire de un lugar a otro, ya sea al exterior o para inducir aire al interior de un recinto. La instalación de este tipo de ventilador se puede realizar de diferentes maneras, entre las principales están: por transmisión por bandas, flechas extendidas, acoplamiento y otras.

En funcionamiento son capaces de movilizar grandes cantidades de aire, aunque no producen aumento de presión sobre el aire que circula, esto hace que sus aplicaciones sean, principalmente, para procesos específicos, brindar

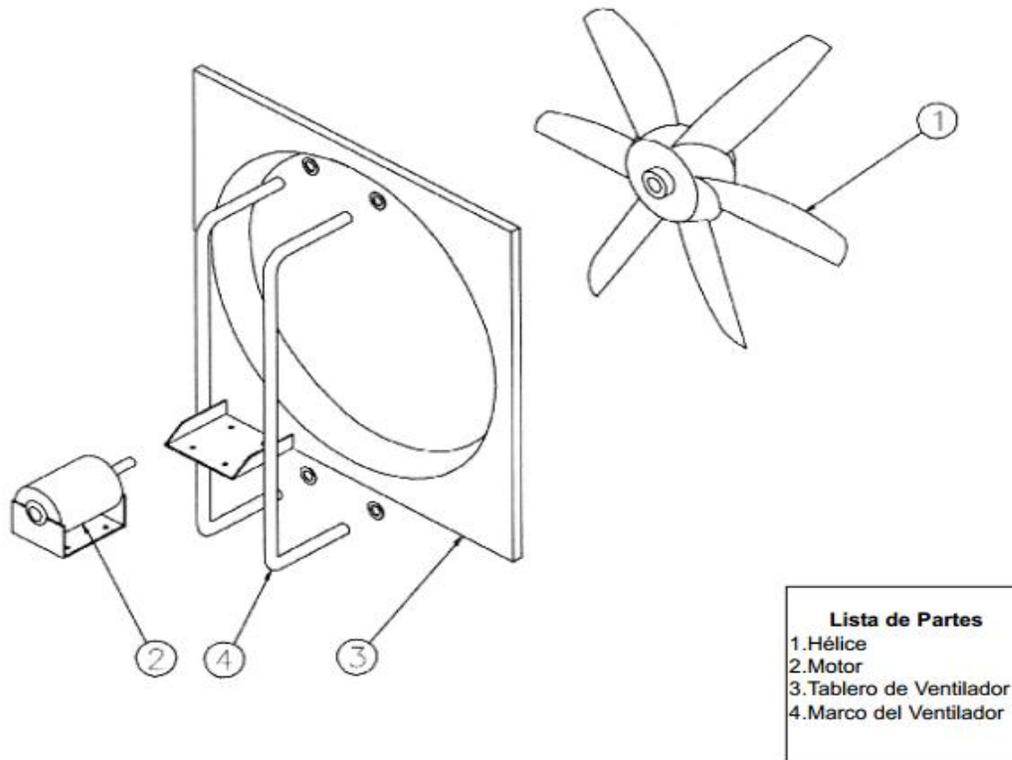
aire para congregación de personas, ventilación fabril y para realizar el enfriamiento de productos industriales, así también, para generar el movimiento de aire en el interior de locales con pequeñas diferencias de presión.

Figura 14. **Embocadura y voluta de ventilador tipo hélice**



Fuente: SOLER & PALAU. *Manual práctico de ventilación*. p. 39.

Figura 15. Ventilador de hélice de impulsor directo e impulsor de banda



Fuente: Ventilador de hélice. <http://www.nyb.com/Catalog/landM/spanishims/IM-200msp.pdf>.
Consulta: 23 de junio de 2014.

El elemento giratorio es el que gira en torno al eje, este puede ser una hélice o un rodete. La hélice genera que el aire de salida fluya paralelamente al eje del ventilador, esta puede movilizar una gran cantidad de aire produciéndosele poca presión. El rodete realiza un flujo de aire perpendicularmente al eje del ventilador moviendo menor cantidad de aire en comparación con la hélice pero produciendo una elevada presión con relación a esta.

Los ventiladores de hélice, por lo general se componen de una embocadura acampanada que produce mejor conducción de aire aumentando su rendimiento. Mientras que los ventiladores de rodete se instalan en una carcasa en espiral, como ejemplo de la embocadura se puede observar la figura 9.

Para poder obtener un ventilador de mayor rendimiento, se debe disponer de un sistema de directrices, el cual está conformado de un grupo de álabes fijos que se encuentran en la entrada o salida del ventilador formando un flujo de aire casi axial. Para poder poner en movimiento el ventilador se utiliza un motor que acciona la hélice o el rodete.

Los factores a tomar en cuenta para elegir el ventilador de tipo hélice son:

- Determinar la cantidad de aire necesario para enfriar el sistema.
- Con la cantidad de aire y el trayecto que debe recorrer, se determina la impedancia o caída de presión del aire generada por el lugar.
- La capacidad del ventilador se calcula con la curva de rendimiento del ventilador en la cual se obtienen las características de este.
- Determinar que las características sean las apropiadas para el lugar donde será instalado el ventilador.
- Monitorear la velocidad del ventilador para optimizar la vida útil del ventilador.

3.2. Ventiladores de tipo axial

Este tipo de ventiladores utiliza, principalmente, impulsores de flujo axial. Su carcasa o envolvente es cilíndrico y cuando el álabe guía produce agitación, vuelve al ventilador de tipo axial en un ventilador de aletas guías el cual produce aumento en la presión estática y con esto genera mayor eficiencia. Para producir un flujo de aire fuera del ventilador rectilíneo, se colocan los álabes en la succión o en la descarga de aire, pero, para que el flujo tenga un buen cauce se colocan en ambas. Esto es importante para alcanzar alta presión estática comparándolo con un ventilador de tipo hélice con aspas rectas que funciona a la misma velocidad.

Este tipo de ventilador no se emplea solo para la extracción de aire, sino que sus aplicaciones van más allá de lo imaginado, por ejemplo, son usados como ventiladores para enfriar productos a elevada velocidad, en escapes de hornos y algunas otras.

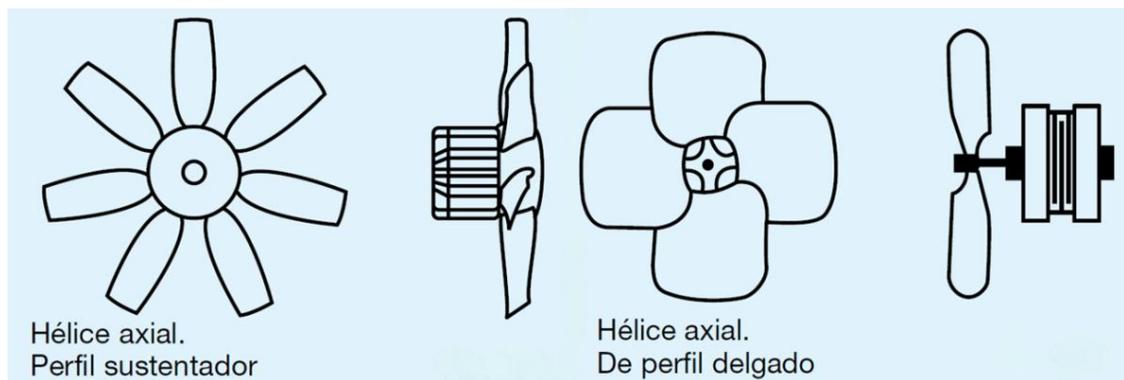
El movimiento de aire en estos ventiladores, se hace a través del rotor, utilizando álabes o palas de diferentes formas las cuales brindan al flujo de aire la misma dirección del eje.

Este tipo de ventiladores se utilizan para mover voluminosas cantidades de aire en espacios abiertos, debido a que la resistencia al movimiento de aire es baja se necesita producir una baja presión estática comprendida entre 0,007 y 0,15 libras por pulgada cuadrada. Por tal motivo los ventiladores axiales son los principales a utilizar en las instalaciones de ventilación general y son comúnmente conocidos como extractores o inyectores de aire.

Para que este tipo de ventiladores sean utilizados en diversas aplicaciones, deben producir alta presión estática, hasta 0,35 libras por pulgada cuadrada. Lo cual es conseguido cuando se construyen con álabes en forma de perfil y paso variable.

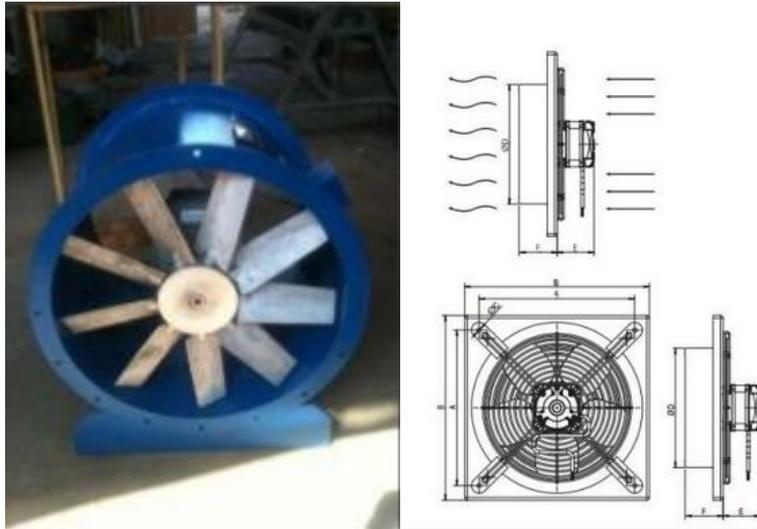
Las hélices o alas de los ventiladores axiales existen de dos tipos, siendo estos las de perfil delgado y las de perfil sustentador o comúnmente llamadas ala de avión portante.

Figura 16. **Ventiladores axiales**



Fuente: SOLER & PALAU. *Manual práctico de ventilación*. p. 40.

Figura 17. **Ventilador axial**



Fuente: Ventilador axial. <http://www.slideshare.net/ainoa3/ventiladores-32185665>.

Consultado: 23 de junio de 2014.

3.3. Ventiladores de tipo centrífugos

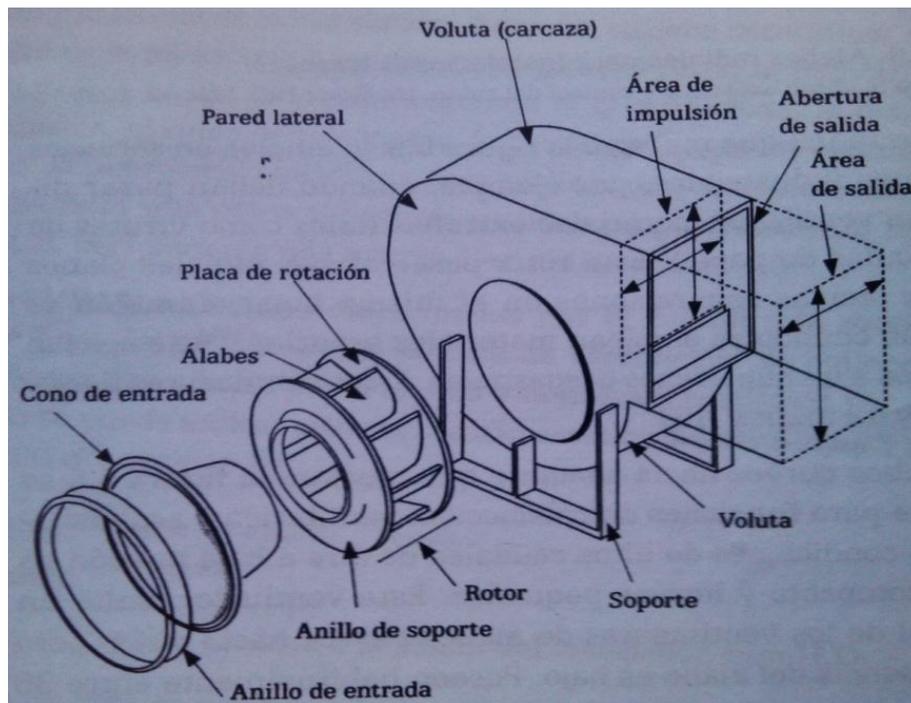
En los ventiladores tipo centrífugos, el flujo de aire entra a este de forma paralela al eje del rotor por medio de la boca de aspiración y la descarga es tangencialmente respecto al rotor, esto genera cambio de dirección del flujo de aire a noventa grados. La presión generada en este tipo de ventiladores es mayor que la que brindan los ventiladores axiales, llegan a alcanzar presiones de 1,43 libras por pulgada cuadrada, por lo que su uso, generalmente es en sistemas de ventilación exhaustiva local.

Este tipo de ventiladores funciona, principalmente como una bomba centrífuga. Están conformados por un rotor al cual van acopladas una serie de paletas o álabes con una amplia variedad de formas y curvaturas, estas giran a

velocidades que van desde los 200 hasta las 3 600 revoluciones por minuto. El elemento giratorio se encuentra instalado dentro de una envoltura o caja. Los impulsores utilizados en estos ventiladores son de flujo radial debido a que son el tipo mayormente usados y por la versatilidad de estos.

Estos consisten en un rotor cubierto por una carcasa en forma de espiral, y el aire entra por el ojo del rotor que se encuentra paralelamente en dirección del eje del ventilador y es descargado de la carcasa en dirección perpendicular respecto al eje de ventilador.

Figura 18. **Ventilador centrífugo**



Fuente: ECHEVERRI LONDOÑO, Carlos Alberto. *Ventilación industrial*. p. 132.

Se pueden encontrar ventiladores de doble entrada, este es el tipo donde el aire es inducido al interior de la carcasa a través de ambos lados, siendo aspirado por un rotor doble o por dos rotores sencillos acoplados lado a lado.

Los rotores de los ventiladores centrífugos pueden ser clasificados por medio de sus aspas las cuales se puede encontrar en disposición de su ángulo, comúnmente son inclinadas hacia adelante o inclinadas hacia atrás respecto al sentido de rotación.

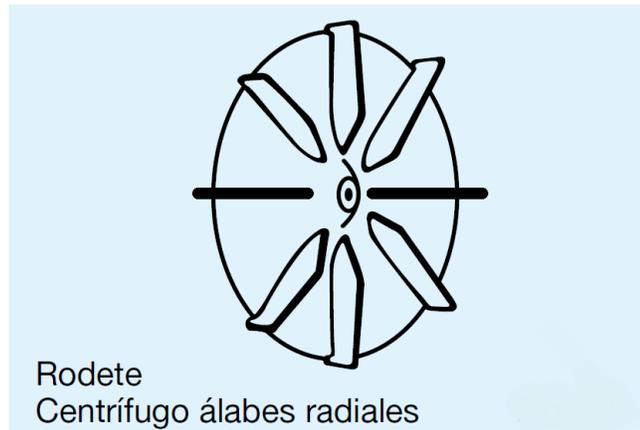
Principalmente, los ventiladores tipo centrífugos pueden ser clasificados según sea la forma de su rodete, básicamente son tres tipos: los rodetes de aspas radiales, de aspas curvas hacia delante y de aspas curvas hacia atrás.

3.3.1. Ventiladores centrífugos de aspas radiales

Ventiladores utilizados donde se requiere de altas velocidades y elevadas presiones, la mayoría de estos van acoplados directamente, porque son empleados en hornos de fundición y en sistemas extractores donde se necesita alta presión. Las características básicas de este tipo es que hacen circular baja cantidad de volumen, generan una alta presión y utilizan álabes estrechos de gran diámetro.

La presión producida por estos ventiladores depende de las particularidades de las aspas como: la longitud y altura de estas, la velocidad alcanzada en la parte más lejana del eje y el ángulo que estas tengan.

Figura 19. **Rodete de ventilador centrífugo álabes radiales**



Fuente: SOLER & PALAU. *Manual Práctico de Ventilación*. p. 40.

Figura 20. **Rodete real de ventilador centrífugo álabes radiales**



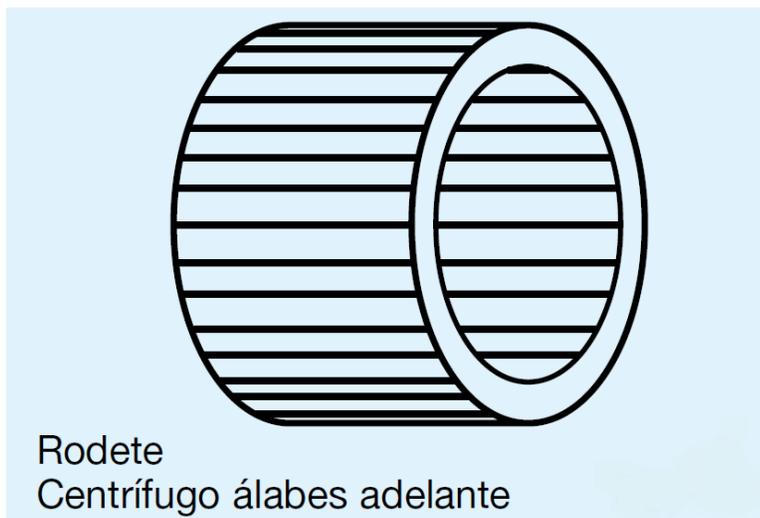
Fuente: Ventilador centrífugo álabes radiales. http://mlu-s2p.mlstatic.com/extractores-de-aire-turbinasventiladores-centrifugos-576-MLU4694911791_072013-F.jpg. Consulta: 23 de junio de 2014.

3.3.2. Ventiladores centrífugos con aspas curvadas hacia delante

Este tipo de ventiladores genera presiones entre 62,3 y 747,27 pascales, siendo, principalmente utilizados en lugares que requieren de aire acondicionado, en ventilación para oficinas y usos donde los niveles de ruido sean bajos, así como en lugares donde se deba utilizar una baja velocidad de flujo de aire.

En algunas ocasiones son fabricados para que el acoplamiento entre el ventilador y el motor sea directo; principalmente se fabrican con acoplamiento de transmisión por bandas o fajas.

Figura 21. **Rodete de ventilador centrífugo álabes curvos hacia delante**



Fuente: SOLER & PALAU. *Manual Práctico de Ventilación*. p. 40.

Figura 22. **Rodete real de ventilador centrífugo álabes curvos hacia delante**



Fuente: Ventilador centrífugo álabes curvos hacia delante.

http://i00.i.aliimg.com/photo/v1/282990980/Forward_Curved_Centrifugal_Fans.jpg.

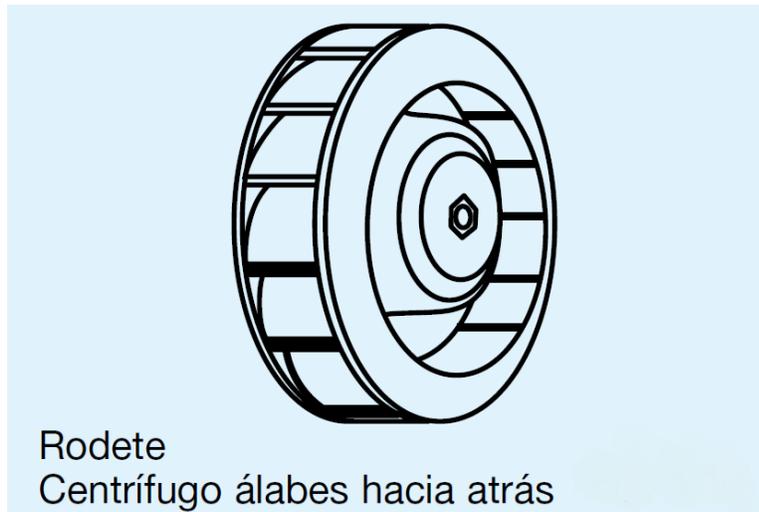
Consulta: 23 de junio de 2014.

3.3.4. Ventiladores centrífugos con aspas curvadas hacia delante

El tipo de ventiladores con rotor de álabes curvos hacia atrás son los que mayor uso tienen en la industria, sobre todo porque entre sus características no se sobrecargan y entregan mayor velocidad a pesar que su acoplamiento usa transmisiones sencillas. Las presiones entregadas por estos equipos se encuentran en el rango de 125 a 3 985 pascales.

Su uso, principalmente, al alto volumen de aire que genera, el cual sobrepasa los ciento de miles de pies cúbicos por minuto (CFM por sus siglas en inglés).

Figura 23. **Rodete de ventilador centrífugo álabes curvos hacia atrás**



Fuente: SOLER & PALAU. *Manual Práctico de Ventilación*. p. 40.

Figura 24. **Rodete real de ventilador centrífugo álabes curvos hacia atrás**



Fuente: Ventilador centrífugo álabes curvos hacia atrás. <http://dicasparadecorar.com/wp-content/gallery/ventiladores-centrifugos-industriais/ventiladores-centrifugos-industriais-13.jpg>.

Consultado: 23 de junio de 2014.

3.4. Ventiladores de techo

La finalidad principal de un ventilador de techo es igualar la temperatura interior de los lugares que tienen techos altos, entre los que se puede mencionar: almacenes, gimnasios, edificios industriales, etc. Estos dispositivos de regulación de ventilación, junto con los álabes permiten brindar ambientes de confort y pueden ser instalados a casi cualquier aplicación.

Para lograr la ventilación de un recinto con este tipo de ventiladores, cabe mencionar los siguientes:

- Ventiladores de techo que funcionan por gravedad
- Ventiladores de techo motorizados

Los factores para determinar el tipo de ventilador que se requiere en una instalación, se pueden mencionar:

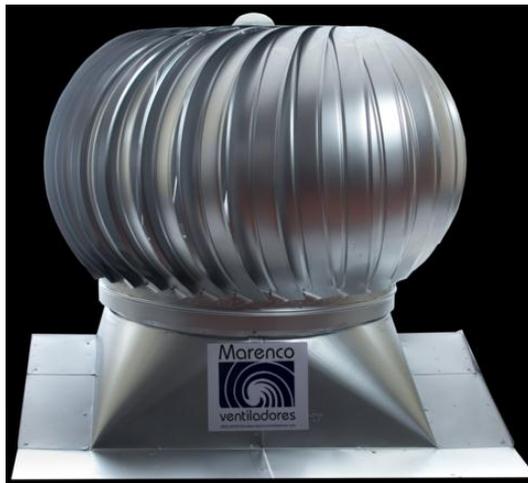
- Determinar las dimensiones del ventilador para que este sea acorde a las dimensiones del lugar donde se instalará.
- El tipo de motor del ventilador que se usará.
- La cantidad de ruido que pueda producir el ventilador, para que sea el adecuado para la instalación.
- Uno de los factores más importantes es el precio del ventilador a instalar, el cual variará conforme al tipo y estilo de ventilador que se utilizará.

- El tipo de ventilador que se instalará en el lugar, debe cumplir con lo requerido por el recinto, ya que estos varían conforme a su ubicación y actividad que se realiza dentro de este.

3.4.1. Ventiladores de techo que funcionan por gravedad

Este tipo de ventiladores funcionan, básicamente en la diferencia de presión existente entre el interior de un recinto y el exterior de este. Para poder obtener un funcionamiento correcto o adecuado, depende de factores importantes como la velocidad del viento que sople en dirección de este, la altura a la que ha sido instalado el ventilador respecto sobre el nivel del suelo y la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior del edificio.

Figura 25. Ventilador de techo que funciona por gravedad



Fuente: Extractor gravitacional. <http://www.marencoveiladores.com/gravitacional>. Consulta: 14 de febrero de 2014

3.4.2. Ventiladores de techo motorizados

Generalmente, este tipo de ventiladores son utilizados para extracción y en la actualidad, también son construidos para inyectar aire al local donde han sido instalados, su control es por medios electrónicos, por lo cual no toma en cuenta cuales son las condiciones del ambiente exterior.

En instalaciones industriales, por lo general se instalan ventiladores de tipo hélice o axiales porque brindan la característica de generar elevadas velocidades y alta cantidad de movimiento de aire. Las adaptaciones que se puede realizar en el equipo instalado pueden ser modificadas por los fabricantes, debido a que ellos pueden realizar el empleo de diferentes tipos de ventiladores con el fin de lograr obtener el ingreso necesario de aire al recinto, al igual que por medio de estas modificaciones puede usarse el mismo ventilador para extraer aire del lugar cuando sea necesario.

El montaje de los ventiladores puede ser en techos rectos o inclinados, sin importar la forma o tipo de techo que se trate, el fabricante proporciona el tipo de ventilador adecuado para lograr cumplir con los requerimientos necesarios del sistema para lograr obtener el confort que se solicita. Se puede utilizar ventiladores de hierro galvanizado, pero también existen de otros materiales entre los que se pueden encontrar de lámina revestida, aluminio, asbesto, cobre o acero inoxidable. Este tipo de ventiladores se puede encontrar de acoplamiento directo o con transmisión por bandas, este último el motor se encuentra fuera de contacto con el flujo de aire.

Figura 26. **Ventilador de techo motorizado**



Fuente: Extractores tipo hongo para techo tipo tuboaxial.

http://katoh.com.mx/tienda/product_info.php?products_id=81&osCsid=bfaa97f7d9d5f4787736c502648b3daa. Consulta: 14 de febrero de 2014.

4. MÉTODOS DE DISEÑO DE CONDUCTOS

Las instalaciones de climatización, calefacción y sistemas de distribución de agua, son diseñadas con base en los métodos usuales que deben de tener en cuenta las exigencias relacionadas con las limitantes de factores de transporte de fluidos, los cuales no deben de sobrepasar los niveles de presión sonora especificados que se presentan en la tabla IV. El factor de transporte será superior a 4 cuando las condiciones sean extremas en verano e invierno y cuando los sistemas transportan caudales máximos de impulsión sobre los 15 metros cúbicos por segundo.

En las instalaciones donde se debe transportar aire, la distribución de este hacia el interior o exterior del local se hace por medio de conductos, los cuales son los encargados de llevar el aire desde el equipo hasta la boca de salida o viceversa. Los conductos pueden ser de forma rectangular, circular u ovalada, la forma elegida dependerá, principalmente de la arquitectura del recinto, del presupuesto o de lo que mejor se ajuste a lo requerido.

Es importante que la distribución de aire se realice correctamente y uniforme para evitar que existan puntos ciegos a los que no llegue la renovación correcta de este. Para que la distribución de la instalación sea adecuada es importante tomar en cuenta que las entradas y/o salidas de aire deben ser colocadas cuidadosamente para lograr un reparto adecuado de aire y con esto poder dimensionar los conductos adecuadamente, para que proporcionen lo que se necesita.

Tabla IV. **Velocidades aconsejables en conductos de aire por nivel de ruido (m/s)**

APLICACIÓN	FACTOR DE CONTROL DE RUIDO (conductos principales)	Conductos principales		Conductos derivados	
		Suministro m/s	Retorno m/s	Suministro m/s	Retorno m/s
Residencias	3	5	4	3	3
Apartamentos dormitorios hotel dormitorios hospital	5	7,5	6,5	6	5
Oficinas particulares despachos dirección bibliotecas	6	10	7,5	8	6
Salas cine/teatro auditorios	4	6,5	5,5	5	4
Restaurantes comercios bancos	7,5	10	7,5	8	6
Comercios cafeterías	9	10	7,5	8	6
Locales industriales	12,5	15	9	11	7,5

Fuente: *Velocidades aconsejables en conductos de aire*. Carrier Handbook of air conditioning system design. p. 83.

En el diseño de sistemas de transporte de aire, es importante tomar en cuenta las siguientes observaciones:

- Que la velocidad del flujo de aire sea uniforme en la boca de las salidas y/o entradas, registros y rejillas.

- El flujo de aire dentro de los conductos por las diversas formas de este, tiende a formar remolinos, lo cual a su vez genera sonido el que puede ser propagado hacia los lugares donde hay entradas o salidas de aire.
- En el diseño del sistema debe ser tomada en cuenta la regulación de aire, porque esto genera resistencia al paso del flujo y, por consiguiente existe pérdida de carga, lo que el ventilador debe vencer por medio del aumento de consumo de energía.
- Evitar los cambios bruscos de velocidad o dirección del flujo dentro de los conductos.
- El aire debe ser filtrado dependiendo del uso que se le dará o, por lo que se está eliminando del lugar por motivos de contaminación.

Actualmente son conocidos dos tipos de instalaciones, de alta y de baja velocidad. En la primera, las velocidades se encuentran por encima de los 10 o 12 metros por segundo y sus presiones estáticas superan los 12 454 pascales y tienen condiciones particulares, las cuales hacen especial el sistema dependiendo de la aplicación, se debe tomar en cuenta qué componentes serán utilizados para su montaje.

Las instalaciones de baja velocidad o convencionales, su velocidad no supera los 10 o 12 metros por segundo y la presión estática se encuentra entre el rango de 150 y 500 pascales. Estos sistemas trabajan con presiones reducidas para que pueda considerarse que el comportamiento del aire es un flujo incompresible sin cambio de densidad durante el recorrido dentro de los conductos. Los principales parámetros relacionados a la distribución de los conductos, se mencionan a continuación, tomando en cuenta que son los más

utilizados en la aplicación y los que comúnmente tienen mayor uso; las principales variables primarias utilizadas en el diseño de un sistema de conductos son: la longitud, el diámetro y el espesor de pared.

La longitud del sistema es la que es medida desde la fuente contaminante hasta el equipo o dispositivo de control, esta depende de factores como las veces que se necesita de cambios en su trayectoria, si no se tiene conocimiento de la distribución de la fuente contaminante, muy difícilmente se conocerá la longitud exacta.

El caudal de aire (Q) es conocido, por lo que la variable importante a tomar en cuenta es la velocidad de transporte (V_t) dentro de los conductos y es importante elegir la correcta para el diseño. Si se selecciona una velocidad de transporte muy baja el conducto estará sobredimensionado y esto provocará que la velocidad dentro del conducto no sea capaz de transportar las partículas hacia el exterior cuando a extracción se refiere. Ahora si se utiliza una velocidad muy alta, la presión estática será elevada lo que generará que el ventilador consuma mayor energía.

El caudal de aire se relaciona con la velocidad de transporte por medio de la ecuación de continuidad. Teniendo en cuenta que el caudal es conocido, la velocidad de transporte se toma como parámetro de diseño y se hace por medio del tipo de partículas o gases a transportar.

$$A = \frac{Q}{V_t} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Donde

A= área de la sección transversal del conducto en m^2

Q = caudal del aire que circula en m^3/s

V_t = velocidad de transporte corriente aire dentro del conducto en m/s

Para los sistemas de ventilación industrial se utilizan ductos circulares comparados con los rectangulares, porque:

- Se genera menor cantidad de pérdidas por fricción debido a que el área transversal circular tiene menor perímetro para áreas iguales.
- Cuando la presión del interior es menor a la atmosférica, produce mayor resistencia a la deformación.
- La velocidad se distribuye uniformemente dentro del conducto con relación a los rectangulares.

Para poder obtener el diámetro relacionamos la ecuación del área así:

$$\pi \frac{D^2}{4} = \frac{Q}{V_t} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Despejando el diámetro se obtiene:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{V_t \pi}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

El espesor de pared del conducto a utilizar depende de factores como: presión interna, el diámetro, el material a utilizar y factores estructurales. Los conductos pueden ser fabricados de diferentes espesores para un mismo diámetro y viceversa.

4.1. Método de igual fricción

En el dimensionamiento de ductos por medio del método de igual fricción, se utiliza una pérdida de presión constante por unidad de longitud. Este método es utilizado para el diseño de sistema de conductos utilizados en inyección, extracción y retorno de aire, el cual consiste en que la pérdida de carga por unidad de longitud sea la misma para todo el sistema y con esto poder realizar el cálculo de las dimensiones de los ductos.

En la utilización de este método se procede a tomar una velocidad inicial, condicionada por el nivel de ruido que se pueda generar, para el conducto principal que se encuentra después de la unidad manejadora de aire. Con la velocidad elegida y tomando el caudal de aire total que se debe suministrar al recinto, se procede a la determinación de la pérdida de carga unitaria que permanecerá constante en todos los ductos del sistema.

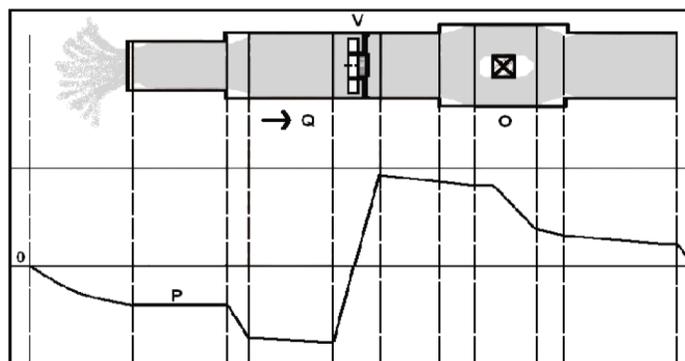
Al momento de tener las dimensiones de los ductos principales, se procede al cálculo de los conductos secundarios o ramales que transportan el flujo de aire a las bocas de inyección o extracción. El cálculo de estos tramos se puede realizar de la misma manera que los principales, o se puede elaborar con una presión relativamente nula del aire al momento de salir por el difusor. Para la primera se podría utilizar el proceso expuesto para los ramales principales y para el segundo realizar un procedimiento iterativo de cálculo hasta lograr obtener una presión relativamente nula en la salida del ducto.

En el diseño para ventilar un recinto por medio de impulsión de aire o extracción, se acopla por medio de conductos el ventilador o extractor, al sistema de tuberías, ya sean de mayor o menor longitud y de diferentes secciones. Dentro de los conductos, el flujo de aire absorbe energía del

ventilador el cual produce su movimiento, esto se produce por el roce que se genera con los ductos del sistema, así como los cambios de dirección existentes adentro y los obstáculos que encuentra en su camino.

En la figura 27 se puede observar una parte de un sistema de conductos por el cual un ventilador (V) hace fluir un caudal (Q) de aire, el flujo presenta una entrada con corte a ras con cambios de área transversal cuadrada y un obstáculo (O). En la parte inferior se grafican las presiones totales (P) que se generan en el interior y a lo largo en pérdidas de carga y las cuales el ventilador debe vencer. Las áreas dentro del sistema de ductos que aparece sin sombreado representan vacíos de aire y ahí se producen remolinos en el flujo. Debido a que el consumo de energía del ventilador es proporcional a la presión total (P) es importante tomar en cuenta al momento de diseñar los conductos que no se produzcan áreas con falta de aire y así lograr que el ventilador no consuma ese porcentaje de energía innecesario.

Figura 27. **Representación de una parte de sistema de conductos**



Fuente: CAICEDO FLORES, Paul Vinicio; VEGA MARTÍNEZ, Alex René. *Diseño de un sistema de ventilación y aire acondicionado para el quirófano y sala de terapia intensiva de la clínica colonial*. p. 154.

Al calcular el número de Reynolds, el cual integra la densidad del fluido, diámetro del ducto, velocidad y viscosidad, se podrá determinar el tipo de régimen que se producen dentro del sistema, si el número es menor a 2 100 es un flujo laminar y si su valor es superior a 4 000 flujo turbulento. En relación a ventilación, las instalaciones siempre presentan flujos turbulentos debido a que por motivos económicos se debe utilizar determinados componentes que generan que el flujo se convierta de este tipo.

La capacidad de los ventiladores se determina por medio del cálculo de las pérdidas de presión en el sistema, así como se debe verificar que el sistema funcione correctamente y las cantidades de aire se encuentren balanceadas. El parámetro que determina el consumo de energía del ventilador es la presión de aire que se necesita para vencer todas las pérdidas por fricción del sistema. La pérdida de presión total del sistema se refiere a la cantidad total de pérdida de presión generada por el trayecto de los conductos por los que tiene que atravesar que tienen la mayor cantidad de pérdidas. El tramo más largo es el que, comúnmente presenta mayores pérdidas, pero se debe tomar en cuenta que un tramo corto también puede generar grandes pérdidas dependiendo de la cantidad de derivaciones que este contenga.

Se facilita, mayormente, el trabajo cuando se utiliza la pérdida total de presión en lugar de las pérdidas de presión estática al momento de analizar las pérdidas de los conductos. Esto brinda mejoras al momento de surgir problemas porque se genera mayor compresión de la presión total en todos los puntos del sistema. La pérdida total de presión de un sistema se obtiene de la sumatoria de las pérdidas producidas por cada sección de conducto recto y las derivaciones en el tramo elegido, tomando en cuenta que se debe tomar en cuenta las pérdidas generadas por cualquier equipo.

La pérdida de presión que se produce en trayectos rectos pueden ser calculados por la ecuación de Darcy que relaciona el diámetro, velocidad, densidad del aire, longitud del ducto y el coeficiente de fricción el cual depende del número de Reynolds, rugosidad de las paredes, dimensiones y disposición del mismo. Para el cálculo de pérdidas de carga, esto resulta difícil por este medio, debido a que se utilizan parámetros los cuales varían en un amplio rango de valores. Por tal motivo es que se utilizan tablas obtenidas por experimentaciones realizadas, las cuales ya se encuentran normadas y tienen validez para materiales que se utilizan comúnmente en la industria, como la lámina galvanizada, fibra de vidrio, etc.

En los sistemas de ductos se utilizan componentes, los cuales producen resistencia al libre flujo del aire, por tal motivo es que no todos son tramos rectos sino que pueden ser ramales desviados que requieren del uso de codos, obstáculos, nudos, entradas, salidas, desviaciones, equipos de control, campanas, ventiladores, chimeneas, serpentines, filtros, compuestas de control de caudal, etc. Por tal motivo se realiza el cálculo de pérdida de carga que provoca cada uno de estos componentes, la cual debe ser sumada a las pérdidas generadas por los tramos rectos.

Tabla V. Dimensiones equivalentes para ductos rectangulares

Ducto circular diámetro plg.	Longitud de ancho de ducto rectangular en plg.																				
	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	
	Longitud adyacente de ducto rectangular en plg.																				
5	5																				
5.5	6	5																			
6	8	6																			
6.5	9	7	6																		
7	11	8	7																		
7.5	13	10	8	7																	
8	15	11	9	8																	
8.5	17	13	10	9																	
9	20	15	12	10	8																
9.5	22	17	13	11	9																
10	25	19	15	12	10	9															
10.5	29	21	16	14	12	10															
11	32	23	18	15	13	11	10														
11.5		26	20	17	14	12	11														
12		29	22	18	15	13	12														
12.5		32	24	20	17	15	13														
13		35	27	22	18	16	14	12													
13.5		38	29	24	20	17	15	13													
14			32	26	22	19	17	14													
14.5			35	28	24	20	18	15													
15			38	30	25	22	19	16	14												
16			45	36	30	25	22	18	15												
17				41	34	29	25	20	17	16											
18				47	39	33	29	23	19	17											
19				54	44	38	33	26	22	19	18										
20					50	43	37	29	24	21	19										
21					57	48	41	33	27	23	20										
22					64	54	46	36	30	26	23	20									
23						60	51	40	33	28	25	22									
24						66	57	44	36	31	27	24	22								
25							63	49	40	34	29	26	24								
26							69	54	44	37	32	28	26	24							
27							76	59	48	40	35	31	28	25							
28								64	52	43	38	33	30	27	26						
29								70	56	47	41	36	32	29	27						
30								76	61	51	44	39	35	31	29	28					
31									82	66	55	47	41	37	34	31	29				
32									89	71	59	51	44	40	36	33	31				
33									96	76	64	54	48	42	38	35	33	30			
34										82	68	58	51	45	41	37	35	32			
35										88	73	62	54	48	44	40	37	34	32		
36										95	78	67	58	51	46	42	39	36	34		
37										101	83	71	62	55	49	45	41	38	36	34	
38										108	89	76	66	58	52	47	44	40	38	36	
39											95	80	70	62	55	50	46	43	40	37	36
40											101	85	74	65	58	53	49	45	42	39	37

Fuente: ASHRAE. Fundamentals Handbook. p. 21.10.

Para calcular las pérdidas producidas en los ductos, se debe comenzar con el factor de fricción; para dicho cálculo se utiliza el diámetro obtenido con la velocidad de transporte de la tabla IV y el flujo de aire. El procedimiento para obtener las pérdidas de presión en conductos es el siguiente:

- Se calcula el número de Reynolds con la ecuación (fuente No. 4):

$$Re = \frac{D_h V}{1000\nu} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde

D_h = diámetro hidráulico expresado en mm

V = velocidad del flujo en m/s

ν = viscosidad cinemática en m²/s

- Con el número de Reynolds se procede a calcular el factor de fricción con el empleo de la ecuación de Colebrook (fuente No. 4):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D_h} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde ε es el factor de rugosidad del material expresada en mm.

- Para obtener la pérdida de presión por longitud, se obtiene por medio de la ecuación de Darcy (fuente No. 4):

$$\Delta P_f = \left(\frac{100f}{D_h} \right) \left(\frac{\rho V^2}{2} \right) \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde ρ es la densidad expresada en kg/m³.

Las pérdidas de presión producidas por las conexiones entre ductos son expresadas por la siguiente ecuación (Fuente No. 4):

$$H_f = C \left(\frac{V}{4000} \right)^2 (25,4) \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde

H_f = pérdida de presión en conexiones entre conductos expresada en milímetro columna de agua

C = coeficiente de fricción el cual se obtiene por medio de las tablas de pérdidas por fricción (ver anexos 1)

V = velocidad del flujo de aire expresado en ft/min

Las pérdidas de presión producidas en las transiciones del sistema se calculan con la siguiente fórmula (fuente No. 4):

$$H_f = 1,1 \left[\left(\frac{V_o}{4000} \right)^2 - \left(\frac{V_f}{4000} \right)^2 \right] (25,4) \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde

V_o = velocidad donde inicia la transición expresada en ft/min

V_f = velocidad al final de la transición expresada en ft/min

Con la pérdida de presión total producida por la fricción y la cantidad de aire que ha de circular en el conducto, se determina el diámetro del tramo de este por medio de la figura 28 trazando líneas en el valor de las condiciones mencionadas y se obtiene el diámetro por medio del punto donde se intersecan estas al más cercano de las líneas inclinadas que representan el diámetro del conducto. Para obtener las dimensiones equivalentes para un conducto

rectangular, se utiliza el valor del diámetro y la tabla V en donde se localiza el valor del diámetro y se dirige al lado derecho donde se encuentran los valores de los lados del conducto rectangular.

4.2. Método de recuperación de presión

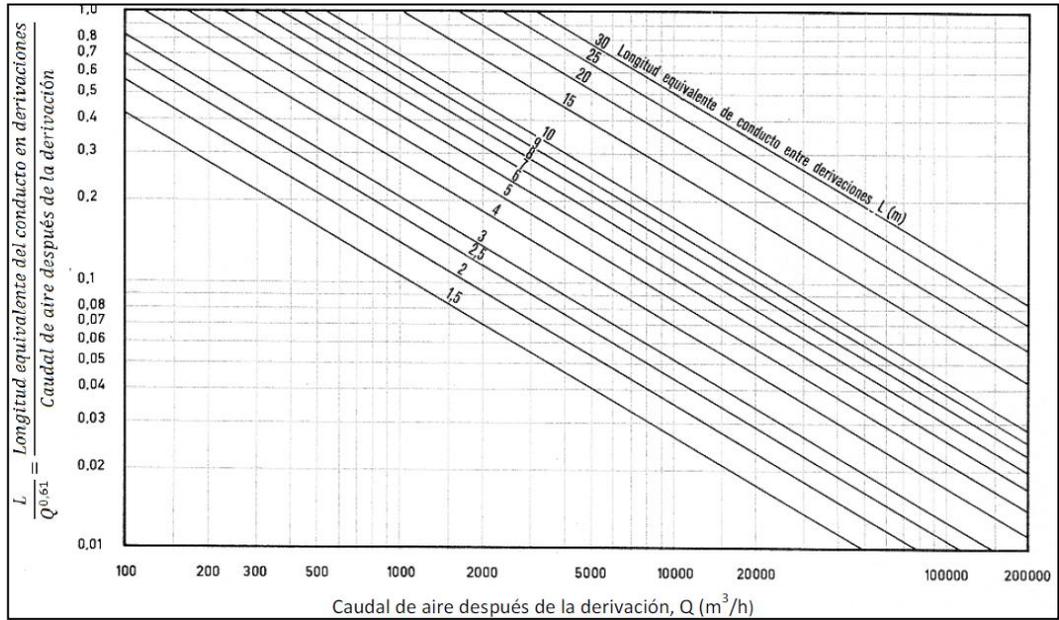
La principal característica de este método es que solo aplica para sistemas de inyección de aire, el cual consiste en determinar las dimensiones de los conductos de manera que la presión estática que aumenta en cada tramo o entrada de aire se equilibre con las pérdidas debidas a la fricción en las siguientes partes del sistema de conductos. Con esto se logrará que la presión estática en cada entrada y al inicio de cada ramal sea la misma.

Para dimensionar el sistema de ductos, se procede a seleccionar la velocidad inicial del sistema (tabla IV) con la que el ventilador hará que el flujo circule por el sistema y determinar la primera sección fricción (ver anexos 1) como se realiza en el método de igual fricción. Con la velocidad y las dimensiones de la primera sección, se determinan las demás por medio de las gráficas que relacionan L/Q (figura 19) y recuperación estática a baja velocidad (figura 20).

Por medio de la figura 19 se puede determinar la relación entre L/Q conociendo cuál es la cantidad del flujo de aire que circula por el sistema y la longitud (L) que existe entre los ramales o salidas en la sección del conducto que se necesita dimensionar.

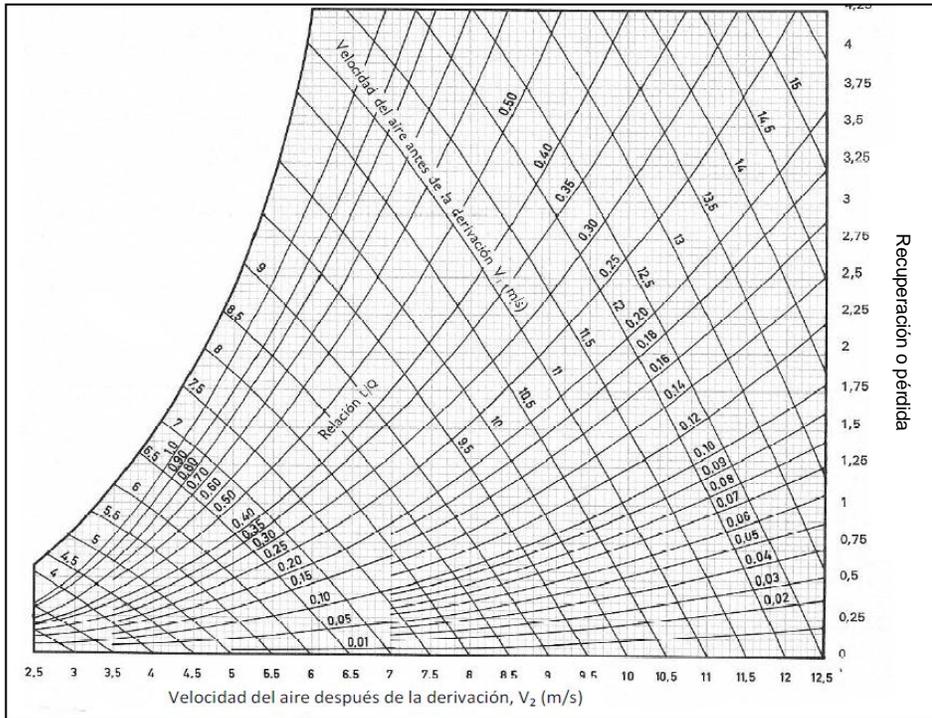
Con la figura 20 se logra determinar cuál es la velocidad en la sección del conducto, teniendo en cuenta que para obtener la velocidad en la sección del conducto (V_t) se deben utilizar los valores de la relación L/Q .

Figura 29. Gráfica relación L/Q



Fuente: *Relación longitud equivalente del conducto de la derivación con el caudal de aire después de la derivación.* <http://www.umc.uji.es/asignatura>. Consulta: 25 de junio de 2014.

Figura 30. **Recuperación estática a baja velocidad**



Fuente: *Recuperación estática a baja velocidad*. <http://www.umc.uji.es/asignatura>. Consulta: 25 de junio de 2014.

Básicamente este método se centra en mantener constante la presión estática al final de cada ramal. Esto quiere decir, que la pérdida de carga que se produce en cada tramo permanezca igual a la recuperación de la presión estática que se tomó al principio del ramal, lo que se logra disminuyendo la velocidad. De esta manera se obtiene una presión estática en el final del ramal igual al anterior y así lograr que permanezca constante.

Se puede llevar a cabo el cálculo del dimensionamiento de los tramos por medio analítico, por lo que se puede realizar dependiendo del tipo de ramal a dimensionar, entre los que se distinguen:

- Tramo que sale del ventilador o equipo de climatización:

Es diseñado a decisión de la persona que realiza el proyecto mediante la velocidad seleccionada, por lo general la que sale del ventilador o por la pérdida de carga producida en un metro de conducto. Generalmente se utiliza 1 Pa/m = 0,1 mm.c.a / m como factor de conversión.

Con la velocidad fijada y el caudal conocido, se obtiene la sección del ducto por medio de la ecuación 5. Dependiendo el tipo de conducto que se utilizará, si es circular o rectangular se determinan sus dimensiones y el diámetro equivalente en circular por medio de la sustitución del diámetro de la sección de conducto calculado en la tabla V. Con esto se determina la pérdida de carga generada en el primer tramo por medio de la ecuación (fuente No. 9):

$$\Delta P_{T \text{ tramo } i} = \alpha 14,1 \cdot 10^{-3} L_i \frac{V_i^{1,82}}{D_{Hi}^{1,22}} + 9,63 \sum C_{\text{tramo } i} \frac{V_i^2}{16}$$

(Ecuación 13)

Donde

A = factor dependiente del material empleado en el conducto

L_i = longitud tramo "i" expresada en metros, figura 31

V_i = velocidad del aire en el tramo "i" en metros por segundo

D_{Hi} = diámetro hidráulico del conducto tramo "i" en metros, ec. 15 a 17

$C_{\text{tramo } i}$ = constante de pérdida de carga del interior del conducto

Si la pérdida de carga es mayor a la esperada, se procede a utilizar un diámetro mayor para generar menores pérdidas por fricción dentro del conducto. Fijando la pérdida de carga por cada metro y conociendo el caudal, se determina el diámetro equivalente circular con la ecuación (fuente No 9):

$$D_i = \left[\frac{\alpha \cdot 21,89 \cdot 10^{-3} Q_i^{1,82}}{(P_A - P_B)/L} \right]^{\frac{1}{4,86}} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde

α = factor dependiente del material empleado en el conducto

Q_i = caudal de aire en el tramo "i" en metros cúbicos por segundo

P_A = presión en la entrada al tramo en pascales

P_B = presión en la salida del tramo en pascales

L = longitud del tramo del conducto en metros

Al tomar el tipo de conductos a utilizar, circulares o rectangulares, se determina sus dimensiones equivalentes y la velocidad por medio de la ecuación 5.

- Tramo derivado:

Son tramos de conductos que provienen de otros anteriormente ya dimensionados, en estos se debe cumplir precisamente este método, porque la pérdida de carga de este tramo tiene que cumplir con lo siguiente para que el método sea aplicable para el dimensionamiento de los conductos, por lo que se debe de cumplir (Fuente No. 9):

$$\alpha 14,1 \cdot 10^{-3} L_i \frac{V_i^{1,82}}{D_{Hi}^{1,22}} + 9,63 \sum C_{tramo\ i} \frac{V_i^2}{16} + 9,63 C_{Di} \frac{V_{ant}^2}{16} = 9,63 \frac{V_{ant}^2 - V_i^2}{16} \quad (\text{Ecuación 15})$$

Donde

α = factor dependiente del material empleado en el conducto

- $L_{i\ equiv}$ = Longitud equivalente tramo “i” expresada en metros, figura 31
- V_i = Velocidad del aire en el tramo “i” en metros por segundo
- D_{Hi} = Diámetro hidráulico del conducto tramo “i” en metros, ec. 16 a 18
- V_{ant} = Velocidad del aire en el tramo anterior en metros por segundo
- C_{Di} = Constante de pérdida de carga del interior del conducto

El factor α debe ser brindado por el fabricante en las características del conducto que se utilizará.

El diámetro hidráulico puede ser determinado por medio del caudal y la velocidad del aire dentro del conducto de la siguiente manera:

- Para conductos circulares, el diámetro se expresa en metros:

$$D_H = \frac{4S}{P} = \frac{\pi D^2}{\pi D} = D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V_i}} = 1,128 \sqrt{\frac{Q}{V_i}} \quad (\text{Ecuación 16})$$

- Para conductos rectangulares se debe considerar que se cuenta con dos variables independientes, siendo la base “b” y la altura “a”, se debe definir una de estas como fija o relacionarlas como base/altura que es lo más comúnmente hecho (fuente No 9):

- Para la situación en la que se proporciona una de ellas como dato:

$$D_H = \frac{4S}{P} = \frac{4ab}{2 \cdot (a+b)} = \frac{4 \frac{Q}{V}}{2 \cdot \left(a + \frac{Q}{aV}\right)} \quad (\text{Ecuación 17})$$

- Cuando se utiliza una relación $\frac{\text{base}}{\text{altura}} = \text{radio}$:

$$D_H = \frac{4S}{P} = \frac{4 \frac{Q}{V}}{a(\pi + 2(r - 1))} = \frac{4 \frac{Q}{V}}{\frac{1}{\sqrt{\frac{\pi}{4} + (r - 1)}} (\pi + 2(r - 1)) \sqrt{\frac{Q}{rV}}}$$

$$D_H = \frac{2 \sqrt{\frac{\pi}{4} + (r - 1)}}{\left(\frac{\pi}{2} + r - 1\right)} \sqrt{\frac{Q}{V}} \quad \text{(Ecuación 18)}$$

Donde

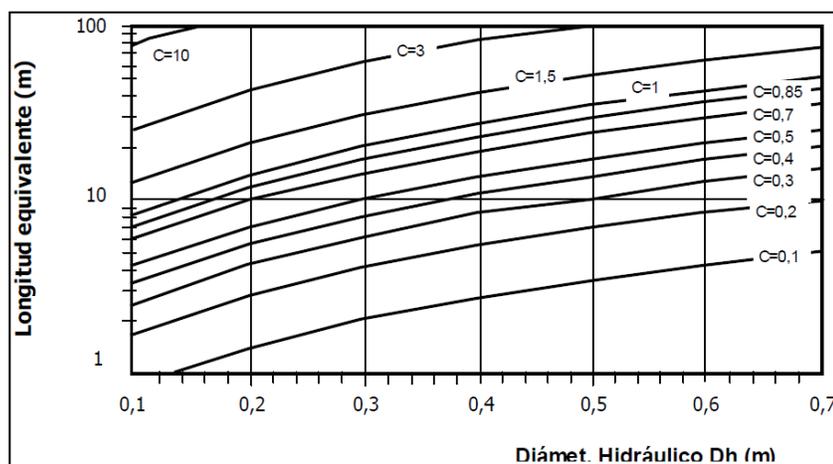
D_{Hi} = diámetro hidráulico del conducto tramo “i” en metros

P = presión en el interior del conducto en pascales

V = velocidad del aire en el tramo en metros por segundo

Q = caudal dentro del conducto en metros cúbicos por segundo

Figura 31. **Gráfico longitud equivalente para el tramo**



Fuente: *Longitud equivalente del tramo “i”*. Carrier Handbook of air conditioning system design.

Consulta: 25 de junio de 2014.

Donde C es la constante de pérdida de carga dentro del conducto debido al material de este, el cual debe ser brindado por el fabricante.

Al sustituir estas relaciones, dependiendo del tipo de conductos y dato conocido, la ecuación general del método se convierte una expresión donde la única variable que no es conocida es la velocidad del ramal V_i . Si fuera el caso de un conducto circular el que se está tratando la ecuación quedaría como se muestra a continuación (fuente No. 9):

(Ecuación 19)

$$\alpha \cdot 12,28 \cdot 10^{-3} L_i \frac{V_i^{2,43}}{Q^{0,61}} + 9,63 \sum C_{tramo\ i} \frac{V_i^2}{16} + 9,63 C_{Di} \frac{V_{ant}^2}{16} = 9,63 \frac{V_{ant}^2 - V_i^2}{16}$$

Se puede observar, para lograr determinar la velocidad el procedimiento debe ser iterativo, por lo que al realizar los cálculos manualmente resulta demasiado complicado. Sumado a esto cabe la probabilidad de que con este método pueden existir casos en los que no hay solución, porque los resultados presentan una sección del conducto demasiado elevado y una velocidad relativamente insignificante, esto puede ser el resultado de utilizar una velocidad en el tramo anterior muy baja.

4.3. Método T

Este método para diseñar conductos se basa en determinar un sistema óptimo de ductos, que cumpla con el objetivo principal de lograr una ventilación óptima y que esto sea relacionado con el mínimo costo posible del proyecto. Las dimensiones de los ductos se determinan a manera de que el costo del sistema sea lo más reducido posible.

Dentro del sistema, la principal pérdida de energía se produce en el ventilador, por tal motivo el objetivo de este método es determinar el tamaño adecuado de los ductos y seleccionar el ventilador conveniente que sea capaz de distribuir la cantidad de aire requerida por el sistema. Para poder realizar el proyecto se toma en cuenta los gastos que generará, y costos que se ven involucrados en esto.

Entre los costos de construcción del sistema se pueden mencionar:

- Costos invertidos al inicio
- Costo de salvamento
- Seguros e impuestos

El proyecto en operación, también genera costos, cabe mencionar los siguientes:

- Consumo de energía eléctrica
- Costo de mantenimiento
- Inflación
- Mano de obra
- Impuesto a la renta

Este método presenta algunas limitaciones para poder realizar el diseño del sistema de ductos y son las siguientes:

- En cualquier junta del conducto el flujo debe estar balanceado.
- La caída de presión total existente en cada tramo o derivación tiene que ser igual a la presión total del ventilador.

- La superficie del conducto debe ser aproximada a la medida superior e inferior.
- Existe restricción para conducir el aire dentro del ducto por cuestiones acústicas y por partículas transportadas.
- Se debe tomar en cuenta el espacio disponible donde se hará la instalación para poder seleccionar las dimensiones de los ductos.
- El tamaño de los ductos se ve restringido por el espacio del que dispone el recinto donde se requiere el sistema.
- Debido a que el equipo manejador de aire es producido por una compañía, se limita la selección de este, por los que han sido fabricados.

Para utilizar el método T en el diseño de ductos, la pérdida de energía que se suma es la que se obtiene por medio de la transferencia de calor que se da por las paredes del conducto y la variación del valor de construir el sistema, así como también la determinación de los conductos rectangulares. La ecuación que representa el costo del ciclo de vida es la siguiente (fuente No. 4):

$$E = E_p(PWEF) + E_s \quad (\text{Ecuación 20})$$

Donde

E = costo del ciclo de vida del sistema de conductos en USD

E_p = costo de energía eléctrica en el primer año en USD

$PWEF$ = factor de valor presente que es adimensional

$$PWEF = \frac{[(1+AER)/(1+AIR)]^{a-1}}{1-[(1+AIR)/(1+AER)]} \quad (\text{Ecuación 21})$$

Donde

AER = tasa de incremento anual de energía eléctrica en decimal

AIR = tasa de interés anual en decimal

a = período de amortización al año

E_s = costo inicial en USD

El costo de la energía eléctrica del primer año E_p es modificado para integrar el que se genera por la cantidad de calor perdido por las paredes de los conductos al margen del costo de la energía eléctrica del ventilador, se expresa de la siguiente manera (fuente No. 4):

$$E_p = E_{fan-en} + E_{loss} \quad (\text{Ecuación 22})$$

Donde E_{fan-en} representa el costo de la energía del ventilador durante el primer año en USD y se obtiene de la siguiente manera:

$$E_{fan-en} = Q_{fan} \frac{(E_c)Y + E_d}{10^3 \square_f \square_e} (P_{fan}) \quad (\text{Ecuación 23})$$

Donde

Q_{fan} = caudal de aire en metros cúbicos por segundo

E_c = costo unitario de energía eléctrica como USD/kW-h

Y = tiempo total que trabaja el sistema en un año dado en horas-año

E_d = precio de la cantidad de demanda de energía eléctrica en USD/kW

P_{fan} = presión total del ventilador en pascales

\square_f = eficiencia total del ventilador que es adimensional

\square_e = eficiencia del motor adimensional

E_{loss} = costo de energía eléctrica debido a la pérdida de calor generada por los conductos en USD

$$E_{loss} = \frac{2U(H+W)L[E_c Y + E_d]}{10^3 \square_t} \left[t_a - \frac{t_e + t_1}{2} \right] \quad (\text{Ecuación 24})$$

Donde

U = coeficiente global de transferencia de calor por medio de la pared del conducto en $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

H = altura del conducto en metros

W = ancho del conducto en metros

L = longitud del conducto en metros

\square_t = eficiencia total del sistema en el conducto en $^\circ C$

t_a = temperatura promedio del aire en el conducto

t_e = temperatura promedio del aire frío en la entrada del ducto en $^\circ C$

t_1 = temperatura promedio del aire frío en la salida del ducto en $^\circ C$

$$t_1 = \frac{t_e(y-1) + 2t_a}{(y+1)} \quad (\text{Ecuación 25})$$

$$y = \frac{1005Q\rho}{U(H+W)L} \quad (\text{Ecuación 26})$$

Donde

Q = caudal de aire en el conducto expresado en m^3/s

ρ = densidad del aire en condiciones interiores del conducto en kg/m^3

4.3.1. Costo inicial del sistema

Este costo incluye el valor de los conductos instalados y del ventilador. El valor de los conductos es determinado en función del costo por unidad de área, el valor del equipo como serpentines de calentamiento y enfriamiento se consideran constantes (estos cuando el sistema es de acondicionamiento de aire), estos no son incluidos en la función objetivo con excepción del valor del ventilador. El costo inicial se representa en función de:

$$E_s = E_{duct} + E_{fan} \quad (\text{Ecuación 27})$$

Donde

E_{duct} = valor del ducto en USD

E_{fan} = valor del ventilador en USD

4.3.2. Costo de los conductos

El tamaño de los conductos de acuerdo a su sección, varían y están limitados a incrementos determinados por el fabricante, pero en ductos rectangulares el costo se puede determinar así:

$$E_{duct} = 2S_d(H + W)L \quad (\text{Ecuación 28})$$

Donde

S_d = costo unitario de la fabricación del conducto en USD/m²

H = altura del conducto en m

W = ancho del conducto en m

L = largo del conducto en m

4.3.3. Selección del ventilador y su costo

Para lograr optimizar el sistema de conductos se debe seleccionar entre varios tamaños de estos, con lo que se debe seleccionar un ventilador apropiado para cada conformación de ductos, y es por esto que el costo se debe incluir dentro del cálculo del costo inicial. Para seleccionar un ventilador se tiene que tomar en cuenta factores importantes para su funcionamiento como el caudal máximo que pueden transportar, la presión estática correspondiente a dicho caudal y la eficiencia del ventilador, tiene que ser capaz de brindar el caudal que se necesita a la presión estática solicitada usando la menor cantidad de potencia posible.

El ventilador debe ser elegido dentro de un rango, iniciando por el de menor tamaño; si este no cumple con lo requerido en el diseño, se procede a elegir el siguiente. Al momento de haber elegido el ventilador adecuado, se procede a simular el sistema durante un año de operación, esto para garantizar que sí cumple con lo que se requiere de caudal y presión estática. En la selección del ventilador, puede llevarse a cabo por medio de los siguientes pasos:

- Observar las características del rendimiento del ventilador.
- Elegir el ventilador de menores dimensiones que cumpla con las condiciones de diseño del sistema.
- Verificar el ventilador seleccionado por medio de simulación del sistema durante un año completo.

5. MARCO PRÁCTICO

Para poder llevar a cabo el diseño del sistema de ventilación del Área de Lavandería del Hospital General Dr. Juan José Arévalo Bermejo, se deben conocer las condiciones del recinto en el que se realiza el proceso de lavado de ropa. La ubicación del hospital es la zona 6 de la ciudad de Guatemala a una altitud de 1 489 metros sobre el nivel del mar y una latitud de 14° 37' 40".

Las condiciones climatológicas promedio a las que se encuentra el hospital en referencia a su ubicación, son las que se especifican en la tabla VI.

Tabla VI. **Condiciones climatológicas promedio en la ciudad de Guatemala**

PARÁMETROS	Valores promedio	Dimensionales
Temperaturas	18,30	°C
Precipitación	1196,60	Mm
Brillo solar	203,60	Hrs
Humedad	78	%
Velocidad	17,70	Km/h
Evaporación	120	Mn

Fuente: CARÍAS, Rudy René. *Diseño de un sistema de ventilación y extracción en el departamento de lavandería y secado del hospital del IGSS Dr. Juan José Arévalo Bermejo de la zona 6 de la ciudad de Guatemala.* p. 37.

5.1. Condiciones iniciales del recinto

El Área de Lavandería cuenta con subáreas de trabajo, las cuales operan en conjunto para brindar la cantidad necesario de ropa limpia al nosocomio. Estas son las siguientes:

- Clasificación: se realiza por medio del tipo y tamaño de las prendas.
- Lavado: es la encargada de procesar la ropa clasificada por medio de lavadoras, esta cuenta con tres lavadoras funcionando las cuales tienen capacidad de 300, 250 y 100 libras. Su ciclo de operación promedio es de 1 hora por máquina.
- Secado: se realiza por medio de secadoras, está conformada por 6 de estas con capacidades de 200, 150, 125 y 100 libras.
- Planchado y doblado: aquí es donde se procede a planchar la ropa y a realizar su respectivo doblado, se clasifica por medio del tipo de prenda que es y cuenta con tres planchas para su operación.

Para poder lograr terminar todo el proceso de lavado de ropa se necesita de 13 personas laborando en el área, las cuales realizan las tareas de la siguiente manera: 3 son las encargadas de la clasificación de la ropa cuando es recibida, 2 operan las lavadoras y su función es introducir y extraer la ropa para pasarla al secado, 3 son encargadas de operar las secadoras introduciendo y sacando la ropa conforme el ciclo, 2 personas son los delegados para realizar el planchado de ropa que lo requiere y 3 personas las encargadas de doblar y acomodar la ropa.

En el proceso del lavado de ropa, la cantidad de personas para cada tarea puede variar conforme se realiza el ciclo de las máquinas debido a que cuando están en su ciclo de operación, estos se coordinan para ayudar en las subáreas para que el proceso no se estanque o retarde por la acumulación de ropa en algún punto.

Para el proceso de lavado es fundamental el vapor, porque la maquinaria utilizada aquí trabaja con base en vapor, con esto se genera altas concentraciones de calor dentro del recinto porque la maquinaria emana cierta cantidad de calor al ambiente, por lo que si no es eliminado, este se va acumulando con el tiempo. Se observa que el problema primordial en el proceso de lavado, secado y planchado es la acumulación de calor generado por estos procesos, como también los contaminantes que son emitidos al ambiente.

Para poder resolver el problema del área de trabajo, se requiere el diseño de un sistema de ventilación que sea capaz de eliminar o reducir la cantidad de calor acumulado dentro de este.

Los motivos, por los que se debe de eliminar la acumulación de calor, son las personas que trabajan en el área, porque indican que existe alta temperatura dentro del recinto ocasionando incomodidades al laborar y con esto se genera baja productividad, un ambiente incómodo para laborar, deshidratación de los operarios, paros frecuentes de labores y un espacio propicio para la generación de enfermedades e infecciones.

El lugar en el que se encuentra el Área de Lavandería, por su ubicación en el hospital no se puede obtener ningún medio de ventilación natural, ya que se encuentra en el sótano y, por tal motivo no se puede generar ningún tipo de

corriente de aire natural para su ventilación. En la actualidad, se tiene un sistema de inyección de aire el cual lo ponen en servicio cuando el personal siente el aumento del calor, pero por el motivo de que el sistema no cuenta con un plan de mantenimiento desde que fue instalado y por esa razón no se le ha dado ningún tipo de mantenimiento, este no opera adecuadamente brindando la cantidad de aire requerida al local.

Para que la ventilación brindada sea la adecuada en un recinto, es necesario poder generar una corriente de aire que se encargue de renovar el volumen de este que se encuentre en el local, pero como se observa que la ubicación del lugar donde se encuentra el Área de Lavandería no presenta ningún medio para poder realizar la ventilación solo con inyectar aire al local, es necesario contar con un sistema de extracción.

Por este motivo es que se diseñará un sistema de ventilación por extracción de aire, para poder brindar las condiciones apropiadas de confort al personal que labora en el Área de Lavandería.

5.2. Diseño de conductos

Tener identificado los tramos de conductos que conforman el sistema de ventilación para proceder a dimensionarlos y determinar por medio de métodos analíticos las variables que operan en este, se puede observar el apéndice 3 las condiciones del lugar. Con los tramos identificados, se procede a calcular la cantidad de aire que ha de circular por el ducto utilizando las ecuaciones y tablas para llevar a cabo el diseño. Para poder determinar el caudal de diseño es necesario conocer el área y la altura del local que ha de ser ventilado para determinar el volumen, por medio de la ecuación:

$$V = LAH \quad \text{(Ecuación 29)}$$

Donde V es el volumen que se determinará en metros cúbicos (m^3), L largo del lugar, A el ancho y H la altura, estos últimos tres expresados en metros (m). Obteniendo el volumen, se procede a calcular el caudal de diseño por medio de la ecuación:

$$Q = VN \quad \text{(Ecuación 30)}$$

La variable N representa la cantidad de renovaciones de aire por hora que se deben de realizar y depende directamente de la naturaleza de las actividades que se llevan a cabo en el recinto, estos valores se encuentran en la tabla de renovaciones de aire según la naturaleza de local (ver anexo 2).

Se debe de seleccionar la velocidad a la que será transportado el aire dentro de los conductos V_t , esto se toma conforme al tipo y características del contaminante que contiene el flujo de aire. La velocidad de transporte o de diseño es denominada de esta manera, porque su principal función es la de llevar las partículas fuera del sistema y no dejando que se sedimenten en los ductos. Estos valores son determinados de las tablas de velocidades mínimas de transporte para algunos materiales (ver anexos 3 y 4).

Teniendo el caudal y la velocidad de transporte en los tramos del sistema, se procede a determinar el área del conducto de cada ramal con la ecuación:

$$A = \frac{Q}{v_t} \quad \text{(Ecuación 31)}$$

El área obtenida de esta ecuación se expresa en metros cuadrados (m^2).

Con el área del conducto se procede a calcular el diámetro, tomando en cuenta que se considera el empleo de conductos circulares porque generan menores pérdidas por fricción debido a que el área circular tiene menor perímetro que las áreas iguales, su deformación mecánica es menor cuando la presión del interior es menor a la presión atmosférica y, que la distribución de velocidad es mayormente uniforme con relación a conductos rectangulares, al igual que evita el depósito de partículas en los conductos evitando obstrucciones en estos.

Para determinar el diámetro se procede a utilizar la siguiente ecuación (fuente 10):

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{V_t \pi}} \quad (\text{Ecuación 32})$$

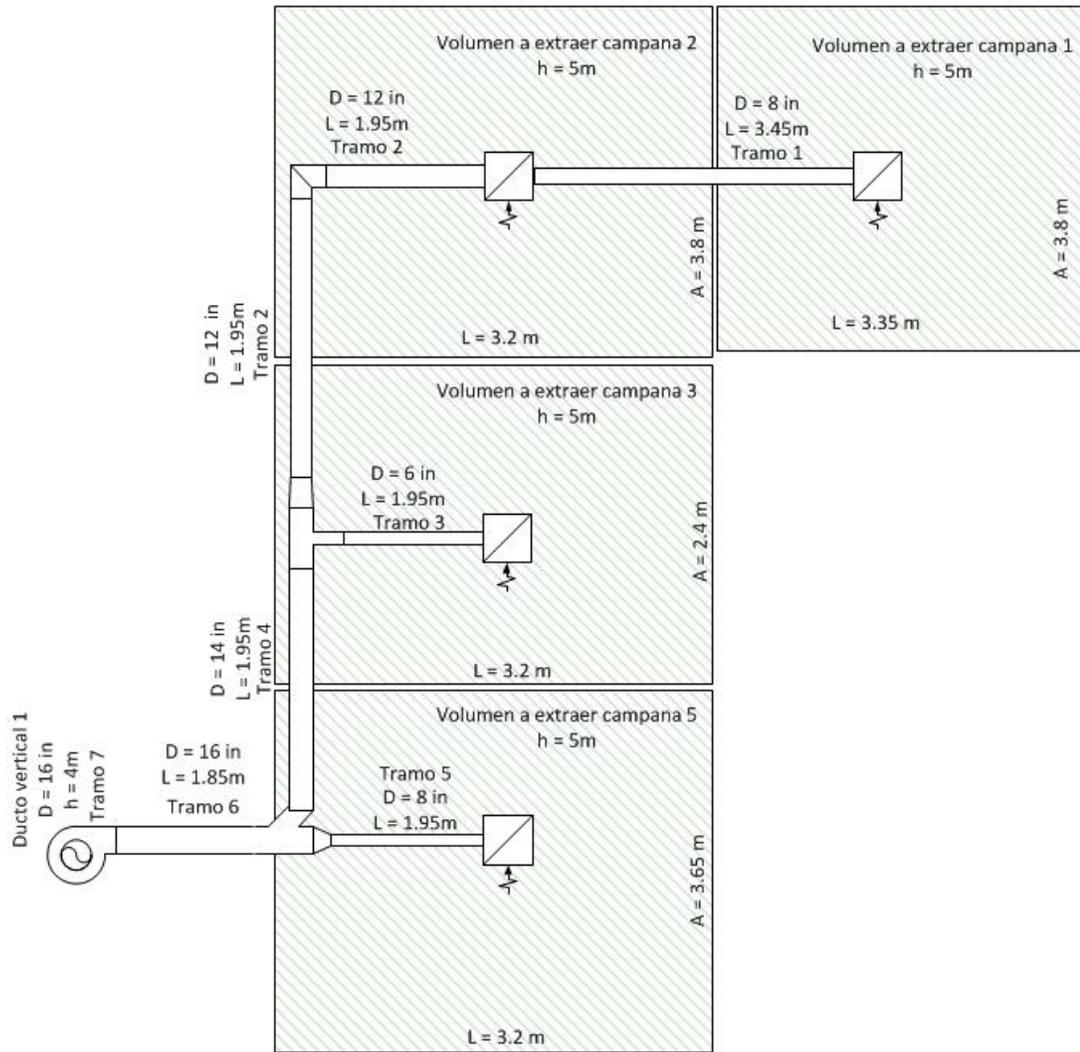
El diámetro obtenido de esta ecuación está expresado en metros, por lo que para facilitar la continuidad del proceso de diseño de ductos, este diámetro es convertido a milímetros (mm) y pulgadas (in).

A continuación se muestra la determinación de los datos anteriormente expuestos utilizando las condiciones del recinto para el que se está diseñando el sistema de ventilación, estos datos son de los tramos número 1 y 2 del sistema de ventilación 1:

L_1 : 3.35m A_1 : 3.8m H_1 :5m

L_2 : 3.2m A_2 : 3.8m H_2 :5m

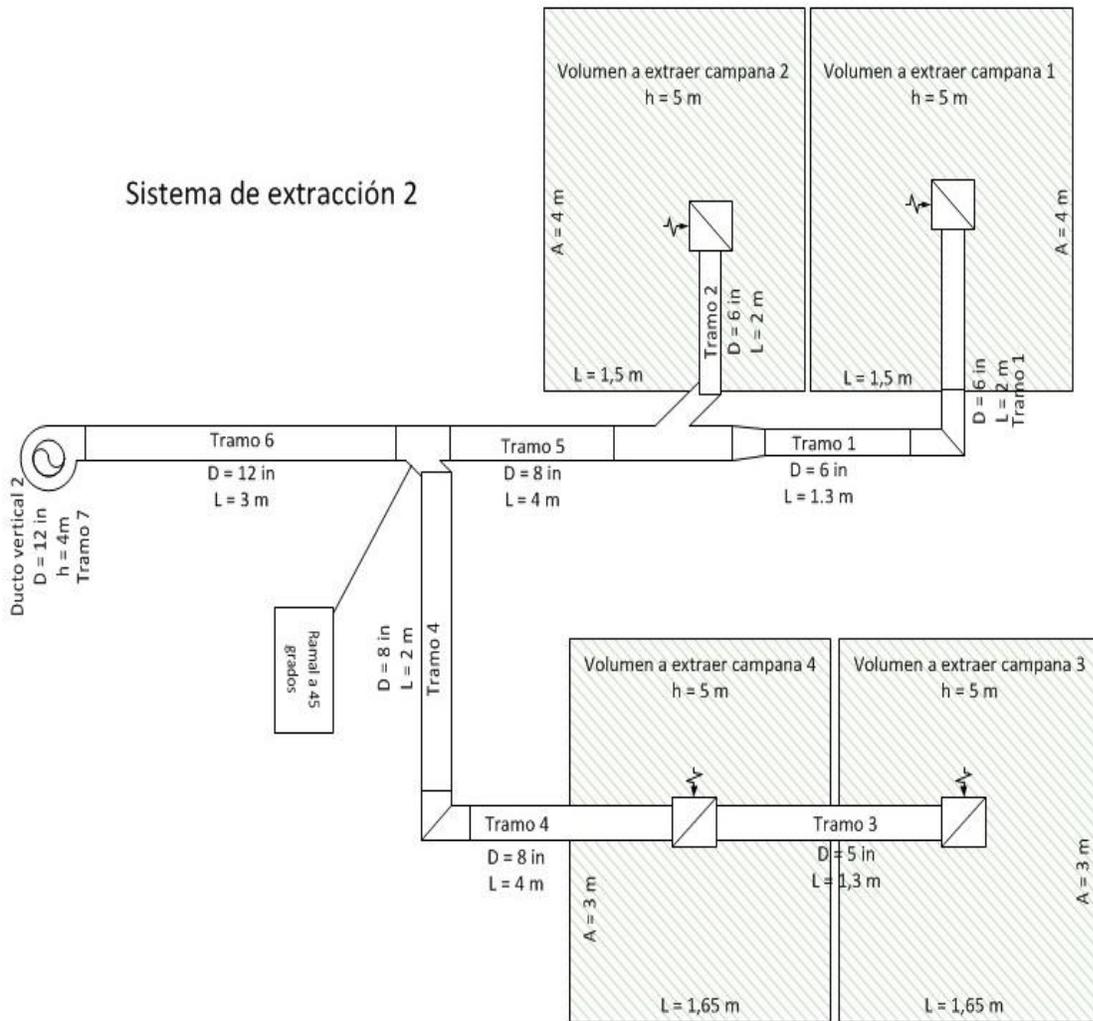
Figura 32. Plano del sistema de ventilación 1



Sistema de ventilación 1

Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio 2010.

Figura 33. **Plano del sistema de ventilación 2**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio 2010.

Entonces, el volumen para los tramos 1 y 2 del sistema de ventilación 1 es:

$$V_{Tramo\ 1} = (5\ m)(3,8\ m)(3,35\ m) = 63,65\ m^3$$

$$V_{Tramo\ 2} = (5\ m)(3,8\ m)(3,2\ m) = 60,3\ m^3$$

Y el volumen para los tramos 1, 4 y 7 del sistema de ventilación 2 es:

$$L_1: 1,5 \text{ m} \quad A_1: 4 \text{ m} \quad H_1: 5 \text{ m}$$

$$L_4: 1,65 \text{ m} \quad A_4: 3 \text{ m} \quad H_4: 5 \text{ m}$$

$$V_{Tramo 1} = (5 \text{ m})(4 \text{ m})(1,5 \text{ m}) = 30 \text{ m}^3$$

$$V_{Tramo 4} = (5 \text{ m})(3 \text{ m})(1,65 \text{ m}) = 24,75 \text{ m}^3$$

Para el volumen del tramo 7, por no haber campana de extracción, es ducto de transporte, por lo que el volumen a conducir es el mismo del tramo 6 el cual es la sumatoria de volúmenes del tramo 4 y 5.

Con el volumen y el número de renovaciones de aire por hora obtenido de la tabla (ver anexo 2), se puede calcular el caudal de los primeros dos tramos. El número de renovaciones se ha elegido el mayor para controlar que el sistema operará efectivamente.

$$Q_{Tramo 1} = (63,65 \text{ m}^3) \left(\frac{30}{h} \right) \left(\frac{1h}{3600s} \right) = 0,5304 \text{ m}^3/s$$

$$Q_{Tramo 2} = (60,3 \text{ m}^3) \left(\frac{30}{h} \right) \left(\frac{1h}{3600s} \right) + Q_1 = 1,0329 \text{ m}^3/s$$

Para los tramos 1, 4 y 7 del sistema de ventilación 2:

$$Q_{Tramo 1} = (30 \text{ m}^3) \left(\frac{30}{h} \right) \left(\frac{1h}{3600s} \right) = 0,2513 \text{ m}^3/s$$

$$Q_{Tramo\ 4} = (24,75\ m^3) \left(\frac{30}{h}\right) \left(\frac{1h}{3600s}\right) + Q_3 = 0,4188\ m^3/s$$

$$Q_{Tramo\ 7} = Q_{Tramo\ 6} = Q_{Tramo\ 4} + Q_{Tramo\ 5}$$

$$Q_{Tramo\ 7} = 0,4188m^3/s + 0,5026m^3/s = 0,9214m^3/s$$

Con los datos del caudal y la velocidad de transporte obtenida de la tabla (anexo 3), la cual fue elegida tomando en cuenta que se va a transportar vapores y partículas de algodón, se calcula el área del conducto así:

$$A_{Tramo\ 1} = \frac{0,5304\ m^3/s}{15\ m/s} = 0,03536\ m^2$$

$$A_{Tramo\ 2} = \frac{1,0329\ m^3/s}{15\ m/s} = 0,0688\ m^2$$

El área para los tramos 1, 4 y 7 del sistema de ventilación 2:

$$A_{Tramo\ 1} = \frac{0,2513\ m^3/s}{15\ m/s} = 0,01675\ m^2$$

$$A_{Tramo\ 4} = \frac{0,4188\ m^3/s}{15\ m/s} = 0,02792\ m^2$$

$$A_{Tramo\ 7} = \frac{0,9214m^3/s}{15\ m/s} = 0,06142\ m^2$$

El valor del área del conducto se utiliza para poder determinar el diámetro del mismo, el cual se realiza de la siguiente manera para el sistema de ventilación 1:

$$D_{Tramo\ 1} = \sqrt{\frac{4 (0,03536\ m^2)}{\pi}} = 0,2121\ m$$

$$D_{Tramo\ 2} = \sqrt{\frac{4 (0,0688\ m^2)}{\pi}} = 0,2961\ m$$

Los diámetros para los tramos 1, 4 y 7 del sistema de ventilación 2 son:

$$D_{Tramo\ 1} = \sqrt{\frac{4 (0,01675\ m^2)}{\pi}} = 0,1460\ m$$

$$D_{Tramo\ 4} = \sqrt{\frac{4 (0,02792\ m^2)}{\pi}} = 0,1885\ m$$

$$D_{Tramo\ 7} = \sqrt{\frac{4 (0,06142\ m^2)}{\pi}} = 0,2796\ m$$

Se procede a multiplicar este valor del diámetro por 1 000 para obtenerlo en milímetros y luego dividirlo entre 25,4 para su conversión a pulgadas. Este procedimiento se realiza para todos los tramos de los sistemas de ventilación que se implementarán para el recinto, estos datos se muestran en las tablas VII y VIII. Nótese que el diámetro aparece en cuatro columnas, las primeras dos para los datos calculados y las otras dos para las dimensiones reales de ductos que son suministrados por los fabricantes.

Tabla VII. **Cálculo de las dimensiones de los ductos del sistema de extracción número 1**

Tramo	Caudal Q (m^3/s)	Vel. Trans. V_t (m/s)	Área A (m)	Diámetro D			
				mm	in	in	mm
				Calculados		Fabricante	
1	0,5304	15	0,03536	212,18	8,353	8	203,2
2	1,0329	15	0,06886	296,10	11,65	12	304,8
3	0,3238	15	0,02159	165,79	6,527	6	152,4
4	1,3567	15	0,09045	339,36	13,36	14	355,6
5	0,4858	15	0,03239	203,08	7,995	8	203,2
6	1,8425	15	0,1228	395,42	15,56	16	406,4
7	1,8425	15	0,1228	395,42	15,56	16	406,4

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Cálculo de las dimensiones de los ductos del sistema de extracción número 2**

Tramo	Caudal Q (m^3/s)	Vel. Trans. V_t (m/s)	Área A (m^2)	Diámetro D			
				mm	in	in	mm
				Calculados		Fabricante	
1	0,2513	15	0,01675	146,04	5,75	6	152,4
2	0,2513	15	0,01675	146,04	5,75	6	152,4
3	0,2094	15	0,01396	133,32	5,25	5	127
4	0,4188	15	0,02792	188,54	7,42	8	203,2
5	0,5026	15	0,0335	206,53	8,13	8	203,2
6	0,9214	15	0,06143	279,67	11,01	12	304,8
7	0,9214	15	0,06143	279,67	11,01	12	304,8

Fuente: elaboración propia.

Se prosigue con el cálculo del área real del conducto elegido utilizando el diámetro en metros del tramo a utilizar con la ecuación (fuente 10):

$$A_{real} = \frac{D^2\pi}{4} \quad (\text{Ecuación 33})$$

Con este dato se logra determinar la velocidad real que se genera en los ductos por medio de la relación (fuente 10):

$$V_{t\ real} = \frac{Q}{A_{real}} \quad (\text{Ecuación 34})$$

Donde el caudal es el calculado al principio del proceso, A_{real} el área real de los conductos elegidos para conformar el sistema y $V_{t\ real}$ la velocidad real que se produce dentro de los conductos. Se debe distinguir la longitud de los tramos rectos que conforman el sistema, el cual se debe tomar en cuenta para la determinación de las pérdidas producidas por el mismo. También se debe tomar en cuenta los accesorios que son utilizados para conformar el sistema de ventilación, se describe a continuación cómo se procede para esto.

- Se observa la cantidad de codos que hay, así como el ángulo del codo, y el radio de curvatura de este.
- Los ángulos formados por las derivaciones o ramales.
- Los accesorios que se toman en cuenta en los anteriores son contracciones, expansiones, bifurcaciones, chimeneas, etc.

Al tener identificados los accesorios que producen pérdidas por fricción, se expresan en términos de longitud equivalente, esto se puede realizar por medio de las tablas de longitudes equivalentes para accesorios (ver anexos 5, 6 y 7). Teniendo la longitud de cada tramo recto y la longitud equivalente por pérdidas por fricción, se obtiene la longitud total sumando estas dos últimas. A continuación se ejemplifica la determinación de estos últimos datos expuestos, utilizando las condiciones del recinto para los tramos número 1, 2 y 3 del sistema de ventilación 1 y los tramos 4 y 7 del sistema de ventilación 2, donde el diámetro en milímetros se convierte a metros (tabla IX):

El diámetro a utilizar en la ecuación para determinar el área real del conducto, son las dimensiones que proporciona el fabricante, tomando en cuenta que es elegido el de dimensiones menores más próximas a las calculadas debido a que con esto se puede cuidar que el sistema opere dentro del rango de lo estimado.

$$A_{real\ Tramo\ 1} = \frac{(0,2032\ m)^2\pi}{4} = 0,03243\ m^2$$

$$A_{real\ Tramo\ 2} = \frac{(0,3048\ m)^2\pi}{4} = 0,07297\ m^2$$

$$A_{real\ Tramo\ 3} = \frac{(0,1524\ m)^2\pi}{4} = 0,01824\ m^2$$

Para el sistema de ventilación 2:

$$A_{real\ Tramo\ 4} = \frac{(0,2032\ m)^2\pi}{4} = 0,03243\ m^2$$

$$A_{real\ Tramo\ 7} = \frac{(0,3048\ m)^2\pi}{4} = 0,07297\ m^2$$

Para determinar la velocidad real generada dentro del conducto de los tramos del sistema de ventilación 1, se divide el caudal con el área real de esta manera:

$$V_{t\ real\ Tramo\ 1} = \frac{0,5304\ m^3/s}{0,03243\ m^2} = 16,35\ m/s$$

$$V_{t\ real\ Tramo\ 2} = \frac{1,0329\ m^3/s}{0,07297\ m^2} = 14,15\ m/s$$

$$V_{t\ real\ Tramo\ 3} = \frac{0,3238\ m^3/s}{0,01824\ m^2} = 17,75\ m/s$$

Para los tramos del sistema de ventilación 2:

$$V_{t\ real\ Tramo\ 4} = \frac{0,4188\ m^3/s}{0,03243\ m^2} = 12,91\ m/s$$

$$V_{t\ real\ Tramo\ 7} = \frac{0,9214\ m^3/s}{0,07297\ m^2} = 12,62\ m/s$$

La longitud total del tramo número uno es igual a 3,45 metros (figura 32). Se logra distinguir que en el tramo número 1 no existen codos ni accesorios que produzcan pérdidas por fricción, por tal motivo se procederá a utilizar el tramo número 2 del sistema de ventilación 1 (figura 32), para ejemplificar el procedimiento a usar con una longitud de tramo recto de 3,9 metros haciendo la suma de las dos partes de conducto recto con las que cuenta el tramo 2.

Es de notar que existe un codo a noventa grados 90° con un radio de curvatura de 2D (figura 32 tramo 2), con estos datos se dirige a la tabla de anexo 5, se puede observar que el diámetro que se utiliza de 304,8 milímetros es el del ducto que brinda el fabricante y el que mejor se acopla a las características requeridas por el diseño, este valor no se encuentra entre los que proporciona la tabla, por tal motivo se recurre a la interpolación lineal para determinar el valor de la longitud equivalente la que da un valor de $L_{eq \text{ Tramo } 2} = 5,296$ metros.

$$\begin{array}{r}
 300 \quad 5,2 \\
 304,8 \quad L_{eq} \\
 350 \quad 6,2
 \end{array}
 \quad \text{entonces} \quad
 L_{eq} = 5,2 - \frac{(300-304,8)(5,2-6,2)}{300-350}$$

Teniendo la longitud de los tramos rectos y la longitud equivalente, se puede determinar la longitud total sumando las longitudes anteriores, la longitud de los tramos rectos es la suma de $1,95 + 1,95 = 3,9$ metros que son los dos tramos de tubería recta con los que cuenta el tramo 2, entonces la longitud total para el tramo 2 es:

$$L_T \text{ Tramo } 2 = 3,9 \text{ m} + 5,296 \text{ m} = 9,196 \text{ m}$$

Debido a que el número 1 no presenta longitud equivalente por la inexistencia de accesorios, la longitud total es la misma que la de los tramos rectos. El tramo 3 tiene una bifurcación a 45° y un diámetro de 152,4 milímetros y con la tabla del anexo 6 se obtiene el valor de la longitud equivalente $L_{eq \text{ Tramo } 3} = 2,24$ metros así:

$$\begin{array}{r}
 150 \quad 2,2 \\
 152,4 \quad L_{eq} \\
 175 \quad 2,7
 \end{array}
 \quad \text{entonces} \quad
 L_{eq \text{ Tramo } 3} = 2,2 - \frac{(150-152,4)(2,2-2,7)}{150-175}$$

La longitud total del tramo 3 del sistema de ventilación 1 es:

$$L_{T \text{ Tramo } 3} = 1,95 \text{ m} + 2,24 \text{ m} = 4,19 \text{ m}$$

La determinación de las longitudes equivalentes para los tramos 4 y 7 del sistema de ventilación 2:

Para el tramo 4 se observa que tiene un codo a noventa grados 90° con un radio de curvatura de 2D (figura 33 tramo 4), con estos datos se dirige a la tabla de anexo 5, y con un diámetro de 203,2 milímetros el cual brinda el fabricante se estima una longitud equivalente de $L_{eq \text{ Tramo } 4} = 2,64$ metros.

200	3,3			
203,2	L_{eq}	entonces	$L_{eq} = 3,3 - \frac{(200-203,2)(3,3-4,2)}{200-250}$	
250	4,2			

En el tramo 4, también hay una bifurcación a cuarenta y cinco grados 45° y un diámetro de 203,2 milímetros y con la tabla anexo 6 se obtiene una longitud equivalente de $L_{eq \text{ Tramo } 4} = 3,26$ metros la cual se calculó así:

200	3,2			
203,2	L_{eq}	entonces	$L_{eq \text{ Tramo } 4} = 3,2 - \frac{(200-203,2)(3,2-4,1)}{200-250}$	
250	4,1			

Entonces, la longitud total del tramo 4 es:

$$L_{T \text{ Tramo } 4} = 6 \text{ m} + 2,64 \text{ m} + 3,26 \text{ m} = 11,90 \text{ m}$$

Para el tramo 7 se observa que tiene un codo a noventa grados 90° con un radio de curvatura de 2D (figura 33 tramo 7), con estos datos se dirige a la

tabla de anexo 5, y con un diámetro de 304,8 milímetros el cual brinda el fabricante se estima una longitud equivalente de $L_{eq \text{ Tramo } 7} = 5,3$ metros.

$$\begin{array}{r}
 300 \quad 5,2 \\
 304,8 \quad L_{eq} \\
 350 \quad 6,2
 \end{array}
 \quad \text{entonces} \quad
 L_{eq \text{ Tramo } 7} = 5,2 - \frac{(300-304,8)(5,2-6,2)}{300-350}$$

En el tramo 7, se tiene una chimenea la cual está a 1 diámetro de altura de la boca de salida y con el diámetro de 304,8 milímetros se dirige a la tabla anexo 7 para determinar la longitud equivalente de $L_{eq \text{ Tramo } 7} = 1,93$ metros la cual se calculó así:

$$\begin{array}{r}
 300 \quad 1,9 \\
 304,8 \quad L_{eq} \\
 350 \quad 2,2
 \end{array}
 \quad \text{entonces} \quad
 L_{eq \text{ Tramo } 7} = 1,9 - \frac{(300-304,8)(1,9-2,2)}{300-350}$$

Entonces, la longitud total del tramo 7 es:

$$L_T \text{ Tramo } 7 = 5 \text{ m} + 5,3 \text{ m} + 1,93 \text{ m} = 12,23 \text{ m}$$

Se presentan los datos obtenidos para cada tramo de los sistemas en las tablas IX y X.

Tabla IX. Continuación cálculo de las dimensiones de los ductos del sistema de extracción número 1

Tramo	Área real A_{real} (m^2)	Vel. trans. real $V_{t real}$ (m/s)	Long. Tramo recto (m)	C	R	E	O	Long. equiv. L_{eq} (m)	Long. total L_T (m)
1	0,03243	16,35	3,45	-----	-----	-----	-----	-----	3,45
2	0,07297	14,15	3,9	1-90°	2D	-----	-----	5,29	9,19
3	0,01824	17,75	1,95	-----	-----	45°	-----	2,24	4,19
4	0,09931	13,66	1,95	-----	-----	45°	-----	6,32	8,27
5	0,03243	14,97	1,95	-----	-----	-----	-----	-----	1,95
6	0,01297	14,20	1,85	-----	-----	-----	-----	-----	1,85
7	0,01297	14,20	5	1-90°	2D	-----	2,5	9,94	14,94

*C = número de codos con su ángulo respectivo
 *R = radio de curvatura
 *E = ángulo de la entrada de derivación
 *O = otros accesorios

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. Continuación cálculo de las dimensiones de los ductos del sistema de extracción número 2

Tramo	Área real A_{real} (m^2)	Vel. trans. real $V_{t real}$ (m/s)	Long. tramo recto (m)	C	R	E	O	Long. equiv. L_{eq} (m)	Long. total L_T (m)
1	0,01824	13,77	3,3	1-90°	2D	-----	-----	2,34	5,64
2	0,01824	13,77	2	-----	-----	45°	-----	2,24	4,24
3	0,01267	16,52	1,3	-----	-----	-----	-----	-----	1,3
4	0,03243	12,91	6	1-90°	2D	45°	-----	5,90	11,90
5	0,03243	15,49	4	-----	-----	-----	-----	-----	4
6	0,07297	12,62	3	-----	-----	-----	-----	-----	3
7	0,07297	12,62	5	1-90°	2D	-----	1,93	7,23	12,23

*C = número de codos con su ángulo respectivo
 *R = radio de curvatura
 *E = ángulo de la entrada de derivación
 *O = otros accesorios

Fuente: elaboración propia.

Con el cálculo de la longitud total de los ramales del sistema, se continúa con la determinación de las pérdidas generadas por la fricción de los conductos. Para el cálculo de esto se utiliza la ecuación (fuente 10):

$$h_{f 100} = 518.72 \frac{V_t^{1.8}}{D^{1.18}} \quad (\text{Ecuación 35})$$

Por medio de esta función se podrá determinar las pérdidas producidas por fricción por cada 100 metros de conducto. Para el cálculo de la pérdida por fricción de cada tramo, se utiliza la siguiente relación (fuente 10):

$$h_f = \frac{h_{f\ 100} \times L_T}{100} \quad (\text{Ecuación 36})$$

Luego se procede a llevar a cabo la determinación de la presión de velocidad producida en los ramales, para poder calcularla es necesario utilizar la velocidad de transporte real antes calculada y se utiliza la expresión siguiente (fuente 10):

$$P_v = \left(\frac{V_{t\ real}}{4.034} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 37})$$

Conociendo estos datos de las ramificaciones del sistema de ventilación, se debe realizar el análisis de las pérdidas de presión generadas por las campanas de inyección/extracción, para este diseño se toma en cuenta la extracción. Por medio de tablas y la siguiente ecuación se obtiene el factor de pérdida en la entrada a la campana (fuente 10):

$$F = \frac{H_e}{P_v} \quad (\text{Ecuación 38})$$

Donde P_v es la presión de velocidad de la corriente de aire y H_e la pérdida en la entrada de la campana, la cual se obtiene de la tabla (anexo 8). Al valor de F se le suma una unidad para poder llevar a cabo el cálculo de la presión estática en la campana por medio de la siguiente ecuación (fuente 10):

$$P_{ec} = P_v(F + 1) \quad (\text{Ecuación 39})$$

A continuación del cálculo de la presión estática en la campana se debe elegir el valor de la velocidad de paso de aire que circula por las ranuras donde dicho valor mínimo recomendado para los parámetros de este diseño es de 10 metros por segundo, porque se requiere que el aire sea inducido en las ranuras con alta velocidad en el inicio en una zona de movimiento muy rápida de aire. Los cálculos de estas pérdidas para el diseño de ventilación se plantean a continuación tomando como demostración los tramos número 1, 2 y 3 del sistema de extracción 1 y los tramos 2 y 4 del sistema extracción 2:

$$h_{f\ 100\ Tramo\ 1} = 518,72 \frac{(16,35\ m/s)^{1,8}}{(203,2\ mm)^{1,18}} = 150,02\ mmH_2O$$

$$h_{f\ 100\ Tramo\ 2} = 518,72 \frac{(14,155\ m/s)^{1,8}}{(304,8\ mm)^{1,18}} = 71,69\ mmH_2O$$

$$h_{f\ 100\ Tramo\ 3} = 518,72 \frac{(17,75\ m/s)^{1,8}}{(152,4\ mm)^{1,18}} = 244,09\ mmH_2O$$

Del sistema de extracción 2:

$$h_{f\ 100\ Tramo\ 2} = 518,72 \frac{(13,77\ m/s)^{1,8}}{(152,4\ mm)^{1,18}} = 154,69\ mmH_2O$$

$$h_{f\ 100\ Tramo\ 4} = 518,72 \frac{(12,91\ m/s)^{1,8}}{(203,2\ mm)^{1,18}} = 98,40\ mmH_2O$$

Con la pérdida por fricción por cada 100 metros de conducto y la longitud total se calcula la pérdida por fricción del tramo de la siguiente manera para el sistema de extracción 1:

$$h_{f \text{ Tramo } 1} = \frac{(3,45 \text{ m})(150,02 \text{ mm H}_2\text{O})}{100} = 5,18 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$h_{f \text{ Tramo } 2} = \frac{(9,196 \text{ m})(71,69 \text{ mm H}_2\text{O})}{100} = 6,5926 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$h_{f \text{ Tramo } 3} = \frac{(4,19 \text{ m})(244,09 \text{ mm H}_2\text{O})}{100} = 10,24 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Pérdida por fricción de los tramos 2 y 4 del sistema de extracción 2:

$$h_{f \text{ Tramo } 2} = \frac{(4,24 \text{ m})(154,69 \text{ mm H}_2\text{O})}{100} = 6,57 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$h_{f \text{ Tramo } 4} = \frac{(11,90 \text{ m})(98,40 \text{ mm H}_2\text{O})}{100} = 11,71 \text{ mm H}_2\text{O}$$

La presión de velocidad calculada de los tramos 1, 2 y 3 del sistema de extracción 1 es:

$$P_v \text{ Tramo } 1 = \left(\frac{16,35 \text{ m/s}}{4,034} \right)^2 = 16,43 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$P_v \text{ Tramo } 2 = \left(\frac{14,15 \text{ m/s}}{4,034} \right)^2 = 12,31 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$P_v \text{ Tramo } 3 = \left(\frac{17,75 \text{ m/s}}{4,034} \right)^2 = 19,36 \text{ mm H}_2\text{O}$$

De los tramos 2 y 4 del sistema de extracción 2:

$$P_v \text{ Tramo } 2 = \left(\frac{13,77 \text{ m/s}}{4,034} \right)^2 = 11,66 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$P_v \text{ Tramo } 4 = \left(\frac{12,91 \text{ m/s}}{4,034} \right)^2 = 10,25 \text{ mm H}_2\text{O}$$

El cálculo del factor de pérdida en la entrada a la campana por medio de la tabla en anexo 8 se obtiene que $H_e = 0,45P_v$ y como para los dos tramos es el mismo tipo de campana, entonces:

$$F_{\text{Tramos } 1,2 \text{ y } 3} = \frac{0,45P_v}{P_v} = 0,45$$

Para los tramos del sistema de extracción 2:

$$F_{\text{Tramos } 2 \text{ y } 4} = \frac{0,45P_v}{P_v} = 0,45$$

Entonces, la presión estática en la campana de los tramos sistema extracción 1 son:

$$P_{ec} \text{ Tramo } 1 = (16,43 \text{ mm H}_2\text{O})(0,45 + 1) = 23,83 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$P_{ec} \text{ Tramo } 2 = (12,31 \text{ mm H}_2\text{O})(0,45 + 1) = 17,85 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$P_{ec} \text{ Tramo } 3 = (19,36 \text{ mm H}_2\text{O})(0,45 + 1) = 28,07 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Para los tramos 2 y 4 sistema de extracción 2:

$$P_{ec} \text{ Tramo } 2 = (11,66 \text{ mm H}_2\text{O})(0,45 + 1) = 16,90 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$P_{ec \text{ Tramo } 4} = (10,25 \text{ mm H}_2\text{O})(0,45 + 1) = 14,86 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Tomando en cuenta que la velocidad en las ranuras es de 10 metros por segundo, basados en que la velocidad con la que es captado el aire debe ser alta para vencer la oposición al movimiento que se presenta en las ranuras, los datos calculados para los demás ramales y de los dos sistemas de ventilación por extracción se presentan en las tablas XI y XII.

Tabla XI. **Cálculo de pérdidas generadas en los conductos del sistema de extracción número 1**

Tramo	Pérdida por fricción por 100 metros $h_f 100$ (mmH ₂ O)	Pérdida por fricción h_f (mmH ₂ O)	Presión de velocidad P_v (mmH ₂ O)	Factor de pérdida en la campana F (Adim.)	Presión estática campana P_{ec} (mmH ₂ O)	Velocidad en ranuras V_r m/s
1	150,02	5,18	16,43	0,45	23,83	10
2	71,69	6,59	12,31	0,45	17,85	10
3	244,09	10,24	19,36	0,45	28,07	10
4	56,06	4,63	11,46	0	0	0
5	128,07	2,49	13,78	0,45	19,99	10
6	51,38	0,95	12,40	0	0	0
7	51,38	7,67	12,40	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Cálculo de pérdidas generadas en los conductos del sistema de extracción número 2**

Tramo	Pérdida por fricción por 100 metros $h_{f\ 100}$ (mmH ₂ O)	Pérdida por fricción h_f (mmH ₂ O)	Presión de velocidad P_v (mmH ₂ O)	Factor de pérdida en la campana F (Adim.)	Presión estática campana P_{ec} (mmH ₂ O)	Velocidad en ranuras V_r m/s
1	154,69	8,73	11,66	0,45	16,90	10
2	154,69	6,57	11,66	0,45	16,90	10
3	266,19	3,46	16,78	0,45	24,33	10
4	98,40	11,71	10,25	0,45	14,86	10
5	136,16	5,44	14,76	0	0	0
6	58,36	1,75	9,97	0	0	0
7	58,36	7,46	9,79	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Procediendo con los demás cálculos, teniendo ya la velocidad en las ranuras se determina la presión de velocidad en estas, con el uso de la siguiente ecuación y la velocidad antes mencionada (fuente 10):

$$P_{vr} = \left(\frac{V_r}{4.034} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 40})$$

Las campanas que tienen ranuras poseen un factor de pérdida, el cual debe ser determinado y tomado en cuenta para poder calcular las pérdidas producidas por las ranuras, por lo general, este valor es tomado como $F_r = 1.78$ que es adimensional y se produce por la presión ejercida por la velocidad del aire en las ranuras tomado del manual de ventilación industrial, las pérdidas por las ranuras se pueden calcular con la siguiente fórmula (fuente 10):

$$P_{er} = P_{vr} \times F_r \quad (\text{Ecuación 41})$$

Con la pérdida en las ranuras de la campana se procede a calcular la presión estática total de la campana, debido a que esta es la energía total requerida para captar el contaminante, hacer que pase por las ranuras y conducirlo hasta la entrada del conducto. El cálculo de la presión estática total de la campana se realiza por medio de la siguiente ecuación (fuente 10):

$$P_{ect} = P_{ec} + P_{er} \quad (\text{Ecuación 42})$$

Teniendo calculado el valor de la presión estática total de la campana, se procede a determinar la presión estática del tramo de conducto, porque esta es la energía necesaria para captar y transportar el contaminante para ser eliminado por la chimenea. La presión estática del tramo se calcula así (fuente 10):

$$P_e = h_f + P_{ect} \quad (\text{Ecuación 43})$$

Continuando con el cálculo de los tramos número 1, 2 y 3 del sistema de extracción 1 y los tramos 2 y 4 del sistema de extracción 2, para ejemplificar el procedimiento se prosigue a calcular la presión de velocidad en las ranuras de la siguiente manera:

$$P_{vr \text{ Tramos } 1,2 \text{ y } 3} = \left(\frac{10 \text{ m/s}}{4,034} \right)^2 = 6,145 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Nótese que se tomó como base 10 metros por segundo para la velocidad en las ranuras de todas las campanas de extracción debido a que con esta se logrará hacer que el aire circule hacia la campana. Entonces para las ranuras de los tramos 2 y 4 del sistema de extracción 2 quedan así:

$$P_{vr \text{ Tramos } 1,2 \text{ y } 3} = \left(\frac{10 \text{ m/s}}{4,034} \right)^2 = 6,145 \text{ mm H}_2\text{O}$$

El factor de pérdida en las ranuras es igual a 1,78, el cual es proporcionado por el manual de ventilación industrial (fuente 10) y es de uso en la determinación de la presión estática en las ranuras, donde:

$$P_{er \text{ Tramos } 1,2 \text{ y } 3} = 6,145 \text{ mm H}_2\text{O} \times 1,78 = 10,94 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Para los tramos del sistema de extracción 2 es:

$$P_{er \text{ Tramos } 2 \text{ y } 4} = 6,145 \text{ mm H}_2\text{O} \times 1,78 = 10,94 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Para calcular la presión estática total en la campana de los tramos del sistema de extracción 1 se procede así:

$$P_{ect \text{ Tramo } 1} = 23,83 \text{ mm H}_2\text{O} + 10,94 \text{ mm H}_2\text{O} = 34,77 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$P_{ect \text{ Tramo } 2} = 17,85 \text{ mm H}_2\text{O} + 10,94 \text{ mm H}_2\text{O} = 28,79 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$P_{ect \text{ Tramo } 3} = 28,07 \text{ mm H}_2\text{O} + 10,94 \text{ mm H}_2\text{O} = 39,01 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Tramos 3 y 4 sistema de extracción 2:

$$P_{ect \ Tramo \ 2} = 16,90 \text{ mm } H_2O + 10,94 \text{ mm } H_2O = 27,85 \text{ mm } H_2O$$

$$P_{ect \ Tramo \ 4} = 14,86 \text{ mm } H_2O + 10,94 \text{ mm } H_2O = 25,80 \text{ mm } H_2O$$

Con los cálculos hechos hasta este punto, se procede a determinar la presión estática de los tramos del conducto del sistema de extracción 1 de la siguiente manera:

$$P_e \ Tramo \ 1 = 5,18 \text{ mm } H_2O + 34,77 \text{ mm } H_2O = 39,95 \text{ mm } H_2O$$

$$P_e \ Tramo \ 2 = 6,59 \text{ mm } H_2O + 28,79 \text{ mm } H_2O = 35,38 \text{ mm } H_2O$$

$$P_e \ Tramo \ 3 = 10,24 \text{ mm } H_2O + 39,01 \text{ mm } H_2O = 49,25 \text{ mm } H_2O$$

Presión estática de los tramos 2 y 4 del sistema de extracción 2:

$$P_e \ Tramo \ 2 = 6,57 \text{ mm } H_2O + 27,85 \text{ mm } H_2O = 34,42 \text{ mm } H_2O$$

$$P_e \ Tramo \ 4 = 11,71 \text{ mm } H_2O + 25,80 \text{ mm } H_2O = 37,51 \text{ mm } H_2O$$

Desarrollando el proceso expuesto para todos los tramos de los sistemas de ventilación por extracción, se obtienen los datos sintetizados en las tablas XIII y XIV.

Tabla XIII. **Cálculo de pérdidas generadas por las ranuras en los conductos del sistema de extracción número 1**

Tramo	Presión de velocidad en ranuras P_{vr} (mm H ₂ O)	Factor de pérdida en ranuras F_r (Adim.)	Pérdidas en las ranuras P_{er} (mm H ₂ O)	Presión estática total en la campana P_{ect} (mm H ₂ O)	Presión estática del tramo P_e (mm H ₂ O)
1	6,145	1,78	10,94	34,77	39,95
2	6,145	1,78	10,94	28,79	35,38
3	6,145	1,78	10,94	39,01	49,25
4	0	0	0	0	84,63
5	6,145	1,78	10,94	30,93	33,42
6	0	0	0	0	163,68
7	0	0	0	0	7,67

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Cálculo de pérdidas generadas por las ranuras en los conductos del sistema de extracción número 2**

Tramo	Presión de velocidad en ranuras P_{vr} (mm H ₂ O)	Factor de pérdida en ranuras F_r (Adim.)	Pérdidas en las ranuras P_{er} (mm H ₂ O)	Presión estática total en la campana P_{ect} (mm H ₂ O)	Presión estática del tramo P_e (mm H ₂ O)
1	6,145	1,78	10,94	25,24	36,18
2	6,145	1,78	10,94	27,85	34,42
3	6,145	1,78	10,94	35,27	38,73
4	6,145	1,78	10,94	25,80	76,24
5	0	0	0	0	76,46
6	0	0	0	0	115,73
7	0	0	0	0	7,46

Fuente: elaboración propia.

Conociendo el valor de la presión estática en cada tramo, se procede a determinar el porcentaje de diferencia en los puntos donde se conectan dos ramales. Cuando el porcentaje de diferencia es igual o menor a 5 por ciento no es necesario realizar correcciones al sistema porque se encuentra balanceado. Cuando el porcentaje es menor o igual a 20 por ciento, se debe corregir el caudal que circula por el tramo y si el porcentaje de diferencia es mayor de 20 por ciento se corrige el diámetro del conducto. Esto proviene del Manual de Ventilación Industrial (fuente 10).

Para el sistema de extracción número 1 se calcula el porcentaje de diferencia en la presión estática para los tramos 2 y 3, entre estos la presión estática que gobierna es 75,41 milímetros columna de agua la cual se puede observar en la tabla XIII columna de presiones estáticas P_e , el cálculo para los tramos es el siguiente:

$$\%Dif_{Tramo\ 2} = 100 \left(\frac{49,25 - 35,38}{49,25} \right) = 28,16 \%$$

$$\%Dif_{Tramo\ 3} = 100 \left(\frac{49,25 - 49,25}{49,25} \right) = 0$$

Debido a que es mayor a 20 % se procede a corregir el diámetro del tramo que posee las menores pérdidas h_f (fuente 10):

$$D_{c\ Tramo\ 2} = 304,8 \left(\frac{35,38}{49,25} \right)^{1/4.5} = 283,20\ mm \cong 11\ in$$

Para el porcentaje de diferencia entre los tramos 4 y 5 se procede como en los tramos 2 y 3, se observo que la presión estática que gobierna es 84,63 milímetros columna de agua, y con las operaciones realizadas se obtiene un

diámetro corregido para el ramal 5 de 6 pulgadas, estas correcciones del diámetro se efectúan para que el sistema diseñado se encuentre balanceado en presión estática dentro de todo el sistema y con esto lograr que opere eficientemente.

$$\%Dif_{Tramo\ 4} = 100 \left(\frac{49,25 - 49,25}{49,25} \right) = 0$$

$$\%Dif_{Tramo\ 5} = 100 \left(\frac{84,63 - 33,42}{84,63} \right) = 60,51 \%$$

Debido a que es mayor a 20 % se procede a corregir el diámetro del tramo que posee las menores pérdidas h_f (fuente 10):

$$D_{c\ Tramo\ 5} = 203,2 \left(\frac{33,42}{84,63} \right)^{1/4,5} = 165,29\ mm \cong 6\ in$$

En el sistema de extracción número 2, cabe destacar que el porcentaje de diferencia entre los tramos 1 y 2 es menor a 5 por ciento (fuente 10), con lo que el sistema se encuentra estable y para los ramales 4 y 5 el porcentaje de diferencia es menor a 5 por ciento por lo que no requiere ningún cambio en sus dimensiones.

$$\%Dif_{Tramo\ 1} = 100 \left(\frac{36,18 - 36,18}{31,58} \right) = 0$$

$$\%Dif_{Tramo\ 2} = 100 \left(\frac{36,18 - 34,42}{36,18} \right) = 4,86 \%$$

Porcentaje de diferencia tramos 4 y 5:

$$\%Dif_{Tramo\ 4} = 100 \left(\frac{76,46 - 76,24}{76,46} \right) = 0,28 \%$$

$$\%Dif_{Tramo\ 5} = 100 \left(\frac{76,46 - 76,46}{76,46} \right) = 0$$

Con las dimensiones de los conductos se puede visualizar que el material del que se pueden obtener preferiblemente es de lámina galvanizada, ya que esta se presta para poder moldearla fácilmente y para poder colocarla como el sistema lo requiera.

5.3. Selección del ventilador

Para seleccionar un ventilador se debe de tomar en cuenta que este opere adecuadamente para lograr proveer el confort necesario al lugar. Al momento de tener que elegir el ventilador se utiliza el caudal de aire a extraer, así como la presión a la que debe circular el flujo. Se debe tomar en cuenta las dimensiones de este para poder ajustarlo al lugar en que se instalará y la velocidad rotacional del motor con que trabajará, la potencia que debe entregar por medio del eje, el tipo de transmisión a utilizar, el ruido producido, rendimiento en funcionamiento, etc.

La información necesaria para la elección correcta de los ventiladores la brinda el fabricante, porque estos están determinados por medio del caudal que entregan y la presión, datos que el fabricante conoce al momento de realizar la fabricación. La presión estática del ventilador está representada como las pérdidas generadas por el sistema de conductos y se calcula de la siguiente manera:

(Ecuación 44)

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

Donde $P_{e\ salida}$ es la presión estática en la salida del ventilador, $P_{e\ entrada}$ la presión estática en la entrada del ventilador y $P_{v\ entrada}$ la presión de velocidad en la entrada del ventilador, estas presiones están expresadas en mm H₂O.

Para el sistema de ventilación 1 que se está diseñando, el cálculo de la presión estática requerida por este se presenta así:

$$Q = 1,84\ m^3/s = 6\ 633\ m^3/h$$

$$P_{e\ entrada} = 163,68\ mmH_2O$$

$$P_{e\ salida} = 7,67\ mmH_2O$$

$$P_{v\ entrada} = 12,40\ mmH_2O$$

$$P_{e\ ventilador} = 7,67\ mmH_2O + 163,68\ mmH_2O - 12,40\ mmH_2O$$

$$P_{e\ ventilador} = 158,96\ mm\ H_2O$$

Donde el caudal utilizado es el que circula por los tramos 6 y 7 del sistema de ventilación 1, se pueden localizar en la tabla VII y las presiones se encuentran en las tablas XI y XIII de los tramos 6 y 7 porque entro de estos dos tramos es donde se localiza el ventilador. La presión estática en la entrada del ventilador es la que se encuentra en el tramo 6 del sistema 1, la presión estática en la salida del ventilador es la que se produce en el tramo 7 y la presión de velocidad en la entrada al ventilador es la del tramo 6 tabla XI.

Entonces, el ventilador a seleccionar debe de brindar una presión estática de 158,96 mm H₂O, un caudal de 6 633 m³/h y tener una boca de succión de 16 pulgadas de diámetro. Con estos datos se dirige a las especificaciones de los ventiladores que brinda el fabricante y se elige según los parámetros calculados

de presión estática a vencer y cantidad de aire a mover, se recomienda utilizar un ventilador centrífugo de álabes radiales de mediana presión modelo CX 6 500 como el que se muestra en el anexo 10 para el sistema de ventilación 1 debido a que en la gráfica de características brindadas por el fabricante es al que mayor acercamiento tiene y por ende es este el que se eligió, porque de fabrica los ventiladores están diseñados para entregar mayor capacidad de flujo de aire de lo que está especificado.

Para el sistema de ventilación 2 se recomienda un ventilador centrífugo de álabes radiales modelo CST 3 500, como el que se muestra en el anexo 11 porque estos ventiladores cumplen con las características necesarias de diseño de los sistemas y con ello brindar un funcionamiento adecuado. Se muestra el cálculo de la presión estática del ventilador para el sistema de ventilación 2:

$$Q = 0,92 \text{ m}^3/\text{s} = 3\,317 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$P_{e \text{ entrada}} = 115,73 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$P_{e \text{ salida}} = 7,46 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$P_{v \text{ entrada}} = 9,79 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$P_{e \text{ ventilador}} = 7,46 \text{ mmH}_2\text{O} + 115,73 \text{ mmH}_2\text{O} - 9,79 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$P_{e \text{ ventilador}} = 113,4 \text{ mm H}_2\text{O}$$

5.3.1. Potencia del ventilador

Al momento de determinar la potencia del ventilador es necesario contar con todas las pérdidas generadas por la fricción en los conductos debido a que estas deben ser vencidas por la potencia brindada por el ventilador.

El aumento de presión que es producida por el flujo de aire brindado por el ventilador es la presión estática. La presión de velocidad es generada por la corriente de aire que es proporcionada por el ventilador instalado en los conductos, esta se relaciona con la variación total de la velocidad del aire que circula a través de este. Cuando un ventilador realiza la descarga de aire directamente hacia un espacio abierto en el que no existe ninguna presión, la presión estática que se descarga es considerada igual a cero y el total de energía del flujo de aire que sale del ventilador es considerada energía cinética.

La cantidad de trabajo entregado por el ventilador consiste en generar un flujo de aire por medio de la elevación de la velocidad de este en la descarga produciendo el aumento de la presión estática. La cantidad total de presión en el ventilador es la sumatoria de las presiones estáticas en la entrada y salida con la presión de velocidad. La potencia entregada por el ventilador al aire varía dependiendo el caudal que circula y la presión que se necesita para vencer las pérdidas generadas por el sistema de ductos y puede ser calculada por medio de la siguiente ecuación (fuente 10):

$$HP_{entregada} = 10^{-3} Q P_e g \quad (\text{Ecuación 45})$$

Donde

HP = potencia entregada al aire por el ventilador

Q = caudal del ventilador en metros cúbicos por segundo

P_e = presión estática entregada del ventilador en milímetros columna de agua

g = aceleración de la gravedad, 9,81 metros por segundos al cuadrado

Entonces, la potencia entregada por los ventiladores de los sistemas de ventilación es:

$$HP_{entregada\ Sistema\ 1} = 10^{-3}(1,84m^3/s)(158,96\ mm\ H_2O)(9,81\ m/s^e)$$

$$HP_{entregada\ Sistema\ 1} = 2,87\ HP$$

$$HP_{entregada\ Sistema\ 2} = 10^{-3}(0,92m^3/s)(113,4\ mm\ H_2O)(9,81\ m/s^e)$$

$$HP_{entregada\ Sistema\ 2} = 1,023\ HP$$

La potencia del ventilador del sistema 1 es de 2,87 caballos de fuerza para poder brindar el movimiento adecuado de aire y la potencia del ventilador para el sistema 2 debe ser de 1,023 caballos de fuerza.

5.3.2. Leyes de los ventiladores

Cuando un ventilador debe operar en condiciones diferentes a las de diseño, se torna dificultoso llevar a cabo operaciones y ensayos para determinar el trabajo que brinda. Con el uso de ecuaciones conocidas como las leyes de los ventiladores, se puede determinar precisamente el servicio que el ventilador brindará en unas nuevas condiciones de servicio.

Para poder utilizar estas leyes, los valores que se conocen deben ser de aparatos de la misma familia que operan en condiciones iguales a los que se desea determinar las nuevas características. Es importante que la velocidad del flujo de aire tenga proporcionalidad en los dos ventiladores.

- Primera ley: la velocidad de rotación varía y las demás variables permanecen constantes, el diámetro del ventilador, la densidad del aire y el sistema (fuente 10).

$$Q_2 = Q_1 \frac{RPM_2}{RPM_1} \quad (\text{Ecuación 46})$$

$$P_{e2} = P_{e1} \left(\frac{RPM_2}{RPM_1} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 47})$$

$$BHP_2 = BHP_1 \left(\frac{RPM_2}{RPM_1} \right)^3 \quad (\text{Ecuación 48})$$

Donde los subíndices indican las condiciones antes (1) y después (2) del cambio producido en el ventilador.

- Segunda ley: la densidad del aire varía y las demás variables permanecen constantes, tamaño del ventilador, velocidad rotacional, caudal de aire y el sistema. Si el ventilador opera con velocidad rotacional constante y en un sistema que no ejerce cambios en la resistencia ocasionando pérdidas, el caudal es constante, esto da como efecto que no varía por cambios producidos en la densidad. Entonces el ventilador opera con densidades diferentes en donde el caudal es (fuente 10):

$$Q_2 = Q_1$$

Con esta la densidad presenta proporcionalidad con la potencia consumida y la presión estática desarrollada por el sistema y con las densidades diferentes:

$$P_{e2} = P_{e1} \frac{\rho_2}{\rho_1} \quad (\text{Ecuación 49})$$

$$BHP_2 = BHP_1 \frac{\rho_2}{\rho_1} \quad (\text{Ecuación 50})$$

Al utilizar la ecuación de los gases ideales, estas pueden ser expresadas:

$$P_{e2} = P_{e1} \frac{P_2 T_1}{P_1 T_2} \quad (\text{Ecuación 51})$$

$$BHP_2 = BHP_1 \frac{P_2 T_1}{P_1 T_2} \quad (\text{Ecuación 52})$$

Cuando la densidad varía por causas de cambios en la temperatura, humedad y presión atmosférica, estas presentan pequeñas variantes, por lo que no son tomadas en cuenta. Al momento que la variación de la densidad es mayor a 5 por ciento del valor inicial, se deben llevar a cabo correcciones con la potencia y presión.

- Tercera ley: la densidad del aire varía y las demás variables permanecen constantes, tamaño del ventilador, el sistema y la presión estática. Es utilizada cuando se necesita que la presión estática sea constante, aunque se produzcan cambios en la densidad del aire (fuente 10):

$$Q_2 = Q_1 \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}} \quad (\text{Ecuación 53})$$

$$RPM_2 = RPM_1 \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}} \quad (\text{Ecuación 54})$$

$$BHP_2 = BHP_1 \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}} \quad (\text{Ecuación 55})$$

Al relacionarlas con la ecuación de los gases ideales se obtiene:

$$Q_2 = Q_1 \sqrt{\frac{P_1 T_2}{P_2 T_1}} \quad (\text{Ecuación 56})$$

$$RPM_2 = RPM_1 \sqrt{\frac{P_1 T_2}{P_2 T_1}} \quad (\text{Ecuación 57})$$

$$BHP_2 = BHP_1 \sqrt{\frac{P_1 T_2}{P_2 T_1}} \quad (\text{Ecuación 58})$$

- Cuarta ley: la densidad del aire varía y las demás variables se mantienen constantes, tamaño del ventilador, caudal másico del aire y el sistema (fuente 10):

$$Q_2 = Q_1 \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad (\text{Ecuación 59})$$

$$RPM_2 = RPM_1 \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad (\text{Ecuación 60})$$

$$P_{e2} = P_{e1} \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad (\text{Ecuación 61})$$

$$BHP_2 = BHP_1 \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)^2 \quad (\text{Ecuación 62})$$

Al aplicarles la ecuación de los gases ideales, las ecuaciones quedan expresadas así:

$$Q_2 = Q_1 \frac{P_1 T_2}{P_2 T_1} \quad (\text{Ecuación 63})$$

$$RPM_2 = RPM_1 \frac{P_1 T_2}{P_2 T_1} \quad (\text{Ecuación 64})$$

$$P_{e2} = P_{e1} \frac{P_1 T_2}{P_2 T_1} \quad (\text{Ecuación 65})$$

$$BHP_2 = BHP_1 \left(\frac{P_1 T_2}{P_2 T_1} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 66})$$

Las leyes 2 y 4 son usadas para elegir ventiladores con el uso de las tablas que muestran las características de estos que especifican las diferentes condiciones de operación del equipo. Para llevar a cabo la selección del ventilador, se toma como datos a utilizar en las tablas características el caudal real a mover por el ventilador con la presión estática corregida por medio de la densidad.

Al momento de elegir el ventilador utilizando las tablas, con un caudal constante y presión corregida, éste debe operar a la velocidad rotacional que se indica en la tabla brindada por el fabricante donde se muestran las características de operación. Se debe tomar en cuenta que la presión estática brindada por el ventilador no es la que proporciona la tabla, sino es la presión real que proporciona el ventilador cuando está en funcionamiento. De igual manera con la potencia, no es la que se indica en la tabla, sino varía respecto a la densidad del aire.

El uso de estas fórmulas es solo como herramienta para el cálculo, porque los valores reales muy inusualmente siguen el patrón teórico exactamente brindado por estas.

5.4. Selección del motor

El motor es el equipo necesario para hacer funcionar el ventilador, es una máquina eléctrica encargada de convertir la energía eléctrica en energía mecánica de rotación por medio de la interacción electromagnética. Para poder seleccionar el motor adecuado, es importante contar con los siguientes datos: potencia requerida, ciclo de operación, clase de servicio, proceso de arranque, medios de regulación de velocidad rotacional, tipo de frenado, las variables del sistema, temperatura del producto refrigerante.

La elección del motor que hará que el ventilador se mueva, se realiza por medio de la potencia que se requiere del motor y las revoluciones que debe dar el ventilador. En las características de los ventiladores (anexos 10 y 11) se muestran las características de los motores que se necesitan para hacer funcionar los ventiladores, estos ya vienen ensamblados en el equipo del ventilador.

Las características del motor que hará funcionar el ventilador del sistema 1 especificadas por el fabricante son 3 520 revoluciones por minuto, un voltaje entre el rango de 208-230 voltios y una intensidad de 34 amperes. Las del motor del sistema 2 son 3 480 revoluciones por minuto, un voltaje entre el rango de 208-230 voltios y una intensidad de 11,8 amperes. Siendo estos motores los adecuados para hacer funcionar los ventiladores de los sistemas diseñados.

5.4.1. Potencia del motor

Este dato no se encuentra bien definido por la variación que existe cuando un motor está en operación, pero es importante tomar en cuenta que esta es la encargada de poner en funcionamiento el ventilador, por tal motivo es importante tomar esta potencia como la potencia del ventilador sumada a una cantidad suficientemente adecuada para poder suplir la necesidad de poner en movimiento el ventilador, vencer las pérdidas por rozamiento, deslizamientos, poleas y transmisión.

La cantidad de energía adicional debe ser suficiente para poder operar correctamente, por este motivo es que se utiliza una fracción de potencia más o un factor de servicio. Este factor es correspondiente a una fracción de la potencia del ventilador. Para poder calcular la potencia del motor para un ventilador que su medio de transmisión es por poleas, procede de la siguiente manera (fuente 10):

$$MHP = BHP F_s \quad \text{(Ecuación 67)}$$

Donde

MHP = potencia del motor en caballos de fuerza

BHP = potencia del ventilador en caballos de fuerza

F_s = factor de servicio

Cuando el motor está instalado sobre el eje del ventilador, la potencia adicional requerida se encuentra entre 7 y 15 por ciento más de lo estimado.

La potencia nominal del motor es la que se especifica en las placas que se encuentran en los motores. Para una potencia de 3 kilovatios específica que el motor fue diseñado para consumir 3 kilovatios de potencia de las líneas de suministro de energía eléctrica, esto no quiere decir que el motor entrega continuamente 3 kilovatios de potencia. Los fabricantes cuando construyen los motores utilizan un pequeño margen de seguridad. Esto quiere decir que si un motor especificado con 3 kilovatios, este puede brindar una potencia de hasta 3,75 kilovatios de potencia sin fallar.

Los fabricantes proporcionan catálogos de productos, los cuales permiten elegir el equipo necesario y que sea capaz de suministrar lo requerido, teniendo como parámetros importantes a tomar en cuenta la potencia nominal del motor y la velocidad rotacional del equipo. Las características del motor que se necesita están ya establecidas en la ficha técnica del equipo que se utilizará, las cuales indican que la potencia del motor para el sistema de ventilación 1 es de 15 caballos de fuerza y la del motor del sistema de ventilación 2 es de 5 caballos de fuerza (anexos 10 y 11).

Estas potencias especificadas por el fabricante son las adecuadas para hacer funcionar los ventiladores, porque al momento de su fabricación para poder realizar los catálogos de los equipos con sus especificaciones, estos han sido probados rigurosamente para poder brindar un óptimo desempeño del equipo en su operación.

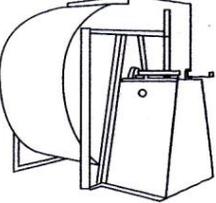
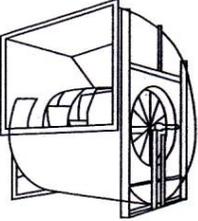
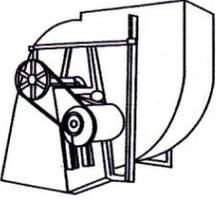
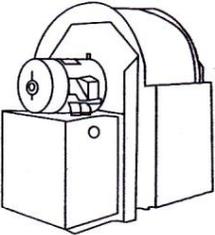
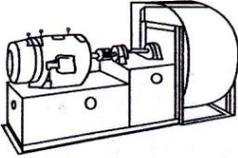
5.4.2. Acoplamiento con el ventilador

Por lo general, la potencia es transmitida a los ventiladores por medio de motores eléctricos. En ocasiones esta transmisión se produce directamente del eje del motor al eje del ventilador, pero en la mayoría de los casos la transmisión de potencia se hace por medio de bandas y poleas. Se han establecido varios tipos de acoplamientos, tanto para ventiladores centrífugos, así como para ventiladores axiales. Para poder determinar el tipo de transmisión de potencia que se debe elegir, hay que tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- La forma en que se encuentran colocadas las chumaceras en relación con el rotor.
- La forma de transmisión; directo entre el moto-ventilador, o con el uso de poleas y bandas en V.
- El lugar donde irá ensamblado el motor.

En la figura 34 se muestran algunos tipos de acoplamiento que se pueden realizar entre el motor y el ventilador.

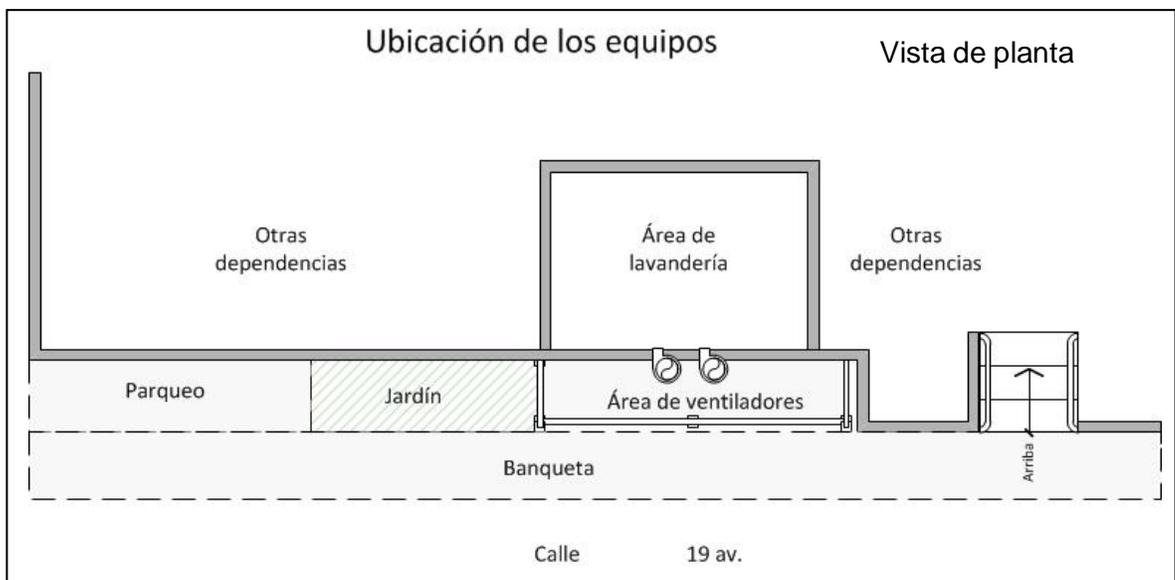
Figura 34. Tipos de acoplamiento motor-ventilador

<p>ACOPLAMIENTO 1</p>  <p>Consiste en dos cojinetes montados sobre una base con el rotor y la polea adheridos a un eje, movido por una correa. Los cojinetes se encuentran ubicados externamente (con relación a la corriente de aire). Este arreglo debe seleccionarse para sistemas cerrados, que manejan aire contaminado o para situaciones donde la presencia de humedad o calor pueda ir en detrimento de los cojinetes.</p>	<p>ACOPLAMIENTO 2</p>  <p>Posee la misma aplicación y ventajas del arreglo 1, la única diferencia es que el centro de los cojinetes es más corto, proporcionando economía de espacio. Este arreglo se usa para montajes cercanos a la pared o donde el espacio de la planta sea reducido.</p>
<p>ACOPLAMIENTO 3</p>  <p>Los rotores están montados entre los cojinetes, sostenidos sobre cada lado de la voluta del ventilador para mayor estabilidad y resistencia. Las principales ventajas de este arreglo son que es compacto y de bajo costo inicial. Se recomienda para mover aire limpio y seco como en sistemas de calefacción y de aire acondicionado, tanto cuando se monte uno o dos rotores.</p>	<p>ACOPLAMIENTO 9</p>  <p>Esencialmente igual al arreglo 1, pero el motor se encuentra montado sobre la base del ventilador con conexión para una transmisión de correa en V. Se recomienda su construcción en forma monolítica, lo que simplifica su instalación.</p>
<p>ACOPLAMIENTOS CON TRANSMISIÓN DIRECTA (ARREGLOS 4 Y 8)</p>   <p>Cuando se requieren un caudal y presión estática altos en un sistema, la transmisión por correas no es la adecuada, y por lo tanto, se necesita el montaje de un sistema de transmisión directa. Los ventiladores de transmisión directa son compactos, eficientes y económicos. Evitan los problemas de tensión, mantenimiento y reemplazo de las correas. Los arreglos 4 y 8 son los más comunes para los montajes en transmisión directa.</p>	

Fuente: ECHEVERRI, Carlos. *Ventilación industrial*. p. 186.

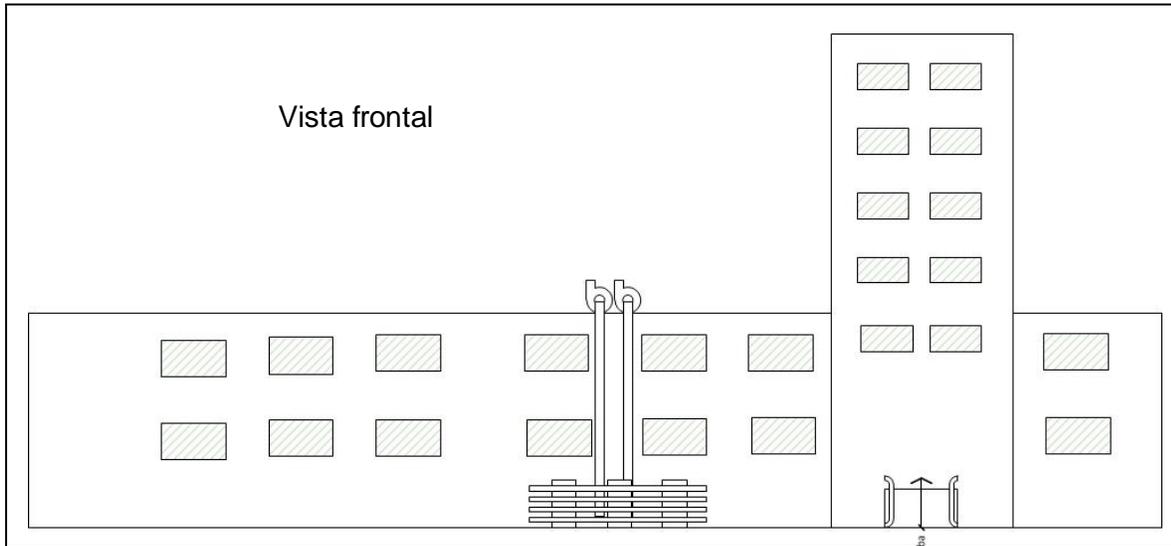
En este proyecto, los tipos de acoplamiento para los sistemas de ventilación son: en el sistema 1 el acoplamiento motor-ventilador es directo para ahorro de espacio y para el sistema 2, el tipo de acoplamiento es directo a la turbina al igual que el anterior para ahorrar espacio donde se colocarán. La ubicación de los equipos de extracción, se encontrarán fuera del servicio de lavandería debido a que el área es relativamente pequeña, estos equipos se ubicarán en un área fuera del hospital que colinda con la calle como se muestra en la figura 35, o también pueden ser colocados en el área de la terraza del segundo nivel que está sobre el servicio de lavandería como se muestra en la figura 36, ya que estos son los únicos lugares adecuados donde se puede realizar la extracción de aire.

Figura 35. **Plano ubicación equipos de extracción (nivel del suelo)**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio 2010.

Figura 36. **Plano ubicación equipos de extracción (elevado)**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio 2010.

Para poder realizar el costo de mantenimiento del sistema de ventilación cabe mencionar que la institución cuenta con un área de mantenimiento, la cual sería la responsable de realizar las rutinas y chequeos al equipo delegando esta responsabilidad a los encargados y técnicos de esta área. En los gastos que se incurrirían al momento de realizar el mantenimiento sería en la compra de insumos como lubricantes, franelas para limpiar, consumo de agua, cambio de fajas, servicios adquiridos como alineación de ejes, poleas y cambio de fajas. Estos gastos realizados mensualmente, se estimó por el precio de insumos y servicios que equivaldría en promedio entre 500 y 900 quetzales dependiendo del servicio que se necesite adquirir, así como la cantidad de insumos a utilizar, ya que en cada rutina de revisión y chequeo no necesariamente se usa todo lo especificado, por lo cual se realizó el cálculo estimado del costo de mantenimiento.

El costo total estimado del proyecto se realizó con base en el valor individual de los equipos y accesorios los cuales se detallan en la tabla XV, estos valores tienden a variar dependiendo del proveedor debido a que sus precios fluctúan. El retorno de la inversión se verá en la productividad, desempeño y satisfacción de los operarios que laboran en el Área de Lavandería debido a que las condiciones de confort para ellos mejorarán en gran medida.

Tabla XV. **Estimación del costo del proyecto**

Cantidad	Accesorio	Precio en quetzales (Q)
1	Ventilador centrífugo con motor sistema 1	13 478,23
1	Ventilador centrífugo con motor sistema 2	9 400,20
8	Rejillas con campana extracción	824,40
11	Bridas de acoplamiento	907,95
5	Codos de 90°	1 188,10
4	Bifurcaciones a 45°	1 005,70
2	Ducto de 5 pulgadas	283,94
8	Ducto de 6 pulgadas	2 022,20
11	Ducto de 8 pulgadas	3 213,60
10	Ducto de 12 pulgadas	3 017,00
2	Ducto de 14 pulgadas	564,68
6	Ducto de 16 pulgadas	1 984,79
2	Chimeneas	1 133,46
2	Técnicos para instalación (mano de obra)	4 000,00
Total del proyecto		43 024,25

Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Word 2007.

6. PLAN DE MANTENIMIENTO

Es importante contar con un plan de mantenimiento adecuado para lograr que el sistema se conserve en funcionamiento por medio de operaciones que se le aplica al equipamiento, para que este conserve sus condiciones y con esto lograr que trabaje para lo que ha sido construido.

6.1. Plan de mantenimiento preventivo

Este tipo de plan de mantenimiento se caracteriza, principalmente en prevenir las posibles causas de problemas en el sistema de ventilación, por medio de revisiones y reparaciones que garanticen el funcionamiento del sistema. El mantenimiento preventivo se puede realizar con el equipo en funcionamiento. Su principal objetivo es evitar la falla en los equipos y con esto lograr que el sistema no sea detenido por fallos ocurridos, mediante las tareas de cambio de piezas desgastadas, lubricación y limpieza del sistema.

6.1.1. Rutinas de mantenimiento

El plan de mantenimiento debe ser llevado a cabo por medio de rutinas de chequeo realizadas a los diferentes elementos que componen el sistema de ventilación, para poder realizar el mantenimiento preventivo eficientemente, es importante tomar en cuenta cuales son las actividades que se deben de realizar, así como a cada cuánto tiempo es necesario llevarlas a cabo. Las principales rutinas que se deben realizar son las siguientes:

- Revisión de motores: principalmente el parámetro a supervisar en los motores del sistema es la cantidad de energía eléctrica que está consumiendo, para ser comparados con los parámetros establecidos por el fabricante. Si dichos parámetros se encuentran fuera a los que el fabricante especifica, es importante tomar en cuenta la revisión interior del equipo si sus condiciones de diseño lo permiten para determinar por qué el equipo no opera en sus condiciones para las que fue diseñado.

La revisión se debe realizar con un multímetro, se destapa la carcasa del motor para poder observar las piezas internas, su estado y poder determinar visualmente si existe suciedad como polvo el cual puede ser removido con aire comprimido, los parámetros deben ser revisados tomando las lecturas de estos en los puntos donde circula la corriente eléctrica siendo, principalmente, el voltaje que está circulando y la intensidad.

- Revisión de estado de lubricación en partes móviles: es importante chequear el estado de la lubricación en partes móviles que lo requieran debido a que estas a falta de lubricante pueden producir desgaste, elevación de temperatura y en su caso la falla del equipo. Toda pieza que requiera de lubricación debe ser y estar limpia de agentes contaminantes que puedan generar que la lubricación sea afectada produciendo que su principal función no sea cumplida.

La lubricación se revisa visualizando el estado del lubricante, si se encuentra con agentes contaminantes adheridos a él se debe proceder a limpiar el área y se aplica una cantidad de este. En el caso que si el lubricante es aceite se utiliza una aceitera o si es grasa se puede aplicar con las manos.

- Limpieza de filtros: es importante llevar a cabo su limpieza, ya que es la entrada y salida del sistema. Los filtros de aire en la entrada del sistema es importante que se mantengan limpios debido a que esto impedirá el ingreso de partículas al sistema que puedan producir daños en su estructura, así como proporcionar aire limpio al recinto al que está siendo inducido para cumplir con la ventilación.

Los filtros en la salida del sistema generan que el aire expulsado sea limpiado en el caso de lugares donde la ventilación se realiza para eliminar diferentes agentes contaminantes. La limpieza de filtros es importante, porque se evita que el aire de circulación tenga mayores obstrucciones para fluir y con esto el sistema operará en sus condiciones de diseño. La limpieza de estos se puede realizar con trapos húmedos, puede utilizarse desengrasante y también se puede con una corriente de aire contraria a la dirección de diseño del filtro.

- Limpieza de ventiladores del sistema: esta es importante para eliminar los residuos de agentes que con el tiempo se adhieren al mismo. Se puede realizar con trapos húmedos y, si es necesario se utiliza algún desengrasante para separar los agentes contaminantes de las aspas del ventilador.
- Evaluación del flujo de aire: la cantidad necesaria de aire que debe circular es la que el ventilador es capaz de proporcionar, por este motivo es que el caudal de aire debe ser medido con un caudalímetro para determinar si el extractor de aire trabaja eficientemente. Por esto es que el flujo de aire se mide para verificar que se encuentra entre lo especificado por el fabricante, la cantidad de aire movida por el ventilador se debe encontrar entre el rango establecido de fábrica.

Para el diseño propuesto de los sistemas de extracción el flujo de aire a medir es de 1,84 metros cúbicos por segundo para el sistema 1 y 0,92 metros cúbicos para el sistema 2. La medición se realiza introduciendo el sensor del caudalímetro en las cercanías de la entrada y salida de aire en el ventilador y se verifica que la lectura sea igual al caudal de aire que esta especificado para cada sistema. Si la medición no se encuentra en lo que se especifica y al equipo se le ha brindado el mantenimiento apropiado, hay que abocarse al proveedor de este.

- Estado de fajas y poleas: debido a que estos elementos son los encargados de transmitir el movimiento entre el motor y el ventilador, es fundamental que se mantengan en funcionamiento, porque al momento de una falla, el sistema es parado y no funciona cumpliendo con su tarea. Las fajas deben ser observadas para determinar su estado, si se encuentran desgastadas, picadas o fisuradas es recomendable cambiarlas de inmediato para evitar paros del sistema, también se debe verificar la tensión y alineación de estas. Las poleas deben de girar sin oscilaciones para que el movimiento sea uniforme.

La tensión de las fajas puede ser medida con un tensímetro, pero en el caso de que no exista uno de estos instrumentos, se procede a ejercer presión a la faja en un punto medio entre los puntos de contacto con las poleas, la deflexión de esta debe ser proporcional a la distancia entre los puntos de contacto a tal grado que con ejercerle un poco de presión a la faja exista un poco de movimiento.

- Chequeo del sistema de conductos: visualmente se puede realizar un recorrido del sistema para verificar que no existan fugas, deformaciones y ruidos que puedan ser producidos por el movimiento del aire. Esto

ayudará a que el sistema opere correctamente y no se produzcan fallas abruptas del sistema.

Las actividades detalladas anteriormente deben de ser realizadas para todo el sistema de ventilación periódicamente.

6.1.2. Frecuencia de mantenimiento

El mantenimiento debe ser realizado frecuentemente dependiendo de la actividad a ejecutar, esta variación es porque los componentes con que cuenta el sistema de ventilación en su operación trabajan en régimen de uso diferente. La frecuencia del mantenimiento se hace con base en el tiempo que este trabaja durante las 24 horas del día, para la cantidad de tiempo que opera el sistema de ventilación propuesto y las condiciones en que lo hace, el mantenimiento de este puede seguir la frecuencia que se describe en la tabla XVI:

Tabla XVI. **Frecuencia de actividades de mantenimiento preventivo**

Actividad a realizar	Frecuencia en meses
Revisión de motores	1
Revisión de estado de lubricación partes móviles	2
Limpieza de filtros	1
Limpieza de ventiladores	1
Evaluación del flujo de aire	3
Estado de fajas y poleas	1
Chequeo del sistema de conductos	4

Fuente: elaboración propia.

Tomar en cuenta que la frecuencia de mantenimiento que se presenta es para el sistema de ventilación que opera para el horario laboral del área de lavandería, el cual inicia a las 5 de la mañana y concluye a las 19 horas.

6.1.3. Cronograma

El cronograma de actividades presentado del mantenimiento del sistema de ventilación, especifica en la tabla XVII de tiempo las actividades que se deben realizar durante el periodo de un año, para que el sistema opere correctamente sin sufrir fallas que generen paros en su funcionamiento.

Tabla XVII. **Cronograma de actividades para el mantenimiento del sistema de ventilación para realizarse periódicamente en el año**

Actividades	Mes											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Revisión de motores												
Revisión de estado de lubricación partes móviles												
Limpieza de filtros												
Limpieza de ventiladores												
Evaluación del flujo de aire												
Estado de fajas y poleas												
Chequeo del sistema de conductos												

Fuente: elaboración propia.

6.1.4. Mantenimiento de ventiladores

Es importante, por ser este el medio por el cual se hará que el aire fluya. Es necesario tomar en cuenta las siguientes indicaciones al momento de llevar a cabo las revisiones, así como el mantenimiento programado a los ventiladores:

- La lubricación de los cojinetes utilizados en los ventiladores debe ser periódicamente regular y revisada durante periodos que concuerden con lo especificado por el fabricante. Al momento de llevar a cabo la lubricación es importante utilizar el mismo tipo que está siendo empleado, así como realizar una buena limpieza de los restos del lubricante que se está reemplazando.
- El calentamiento producido en cojinetes de alta velocidad, se elevan de 10 a 38 °C sobre la temperatura ambiente. Este tipo de cojinetes no se debe reemplazar por sentir el aumento de temperatura, debe de ser controlado por medio de un termómetro de contacto instalado en su soporte para lograr su control en caso de que en realidad exista sobre calentamiento por encima del rango mencionado.
- Los cojinetes y acoples flexibles deben estar alineados para evitar oscilaciones en el movimiento y revisados periódicamente, por la falta de alineación se pueden producir sobrecalentamiento, desbalanceo, desgaste de guardapolvos y fallas generadas a los cojinetes.

- Las partes giratorias deben de ser chequeadas mediante un periodo bien definido para tener el control del estado de estas. El periodo varía conforme sea de rudo el trabajo al que está siendo sometido, partiendo fundamentalmente de intervalos de 30 días o en paros realizados para otros trabajos a realizarse en el sistema.
- La revisión de ventiladores debe realizarse para examinar que no se encuentren desgastados o sucios, puede utilizarse chorro de agua o vapor para realizar su lavado. Comúnmente se utilizan trapos húmedos para la limpieza de las aspas.
- La lubricación de los acoples de metal y de engranes es importante realizarla periódicamente acorde al cronograma. Los acoples flexibles, disco de anillo o con insertos de hule deben de ser chequeados, revisar que no presenten agrietamientos, deformaciones excesivas y desgaste.
- Los pernos de bases y tornillos de presión deben mantener el ajuste necesario para evitar movimientos del sistema y ser inspeccionados, por lo mínimo una vez al año.
- Al momento de realizar el lavado de ventiladores debe de cubrirse los cojinetes para evitar que el agua entre en su soporte. La carcasa debe de ser limpiada, reconstruir o cambiar las ruedas del ventilador que presenten aspas desgastadas y ser balanceadas antes de ponerse a funcionar.
- Vibración y temperatura excesiva en cojinetes puede ser producido por desbalance, mala lubricación, exceso de suciedad, desalineación y soltura de fajas, etc.

- En el chequeo de fajas se debe observar la tensión, alineación y desgaste de estas, para programar su reemplazo.
- Al momento de pintar de nuevo los ventiladores se produce la prolongación de su vida de servicio.
- El mantenimiento realizado a los ventiladores de extracción es el mismo que se le hace a otros ventiladores, las aspas deben ser limpiadas frecuentemente para remover motas y suciedad acumulada en el mismo.
- El ventilador no debe ser puesto en servicio a velocidades mayores a las que se utilizaron en el diseño del sistema.
- La vida útil de los cojinetes en servicio es medida por tiempo de trabajo entre cada fallo. Esto también es normado por medio del servicio de cojinetes mediante millones de revoluciones en su operación y su reemplazo puede ser conforme a lo que especifique el fabricante.

Los cojinetes empleados para el sistema de ventilación, deben ser especificados por medio de horas de operación entre fallas, también debe tomarse en cuenta el ambiente en el que opera. Para poder determinar el tiempo que trabaja un cojinete antes de alcanzar la falla se utiliza lo especificado en la tabla XVIII.

Tabla XVIII. **Horas de servicio para cojinetes del sistema de ventilación**

DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO	HORAS DE SERVICIO
Para equipo que opera solo una cuantas horas a la semana o cuando los costos iniciales son más importantes que la vida de servicio.	10 000
Cuando el equipo opera 8 horas al día, 5 días/semana	20 000
Cuando el equipo opera 24 horas al día, 365 días/año	50 000

Fuente: CARÍAS, Rudy René. *Diseño de un sistema de ventilación y extracción en el departamento de lavandería y secado del hospital del IGSS, Dr. Juan José Arévalo Bermejo de la zona 6 de la ciudad de Guatemala.* p. 67.

6.1.5. Problemas en ventiladores

Frecuentemente se producen problemas en los ventiladores debido a la forma o condiciones en las que se encuentran operando, es por este motivo que se describen a continuación algunas de las razones por las que los ventiladores pueden presentar fallos. Principalmente las que presentan los ventiladores son en los cojinetes.

- Cojinetes sobrecalentados: esto puede ser causado por el exceso de grasa para lubricar en los cojinetes, suciedad en estos, turbina o impulsor dañado, el empuje al final está fuera de lo normal, desalineación, las fajas están tensionadas en exceso.
- Ruidos y vibraciones producidas por cojinetes: esto puede ser generado por acoplamientos, cojinetes, ruedas o fajas mal alineadas, desbalance producido por materiales que se encuentran adheridos al ventilador o en la rueda, desgaste en los cojinetes, daños en ruedas, bases inestables, motores dañados, mal montaje, operación del ventilador sobre su misma

capacidad, eje doblado o desalineado, pernos de sujeción flojos, velocidad de trabajo sobre elevada, rotación del ventilador en dirección incorrecta, los tornillos se encuentran flojos o averiados.

Estos son los principales problemas que se pueden observar en los ventiladores, los cuales pueden ser contrarrestados con la ejecución correcta del Plan de Mantenimiento propuesto para el sistema de ventilación.

6.1.6. Procedimiento para la revisión de funcionamiento del sistema de ventilación

Para verificar el funcionamiento del sistema, es importante chequear algunos parámetros de funcionamiento antes de poner en servicio el sistema. Los principales aspectos que se debe de revisar son los siguientes:

- **Funcionamiento del sistema eléctrico:** observar que la instalación eléctrica no presente ningún corto circuito y que las aspas del ventilador no tengan obstrucciones o estas queden trabadas, ni tengan contacto con algún cable o con la base sólida que lo cubre. Para esto se utiliza un multímetro con el cual se medirán las condiciones eléctricas del equipo y dependiendo de la ubicación de este es necesaria la utilización de escalera y equipo de seguridad como guantes y casco.
- **Funcionamiento de los extractores:** chequear que las partes móviles del extractor no presenten obstrucción alguna, así como su funcionamiento debe ser continua, sin rozaduras excesivas entre piezas.

- Evaluación del flujo de aire: inspeccionar el caudal de aire que entra y sale del sistema con un caudalímetro y debe coincidir con el calculado, con esto deben ser tomadas en cuenta las variables producidas por el cambio de clima o estación del año en la que se está realizando la revisión. Si el sistema está cumpliendo con los parámetros de diseño, se puede tomar como que su funcionamiento es el correcto, pero si sus valores cambian es porque se están dando problemas en el sistema y hay que revisar a fondo el equipo. Para llevar a cabo la evaluación del flujo de aire se coloca el caudalímetro en la entrada y salida del ventilador para darle lectura a las condiciones en que opera.
- Asegurarse que el sistema permanece impermeable: la principal finalidad de esto es comprobar que el sistema presenta hermeticidad sin tomar en cuenta las condiciones del tiempo, este debe presentar una impermeabilización efectiva cuando el sistema se encuentra operando.

Para saber cuándo es el momento indicado para realizar el mantenimiento es muy importante llevar a cabo un procedimiento de rutina, el cual debe especificar la sucesión de pasos que se realizarán durante el mantenimiento para que se logre desarrollar eficazmente. Por medio de un cuadro de seguimiento, se logrará que el Plan de Mantenimiento sea llevado a cabo como debe de ser y por medio de un cronograma de revisiones durante un periodo mínimo de 2 a 3 años y los parámetros que se deben revisar durante el proceso.

6.1.6.1. Cronograma de revisión

Aquí se especificará el análisis de cómo funciona el sistema de ventilación con las modificaciones que se han producido dentro del área en un

determinado período de tiempo. Tomando en cuenta los cambios que ha podido sufrir los recursos con que cuenta el sistema, como: personal, procesos, materiales utilizados y maquinarias añadidas al proceso de lavandería, así como los cambios que se puedan generar con el cambio de clima que se produce con el transcurrir del tiempo. A continuación se presenta un cronograma el cual especifica las revisiones anuales que se le deben efectuar al sistema de ventilación.

Tabla XIX. **Cronograma de revisiones de funcionalidad del sistema de ventilación durante el año**

CRONOGRAMA DE REVISIÓN ANUAL DE FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN												
No. DE REVISIONES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Revisión 1												
Revisión 2												

Fuente: MENESES, Edgar. *Análisis y diseño para la propuesta de un sistema de ventilación adecuado para FOGEL de Centroamérica*. p. 60.

6.1.6.2. Parámetros de revisión

La revisión del sistema de ventilación debe dar indicaciones del estado en que se encuentra por medio de la medición de algunos parámetros que deben de ser medidos. Los dos principales parámetros a tomar en cuenta al momento de la revisión son los de los componentes fundamentales de todo el sistema, estos son el motor y el ventilador.

Para la medición del motor se debe verificar el parámetro de potencia consumida por este. Esta potencia es la que el fabricante especifica en las características propias del equipo, para esto es fundamental que la potencia que está siendo consumida de la red de distribución de energía eléctrica sea la indicada en las especificaciones del fabricante del equipo.

Se debe medir el caudal de aire que está circulando en el sistema de ventilación con un caudalímetro para poder determinar cómo está funcionando el ventilador, debido a que este es el elemento del sistema que genera la corriente de aire y si su funcionamiento no es el correcto, el sistema presentará deficiencias cuando esté en operación generando y que no cumpla con su fin principal, el cual es la ventilación del lugar para el que fue diseñado. El caudal que se está manejando en el sistema debe estar entre el rango de $\pm 0,5$ por ciento del flujo de aire con el que fue diseñado el sistema.

Al momento de que el sistema motor-ventilador no cumplan o no se encuentre en el rango de funcionamiento que ha sido especificado anteriormente, se debe proceder inmediatamente a una inspección minuciosa en la que se requerirá desarmar las partes que protegen al equipo como carcasas y observar bien cómo es que se encuentra operando, si produce vibraciones, ruidos o si el equipo está trabajando forzadamente, ya que con esto se podrá visualizar mejor cuáles son los componentes que se encuentran dañados o están próximos a fallar para que el mantenimiento se pueda realizar de inmediato y con ello evitar que el equipo falle. Con esto se podrá disminuir la posibilidad de que se produzca una falla total del sistema y tener que parar indefinidamente el sistema de ventilación incurriendo en gastos innecesarios y elevados.

Las principales herramientas con las que debe contar el área de mantenimiento para llevar a cabo este son: escaleras, guantes y lentes de seguridad, caudalímetro, aceitera, multímetro, franelas para limpiar, aire comprimido, desengrasante y si las posibilidades lo permite un tensiómetro y un pirómetro. Se debe contar con fajas de repuesto, aceite y grasa multiusos para casos de emergencia.

CONCLUSIONES

1. Tomando en cuenta las condiciones en las que se encuentra el Área de la Lavandería del Hospital y la existencia de un sistema que induce aire al interior del recinto, se observó que las condiciones de arquitectura del edificio y ubicación del área, no hay un medio por donde exista salida del aire introducido para completar eficientemente la ventilación por falta de medios naturales y la acumulación de calor producida al transcurrir el tiempo, situación que permitió considerar llevar a cabo el diseño de un sistema de ventilación por extracción mecánica.
2. En la actualidad, el Área de Lavandería cuenta con un sistema de inyección de aire instalado para suplir la necesidad de ventilar el recinto. Pero este no recibe ningún tipo de mantenimiento desde que fue instalado, ya que no existe ningún registro y fue lo indicado por los encargados del Área de Electromecánica, que no funciona correctamente, sumado a eso la localización del lugar no es la adecuada para poder utilizar un sistema de ventilación por medio de inyección y natural simultáneamente, por la falta de esta última, es necesario llevar a cabo la ventilación del lugar por medios mecánicos de extracción de aire.
3. Con los datos obtenidos en el diseño del sistema de ventilación por extracción, tomando en cuenta el sistema de ductos para poder realizar la ventilación del lugar, es necesario que el sistema diseñado cuente con ventiladores del tipo centrífugo, capaces de generar la extracción de aire como los que se especifican anteriormente en el diseño. Con este tipo de

ventiladores elegidos para el sistema, se logrará producir el efecto de extracción de aire necesario para que la renovación de este sea correcta.

4. El sistema de ductos diseñado para la ventilación fue distribuido, de tal manera, que al momento de ser instalado produzca la menor cantidad de pérdidas al sistema, lo que ayudará a que el equipo de ventilador-motor consuman la menor cantidad de energía eléctrica posible en su funcionamiento.
5. Para que los sistemas de ventilación inyección-extracción operen correctamente sin presentar fallas, es necesario seguir el Plan de Mantenimiento diseñado para que estos sean eficientes en funcionamiento y tengan vida de servicio prolongada. Para el mantenimiento se diseñó un cronograma en el que se especifica la frecuencia con que se deben de realizar las actividades de mantenimiento entre las que sobresalen las de limpieza, lubricación y revisión del funcionamiento de los elementos que componen la instalación.
6. El equipo seleccionado para el sistema fue elegido, tomando en cuenta una serie de aspectos técnicos, metódicos y prácticos, los que fueron estudiados detenidamente para poder seleccionar el que mejor se acople a las necesidades de funcionamiento del sistema y cumpla lo requerido por este.

RECOMENDACIONES

1. Es importante que en el diseño e instalación del sistema de ventilación, las entradas y salidas de aire se encuentren lo mayormente separadas para que el aire de salida no sea recirculado al lugar. Para el sistema diseñado, estas fueron ubicadas en lugares opuestos para que no se produzca la recirculación.
2. Tomar en cuenta que el caudal de aire que entra y sale debe estar balanceado para que el sistema funcione correctamente. La verificación de esto se obtiene con la medición del flujo de aire, ya que la cantidad que se está extrayendo del lugar debe ser sustituida por una igual magnitud inyectada al recinto.
3. El Plan de Mantenimiento debe ser ejecutado acorde al cronograma para que la probabilidad de que surjan problemas inesperados con el sistema disminuya, asegurar que el sistema opere efectivamente y sus componentes tengan vida útil prolongada.
4. Que los chequeos realizados al sistema sean realizados a conciencia para que no pasen por alto posibles cambios que tenga que realizarse y que las rutinas de revisiones se hagan como se especifica en los cronogramas brindados.
5. Los técnicos encargados del mantenimiento deben realizarlo correctamente y como ha sido especificado para evitar fallas producidas por malos trabajos ejecutados al sistema.

6. Que el personal cercano al sistema en operación reporte cualquier funcionamiento incorrecto, por pequeño que sea, con esto se estaría evitando daños mayores y paros más prolongados debido a reparaciones mayormente complejas.
7. El equipo debe ser colocado en las cercanías del recinto que se ventilará, esto será en las afueras del lugar que colinda con la calle, ya que ahí sí existe lugar para poderlo ubicar y para que se facilite darle mantenimiento a los técnicos y evitar que los conductos sean instalados sobre equipos eléctricos y en lugares donde pueda ser peligroso para los encargados del mantenimiento hacer su trabajo.
8. Los técnicos encargados del mantenimiento deben utilizar el equipo necesario de seguridad industrial, para evitar accidentes que puedan producirse al momento de realizar trabajos al sistema de ventilación.
9. Controlar que no existan pérdidas de aire debido a fugas en los ductos, para que el sistema opere en sus condiciones de diseño, las cuales deben de ser seguidas como se indican en el apartado de rutinas de mantenimiento y en el cronograma de actividades.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Análisis de herramientas informáticas para el diseño de redes de conductos en climatización. Conductos de aire.* [en línea]. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4176/fichero/CAPITULOS%252FCAP%C3%8DTULO+2.pdf>. [Consulta: febrero de 2014].
2. Artículo Fábula. *Nuestra querida lavandería.* [en línea]. 2005. <http://www.softextarraco.com/ArticuloFabula.pdf>. [Consulta: febrero de 2014].
3. ASHRAE HANDBOOK. *Fundamentals.* [en línea]. 2009. http://kntu.ac.ir/DorsaPax/userfiles/file/Mechanical/OstadFile/dr_sayadi/19337425502009AshraeFundamentals.pdf. [Consulta: febrero de 2014].
4. CAICEDO FLORES, Paul Vinicio; VEGA MARTÍNEZ, Alex René. *Diseño de un sistema de ventilación y aire acondicionado para el quirófano y sala de terapia intensiva de la clínica colonial.* Escuela Superior Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Mecánica. Ecuador, Quito. 2011. 259 p.
5. Caja Costarricense de Seguro Social. *Manual de operación para el procesamiento de ropa usada hospitalaria en la caja costarricense de seguro social.* [en línea]. 2013. http://portal.ccss.sa.cr/portal/page/portal/Logistica/Normativa_de_Abastecimiento_y_Contratacion_Administrativa/Políticas_y_Norma

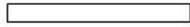
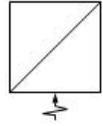
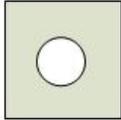
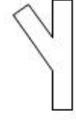
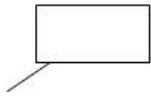
tiva_Institucional/Vesi%F3n%20Final%20Manual%20de%20Operaci%F3n%20Lavander%EDas%202013.pdf. [Consulta: febrero de 2014].

6. CARÍAS, Rudy René. *Diseño de un sistema de ventilación y extracción en el departamento de lavandería y secado del hospital del IGSS Dr. Juan José Arévalo Bermejo de la zona 6 de la ciudad de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 73 p.
7. Carrier Handbook of air conditioning. *system design*. McGraw-Hill Book Company. New York, N.Y. [en línea]. http://search.4shared.com/postDownload/6z-_dBCU/Handbook_of_Air_Conditioning__S.html. [Consulta: febrero de 2014].
8. CENGEL, Yunus; BOLES, Michael. *Termodinámica*. 6a ed. México: McGraw-Hill. 2009. 1 011 p.
9. Conductos de aire. [en línea] <http://bibing.us.es/proyectosabreproy4176fichero/CAPITULOS%252FCAP%C3%8DTULO+2.pdf>. [Consulta: febrero de 2014]
10. ECHEVERRI LONDOÑO, Carlos Alberto. *Ventilación industrial*. Universidad de Medellín-Colombia: Ediciones de la U. 2011. 214 p. ISBN: 978-958-8692-07-4.

11. LÓPEZ MAZARIEGOS, Edwin Steward. *Diseño e instalación del sistema de ductería para la distribución de aire acondicionado dado por cuatro manejadoras en almacenes Carrión*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 97 p.
12. MENESES MENDOZA, Edgar Iván. *Análisis y diseño para la propuesta de un sistema de ventilación adecuado para FOGEL de Centroamérica*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 67 p.
13. PITA, Edward. *Acondicionamiento de aire, principios y sistemas. 2a ed.* México: CECOSA. 1994. 548 p.
14. SANGA CHAVARRIA, Jamil Roberto. *Ventilación de bodega de almacenamiento de producto terminado en una fábrica de balanceo*. Ecuador, Guayaquil: Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral. 2012. 105 p.
15. SOLER & PALAU. *Catálogo S&P 2011*. México: ventilation Group. 2010. 110 p.
16. _____. *Manual práctico de ventilación*. México: ventilation Group. R406101428. 4a ed. 2012. 50 p.

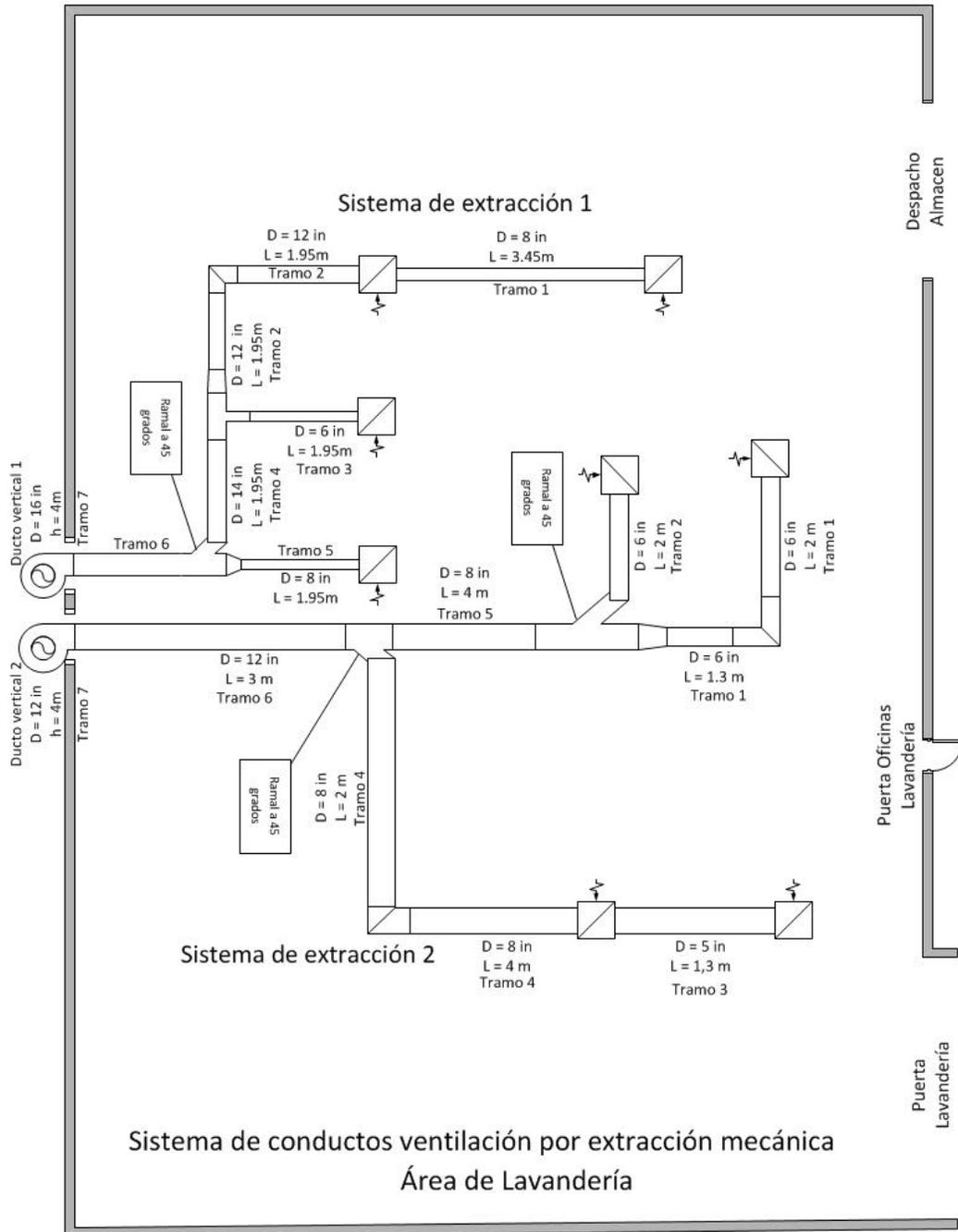
APÉNDICES

Apéndice 1 Símbolos del diagrama del sistema de ventilación de extracción mecánica del área de lavandería

	Columna		Conjunto motor-ventilador centrífugo
	Abertura		Conducto vertical
	Puerta		Conducto recto
	Secadoras		Codo angular
	Pared		Difusor de captación
	Lavadora		Unión Y
	Transición		Rótulo de información

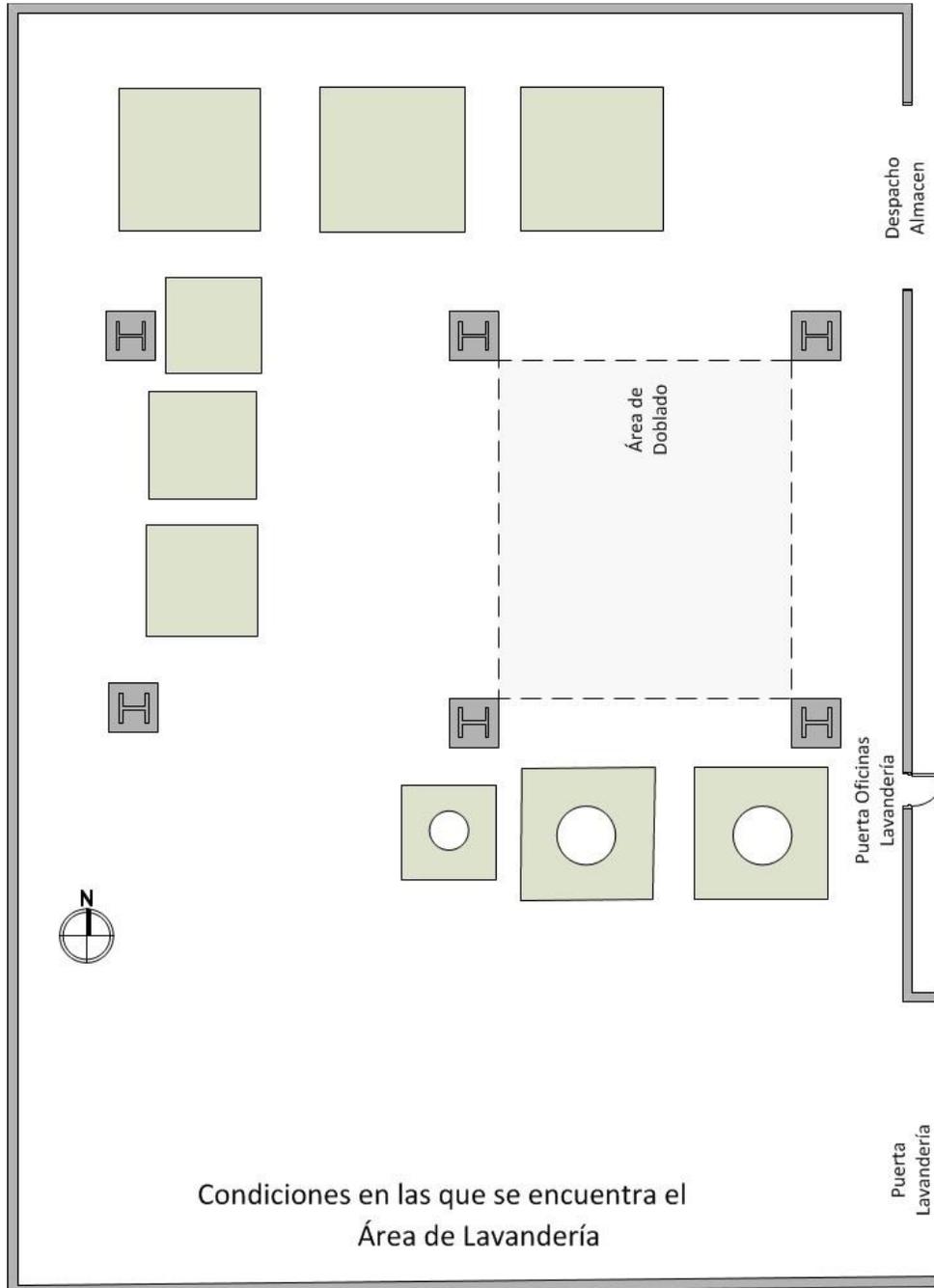
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio 2010.

Apéndice 2 **Diagrama sistema de ventilación de extracción mecánica del área de lavandería**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio 2010.

Apéndice 3 **Diagrama condición actual de los equipos del área de lavandería**

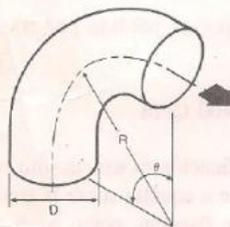


Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio 2010.

ANEXOS

Anexo 1 Coeficientes de pérdidas para algunos accesorios

A. Codo de radio (troquelado), redondo



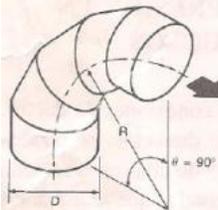
Coeficientes para codos de 90° (ver nota)

R/D	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	2.5
C	0.71	0.33	0.22	0.15	0.13	0.12

Nota: Para ángulos distintos de 90°, multiplicar por los siguientes factores:

θ	0°	20°	30°	45°	60°	75°	90°	110°	130°	150°	180°
K	0	0.31	0.45	0.60	0.78	0.90	1.00	1.13	1.20	1.28	1.40

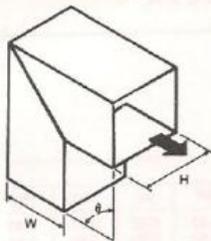
B. Codo redondo, de 3 a 5 partes, 90°



Coeficiente C

No. of Pieces	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

D. Codo de ángulo, rectangular

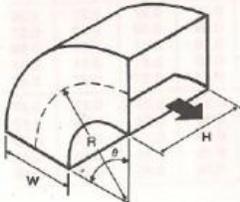


Coeficiente C

θ	H/W										
	0.25	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0
20°	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05
30°	0.18	0.17	0.17	0.16	0.15	0.15	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11
45°	0.38	0.37	0.36	0.34	0.33	0.31	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24
60°	0.60	0.59	0.57	0.55	0.52	0.49	0.46	0.43	0.41	0.39	0.38
75°	0.69	0.87	0.84	0.81	0.77	0.73	0.67	0.63	0.61	0.58	0.57
90°	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	0.98	0.92	0.89	0.85	0.83

E. Codo, rectangular de radio uniforme sin álabes

Coeficientes para codos de 90° (ver nota)



R/W	H/W										
	0.25	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0
0.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2
0.75	0.57	0.52	0.48	0.44	0.40	0.39	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44
1.0	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.27	0.21
1.5	0.22	0.20	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17
2.0	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15

Fuente: PITA, Edward. *Acondicionamiento de aire, principios y sistemas*. p. 238.

Anexo 2 Renovaciones de aire por hora según el tipo de local

Tipo de local	Renovaciones de aire por hora
Bancos	3-4
Bares y tabernas	8-12
Cafeterías y comidas rápidas	15-18
Catedrales	0,5
Cines	10-15
Cocinas domésticas	10-15
Cocinas industriales	15-20
Cuartos de baño	13-15
Discotecas	10-12
Escuelas, aulas	2-3
Estaciones subterráneos	6-8
Fabricas en general	5-10
Fundiciones	20-30
Granjas avícolas	6-10
Hospitales	6-8
Iglesias modernas (techos bajos)	1-2
Laboratorios	6-12
Lavanderías	20-30
Oficinas generales	5-6
Panaderías	25-35
Restaurantes grandes	5-6
Restaurantes medianos	8-10
Sala de calderas	20-30
Salas de junta	5-8
Talleres con maquinaria	6-10
Talleres de pintura	40-60
Teatros	10-12
Tintorerías	20-30

Fuente: ECHEVERRI, Carlos. *Ventilación industrial*. p. 22.

Anexo 3 Velocidad de transporte mínima para algunos materiales

Contaminante	Ejemplo	V_t (m/s)
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

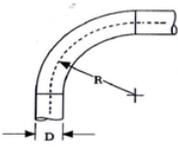
Fuente: ECHEVERRI, Carlos. *Ventilación industrial*. p. 95.

Anexo 4 Velocidad mínima en el conducto para algunos materiales

Material	Velocidad de transporte (m/s)
Partículas de algodón	15-25
Partículas de almidón	15
Partículas de aluminio (grueso)	20
Partículas de arcilla	18
Partículas de caliza	18
Partículas de carbón (pulverizado)	20
Partículas de cocoa	15
Partículas de granos	13-15
Partículas de hule finas	13
Partículas de hule gruesas	20
Partículas de jabón	15
Partículas de magnesio (grueso)	20
Partículas de piedra	18
Partículas de plástico (lijado)	15
Partículas de plomo	20
Partículas de sílice	18-23
Partículas de tabaco	18
Partículas de taladrar hierro fundido	20
Pintura atomizada	10
Rebaba de bronce	20
Rebaba de metal	20-25
Vapores, gases, humos de combustión	5-10

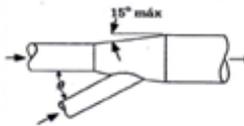
Fuente: ECHEVERRI, Carlos. *Ventilación industrial*. p. 96.

Anexo 5 Longitudes equivalentes para codos de 90°

Accesorio	Diámetro (mm)	Longitud equivalente (m)			
		Radio de curvatura			
		1,0 D	1,5 D	2,0 D	2,5 D
	75	1,7	1,4	1,0	0,8
	100	2,4	2,0	1,4	1,2
	125	3,2	2,6	1,9	1,5
	150	3,9	3,3	2,3	1,9
	175	4,7	3,9	2,8	2,2
	200	5,5	4,6	3,3	2,6
	250	7,2	6,0	4,2	3,4
	300	9,0	7,5	5,2	4,2
	350	11	9,0	6,2	5,1
	400	13	11	7,3	5,9
	450	15	12	8,4	6,8
	500	16	14	9,5	7,7
	600	20	17	12	9,6
	700	25	21	14	11
	800	29	24	16	13
	900	33	28	19	15
	1 000	38	31	21	18
	1 200	47	39	26	22

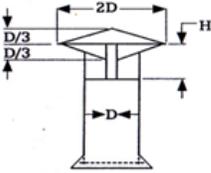
Fuente: ECHEVERRI, Carlos. *Ventilación industrial*. p. 107.

Anexo 6 Longitud equivalente para entradas

Accesorio	Diámetro (mm)	Longitud equivalente (m)		
		Ángulo de entrada (θ)		
		45 °	30 °	15 °
	75	1,0	0,6	0,2
	100	1,4	0,9	0,3
	125	1,8	1,2	0,4
	150	2,2	1,4	0,5
	175	2,7	1,7	0,7
	200	3,2	2,0	0,8
	250	4,1	2,6	1,1
	300	5,2	3,3	1,4
	350	6,2	3,9	1,8
	400	7,3	4,6	2,1
	450	8,4	5,3	2,5
	500	9,6	6,0	2,9
	600	12	7,4	3,8
	700	14	8,9	4,7
	800	17	10	5,6
	900	19	12	6,6
	1 000	22	14	7,7
	1 200	28	17	9,9

Fuente: ECHEVERRI, Carlos. *Ventilación industrial*. p. 108.

Anexo 7 Longitud equivalente para chimeneas tipo sombrerete

Accesorios	Diámetro (mm)	Longitud equivalente (m)		
		H (altura en diámetros)		
		1,0 D	0,75 D	0,5 D
	75	0,4	0,7	2,6
	100	0,6	0,9	3,7
	125	0,7	1,2	4,7
	150	0,9	1,5	5,9
	175	1,0	1,8	7,0
	200	1,2	2,1	8,2
	250	1,5	2,7	11
	300	1,9	3,3	13
	350	2,2	4,0	16
	400	2,5	4,6	18
	450	2,9	5,3	21
	500	3,2	6,0	24
	600	4,0	7,4	29
	700	4,7	8,9	35
	800	5,4	10	41
	900	6,1	12	47
1 000	6,9	13	53	
1 200	8,4	17	65	

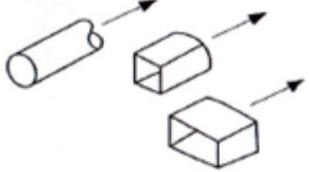
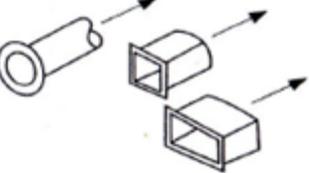
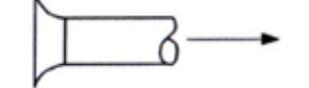
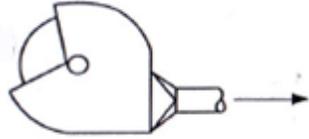
Fuente: ECHEVERRI, Carlos. *Ventilación industrial*. p. 109.

Anexo 8 Cantidades recomendadas para velocidades de captación

Condiciones de dispersión del contaminante	Ejemplos	Velocidad de captación (m/s)
Liberado casi sin velocidad en aire tranquilo.	Evaporación en tanques, desengrase.	0,3 - 0,5
Liberado a baja velocidad en aire moderadamente tranquilo.	Cabinas de pintura, llenado intermitente de tanques, soldadura, baños electrolíticos, decapado.	0,5 - 1,0
Generación activa en una zona de rápido movimiento de aire.	Aplicación de pintura con pistola, llenado de recipientes, trituración.	1,0 - 2,5
Liberado con alta velocidad inicial en una zona de movimiento muy rápido del aire.	Pulido, operaciones de abrasión en general, esmerilado, desmolde en fundición.	2,5 - 10

Fuente: ECHEVERRI, Carlos. *Ventilación industrial*. p. 43.

Anexo 9 **Pérdidas en la entrada de la campana y coeficientes de entrada**

Tipo de campana	Descripción	C_e	H_e
	Abertura plana	0,72	$0,93 P_v$
	Abertura con pestaña	0,82	$0,45 P_v$
	Campana rectangular o cónica	Varía con el ángulo de la campana	
	Entrada en forma de campana	0,98	$0,04 P_v$
	Campana para esmerilado	Entrada a conducto en forma recta	
		0,78	$0,65 P_v$
		Entrada a conducto en forma de campana	
		0,85	$0,40 P_v$

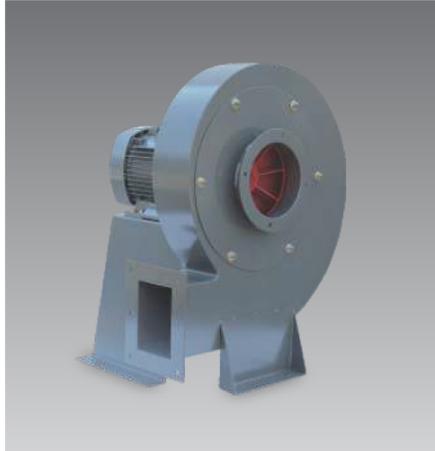
Fuente: ECHEVERRI, Carlos. *Ventilación industrial*. p. 63.

Anexo 10 Ventilador elegido para el sistema de extracción número 1



CX

**EXTRACTORES CENTRÍFUGOS DE
ÁLABES RADIALES DE MEDIANA PRESIÓN**
4500, 5500 y 6500 m³/hr



Esta gama de ventiladores centrífugos de mediana presión, ha sido estructurada en tres tamaños dentro de una construcción robusta que le permite adaptarse a cualquier instalación o máquina en todo tipo de industria.

Características Principales:

- Rodete de alabes rectos radiales en chapa de hierro electrosolada.
- Motor dos polos, 3F, con brida en acoplamiento directo.
- Carcasa electrosada con brida en succión y descarga.
- Recubrimiento en pintura en polvo con características anticorrosivas.

Aplicaciones:

- Transportación neumática de: Virutas, polvos, granos, etc.
- Impulsión de aire en: Quemadores, Fraguas, Cubilotes
- Aireación de semillas y materiales.
- Procesos industriales diversos.

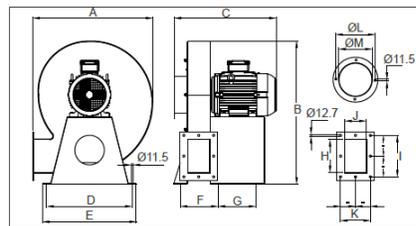
* Todos los modelos de línea son rotación derecha.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Modelo	Velocidad RPM	Potencia HP	Tensión Volts	Intensidad A	Caudal a descarga libre m ³ /hr / CFM	Presión sonora dB(A)*	Peso aprox. Kg
CX 4500	3500	7 1/2	208-230/460	17.2 / 8.6	4,500 / 2,647	89	109
CX 5500	3515	10	208-230/460	22.4 / 11.4	5,500 / 3,235	90	120
CX 6500	3520	15	208-230/460	34.0 / 17.0	6,500 / 3,824	93	182

* Nivel sonoro medido de acuerdo a las normas AMCA 300/05 y 301/05

DIMENSIONES Y CURVAS CARACTERÍSTICAS

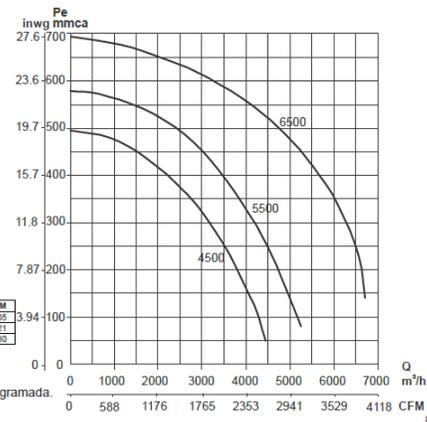


MODELO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	ØL	ØM
CX-4500	678	848	574	522	572	220	230	180	232	130	182	236	205
CX-5500	732	871	622	522	572	230	230	200	252	130	182	256	221
CX-6500	795	984	705	553	603	230	300	220	272	130	182	286	230

* Dimensiones mm.

* **ADVERTENCIA:** Este equipo no debe trabajar a descarga libre.

* Fabricación con distinta rotación y descarga, bajo consulta y demanda programada. Posiciones de rotación 0°, 90° y 180°.

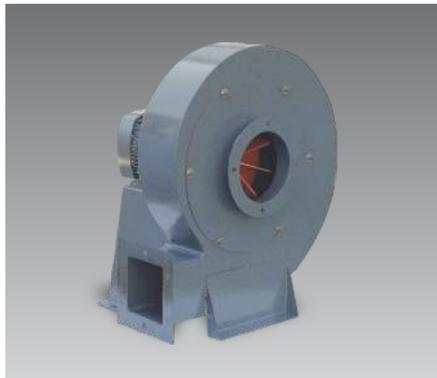


Fuente: SOLER & PALAU. *Catálogo S&P 2011*. p 80.

Anexo 11 Ventilador elegido para el sistema de extracción número 2

CSB-T

EXTRACTORES CENTRÍFUGOS DE
ÁLABES RADIALES
300, 400, 800, 1300, 2000, 2600 y 3500 m³/h



La serie CS de extractores de tipo centrífugo con rodete de alabes rectos radiales, cuenta con siete tamaños cuyas prestaciones cubren un amplio rango de caudal manejando presiones medias. Su construcción robusta y a la vez compacta, permite su adaptación a cualquier tipo de instalación.

Características Principales:

Carcasa en acero electrosoldada, rotor de alabes rectos radiales fabricado en fundición de aluminio, acabado en pintura en polvo poliéster horneada color gris martillado con gran resistencia a la corrosión. Motor acoplado directamente a la turbina.

Aplicaciones:

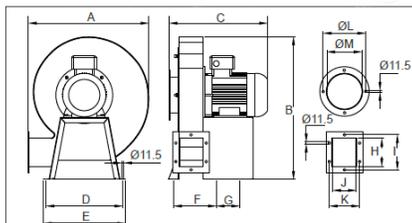
Cámaras de pintura, secadores, manejo de humo, polvo, presurización en procesos industriales, etc.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Modelo	Velocidad RPM	Potencia HP	Tensión Volts	Intensidad A	Caudal a descarga libre m ³ /hr / CFM	Presión sonora dB(A)	Peso aprox. Kg
CSB-300	3510	1/4	127/220	6.0/2.4	300 / 176	71	13
CSB-400	3515	1/2	127/220	9.1/3.7	400 / 235	73	17
CST-400	3410	1/2	220/440	1.9 / 0.9	400 / 235	73	17
CSB-800	3500	3/4	127/220	11.5 / 5.0	800 / 471	75	21
CST-800	3470	3/4	220/440	2.5 / 1.25	800 / 471	75	21
CSB-1300	3510	1	127/220	10.9 / 5.40	1300 / 765	82	24
CST-1300	3460	1	220/440	3.0 / 1.5	1300 / 765	82	24
CST-2000	3495	1 1/2	208-230/460	4.0 / 2.0	2,000 / 1,176	84	37
CST-2600	3480	3	208-230/460	7.4 / 3.7	2,600 / 1,529	86	41
CST-3500	3480	5	208-230/460	11.8 / 5.9	3,500 / 2,059	90	66

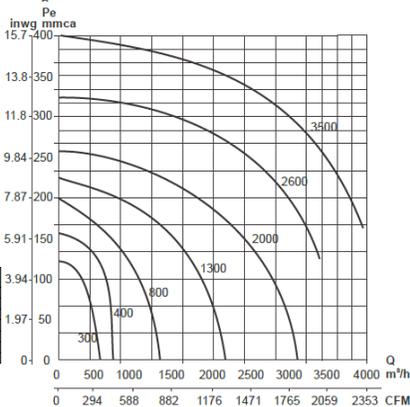
DIMENSIONES Y CURVAS CARACTERÍSTICAS

*Nivel sonoro medido de acuerdo a las normas AMCA 300/05 y 301/05



MODELO	A	B	C		D	E	F	G	H	I	J	K	ØL	ØM
			MF	TF										
CSB 300	308	384	306	-	230	200	112	80	50	78	81	82	147	112
CSB-T 400	359	414	317	313	250	230	112	80	70	102	80	81	147	112
CSB-T 800	426	498	344	338	257	287	140	91	108	130	81	115	153	123
CSB-T 1300	462	572	381	377	263	293	158	91	119	150	100	132	178	141
CST 2000	538	650	-	451	311	341	180	116	128	162	120	154	190	156
CST 2600	538	650	-	450	300	350	197	116	128	162	122	154	190	156
CST 3500	617	729	-	504	363	423	219	120	143	179	120	156	218	180

*Dimensiones mm.



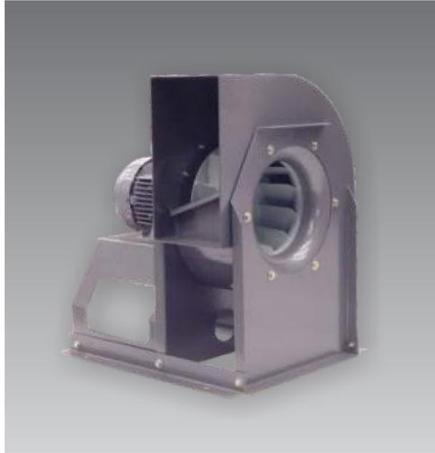
Fuente: SOLER & PALAU. Catálogo S&P 2011. p 79.

Anexo 12 Ventilador elegido para el sistema de extracción número 2



CMX

EXTRACTORES CENTRÍFUGOS DE ÁLABES RECTAS ATRASADAS 250 y 315



Equipos centrífugos de simple aspiración, disponibles en dos tamaños, con dos opciones de motor cada uno. Conformados con rodete de álabes atrasados clase I. En acoplamiento directo motor turbina. Rango de operación: 1568 m³/hr (922 CFM) hasta 3450 m³/hr (2029 CFM) con una presión estática máxima de 5.39" w.g (137 mm ca).

Características Constructivas:

- Rodete de acero al carbón, de álabes hacia atrás, clase I, balanceada dinámicamente.
- Tamaño 250: Motores de 2 (1,5 HP) y 4 (0.25 HP) polos.
- Tamaño 315: Motores en 4 (0,5 HP) y 6 (0.25 HP) polos.
- Envoltura fabricada en acero al carbón, con acabado en pintura en polvo poliéster horneada.
- Rotación estándar: CW (Clockwise), bajo pedido especial CCW (Counterclockwise).
- Descargas especiales bajo pedido.

Aplicaciones:

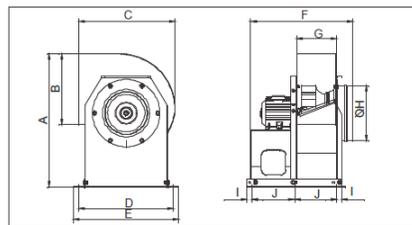
Equipos de aplicación industrial, para ser instalados en sistemas de presurización, como parte de sistemas de fabricación, inyección de aire en hornos, cabinas de pintura, etc.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Modelo	Velocidad RPM	Potencia HP	Tensión Volts	Intensidad A	Caudal a descarga libre m ³ /hr / CFM	Presión sonora dB(A)*	Peso aprox. Kg
CMX-250/4P	1750	1/4	220 / 440	1.2 / 0.6	1568 / 922	70	34
CMX-250/2P	3495	1 1/2	208-230 / 460	4.50-4.10/2.07	3144 / 1849	85	49
CMX-315/6P	1125	1/4	220 / 440	1.8 / 0.9	2302 / 1354	69	47
CMX-315/4P	1750	1/2	230 / 460	2.8 / 1.4	3450 / 2029	79	49

*Nivel sonoro medido de acuerdo con las normas AMCA 300/05 y 301/05

DIMENSIONES



MODELO	A	B	C	D	E	F	G	ØH	I	J
CM 250/4P	604	323	437	426	476	460	180	252	25	192
CM 250/2P	604	323	437	426	476	550	180	252	25	192
CM 315/6P	742	407	543	498	548	554	223	317	25	239
CM 315/4P	742	407	543	498	548	554	223	317	25	239

*Dimensiones mm.

Fuente: SOLER & PALAU. *Catálogo S&P 2011*. p 81.

