

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

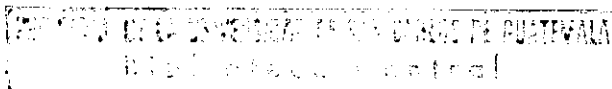
GUÍA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN DE AIRE PARA
UNA PLANTA DE COSMÉTICOS

TESIS
PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

POR
JUAN JOSÉ BOLAÑOS DEL AGUILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 1997



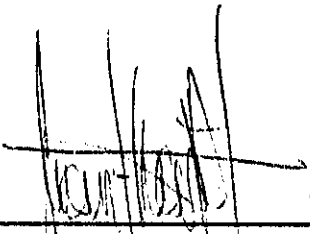
08
TCAISA
C.A.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**GUÍA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN
DE AIRE PARA UNA PLANTA DE COSMETICOS**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 4 de mayo de 1997.



JUAN JOSÉ BOLAÑOS DEL AGUILA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL 1º.	Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra
VOCAL 2º.	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL 3º.	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
VOCAL 4º.	Br. Víctor Rafael Lobos Aldana
VOCAL 5º.	Br. Wagner Gustavo López Cáceres
SECRETARIO	Ing. Gilda Marina Castellanos Illescas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ
EL EXAMÉN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Rodolfo Francisco Espinoza Smith
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Mejía Alvarez
EXAMINADOR	Ing. Julio Enrique Chávez Montúfar
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López

Guatemala, 1 de agosto de 1997

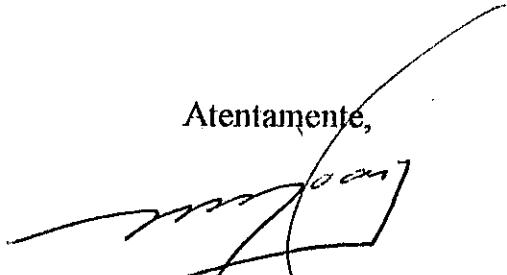
Ing.
Julio Chávez
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Señor Director:

Por medio de la presente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he revisado como asesor el trabajo de tesis de graduación del estudiante Juan José Bolaños del Aguila titulado **Guía para el diseño de un sistema de filtración de aire para una planta de cosméticos**, el cual considero que reúne los requisitos necesarios para su aprobación final.

Sin otro particular, me suscribo,

Atentamente,



Ing. Héctor Adolfo Ruiz Godoy
Colegiado 199



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 13 de agosto de 1,997.

Ingeniero
Julio Chávez Montúfar
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

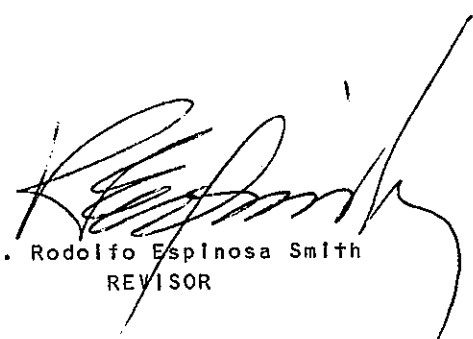
Estimado Ingeniero Chávez.

Hago de su conocimiento que he revisado el Informe Final de Tesis del estudiante Juan José Bolaños del Aguila, Carnet No. 88-12228, titulado: **GUIA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE FILTRACION DE AIRE PARA UNA PLANTA DE COSMETICOS;** dejo constancia de aprobación, para proceder a la autorización del respectivo trabajo de Investigación.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Rodolfo Espinosa Smith
REVISOR

RES/ga
c.c archivo



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Química, Ing. Julio Chávez Montúfar, después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo del estudiante Juan José Bolaños del Aguila, titulado: **GUIA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE FILTRACION DE AIRE PARA UNA PLANTA DE COSMETICOS**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Julio Chávez Montúfar
DIRECTOR
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, 23 de septiembre de 1,997.



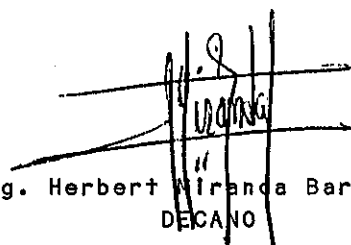
FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de tesis titulado: **GUIA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE FILTRACION DE AIRE PARA UNA PLANTA DE COSMETICOS**, del estudiante **Juan José Bolaños del Aguila**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert Miranda Barrios
DECANO

Guatemala, 23 de septiembre de 1,997.



ACTO QUE DEDICO

A DIOS

Por iluminar y fortalecer mi vida, permitiéndome lograr esta meta la cual pongo a su servicio.

A MIS PADRES

A quienes debo gratitud y admiración permanente, por sus esfuerzos realizados en beneficio de mi superación.

A MI ESPOSA

Bello sol que ilumina mi vida, fiel compañera a quien dedico con todo mi amor esta tesis.

A MIS HIJAS

Ángeles que Dios puso en mi camino para fortalecer mi andar y a quienes espero dar siempre el mejor de los ejemplos.

A MIS HERMANOS

Con mucho cariño, deseando que este logro sea un ejemplo de perseverancia y dedicación.

A MI ABUELA

Carmela Reyes de del Aguila, recordándola por su tierno ejemplo de virtud, valor y amor al trabajo y a la familia.

A MIS TÍOS, TÍAS Y PRIMOS

Con mucho respeto y cariño, especialmente a la memoria de Julio Bolaños San Juan, ejemplo de virtud, amor y persistencia.

A MIS SUEGROS Y CUÑADOS

Por su apoyo.

A MIS COMPANEROS
Y AMIGOS:

Por su respaldo y amistad.

AGRADECIMIENTO

**AL INGENIERO HÉCTOR ADOLFO
RUIZ GODOY Y FAMILIA:**

**Por su valiosa asesoría y enseñanzas
para la realización de este trabajo y de
mi vida profesional.**

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS, FIGURAS Y GRÁFICAS	ii
GLOSARIO	iv
INTRODUCCIÓN	1
1. ANTECEDENTES	2
1.1 El Aire	
1.1.1. Composición del aire _____	2
1.1.2. Contaminantes _____	2
1.1.3. Tipos de aire _____	4
1.2 Características del aire en las instalaciones industriales	6
1.3 Acondicionamiento de aire para fines industriales	7
1.3.1 Acondicionamiento de aire en las fábricas _____	7
1.3.2 Condiciones ambientales en la industria _____	8
1.4 El filtrado de aire para uso industrial	11
1.4.1 Características de las partículas contaminantes _____	11
1.4.2 Tipos de equipos de filtración y sus características _____	12
1.5 Los sistemas de manejo de aire y sus componentes	19
1.5.1 Inyectores y extractores _____	19
1.5.2 Ductos _____	23
1.5.3 Rejillas _____	31
2. JUSTIFICACIONES	35
3. OBJETIVOS	36
4. HIPOTESIS	37
5. ¿CUÁL ES EL PROBLEMA CUYA SOLUCIÓN SE BUSCA CON ESTE TRABAJO?	38
6. DISEÑO Y CÁLCULOS DEL SISTEMA	40
7. CONCLUSIONES	vi
8. RECOMENDACIONES	vii
9. REFERENCIAS	viii
ANEXO	ix

ÍNDICE DE TABLAS FIGURAS Y GRÁFICAS

Tablas

Tabla 1	Concentración de contaminantes según la localidad	4
Tabla 2	Temperaturas y humedad relativa promedio en el valle de Guatemala	9
Tabla 3	Características de los ventiladores centrífugos	21
Tabla 4	Clases de ventiladores	22
Tabla 5	Clases de conductos	24
Tabla 6	Dimensiones de los conductos, área de la sección, diámetro equivalente y tipo de conducto.	Anexo
Tabla 7	Clases de accesorios de conductos	26
Tabla 9	Construcción recomendada para conductos de lámina metálica rectangulares	29
Tabla 10	Velocidad de salida de aire en las rejillas de inyección según el tipo de instalación	30
Tabla 11	Ambientes de la planta y sus usos	39
Tabla 12	Demanda de volumen de aire para cada ambiente	40
Tabla 13	Demanda de volumen de aire para cada ambiente según el Δp	41
Tabla 14	Dimensión de ductos y rejillas y la pérdida de fricción respectiva para el sistema de inyección 1	42
Tabla 15	Dimensión de ductos y rejillas y la pérdida de fricción respectiva para el sistema de inyección 2	43
Tabla 16	Dimensión de ductos y rejillas y la pérdida de fricción respectiva para el sistema de inyección 3	43
Tabla 17	Dimensión de ductos y rejillas y la pérdida de fricción respectiva para el sistema de extracción 1	44
Tabla 18	Dimensión de ductos y rejillas y la pérdida de fricción respectiva para el sistema de extracción 2	45
Tabla 19	Dimensión de ductos y rejillas y la pérdida de fricción respectiva para el sistema de extracción 3	45
Tabla 20	Características de los filtros y prefiltros seleccionados	47
Tabla 21	Pérdidas de presión en todo el sistema	47
Tabla 22	Presión estática de cada sistema	48
Tabla 23	Características de los ventiladores seleccionados	49
Tabla 24	Funcionamiento de los ventiladores marca Dayton	Anexo
Tabla 25	Funcionamiento de las rejillas de extracción marca Air Guide	Anexo
Tabla 26	Funcionamiento de las rejillas de inyección marca Air Guide	Anexo
Tabla 27	Cotización de filtros	Anexo
Tabla 28	Rozamiento en codos rectangulares	Anexo
Tabla 29	Características de los filtros de superficies extendidas marca Air Handler	Anexo
Tabla 30	Características de los prefiltros marca Air Handler	Anexo
Tabla 31	Cotización ventiladores	49
Tabla 32	Cotización rejillas	50

Gráficas

Gráfica 1	Tamaño de partículas contaminantes y filtros	3
Gráfica 2	Clase de ambientes según el número de partículas	5
Gráfica 3	Temperatura efectiva	8
Gráfica 4	Temperatura permitidas según el tipo de actividad	9
Gráfica 5	Clases de ventiladores	22
Gráfica 6	Costos de instalación vrs. relación de forma	25
Gráfica 7	Pérdidas por rozamiento en conductos redondos	Anexo

Figuras

Figura 1	Eliminación de partículas por efecto tamiz	13
Figura 2	Eliminación de partículas pro mecanismo de intercepción inercial	13
Figura 3	Eliminación de partículas por separación inercial	14
Figura 4	Eliminación de partículas por difusión browniana	14
Figura 5	Ventilador centrífugo	18
Figura 6	Ventiladores axiales	19
Figura 7	Tipos de aletas para ventiladores centrífugos	20
Figura 8	Transformación de conducto	26
Figura 9	Codo ordinario	27
Figura 10	Codo con aletas directrices	27
Figura 11	Tipos de derivaciones	28
Figura 12	Difusor de cuatro vías	31
Figura 13	Rejilla de extracción	32
Figura 14	Área de producción de productos de cuidado personal de Laboratorios Zelsa	Anexo
Figura 15	Sistemas de inyección y extracción para la limpieza del aire del área de producción de productos de cuidado personal	Anexo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

GLOSARIO

AMCA (Asociación del control y el movimiento del aire): es una asociación estadounidense reconocida internacionalmente que establece estándares, pruebas y certifica el funcionamiento de las unidades manejadoras de aire.

ASHRAE (Asociación americana de ingenieros en calefacción, refrigeración de aire acondicionado): una asociación estadounidense reconocida internacionalmente que establece estándares, pruebas y certifica el funcionamiento de las unidades manejadoras de aire, temperatura y humedad.

Cambios de aire: la cantidad de aire requerida para reemplazar completamente el aire en una habitación o edificio, se mide en metros cúbicos por hora o pies cúbicos por minuto.

CFM (pies cúbicos por minuto): es la unidad de medida utilizada para designar el volumen de aire que atraviesa una unidad manejadora de aire. Un cfm equivale a 0.589 m³/h.

Diferencial de presión: la diferencia de presión entre la inyección y extracción. Puede ser medida en milímetros de columna de agua o pulgadas de columna de agua.

Difusión browniana: es el movimiento desordenado de las partículas coloidales a través de un medio dispersante, llamado así en honor del botánico inglés Robert Brown.

Difusor de aire: rejilla diseñada para dirigir el flujo de aire en un espacio determinado.

D.O.P.: iniciales para representar el dioctilfalato, este un compuesto que al enfriarse de 199 °C a temperaturas acotadas de temperatura y presión, se condensa en forma de un aerosol de tamaño uniforme. Por medio de contadores fotoeléctrico se mide la cantidad de partículas de D.O.P. antes y después del filtro, detectándose así la eficiencia del filtro. La norma norteamericana para este ensayo es la *Military Standard 282*.

Extractor de aire: es un ventilador diseñado para sacar aire de un ambiente determinado.

Filtro: mediante un filtro se pueden eliminar partículas de polvo o elementos no deseadas del aire.

Filtro HEPA: abreviación textual del término en inglés, *high efficient particle air filter*, que significa en español, filtro de alta eficiencia para partículas del aire. Estos filtros tienen una eficiencia. Estos filtros son los más eficientes de todos, son de medio seco y extendido de microfibras de vidrio, cuya eficiencia mínima es del 99.97 % en DOP.

Fuerzas de Van der Waals: de ésta forma son llamadas las fuerzas de atracción intermolecular de las sustancias covalentes.

Inyector de aire: es un ventilador diseñado para meter aire a una determinada presión en un ambiente determinado.

Metros cúbicos por hora (m^3/h): es la unidad de medida del sistema internacional utilizada para designar el volumen de aire que atraviesa una unidad manejadora de aire.

Milímetros de columna de agua (mm de c.a.): es la medida con que se identifica el diferencial de presión o la presión estática.

Presión estática (PE): es la presión que es ejercida en las paredes de un ducto y que es creada por la fricción y el impacto del aire mientras se mueve. En el presente trabajo esta se dimensiona con mm de c.a. o plg de c.a.

Pulgadas de columna de agua (plg. de c.a.): es la medida con que se identifica el diferencial de presión o la presión estática en el sistema americano. Una pulgada de agua equivale a 25.4 mm de c.a.

Rejilla: una cubierta para una abertura a través de la cual puede pasar aire.

Unidad de manejo de aire: ventiladores, filtros y rejillas se consideran en este tipo de unidades.

Ventilación de aire: La cantidad de aire necesaria del exterior para mantener la cantidad de oxígeno y la calidad de aire dentro de un espacio determinado.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de la presente tesis es ofrecer una guía práctica sobre la limpieza e inyección de aire en una planta de cosméticos. Su finalidad es proveer información necesaria y útil para que el responsable del diseño pueda realizar un sistema que reúna las características que solicita el cliente, así como las normas que actualmente se exigen en el medio.

El diseño se basa en una necesidad real de la empresa Laboratorios Zelsa, donde se tiene construido un área de cubículos en base a la normas de buena manufactura y se necesita que el suministro del aire exterior sea adecuada para la elaboración de cosméticos.

Las condiciones climáticas del valle de Guatemala no son extremas, la limpieza del aire se convierte en el principal tema a analizar en los sistemas de inyección y extracción de aire para plantas de cosméticos. En el desarrollo del trabajo el primer punto tratado es la composición y características del aire. Después de este tema se expone la teoría de la filtración, como afecta a esta la distribución y tamaño de las partículas, los tipos de filtros existentes y la forma en que estos trabajan.

El tercer punto es una breve introducción a lo que es aire acondicionado. Aunque en el diseño presentado no se controla la humedad y la temperatura, es importante que el lector conozca algunos términos y definiciones relativos al tema. Posteriormente se analizan los puntos determinantes en el diseño como lo son: factores económicos y factores del espacio y del edificio, criterios que determinan el porque de la elección de un sistema dado.

El quinto punto es el planteo del diseño, una presentación de las instalaciones donde se va a diseñar el sistema, características del lugar y ventajas y desventajas de la construcción. Por último se hace el cálculo para determinar la elección de todos los elementos que irán a conformar el equipo de ventilación, como lo son los ductos, inyector, extractores, rejillas y filtros. Se incluye una cotización de todo el sistema para dar también una noción del costo de un sistema de este tipo.

1. ANTECEDENTES

1.1 El aire

El aire está presente en todo momento en todas las actividades humanas. En las actividades industriales, el aire puede ser un factor para mantener la calidad de los productos y para aumentar el confort y productividad de los empleados, pero también puede ser una fuente de contaminación química o microbiológica de los productos así como una fuente de disconfort y reductor de la productividad del empleado.

1.1.1 Composición del aire

El aire está compuesto por un 78 por ciento de nitrógeno, un 21 por ciento de oxígeno, y 1 por ciento de argón y otros gases. Estas relaciones cambian muy poco según el lugar y el tiempo. El contenido de humedad del aire, ya sea como vapor de agua, gotas de agua o cristales de hielo, cambia significativamente según el lugar y el tiempo y es responsable de muchos de los fenómenos que ocurren en la atmósfera. El contenido de agua en el aire cuando el aire se encuentra a una temperatura de 20 °C y 50% de humedad relativa es de 1.15% (porcentaje en volumen).

La calidad del aire varía según la localidad, dependiendo de:

- 1) La localización geográfica
- 2) Las condiciones meteorológicas
- 3) La proximidad de industrias
- 4) El tamaño de la comunidad

Es importante recordar que la calidad del aire depende de emisiones naturales y emisiones hechas por el hombre, e inclusive si todas las contribuciones realizadas por el hombre fueran eliminadas, aún así el ambiente podría ser dañino. El aire puede ser dañino aún a concentraciones muy bajas de contaminantes. El volumen total de contaminantes en el aire, incluyendo partículas y gases, es por lo general menor de 0.1%

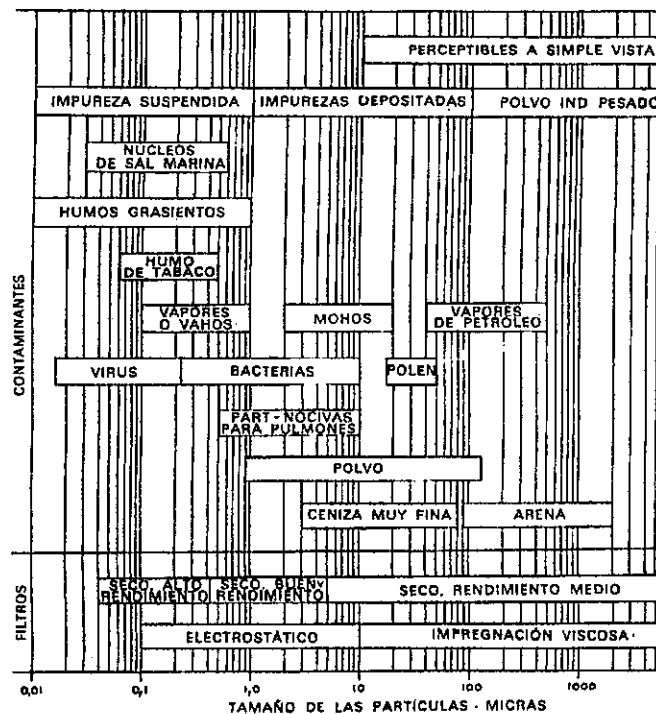
1.1.2 Contaminantes

El aire es contaminado en diversos grados por el polvo, el suelo, las materias orgánicas, las esporas, los virus, las bacterias y alérgenos, así como por aerosoles, tales como humos, polvo, vapores y niebla. Estos contaminantes se pueden introducir en las instalaciones de las fábricas desde el exterior, o pueden ser retornados a los ductos de ventilación desde el propio local ventilado en caso de que se recircule el aire.

La contaminación del aire varía de localidad en localidad, pero aumenta en forma alarmante en todo el mundo, debido a varios factores como el aumento de los transportes

con motores de combustión interna, la mayor cantidad de industrias, la generación de energía eléctrica y las instalaciones de calefacción y combustión. Siempre habrá partículas suspendidas en el aire debido a la multiplicidad de fuentes de contaminación, la facilidad y eficacia con que pueden ser eliminados depende del tamaño, la forma, peso específico y concentración y características de superficie de la partícula. Las características de los contaminantes varían ampliamente. Los diámetros de las partículas varían desde el tamaño molecular hasta 5 000 micras. Se pueden encontrar concentraciones tan elevadas como 915 miligramos por metro cúbico. Sin embargo, en las aplicaciones de filtración de aire suelen estar implicadas la extracción de partículas no menores de 0.1 micras de diámetro y tan grandes como 200 micras. Las concentraciones normales exceden pocas veces de 9 miligramos por metro cúbico. Las características específicas de las partículas que deben de ser eliminadas dependen del uso que se destine el sistema de filtración. El control de la pureza del aire es entonces un concepto relativo. En la Gráfica 1¹, están indicados los tamaños de las partículas contaminantes ordinarias.

Gráfica 1. Tamaño de partículas contaminantes y filtros.



En la Tabla 1 se indican las concentraciones de polvo de aire exterior que son típicas en diversas localidades. Las concentraciones pueden aumentar durante el verano,

¹ Carrier Air Conditioning Company, *Manual de Aire Acondicionado*. (España, editorial Marcombo, 1970), p. 6-58.

especialmente en áreas residenciales. Las partículas de naturaleza aceitosa o grasienta con superficies irregulares o electrostáticamente cargadas tienden a aglomerarse más fácilmente. El depósito y la adherencia de contaminantes depende de otras características además del tamaño y la concentración.

Tabla 1.
Concentraciones de contaminantes según la localidad.

<i>LOCALIDAD</i>	<i>CONCENTRACION (mg/metro cúbico)</i>
<i>Localidades rurales y suburbanas</i>	<i>0.045-0.45</i>
<i>Localidades metropolitanas</i>	<i>0.091-0.91 (usual 0.137)</i>
<i>Localidades industriales</i>	<i>0.228-4.57</i>
<i>Fábricas o talleres</i>	<i>0.457-9.15</i>
<i>Fábricas o minas excesivamente polvorientas</i>	<i>9.150-915.34</i>

1.1.3 Tipos de aire

La determinación de los contaminantes que deben ser suprimidos, y en qué grado, se debe basar en los requisitos del proceso y en las características del equipo, material u ocupantes del lugar a ventilar. Por ejemplo, en un laboratorio electrónico se requerirá mayor eficacia de filtración que en un local comercial. Sin embargo, ciertos contaminantes deben ser eliminados en cualquier aplicación, contándose entre ellos los polvos abrasivos, hilazas, polen, concentraciones de humos tóxicos, así como las partículas de carbón.

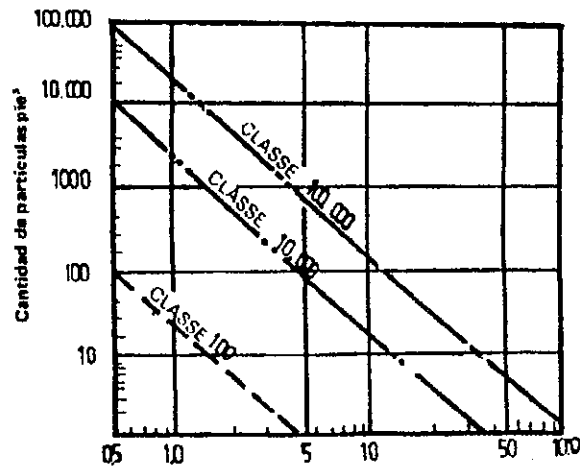
Existe una norma federal estadounidense, la 209B, que dicta que cada área puede ser clasificada en clases según su nivel de partículas en el aire por unidad de volumen. Las tres Clases definidas en esta norma son la Clase 100, Clase 10 000 y Clase 100 000, conforme tengan esas cantidades de partículas de 0.5 micrones y mayores por pie cúbico de volumen. Reduciéndolas a litros se tendría:

Clase 100:	3.5 partículas por litro
Clase 10 000:	350 partículas por litro
Clase 100 000:	3500 partículas por litro

La Gráfica 2 ilustra el contenido de la norma 209B. Según la Gráfica la clase 100 muestra el máximo de 100 partículas de 0.5 micrones y mayores, de las cuales 25 son mayores de 1 micrón no habiendo más de una partícula de 4 micrones o mayor. En la curva de la Clase 10 000 se admiten como máximo 10 000 partículas de 0.5 micrones, de las que no más de 70 superan los 5 micrones, no habiendo más de una partícula de 35 micrones o mayor.

Gráfica 2.

Clases de ambientes según el número de partículas.



Curvas de la Norma Federal 209 B.

La clase 100 000 es la más pobre de todas con no más de 100 000 partículas de 0.5 micrones y mayores, donde no habrá mas de 700 mayores de 5 micrones y no más de una mayor de 100 micrones.

En base a esta norma se determina, por ejemplo, que para un laboratorio microelectrónico se requiera un ambiente de clase menor que 10 000, para las áreas estériles en un hospital se requiera una clase menor de 100 000, para la fabricación de sueros estériles una clase 100 000 y en el caso de una fábrica de cosméticos una clase 100 000.

1.2 Características del aire en las instalaciones industriales

Mediciones en las instalaciones de industrias indican que los contaminantes del aire en el interior pueden llegar a ser mayores que en el aire exterior. Esto es debido a las emanaciones de las máquinas y de las personas, sin contar que muchas industrias no tienen ventanas o suficiente ventilación para el personal y el equipo que albergan. Es por esto que se requiere de la inyección de aire en los edificios y su extracción para que haya una mayor circulación de aire y puedan ser eliminadas las impurezas. Los rangos de contaminación dentro de las fábricas pueden variar de 0.457 a 9.15 miligramos por metro cúbico hasta 9.15 a 915 miligramos por metro cúbico en las fábricas o minas excesivamente polvorientas.

El flujo de aire que circule en el interior de las instalaciones industriales para asegurar la comodidad de los ocupantes debe de ser de por lo menos de 9 cambios por hora.

No hay que olvidar que para erradicar todo contaminante que pueda ser dañino del aire exterior, es necesaria la utilización de filtros.

El flujo de aire, al igual que el nivel de filtración deseado, dependen de la aplicación. En una fábrica de chips de computadora es necesario un ambiente Clase 100, mientras que en una industria alimenticia, farmacéutica o cosmética se necesitan ambientes de Clase 100 000.

1.3 Acondicionamiento de aire para fines industriales

Acondicionamiento de aire es el proceso de tratar el aire de tal forma que se controlen simultáneamente su temperatura, humedad, limpieza y su distribución para llenar los requerimientos del espacio a condicionar. Las aplicaciones del aire acondicionado incluyen el confort humano y el mantenimiento de las condiciones apropiadas para la manufactura, procesamiento, y la preservación de material y equipo. También, en ambientes industriales, donde por razones económicas u otro factor, las condiciones no son enteramente confortables, puede ser utilizado un acondicionamiento de aire para mantener la eficiencia, salud y seguridad de los trabajadores.

1.3.1 Acondicionamiento de aire en las fábricas

La selección de un determinado sistema para aplicarlos a la industria es una decisión muy crítica con la que tiene que enfrentarse el ingeniero. De esta decisión depende la satisfacción del usuario, así como la correcta adaptación del sistema al edificio. Deben analizarse muchos factores, pero los más importantes son el aspecto económico y los deseos del que realiza la inversión.

Existe una gran diferencia entre un diseño para una oficina o pequeño establecimiento, y el diseño para una fábrica, pues en el primero se busca primordialmente el confort de las personas que trabajan en el, mientras que en la fábrica el confort es solo uno de los parámetros que se busca cumplir. El acondicionamiento de aire completo proporciona un ambiente de temperatura, humedad, movimiento de aire, limpieza, ventilación y condiciones acústicas correctas.

Debe establecerse entonces una diferencia entre el acondicionamiento de la fábrica desde el punto de vista del confort y el aprovisionamiento de aire que necesitan determinados productos industriales. En el primer caso lo que se busca es el bienestar del trabajador, y en el segundo lo más importante es el ambiente que rodea al producto. Existen casos en el que el acondicionamiento beneficia a ambos y, en todo caso el factor decisivo es el económico, pretendiéndose un bienestar del obrero que redunde en el mejoramiento de la producción.

De las condiciones óptimas de temperatura, humedad y velocidad del aire depende fundamentalmente el rendimiento del trabajador. Las condiciones interiores de confort, cuando se están desarrollando actividades ligeras, pueden establecerse en 24 °C con puntos

de rocío de 13 a 21 °C, y velocidades de aire de 0.1 a 1.5 m/seg. En algunos casos los trabajadores pueden soportar temperaturas tan altas como del orden de los 32 °C. Las condiciones ambientales que afectan el rendimiento del trabajador dependen del efecto combinado de la temperatura, humedad y velocidad de aire. Esta última es la velocidad en que el aire se desliza sobre el obrero. Las humedades relativas pueden ser de 35 a 80%. Si las condiciones del proyecto y del movimiento del aire resultan ser antieconómicos, puede estudiarse el problema de refrigerar zonas limitadas o estudiar separadamente puntos de acondicionamiento individuales para trabajadores.

Para conseguir los costos mínimos debe hacerse un cuidadoso análisis de las cargas de iluminación, techos, paredes, maquinaria, elaboración y trabajadores para determinar la carga en funcionamiento. La influencia de estas cargas puede reducirse aplicando factores de diversidad y teniendo en cuenta los principios de estratificación. Al mismo tiempo, el intercambio de calor radiado, la tendencia natural del aire caliente a elevarse, la extracción del aire caliente y el equilibrio entre el aire exterior que se toma a través de la inyección y el de extracción, contribuirán a la reducción de esta carga. Las unidades autónomas de un solo conducto, el acondicionamiento de ciertas zonas o puntos concretos, al igual que reducir el efecto de la radiación por medio de persianas o cortinas, se pueden aplicar en las fábricas.

El control del aire acondicionado en los procesos de elaboración de productos incluye lo siguiente: (1) Control de la humedad para materiales higroscópicos; (2) control de rangos de reacciones químicas, cristalización, rangos de reacciones, bioquímicas y corrosión de metales; (3) eliminación de la electricidad estática; (4) control de temperatura para maquinaria; y (5) control de condiciones de laboratorios de pruebas.

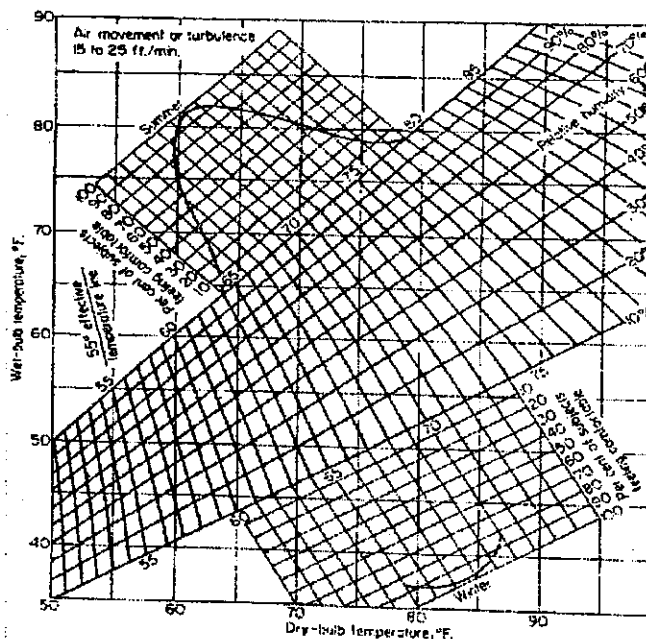
1.3.2 Condiciones ambientales en la industria

Temperatura y humedad

En la industria es importante satisfacer tanto las necesidades requeridas por los usuarios, como las especificaciones requeridas del producto que se procesa. Es imposible satisfacer a cada persona a una temperatura y humedad específica. Ya que existen otras variables que intervienen, como la velocidad del aire, la ropa, la intensidad de trabajo y las diferencias individuales. De cualquier forma, para la persona promedio existe el concepto de temperatura efectiva (E.T.), concepto derivado del trabajo realizado por la Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE), que relaciona las variables de temperaturas de bulbo seco, húmedo y velocidad de aire para el confort de las personas que realizan un trabajo ligero y con vestimenta liviana. Este es un valor empírico que no puede ser medido directamente. Cualquier combinación de temperatura de bulbo seco y húmedo que siga la misma línea de E.T. se dice que da el mismo resultado de confort. En un sistema de acondicionamiento destinado al confort humano, el requisito más importante es el control de la temperatura, quedado relegado a segundo término el control de la humedad. Todos los sistemas poseen suficiente facilidad para realizar esta regulación de la temperatura en cuanto a la humedad, la capacidad de

tolerancia del cuerpo humano es bastante amplia. Ver Gráfica 3².

Gráfica 3.
Temperatura efectiva.

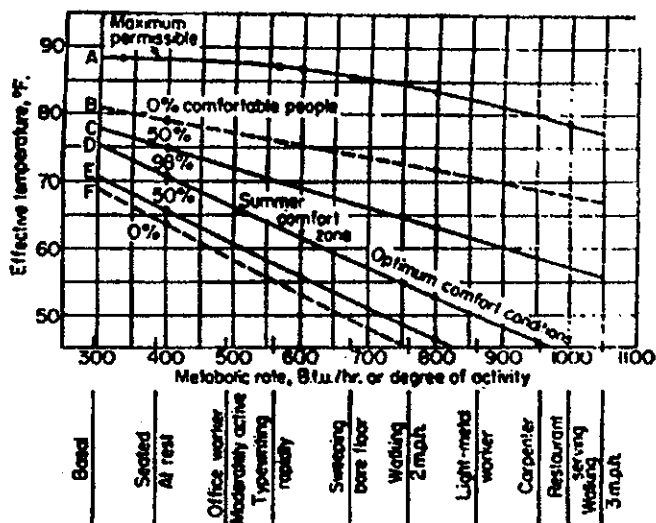


Para el control en ambientes industriales se tiene la guía de la Gráfica 4³. Basada en una elevación máxima permisible de 1.5 °C en la temperatura del cuerpo, después de la exposición de un sujeto por 3 horas a una E.T. dada. Como se puede ver en la gráfica, los niveles máximos permitidos están arriba de la zona de confort. A pesar de que estas temperaturas no son confortables, no son perjudiciales.

² Perry, John H., *Manual del ingeniero químico*, (4. Edición, versión en inglés; Nueva York: Editorial McGraw-Hill, 1963), p. 15-24.

³ *Ibid.*, p. 15-25.

Gráfica 4.
Temperaturas permisibles según el tipo de actividad.



En la Tabla 2, se presentan los datos de temperatura y humedad normal registrados por el INSIVUMEH, basado en el promedio de los últimos diez años, aquí se aprecia que la temperatura promedio en el valle de Guatemala es de 25 °C y una humedad relativa promedio del 78%, esto significa, como se puede observar en la Gráfica 3, corresponde a un 50% de sujetos que se sienten confortables a esta temperatura y humedad, lo que implica una situación climática muy agradable. En las industrias fabricantes de productos de cuidado personal no existe una restricción en cuanto al rango de temperaturas y humedad que se dan en la ciudad capital, lo cual es una ventaja económica, ya que evita la instalación de equipos de refrigeración o calefacción adicionales.

Tabla 2.
Temperaturas y humedad relativa promedio en el valle de Guatemala (promedio de 1986 a 1996)

Mes	Temperatura °C			Humedad Relativa %
	máx	mín	prom.	
Enero	23.3	9.8	16.55	74
Febrero	24.7	12.2	18.45	72
Marzo	26.3	13.3	19.8	71
Abril	27.1	14.7	20.9	73
Mayo	26.8	15.6	21.2	77
Junio	24.6	15.7	20.15	84
Julio	23.8	15.3	19.55	81
Agosto	24.6	15.2	19.9	81

Tabla 2 (continuación)

Septiembre	24.1	15.3	19.7	85
Octubre	23.5	11.8	17.65	83
Noviembre	22.6	13.2	17.9	79
Diciembre	22.9	12.3	17.6	76
Promedio	24.52	13.70	19.11	78

Limpieza del aire

Como se mencionó anteriormente el aire en las industrias puede estar altamente contaminado, debido al alarmante aumento de los contaminantes en la atmósfera. Puede haber muchas variantes en cuanto a la limpieza del aire, que dependan de la situación de la instalación, de la molestia que pueda producir al usuario y de los gastos que pueda exigir esta limpieza. Para la filtración del aire en la industria se recomienda utilizar un prefiltro del 25% y un filtro del 85 al 95% de eficiencia ASHRAE. El prefiltro es un medio para alargar la vida del filtro final.

Renovación del aire

Debido a que generalmente los recintos industriales son poco ventilados es necesario cambiar el volumen del aire al menos nueve veces por hora, para que haya comodidad, pero cuando se habla de una estricta limpieza del aire estos cambios deben de ser de por lo menos 12 cambios por hora. Para sistemas Clase 100 000, se debe inyectar 20 veces el volumen de la habitación por hora.

Acústica

Parte del trabajo que realiza una maquinaria de acondicionamiento se convierte en energía sonora. Hay que relacionar la situación de los elementos del sistema en relación con los locales que rodean al mismo, la masa del edificio, el espacio acondicionado, y la situación del edificio, y con estos datos establecer el nivel de ruido deseado en el espacio acondicionado. En general en las fábricas se tiene un alto nivel de ruido, debido a compresores y motores, lo que hace el control del ruido en el equipo de ventilación menos estricto.

1.4 El filtrado del aire para uso industrial

1.4.1 Características de las partículas contaminantes

Hablar de niveles de contaminación de 170.000.000 de partículas por metro cúbico

(5.000.000 de partículas por pie cúbico) en área de ciudades industriales no es inusual. El número de partículas portadoras de microorganismos puede llegar a niveles de 35000 por metro cúbico (1.000 por pie cúbico). Los niveles anteriores pueden aumentar en ambientes cerrados con personas. La contaminación del aire varía de lugar en lugar, pero varía de forma alarmante alrededor del mundo debido a varios factores como el aumento de los transportes con motores de combustión interna, la mayor cantidad de industrias y las instalaciones de combustión.

Siempre habrá partículas suspendidas en el aire debido a la multiplicidad de fuentes de contaminación. Las partículas de aire tienden a desplazarse según niveles de energía. Las partículas se desplazarán según gradientes causadas por el campo gravitatorio o por temperatura. Este desplazamiento del aire afecta a las partículas suspendidas en el aire, que se mueven en direcciones diversas resultando en depósitos sobre las superficies. Cuando el flujo de aire es forzado a un cambio de dirección las partículas de aire siguen su trayectoria original hasta que impacten sobre la superficie del obstáculo. Las partículas menores se desplazarán alrededor del obstáculo. En función de la forma del obstáculo pueden colectarse partículas en la parte posterior del mismo, como resultado de la formación de turbulencias y remolinos.

En el aire se pueden encontrar varios tipos de contaminantes, estos se dividen como:

Partículas:

Estas pueden ser sólidas o líquidas. Las partículas mayores de 50 micrones se separan fácilmente del aire y pueden causar dos problemas: a) deposición y b) adhesión. La deposición afecta directamente al producto, mientras que la adhesión se percibe en las vías respiratorias de los ocupantes. La mayor parte del daño ocasionado por partículas en las vías respiratorias es causado por partículas desde 0.5 a 2.0 micrones, desafortunadamente los tamaños más difíciles de filtrar del aire.

Aerosoles:

Estas son una clase especial de partículas. Consisten en suspensiones coloidales mayores que el tamaño molecular, pero no lo suficiente como para depositarse por medio de la gravedad. Su tamaño oscila entre 0.01 a 50 micrones. Partículas mayores de 50 micrones se separan fácilmente de la atmósfera por la gravedad. Los aerosoles tienden a mantenerse suspendidos en el aire. Ejemplos de aerosoles son el humo, la niebla, el polvo, brisas y vapores. Los aerosoles pueden surgir de tres formas: a) emitidos como aerosoles, b) del rompimiento de partículas mayores y c) formados de la condensación de nucleación.

Gases:

Los gases pueden causar olores, reaccionar químicamente con otros contaminantes para formar contaminantes secundarios que pueden ser gases o aerosoles, irritar químicamente a cualquier ser vivo y reaccionar con cualquier objeto que se encuentre en las instalaciones.

1.4.2 Tipos de equipos de filtración y sus características

En el caso de una planta de cosméticos, debe de existir confort humano en el sistema de ventilación, pero lo más importante es la limpieza del aire y esto afectará decisivamente en el factor económico del diseño. las normas requeridas por las Buenas Prácticas de Manufactura y del Departamento de Salud Pública. Es importante entonces tratar el filtrado del aire y sus aplicaciones en ventilación y aire acondicionado.

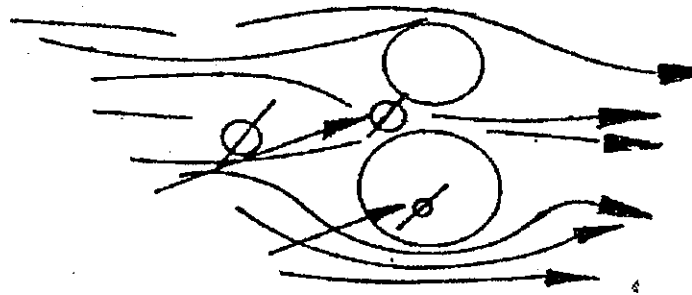
Teoría del filtrado de aire

Los filtros están constituidos por medios fibrosos o porosos con diferentes configuraciones. Características importante de ellos son la eficiencia de retención, la caída de presión, o diferencia de presión estática para un determinado caudal y la capacidad de almacenamiento de polvo, que es la cantidad de polvo retenido en peso, cuando se llega al punto de saturación y recambio de filtro.

Los mecanismos básicos que influyen en el comportamiento de los filtros son los de intercepción por efecto tamiz o intercepción directa, inercial, de difusión browniana, electrostáticos y térmicos.

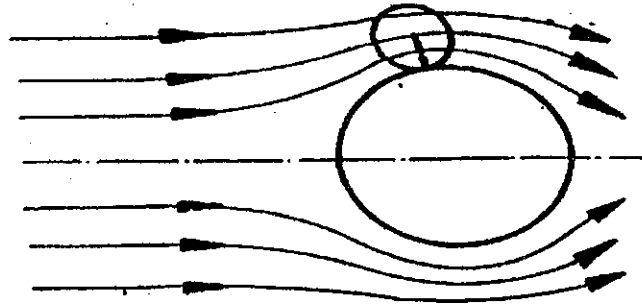
La eliminación de partículas por efecto tamiz, es cuando las partículas son de mayor tamaño que la separación entre fibras consecutivas, este tipo de filtrado no es de mayor importancia ya que generalmente la separación entre fibras consecutivas es muy superior que el tamaño de las partículas. De no ser este el caso, se produciría una saturación muy rápida de los filtros y además la caída de presión del aire a través del medio sería muy alta. Figura 1.

Figura 1.
Eliminación de partículas por efecto tamiz.



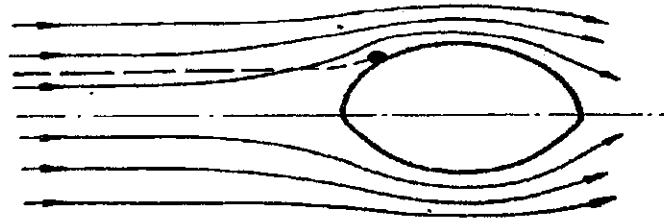
El mecanismo de intercepción directa se produce cuando la vena fluida sobre la que se desplaza la partícula pasa a un radio menor quedando la partícula retenida. Figura 2.

Figura 2.
Eliminación de partículas por mecanismo de intercepción inercial.



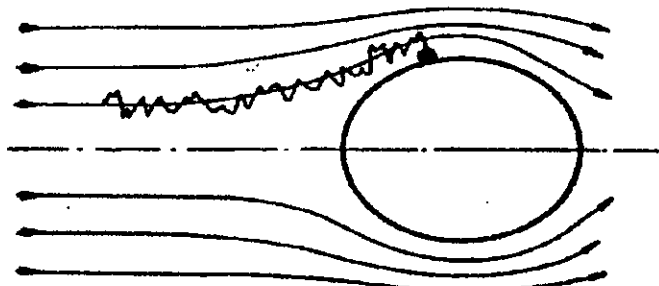
El mecanismo de separación inercial prevalece en las partículas de mayor masa y aumenta con la velocidad de desplazamiento. Las partículas se desprenden de las venas fluidas al cambiar la trayectoria de éstas hasta que impactan sobre las venas hasta quedando finalmente retenidas en las fibras del filtro. Figura 3.

Figura 3.
Eliminación de partículas por separación inercial.



El efecto de difusión browniana afecta a las partículas submicrónicas y es mayor cuanto menor es el tamaño de las mismas. Al viajar por la vena fluida, las partículas por impactos de otras partículas o desvíos en su trayectoria son atraídas hacia la superficie de las fibras, quedando retenidas por fuerzas de atracción o de Van der Waals. Figura 4.

Figura 4.
Eliminación de partículas por difusión browniana.



Los efectos electrostáticos y térmicos son muy importantes en la generalidad de los casos. El efecto electrostático se produce cuando el medio filtrante tiene una carga de distinto signo a la de las partículas o bien induce cargas sobre las mismas. El efecto térmico se produce cuando el medio filtrante tiene temperatura menor que el aire por lo que las partículas emigran desde zonas de mayor temperatura a las zonas frías.

Evidentemente, el mecanismo de separación inercial es típico de los filtros de separación de partículas groseras siendo el de difusión browniana típico de los de alta eficiencia y de los ultra filtros.

Eficiencia filtrante

Las concentraciones de partículas pueden medirse en función del recuento de las mismas, de su peso, o del efecto de mancha que producen. En base a estas tres maneras de medir concentraciones de partículas en el aire se han generado normas para la determinación de la eficiencia de los filtros. Los ensayos por peso y por efecto de mancha se encuentran normados según el ASHRAE Std. y el de recuento de partículas por aerosoles de D.O.P. está normalizado según el Military Std. 282 de USA. Hay que hacer hincapié que en el aire se encuentran partículas de varios tamaños y la menor proporción la conforman las partículas grandes, esto quiere decir que un filtro que tiene una alta eficiencia en peso, no puede considerarse altamente eficiente en número de partículas, ya que puede no atrapar partículas más pequeñas, que son la mayoría de las partículas que se encuentran en el aire.

Caídas de presión en los filtros

En el proyecto de una instalación y en la selección de filtros se debe considerar la caída de presión de los mismos, o sea la diferencia de presión estática en la instalación antes y después del filtro. Generalmente la caída de presión se mide en mm de columna de agua, usándose en la mayoría de los casos manómetros de columna inclinada donde la diferencia de nivel de líquido coloreado indica la diferencia de presión del filtro. La caída de presión en los filtros es aproximadamente un polinomio del siguiente tipo

$$\Delta p = Av + Bv^2$$

donde A y B son constantes de régimen laminar y turbulento respectivamente y v es la velocidad de paso a través del medio filtrante. La curva correspondiente es parabólica. En el caso de que el aire se desplace en régimen laminar la relación Δp será lineal (este caso sólo se da en los filtros HEPA). Como en la generalidad de los casos el régimen es turbulento siendo la relación Δp -velocidad cuadrática, es importante considerar que duplicar la sección filtrante implica disminuir a la cuarta parte el Δp . Dada la variación de la caída de la presión en función del tiempo de utilización, es importante seleccionar ventiladores cuyas curvas permitan mantener bajas variaciones en los caudales cuando aumenta la contrapresión.

Capacidad de sustentación de polvo

Se llama capacidad de sustentación de polvo a la carga en peso del mismo en el filtro cuando se llega a su punto de saturación, y esté se considera el punto en que la caída de presión es tal que el caudal del aire se considera insuficiente para el sistema. De ahí la importancia de dimensionar filtros y ventiladores para que la caída de presión inicial del sistema a filtro limpio sea relativamente baja y el aumento de caída de presión en función del tiempo sea gradual permitiendo una vida útil prolongada.

1.4.3 Filtros de aire aplicados en ventilación y aire acondicionado. Sus aplicaciones y características físicas.

Diferentes campos de aplicación requieren distintos grados de eficiencia en los filtros de aire. En ventilación industrial común podría ser el requerimiento eliminar solamente las partículas groseras que puedan dañar elementos mecánicos. En aire acondicionado de confort interesará evitar el efecto de mancha producido por las partículas de aire en las superficies. En las aplicaciones como productos farmacéuticos y cosméticos, ventilación de hospitales y en industrias de la alimentación y en la microelectrónica, interesará eliminar partículas finísimas, portadores de microorganismos en muchos casos) donde no interesa su masa sino el efecto que producen sobre el producto. Se presenta entonces una clasificación de especial de filtros y sus campos de aplicación.

Clasificación de filtros

- a) Filtros con medio filtrante fijo: viscosos, de medio filtrante seco y extendido.
- b) Filtros con renovación automática de medio filtrante
- c) Filtros electrostáticos

Filtros con medio filtrante fijo y viscoso

Son filtros donde la presión aumenta permanentemente en función de la carga del polvo. Estos filtros trabajan fundamentalmente por el mecanismo de separación inercial. Están constituidos por paneles planos de medios metálicos como alambre tejido, metal desplegado o lana de vidrio impregnados con adhesivos. El agente de extrema importancia es el adhesivo, que de no ser aplicado permitiría la migración de las partículas a través del medio. La velocidad de pasaje del aire es 80 a 200m/min. Su caída de presión a filtro limpio es del orden de los 7 a 10 mm de columna de aire. La eficiencia de estos filtros es muy baja con aire atmosférico (ASHRAE 8-12%).

Filtros estáticos con medio filtrante seco y extendido

Sus medios filtrantes son más finos que los de los filtros con adhesivo. Dado que la eficiencia del medio es función de la poca separación entre las fibras que los constituyen y de la alta superficie específica de las mismas, a igualdad de peso específico de medio filtrante,

será éste más eficiente cuanto más finas sean las fibras que lo constituye. Pero con fibras de menor diámetro y menor separación entre sí, aumenta la caída de presión. Por ello para evitar la caída de flujo se debe de trabajar superficies extendidas por medio de pliegues. Cuanto más fino es el filtro mayor será la superficie de su medio para con ello lograr una velocidad de paso de aire menor, y bajar por consiguiente la caída de presión. Los medio filtrantes son de fibras no tejidas de lint de algodón y de poliéster. Ya hace años se han desarrollado medios filtrantes ultrafinos con microfibras de vidrio con los que se obtienen eficiencias ASHRAE hasta de 95%.

Filtros Hepa

Es el más eficiente de todos los filtros y es también de medio seco y extendido. Son vulgarmente llamados absolutos. Se definen como filtros cuya eficiencia mínima es del 99.97% en DOP monodisperso de 0.3 micrones que es la partícula más difícil de filtrar. Su medio filtrante es un papel de microfibras de vidrio unidas entre sí por resina, plisado de manera tal que su superficie es de hasta 50 veces el área de sección de entrada de aire.

Filtros de renovación automática de medio filtrante

Este filtro es de viejo diseño y se proyectó para trabajar con grandes caudales de aire en instalaciones donde la eficiencia de filtración no es importante y no se dispone de personal para mantenimiento. Tienen una eficiencia ASHRAE 8-12% en la mayoría de los casos. Tienen como medio filtrante un bobina de lana de vidrio grosera, que se desenrolla automáticamente por medio de un mecanismo de preóstatos e interruptor o por medio de un controlador de tiempo. Cuando la caída de presión llega a un cierto punto el preóstatos acciona el interruptor y hace que se desenrolle parte del medio limpio bajándose la caída de presión.

Filtros Electroestáticos

Iones positivos generados por un ionizador de alto potencial se adhieren a las partículas llevadas por el caudal de aire. Estas partículas pasan por un sistema de placas cargadas con diferencia de potencial muy alto y son atraídas por éstas, quedando retenidas sobre la superficie de las mismas. En estos filtros son usados 12000 voltios para crear un campo ionizante y 6000 voltios es la diferencia de potencial entre las placas. Tienen la ventaja de tener una baja caída de presión, así como una alta eficiencia en partículas finas, pero su desventaja es el alto costo inicial y la necesidad de un mantenimiento adecuado. Necesitan además de prefiltración para evitar la penetración de material grueso que pueda dañarlos.

Selección de los filtros

En la selección de filtros el proyectista debe de contar con la siguiente información: caudales, caídas de presión admisibles, y nivel de limpieza requerido y si es posible idea sobre la contaminación ambiental del lugar. Se debe de contar con información precisa sobre

eficiencia según un ensayo normalizado y caída de presión a filtro limpio en función del caudal. La utilización de filtros es función de la economía que significa evitar daños, retrabajos, servicios, rechazos de producción por control de calidad, deterioro de superficie, pintura, etc.

Una de las aplicaciones más importantes del filtrado de aire acondicionado es la aplicación en plantas de cosméticos, donde la contaminación por partículas de sustancias químicas contaminantes y microorganismos puede ser demasiado alta por los tipos de operaciones que se ejecutan y la cantidad de personas circulando. El proyecto de filtración de aire es sumamente importante, no solo por cuestiones de necesidades de confort, sino porque deben de ser previstos sistemas de filtrado eficientes que permitan la retención de contaminantes químicos y biológicos. Por lo tanto es recomendable para instalaciones de aire acondicionado la utilización de prefiltros y filtros secundarios con una eficiencia ASHRAE del orden del 80% al 95% y para áreas especiales filtros 95% DOP o HEPA. En estas situaciones lo que se recomienda son 12 renovaciones como mínimo con 100% de aire exterior.

1.5 LOS SISTEMAS DE MANEJO DE AIRE Y SUS COMPONENTES

Para conocer a fondo un sistema de filtración de aire es necesario conocer además de los filtros, otros componentes como lo son:

1.5.1 Inyectores y extractores

Comúnmente denominados ventiladores se clasifican en dos grupos generales:

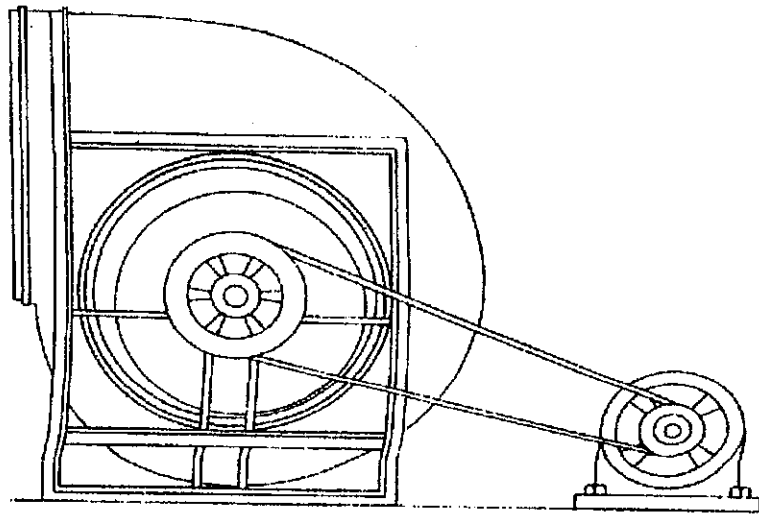
Centrífugos

La corriente de aire se establece radialmente a través del rodete. A su vez los ventiladores centrífugos se clasifican por la forma de los alabes o aletas, pudiendo ser éstas curvadas hacia delante, curvadas hacia atrás o radiales. (Fig. 5)

Axiales

La corriente se establece axialmente a través del rodete. A su vez los de tipo axial se clasifican en ventiladores de hélice, tubo axial y con aletas y directrices. (Fig. 6)

Figura 5. Ventilador centrífugo.

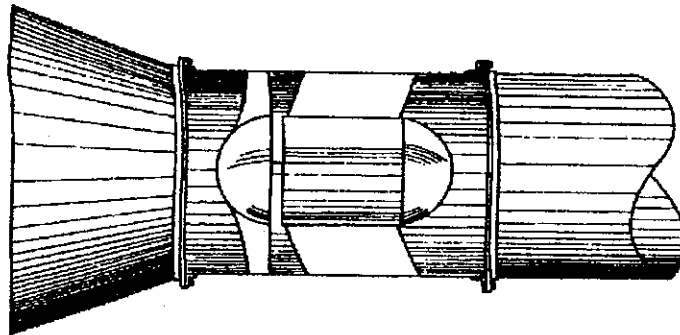


Aplicaciones de inyectores y extractores

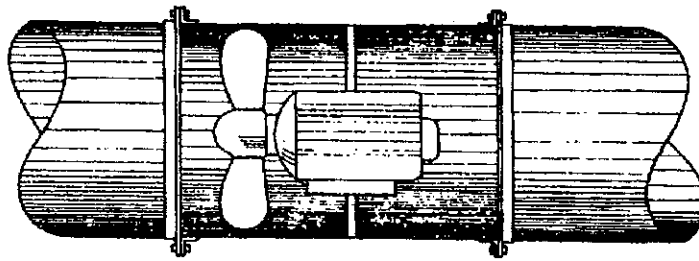
Cuando es necesario el empleo de una conducción (tubería), en una instalación de ventilación de aire se debe emplear un ventilador axial de tubo o de aletas directrices, o bien uno centrífugo, pero nunca uno de hélice. Cuando no existe conducción y la resistencia a la corriente de aire es pequeña, se puede emplear un ventilador axial de hélice. Sin embargo, en instalaciones sin conducto también suelen utilizarse ventiladores centrífugos en equipos compactos. El ventilador centrífugo se usa en la mayoría de aplicaciones de aire acondicionado en virtud de su amplio margen de funcionamiento, alto rendimiento y presiones relativamente elevadas. Además la boca de entrada de un ventilador centrífugo se puede conectar fácilmente a un aparato de gran sección transversal mientras la boca de descarga se conecta fácilmente a conductos pequeños.

Los ventiladores axiales son excelentes para aplicaciones de gran volumen de aire en que los niveles de ruido son de importancia secundaria, por lo que se les suele utilizar en aplicaciones industriales de acondicionamiento de aire y de ventilación. Estos ventiladores de alta velocidad requieren de aletas directrices para obtener buenos rendimientos cuando han de funcionar venciendo presiones consideradas normales para esta clase de ventiladores, aunque también puede utilizarse sin dichas aletas directrices. Todos los tipos de ventiladores pueden utilizarse como extractores.

Figura 6.
Ventiladores axiales



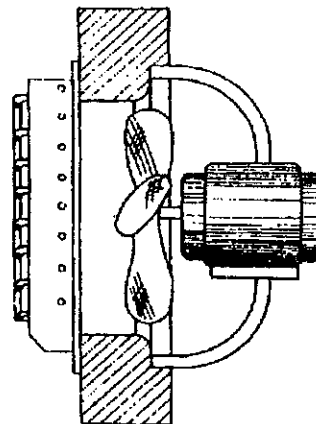
Ventilador axial con aletas directrices
a Transmisión por correa o por acoplamiento directo



Ventilador de tubo axial
b Transmisión por correa o por acoplamiento directo

c

Ventilador helicoidal
Transmisión por correa o por acoplamiento directo



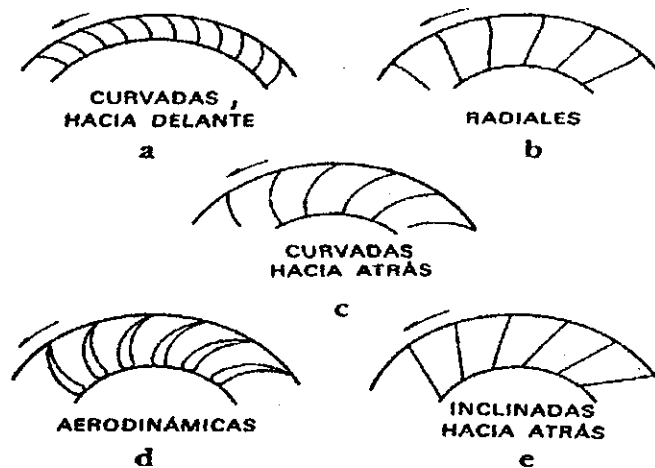
Ventiladores axiales

Ventiladores Centrífugos

Se clasifican según las curvaturas de sus alabes o aletas: aleta curvada hacia adelante según el sentido de rotación (Fig. 7a), aleta radial (sin curvatura) (Fig. 7b), y la curvada hacia atrás, o sea, inclinada en sentido contrario al de rotación (Fig. 7c). En la tabla 3 se muestran las características de los ventiladores centrífugos:

Figura 7.

Tipo de aletas de ventilador centrífugos.



Tipos de aletas

Ventiladores Axiales

Se dividen en tres tipos: ventiladores de tubo axial, con aletas directrices y ventiladores helicoidales. El ventilador axial de tubo es un ventilador axial normal con alojamiento tubular, pero sin aletas de guía de entrada y de salida. La forma de la aleta puede ser plana o curvada, y de simple o de doble espesor. El ventilador axial se ha asociado particularmente con el tipo de aleta axial formando aletas de guía o directrices antes y después de las aletas que forman el ventilador.

Generalidades

Los ventiladores centrífugos son los que se consideran de mejor funcionamiento en la mayoría de aplicaciones de aire acondicionado y de estos los de aletas inclinadas hacia atrás son los que se consideran los más eficientes. La AMCA ha establecido normas de construcción basadas en las presiones que los ventiladores deben desarrollar, clasificando

los ventiladores en cuatro clases. (Tabla 4.)

Tabla 3.

Características de los ventiladores centrífugos.

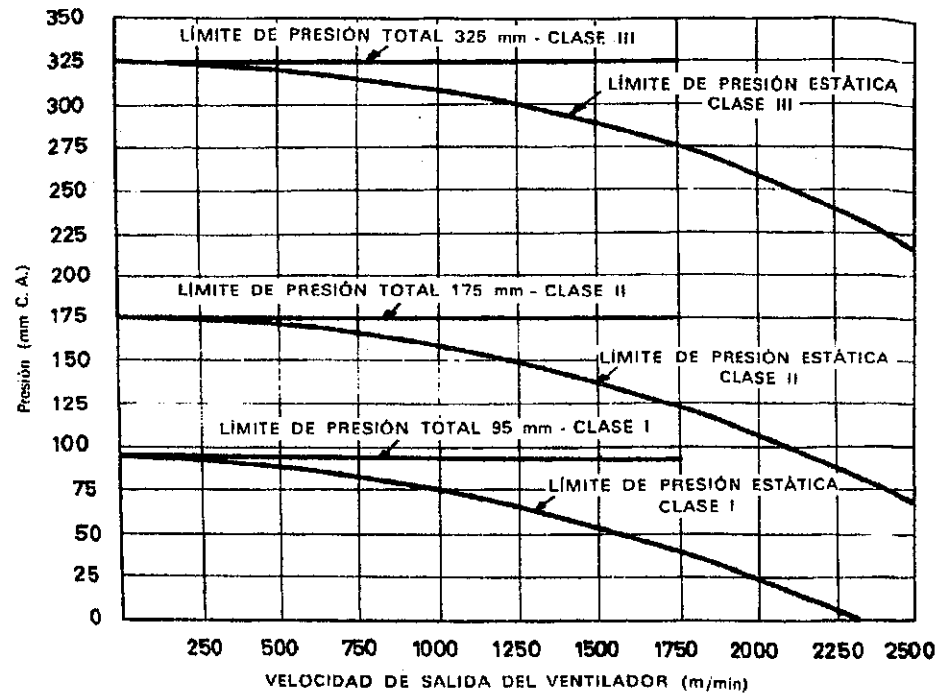
TIPO DE VENTILADOR	VENTAJAS
Curvado hacia atrás ventilador y Radial	<ol style="list-style-type: none"> 1. Funciona a velocidad relativamente baja en comparación con los otros tipos, para un mismo caudal. 2. Ventilador más pequeño para un servicio dado, excelente para unidades compactas de serpentín. 1. Se limpia por si mismo. 2. Puede ser proyectado para que tenga elevada resistencia mecánica estructural a fin de obtener altas velocidades y presiones.
Curvado hacia atrás	<ol style="list-style-type: none"> 1. De más rendimiento. 2. No se sobrecarga. La potencia del motor puede ser calculada para que cubra el margen completo de funcionamiento desde 0 hasta un caudal de aire del 100% con una sola velocidad. 3. La curva de presión es generalmente más abrupta que la de un ventilador curvado hacia adelante. Esto origina menor variación del volumen de aire para cualquier presión en el sistema con porcentajes compatibles de descarga libre.

Tabla 4.

Clases de ventiladores :

CLASES	MÁXIMA PRESIÓN TOTAL
I	<i>promedio de 95 mm c.a.</i>
II	<i>promedio de 175 mm c.a.</i>
III	<i>promedio de 325 mm c.a.</i>
IV	<i>mas de 325 mm c.a..</i>

Gráfica 5.
Clases de ventiladores.



La clase de ventilador más conveniente para un caso particular puede determinarse según la Gráfica 5 si se conocen la velocidad de salida y la presión estática. Este gráfico está basado en aire normal de 760 mm de Hg de presión y 21 °C.

La transmisión del motor puede ser directa o por faja o correa. Con excepción de unidades compactas de ventilador y motor, la transmisión directa se usa pocas veces a causa de la mayor flexibilidad que se obtiene mediante la transmisión por correa.

1.5.2 Ductos

Se clasifican atendiendo a la velocidad y presión del aire dentro del conducto.

Velocidad

Existen dos tipos de sistemas de transmisión de aire empleados en la distribución del aire. Los de pequeña velocidad, o sistemas convencionales, y los de gran velocidad. La línea divisoria entre estos dos sistemas es imprecisa, pero para el estudio se establece la siguiente norma a modo de orientación:

Inyección de aire para locales industriales

- a) Baja velocidad: hasta 12 m/s. Normalmente entre 6 y 12 m/s.
- b) Alta velocidad: de 12 a 15 m/s

Retorno de aire para locales industriales

Normalmente estos se proyectan como de baja velocidad. Entre 10 y 12 m/s.

Presión

Los sistemas de ventilación de aire se dividen en tres categorías en cuanto a la presión de aire en el conducto: Baja, media y de alta presión. Esta clasificación corresponde a la misma que utilizan los ventiladores:

- 1. Baja presión, o Clase I - hasta 90 mm c.a.
- 2. Media presión, o Clase II - desde 90 hasta 180 mm c.a.
- 3. Alta presión, o Clase III - desde 180 hasta 300 mm c.a.

Espacio disponible y aspecto decorativo

Tanto el espacio disponible para los conductos de impulsión y de retorno, como el aspecto decorativo, presentan con frecuencia limitaciones que obligan a adoptar un determinado sistema en los conductos. La colocación y el aspecto exterior de los ductos en las instalaciones industriales suele tener importancia secundaria. En tales casos el sistema más económico será el de conductos rectangulares a pequeña velocidad.

Factores económicos que influyen en sistema de conductos

El equilibrio entre los precios de costo y los de explotación es un aspecto que no debe de perderse de vista, tanto como el espacio disponible, para establecer un buen sistema de distribución. Como cada instalación es distinta a las demás, solo pueden darse reglas generales para seleccionar el sistema más adecuado. Los factores que influyen en el precio de compra son:

- 1. Relación entre dimensiones del conducto.
- 2. Pérdidas de carga en el conducto.
- 3. Clase de acoplamientos.

Relación de forma

Se denomina así a la relación entre las dimensiones mayor y menor de la sección de un conducto rectangular. Esta relación es un factor importante a tener en cuenta en el proyecto inicial. Aumentando esta relación aumenta no solamente el precio de costo sino también los gastos de operación. El precio de instalación de los ductos depende de la

cantidad de material que se utilice y de la dificultad en la fabricación y colocación del conducto. Según la relación de forma los ductos se dividen en clases, como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5.
Clases de conductos.

Clase del conducto	Dimensión mayor (cm)	Semiperímetro (cm)
1	15 - 45	25 - 60
2	30 - 60	60 - 120
3	65 - 100	80 - 120
4	60 - 225	120 - 240
5	120 - 230	240 - 250
6	230 - 270	240 - 610

La clase del conducto es una representación numérica de su precio de costo. Cuánto mayor es la clase, más caro es el conducto. Si la clase aumenta pero la sección y la capacidad del conducto sigue siendo la misma, esto puede implicar un aumento en:

- Semiperímetro y superficie de conductos
- Peso del material.
- Espesor del material

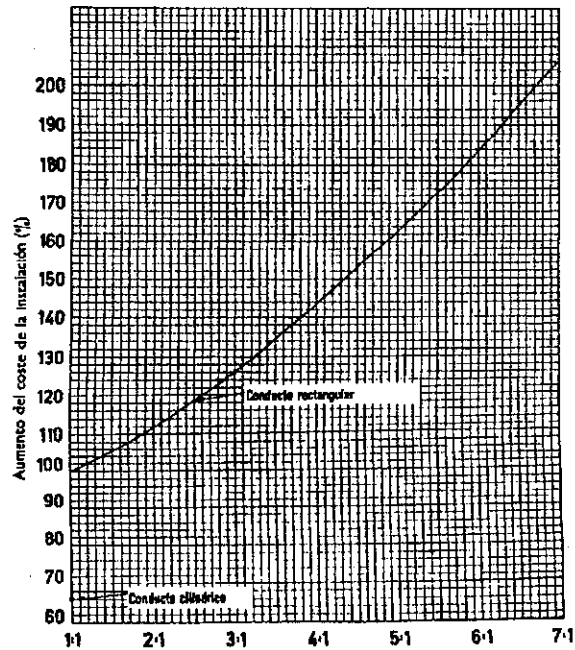
Por lo tanto debe de proyectarse el sistema de conductos de modo que tenga la clase más baja posible y la relación de forma más pequeña. La Gráfica 6⁴ indica el aumento de los costes de instalación al variar la relación de forma del conducto rectangular.

Coefficiente de rozamiento

Cuando las dimensiones de los conductos rectangulares no han sido determinados según la tabla 6 (ver sección de tablas y gráficos), los costos de explotación de un sistema de distribución de aire pueden ser adversamente afectados. Esta tabla se usa para obtener las dimensiones de conductos rectangulares que tienen la misma capacidad y coeficiente de rozamiento que el conducto circular equivalente.

⁴ Carrier Air Conditioning Company, *Manual del aire acondicionado*, (España: Editorial Marcombo, 1970), p. 2-23

Gráfica 6.
Costos de instalación vrs relación de forma



Tipos de acoplamientos

Los tipos de acoplamiento pueden ser de Clase A o de Clase B, como indica la tabla 7. Cuando se desea un diseño de costo bajo se recomiendan los de Clase A, puesto que los de Clase B exigen un tiempo de fabricación que es aproximadamente 2.5 veces de los de Clase B.

Consideraciones sobre el montaje de ductos

En el tendido de un sistema de ductos han de tomarse en cuenta los siguientes factores: transformaciones, codos, acoplamientos, derivaciones y control de aire.

Transformaciones

Se emplean las transformaciones para unir dos conductos de diferente forma o sección recta. Cuando se modifica la forma del conducto rectangular, permaneciendo igual su sección recta, se recomienda una pendiente del 15% hasta un máximo del 25% (Fig.8). Los métodos normalmente empleados en el cálculo de conductos exigen una reducción después de cada boca de impulsión y de cada derivación. No obstante si esta derivación es menor de 5 cm, no es conveniente modificar la sección. Las dimensiones de los conductos deben variarse de 5 en 5 cm, preferentemente en una sola dimensión y el tamaño mínimo recomendable para conductos prefabricados es de 20 por 25 cm.

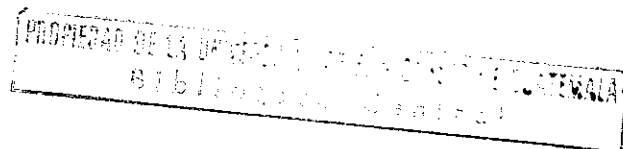


Tabla 7.
Clases de accesorios para conducto






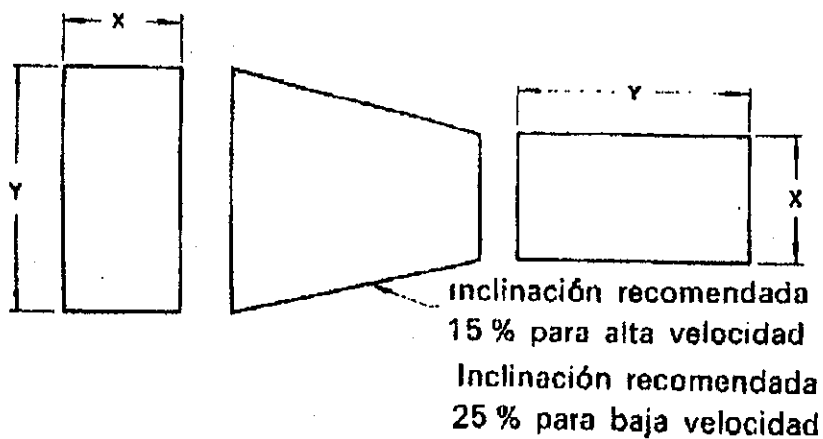
CLASES DE ACCESORIOS DE CONDUCTO	
CLASE A-ACCESORIOS SIN GUÍA	
Cualquier accesorio con dimensiones constantes de sección recte	
Cualquier accesorio con radio variable y anchura constante	
Accesorios con caras rectas y costuras	
CLASE B-TODOS LOS ACCESORIOS CON GUÍA	
Cualquier accesorio de radios concéntricos y anchura variable	
Cualquier accesorio con radios excéntricos y anchura variable	

Figura 8.
Transformación de conducto.



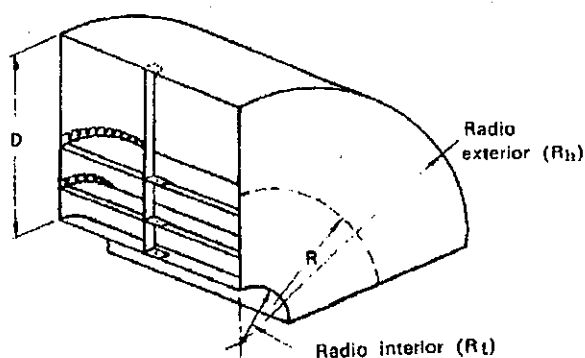
Codos

En los conductos rectangulares pueden establecerse distintos tipos de codos. Los más comunes son los siguientes:

- Codo ordinario
- Codo reducido con aletas directrices
- Codo recto con aletas

La lista anterior de codos se ha anotado en orden de su costo. Los codos ordinarios se construyen con el radio menor igual a los $\frac{3}{4}$ de la dimensión del conducto en la dirección del giro (Fig. 9). Un codo con este radio menor tiene una relación de 1.25. Esta relación se considera óptima. El codo reducido con aletas directrices es el que se ve en la figura 10. Puede tener 1, 2 o 3 aletas, que se extienden por toda la curvatura del codo.

Figura 9.
Codo ordinario.



Codo de radio corto con guías

Figura 10.
Codo con aletas directrices.

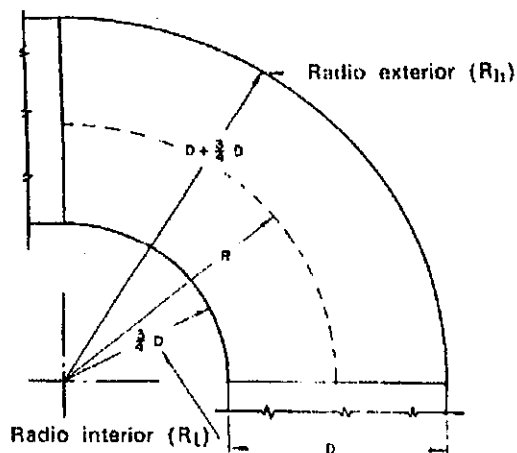
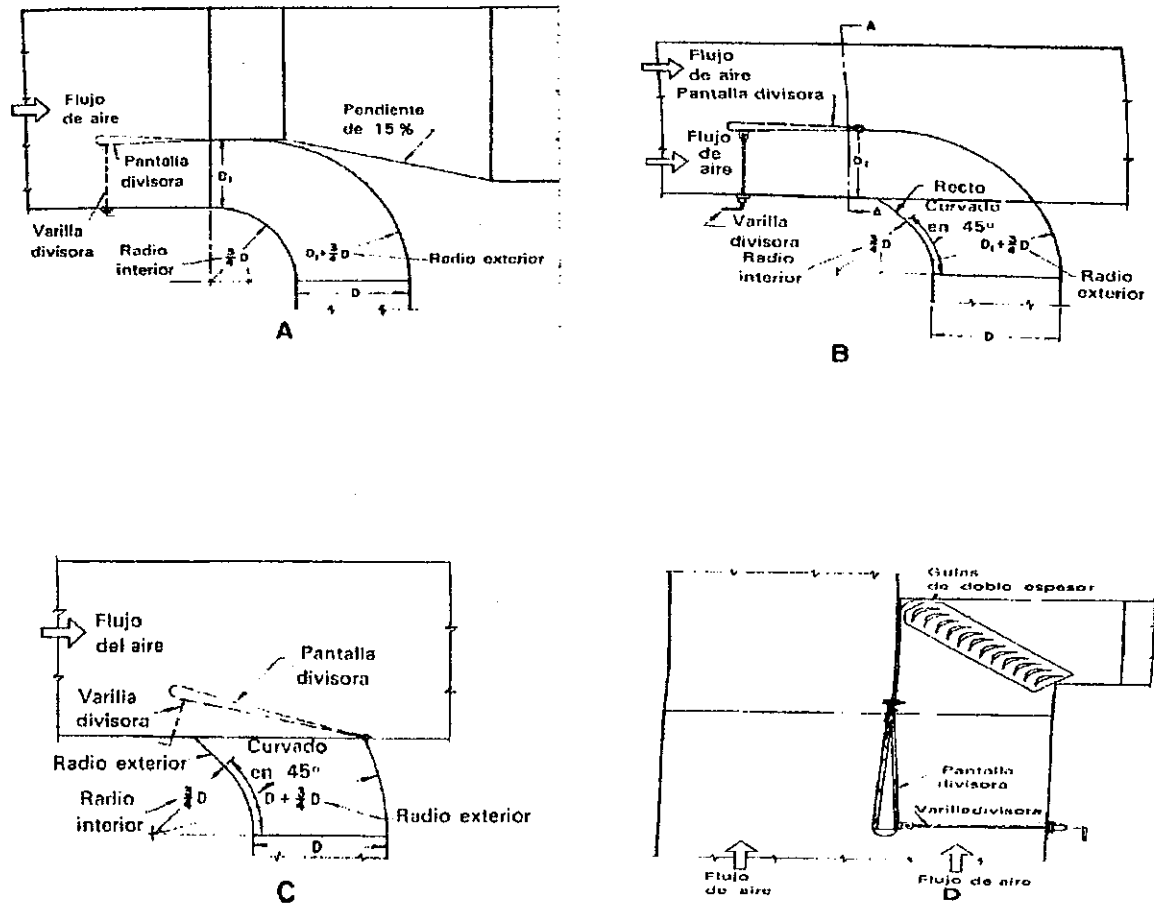


Figura 11.
Tipos de derivaciones.



Derivaciones

En los conductos rectangulares se pueden instalar varios tipos de derivaciones. A éstas se puede aplicar las mismas consideraciones hechas para los codos. La figura 11 presenta los tipos de derivaciones más comunes.

Regulación del aire

En los sistemas de distribución de baja velocidad, la corriente de aire hacia los ramales se regula por medio de una compuerta. La posición de la compuerta se establece por medio de una varilla. En la figura 6 se puede ver una compuerta para conducto rectangular.

A veces se montan compuertas giratorias en vez de compuertas divisoras como la de la figura 6. Estas últimas se utilizan con preferencia en los sistemas de baja velocidad, mientras que en las giratorias son más empleadas en los sistemas de alta velocidad.

Construcción de los conductos

El grueso de las láminas metálicas empleadas en los conductos y sus refuerzos, depende de las condiciones de presión existentes en el sistema. Asimismo, existen varios tipos de juntas y engrapados para formar los conductos, que igualmente dependen de las condiciones de presiones en el sistema. La tabla 9 indica la construcción recomendada para conductos rectangulares de acero o aluminio. El método de engrapado y reforzado, así como tipos de juntas y nervios se incluyen en la tabla.

Tabla 9.

Construcción recomendada para conductos de lámina metálica rectangulares.

Dimensión mayor del conducto (cm)	Grosor de la chapa (mm) acero y aluminio	CONSTRUCCIÓN RECOMENDADA juntas transversales, riostras y refuerzos
Hasta 60	0.8	Junta de brida con perfil angular o de soldadura a tope con cincho de angular espaciado 3.5 mm o menos. Los perfiles son de 40 x 40 x 4 mm.
De 60 a 120	1	Refuerzo con cincho de perfil angular de 40 x 40 x 4 mm espaciada 1 mm
de 120 a 150	1.5	
150 y más	1.5	Juntas de brida con perfil angular o soldadura de a tope con cincho de angular espaciado 3.5 mm o menos. Los perfiles son de 40 x 40 x 5 mm, espaciada un metro.

1.5.3 Rejillas

Para que una rejilla sea adecuada, ésta debe de tener una buena distribución de aire para esto es necesario que se tenga una correcta velocidad y dirección del aire. En la tabla 10 se puede observar las velocidades de aire adecuadas según el tipo de habitación:

Tabla 10.

Velocidad de salida de rejillas de inyección según el tipo de instalación.

Velocidad del aire (m/s)	Reacción	Aplicación Recomendada
0-0.08	Quejas por estancamiento de aire	Ninguna
0.12	Proyecto ideal favorable	Aplicaciones comerciales
0.12 - 0.25	Probablemente favorable pero la máxima velocidad admisible para personas sentadas es 0.25 m/s	Todas las aplicaciones comerciales
0.35	Desfavorable todos los papeles ligeros son insuflados	
0.40	Límite máximo para personas que se desplazan lentamente	Almacenes y comercios
0.40 - 1.50	Instalaciones de acondicionamiento de algunas fábricas favorable	Velocidades más altas para refrigeración de punto o localizada

Tipos de bocas de inyección

Existen los siguientes tipos de boquillas:

Rejillas con deflectores fijos

Las rejillas con deflectores fijos se emplean básicamente donde la dirección de la corriente no es muy importante o pueda ser predeterminada.

Rejillas con deflectores ajustables

Este tipo de rejillas es el más conveniente para su colocación en paredes laterales. Los deflectores ajustables corrigen rápidamente cualquier dificultad variando la posición de los deflectores.

Bocas de rendija

Este tipo de boca puede tener rendijas múltiples ampliamente separadas resultando una superficie libre de aproximadamente el 10%. El rendimiento es similar al de una rejilla con deflectores, a igualdad de caudal y de presión estática, pero la distancia de propulsión de aire es más corta.

Rejilla perforada

Posee poca deflexión, por lo tanto tiene poco efecto direccional. En consecuencia se usa como rejilla de extracción o de retorno, menos frecuentemente como rejilla de

impulsión.

Salidas de eyección

La boca de salida de eyección actúa a alta presión para obtener un arrastre de aire elevado y se aplica principalmente en talleres industriales y enfriamiento de un punto determinado, en el que es deseable un alto grado de flexibilidad en el funcionamiento del eyector.

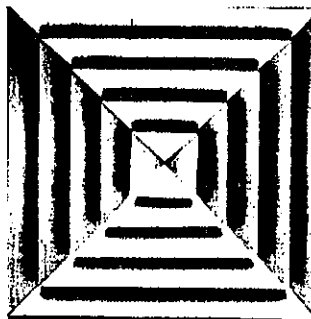
Bocas de salida en el techo

Difusor de techo

Este es el tipo de rejilla de eyección de aire recomendado para la distribución del aire en plantas de fabricación de productos de cuidado personal. Suministran el aire a mayor distancia al hacerlo en capas. Las condiciones de la instalación deben de ser buenas para asegurar una distribución uniforme. A menudo se combinan con los aparatos de alumbrado. Los difusores de techo pueden aplicarse a conductos expuestos, conductos forrados o bien conductos ocultos en el techo. En las instalaciones en las que se emplean difusores de techo se tienen menos quejas por corrientes de aire molestas que las bocas de salida en paredes laterales. En la figura 12 se muestra un difusor de techo.

Figura 12.

Difusor de cuatro vías



Techos y paneles perforados

La característica principal de este método de tratamiento del aire es que se puede introducir mayor volumen de aire por metro cuadrado de superficie de suelo, con el mínimo desplazamiento en la zona ocupada y con menos riesgo de corrientes de aire. Tienen la desventaja de que no pueden conducir el aire de forma que todas las zonas queden correctamente aireadas.

Ubicación de las bocas de salida

La arquitectura interior, construcción del edificio y las posibilidades de que incidan partículas de polvo, influyen necesariamente en el montaje y ubicación de la boca de

impulsión. Por muy conveniente que sea colocar una boca de impulsión en un punto dado, dichas condiciones pueden impedirlo. Aunque se consiga superar satisfactoriamente todas las limitaciones mencionadas, los principios que rigen la distribución del aire concernientes al flujo, caída de presión, capacidad y circulación del aire en el local crean otras limitaciones en el proyecto de un sistema aceptable de distribución de aire.

Para obtener las condiciones de limpieza del aire del ambiente a ventilar con el aire filtrado es necesario colocar la inyección cenitalmente y los retornos efectuarlos casi a nivel del piso. La ubicación relativa de ambos debe de ser tal que debe producir el mejor barrido posible del aire del local, extrayendo el máximo de contaminación posible. Las boquillas laterales no se recomiendan cerca del suelo, debido a la cantidad de obstáculos que podrían atravesarse en el camino. Además las bocas de salida colocadas cerca o en el suelo constituyen colectores de suciedad.

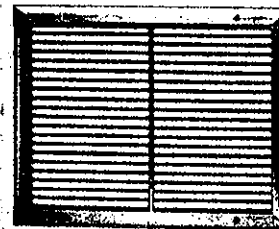
Rejillas de retorno

La velocidad a través de rejillas de retorno depende de:

- la pérdida de presión estática
- el efecto sobre los ocupantes y materiales del local

Aunque se empleen velocidades frontales relativamente altas en una rejilla de retorno, la velocidad de llegada disminuye considerablemente a unos centímetros delante de la rejilla. Por esto la colocación de una rejilla de retorno es mucho menos crítica que la de una boca de impulsión. También puede aspirarse caudales de aire relativamente grandes a través de una rejilla de retorno sin causar corrientes. En la figura 13 se muestra una rejilla de retorno.

Figura 13.
Rejilla de extracción.



model RAFB

Retornos de techo

Estos no son recomendables para aplicaciones de calefacción y refrigeración, y representan un menor barrido del aire interior en los sistemas de filtración de aire.

Retornos de pared

La mejor situación de un retorno de pared es cerca del suelo. Los retornos de pared cerca del techo ocasionan el mismo efecto que un retorno de techo.

Retorno de Suelo

Estos deben de evitarse, ya que son colectores de suciedad e imponen condiciones difíciles de trabajo a los filtros. Cuando se empleen retornos de suelo debe incorporarse una cámara de sedimentación de baja velocidad.

2. JUSTIFICACIONES

La globalización del mercado ha ido obligando a las empresas de Guatemala a hacer un cambio sustancial en la forma de elaboración de sus productos y la calidad ha venido a ser el punto más importante en estos cambios, las empresas nacionales tienen que producir más y mejor. Los productos nacionales tienen que cumplir con normas más estrictas e ir desarrollando una serie de innovaciones a nivel productivo y de diseño.

También hay que tomar en cuenta, la continua y creciente contaminación del ambiente, que obliga a tener cada vez más cuidado en la elaboración de cualquier tipo de productos .

Es por eso que se considera importante tratar el tema de un sistema de tratamiento de aire en la presente tesis, pues este es una exigencia que actualmente tienen que cumplir las empresas productoras de cosméticos, medicinas y alimentos. Una empresa que cumple este requisito, es una empresa que puede ofrecer mejor calidad en base a las normas con que realiza su producto y tener un mejor nivel de competitividad ante la inminente globalización.

3. OBJETIVOS

1. Ofrecer una guía práctica para el diseño de un sistema de tratamiento de aire para una planta de cosméticos en base a un caso real.
2. Información y normas para el conocimiento de sistemas de este tipo.

4. HIPÓTESIS

Es posible diseñar e instalar un sistema de ventilación y limpieza de aire en base a los principios detallados en esta tesis que sea adecuado para la fabricación de cosméticos.

5. ¿CUÁL ES EL PROBLEMA CUYA SOLUCIÓN

SE BUSCA CON ESTE TRABAJO?

Laboratorios Zelsa es una empresa dedicada a la fabricación de cuidado personal y productos de limpieza. Entre los productos de cuidado personal se encuentran productos de perfumería y productos cosméticos.

En Laboratorios Zelsa se ha reservado un área de cubículos de 13 ambientes más corredores con condiciones ambientales controladas para ser utilizados en la fabricación de productos cosméticos, como lo son cremas faciales, labiales, rubores y sombras (ver figura 14).

Como se puede ver en esta figura, las áreas de procesos están separadas, ya que en el lado izquierdo se encuentra los procesos de productos líquidos, como lo son cremas y lociones, que denominaremos área "1", y en lado derecho se encuentran los procesos de sólidos, como lo son talcos y compactos, que será el área "3". Estas áreas hay que agregar el área de corredores, que se le denominará área "2".

Esta área ha sido construida con el propósito de cumplir las prácticas de buena manufactura vigentes nacional e internacionalmente: las paredes, pisos y techos tienen una textura lisa; techos y paredes están pintados con pintura epóxica; las uniones de las paredes con pisos y techos son redondeados. Adicionalmente se tiene estructurado un plan de entrenamiento para limpieza e higiene del personal y utilización de uniformes limpios. En fin, se cuenta con áreas lavables y personal entrenado para la futura utilización de estas instalaciones. El único requisito pendiente para tener un área que cumpla todos los requisitos sanitarios es un sistema de limpieza de aire, que conjuntamente con los requisitos anteriores ponga a la disposición de la empresa un área de fabricación y envase primario de productos de cuidado personal que cumpla con las buenas prácticas de manufactura y por lo tanto cumpla las exigencias del Departamento de Control de Medicamentos y Alimentos de la Dirección General de Servicios de Salud.

La primer pregunta que debe realizarse es que es lo que desea la persona interesada en el sistema y cuanto esta dispuesta a gastar; si lo que se desea es únicamente aire limpio o además confort adicional para los operarios, y si el producto a procesar no demandará determinados rangos de humedad y temperatura. En este caso la solicitud de diseño va dirigida específicamente a limpiar el aire de partículas suspendidas, teniendo la certeza de que ninguno de los cosméticos que se trabajarán, necesitarán una temperatura y humedad controladas. Un sistema con control de humedad y temperatura elevaría el costo ya que se necesitaría un enfriador de aire y como se mencionó anteriormente el clima en la ciudad de Guatemala y la maquinaria utilizada en el laboratorio no producen una carga de calor significativa como para afectar en forma apreciable el desempeño de los empleados.

En base a lo anterior se procede a tomar en cuenta las normas existentes en el medio y normas internacionales para la limpieza del aire, la norma nos dice que para la sanitización de las áreas de uso cosmético, farmacéutico o alimenticio, se deben utilizar 12 cambios horarios en cada área de laboratorio con un filtro ASHRAE de por lo menos 85% de eficiencia. En general, se diseña a un régimen de 20 cambios por hora para tener un margen de seguridad por ineficiencia del sistema (saturación de filtros, caídas de presión no previstas en los ductos, etc.) Otra norma importante es que para el manejo de sólidos como el talco es necesario un diferencial de presión negativo es decir que la capacidad de extracción debe ser de un 20 a un 40% mayor que la de inyección y para los líquidos es necesario un diferencial de presión positiva, lo que equivale a que la capacidad de inyección sea de un 20 a un 40% mayor que la de extracción. El diferencial de presión negativo permite que las partículas de polvo no contaminen los pasillos y el resto de las áreas de fabricación. Además facilita recogerlas en los filtros de salida. El diferencial de presión positivo permite que la habitación esté presurizada y esto evite el ingreso de aire con mayor concentración de contaminantes de ambientes exteriores.

El edificio a ventilar cuenta con ventajas para la instalación, ya que cuenta con un techo de losa fundida, que proporciona un techo técnico, es decir una superficie adecuada para alojar, soportar el equipo y facilitar su mantenimiento. Se cuenta con espacio suficiente para el área que ocuparan los ventiladores, extractores y ductos. Los agujeros para las rejillas fueron considerados en la construcción, por lo que solo restaría agrandarlos o reducirlos para la instalación de las rejillas. Dado a que estas áreas se encuentran dentro de una nave de producción acondicionada para alojar equipos de alto consumo eléctrico, se cuenta con acceso fácil para cualquier instalación eléctrica ya sea trifásica o monofásica.

En base a lo anterior se procederá a diseñar un sistema, donde aprovechando la situación climática de Guatemala y las condiciones de humedad y temperatura de los productos cosméticos, logre un equilibrio entre costo del diseño y máximo rendimiento del sistema.

6. DISEÑO Y CALCULOS DEL SISTEMA

6.1. El primer paso es hacer un análisis de espacio para decidir cual será la colocación de los ductos, de los inyectores y de los extractores. Para empezar este análisis es necesario considerar de que los ductos no se crucen entre sí o lo hagan lo menos posible y de que debe haber suficiente espacio para la colocación de todos los elementos. A parte de las consideraciones de espacio hay que tomar en cuenta los requerimientos del diferencial de presión.

Hay que definir que áreas van a necesitar presión negativa o positiva. Las normas exigen que para manipulación de líquidos se utilice presión positiva y para sólidos, como talcos se utilice presión negativa. Una ventaja importante es que en la distribución de las operaciones asignadas a cada ambiente, los ambientes se dividieron en llenado de sólidos y líquidos, los ambientes se designan como sigue: uno de presión positiva, que es donde se producen productos líquidos o pastas, como lo son cremas, tónicos, perfumes y labiales.

El segundo que es el área de corredores donde se debe mantener un diferencial de presión positivo con las áreas exteriores y por último las áreas de sólidos, consistente en la preparación, llenado y ensamblado de talcos, sombras y rubores, las cuales deben contar con presión negativa. Entonces el sistema de filtración de aire queda dividido igualmente en tres áreas, el área "1" que será el de líquidos, el área "2" que será el área de corredores y el área "3" que define al área de sólidos. Como se puede apreciar en la figura 15. Cada ramal de inyección se designará como I1, I2 y I3, según sea el área a que pertenezca, y como E1, E2 y E3 las extracciones de aire, quedando separados los ambientes de la siguiente forma en la tabla 11:

Tabla 11. Ambientes existentes y sus usos.

Ambiente	Uso del ambiente	Diferencial de presión Δp
Sistema 1		
1	Bodega de graneles de labiales y cremas	>0
2	Moldeado y ensamble de labiales	>0
3	Envasado de cremas	>0
4	Envasado de líquidos (colonias, lacas)	>0
5	Oficina	>0
6	Laboratorio de análisis	>0
13	Fabricación de cremas y labiales	>0
Sistema 2		
7	Oficina	>0
Corredores	Corredores	>0
Sistema 3		
8	Fabricación de talcos	<0
9	Envasado de talcos	<0

10	Compactación de sombras y rubores	<0
11	Bodega de graneles de sombras y rubores	<0
12	Fabricación de sombras y rubores	<0

6.2. El siguiente paso consiste en calcular la demanda de volumen de cada ambiente. Lo cual se consigue al multiplicar el volumen de cada área por 20 y se traslada a flujo horario, como se tabula en la tabla 12:

Tabla 12.

Demanda de volumen de aire de cada ambiente.

Ambiente	Volumen ambiente m ³	Flujo 20 cambios/ h m ³ /h (cfm)
Sistema 1		
1	23.66	424 (250)
2	20.15	373 (220)
3	21.76	424 (250)
4	20.15	373 (220)
5	21.76	424 (250)
6	37.21	814 (480)
Sistema 2		
7	37.21	814 (480)
Corredores	85.57	2085 (1230)
Sistema 3		
8	33.57	424 (250)
9	21.76	610 (360)
10	28.60	610 (360)
11	21.76	424 (250)
12	22.98	475 (280)
13	39.21	763 (450)

6.3. Para lograr una presión positiva debe existir una inyección de 20 a 40% mayor que la succión, y viceversa para un negativo. El diferencial de presión en los corredores debe ser positivo respecto al exterior, pero de menor diferencial que el sistema de inyección 1, para que las partículas provenientes de los corredores puedan ser desalojadas por el sistema 1.

Se procede entonces a calcular los requerimientos de flujo de aire según los diferenciales de presión de cada ambiente, como se muestra a continuación. Esto se hace multiplicando por un factor que oscile entre un 20 a un 40% la inyección si el Δp es positivo

o por un factor semejante en la extracción si el Δp es negativo. A continuación se tabulan los datos en la tabla 13 :

Tabla 13.

Demanda de volumen de aire de cada ambiente según el diferencial de presión.

Ambiente	Flujo 20 cambios/h m ³ /h (cfm)	Flujo de inyección m ³ /h (cfm)	Flujo para extracción m ³ /h (cfm)
Sistema 1			
1	424 (250)	595 (350)	424 (250)
2	373 (220)	527 (310)	373 (220)
3	424 (250)	595 (350)	424 (250)
4	373 (220)	527 (310)	373 (220)
5	424 (250)	595 (350)	424 (250)
6	814 (480)	1142 (672)	814 (480)
13	763 (450)	1071 (630)	763 (450)
Total		5052 (2972)	3595 (2120)
Sistema 2			
7	814 (480)	814 (480)	
Corredores	2085 (1230)	2510 (1476)	2085 (1230)
Total		3324 (1956)	2085 (1230)
Sistema 3			
7	814 (480)		1054 (620)
8	424 (250)	610 (360)	795 (468)
9	610 (360)	424 (250)	552 (325)
10	610 (360)	610 (360)	795 (468)
11	424 (250)	424 (250)	552 (325)
12	475 (280)	475 (280)	618 (364)
Total		2543 (1500)	4366 (2570)

6.4. El cuarto paso es analizar en base a cada caudal de aire y una velocidad seleccionada (muy importante para controlar el nivel de ruido o siseo de la rejilla), las rejillas a utilizar. Esto se hace con base en la velocidad de salida requerida y recomendada en la literatura. Para el diseño se utilizaremos la marca Air Guide, ya que es la más fácil de conseguir en el medio guatemalteco. Para la inyección se utiliza el modelo AVP-A-FM, que son difusores de techo de cuatro vías y cuentan con regulador de flujo, son cuadradas, de fácil instalación y dan una buena impresión estética. Para la extracción se utilizará el modelo RA, que también se encuentra en plaza, son de fácil instalación y poseen también regulador de flujo.

La velocidad de salida de la rejilla varía según la aplicación y su variabilidad depende de la tolerancia en el nivel de ruido. Para fábricas se recomienda una velocidad en las rejilla de 3.6 a 7.6 m/s (de 700 a 1500 fpm), como se puede ver en la tabla 25 (sección de tablas y gráficas). Puede existir el criterio de que se requiera un nivel de ruido menor, por lo que se trabajaría a velocidades de salida menores que significaría rejillas más grandes y costosas. Otro criterio que puede influir es tratar de tener el uniforme el tamaño de rejillas, para facilitar contar con rejillas de repuesto en caso haya que reemplazar alguna.

Es conveniente seleccionar primero las rejillas previo al diseño de ductos, para dimensionar los éstos con base en el tamaño de las rejillas. En este caso se realizarán los cálculos para un nivel de ruido bajo, previendo que pudiera aumentar la velocidad del aire en los ductos al realizar una regulación en el flujo, o al cerrar por completo la rejilla de algún ambiente. La velocidad elegida es de 3 m/s (600 fpm). Tabulando los datos de las rejillas en la tabla 26 para rejillas de inyección y tabla 25 para rejillas de extracción.

Por ejemplo: al elegir la rejilla de inyección del ambiente 6 se tiene una velocidad en la boca de inyección de 3 m/s (600 fpm) y un flujo de 1142 m³/h (672 cfm), buscando en la tabla 26 se encuentra que es una rejilla de 30 x 30 cm. (12x12 pulgadas), pero por estar esta rejilla en el límite se selecciona la de 38x 38 cm (15x15). Los resultados se muestran en la tablas 14 a la 16.

Tabla 14. Dimensiones de ductos, rejillas y pérdida de presión respectiva. Sistema de inyección 1 :

Sección	Flujo m ³ /h (cfm)	Ducto cm (plgs)	Rejilla cm (plgs)	Pérdida de presión en rejilla mm de c.a	Longitud ducto m	Longitud Equivalente codo m	Longitud total m	Total Pérdida por roce mm de c.a.
II-A	5124 (3014)	50 x 50 (20 x 20)			0.50		0.50	0.015
A-6	1142 (672)	38 x 25 (15 x 10)	38 x 38 (15 x 15)	0.0038	2.20	1.76	3.96	0.119
A-B	3980 (2342)	50 x 50 (20 x 20)			2.50		2.50	0.075
B-5	595 (350)	25 x 20 (10 x 8)	23 x 23 (9 x 9)	0.0032	2.00	1.19	3.19	0.096
B-4	527 (310)	23 x 23 (9 x 9)	23 x 23 (9 x 9)	0.0032	1.00	1.19	2.19	0.066
B-C	2860 (1682)	50 x 30 (20 x 12)			3.00		3.00	0.090
C-3	595 (350)	25 x 20 (10 x 8)	23 x 23 (9 x 9)	0.0032	2.00	1.19	3.19	0.096
C-2	527 (310)	23 x 23 (9 x 9)	23 x 23 (9 x 9)	0.0032	1.00	1.19	2.19	0.066
C-D	1737 (1022)	35 x 30 (14 x 12)			3.75		3.75	0.113
D-1	(666) 392	30 x 18 (12 x 7)	30 x 30 (12 x 12)	0.0035	0.75	1.47	2.22	0.067
D-13	(1071) 630	38 x 20 (15 x 8)	38 x 38 (15 x 15)	0.0038	4.50	1.47	5.97	0.179

Total pérdidas por rozamiento :
Total pérdidas por rejillas :

0.472 mm de c.a.
0.024 mm de c.a.

Tabla 15.

Dimensiones de ductos, rejillas y la pérdida de presión respectiva. Sistema de inyección 2.

Sección	Flujo m ³ /h (cfm)	Ducto cm (plgs)	Rejilla cm (plgs)	Pérdida de Presión en rejilla mm de c.a.	Longitud Ducto m	Longitud Equivalente Codo m	Longitud Total m	Presión Estática mm de c.a.
I2-E	3325 (1956)	50 x 35 (20 x 14)			0.88		0.88	0.026
E-7	814 (480)	40 x 20 (16 x 8)	30 x 30 (12 x 12)	0.0035	3.75	1.47	5.22	0.157
E-CO1	1255 (738)	40 x 35 (16 x 14)	38 x 38 (15 x 15)	0.0038	1.75		1.75	0.053
C1-C2	1255 (738)	40 x 15 (16 x 6)	38 x 38 (15 x 15)	0.0038	5.88		5.88	0.176

Total pérdidas por rozamiento :
Total pérdidas por rejillas :

0.412 mm de c.a.
0.011 mm de c.a.

Tabla 16.

Dimensiones de ductos, rejillas y la pérdida de presión respectiva. Sistema de inyección 3.

Sección	Flujo m ³ /h (cfm)	Ducto cm (plgs)	Rejilla cm (plgs)	Pérdida de presión en rejilla mm de c.a.	Longitud Ducto m	Longitud Equivalente Codo m	Longitud Total m	Presión Estática mm de c.a.
I3-F	2550 (1500)	35 x 35 (14 x 14)			1.35		1.35	0.041
F-8	610 (360)	23 x 23 (9 x 9)	23 x 23 (9 x 9)	0.0032	0.93	1.19	2.12	0.064
F-G	1938 (1140)	35 x 30 (14 x 12)			0.88		0.88	0.026
G-9	424 (250)	23 x 23 (9 x 9)	23 x 23 (9 x 9)	0.0032	1.75	1.19	2.94	0.088
G-H	1513 (890)	35 x 28 (14 x 11)			3.50		3.50	0.105
H-10	610 (360)	23 x 23 (9 x 9)	23 x 23 (9 x 9)	0.0032	0.93	1.19	2.12	0.064
H-11	424 (250)	23 x 23 (9 x 9)	23 x 23 (9 x 9)	0.0032	1.75	1.19	2.94	0.088
H-12	475 (280)	25 x 18 (10 x 7)	23 x 23 (9 x 9)	0.0032	3.45	1.19	4.64	0.139

Total pérdidas por rozamiento :
Total pérdidas por rejillas :

0.349 mm de c.a.
0.016 mm de c.a.

Para escoger la rejilla de succión se busca en la tabla 25. Para este flujo se elige una velocidad de 2.5 m/s (500 fpm). La explicación de que se elijan velocidades de aire menores en la extracción que en la inyección, es la necesidad de asegurar un tamaño de ducto que permita extraer la cantidad de aire requerido. La velocidad del aire, de mucha importancia en la inyección, no lo es la extracción. La velocidad del aire disminuye considerablemente a unos centímetros de la rejilla y ésto permite succionar grandes cantidades de aire sin causar corrientes. Buscando en la tabla 25 se puede ver que para una velocidad de 2.5 m/s (500 fpm) y un flujo de 814 m³/h (480 cfm) se necesita una rejilla de 50 x 25 cm (20x10 plg). En las tablas 17 a la 19 se ilustran estos resultados.

Tabla 17.

Dimensiones de ductos, rejillas y la pérdida de presión respectiva. Sistema de extracción 1.

Sección	Flujo m ³ /h (cfm)	Ducto cm (plgs)	Rejilla cm (plgs)	Pérdida de presión en rejillas mm de c.a.	Longitud Ducto m	Longitud Equivalente Codo m	Longitud Total m	Pérdida por rozamiento mm de c.a.
E-I	3740 (2200)	43 x 43 (17 x 17)			0.50		0.50	0.015
I-J	1241 (730)	38 x 25 (13 x 10)			4.25	1.76	6.01	0.180
J-13	763 (450)	25 x 25 (10 x 10)	30 x 30 (12 x 12)	0.0038	7.68	1.47	9.15	0.275
J-1	424 (250)	30 x 15 (12 x 6)	25 x 20 (10 x 8)	0.0038	2.60	1.19	3.79	0.114
I-K	2499 (1470)	35 x 35 (14 x 14)			3.10	1.19	4.29	0.129
K-L	1598 (940)	35 x 30 (14 x 12)			5.85	2.05	7.90	0.237
L-2	373 (220)		25 x 20 (10 x 8)	0.0038				
L-3	424 (250)		25 x 20 (10 x 8)	0.0038				
L-4	373 (220)		25 x 20 (10 x 8)	0.0038				
L-5	424 (250)		25 x 20 (10 x 8)	0.0038				
M-6	814 (480)	38 x 25 (15 x 10)	50 x 25 (20 x 10)	0.0038	6.55	2.66	9.21	0.276

Total pérdidas por rozamiento :

0.470 mm de c.a.

Total pérdidas por rejillas :

0.266 mm de c.a.

Tabla 18.

Dimensiones de ductos, rejillas y la pérdida de presión respectiva. Sistema de extracción 2:

Sección	Flujo m ³ /h (cfm)	Ducto cm (plgs)	Rejilla cm (plgs)	Pérdida de presión en rejillas mm de c.a.	Longitud Ducto m	Longitud Equivalente Codo m	Longitud Total M	Presión Estática mm de c.a.
E2-C3	3740 2200	43 x 43 (17 x 17)	38 x 38 (15 x 15)	0.038	0.50		0.50	0.015
C3-C4	1241 (730)	33 x 25 (13 x 10)	38 x 38 (15 x 15)	0.038	4.25	1.76	6.01	0.180

Total pérdidas por rozamiento :

0.195 mm de c.a.

Total pérdidas por rejillas :

0.008 mm de c.a.

Tabla 19.

Dimensiones de ductos, rejillas y la pérdida de presión respectiva. Sistema de extracción 3:

Sección	Flujo m ³ /h (cfm)	Ducto cm (plgs)	Rejilla cm (plgs)	Pérdida de presión en rejillas mm de c.a.	Longitud Ducto m	Longitud Equivalente Codo m	Longitud Total m	Pérdida por rozamiento mm de c.a.
E1-N	4369 (2570)	45 x 45 (18 x 18)			0.56		0.56	0.017
N-12	618 (364)	23 x 23 (9 x 9)	35 x 20 (14 x 8)	0.0038	5.25	1.19	6.44	0.193
N-O	3750 (2206)	56 x 33 (22 x 13)			4.13		4.13	0.124
O-P	2696 (1586)	40 x 30 (16 x 12)			5.20	2.05	7.25	0.218
P-8	795 (468)	53 x 28 (21 x 11)	50 x 25 (20 x 10)	0.0038				
P-9	552 (325)		35 x 20 (14 x 8)	0.0038				
P-10	795 (468)		50 x 25 (20 x 10)	0.0038				
P-11	(552) (325)		35 x 20 (14 x 8)	0.0038				
O-7	1054 (620)	45 x 30 (18 x 12)	50 x 25 (20 x 10)	0.0038	7.18	2.05	9.23	0.277

Total pérdidas por rozamiento :

0.418 mm de c.a.

Total pérdidas por rejillas :

0.023 mm de c.a.

6.5. El quinto paso es dimensionar los ductos. Esto se hace con el método de pérdida de carga constante e implica que en todo el sistema se tenga la misma pérdida de carga por unidad de longitud. Para los ductos que llevarán rejillas es importante dimensionarlos lo más justo a la medida de las rejillas que se pueda. En el caso de reducciones es importante no sobrepasar un máximo del 25% en la reducción, aunque lo recomendable es un 15%.

Se procederá a hacer un ejemplo para calcular el ducto para la rejilla del ambiente 6. Se busca una pérdida de presión por rozamiento adecuada para el sistema; si se supone una demasiado grande, la velocidad en los ductos será muy baja y por lo tanto los ductos serán demasiado grandes, y si la pérdida por rozamiento es muy pequeña, se logre una velocidad demasiado alta y haga que los ductos sean muy pequeños lo que puede lograr economía en los ductos pero puede obligar a comprar un inyector de mayor potencia. Además se debe de brindar un tamaño de ducto apropiado para las rejillas.

Tomando en cuenta todos estos factores se supone un valor de 0.03 mm de c.a. por m de longitud equivalente, este valor se relaciona con el flujo de inyección de 672 cfm (1138 m³/h) y se busca el valor de diámetro equivalente para ese ducto, en el gráfico 7, que es de 350 mm. Teniendo el valor de diámetro equivalente, se busca en la tabla 3 las medidas del ducto rectangular para ese diámetro equivalente, que son de 40 x 20 cm, (15 x 10 pulgadas). Este valor de 40 x 20 cm (15 x 10 pulgadas) es apropiado para la rejilla de inyección que es 40 x 40 cm (15x15 pulgadas). Para cada flujo se sigue con la misma pérdida de presión hasta finalizar el tramo. Los resultados se tabulan en la tablas 14 la 16.

El mismo procedimiento se sigue con los ductos de extracción, se escoge otro valor de pérdida de presión adecuado para la extracción, que en este caso es de 0.06 mm c.a. por m de longitud equivalente y se repite el mismo procedimiento. Para el ambiente 6 que tiene un flujo de extracción de 814 m³/h (480 cfm) y una perdida por rozamiento de 0.06 mm c.a. por m de longitud el gráfico 7 aporta un diámetro equivalente de 260 mm, después al buscar este valor en la tabla 3 proporciona las dimensiones 38 x 25 cm (15 x 10 pulgadas). Se finaliza el tramo con la misma pérdida por rozamiento. Los resultados de esta operación se encuentran en la tablas 17 a la 19.

6.6. El sexto paso es seleccionar el filtro y el prefiltro para la sanitización del sistema, las norma recomendada por la OMS para centros de fabricación de medicinas es de un prefiltro ASHRAE del 25% y un filtro del 85% ASHRAE, el prefiltro es un medio para extender la vida del filtro. Después de cada inyector se colocará un prefiltro y un filtro y al final de cada sistema de extracción se colocará un filtro del 35% de eficiencia para evitar la contaminación del aire exterior. Los prefiltros seleccionados son los filtros de superficie extendidas de pliegues de una eficiencia del 25 al 35%, y pueden ser usados como prefiltros y filtros finales, retienen una gran cantidad de suciedad.

Los filtros que se seleccionaron son los filtros de bolsa de fibra sintética, estos son de un costo relativamente bajo, son de fácil instalación y alta eficiencia, son mejores que los de fibra de vidrio ya que no sueltan partículas de fibra de vidrio durante el funcionamiento, poseen una eficiencia del 80 al 85%. Los filtros se eligen en base a su capacidad de manejo de flujo, mientras que los prefiltros en base a la velocidad del aire.

Para el sistema de inyección I se debe de elegir un prefiltro en base a la velocidad inicial en el ducto, para seleccionar el filtro se hace lo siguiente: Se busca en la tabla 6 el diámetro equivalente en base a las dimensiones para el primer tramo de ducto que es de 20x20 pulgadas, obteniéndose 550 mm diámetro equivalente, luego se compara contra 0.03 mm de c.a. por metro de longitud en el gráfico 7, se obtiene una velocidad de 4 m/s (787 fpm). Para esta velocidad de aire se puede seleccionar dos prefiltros en la tabla 29 de 60 de alto x 60 de ancho x 5 cm de profundidad (24 de alto x 12 de ancho x 2 pulgadas de

profundidad), con una pérdida de presión de filtro saturado de 6 mm de c.a. (0.24 pulgadas de c.a.) cada uno. Hay que hacer notar que ningún filtro individual es adecuado para la velocidad en el ducto, por lo tanto se eligen dos y se coloca uno a la par del otro.

El criterio de elección del filtro gira en torno al caudal del aire, para el caso del sistema de inyección 1, se tiene un caudal de 5124 m³/h (3014 cfm), buscando en la tabla 30, los filtros de bolsa soportan un flujo máximo de 5100 m³/h (3000 cfm). Como el valor de la capacidad de flujo del filtro es excedido, se deben de elegir dos filtros, uno de 30 x 60 x 90 cm (12 x 24 x 36 plgs), más uno de 60 x 60 x 90 cm (24 x 24 x 36 plgs). Uno con pérdida de presión máxima de 18 mm de c.a. (0.70 plg de c.a.) y el otro con una pérdida de presión máxima de 17 mm de c.a. (0.65 plg de c.a). Los datos resultantes se tabulan en la tabla 20.

Tabla 20.

Características de los filtros y prefiltros seleccionados.

Sistema	Flujo de Aire m ³ /h (cfm)	Velocidad del aire m/s (fpm)	# de pre-filtros	Prefiltro h x l x p cm plg	P.E. máx. prefiltro mm de c.a. plg de c.a.	# de filtros	Filtro h x l x p cm plg	P.E. máx filtro mm de c.a. plg de c.a.	Total P.E. máx. mm de c.a. plg de c.a.
I1	5124 (3014)	4 (787)	2	30 x 60 x 5 (12 x 24 x 2)	6 (0.24)	1	60 x 60 x 90 (24x 24 x36)	17 (0.70)	45 (1.83)
						1	60 x 30 x 90 (24 x12 x36)	16 (0.65)	
I2	1956	728	2	30 x 60 x 5 (12 x 24 x 2)	6 (0.24)	1	60 x 60 x 90 (24x 24 x36)	17 (0.70)	29 (1.18)
I3	1500	670	2	30 x 60 x 5 (12 x 24 x 2)	6 (0.24)	1	60 x 60 x 90 (24x 24 x36)	17 (0.70)	29 (1.18)
E1	2200	985	2	30 x 60 x 10 (12 x 24 x 4)	6 (0.24)				14.2 (0.58)
E2	1230	985	2	30 x 60 x 10 (12 x 24 x 4)	6 (0.24)				14.2 (0.58)
E3	2100	905	2	30 x 60 x 10 (12 x 24 x 4)	6 (0.24)				14.2 (0.58)

6.7 El séptimo paso es definir las pérdidas por presión estática en los ductos, este cálculo logra al multiplicar la longitud equivalente del tramo más largo de cada sistema de ductos por el coeficiente de rozamiento elegido para el sistema. Se inicia calculando la servirá para definir que filtros, inyectores o extractores deben de seleccionarse. Esto se longitud equivalente de cada accesorio que componga el tramo como lo indica la tabla 28. Según el tipo de accesorio se tiene una longitud equivalente. Si se observa en la tabla 10, el tramo A-6 se tiene un ducto de 38 x 25 cm (15 x 10 plg) con tramo recto de 2.20 m más un codo de 38 x 25 cm (15x10 plg), buscando la longitud equivalente del codo en la tabla 13 se tiene una longitud equivalente de 1.76 m . Sumando la longitud de el tramo recto del ducto a la

longitud equivalente del codo se tiene una longitud total de 3.96 m. La pérdida de presión de cada tramo se consigue multiplicando el coeficiente de rozamiento elegido por la longitud total del tramo, en este caso sería 0.03 mm de c.a./m de longitud equivalente x 3.96 m, lo que aportará un valor total de 0.1188 mm. De c.a. Así se prosigue hasta que se terminan todos los tramos del sistema. Los datos se recopilan en las tablas 14 a 16. Lo mismo se hace para la extracción solo que con un coeficiente de rozamiento de 0.06 mm de c.a./m de longitud equivalente. Esto se registra en las tablas de la 17 a la 19.

6.8. Se procede a sumar todas las pérdidas de presión del sistema, que es el resultado de sumar la pérdida de presión por los filtros y prefiltros, más la suma de la pérdida de presión del ramal más largo de cada sistema, más la pérdida a través de las rejillas. Al pie de las tablas 14 a 16 se muestra la pérdida por rozamiento de cada sistema de ductos y la pérdida de presión a través de las rejillas, convirtiéndolos a pulgadas de c.a. y agregando a éstos los datos de pérdida de presión en los prefiltros y filtros de la tabla 20, se elabora la tabla 21. La presión estática resultante para cada sistema se muestra a continuación :

Tabla 21. Pérdidas de presión del sistema completo.

Sistema	Pérdidas en ductos mm de c.a. (plg de c.a.)	Pérdidas por rejillas mm de c.a. (plg de c.a.)	Pérdidas por filtros mm de c.a. (plg de c.a.)	Total pérdidas de presión mm de c.a. (plg de c.a.)
I1	0.48 (0.019)	0.61 (0.024)	46.48 (1.83)	47.50 (1.87)
I2	0.40 (0.016)	0.28 (0.011)	30.00 (1.18)	30.73 (1.21)
I3	0.36 (0.014)	0.40 (0.016)	30.00 (1.18)	30.73 (1.21)
E1	0.48 (0.019)	0.69 (0.027)	14.70 (0.58)	16.00 (0.63)
E2	0.20 (0.008)	0.20 (0.008)	14.70 (0.58)	15.24 (0.60)
E3	0.40 (0.016)	0.58 (0.023)	14.70 (0.58)	15.75 (0.62)

6.9. Se eligen los inyectores y extractores. Siendo la velocidad y la presión del aire, determinantes en el limpieza del aire interior de las plantas de cosméticos, es importantísimo escoger un tipo de ventilador que tenga bastante potencia para evitar caídas de flujo debidos a la pérdida de presión. Por lo tanto se escoge un ventilador centrífugo de aletas curvadas hacia atrás, como menciona la literatura es el tipo de mayor potencia. Esto ayudará a evitar pérdidas de presión debidas a la saturación de filtros, que como es de esperarse es la mayor pérdida de presión del sistema. Para el sistema de inyección 1, según la tabla 22 se tiene el valor de 47.50 mm de c.a. como presión estática en el sistema y un flujo de 5124 m³/h (3014 cfm). Para seleccionar el ventilador centrífugo de aletas curvadas hacia atrás se busca en la tabla 24, y se encuentra el modelo 7H137, que maneja un flujo de 5100 m³/h (3000 cfm) a

50 mm de c.a. de PE. (2 plg de c.a.). Tiene un diámetro de la rueda de 38 cm (15 plg), motor de 1.2 kW (1.5 HP). Este método de cálculo se vuelve a repetir para todos los sistemas de ventilación. En la tabla 23 se pueden ver los resultados.

Tabla 22.

Presión Estática de cada sistema.

Sistema	Flujo de aire m ³ /h (cfm)	Presión estática(P.E.) mm de c.a. (plg de c.a.)
I1	5124 (3014)	47.50 (1.87)
I2	3325 (1956)	30.74 (1.21)
I3	2550 (1500)	30.74 (1.21)
E1	3740 (2200)	16.00 (0.63)
E2	(2091) 1230	15.24 (0.60)
E3	(3570) 2100	15.75 (0.62)

Tabla 23. Características de los ventiladores.

Sistema	Modelo Ventiladores Dayton	Potencia kW (HP)	Presión Estática mm de c.a. (plg de c.a.)	Flujo de aire m ³ /h (cfm)	R.p.m.	Diámetro de la rueda cm (plg)
I1	7H137	1.12 (1½)	50 (2)	5100 (3000)	1800	38 (15)
I2	7H131	0.56 (¾)	32 (1¼)	3366 (1980)	1950	31 (12.25)
I3	7H126	.56 (¾)	32 1¼	2737 (1610)	2685	27 (10.5)
E1	7H128	1.12 (1½)	19 (¾)	3783 (2225)	3385	27 (10.5)
E2	7H124	0.25 (1/3)	19 (¾)	2074 1220	2055	27 (10.5)
E3	7H128	1.12 (1½)	19 (¾)	3783 (2225)	3385	27 (10.5)

7.10. Se cotiza todo el equipo a utilizar, los accesorios se pueden obtener localmente, pero a veces es más barato traerlos por medio de un catálogo de equipo industrial, como lo es el GRAINGER. A continuación se cotizan los ventiladores y filtros por medio del GRAINGER, y las rejillas y ductos por medio de proveedores locales.

Tabla 27.

Cotización filtros

Modelo	Cantidad	Tamaño	Precio unidad	Precio Total
6B975	6	12 x 24 x 2	\$5.99	\$35.94
6B974	6	12 x 24 x 4	\$10.80	\$64.80
6B639	3	24 x 24 x 36	\$55.60	\$166.80
6B660	1	24 x 12 x 36	\$39.80	\$39.80
Total de precio de catálogo				\$307.34
Cargos por flete 10%				\$30.73
Cargos por seguro 0.5% del 110% del costo de mercadería más flete				\$1.86
Total precio (CIF)				\$339.93
Cargos por impuesto 1%				\$3.40
IVA 10 %				\$33.99
Total precio prorrateado de filtros				\$377.32
Total valor en quetzales cambio Q.6.00/\$ 1.00				Q. 2263.92

Tabla 31.

Cotización ventiladores

Modelo	Cantidad	Potencia HP	Precio unitario	Precio total
7H137	1	1.5	\$898.50	\$898.50
7H131	1	¾	\$692.00	\$692.00
7H126	1	¾	\$575.50	\$575.50
7H128	2	1.5	\$628.50	\$1,257.00
7H124	1	1/3	\$555.00	\$555.00
Total de precio de catálogo				\$3,978.00
Cargos por flete 10%				\$397.80
Cargos por seguro 0.5% del 110% del costo de mercadería más flete				\$22.05
Total precio (CIF)				\$4,397.85
Cargos por impuesto 1%				\$43.98

IVA 10%	\$439.78
Total precio prorrateado de ventiladores	\$4,881.61
Total valor en quetzales cambio Q.6.00/\$ 1.00	Q.29289.66

Tabla 32. Cotización rejillas.

Tipo	Cantidad	Tamaño	Precio unidad	Precio Total
Retorno	5	10 x 8	Q100.00	Q500.00
Retorno	1	12 x 12	Q118.00	Q118.00
Suministro	2	12 x 12	Q567.00	Q1,134.00
Retorno	3	14 x 8	Q118.00	Q354.00
Suministro	4	15 x 15	Q778.00	Q3,112.00
Retorno	6	20 x 10	Q133.44	Q800.64
Suministro	9	9 x 9	Q100.00	Q900.00
Total				Q6,918.64

El trabajo de ductería e instalación de ductos para este sistema se cotiza aproximadamente en Q. 21, 000.00, e incluye reguladores de flujo en los ramales para el balanceo del flujo de aire en cada área. A esto hay que agregar posibles trabajos de albañilería y electricidad, como lo son posible agrandamiento, reducción o reubicación de agujeros para rejillas e instalación y ubicación de motores, calculados en Q. 5000.00.

Sumando el costo de rejillas, ductos, filtros, prefiltros, ventiladores y extractores, y trabajos adicionales se puede valorar este sistema de filtración de aire en Q. 64 472.22

7. CONCLUSIONES

7.1. Un sistema de filtración de aire para una planta de productos de cuidado personal se ha vuelto un requisito indispensable, debido al avance de las normas internacionales en el país y al aumento de la contaminación en la ciudad capital.

7.2. Los datos aportados por la literatura permiten diseñar un sistema de filtración de aire que satisfaga los requisitos de las prácticas de buena manufactura vigentes en el país.

7.3. Un sistema de filtración de aire es altamente beneficioso, ya que se obtiene una mejor productividad de los operarios al introducir un aire limpio y evita la contaminación de los productos, mejorando así la calidad de los productos.

7.4. Con un sistema de filtración de aire en una fábrica es posible limpiar el aire interior mediante un diferencial de presión positiva a la vez que se puede evitar la incorporación de contaminantes a otros ambientes, mediante la aplicación de un diferencial de presión negativa para evitar la contaminación por medio de polvos o talcos a ambientes adyacentes y mediante la filtración de polvos o talcos para evitar la contaminación del ambiente exterior.

7.5. En un clima de condiciones favorables de temperatura y humedad como lo es el valle de la ciudad capital, no es necesaria la incorporación de un equipo enfriador en el sistema de filtración de aire para garantizar la comodidad de los usuarios, ni las condiciones del producto.

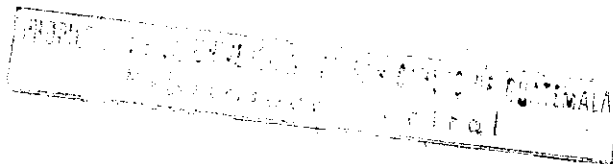
8. RECOMENDACIONES

8.1. Se recomienda la instalación de un sistema de filtración de aire en las plantas fabricantes de productos de cuidado personal, ya que este requisito es exigido por las normas de prácticas de buena manufactura nacionales.

8.2. La limpieza del aire es solo una de las prácticas de buena manufactura, es necesario aplicar otras como lo son : limpieza del personal y su uniforme, limpieza del equipo y de las áreas de producción, para que puedan ser percibidas las ventajas de un aire limpio.

10. REFERENCIAS

1. Carrier Air Conditioning Company, **Manual de Aire Acondicionado**, (España: Editorial Marcombo, 1970).
2. De Nevers, Noel, **Air Pollution Control Engineering**, (Estados Unidos: McGraw Hill, Inc., 1995).
3. **GRAINGER**. (Estados Unidos: Calog No 387, 1996)
4. Hesketh, Howard E., **Understanding and controlling air pollution**, (2. Edición, Estados Unidos: Ann Arbor Science Publishers Inc., 1974.)
5. Organización Panamericana Para La Salud. **Guías para Centros de Distribución de Suministros Médicos**. (Guatemala: Editorial Piedra Santa, 1989), Volumen No. 2 y 3.
6. Perry, John H. , **Manual del Ingeniero Químico**. (4. Edición, Estados Unidos: Editorial McGraw – Hill), 1963.



**TABLAS,
GRÁFICAS,
Y FIGURAS**

Gráfica 7.

GRÁFICO 7. PÉRDIDA POR ROZAMIENTO EN CONDUCTO REDONDO

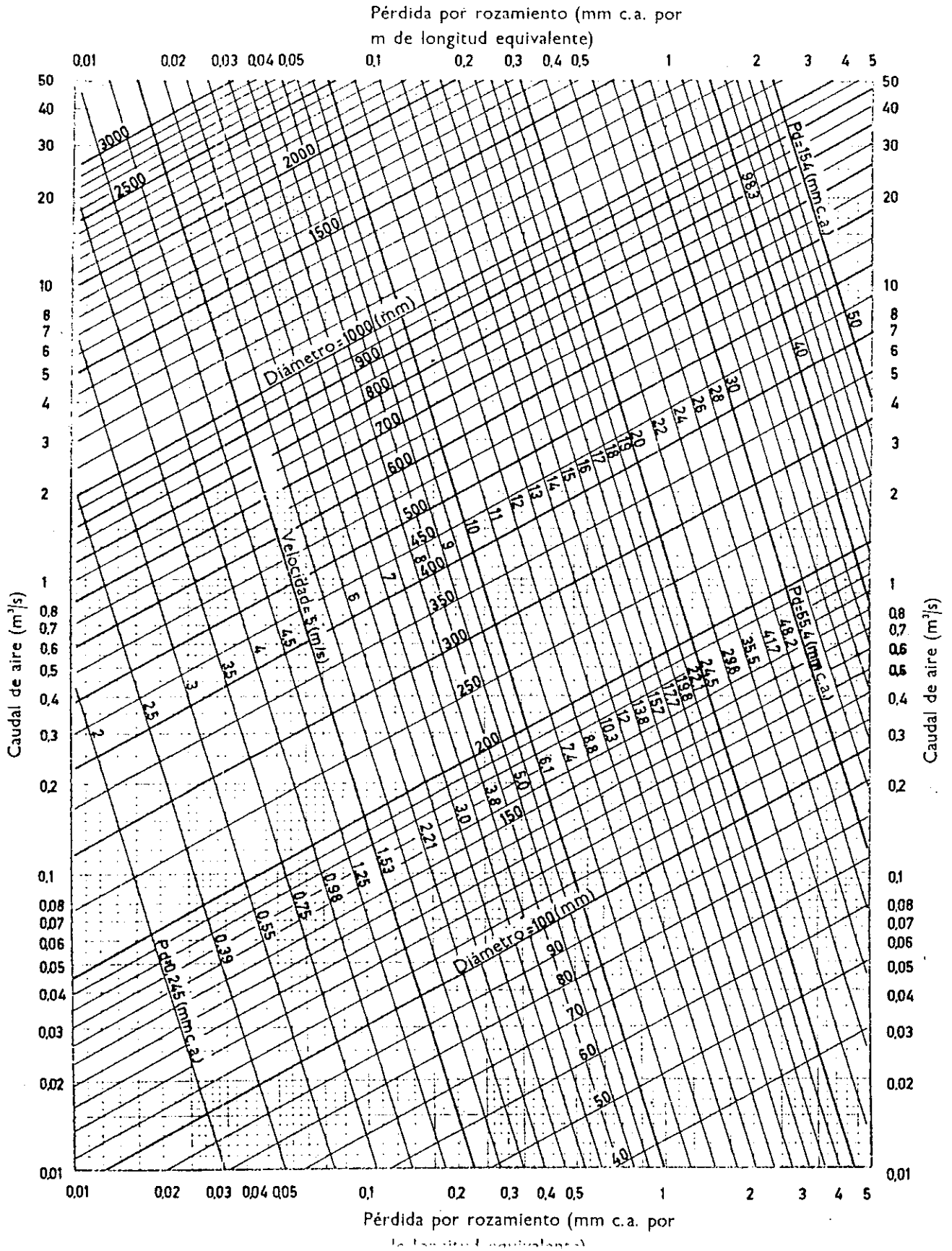
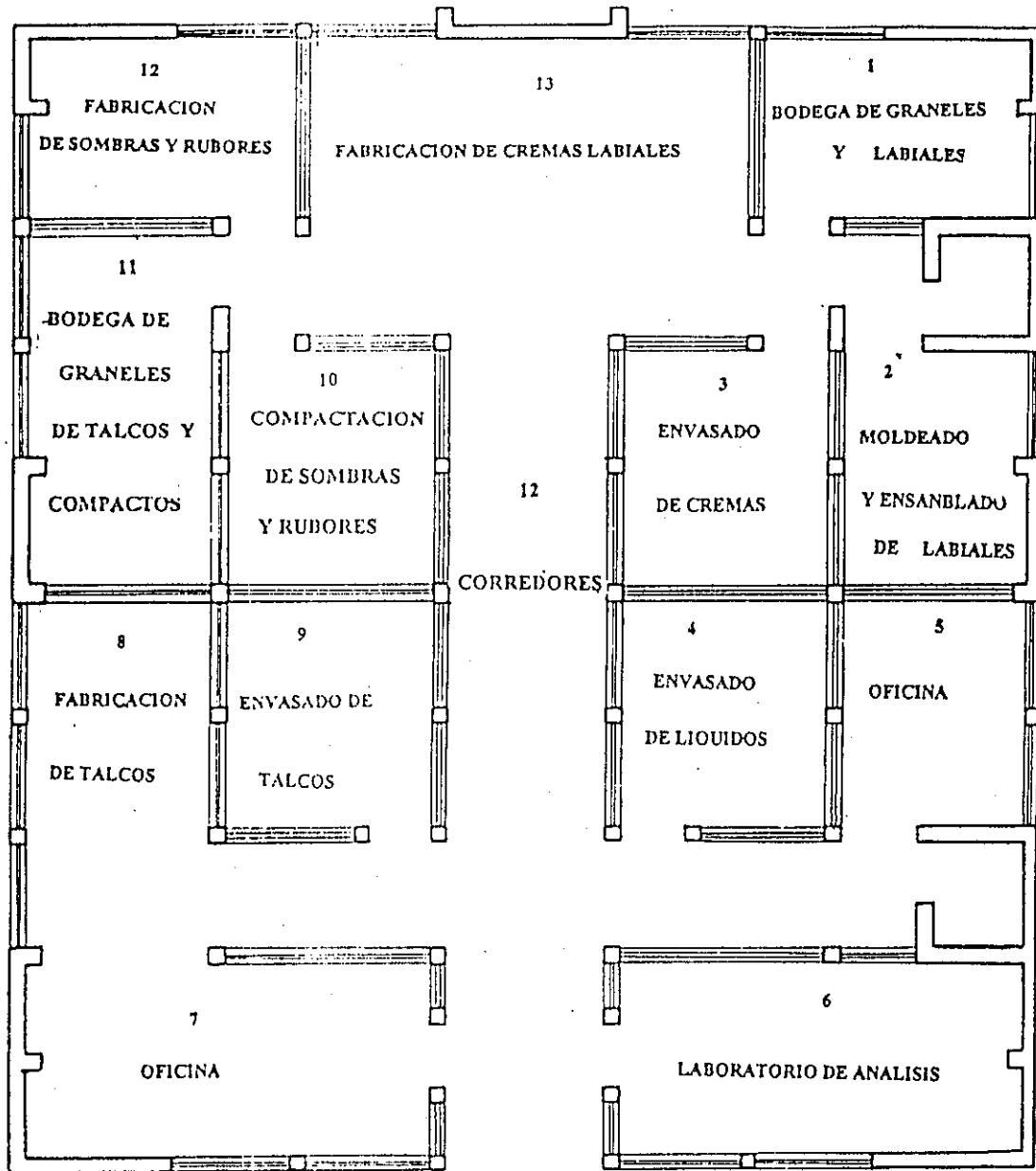


Figura 14.

Área de producción de productos de cuidado personal de Laboratorios Zelsa.



PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

Figura 15.
Sistema de inyección y extracción para la limpieza del aire del área de producción de productos de cuidado personal de Laboratorios Zelsa.

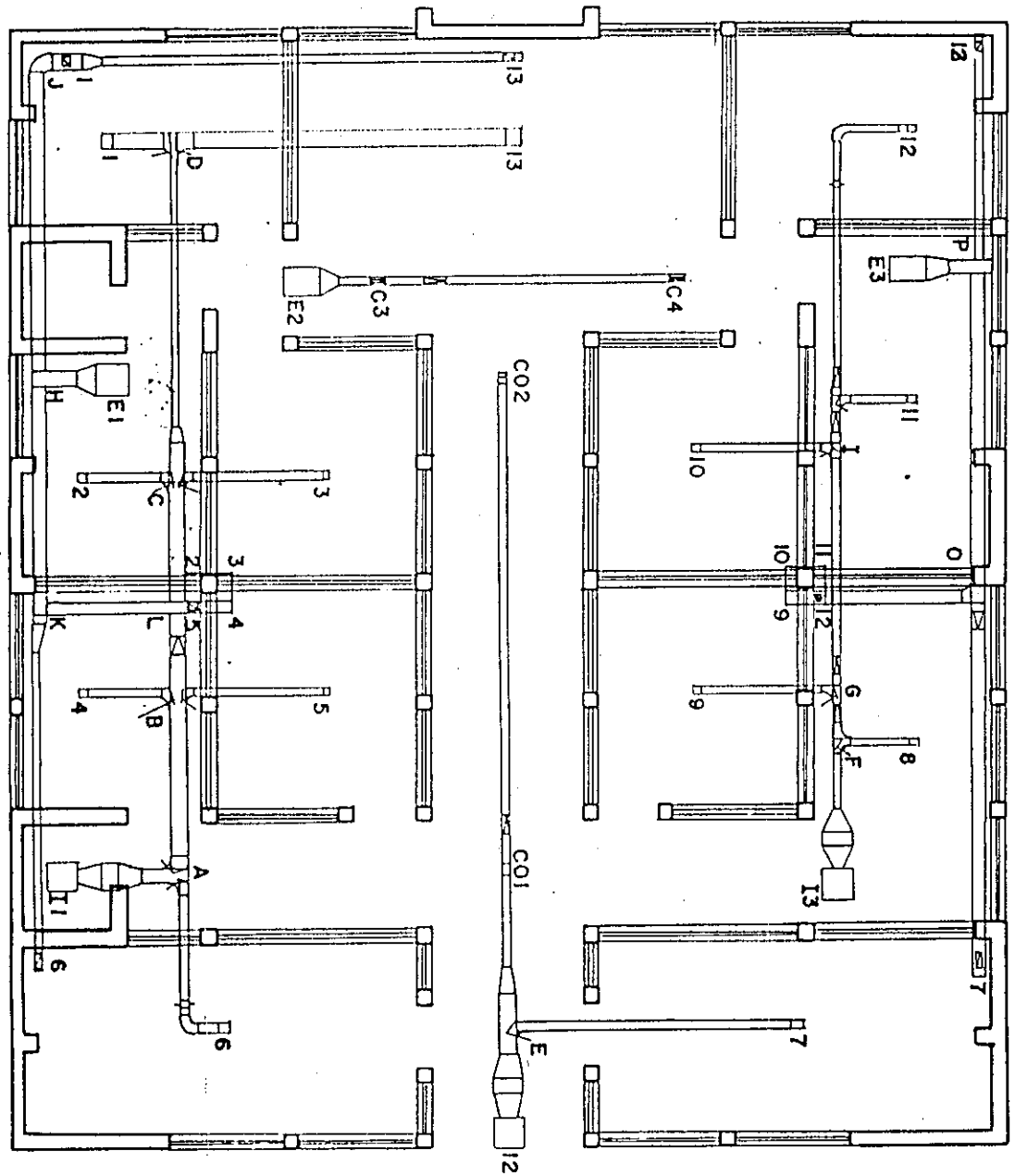


Tabla 6.

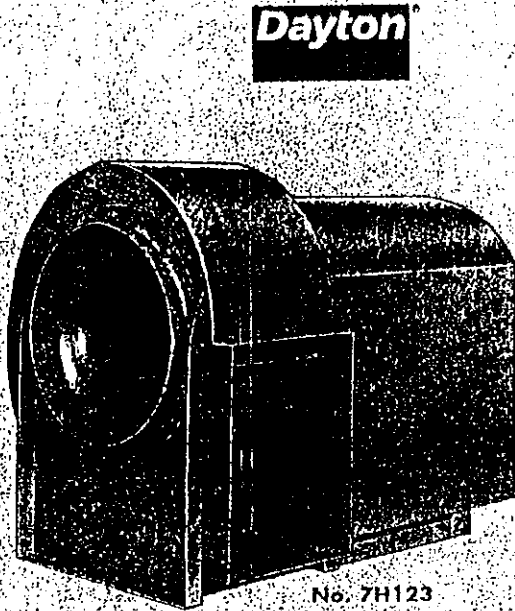
TABLA 6. DIMENSIONES DE CONDUCTOS AREA DE LA SECCIÓN, DIAMETRO EQUIVALENTE, Y TIPO DE CONDUCTO *

MEDIDAS DEL CONDUCTO (mm)	150		200		250		300		350		400		450		500		550	
	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)	Sec. (m ²)	Diám. equiv. (mm)
250	0,038	213	0,048	249	0,06	287												
300	0,042	231	0,067	272	0,071	302	0,087	333										
350	0,048	249	0,087	292	0,084	328	0,103	361	0,119	389								
400	0,056	264	0,076	308	0,094	348	0,116	384	0,134	414	0,154	445						
450	0,061	280	0,084	328	0,106	368	0,129	407	0,151	439	0,173	470	0,196	501				
500	0,067	292	0,092	343	0,117	384	0,142	427	0,168	460	0,192	496	0,216	526	0,242	556		
550	0,072	305	0,10	358	0,128	404	0,166	447	0,184	485	0,21	518	0,238	551	0,264	582	0,292	612
600	0,078	315	0,107	371	0,139	422	0,169	465	0,198	503	0,229	541	0,257	574	0,288	607	0,316	638
650	0,082	326	0,116	384	0,149	435	0,182	483	0,214	524	0,246	561	0,278	597	0,31	630	0,341	664
700	0,088	335	0,123	396	0,158	450	0,193	498	0,229	541	0,265	582	0,301	620	0,333	655	0,368	689
750	0,093	346	0,13	409	0,168	465	0,205	514	0,244	559	0,283	602	0,32	640	0,36	677	0,392	711
800	0,099	356	0,137	419	0,179	478	0,218	529	0,26	576	0,301	620	0,341	661	0,381	698	0,418	734
850	0,105	366	0,146	432	0,188	490	0,23	544	0,274	592	0,318	637	0,36	678	0,404	719	0,443	756
900	0,109	374	0,153	442	0,198	504	0,242	556	0,288	607	0,338	656	0,378	696	0,424	736	0,467	775
950	0,113	381	0,16	452	0,208	516	0,255	572	0,303	622	0,352	671	0,398	714	0,448	757	0,494	798
1.000	0,118	389	0,167	463	0,216	526	0,267	585	0,318	637	0,368	686	0,418	732	0,469	775	0,517	816
1.050	0,123	396	0,172	470	0,226	536	0,276	595	0,33	650	0,384	701	0,436	747	0,492	793	0,54	834
1.100	0,128	404	0,18	480	0,233	546	0,288	607	0,343	662	0,401	716	0,463	762	0,513	810	0,563	852
1.150	0,132	412	0,186	488	0,242	556	0,298	618	0,359	678	0,418	729	0,472	777	0,534	825	0,588	869
1.200	0,137	419	0,193	498	0,25	567	0,31	630	0,373	691	0,43	742	0,491	793	0,553	841	0,611	887
1.250			0,196	506	0,26	577	0,32	641	0,384	701	0,448	757	0,51	808	0,573	856	0,633	903
1.300			0,205	514	0,27	587	0,33	651	0,398	714	0,463	770	0,53	824	0,594	871	0,656	915
1.350			0,212	521	0,278	595	0,343	664	0,41	724	0,478	782	0,546	836	0,614	896	0,679	935
1.400			0,218	531	0,286	605	0,354	674	0,422	734	0,492	793	0,563	849	0,636	902	0,702	951
1.450			0,226	536	0,296	615	0,365	684	0,434	744	0,507	806	0,58	862	0,654	915	0,724	965
1.500			0,237	544	0,303	622	0,376	694	0,448	756	0,523	819	0,602	876	0,673	927	0,747	983
1.600			0,244	559	0,32	640	0,392	709	0,472	778	0,548	841	0,638	902	0,714	956	0,79	1.008
1.700					0,336	656	0,415	729	0,497	799	0,58	862	0,665	923	0,762	981	0,831	1.034
1.800					0,356	674	0,436	746	0,527	820	0,61	885	0,697	946	0,786	1.004	0,878	1.063
1.900					0,38	696	0,454	762	0,543	834	0,632	900	0,735	971	0,824	1.029	0,923	1.088
2.000					0,384	701	0,478	782	0,57	854	0,67	925	0,766	991	0,853	1.052	0,961	1.113
2.100							0,502	800	0,594	876	0,698	946	0,792	1.008	0,9	1.075	0,998	1.133
2.200							0,517	813	0,616	887	0,73	966	0,827	1.030	0,934	1.095	1,036	1.152
2.300							0,535	828	0,64	905	0,753	982	0,868	1.055	0,962	1.113	1,081	1.177
2.400							0,548	839	0,65	920	0,778	996	0,898	1.070	0,999	1.130	1,118	1.200
2.500									0,685	937	0,787	1.020	0,907	1.080	1,046	1.155	1,138	1.210
2.600									0,704	951	0,824	1.030	0,94	1.105	1,072	1.172	1,202	1.240
2.700									0,731	966	0,852	1.045	0,962	1.119	1,11	1.194	1,238	1.261
2.800									0,75	981	0,88	1.063	1,005	1.135	1,138	1.205	1,275	1.278
2.900											0,908	1.078	1,040	1.158	1,165	1.222	1,32	1.303
3.000											0,926	1.090	1,065	1.168	1,21	1.248	1,33	1.308
3.100											0,94	1.105	1,1	1.185	1,238	1.260	1,387	1.331
3.200											0,953	1.120	1,12	1.197	1,277	1.279	1,432	1.353
3.300													1,156	1.216	1,302	1.292	1,46	1.368
3.400													1,185	1.231	1,334	1.310	1,498	1.380
3.500													1,22	1.241	1,352	1.321	1,526	1.397
3.600													1,23	1.252	1,397	1.344	1,551	1.414

* Los números de mayor tamaño que figuran en la tabla indican la clase de conducto.

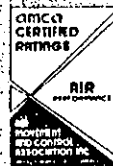
Tabla 24.

Características de funcionamiento de los ventiladores centrífugos con aletas inclinadas hacia atrás.



No. 7H123

- All blowers come complete with weatherproof drive cover.
- Sizes 10½ thru 24½" feature flat blade wheel; 27 thru 36½" sizes have air-foil wheel. Both wheel styles provide full Class 1 performance range.
- Nonoverloading wheels. Motor cannot be overloaded at any given RPM and horsepower regardless of static pressure applied to the system.
- Application: widely used for HVAC systems in industrial, commercial, and public buildings.
- Clockwise rotation viewed from drive side. Blowers shipped in bottom horizontal discharge. Discharge position can be changed in the field to seven additional standard discharge positions.
- Welded steel housing and dynamically balanced wheel. Ball bearing pillow block construction. Gray baked-on epoxy finish.
- Motor and drives packed separately. Sizes 10½ thru 20" have variable-pitch sheaves, larger sizes have fixed sheave drives.
- **WARNING:** Review OSHA Codes. OSHA complying guards are strongly recommended where fan blades are exposed and within reach of personnel.



Dayton Electric Mfg. Co. certifies that the blowers shown herein are licensed to bear the AMCA Seal. The ratings shown are based on tests and procedures performed in accordance with AMCA Publication 211 and comply with the requirements of the AMCA Certified Ratings Program. The AMCA Certified Ratings Seal applies to air performance ratings only.

BACKWARD INCLINE BLOWERS COMPLETE WITH MOTOR AND DRIVE*

Wheel Dia.	CFM AIR DELIVERY AT RPM SHOWN									Blower RPM	Motor HP	Max. BHP	dBA	BLOWERS WITH MOTOR & DRIVE			
	1/4" SP	1/2" SP	3/4" SP	1" SP	1 1/4" SP	1 1/2" SP	2" SP	2 1/2" SP	3" SP					Single Phase 115 / 230V, 60 Hz Stock No.	Each	3-Phase 230 / 460V, 60 Hz Stock No.	Each
10 1/2"	1220	1110	1060	950	825	620	---	---	---	1865	1/4	.21	62	7H123	\$529.50	7H150	\$544.50
	1350	1290	1220	1130	1040	900	---	---	---	2055	1/3	.33	64	7H124	555.00	7H151	559.50
	1565	1510	1450	1385	1325	1230	1015	---	---	2350	1/2	.49	67	7H125	585.50	7H152	582.50
	1810	1760	1710	1660	1610	1550	1400	1225	925	2685	3/4	.74	69	7H126	575.50	7H153	595.00
	2025	1975	1925	1875	1805	1775	1660	1535	1360	2955	1	.99	72	7H127	595.00	7H154	610.50
	2300	2250	2225	2175	2140	2100	2000	1925	1800	3385	1 1/2	1.48	75	7H128	628.50	7H155	617.50
	12 1/4"	1765	1635	1500	1325	1000	---	---	---	---	1485	1/3	.33	61	7H129	664.50	7H156
2050		1945	1825	1710	1590	1365	---	---	---	1700	1/2	.47	64	7H130	680.50	7H157	686.50
2375		2285	2185	2075	1980	1850	1525	---	---	1950	3/4	.74	67	7H131	692.00	7H158	711.00
2650		2575	2475	2400	2285	2200	1975	1625	---	2145	1	.98	68	7H132	751.00	7H159	702.50
3060		3000	2925	2850	2730	2675	2500	2310	2075	2465	1 1/2	1.47	72	7H133	796.00	7H160	722.50
3375		3300	3250	3175	3100	3025	2875	2725	2550	2705	2	1.99	73	7H134	913.00	7H161	753.50
15		3125	2950	2775	2600	2375	2085	---	---	---	1435	3/4	.74	66	7H135	795.00	7H162
	3460	3310	3150	3000	2830	2600	2000	---	---	1575	1	.99	68	7H136	852.50	7H163	804.00
	4025	3900	3775	3625	3470	3325	3000	2510	---	1800	1 1/2	1.48	71	7H137	898.50	7H164	824.50
	4450	4325	4200	4075	3960	3825	3540	3200	2800	1980	2	1.99	73	7H138	1024.00	7H165	864.50
	5125	5025	4910	4810	4755	4600	4375	4120	3850	2265	3	2.98	76	---	---	7H166	888.50
	18 1/4"	4400	4175	3910	3625	3300	2850	---	---	---	1160	1	.99	65	7H140	1013.00	7H167
5100		4900	4680	4450	4205	3925	3200	---	---	1325	1 1/2	1.48	68	7H141	1073.00	7H168	998.50
5650		5450	5235	5100	4880	4650	4150	3300	---	1460	2	1.99	69	7H142	1160.00	7H169	1001.00
6500		6320	6175	6000	5850	5675	5300	4825	4300	1670	3	2.98	73	---	---	7H170	1043.00
7750		7600	7500	7350	7200	7050	6775	6450	6100	1980	6	4.99	76	---	---	7H171	1105.00
20	6700	6450	6200	6000	5800	5600	5300	---	---	1140	1 1/2	1.47	68	7H145	1178.00	7H172	1105.00
	6375	6100	5875	5600	5330	5025	4300	---	---	1255	2	1.98	68	7H146	1280.00	7H173	1121.00
	7300	7100	6900	6700	6505	6250	5725	5100	4000	1435	3	2.97	72	---	---	7H174	1176.00
	8750	8600	8400	8200	8010	7800	7500	7050	6600	1700	6	4.98	75	---	---	7H175	1196.00
	9700	9500	9400	9200	9000	8800	8600	8200	7800	1865	7 1/2	7.49	78	---	---	7H176	1336.00

Return Air Grille

Performance Data

RA RA-CB RA-P RA-FB RF-2 RA-AG RA-PG



RECOMMENDED ANEMOMETER VELOCITIES, FPM OR NC LEVEL

APPLICATION	MIN.	AVG.	MAX.	NC
Broadcast Studios, Legitimate Theaters, Concert Halls, Music Rooms.	200	250	300	Below NC 25
Conference Rooms, Libraries, Museums.	250	300	375	NC 25-30
Private Offices, Hospitals, Hotel Rooms, Movie Theaters, Churches, Residences, Court Rooms.	300	380	450	NC 30-35
Restaurants, General Office Spaces, Small Stores	500	600	800	NC 35-40
Public Buildings, Post Offices, General Stores, Department Stores, Cafeterias.	600	750	1050	NC 40-45
Factories	700	1000	1500	NC 45-50 or Over

MIN. -- For extremely quiet operation. AVG. -- Satisfactory for most installations. MAX. -- Higher velocity where air noise is not objectionable.

IMPORTANT NOTE: Where selections are made for capacities between the charted numbers, always select the next larger size return air grille for better noise level performance.

Select "Listed Size" Based on (NOISE LEVEL) "Application" Chart Above

LISTED SIZE	ANEM. FREE EFFECTIVE AREA (SQ. FT.)	AIR CAPACITIES IN CFM							
		300 FPM	400 FPM	500 FPM	600 FPM	700 FPM	800 FPM	900 FPM	1000 FPM
18 x 8	291	87	118	148	175	204	233	262	291
12 x 8	354	107	142	178	214	249	285	320	356
10 x 8	391	119	159	199	239	279	318	358	398
12 x 8	485	148	194	243	291	340	388	437	485
14 x 8	574	172	230	287	344	402	458	517	574
12 x 12	750	225	300	375	450	525	600	675	750
20 x 10	104	312	416	520	624	728	832	936	104
18 x 12	113	339	452	565	678	791	904	1017	1130
36 x 8	126	378	504	630	756	882	1008	1134	1260
24 x 12	155	465	620	775	930	1085	1240	1395	1550
18 x 18	173	519	692	865	1038	1211	1384	1557	1730
24 x 14	181	543	724	905	1086	1267	1448	1629	1810
30 x 12	198	596	794	990	1178	1372	1568	1764	1960
24 x 18	240	720	890	1200	1440	1680	1920	2160	2400
30 x 18	301	903	1204	1505	1806	2107	2408	2709	3010
24 x 24	320	960	1280	1600	1920	2240	2560	2880	3200
36 x 18	361	1083	1444	1805	2166	2527	2888	3249	3610
30 x 24	405	1215	1620	2025	2430	2835	3240	3645	4050
36 x 24	483	1449	1932	2415	2906	3381	3864	4347	4830
36 x 30	510	1530	2040	2550	3060	3570	4080	4590	5100
36 x 36	508	1527	2038	2548	3054	3564	4072	4581	5090
48 x 24	650	1950	2600	3250	3900	4550	5200	5850	6500
48 x 36	814	2442	3258	4070	4884	5698	6512	7326	8140
48 x 36	884	2652	3538	4420	5304	6186	7072	7958	8840
Negative Static Pressure (in H ₂ O)		014	023	038	050	063	075	087	100

Add .05 to the static pressure shown when using a model RF-2 or RA-FB with filters.
 When aluminum egg crate is used, increase listed air capacities by 50%.
 When plastic egg crate is used, increase listed air capacities by 33%.
 When perforated core is used, decrease listed air capacities by 10%.

TD-12

AIRGUIDE CORPORATION, 795 WEST 20th STREET, HIALEAH, FLORIDA 33010 • PHONE: (306) 898-1531 • TELEX: 81-5032 • AGEX-IRLH

Tabla 26.

AVP Performance Data

4-Way Square, Rectangular

See Page TD-17 for Side A to B Throw Ratios



SIZE IN INCHES	NECK VEL. VEL. PRESS.	400	480	600	660	800	840	700
6x6 Ak .20	CFM FL Throw Tot. Press. NC	109 5-9 .031 18	112 5-9 .038 18	128 6-9 .050 17	137 7-10 .056 19	160 7-10 .066 20	182 8-11 .077 21	178 8-11 .081 22
8x8 Ak .24	CFM FL Throw Tot. Press. NC	224 8-12 .037 18	282 9-13 .051 18	290 10-14 .058 21	308 10-14 .069 22	338 11-15 .082 24	364 11-16 .085 25	382 12-18 .110 26
12x12 Ak .30	CFM FL Throw Tot. Press. NC	400 11-18 .040 18	480 12-18 .049 20	600 13-18 .063 22	660 14-20 .078 23	800 14-21 .089 25	840 15-22 .092 26	700 18-23 .121 29
15x15 Ak .37	CFM FL Throw Tot. Press. NC	624 14-21 .044 19	702 16-22 .060 21	780 17-23 .073 23	868 17-24 .083 25	936 18-25 .087 27	1014 19-26 .112 28	1082 19-28 .131 30
18x18 Ak 1.22 ..	CFM FL Throw Tot. Press. NC	808 18-25 .048 20	1012 20-28 .060 21	1128 20-28 .074 24	1240 21-29 .087 26	1360 21-30 .104 28	1482 22-32 .118 30	1578 23-33 .138 31
21x21 Ak 1.625 ..	CFM FL Throw Tot. Press. NC	1224 21-30 .049 20	1377 22-32 .061 22	1830 23-33 .074 24	1983 24-35 .086 26	1830 26-37 .105 27	1980 27-38 .120 29	2142 28-39 .138 31
24x24 Ak 2.10 ..	CFM FL Throw Tot. Press. NC	1800 23-33 .049 21	1800 25-36 .082 23	2000 26-37 .078 26	2300 28-39 .082 27	2400 30-41 .108 29	2600 30-42 .124 32	2800 31-44 .143 34
36x36 Ak 4.06 ..	CFM FL Throw Tot. Press. NC	3600 35-50 .059 26	4068 37-52 .077 27	4500 39-55 .081 30	4950 41-59 .114 33	5400 43-61 .138 36	5850 45-64 .158 38	6300 47-66 .181 40
48x48 Ak 7.88 ..	CFM FL Throw Tot. Press. NC	6400 47-66 .058 27	7200 50-70 .073 29	8000 52-74 .091 31	8900 55-78 .108 34	9900 58-82 .134 37	10,800 60-85 .148 40	11,200 62-88 .178 42
6x6 Ak .27	CFM FL Throw Tot. Press. NC	180 6-10 .030 14	189 7-11 .037 15	198 8-11 .048 17	208 8-12 .054 18	225 9-12 .063 19	244 9-13 .075 21	262 10-14 .088 22
8x12 Ak .32	CFM FL Throw Tot. Press. NC	300 7-12 .035 17	328 8-12 .044 18	390 9-13 .064 21	375 10-13 .084 22	300 10-14 .077 24	328 11-15 .087 25	380 11-16 .103 27
8x12 Ak .48	CFM FL Throw Tot. Press. NC	300 9-14 .037 18	396 11-16 .047 19	375 11-16 .057 19	413 12-17 .068 21	480 13-18 .080 23	498 13-18 .085 24	628 14-19 .107 26
8x15 Ak .36	CFM FL Throw Tot. Press. NC	378 11-18 .039 18	422 12-17 .049 20	489 13-19 .057 21	510 14-19 .062 23	583 14-20 .085 25	610 15-21 .095 26	686 15-21 .113 27
8x18 Ak .48	CFM FL Throw Tot. Press. NC	480 11-18 .044 17	504 14-18 .058 19	683 14-20 .070 21	819 15-20 .081 22	978 15-22 .096 24	783 16-22 .110 25	798 18-23 .129 27
8x21 Ak .74	CFM FL Throw Tot. Press. NC	624 13-18 .045 18	890 14-20 .057 20	848 15-21 .070 22	720 16-22 .083 23	786 16-23 .096 25	852 17-24 .112 27	817 18-25 .131 29
12x15 Ak .71	CFM FL Throw Tot. Press. NC	600 12-18 .045 17	682 14-20 .059 18	828 15-21 .072 21	848 16-22 .083 23	750 16-23 .087 25	813 17-24 .112 27	875 17-25 .131 29
12x18 Ak .89 ..	CFM FL Throw Tot. Press. NC	600 14-20 .045 18	878 16-22 .058 20	750 16-23 .070 22	828 17-24 .083 24	900 18-25 .095 26	875 18-26 .112 28	1060 19-27 .131 29
12x24 Ak 1.06 ..	CFM FL Throw Tot. Press. NC	900 16-24 .047 19	900 18-25 .058 20	1000 19-28 .072 22	1100 20-27 .085 24	1200 20-29 .101 26	1300 21-30 .118 28	1400 22-31 .135 30
15x18 Ak 1.03 ..	CFM FL Throw Tot. Press. NC	750 16-23 .049 18	844 17-24 .081 20	938 18-26 .073 22	1031 18-27 .087 24	1128 20-28 .101 26	1220 21-29 .117 28	1313 21-30 .133 29
18x24 Ak 1.896 ..	CFM FL Throw Tot. Press. NC	1200 18-28 .060 20	1386 20-30 .082 22	1800 23-32 .078 24	1860 24-34 .089 26	1900 25-36 .105 28	1980 26-37 .121 30	2100 27-38 .139 32

TD-22

AIRGUIDE CORPORATION, 795 WEST 20th STREET, HIALEAH, FLORIDA 33010 • PHONE: (305) 888-1831 • TELEX: 51-5032 • AGEX-HILM

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 Biblioteca Central

Tabla 28.

ROZAMIENTO EN CODOS RECTANGULARES

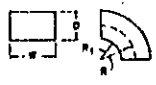
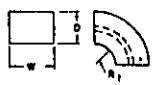
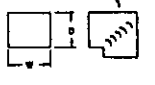
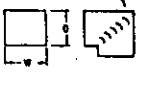
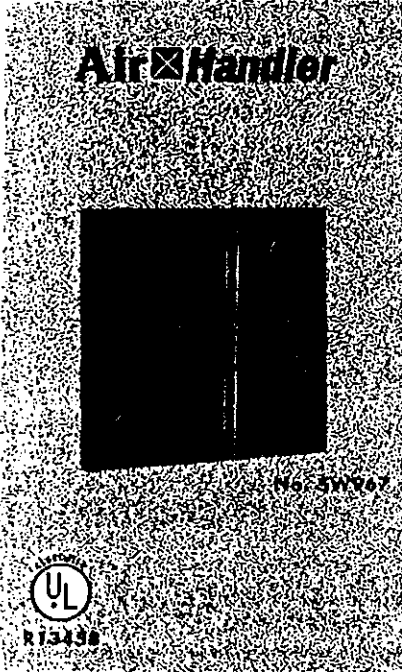
DIMENSIONES DEL CONDUCTO (cm)		CODO DE RADIO SIN GUÍAS	CODO DE RADIO CON GUÍAS***		CODOS CUADRADOS***			
								
W	D	Relación de radio ** R/D = 1,25	R _t = 160 mm (Recomendado)	R _t = 75 mm (Aceptable)	Guías cambio dirección Doble espesor	Guías cambio dirección Simple espesor		
LONGITUD ADICIONAL EQUIVALENTE DE CONDUCTO RECTO (METROS)								
240	120	9,22	13,40	Deflec- tores 2	12,60	3	11,80	17,70
	90	7,38	10,82	2	9,22	3	8,85	13,40
	75	6,51	9,22	2	11	2	7,30	10,95
	60	5,65	9,84	1	8,36	2	5,90	8,85
	50	4,67	8,23	1	7,30	2	5	7,30
180	120	8,25	13,04	2	11,92	3	10,45	17,70
	90	6,90	9,80	2	8,65	3	8,56	13,40
	75	6,20	8,40	2	9,80	2	7,43	10,95
	60	5,05	8,48	1	7,31	2	6,33	8,85
	50	4,42	6,76	1	6,75	2	6,31	7,30
	40	3,80	5,30	1	4,72	2	4,42	5,95
30	3,56			4,50	1	3,20	4,50	
150	120	8	12,17	2	11,43	3	9,74	17,70
	90	6,51	9,10	2	8,06	3	8,56	13,40
	75	6,65	7,50	2	9,20	2	6,88	10,95
	60	4,77	8,08	1	7,75	2	5,98	8,85
	50	4,18	6,44	1	6,17	2	5,01	7,30
	40	3,56	4,67	1	4,47	2	3,80	5,95
30	2,95			4,21	1	2,95	4,50	
120	240	13,31	10,48	3				
	120	7,67	10,38	2	9,98	3	8,55	17,70
	90	5,90	7,67	2	6,60	3	8,88	13,40
	75	5,28	6,88	2	8,40	2	8,20	10,95
	60	4,42	7,13	1	6,20	2	5,28	8,85
	50	4,18	5,65	1	5,03	2	4,46	7,30
	40	3,26	4,42	1	4,18	2	3,59	6,95
	30	2,62			3,80	1	2,95	4,50
	25	2,40			3,24	1	2,38	3,56
	20	2,39			2,67	1	2,08	2,98
105	105	6,81	8,23	2	7,57	3	7,17	15,55
	90	5,90	7,06	2	6,31	3	6,56	13,40
	75	5,03	6,30	2	7,74	2	5,92	10,95
	60	4,42	6,26	1	5,64	2	4,75	8,85
	50	3,67	5,28	1	4,70	2	4,18	7,30
	40	3,26	4,11	1	3,85	2	3,54	5,95
	30	2,66			3,80	1	2,66	4,50
	25	2,40			2,99	1	2,36	3,56
20	2,08			2,33	1	1,72	2,98	
90	180	10,04	8,04	3				
	90	5,60	6,59	2	5,69	3	5,90	13,40
	75	4,79	5,70	2	6,64	2	5,26	10,95
	60	4,14	5,95	1	6,47	2	4,42	8,85
	50	3,53	5,03	1	4,42	2	3,80	7,30
	40	2,98	3,82	1	3,62	2	3,25	5,95
	30	2,70			3,56	1	2,70	4,50
	25	2,36			2,65	1	2,33	3,56
	20	2,08			2,36	1	1,72	2,98
80	80	5,00	5,53	2	5,10	3	5,09	11,98
	75	4,76	5,45	2	6,20	2	5,03	10,95
	60	4,11	5,69	1	5,00	2	4,39	8,85
	50	3,54	4,87	1	4,18	2	3,56	7,30
	40	2,95	3,52	1	3,56	2	3,19	5,95
	30	2,33			3,51	1	2,33	4,50
	25	2,08			2,66	1	2,08	3,56
	20	1,72			2,38	1	1,72	2,98

Tabla 29.

EXTENDED SURFACE PLEATED AIR FILTERS

**AIR TREATMENT
FILTRATION**

STANDARD CAPACITY PLEATED AIR FILTERS



- Average (ASHRAE 52.1-1992) atmospheric efficiency of 20%-35%
- Average arrestance (weight) exceeds 92%
- Up to three times more efficient than conventional panel filters
- 200°F maximum temperature
- Priced each. Sold in full cartons

Applications: Pleated air filters are widely used as pre-filters for higher efficiency filters or as final filters. When used as a pre-filter, these medium efficient filters will add substantially to the life of more expensive high efficiency filters. When used as a final filter, these filters will be up to three times more efficient than conventional filters. The pleated design offers greater dust holding capacity and longer life. Generally, the deeper the pleats, the longer the filter will last between filter changes.

Construction: The pleated filter pack is enclosed in a heavy-duty, moisture resistant die cut frame that will not crack, warp, or distort under normal operating conditions. The pleated media is a nonwoven cotton/synthetic blend, reinforced with galvanized expanded metal. Air Handler brand.

**TELL US WHAT YOU NEED—WE'LL DO
OUR BEST TO HELP YOU!**

FILTER SPECIFICATIONS							
Filter Depth	Pleats Per Linear Ft.	FPM (Medium)	FPM (High)	Initial Resistance (Medium)	Initial Resistance (High)	Recommended Final Resistance	
1"	12	375	600	0.22"	.40"	1.0"	
2"	10	375	600	0.18"	.26"	1.0"	
4"	9	600	625	0.22"	.31"	1.0"	

FILTER ORDERING DATA												
Nominal Size H x W x D			Actual Size H x W x D			Media Area Sq. Ft.	Carton Quantity	Stock No.	List	Each	Case	Wt.
8"	x 16"	x 1"	7 1/4"	x 15 1/4"	x 3/4"	1.7	12	5W967	\$4.86	\$3.83	10.3	
8"	x 30	x 1"	7 1/4"	x 29 1/4"	x 3/4"	2.9	12	6B989	6.76	5.03	10.5	
10"	x 10	x 1"	9 1/4"	x 9 1/4"	x 3/4"	1.0	12	5W968	4.86	3.83	10.3	
10"	x 20	x 1"	9 1/4"	x 19 1/4"	x 3/4"	2.6	12	5W890	5.23	3.90	10.7	
10"	x 24	x 1"	9 1/4"	x 23 1/4"	x 3/4"	3.1	12	5W969	4.86	3.85	10.6	
10"	x 25	x 1"	9 1/4"	x 24 1/4"	x 3/4"	3.3	12	5E998	6.76	5.52	10.6	
10"	x 30	x 1"	9 1/4"	x 29 1/4"	x 3/4"	3.6	12	6U583	6.29	5.48	10.6	
12"	x 12	x 1"	11 1/4"	x 11 1/4"	x 3/4"	1.9	12	4E505	5.23	3.73	10.7	
12"	x 16	x 1"	11 1/4"	x 15 1/4"	x 3/4"	2.5	12	5E874	6.27	5.13	10.4	
12"	x 18	x 1"	11 1/4"	x 17 1/4"	x 3/4"	2.6	12	6U582	6.88	4.70	10.4	
12"	x 20	x 1"	11 1/4"	x 19 1/4"	x 3/4"	3.2	12	6C519	6.13	3.83	10.6	
12"	x 24	x 1"	11 1/4"	x 23 1/4"	x 3/4"	3.8	12	4E437	6.23	3.71	10.7	
12"	x 25	x 1"	11 1/4"	x 24 1/4"	x 3/4"	4.0	12	6C520	6.76	4.12	10.6	
12"	x 30	x 1"	11 1/4"	x 29 1/4"	x 3/4"	4.4	12	6U581	6.80	5.93	10.6	
12"	x 30	x 1"	11 1/4"	x 30 1/4"	x 3/4"	4.5	12	6B999	6.83	5.94	10.6	
14"	x 20	x 1"	13 1/2"	x 19 1/2"	x 3/4"	3.7	12	5W891	5.23	3.74	10.7	
14"	x 24	x 1"	13 1/2"	x 23 1/4"	x 3/4"	4.4	12	5W970	6.19	4.13	10.7	
14"	x 25	x 1"	13 1/2"	x 24 1/4"	x 3/4"	4.6	12	5W892	5.23	3.88	10.7	
14"	x 30	x 1"	13 1/2"	x 29 1/4"	x 3/4"	6.1	12	6B998	7.31	6.38	10.7	
15"	x 20	x 1"	14 1/4"	x 19 1/4"	x 3/4"	3.9	12	5W893	5.23	3.88	10.7	
15"	x 25	x 1"	14 1/4"	x 24 1/4"	x 3/4"	4.9	12	5W971	6.19	4.13	10.7	
15"	x 30	x 1"	14 1/4"	x 29 1/4"	x 3/4"	5.5	12	6B997	7.68	6.61	10.7	
15"	x 30	x 1"	14 1/4"	x 30 1/4"	x 3/4"	6.7	12	6B996	7.61	6.62	10.7	
16"	x 16	x 1"	16 1/4"	x 16 1/4"	x 3/4"	3.4	12	5W972	6.19	4.12	10.6	
16"	x 20	x 1"	16 1/4"	x 19 1/4"	x 3/4"	4.2	12	5W509	5.23	3.76	10.7	
16"	x 22	x 1"	16 1/4"	x 22 1/4"	x 3/4"	4.5	12	6B995	6.80	5.92	10.6	
16"	x 24	x 1"	16 1/4"	x 23 1/4"	x 3/4"	5.0	12	5W973	6.19	4.13	10.7	
16"	x 25	x 1"	16 1/4"	x 24 1/4"	x 3/4"	6.2	12	5W510	5.88	4.14	10.8	
18"	x 18	x 1"	17 1/4"	x 17 1/4"	x 3/4"	4.3	12	5E875	6.76	5.51	10.5	
18"	x 20	x 1"	17 1/4"	x 19 1/4"	x 3/4"	4.8	12	5W974	6.19	4.13	10.7	
18"	x 22	x 1"	17 1/4"	x 21 1/4"	x 3/4"	5.2	12	5E876	7.38	6.00	10.6	
18"	x 24	x 1"	17 1/4"	x 23 1/4"	x 3/4"	5.6	12	5W975	6.76	4.56	10.8	
18"	x 25	x 1"	17 1/4"	x 24 1/4"	x 3/4"	6.9	12	6C521	6.45	4.57	10.8	
19"	x 27	x 1"	18 1/4"	x 26 1/4"	x 3/4"	6.2	12	6B994	8.09	7.05	10.8	
20"	x 20	x 1"	19 1/4"	x 19 1/4"	x 3/4"	6.2	12	5W511	6.88	4.14	10.8	
20"	x 22	x 1"	19 1/4"	x 22 1/4"	x 3/4"	6.6	12	6B993	7.34	6.39	10.7	
20"	x 24	x 1"	19 1/4"	x 23 1/4"	x 3/4"	6.3	12	5W976	6.76	4.85	10.8	
20"	x 25	x 1"	19 1/4"	x 24 1/4"	x 3/4"	6.5	12	5W512	6.68	4.50	10.9	
20"	x 30	x 1"	19 1/4"	x 29 1/4"	x 3/4"	7.3	12	6B992	8.85	7.69	10.9	
22"	x 22	x 1"	21 1/4"	x 21 1/4"	x 3/4"	6.4	12	5E877	7.99	6.50	10.7	
22"	x 22	x 1"	21 1/4"	x 24 1/4"	x 3/4"	6.7	12	6B991	8.16	7.08	10.8	
24"	x 24	x 1"	23 1/4"	x 23 1/4"	x 3/4"	7.5	12	5W513	7.40	4.64	10.9	
24"	x 30	x 1"	23 1/4"	x 29 1/4"	x 3/4"	8.8	12	6B990	9.91	8.62	11.0	
25"	x 25	x 1"	24 1/4"	x 24 1/4"	x 3/4"	8.2	12	6C522	7.80	5.37	11.0	
10"	x 10	x 2	9 1/4"	x 9 1/4"	x 1 1/4"	2.2	12	5W977	6.40	4.15	10.3	
10"	x 20	x 2	9 1/4"	x 19 1/4"	x 1 1/4"	4.2	12	6C514	6.12	4.15	10.8	
12"	x 20	x 2	11 1/4"	x 19 1/4"	x 1 1/4"	5.3	12	5E878	7.65	6.00	10.7	
12"	x 24	x 2	11 1/4"	x 23 1/4"	x 1 1/4"	6.3	12	2W234	6.12	4.10	11.0	
14"	x 20	x 2	13 1/4"	x 19 1/4"	x 1 1/4"	6.3	12	6C515	6.42	4.20	10.8	
14"	x 25	x 2	13 1/4"	x 24 1/4"	x 1 1/4"	7.9	12	6C516	7.88	4.49	11.0	
15"	x 20	x 2	14 1/4"	x 19 1/4"	x 1 1/4"	6.9	12	6C517	6.42	4.21	10.9	
16"	x 16	x 2	16 1/4"	x 16 1/4"	x 1 1/4"	6.6	12	5W978	6.88	4.50	10.8	
16"	x 20	x 2	16 1/4"	x 19 1/4"	x 1 1/4"	6.9	12	2W230	6.66	4.90	11.0	
16"	x 24	x 2	16 1/4"	x 23 1/4"	x 1 1/4"	8.2	12	5W979	6.88	4.91	11.0	
16"	x 25	x 2	16 1/4"	x 24 1/4"	x 1 1/4"	8.6	12	2W231	7.63	4.92	11.2	
18"	x 22	x 2	17 1/4"	x 21 1/4"	x 1 1/4"	8.8	12	5E879	8.60	6.84	10.9	
18"	x 24	x 2	17 1/4"	x 23 1/4"	x 1 1/4"	9.5	12	5W514	8.67	6.90	11.2	
18"	x 25	x 2	17 1/4"	x 24 1/4"	x 1 1/4"	9.9	12	5E880	8.68	6.70	11.1	
20"	x 20	x 2	19 1/4"	x 19 1/4"	x 1 1/4"	9.0	12	2W232	7.63	4.40	11.2	
20"	x 24	x 2	19 1/4"	x 23 1/4"	x 1 1/4"	10.8	12	5W515	8.67	4.89	11.3	
20"	x 25	x 2	19 1/4"	x 24 1/4"	x 1 1/4"	11.2	12	2W233	8.67	4.87	11.3	
24"	x 24	x 2	23 1/4"	x 23 1/4"	x 1 1/4"	12.7	12	2W235	9.62	6.73	11.6	
25"	x 25	x 2	24 1/4"	x 24 1/4"	x 1 1/4"	14.0	12	6C518	9.79	6.12	11.4	
12"	x 24	x 4	11 1/4"	x 23 1/4"	x 3/4"	11.3	6	2W238	11.51	8.54	11.6	
16"	x 28	x 4	16 1/4"	x 18 1/4"	x 3/4"	12.5	6	5W516	12.81	10.96	11.8	
16"	x 28	x 4	16 1/4"	x 24 1/4"	x 3/4"	15.6	6	5W517	12.81	10.77	12.0	
18"	x 24	x 4	17 1/4"	x 23 1/4"	x 3/4"	17.6	6	5W518	16.16	10.94	12.1	
20"	x 24	x 4	18 1/4"	x 19 1/4"	x 3/4"	16.6	6	2W236	13.02	10.77	12.2	
20"	x 24	x 4	18 1/4"	x 23 1/4"	x 3/4"	18.8	6	6C437	16.16	10.74	12.2	
20"	x 25	x 4	18 1/4"	x 24 1/4"	x 3/4"	19.5	6	2W237	16.16	10.74	12.2	
24"	x 28	x 4	24 1/4"	x 23 1/4"	x 3/4"	22.5	6	2W239	18.88	10.77	12.1	
25"	x 29	x 4	24 1/4"	x 28 1/4"	x 3/4"	20.0	3	6C438	20.88	13.86	12.1	
28"	x 30	x 4	27 1/4"	x 28 1/4"	x 3/4"	33.1	3	6C439	30.14	21.57	12.1	

SEE WARRANTY INFORMATION ON PAGE OPPOSITE INSIDE BACK COVER

Tabla 30.

SYNTHETIC POCKET AIR FILTERS

AIR TREATMENT:
FILTRATION

- Medium and high efficiency
- Replaces fiberglass pocket filters; does not shed fiberglass particles downstream during shut-off
- 13/16" galvanized steel header
- Priced singly, sold in full cartons

Applications: Medium and high efficiency pocket filters are designed for use in areas that require a high degree of air cleanliness including hospitals, schools, industrial facilities and office complexes. Pocket filters excel in both dust holding capacity and filter efficiency. Greater dust holding capacity means longer service life and lower operating costs. Two filters per carton. Air Handler brand.

Media Construction: Pocket filters are constructed of ultra fine synthetic media specifically designed for each efficiency range. The media is supported on the air leaving side by a reinforced backing mate-

rial.
Frame Construction: The 1/16" frame (header) is 24 gauge galvanized steel. The galvanized steel pocket dividers add significantly to the overall strength of the filter as well as directing air evenly into each pocket.

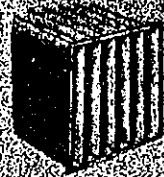
Pocket Construction: The media is sewn together using an expanded string stitch to maintain uniform and accurate spacing. Each stitch is sealed with a hot melt sealant. Double lock-stitched edges for maximum durability and security.

MEDIA IDENTIFICATION CHART

Media Color	Average Efficiency ASHRAE 52.1-1992
Yellow	90-95%
Pink	80-85%
Orange*	60-65%
Yellow/Tan	40-60%

(* Synthetic Pocket Filters only.)

NEW Product Offering



Air Handler

ACTUAL HEADER SIZE CHART

Nominal			Actual		
12"	x 24"	x 1"	11 3/4"	x 23 3/4"	x 1 1/16"
20"	x 24"	x 1"	19 3/4"	x 23 3/4"	x 1 1/16"
24"	x 24"	x 1"	23 3/4"	x 23 3/4"	x 1 1/16"

Filter Efficiency	Nominal Size H x W x D	No. of Pockets	Media Area Sq. Ft.	Air Flow CFM			Initial Resistance			Recommended Final Resistance	Stock No.	List	Each	Shpg. Wt.
				L	M	H	L	M	H					
90-95%	24" x 24" x 36"	8	108	2000	2500	3000	0.40	0.65	0.77	1.0	6B626	\$118.35	\$81.30	4.0
90-95%	24" x 24" x 36"	7	94	1500	2000	2500	0.40	0.50	0.65	1.0	6B635	105.22	72.25	3.7
90-95%	24" x 24" x 36"	6	81	1500	2000	2500	0.42	0.52	0.67	1.0	6B639	92.13	63.30	3.5
90-95%	24" x 24" x 29"	8	90	1500	2000	2500	0.45	0.55	0.65	1.0	6B627	101.13	69.50	3.8
90-95%	24" x 24" x 29"	6	68	1500	2000	2500	0.50	0.60	0.70	1.0	6B640	79.28	54.45	3.3
90-95%	24" x 24" x 22"	8	66	1000	1500	2000	0.40	0.50	0.60	1.0	6B628	83.96	57.70	3.5
90-95%	24" x 24" x 22"	6	60	1000	1500	2000	0.40	0.50	0.65	1.0	6B641	66.43	45.65	3.1
90-95%	24" x 24" x 18"	6	41	800	1000	1250	0.40	0.45	0.55	1.0	6B642	59.03	40.55	3.0
90-95%	24" x 20" x 29"	7	76	1200	1600	2000	0.50	0.60	0.70	1.0	6B636	91.13	62.65	3.4
90-95%	24" x 12" x 36"	4	54	1000	1250	1500	0.40	0.55	0.75	1.0	6B658	66.41	45.00	2.9
90-95%	24" x 12" x 36"	3	41	750	1000	1250	0.45	0.55	0.65	1.0	6B666	51.87	35.65	2.0
90-95%	24" x 12" x 29"	4	45	750	1000	1250	0.45	0.55	0.65	1.0	6B659	56.82	39.05	2.2
90-95%	24" x 12" x 29"	3	34	750	1000	1250	0.50	0.60	0.70	1.0	6B667	46.46	31.30	1.9
90-95%	24" x 12" x 22"	3	25	500	750	1000	0.40	0.50	0.65	1.0	6B668	38.09	26.80	1.8
90-95%	24" x 12" x 18"	3	21	375	500	625	0.40	0.45	0.55	1.0	6B669	36.33	24.25	1.8
80-85%	24" x 24" x 36"	8	108	2000	2500	3000	0.40	0.57	0.70	1.0	6B624	114.51	78.65	4.3
80-85%	24" x 24" x 36"	7	94	2000	2500	3000	0.40	0.57	0.70	1.0	6B629	103.29	71.00	4.0
80-85%	24" x 24" x 36"	6	81	1500	2000	2500	0.31	0.42	0.60	1.0	6B643	80.90	55.60	3.6
80-85%	24" x 24" x 29"	8	90	1500	2000	2500	0.30	0.40	0.55	1.0	6B630	89.01	61.15	3.8
80-85%	24" x 24" x 29"	6	68	1500	2000	2500	0.35	0.45	0.60	1.0	6B644	70.19	48.20	3.3
80-85%	24" x 24" x 22"	8	66	1000	1500	2000	0.20	0.30	0.40	1.0	6B631	74.82	51.40	3.5
80-85%	24" x 24" x 22"	6	60	1000	1500	2000	0.25	0.35	0.50	1.0	6B645	59.50	40.90	3.1
80-85%	24" x 24" x 18"	6	41	800	1000	1250	0.25	0.35	0.45	1.0	6B646	53.40	38.70	3.0
80-85%	24" x 20" x 29"	7	76	1200	1600	2000	0.30	0.40	0.50	1.0	6B637	79.10	54.40	3.4
80-85%	24" x 12" x 36"	4	51	1000	1250	1500	0.45	0.55	0.65	1.0	6B660	57.88	39.80	2.3
80-85%	24" x 12" x 36"	3	41	750	1000	1250	0.35	0.45	0.55	1.0	6B670	46.21	31.80	2.0
80-85%	24" x 12" x 29"	4	45	750	1000	1250	0.30	0.40	0.55	1.0	6B661	50.76	34.90	2.2
80-85%	24" x 12" x 29"	3	34	750	1000	1250	0.35	0.45	0.60	1.0	6B671	40.90	28.15	1.9
80-85%	24" x 12" x 22"	4	33	500	750	1000	0.20	0.30	0.40	1.0	6B662	43.66	30.05	2.0
80-85%	24" x 12" x 22"	3	25	500	750	1000	0.25	0.35	0.50	1.0	6B672	36.56	24.42	1.8
80-85%	24" x 12" x 18"	3	21	375	500	625	0.25	0.35	0.45	1.0	6B673	32.50	22.32	1.8
60-65%	24" x 24" x 36"	8	108	2000	2500	3000	0.40	0.50	0.65	1.0	6B625	102.79	70.65	4.3
60-65%	24" x 24" x 36"	7	94	2000	2500	3000	0.40	0.50	0.65	1.0	6B632	92.90	63.85	4.0
60-65%	24" x 24" x 36"	6	81	1500	2000	2500	0.20	0.30	0.47	1.0	6B647	73.08	50.25	3.6
60-65%	24" x 24" x 29"	8	90	1500	2000	2500	0.20	0.30	0.45	1.0	6B633	80.66	55.45	3.8
60-65%	24" x 24" x 29"	6	68	1500	2000	2500	0.35	0.45	0.60	1.0	6B648	63.94	43.95	3.3
60-65%	24" x 24" x 22"	8	66	1000	1500	2000	0.18	0.25	0.34	1.0	6B634	69.48	47.05	3.5
60-65%	24" x 24" x 22"	6	60	1000	1500	2000	0.20	0.28	0.40	1.0	6B649	54.77	37.65	3.1
60-65%	24" x 24" x 18"	6	41	800	1000	1250	0.30	0.40	0.55	1.0	6B650	49.62	34.05	3.0
60-65%	24" x 20" x 29"	7	76	1000	1200	1400	0.28	0.36	0.44	1.0	6B638	71.83	49.35	3.2
60-65%	24" x 12" x 36"	4	51	1000	1250	1500	0.45	0.55	0.70	1.0	6B663	62.70	36.20	2.3
60-65%	24" x 12" x 36"	3	41	750	1000	1250	0.20	0.30	0.45	1.0	6B664	46.63	32.05	2.2
60-65%	24" x 12" x 29"	4	45	750	1000	1250	0.18	0.25	0.34	1.0	6B665	40.49	27.85	2.0
60-65%	24" x 12" x 22"	4	33	600	750	1000	0.20	0.30	0.45	1.0	6B674	42.36	29.10	2.0
55-65%	24" x 12" x 36"	3	41	750	1000	1250	0.35	0.45	0.60	1.0	6B675	37.76	26.00	1.9
55-65%	24" x 12" x 29"	3	34	750	1000	1250	0.35	0.45	0.60	1.0	6B676	33.19	22.78	1.8
55-65%	24" x 12" x 22"	3	25	500	750	1000	0.20	0.28	0.40	1.0	6B677	30.65	20.97	1.8
55-65%	24" x 12" x 18"	3	21	375	500	625	0.30	0.40	0.55	1.0				
40-50%	24" x 24" x 21"	6	48	2000	2500	3000	0.20	0.35	0.50	1.0	6B651	48.08	33.10	3.1
40-50%	24" x 24" x 14"	6	32	1500	2000	2500	0.20	0.30	0.40	1.0	6B652	40.67	28.00	2.9
40-50%	24" x 24" x 10"	6	24	1200	1600	2000	0.20	0.30	0.40	1.0	6B653	36.43	25.05	2.8
40-50%	24" x 20" x 21"	6	40	1500	2000	2500	0.20	0.35	0.50	1.0	6B654	41.84	28.75	2.8
40-50%	24" x 20" x 14"	6	28	1125	1500	2000	0.20	0.30	0.40	1.0	6B655	36.70	24.51	2.6
40-50%	24" x 12" x 21"	3	24	1000	1250	1500	0.20	0.35	0.50	1.0	6B678	29.86	20.50	1.8
40-50%	24" x 12" x 14"	3	16	750	1000	1250	0.20	0.30	0.40	1.0	6B679	26.18	17.97	1.7
40-50%	24" x 12" x 10"	3	12	600	800	1000	0.20	0.30	0.40	1.0	6B680	24.02	16.49	1.7
40-50%	20" x 20" x 21"	6	37	1400	1750	2100	0.20	0.35	0.50	1.0	6B656	41.84	28.75	2.8
40-50%	20" x 20" x 14"	6	24	1050	1050	1325	0.20	0.35	0.40	1.0	6B657	36.70	24.51	2.6

SEE WARRANTY INFORMATION ON PAGE OPPOSITE INSIDE BACK COVER