



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

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE RENOVACIÓN DE AIRE PARA SALA DE
MÁQUINAS DE COGENERACIÓN**

José Angel Basegoda Castillo

Asesorado por el Ing. Carlos Eduardo Rodríguez Pazos

Guatemala, julio de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE RENOVACIÓN DE AIRE PARA SALA DE
MÁQUINAS DE COGENERACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

JOSÉ ANGEL BASEGODA CASTILLO

ASESORADO POR EL ING. CARLOS EDUARDO RODRIGUEZ PAZOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JULIO DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Roberto Mayorga Rouge
EXAMINADOR	Ing. Benjamín Herrarte López
EXAMINADOR	Ing. Jorge Chilo Siguere Rockstroh
EXAMINADOR	Ing. David Enrique Aldana Fernández
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

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 graduación titulado:

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE RENOVACIÓN DE AIRE PARA SALA DE MÁQUINAS DE COGENERACIÓN,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, el 13 de septiembre de 2006.

José Angel Basegoda Castillo

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 graduación titulado:

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE RENOVACIÓN DE AIRE PARA SALA DE MÁQUINAS DE COGENERACIÓN,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, el 13 de septiembre de 2006.



Jose Angel Basegoda Castillo

Guatemala, 7 de Mayo de 2,007

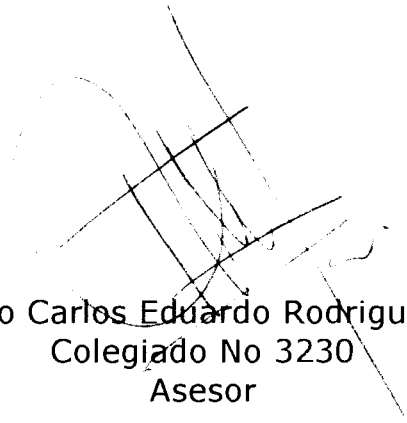
Ingeniero Fredy Mauricio Monroy Peralta
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Estimado Ingeniero:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he revisado y aprobado el trabajo de graduación titulado "**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE RENOVACIÓN DE AIRE PARA SALA DE MÁQUINAS DE COGENERACIÓN**", desarrollado por el Señor Jose Angel Basegoda Castillo, previo a optar el título de Ingeniero Mecánico, estando de acuerdo con el contenido del mismo.

Agradeciendo su atención, me suscribo,

Atentamente:

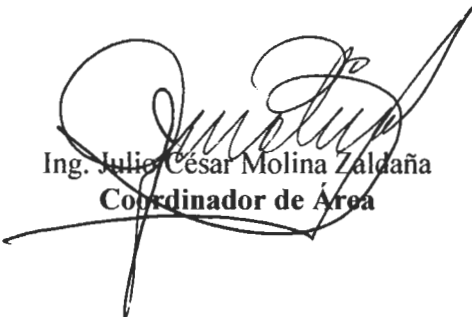


Ingeniero Carlos Eduardo Rodriguez Pazos
Colegiado No 3230
Asesor



El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado PROPUESTA DE UN SISTEMA DE RENOVACIÓN DE AIRE PARA SALA DE MÁQUINAS DE COGENERACIÓN, del estudiante José Angel Basegoda Castillo, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Julio César Molina Zaldaña
Coordinador de Área

Guatemala, junio de 2007.

/behdei



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Térmica al Trabajo de Graduación titulado PROPUESTA DE UN SISTEMA DE RENOVACIÓN DE AIRE PARA SALA DE MÁQUINAS DE COGENERACIÓN del estudiante José Angel Basegoda Castillo procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
DIRECTOR



Guatemala, julio de 2007.

/behdei



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE UN SISTEMA DE RENOVACIÓN DE AIRE PARA SALA DE MÁQUINAS DE COGENERACIÓN**, presentado por el estudiante universitario **José Angel Basegoda Castillo**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, julio de 2007

ACTO QUE DEDICO A

DIOS

El principio del conocimiento es el temor del Señor. Pro 1:7

MI PADRE

Por el trazo del camino a seguir.

MI MADRE

Por su amor, apoyo y entrega.

MI ESPOSA

Por su amor y fortaleza.

MIS HIJOS

Por su amor y sueños de superación.

MIS HERMANOS

Por el amor que nos mantiene unidos.

FACULTAD DE INGENIERÍA

Por brindarme la oportunidad de estudio.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1 CONDICIONES ACTUALES DE LAS MÁQUINAS DE COGENERACIÓN	1
2 RENOVACIÓN DE AIRE	7
3 CAUDAL DE RENOVACIÓN DE AIRE	13
4 CONTROL AMBIENTAL	15
5 CAUDAL DE AIRE PARA CONTROL AMBIENTAL	17
6 ÍNDICE DE RENOVACIÓN	19
7 TEMPERATURA DEL AIRE DE RENOVACIÓN	23
8 EQUIPOS PARA RENOVACIÓN DE AIRE	29
8.1 Ventilador	31
8.2 Filtros	33
8.3 Lavador de aire	36
8.4 Sistema de ductos	37
8.5 Persianas de sobrepresión	42
9 COSTO DE LA RENOVACIÓN DEL AIRE	45
10 CONSERVACIÓN DEL AIRE	47
10.1 Reducción del caudal total	47
10.2 Aporte de aire exterior sin calentar	49
10.3 Recuperación de energía	49

11	EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE EXPOSICIÓN DE LOS TRABAJADORES	51
12	PRESENTACIÓN DE PROPUESTA	55
12.1	Selección del lavador de aire	56
12.1.1	Características del lavador de aire	58
12.2	Ductos	60
12.3	Rejillas de suministro y evacuación de aire	63
12.4	Selección del ventilador	64
	CONCLUSIONES	67
	RECOMENDACIONES	69
	BIBLIOGRAFÍA	71
	APÉNDICE	73
	ANEXOS	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Zona afectada por infiltraciones	8
2	Cómo disminuye la capacidad de un ventilador cuando existe presión negativa	9
3	Relación entre presión negativa y la fuerza necesaria para abrir una puerta	11
4	Geometría de los chorros de aire y distancias para diferentes posiciones de rejilla	24
5	Representación del sistema evaporativo en la carta psicrométrica	27
6	Ciclos operativos del enfriamiento evaporativo indirecto	30
7	Punto de operación de un ventilador	33
8	Rejilla o veneziana exterior	42
9	Damper de sobrepresión	43
10	Rejillas de admisión	44
11	Diagrama esquemático del ambiente a climatizar	56
12	Representación de los datos del proyecto en la carta psicrométrica	57
13	Diagrama esquemático del lavador de aire y ventilador	58
14	Disposición del ducto para el suministro de aire	62

TABLAS

I	Límites orientativos de la resistencia del aislamiento en Máquinas eléctricas.	XVI
II	Índice de polarización.	XVI
III	Velocidades en aberturas y rendijas.	10
IV	Presiones negativas y sus efectos.	11
V	Tabla de renovaciones por hora.	20
VI	Caudales aconsejados por personas y por metro cuadrado.	21
VII	Valores medios de la velocidad del aire.	22
VIII	Tipos de filtros y diámetros de las partículas.	35
IX	Velocidades estipuladas.	60
X	Dimensiones y caudales para el ducto de suministro de aire.	62

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
a	Lado del ducto rectangular
b	Lado del ducto rectangular
c	Coefficiente de pérdida
°C	Grados centígrados
d	Diámetro del ducto circular
dB(A)	Decibeles, nivel de sonido
H	Altura del recinto, metros
HP	Potencia, caballos de fuerza
Hr	Humedad relativa, %
Hz	Frecuencia, Hertz
h	Entalpía kJ / Kg aire seco
Δh	Variación de entalpía
kW	Kilowatts
kVA	Kilo volt amperio
L	Largo del recinto, metros
m	Metro
m²	Metros cuadrados
m³	Metros cúbicos
mg / m³	Miligramos por metro cúbico
mmcda	Milímetros de columna de agua
m / s	Metros por segundo
m³ / h	Metros cúbicos por hora
No R	Número de renovaciones por hora
N	Eficiencia
PEV	Presión estática del ventilador

PTV	Presión total del ventilador
Pe	Presión estática, mmcda
Pd	Presión dinámica, mmcda
Pt	Presión total, mmcda
Q	Caudal de aire, m ³ / h
Rpm	Revoluciones por minuto
r	Relación de aspecto (a / b)
S	Sección transversal del ducto, m ²
Te	Temperatura de entrada del aire, °C
Ts	Temperatura de salida del aire, °C
Tbh	Temperatura de bulbo húmedo, °C
Vr	Volumen de aire del recinto, m ³
v	Velocidad, m / s
W	Ancho del recinto, metros
%	Porcentaje
π	Pi, 3.1416
Ø	Diámetro, metros

GLOSARIO

Aire de renovación	Término empleado en ventilación para indicar el volumen de aire exterior que, de forma controlada es introducido en un recinto para sustituir el aire extraído.
Alcance	En distribución de aire, la distancia que una corriente de aire recorre desde una rejilla de impulsión hasta un punto en el que su velocidad en el eje se reduce a 0.5 m / s.
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.
Calor latente	Es la cantidad de calor necesario para cambiar el estado de un cuerpo sin alterar su temperatura, no es percibido por el cuerpo humano.
Calor sensible	Es el calor que cede o absorbe un cuerpo sin cambiar de estado. Es el calor evidente al tacto, se puede medir con un termómetro.
Carta Psicrométrica	Gráfica que representa las propiedades del aire atmosférico.
Cogeneración	Es la producción secuencial de calor y fuerza (mecánica o eléctrica) necesarios para un proceso industrial. También se define como la recuperación de energía para ser utilizada en un proceso industrial.

Damper	Mecanismo para regular el flujo de aire en un ducto o un recinto.
Entalpía	Es la energía almacenada en forma de temperatura y presión, es el contenido de calor, la suma del calor latente más el calor sensible.
Filtro de Aire	Depurador destinado a separar del aire atmosférico pequeñas partículas antes de que el aire sea introducido al recinto.
Humedad absoluta	Peso de vapor de agua por unidad de volumen, gramos por centímetro cuadrado.
Humedad relativa	Cociente entre la presión parcial del vapor de agua en un espacio y la presión de saturación del agua pura a la misma temperatura.
Índice de polarización	Es la medida del cambio en la resistencia del aislamiento, con el tiempo de duración para el cual la prueba es aplicada. Se realiza la aplicación de un megóhmetro por 10 minutos determinando la resistencia del aislamiento a 1 y 10 minutos, ambas lecturas deben corregirse para una temperatura de 40 °C.
Milímetro de columna de agua	Unidad de presión igual a la presión ejercida por una columna de agua de un milímetro de altura a temperatura estándar. Equivale a 1 Kg / m ² .

Nivel sonoro	Es el nivel de sonido, son criterios que sirven para establecer normas.
Pérdida de carga	Caída de presión en un fluido desde un punto de una tubería o ducto a otro, debido a las pérdidas por rozamiento.
Presión de vapor	Presión ejercida por un vapor. Si sobre un líquido que permanece a temperatura constante se mantiene confinado su vapor, la presión ejercida por éste se aproxima a un límite fijo llamado presión de vapor o presión de saturación, valor que depende de la temperatura y del líquido que se trate.
Presión dinámica	Presión cinética en la dirección del flujo, que es necesaria para hacer que un fluido en reposo fluya a una determinada velocidad. Se expresa normalmente en mmcda.
Presión estática	Presión potencial ejercida en todas direcciones, por un fluido en reposo. Para un fluido en movimiento se mide en dirección perpendicular a la del flujo. Normalmente, se expresa, cuando se trata de aire, en mmcda.
Presión total	Suma algebraica de las presiones estática y dinámica, con especial atención al signo. Se expresa en mmcda.
Proceso adiabático	Es el proceso en el que el cambio de calor es nulo con el medio exterior.

Resistencia de aislamiento	<p>La resistencia de aislamiento es determinada por la aplicación de una tensión de corriente continua (CC), típicamente de 500 o 1000 Voltios, a través del aislamiento, midiéndose el flujo de corriente después que la tensión ha sido aplicada por un período de tiempo específico y determinándose luego la media de la tensión para la corriente.</p> <p>La resistencia del aislamiento medido por un megóhmetro de 500 o de 1000 Voltios no debe ser menor que:</p> $R = KV + 1$ <p>Donde:</p> <p style="padding-left: 40px;">R = Resistencia de aislamiento en megohmios (MΩ)</p> <p style="padding-left: 40px;">KV = Tensión nominal del devanado en Kilovoltios.</p>
Recinto	<p>Espacio comprendido dentro de ciertos límites y para el cual se hará el cálculo de la ventilación.</p>
Temperatura bulbo húmedo	<p>Es la temperatura indicada por un termómetro cuyo bulbo se halla envuelto por un trozo de gasa empapada de agua destilada y ventilado con una velocidad de aire suficiente.</p>
Turbogenerador	<p>Equipo para generar energía eléctrica compuesto principalmente por una turbina de vapor y un generador acoplados por un reductor de velocidad.</p>

RESUMEN

La necesidad de optimizar los recursos dentro de las industrias, ha llevado a desarrollar formas alternas de obtener energía eléctrica de sus procesos, por lo que la adquisición de generadores de energía eléctrica ha ido en aumento conforme va aumentando la demanda de energía. Los generadores cada vez son de mayor capacidad y de mejor desarrollo tecnológico.

Al ambiente en que los generadores operan no se le ha prestado mucha atención y no siempre reúne las condiciones adecuadas para la correcta operación, según las recomendaciones de los fabricantes. El presente trabajo trata de proponer la renovación para el aire del recinto utilizando un sistema que está cobrando auge y que cada vez tiene más áreas de aplicación en la industria.

El enfriamiento evaporativo es un sistema de diseño sencillo que está siendo utilizado para limpiar y renovar el aire de los recintos para generadores de energía eléctrica, se basa en la evaporación de agua en una corriente de aire que como resultado disminuye su temperatura y aumenta su humedad relativa, en un proceso adiabático. Además, los fabricantes de éstos sistemas han ido desarrollando y mejorando los accesorios de distribución, con lo que puede lograrse corrientes de aire uniformes, con velocidad y capacidad sonora razonables que complementan la temperatura adecuada dentro del recinto.

Esta tecnología esta disponible en el mercado internacional y su aplicación en el país es viable, su justificación puede basarse en la necesidad de que los equipos operen con el mínimo de paradas, especialmente para limpieza de sus devanados internos, y que estén disponibles la mayor parte del tiempo para cumplir con los contratos de generación de energía eléctrica, así como prolongar su vida útil.

OBJETIVOS

- **GENERAL**

Diseñar el sistema de renovación de aire para una sala de máquinas de cogeneración compuesta por dos turbogeneradores de 5,000 Kw.

- **ESPECÍFICOS**

1. Aplicar el concepto de enfriamiento evaporativo para el diseño del sistema
2. Mejorar las condiciones de operación para el sistema de cogeneración.
3. Prolongar la vida útil del sistema de cogeneración con base al sistema de renovación de aire y reducir los costos que causan los trabajos de mantenimiento relacionados con la limpieza de devanados, rotores, intercambiadores de calor, etc.
4. Determinar las condiciones ambientales óptimas para la sala de máquinas, a través del presente estudio.
5. Reforzar el concepto de enfriamiento evaporativo, para el mejoramiento de estudios adicionales y aplicación en áreas de la industria nacional.

INTRODUCCIÓN

La contaminación llegará a los generadores a través del aire del medio ambiente o del aire de ventilación. De aquí surge la necesidad que el aire exterior que se va a utilizar para renovar el aire del interior del recinto de cogeneración sea tratado, ya sea por medio de filtros o de un equipo de lavado, para remover el polvo y otras partículas presentes.

Estas partículas tienden a acumularse en los conductos de aire y en las superficies de los embobinados, con efectos perjudiciales como el incremento de la temperatura de operación, disminución de la resistencia de aislamiento y deterioro acelerado del aislamiento, siendo la suciedad y la humedad las causas primarias de la baja resistencia del aislamiento.

La presencia de partículas de suciedad en el aceite lubricante o en los compartimentos de grasa causan el desgaste acelerado del cojinete y hasta su falla. Los ácidos y vapores alcalinos pueden causar con el tiempo el desarrollo de depósitos corrosivos que deterioran el equipo. Las partículas de materiales conductores como: hierro, cobre, acero, son potencialmente peligrosas debido a que se adhieren magnéticamente a los embobinados y son muy difíciles de remover, pueden llegar a erosionar y perforar el aislamiento. En generadores abiertos que necesitan un gran volumen de aire para ventilarse, la presencia de partículas en el aire permite que éstas se vayan acumulando en los embobinados llegando a desgastar el aislamiento.

En síntesis las condiciones ambientales, la limpieza de la superficie de los embobinados y la temperatura del recinto determinan el valor de la resistencia de aislamiento, de aquí que la limpieza del aire es esencial para el desempeño y vida útil de un generador.

Un indicador útil para evaluar la limpieza y humedad en las bobinas es el Índice de Polarización, que es una medida del cambio en la resistencia de aislamiento con el tiempo de duración para el cual la prueba es aplicada, cuyo valor para bobinas limpias debe ser mayor que 2, se recomienda medir la resistencia de aislamiento cada seis meses y el índice de polaridad cada año. (WEG 2003).

Tabla I. Límites orientativos de la resistencia del aislamiento en máquinas eléctricas.

Valor de la resistencia del aislamiento	Evaluación del aislamiento
2 M Ω o menor	Malo
< 50 M Ω	Peligroso
50...100 M Ω	Regular
100...500 M Ω	Bueno
500...1000 M Ω	Muy bueno
> 1000 M Ω	Excelente

Fuente: WEG **Manual de instalación y mantenimiento. Generadores sincrónicos línea S**

Tabla II. Índice de polarización (relación entre 1 y 10 minutos).

Índice de polarización	Evaluación del aislamiento
1 o menor	Malo
< 1.5	Peligroso
1.5 a 2.0	Regular
2.0 a 3.0	Bueno
3.0 a 4.0	Muy bueno
> 4	Excelente

Fuente: WEG **Manual de instalación y mantenimiento. Generadores sincrónicos línea S.**

Los generadores de electricidad para los que se hace la presente propuesta no cuentan con un sistema de ventilación y los fabricantes recomiendan que el equipo este instalado en un recinto adecuado y limpio, coherente con la localización y las condiciones ambientales del entorno en donde operan los equipos.

La renovación del aire para el recinto puede optimizarse si se concreta al espacio necesario para la operación y mantenimiento de los generadores, disminuyendo así el volumen de aire que el sistema debe manejar, complementado con los accesorios que permitan un manejo eficaz de las corrientes de aire manteniendo la velocidad y nivel del ruido dentro de parámetros aceptables para mantener el confort dentro del recinto.

Se hace un enfoque hacia un sistema de enfriamiento de aire que utiliza el calor del aire exterior para evaporar agua y que como resultado se obtiene una corriente de aire más frío, lo que se conoce como enfriamiento evaporativo. Este aire frío servirá para remover el aire caliente del interior del recinto cierta cantidad de veces por hora, basándose en tablas proporcionadas por fabricantes de equipo y en normas técnicas internacionales.

1. CONDICIONES ACTUALES DE LA SALA DE MÁQUINAS DE COGENERACIÓN

El recinto para el que se presentará la propuesta de renovación de aire, es parte del área de cogeneración, alberga al equipo que genera energía eléctrica que es utilizada para el consumo propio de la planta y para venta a la comercializadora. Son dos turbogeneradores de 5,000 kW de los cuales uno esta en operación y el otro esta en reserva para cuando sea requerido.

La planta de cogeneración está ubicada en Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla, en donde las condiciones ambientales del lugar son:

- Temperatura Promedio anual: 29 °C
- Humedad relativa promedio anual: 65%

El interior del recinto donde se ubican los generadores debido al calor liberado por los equipos tiene las siguientes condiciones:

- Temperatura: 32 °C
- Humedad relativa: 57 %

El recinto actual es abierto, su estructura es metálica, con paredes de fibrocemento, el techo es de lámina aluzinc a dos aguas, sin aislamiento térmico, con un monitor central, a dos aguas también, en la parte más alta separado del nivel del techo 1.20 metros.

El edificio está dividido en dos partes por el cambio de nivel del piso de 2.00 metros. La primera sección es el nivel alto, allí están los turbogeneradores, en la segunda sección están las calderas de vapor con sus equipos periféricos: bombas de alimentación de agua y combustible, calentadores eléctricos y de vapor, tanque diario de combustible, centro de control de motores y los distribuidores de vapor de baja y alta presión.

Dentro de la primera sección se encuentran ubicados los siguientes equipos:

- Un turbogenerador de 5,000 kW compuesto por una turbina marca Dresser Rand y generador marca Gevisa, 6,520 kVA. 1,800 rpm, 13,800 V, rendimiento 0.969, factor de servicio 1.0, aislamiento F, ciclo de trabajo continuo, temperatura ambiente: máxima 40 °C, mínima -18 °C. Autoventilado. Estado de operación en reserva.
- Un turbogenerador compuesto por una turbina marca TGM y generador marca WEG, 8,500 kVA, 355.6 A, 1,800 rpm, 60 Hz, aislamiento F, autoventilado. Estado de operación, 24 horas por día, 7 días por semana.
- Dos compresores de aire, marca Gardner Denver, tipo tornillo de 50 HP, 440 V. Uno en operación y el otro en reserva.
- Dos equipos de tratamiento de agua, tipo Osmosis Inversa, de 225 galones por minuto, en operación continua.
- Un equipo de aire acondicionado para el centro de control de la generación.
- Un tanque para agua suave de 5,000 galones.

En la segunda sección se encuentran dos calderas de vapor,

- Una caldera de vapor de 53,000 libras de vapor por hora.
- Una caldera de vapor de 110,000 libras por hora.

No hay división entre las dos secciones, razón por la cual, parte del calor liberado por las calderas, las tuberías y los distribuidores de vapor llega al área de los turbogeneradores, así como parte del hollín que liberan las calderas.

A la par de este edificio se encuentra la planta de emergencia, que funciona con diesel y que tiene acceso directo al área de cogeneración, el calor del radiador y los gases de combustión son liberados al ambiente cercano al edificio. También funcionan cuatro torres de enfriamiento de agua en las cercanías del edificio y que liberan aire caliente con alto contenido de humedad al ambiente.

El centro de control de motores que contiene los interruptores, arrancadores y barras principales para alimentar y controlar los motores, se encuentra en el área de las calderas operando a temperatura ambiente bajo los efectos del calor y la acumulación de polvo contenido en el ambiente.

La sala de control de operación se encuentra dentro del recinto; pero es de construcción independiente, con paredes de block y terraza, tiene equipo de aire acondicionado propio, dentro se encuentran los equipos de control, operación y sincronización, contadores de energía, UPS que se utilizan para la operación de los turbogeneradores y calderas.

La ventilación del edificio es del tipo natural, el aire ingresa a través de los portones de acceso, ventanas y rendijas, saliendo la mayor parte por arriba en el monitor del techo. Durante la época de verano, de diciembre a mayo, el alto contenido de hollín y polvo en el aire exterior incrementa la suciedad en el interior del edificio depositándose sobre la superficie de equipos, piso, tuberías, etc.

Los generadores a pesar de ser cerrados, siempre tienden a acumular polvo y suciedad en las superficies de los conductos de aire y los devanados.

Los dos turbogeneradores son del tipo TEWAC (*Total enclosed air-to water-cooled machine, IP54*) lo que quiere decir que es una máquina totalmente cerrada, la cual es enfriada por la circulación de aire, que a su vez, es enfriado por la circulación de agua. Es provisto con un intercambiador de calor enfriado por agua montado sobre la máquina para enfriar el aire interno y uno o varios ventiladores integrados al eje del rotor para hacer circular el aire interno.

Las máquinas totalmente cerradas, son lo suficientemente cerradas como para prevenir el intercambio de aire entre el interior y el exterior del generador pero no lo suficientemente cerradas como ser selladas y evitar el ingreso de polvo, aún así el polvo no entra en suficiente cantidad para interferir con la satisfactoria operación de la máquina, *NEMA Standards Publication MG 2-2001 (NEMA 2001.6-7)*.

Igual mención hacen los fabricantes de los generadores al referirse a la probabilidad de acumulación de suciedad y polvo en el exterior de los tubos y sus aletas, a no ser que se cuente con un ambiente favorablemente limpio, por lo que recomiendan limpiezas periódicas de acuerdo al grado de contaminación del ambiente, (*General Electric GEEP-332-E, 1998.37*)

En el caso de WEG, en su manual de Instalación y mantenimiento de motores eléctricos, se refiere a la necesidad de proveer de 20 m³ / minuto de aire de renovación por cada 100 kW de potencia de la máquina, con una temperatura ambiente de hasta 40 °C y altitud de hasta 1,000 metros sobre el nivel del mar, (WEG 1999.4)

Como parte del proceso de Integración Vertical que se esta realizando en la corporación, los equipos de cogeneración serán trasladados hacia una nueva ubicación en San Andrés Villaseca, Retalhuleu, para lo cual debe aprovecharse que el nuevo recinto tenga las condiciones para optimizar la operación y prolongar la vida útil de los equipos.

Las condiciones ambientales en la nueva ubicación, según datos del Insivumeh para la estación próxima, del año 1990 a 2003 son:

- Temperatura media anual: 24.84 °C
- Temperatura máxima promedio anual: 33.69 °C
- Humedad relativa promedio anual: 66.5%

Las condiciones más altas se dan en el mes de marzo, para el cual las estadísticas son:

- Temperatura máxima promedio del mes de marzo: 35.53 °C
- Humedad relativa promedio del mes de marzo: 56%

Tomados de un sistema abierto.

2. RENOVACIÓN DE AIRE

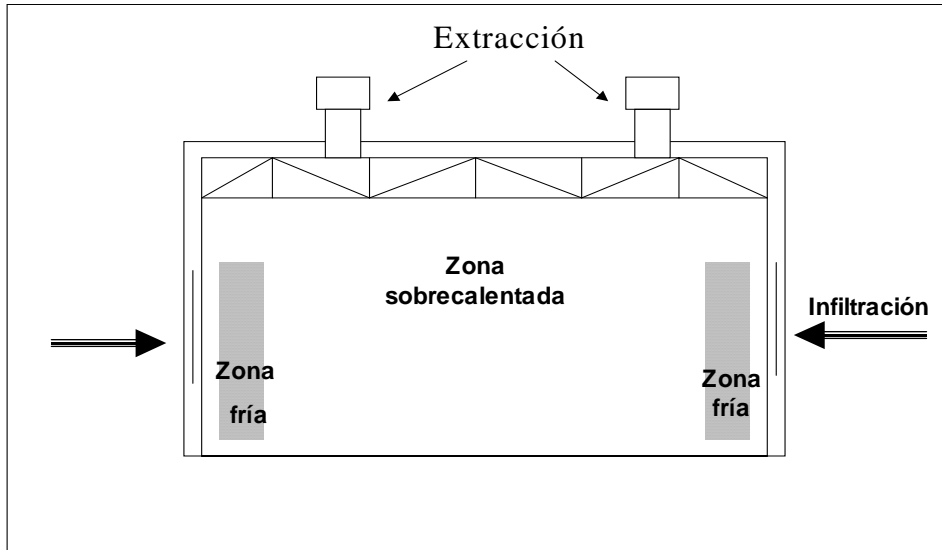
La renovación de aire significa la cantidad de aire exterior que debe ingresar al recinto cerrado de manera controlada para sustituir el aire extraído.

La cantidad de aire que entra en un recinto es igual a la cantidad de aire extraída ya sea que esta circunstancia haya sido prevista como si no se ha tenido en cuenta. Cuando la presión interior es negativa (menor que la atmosférica) el caudal real de aire extraído será menor que el esperado en el diseño. Si el recinto fue diseñado de manera que sea hermético para impedir las entradas no controladas de aire, se tendrá como resultado la disminución drástica del caudal de aire en las extracciones.

Cuando el edificio permita la entrada de aire exterior, ya sea por su antigüedad o por su diseño, tendrá una importante infiltración de aire y el sistema de ventilación funcionará con poca pérdida de caudal, pero como consecuencia podrán presentarse otro tipo de problemas.

Cuando se tiene el ingreso de aire exterior de manera no controlada, las condiciones ambientales internas; temperatura, humedad relativa, corrientes de aire, etc, son generalmente inadecuadas porque en las zonas de ingreso de aire hay un enfriamiento de los espacios cercanos al exterior del edificio (en el caso de las zonas frías) y los trabajadores se expondrán a las corrientes de aire, además interiormente la distribución espacial de la temperatura no es uniforme. Debido a las mezclas de las corrientes de aire se puede alcanzar una temperatura estable en el interior del edificio, no es una manera efectiva de realizar la transferencia de calor que se verá reflejado en el consumo energético del sistema. Ver figura 1.

Figura 1. Efecto de zonificación de temperatura debido a infiltración



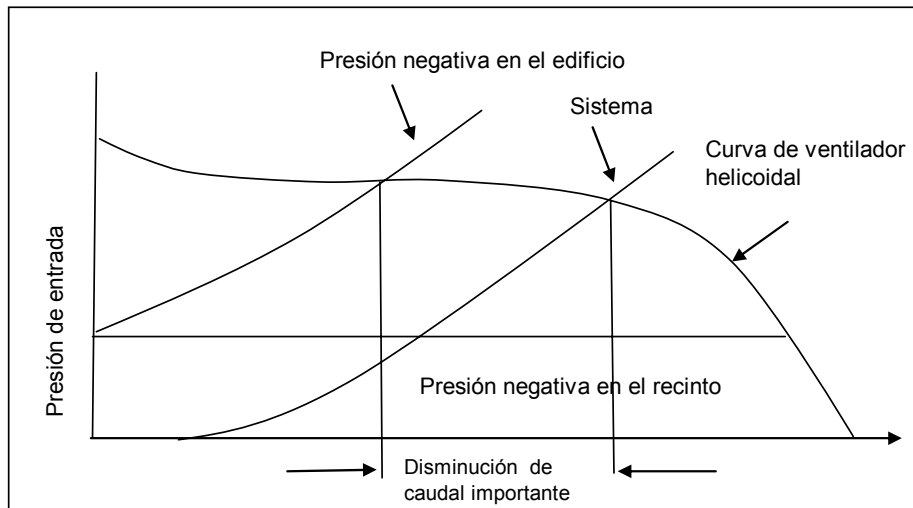
Fuente: Generalitat Valenciana. **Ventilación Industrial**

Para el caso de las zonas cálidas, la entrada de aire caliente lleva una carga adicional de calor que el sistema tendrá que remover ocasionando un incremento en la potencia necesaria para el manejo del aire.

Los argumentos para renovar el aire dentro de una instalación son:

- 1- *Asegurar que las campanas de extracción funcionen correctamente:*
En el caso en donde existan extracciones localizadas, la presión negativa que resulta cuando el aporte de aire es insuficiente tiene como consecuencia un incremento de la presión estática que debe vencer el ventilador. Esto puede ocasionar una reducción en el caudal extraído cualquiera que sea el tipo de ventilador y es particularmente importante en los ventiladores de baja presión tales como los extractores helicoidales de pared o de techo. Ver figura 2.

Figura 2. Disminución de eficacia de un ventilador cuando existe presión negativa



Fuente: Generalitat Valenciana: **Ventilación Industrial**

2- *Evitar corrientes de aire en las proximidades de puertas y ventanas:*

En función de la presión negativa generada, las corrientes de aire pueden ser importantes (ver tabla III) y pueden afectar los procesos, en caso de que hayan campanas para captación de polvos o partículas dichas corrientes podrían dispersarlos por todo el interior del edificio.

3- *Evitar corrientes de aire frío para los trabajadores:* Las corrientes de aire son molestas y disminuyen la eficacia, además suelen ser causa de temperaturas interiores más bajas.

4- *Evitar presiones diferenciales en las puertas:* Las presiones diferenciales altas en las puertas dificultan la apertura o cierre de las mismas, y en algunos casos, pueden ocasionar riesgos de seguridad para el personal si las puertas se mueven de forma incontrolada. Ver figura 3, y tabla IV.

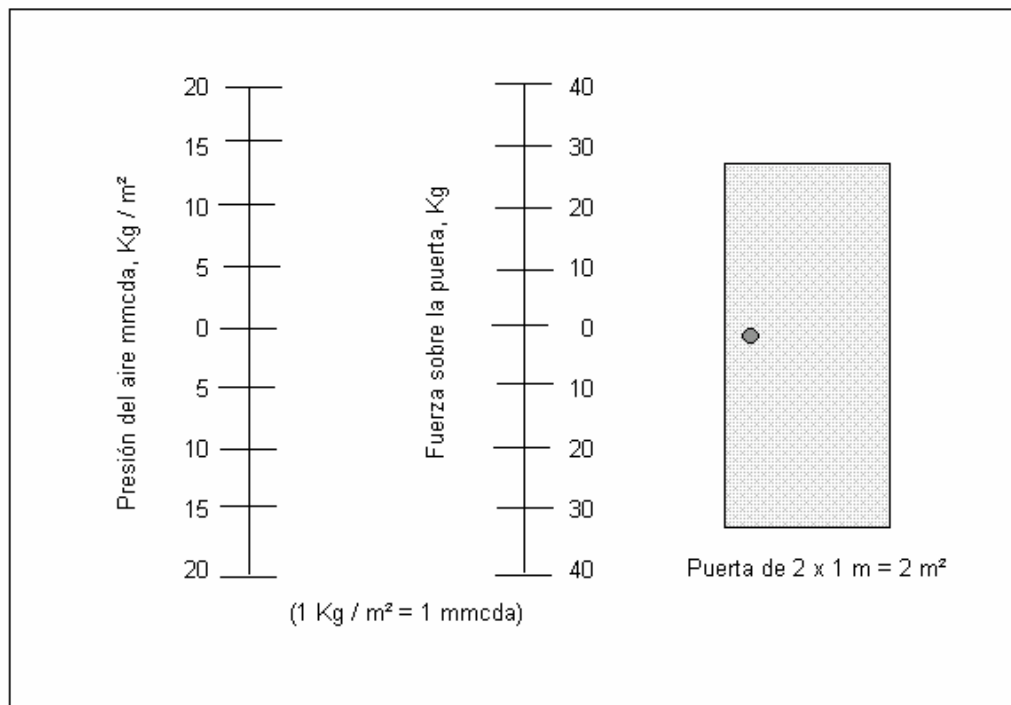
Tabla III. **Velocidades en abertura y rendijas**

Velocidades en aberturas y rendijas originadas por una presión negativa. Calculadas para aire a temperatura del local, presión atmosférica estándar y Cc = 0.6	
$V = 4.043 Cc \sqrt{Pe}$	
Presión negativa mmcda	Velocidad m / s
0.10	0.77
0.20	1.08
0.30	1.33
0.40	1.53
0.50	1.72
0.75	2.10
1.00	2.43
1.25	2.71
1.50	2.97
1.75	3.21
2.00	3.43
3.00	4.20
4.00	4.85
5.00	5.42
6.00	5.94
7.00	6.42
8.00	6.86
9.00	7.28
10.00	7.67
12.00	8.40
14.00	9.08

Cc = Coeficiente campana Pe = Presion estatica

Fuente: Generalitat Valenciana. **Ventilación Industrial**

Figura 3. Relación entre la presión del aire y la fuerza necesaria para abrir una puerta



Fuente: Generalitat Valenciana. **Ventilación Industrial**

Tabla IV. **Presiones negativas y sus efectos**

Presiones negativas que pueden ocasionar situaciones indeseadas en el interior de locales	
Presión negativa (mmcdca)	Condiciones indeseadas
0.25 a 0.50	Quejas de los trabajadores a causa de las corrientes de aire. Altas velocidades de aire en puertas y ventanas.
0.25 a 1.25	No funciona el tiro natural en ventilación mediante extractores de techo, el caudal de las chimeneas de tiro natural se reduce drásticamente.
0.50 a 1.25	Riesgos por monóxido de carbono, pueden existir rebufos en los calentadores de agua, calefactores, hornos u otros equipos de combustión que no dispongan de tiro forzado.
0.75 a 2.50	Fallos en la ventilación general mecánica, se reduce el caudal de los ventiladores helicoidales de los sistemas de extracción o suministro de aire a baja presión.
1.25 a 2.50	Dificultad para abrir puertas, se pueden producir accidentes causados por el cierre o apertura brusca de puertas.
2.50 a 6.50	Alteraciones en los sistemas de extracción localizada, disminuye el caudal de los ventiladores centrífugos de extracción.

Fuente: Generalitat Valenciana. **Ventilación Industrial**

5- *Ahorro de energía:* Al calentar un edificio sin un correcto aporte de aire, el ambiente más frío que se origina en la parte cercana al exterior hace que se necesite de más equipo para compensar el defecto. Una vez se alcance la temperatura deseada, el aire sobrecalentado se desplaza hacia el interior del edificio y ocasiona un ambiente excesivamente caliente en esa zona, ver figura 1. Este efecto lleva a instalar más extractores para evacuar el excesivo calor, lo cual agrava el problema, porque se pierde calor. El consumo de combustible con un sistema de aporte de aire con calentador es generalmente inferior al que se precisa cuando se intenta corregir el acondicionamiento del ambiente sin aportar aire, en donde los volúmenes de aire a calentar varían dependiendo de la temperatura interior. Para el caso de bajar la temperatura del edificio, un aporte insuficiente de aire ocasionará que los equipos de extracción deban mover mas volumen de aire para compensar el problema, y esto reflejaría un consumo de energía más alto que lo previsto.

3. CAUDAL DE RENOVACIÓN DE AIRE

Caudal de renovación de aire es la cantidad de aire necesaria para reponer el aire que ha sido extraído del recinto. El suministro de aire para un local puede lograrse de tres maneras: Con ventilación forzada, ventilación natural y por infiltración. Cada una de ellas afecta de manera diferente la calidad del aire, el confort térmico y la energía. Puede decirse que estas tres formas están presentes en la renovación del aire y deben ser tomados en cuenta aunque una de ellas sea la más importante.

- La renovación del aire con ventilación forzada esta condicionada por el flujo necesario en el sistema, las pérdidas en el sistema de distribución, la resistencia del flujo de aire entre las diferentes áreas, y el grado en el que el edificio es hermético. Es el mejor método para asegurar un buen control del caudal y distribución del aire en el interior, asegura la cantidad correcta para el control de contaminantes y el confort térmico, evita que haya sobre ventilación. Estos sistemas son generalmente obligatorios para grandes edificios en donde se deben cumplir requisitos de ventilación para la salud y confort de los ocupantes y en donde se necesiten de los sistemas mecánicos para asegurar la calidad del aire interior mediante el aporte de aire exterior.
- La ventilación natural es causada por las diferencias de temperatura interior y exterior y por la presión del viento. El flujo de aire por ventanas, puertas y dispositivos de admisión puede ser utilizado para diluir contaminantes y controlar la temperatura interna. Cuando existen aberturas no planeadas que permiten el ingreso de aire no controlado alteran el flujo de aire de la ventilación natural provocando cargas mayores a las esperadas en el diseño.

- La infiltración es un flujo no planeado y no controlado de aire hacia el interior del local. Es ocasionado por el viento y las diferencias de temperatura y presiones inducidas. No es una buena manera de renovar el aire porque depende de las condiciones climáticas y de la distribución sin control de las aberturas.

Para estimar la cantidad de aire de renovación necesaria en el interior, deben tomarse en cuenta las extracciones de aire que hacen los sistemas de ventilación, el aire necesario para los procesos productivos y equipos de combustión. Para saber cuanto aire es extraído se requiere de elaborar un inventario y medir las extracciones, cuantificar las necesidades para los equipos y procesos así como estimar un porcentaje razonable por necesidades futuras. Cuando inicialmente se compra un equipo de mayor capacidad, el costo no es tan significativo, y la capacidad necesaria se logra regulando la velocidad del ventilador, por el contrario, si se compra un equipo ajustado a la necesidad actual y en el futuro hay un cambio en las condiciones debido a una ampliación, el costo de comprar un equipo mas grande será alto. Una vez determinada la cantidad mínima de aire de renovación habrá que añadir un aporte adicional para compensar pérdidas por ventilación natural y reducir las corrientes de aire en las partes más externas del edificio. La cantidad de aire de renovación depende entre otros de los siguientes factores:

- Dimensiones y características del local
- Actividad a que esta destinado
- Calor a disipar o carga térmica
- Granulometría de los sólidos a transportar.

4. CONTROL AMBIENTAL

Control ambiental en el aire de renovación significa aportar el aire con la calidad necesaria para controlar temperatura, humedad, sustancias y elementos que al sobrepasar ciertos límites puedan convertirse en tóxicos y nocivos para el ser humano.

La carga térmica dentro de un edificio es generada por la operación de maquinaria y los procesos industriales. Los equipos de generación de energía, transformadores, equipos de control y automatización necesitan una considerable cantidad de energía. Otro tipo de actividades requieren de mayor grado de iluminación y en consecuencia liberan más calor al ambiente. Toda liberación de calor incrementa la temperatura interior y puede alcanzar niveles mayores que los límites recomendados para desempeñar un trabajo eficiente.

Como consecuencia de un proceso industrial pueden liberarse al ambiente contaminantes que sean molestos y desagradables para los trabajadores y que afecten la calidad del producto, para algunos casos el tema puede tratarse con extracciones localizadas (campanas de extracción), en otros casos estas cantidades en pequeñas concentraciones pueden ser tratadas con la renovación del aire. Para los equipos de cogeneración la contaminación presente en el ambiente puede llevar a problemas como el ensuciamiento de los devanados del generador o en el caso de ser partículas metálicas que puedan magnetizarse, estas se incrustan dentro de los devanados causando daños al aislamiento. La presencia de suciedad en el aceite de lubricación también puede causar disminución en la eficiencia de transferencia de calor.

En los transformadores de corriente, la suciedad disminuye la capacidad de transferencia de calor, aumentando la temperatura de operación. Para equipos electrónicos, la presencia de contaminantes afecta el desempeño al disminuir la capacidad de enfriamiento de los micros componentes o hasta causar corrosión en las tarjetas electrónicas.

Todo esto lleva a plantear el problema del control ambiental, en los lugares de trabajo y puede alcanzarse mediante un sistema de aporte de aire. El calor sensible y latente generado en el proceso o por las personas puede controlarse hasta alcanzar los límites correctos con un adecuado uso de la ventilación.

5. CAUDAL DE AIRE PARA CONTROL AMBIENTAL

El caudal de aire necesario dependerá de los factores que se consideren y del grado de confort deseado dentro del edificio. El calor sensible, la reducción de contaminantes y la eliminación de olores generados por personas en condiciones variables de actividad pueden ser eliminados por dilución con aire externo. La experiencia indica que cuando el aire introducido es distribuido adecuadamente en la zona de trabajo a una altura inferior de 2.5 o 3 metros el aporte de aire exterior comprendido entre 20 y 40 m³ / h / metro cuadrado de superficie suele dar buenos resultados.

El mantenimiento de los niveles de contaminantes en los parámetros definidos en la norma 62 ASHRAE puede lograrse aplicando de manera combinada el tratamiento del aire, control de fuentes y ventilación. Habrá que considerar el nivel de cada contaminante, la concentración permitida y con base a esto buscar el tratamiento más efectivo, porque removerlos con un sistema central requerirá de grandes volúmenes de aire y un considerable gasto adicional de energía. El ingreso de contaminantes, gases, vapores, polvo, etc, puede reducirse utilizando puertas herméticas, y con la aplicación de selladores en las rendijas, en uniones de los elementos de las paredes, en entrada de ductos, en marcos de ventanas, etc.

El caudal de aire de renovación se puede tratar con filtros colocados en la entrada al sistema para asegurar la calidad y limpieza de acuerdo a las características del aire del exterior y de las condiciones que se quieran fijar para el interior del local a ventilar.

6. ÍNDICE DE RENOVACIÓN

El índice de renovación es la relación entre el caudal de ventilación (por hora) y el volumen del local. Esto quiere decir el número de veces que se cambia el volumen total de aire del local por aire fresco en una hora. En la tabla V se muestra para cada tipo de ambiente la cantidad de renovaciones necesarias. Se debe tener cuidado al usar este criterio en lugares en donde exista carga de calor liberada por el proceso productivo.

Usar el índice de renovación es un mal criterio para establecer la ventilación adecuada cuando se quiere controlar un riesgo higiénico, olores y el exceso de calor porque la ventilación debe enfocarse desde el tipo de problema a tratar y no del tamaño del local, es muy poca la relación entre el índice de renovación y las necesidades de ventilación para el control de contaminantes.

Sin embargo, cuando la situación dentro del local es relativamente homogénea, usar este criterio es aplicable, por ejemplo, edificios de oficinas, escuelas, procesamiento de vegetales, bibliotecas, etc. Es un criterio comprensible que reduce el trabajo necesario para establecer el dimensionamiento de la ventilación, es de fácil aplicación.

Tabla V. **Tabla de renovaciones por hora**

Renovaciones de aire en locales habilitados	No Renovaciones / Hora
Catedrales	0.5
Iglesias modernas (techos bajos)	1 - 2
Escuelas, aulas	2 - 3
Oficinas de bancos	3 - 4
Cantinas (fabricas o militares)	4 - 6
Hospitales	5 - 6
Oficinas generales	5 - 6
Bar del hotel	5 - 8
Restaurantes espaciosos	5 - 6
Laboratorios (con campanas localizadas)	6 - 8
Talleres de mecanizado	5 - 10
Tabernas (con cubas presentes)	10 - 12
Fábricas en general	5 - 10
Sala de jutas	5 - 8
Parqueos	6 - 8
Salas de baile clásico	6 - 8
Discotecas	10 - 12
Restaurante medio (un tercio fumadores)	8 - 10
Gallineros	6 - 10
Clubs privados (con fumadores)	8 - 10
Café	10 - 12
Cocinas domésticas (mejor instalar campana)	10 - 15
Teatros	10 - 12
Lavabos	13 - 15
Sala de juego (con fumadores)	15 - 18
Cines	10 - 15
Cafeterías y comidas rápidas	15 - 18
Cocinas industriales (indispensable usar campana)	15 - 20
Lavanderías	20 - 30
Fundiciones (sin extracciones localizadas)	20 - 30
Tintorerías	20 - 30
Obradores de panaderías	25 - 35
Naves industriales con hornos y baños (sin campanas)	30 - 60
Talleres de pintura (mejor instalar campana)	40 - 60

Fuente: Hojas técnicas: Ventilación III. **Soler & Palau S.A.**

Se puede usar el criterio de valores de ventilación máxima y mínima, según el tipo de actividad, tabla VI, en la que se muestran los caudales sugeridos por persona y por metro cuadrado de superficie.

Tabla VI. Caudales sugeridos por personas y por metro cuadrado

Tipo de local	Por Persona	Por m ²	Por local	Otros
Almacenes	-	0.75 a 3	-	-
Parqueos	-	5	-	-
Archivos	-	0.25	-	-
Aseos públicos	-	-	-	25
Aseos individuales	-	-	15	-
Auditorios	8	-	-	-
Aulas	8	-	-	-
Autopista	-	2.5	-	-
Bares	12	12	-	-
Cafeterías	15	15	-	-
Canchas para el deporte	-	2.5	-	-
Comedores	10	6	-	-
Cocinas	8	2	-	-
Descanso (Salas de)	20	15	-	-
Dormitorios Colectivos	8	1.5	-	-
Escenarios	8	6	-	-
Espera y recepción(Salas)	8	4	-	-
Estudios holográficos	-	2.5	-	-
Exposiciones (Salas de)	8	4	-	-
Fiestas (Salas de)	15	15	-	-
Fisioterapia (Salas de)	10	1.5	-	-
Gimnasios	12	4	-	-
Gradas de recintos deportivos	8	12	-	-
Grandes almacenes	8	2	-	-
Habitaciones de hotel	-	-	15	-
Habitaciones de hospital	15	-	-	-
Imprentas, reproducción y planos	-	2.5	-	-
Juegos (Salas de)	12	10	-	-
Laboratorios	10	3	-	-
Lavanderías Industriales	15	5	-	-
Vestibulos	10	15	-	-
Oficinas	10	1	-	-
Paseos de centros comerciales	-	1	-	-
Pasillos	-	-	-	-
Piscinas	-	2.5	-	-
Quirófanos y anexos	15	3	-	-
Reuniones (Salas de)	10	5	-	-
Salas de curas	12	2	-	-
Salas de recuperación	10	1.5	-	-
Supermercados	8	1.5	-	-
Talleres	-	-	-	-
- en general	30	3	-	-
- en centros docentes	10	3	-	-
- de reparación automática	-	7.5	-	-
Templos para culto	8	-	-	-
Tiendas	-	-	-	-
- en general	10	0.75	-	-
- de animales	-	5	-	-
- especiales	-	2	-	-
UVI	10	1.5	-	-
Vestuarios	-	2.5	-	10

Fuente: Hojas técnicas: Ventilación III. **Soler & Palau S.A.**

La velocidad del aire también tiene importancia cuando el caudal de aire se considera proyectado sobre las personas, porque tiene efectos de enfriamiento sobre la piel del cuerpo humano, que dependen de la temperatura, humedad, tipo de ropa, etc. Pueden usarse los valores de La tabla VII.

Tabla VII. **Valores medios de la velocidad del aire**

Velocidad del aire	Sensación de que la temperatura ambiente se ha rebajado en:
0.1 m/s	0 °C
0.3 m/s	1 °C
0.7 m/s	2 °C
1.0 m/s	3 °C
1.6 m/s	4 °C
2.2 m/s	5 °C
3.0 m/s	6 °C
4.5 m/s	7 °C
6.5 m/s	8 °C

Fuente: E Carnicer Royo. **Ventilación Industrial**. Cálculos y aplicaciones

7. TEMPERATURA DEL AIRE DE RENOVACIÓN

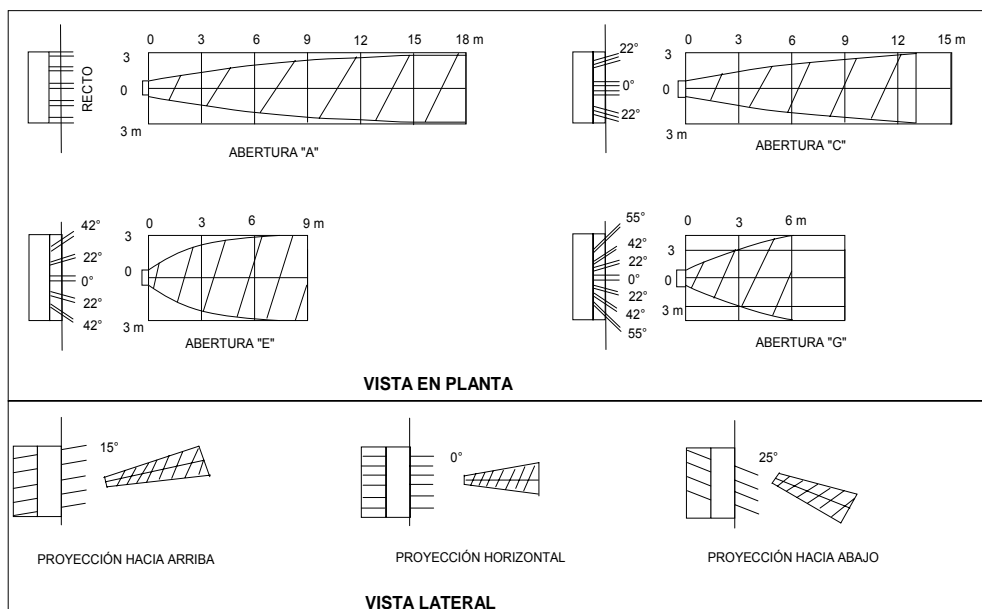
Los criterios de diseño son, para la época fría, introducir aire a temperatura igual o ligeramente inferior que la que se desea en el interior del recinto, y durante la época cálida, a la temperatura del aire del exterior, o en caso de que haya refrigeración, a la temperatura que se desee. Sin embargo, cuando las cargas térmicas que se deben controlar son muy altas, la temperatura del aire de renovación debe ser considerablemente inferior, lo que disminuye la cantidad de calor suministrado al aire para calefacción o refrigerando el aire para enfriamiento. Al introducir aire al recinto en una cantidad importante y temperatura igual o ligeramente inferior, distribuirlo correctamente es importante para lograr las condiciones ambientales deseadas.

La óptima distribución se logra cuando el aire se distribuye en la zona habitada del recinto, esto es a una altura inferior de 2.5 a 3.0 metros sobre el nivel del suelo, que es donde se ubican la mayoría de las personas y los procesos, con esto se logra la mayor ventilación con el mínimo caudal.

Esto se logra por medio de rejillas que distribuyen el aire de manera uniforme en el interior del recinto o bien mejoran la distribución para los espacios requeridos para el confort. Dichas rejillas suelen ser direccionales y ajustables para dirigir y ajustar el flujo según la necesidad de los trabajadores. En la época de calor, las corrientes de aire para ventilación en caudales importantes y velocidades relativamente altas puede ser parte del confort que puede lograrse, sin embargo para la época fría deben controlarse para que se mantenga dentro de valores permisibles.

La forma en que las rejillas distribuyen el aire, el alcance y velocidad de la corriente de aire están definidos por el fabricante y dependen de su diseño, ver figura 4.

Figura 4. Geometría de los chorros de aire y distancias para diferentes posiciones de las rejillas



Fuente: Generalitat Valenciana: **Ventilación Industrial**

Un suministro uniforme se logra tomando en cuenta el tamaño del edificio a ventilar, la cantidad de aire de renovación, la adecuada disposición de los puntos de suministro y la ubicación de los procesos y personas. Las corrientes de aire no deben perjudicar el desempeño de los procesos ni de equipos de extracción localizada que puedan existir.

Cuando se requiera remover una gran cantidad de calor sensible, durante la época fría, lo mejor es realizar una mezcla rápida del aire frío del exterior con el aire caliente del interior. Para la época de calor, lo mejor es una baja mezcla de aire, que sea aplicada a la zona habitada a una velocidad alta y poco sobrecalentamiento.

La direccionalidad de las rejillas permite realizar este manejo de manera que durante la época fría la dirección de la corriente de aire sea horizontal y la mezcla se haga antes de llegar a la zona habitada, mientras que para la época de calor, la dirección de la corriente de aire sea directa sobre dicha zona.

La temperatura del aire de renovación debe considerarse para la época fría entre 18 y 20 °C si no hay excesiva carga térmica en el interior y si no se requiere de esfuerzos físicos importantes para realizar el trabajo, de lo contrario debe estimarse entre 13 y 16 °C. Para la época de calor, se deberá calcular el incremento de calor internamente para establecer las condiciones para el aire de renovación.

Puede también considerarse el enfriamiento evaporativo, es un proceso de transferencia de calor y masa que convierte el calor sensible en latente, el aire no saturado es enfriado por la exposición al agua mas fría en condiciones de aislamiento térmico, y aumenta su grado de humedad, es un concepto que esta tomando auge en diversas aplicaciones industriales. No es tan efectivo y versátil como un sistema de enfriamiento mecánico pero reduce la temperatura del aire exterior, incluso para climas húmedos, mejora la capacidad de ventilación para reducir el estrés térmico y los costos de instalación, operación y mantenimiento son inferiores.

El intercambio entre calor sensible y latente tiene lugar hasta que el aire se satura y la temperatura del aire y del agua se igualan alcanzando el valor de temperatura de saturación adiabática.

Su explicación es que convertimos el calor sensible (calor que sentimos) en calor latente (que no sentimos), en el proceso no hay perdida ni ganancia de calor en la mezcla de aire y vapor, solamente se da un intercambio de calor, el calor sensible disminuye en la misma proporción en que aumenta el calor latente.

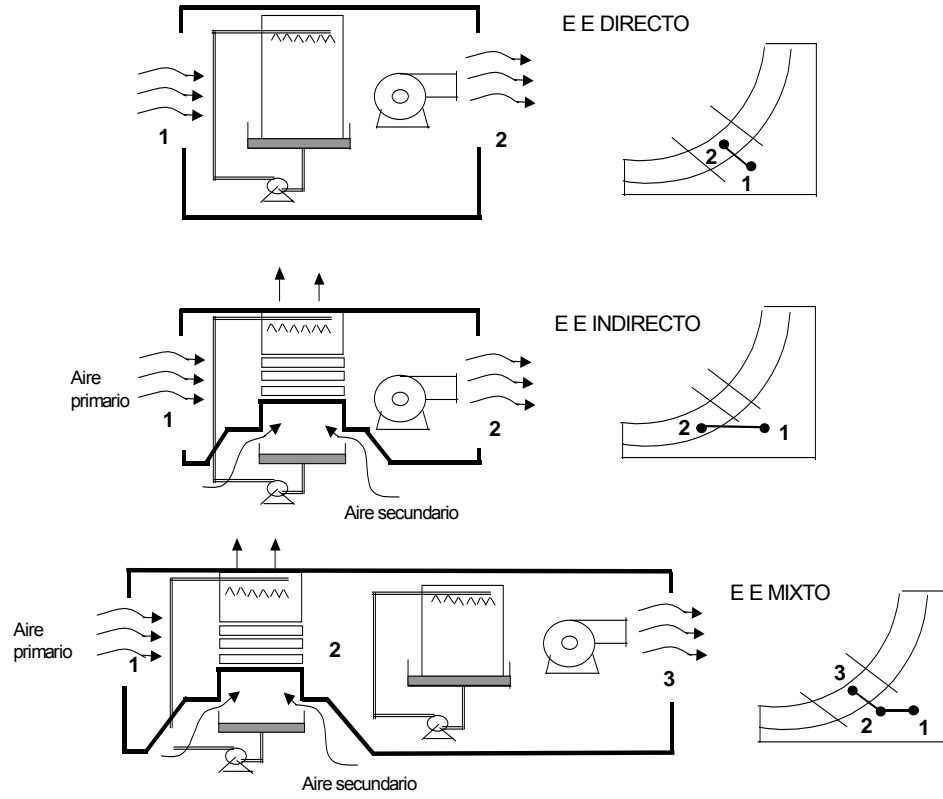
Este proceso se llama adiabático, porque no varía el calor total (entalpía), y se representa en la carta psicrométrica con una línea de entalpía constante. Parte del agua se evapora aumentando el contenido de humedad del aire, el resto del agua se recircula. Para evaporar el agua se necesita de mucho calor, y al no tener una fuente externa que lo suministre, este se toma de la corriente de aire, lo que se comprueba al medir la temperatura de bulbo seco del aire antes y después del enfriador y ver que es mas baja a la salida, por lo que hubo un cambio de calor sensible en el aire, que se transformó en calor latente que utilizó el agua para cambiar de la fase líquida a la fase de vapor.

También se nota que la temperatura de bulbo húmedo se mantiene constante, quiere decir que la temperatura de bulbo húmedo del aire exterior es igual a la temperatura de bulbo húmedo del aire que sale del enfriador, ver figura 5 en donde se representa este proceso en la carta psicrométrica.

Después de este proceso el aire incrementó su humedad relativa a niveles cercanos a la saturación, el aire es suministrado al interior del edificio en donde se calienta, controlando las carga térmicas del interior y reduciendo su humedad relativa, sin llegar a las condiciones iniciales antes de entrar al enfriador evaporativo, por lo que si se recircula, su eficiencia en el siguiente ciclo será menor y así sucesivamente hasta que después de unas cuantas recirculaciones, se tendrían condiciones de temperatura y humedad elevadas, lo que no es deseable ni confortable, siendo esto una condición fundamental para que se renueve totalmente el aire del edificio y trabaje como un sistema de renovación, no suelen trabajar con aire de recirculación, mejorando la calidad del aire interior.

La temperatura del aire enfriado usando este método y utilizando los equipos adecuados será ± 1 °C arriba de la temperatura de bulbo húmedo del aire exterior.

Figura 5. Representación del sistema Evaporativo en la carta psicrométrica

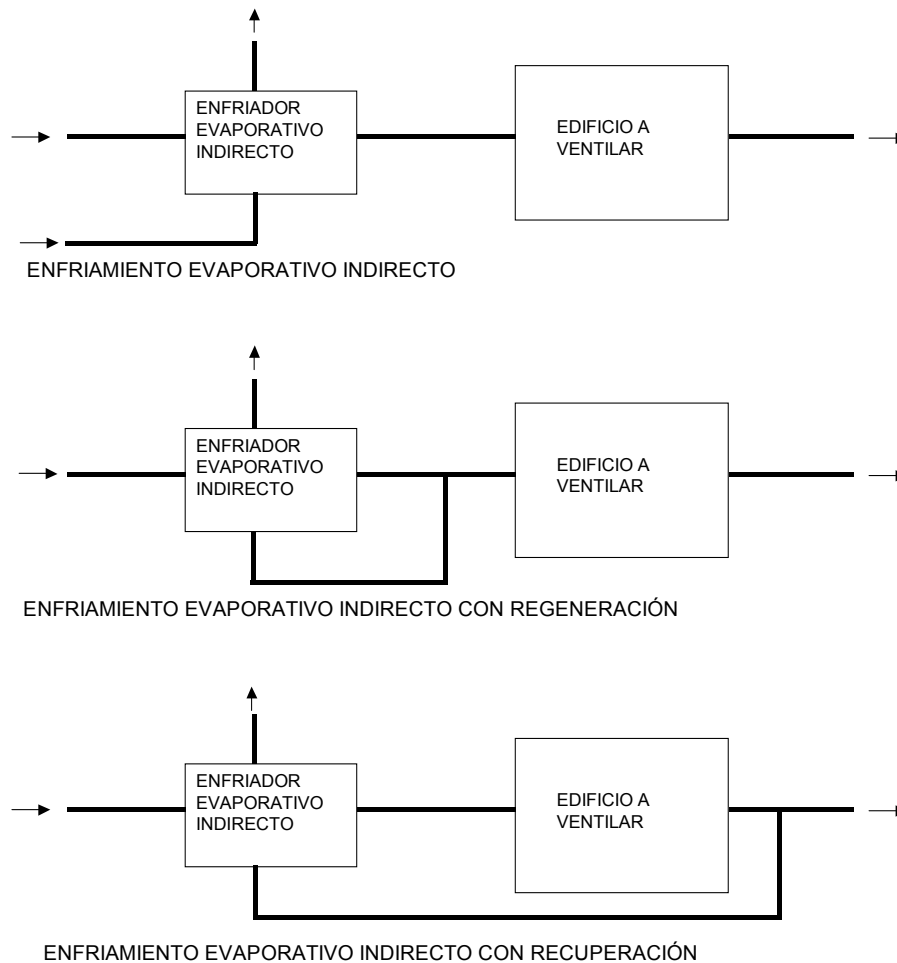


8. EQUIPOS PARA RENOVACIÓN DE AIRE

Los sistemas evaporativos se clasifican en:

- Directos: El agua es evaporada directamente en la corriente de aire aumentando la humedad. En el ciclo evaporativo directo la corriente de aire para el enfriamiento del edificio pasa a través del agua atomizada, aumentando su humedad y bajando su temperatura. Alcanzan eficiencias altas desde 80 hasta 90%. Comprende el equipo de atomización, ventilador, filtros, equipo de recirculación de agua y carcasa. Puede ser con recuperación de calor cuando se recircula aire del interior del edificio.
- Indirectos: La evaporación del agua se realiza en una corriente secundaria de aire, la cual a su vez intercambia el calor sensible con la corriente primaria, que aumenta su temperatura sin recibir humedad.
 - Ciclo Indirecto convencional: El aire primario para enfriar el edificio y el secundario se toman del aire exterior.
 - Ciclo indirecto con regeneración: Se toma parte del aire primario a la salida del enfriador para utilizarlo como aire secundario logrando mejorar el enfriamiento.
 - Ciclo indirecto con recuperación de calor: Parte del aire que sale del edificio es tomado para ser utilizado como aire secundario del sistema, ver figura 6.

Figura 6. Ciclos operativos del enfriamiento evaporativo indirecto.



Los equipos utilizados en un sistema indirecto son: Intercambiador de calor, equipo de atomización de agua, equipo de recirculación de agua, ventilador, filtros y carcasa. Alcanzan eficiencias superiores al 60%.

- **Mixtos:** Es la unión de los dos anteriores los sistema mixtos, conectan dos evaporadores en serie, uno con enfriamiento indirecto y el otro con enfriamiento directo, en ese orden.

La instalación de los equipos de enfriamiento evaporativo se hace en el exterior del edificio, y por medio de ductos es suministrado al interior en donde la corriente de aire frío disminuye la carga térmica y sale por el lado opuesto por medio de persianas o rejillas de evacuación, la renovación del aire es completa.

Recirculando el agua continuamente, alcanza una temperatura de equilibrio que es igual a la temperatura de bulbo húmedo del aire exterior, mientras que el aire disminuye su temperatura de bulbo seco y teóricamente después de un tiempo infinito, alcanza la temperatura de bulbo húmedo. Adicionalmente, aumentando la velocidad del aire, aumenta el efecto de enfriamiento.

Para efectos de diseño, para calcular el caudal de aire de renovación, se toman en cuenta las tablas de renovación de aire por hora según el uso del edificio. Para calcular el volumen interior a ventilar, se toman las medidas del edificio: ancho, largo y para la altura se toma la altura de instalación de los ductos de suministro.

8.1 Ventilador

Es una máquina rotativa que transmite la energía para mantener un flujo continuo de aire o gas.

Los ventiladores se clasifican en:

- Axiales, se utilizan cuando se necesitan caudales grandes con poca pérdida de carga, se dividen en helicoidales, tubulares y tubulares con directrices, se caracterizan por tener una envolvente que conduce el aire, y su trayectoria es en superficies cilíndricas coaxiales.

- Centrífugo, se utilizan los centrífugos para caudales menores con alta pérdida de carga, son frecuentemente, los mas usados en los sistemas de aire acondicionado con ductería. Según la disposición de los alabes, se clasifican en rectos, curvados hacia atrás y curvados hacia delante. El flujo de aire tiene una trayectoria axial en la entrada y radial en la salida con un ángulo de 90 grados entre las dos.
- Especiales, son de construcción especial como extractores de techo, para campanas de extracción localizada, y centrífugos de flujo axial.

Para seleccionar un ventilador debe tomarse en consideración la presión, el caudal y el sistema de distribución requerido por el sistema en donde trabajará, temperatura de operación y la presión barométrica del área.

El caudal Q es expresado en m^3 / h , para las condiciones de presión y temperatura a la entrada del ventilador y esta determinado por las necesidades del sistema en el que trabaja.

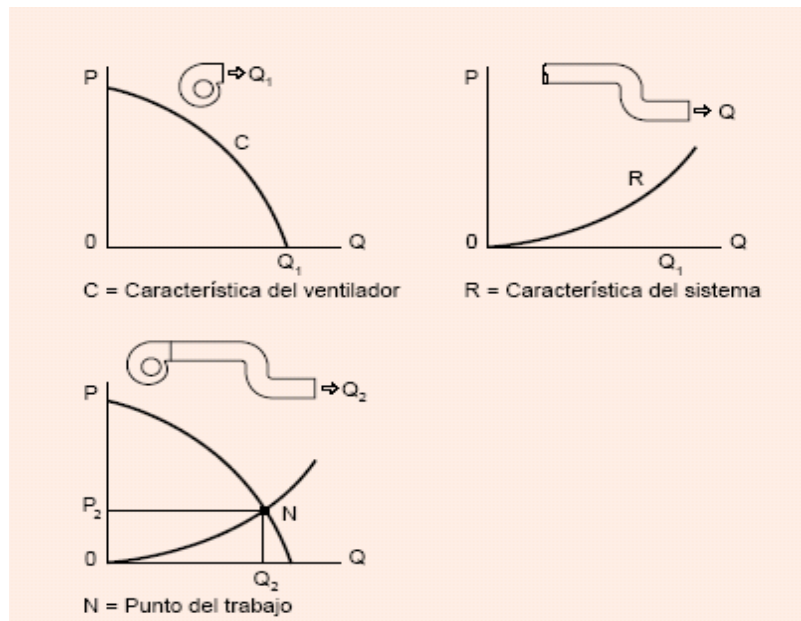
La presión expresada en milímetros de columna de agua, mmca, determinada por las necesidades del sistema en términos de presión estática del ventilador PEV, o presión total del ventilador PTV para condiciones estándar (densidad de 1.2 kg/m^3), cuando las condiciones cambian, debe corregirse con un factor de densidad.

El ruido que ocasiona la turbulencia del aire dentro del ventilador deberá ser tomado en cuenta para evitar que este sobre los límites permisibles.

Al representar las características de operación para el ventilador y para el sistema en un diagrama de presión y caudal, encontramos un punto de intersección al que llamamos punto de operación real. (Ver figura 7.)

Para más detalles que apoyen la selección del ventilador se pueden consultar las curvas características que proporcionan los fabricantes y que son propias para cada tipo de ventilador, en función de su tamaño y velocidad de giro.

Figura 7. Punto de operación de un ventilador.



Fuente: Hojas Técnicas Soler Palau. **Ventiladores. Curva Característica.**

8.2 Filtros

Los filtros de aire son dispositivos que permiten disminuir la concentración de las partículas que están suspendidas en el aire. Estas partículas son polvo, tierra y contaminantes generados por los procesos industriales y pueden llegar a concentraciones altas en el aire por lo que mantenerlos dentro de los parámetros permisibles es fundamental para conservar el medio ambiente, proteger la salud de los trabajadores, cumplir con las normas de limpieza, así como mejorar el desempeño de los equipos y procesos que se desarrollan internamente en los recintos. Son tres las formas en que un filtro elimina el polvo en el aire:

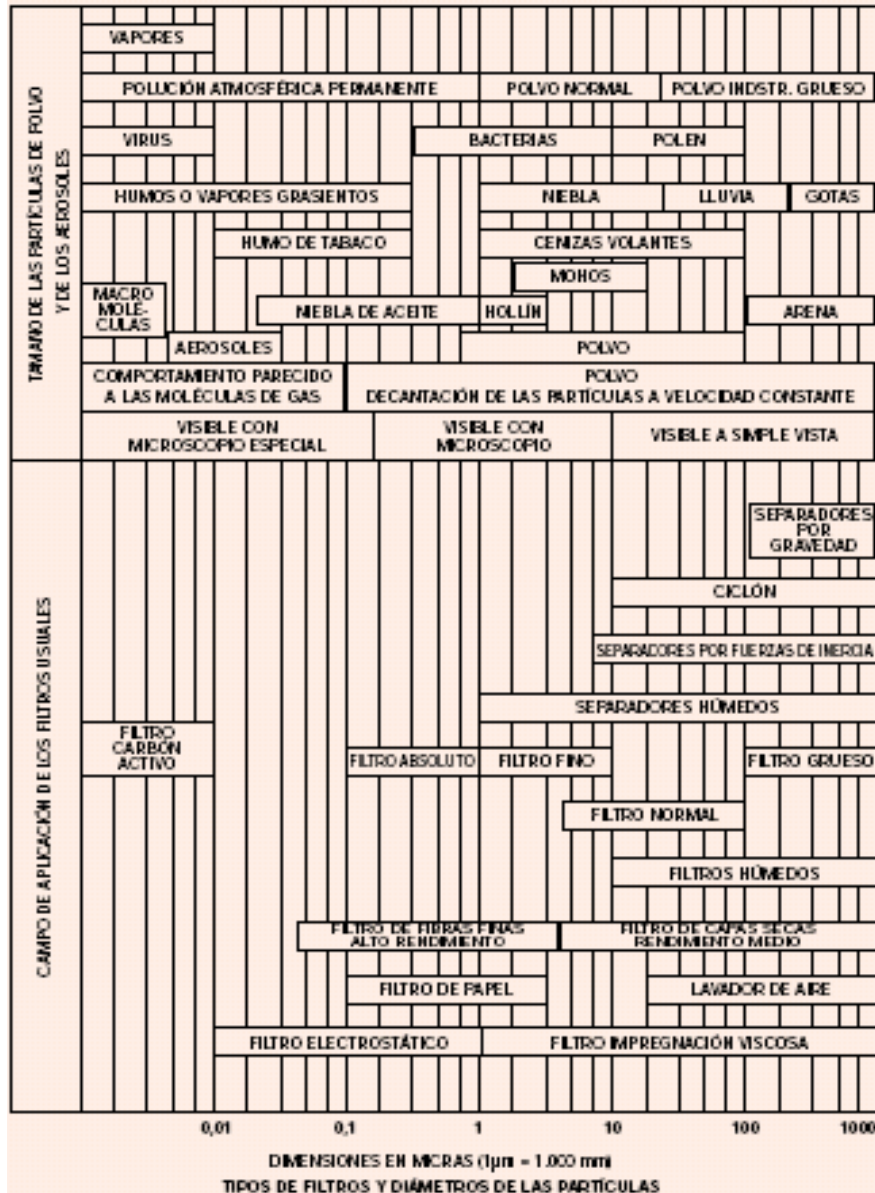
- Impacto: Las partículas presentes en el aire son retenidas al chocar con el medio filtrante por donde se hace pasar la corriente de aire.
- Colado: El espacio presente entre las fibras del filtro es menor que el tamaño de la partícula por lo que al pasar el aire por el filtro quedan retenidas en su superficie.
- Precipitación electrostática: las partículas de polvo son cargadas con electricidad y al medio filtrante se le aplica una carga eléctrica contraria lo que causa que las partículas sean atraídas y retenidas en el filtro.

Cuando se selecciona un filtro de aire se debe tomar en cuenta la concentración del aire que se va a limpiar, el tamaño de las partículas presentes, los requisitos establecidos para el aire dentro del recinto, la pérdida de carga y velocidad del aire permisibles en el sistema. Pueden utilizarse uno o más de los métodos de filtración dependiendo de la aplicación y es válido usar prefiltro dispuesto de tal manera que sean removidas inicialmente las partículas grandes e ir removiendo las partículas de manera escalonada. La pérdida de carga, expresada en milímetros de columna de agua, mmca, es la resistencia que el filtro opone al paso del aire, y conforme el filtro se va saturando va aumentando hasta llegar a un valor en el que debe limpiarse o cambiarse, dicha resistencia debe ser vencida por el sistema de suministro de aire y por lo tanto debe considerarse dentro del diseño.

Es importante tomar en cuenta que al seleccionar un filtro, la concentración de partículas no debe ser muy alta, para evitar que se sature rápidamente y ocasione costos altos por mantenimiento y recambio, se puede tomar como valor superior para el uso de filtros 35 mg / m³ de polvo presente en el aire (Manual de ventilación. Salvador Escoda).

Los filtros se pueden clasificar de varias maneras como se muestra en la tabla VIII.

Tabla VIII. Tipos de filtros y diámetros de las partículas



Fuente: Salvador Escoda S.A. Manual práctico de Ventilación. Catálogo Técnico

8.3 Lavador de aire

Es un equipo que sirve para lavar el aire y comprende tres elementos: el rectificador, el lavador y el eliminador de gotas. En el rectificador se eliminan las turbulencias en el aire, el lavador se remueven todas las partículas o polvos presentes, mientras que en el eliminador de arrastre se elimina toda el agua que pudiera llegar en forma de gotas al interior del local.

Anteriormente se utilizaba un chorro o spray de agua directamente en la corriente de aire impulsada por el ventilador hacia el interior del recinto en forma de neblina, sin embargo en aplicaciones actuales en donde las máquinas y equipos pueden formar condensación esto puede ser perjudicial para los circuitos electrónicos.

Actualmente, en la parte de lavado de aire se utilizan paneles de material poroso que son humedecidos con recirculación de agua, aquí es donde el aire libera su calor para evaporar parte del agua con la que esta en contacto. El material del que están hechos los paneles varían según el fabricante de equipo y se han ido especializando tanto en la forma, disposición, volumen y velocidad del aire a tratar, resinas y aditivos con el que los impregnan para mejorar la retención de las partículas suspendidas.

Algunos equipos traen un sistema automático de control para la temperatura y humedad del aire que entregan consistente en sensores de temperatura y humedad que accionan sobre las válvulas de control de caudal del agua de recirculación y las compuertas de admisión, evacuación y retorno de aire (cuando lo tengan).

La eficacia de los sistemas de enfriamiento evaporativo esta determinada por las siguientes condiciones de interacción entre el agua y el aire:

- Superficie de contacto entre el agua y el aire, ya sea por atomización o por paneles húmedos.
- Velocidad relativa entre ambos durante el contacto.
- Tiempo de contacto
- Diferencia entre la temperatura de bulbo húmedo del aire y la temperatura del agua de recirculación.

La calidad del agua que se recircula en el lavador debe ser como mínimo agua potable. Agua con alta concentración de minerales debe evitarse porque al evaporarse aumentará la concentración de los sólidos solubles hasta que al llegar a un punto en que habrá sobre saturación y precipitación de minerales lo que se notará por la formación de depósitos en la superficie de los paneles evaporativos. Por el contrario, usar agua con concentraciones muy bajas de minerales resulta perjudicial puesto que el agua tiene la tendencia a tomar esos minerales de los paneles debilitando las resinas y sus aditivos.

8.4 Sistema de ductos

El sistema de ductos comprende los conductos necesarios para transportar el aire desde el ventilador y equipos de tratamiento hasta el interior del recinto que se va a ventilar.

El paso del aire por el sistema de ductos es influenciado por el caudal, la velocidad y las pérdidas de carga.

- El caudal esta definido por los cálculos de la cantidad de aire necesaria para ventilar el recinto, ya sea en el número de renovaciones por hora o la cantidad mínima requerida, presentados en los capítulos 3 y 5, y que esta definido como el volumen de aire (Q), que atraviesa una sección transversal determinada del ducto por cada unidad de tiempo.
- La Velocidad del aire (v) a través de los ductos esta definida como la velocidad de circulación del aire, y es determinada por la necesidad de cumplir con el tamaño adecuado de ducto, los requisitos de normalización para el ambiente, y control de ruido.
- La pérdida de carga, es la disminución de la presión total del aire debido a la energía que se pierde por el rozamiento entre el aire y las paredes del ducto, por el cambio de secciones, por los accesorios o derivaciones.

La sección del ducto se relaciona con la velocidad y el caudal por medio de la formula:

$$Q = S \times v$$

en donde :

Q = caudal en metros cúbicos por segundo, m^3/s .

S = sección transversal del ducto en metros cuadrados, m^2 , y

v = velocidad del aire, en metros por segundo, m/s .

La forma de los ductos puede ser rectangular o circular, y cuando ya se ha establecido la sección puede entonces calcularse el tamaño del ducto.

Así para el caso del ducto rectangular:

$$S = a \times b,$$

en donde:

S = superficie interna del ducto en m^2

a = uno de los lados del rectángulo, en m, y,

b = otro lado del rectángulo en m.

La relación que hay entre los lados del ducto esta expresada por:

$$r = a / b$$

en donde:

r = relación entre lados

a = lado mas largo

b = lado mas corto,

Y, a siempre debe ser a mayor o igual que b , el valor óptimo de esta relación es 1:1, de forma cuadrangular, sin embargo, en caso de ser rectangular se recomienda no pasar de una relación 5:1.

Para ductos con sección circular, la superficie esta determinada por la formula:

$$S = \pi / 4 \times (d^2)$$

en donde:

S = superficie interna del ducto, en m^2

d = diámetro del ducto, en m.

La presión total del aire en el sistema es la suma de la presión dinámica y la presión estática, quien se encarga de suministrarla es el ventilador, de manera que para mantener el flujo de aire dicha presión debe ser mayor a la suma de las pérdidas de carga y la presión final necesaria en las rejillas y difusores a la salida de los ductos.

Para calcular el tamaño de los ductos de distribución, los diferentes métodos se basan en la presión estática, deduciéndolo de que la disminución de la presión en el sistema afecta a la presión estática porque la presión dinámica esta relacionada con la velocidad, dependiendo únicamente del área y caudal.

Para determinar la pérdida de carga, el método mas sencillo y utilizado es el que transforma todos los accesorios, cambios de sección, etc, en metros de longitud equivalente de ducto que luego se suman con los tramos rectos para establecer la pérdida de carga total del sistema, se llama el método de longitud equivalente, que significa que hay que añadir a los tramos rectos de ducto, la longitud de tubería que nos daría la misma pérdida de carga que los accesorios. Para calcular los ductos circulares, se usa el diagrama del anexo 2, en el que conociendo el caudal y el diámetro del ducto, podemos encontrar el valor de la pérdida de carga en milímetros de columna de agua (mmcda) por cada metro de longitud, allí mismo podemos determinar la velocidad a la que circulará el aire.

Para calcular la pérdida de carga cuando el ducto es cuadrado o rectangular, se debe encontrar un diámetro equivalente, esto quiere decir, que se debe encontrar el diámetro del ducto con el cual tendríamos la misma resistencia que el primero, luego, con ese diámetro se busca la pérdida de carga. Se hace utilizando el diagrama del anexo 3, Diagrama de conducción circular equivalente en sección rectangular.

Habiendo ya encontrado la pérdida de carga por unidad de longitud, se multiplica por la longitud total para encontrar la pérdida de carga total del sistema. Conociendo el caudal y la pérdida de carga total, entonces determinamos que ventilador es el que debemos utilizar en nuestro sistema.

Para calcular los diámetros de los ductos en el sistema se utiliza el método de igual pérdida de carga, esto quiere decir que se fija una pérdida de carga igual para todo el sistema por unidad de longitud. Los valores entre 0.1 y 0.15 mmca por metro lineal de conducción son generalmente adoptados como buenos.

Conociendo el caudal en cada tramo y con el valor de la pérdida de carga establecido, se buscan en el diagrama del anexo 2 los valores de la velocidad y diámetro para cada uno de ellos.

Algunas consideraciones sobre el diseño de los ductos son:

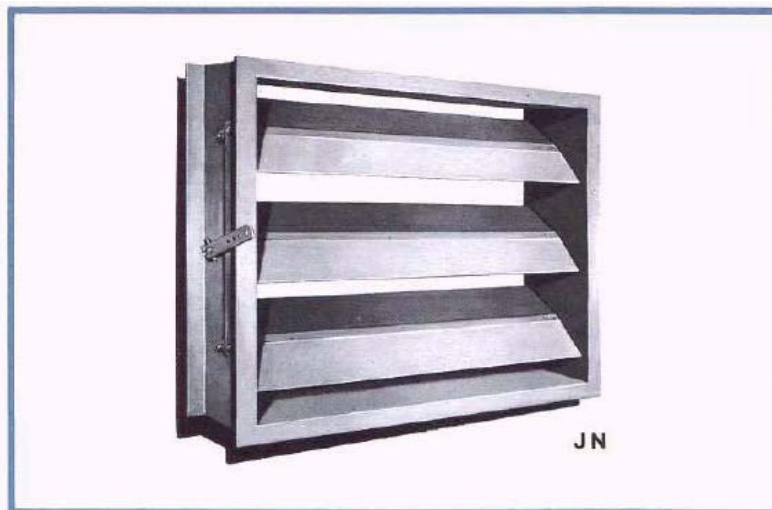
- Por norma, el diámetro del ducto debe ser como mínimo igual a las aberturas del ventilador.
- En la medida de lo posible, reducir los cambios de dirección y en caso de hacerlos, que sean con radios de giro amplios, no hacer el cambio muy brusco.
- La salida del ventilador debe tener a continuación un tramo recto de longitud entre 1.5 y 2.5 veces la dimensión mayor de la boca del ventilador.
- Colocar juntas flexibles entre los equipos y ductos para evitar la propagación de vibraciones.
- Cuando haya necesidad de un codo, la circulación del aire debe coincidir con la rotación del ventilador.
- Los materiales de construcción deben ser superficie interna lisa, que contribuyan a mantener la calidad del aire, que no lo contaminen, que no contribuyan a la propagación de fuego o que desprendan gases tóxicos en caso de incendio. Apegado a normas en cuanto al tipo de unión, espesores, refuerzos y soportes.

8.5 Persianas de sobrepresión

Las persianas, rejillas o venecianas son registros que sirven para regular el caudal de aire en ductos, cajas de mezclado, en la admisión y salida de aire de sistemas de climatización, construidas en lamina de hierro galvanizado con la disposición de las aletas en forma paralela o convergente, hay para admisión de aire, sobrepresión, cortafuegos, exteriores, etc. .

Las persianas para exterior son generalmente construidas como fachada para las aberturas proveyendo buena protección para el ingreso de agua de lluvia al recinto, de basura que sea trasportada por el aire y de animales, son utilizadas como elementos de regulación en ductos e instalaciones de ventilación, están compuestas por el marco, las láminas o aletas, el dispositivo para regular y fijar la posición de las aletas, ver figura 8.

Figura 8. Registro o veneciana exterior



Fuente: Trox Technik. **Registros venecianas exteriores.** Folleto No C3 - 001

Las persianas o damper de sobrepresión, son registros que van montados en ductos o paredes exteriores y que se accionan con sobrepresión, es decir que el aire dentro del recinto debe tener una presión tal que pueda levantar las aletas para permitir el paso y cuando el sistema se desconecta o se abre alguna puerta las persianas se cierran automáticamente, su función es mantener el caudal de aire seleccionado y asegurar el equilibrio de presión en los ductos, ver figura 9. Pueden trabajar con velocidades desde 3 m/s hasta 30 m/s, y pérdidas de presión según el valor de la velocidad.

Figura 9. **Damper de sobrepresión**



Fuente: Trox Technik. **Damper de sobrepresión**, Folleto No C3-003

Las tomas de aire exterior o admisión, son registros utilizados para la admisión de aire al recinto compuestos por una persiana, un dispositivo de regulación del caudal y un filtro.

Los registros cortafuego sirven para aislar determinadas áreas del recinto contra el fuego, se pueden montar en paredes y pueden accionarse por un fusible térmico, solenoides, motores eléctricos o pistón neumático.

También hay disponibles registros motorizados que son controlados automáticamente para abrir y regular el caudal según la necesidad detectada por el sistema de control.

Figura 10. **Rejillas de admisión**



Fuente: Trox Technik. **Toma de aire**, Folleto No C3-006

La distribución y dimensiones de los registros son fundamentales para asegurar que el sistema trabaje apropiadamente, se debe crear una suave corriente de aire en la entrada y en la salida a manera que barra o remueva el aire interior sin causar molestias al personal o procesos, la dimensión y posición de las entradas de aire deben ser tal que permita al ventilador mantener una adecuada sobrepresión (presión interior mayor a la atmosférica) del recinto para que el aire interior salga hacia el exterior lo que resulta beneficioso en el caso de no querer permitir el ingreso de polvo y contaminantes.

Las entradas de aire no debe estar ubicadas en las cercanías de puertas, ventanas o aberturas que se mantengan abiertas porque esto daría lugar corrientes de aire en corto circuito, esto quiere decir que el aire no recorrerá toda la distancia prevista sino que saldrá rápidamente del local sin lograr el propósito de la ventilación.

9. COSTO DE RENOVACIÓN DEL AIRE

Calcular el costo de renovación de aire es tomar en cuenta todos los gastos necesarios para mantener operando el sistema. Para el sistema de enfriamiento evaporativo dicho costo tiene como principal elemento el motor del ventilador que se encargará de suministrar el aire en la cantidad y presión requerido para mantener las condiciones interiores. El sistema opera continuamente durante todo el año y la electricidad que consume es producida por los turbogeneradores instalados dentro del recinto, por lo que su costo será el valor al cual la empresa vende la energía al comercializador.

Otro motor involucrado es el de la bomba de recirculación de agua en el lavador de aire.

El agua utilizada en el lavador de aire debe ser agua potable y de baja dureza para evitar incrustación de los paneles evaporativos, por lo que puede tomarse el costo actual del tratamiento de agua en la planta para su cálculo.

El cambio de los paneles evaporativos dependerá de su mantenimiento y la calidad de agua, por lo que para prolongar su vida útil se requiere de:

- Tratamiento del agua, para evitar bacterias, hongos, algas, etc.
- Purga continua a través de un drenaje, regulado de acuerdo con la suciedad del aire captado.
- Drenaje periódico del depósito de agua para eliminar la suciedad acumulada.

- Cuando haya una parada del equipo, desconectar primero la recirculación del agua y permitir que los paneles sigan trabajando con la corriente de aire hasta secarlos.
- Cuando la parada sea larga, vaciar el depósito de agua y volverlo a llenar hasta que se arranque de nuevo.

El otro costo involucrado es la depreciación del equipo, la cual se hará como normalmente se toma en nuestro medio, por cinco años, esto quiere decir que anualmente se traslada a gasto un 20% del valor del equipo, y esto se puede agregar al costo de mantenimiento anual del equipo.

En resumen el sistema de enfriamiento evaporativo ofrece un aire limpio, 100% renovado, enfriado y humedecido, con bajo costo de instalación y de operación, además de ser un sistema ecológicamente amigable pues solo necesita de agua potable para funcionar, y no utiliza refrigerantes que resultan perjudiciales al medio ambiente.

Los sistemas de acondicionamiento mecánico tradicionales, requieren forzosamente que las paredes y techos del recinto tengan aislamiento térmico para disminuir la transferencia de calor hacia el exterior, mientras que para el enfriamiento evaporativo, de existir dicho aislamiento en el recinto ayuda, de lo contrario se puede aumentar la capacidad del sistema proyectado para compensar esa transferencia a cambio de hacer un gasto para cambiar paredes y techos, lo que puede resultar en una ventaja al considerar este sistema.

10. CONSERVACIÓN DEL AIRE

Para suministrar el aire al interior de un recinto es necesario invertir en la adquisición de los equipos y accesorios, la instalación y las modificaciones que se requieran para cumplir con los requisitos del sistema, de confort y control ambiental así como los gastos por mantenimiento y operación del sistema. Estos costos llegan a ser representativos a medida que la diferencia entre las condiciones del aire exterior y el interior sean mayores.

Durante el diseño debe tomarse en cuenta el valor actual de la energía para calcular las tasas adecuadas de ventilación sin perjudicar la calidad y cantidad de aire que debe suministrar el sistema, para que la capacidad de los equipos y su operación no resulte en costos mayores a los de aportar el aire realmente necesario dentro del recinto.

Se utilizan varios métodos para reducir los costos del acondicionamiento del aire para un recinto, siendo estos: Reducción del caudal total, aporte de aire exterior sin calentar y recuperación de energía.

10.1 Reducción del caudal total

Para obtener un ahorro en el consumo energético del sistema de enfriamiento evaporativo es necesario hacer un buen inventario de las cantidades de aire a suministrar así como de las salidas para dimensionar adecuadamente el ventilador y los conductos.

Si dentro del recinto hubieran áreas que necesiten atención especial y que ameriten la instalación de equipos de extracción localizada por ejemplo, será conveniente tomarlo en cuenta durante el diseño para que sea tratada con la adecuada cantidad de aire y no tratar de remover los contaminantes con el sistema central lo que implicaría caudales mayores en el suministro de aire.

Basados en la experiencia con sistemas evaporativos, los fabricantes de estos sistemas recomiendan para el cálculo del volumen del recinto no tomar la altura total del mismo sino la altura abajo de los ductos de suministro de aire, esto es:

$$Vr = W \times L \times H$$

En donde:

Vr = volumen del recinto, m^3

W = ancho del recinto, m

L = largo del recinto, m

H = altura desde los ductos hacia el piso, m.

El caudal de aire de renovación en metros cúbicos por hora:

$$Q = Vr \times No R$$

En donde:

Q = caudal de aire m^3 / h

$No R$ = Número de renovaciones por hora.

Esto se debe a que la zona en donde se realizan los procesos y se ubican la mayoría de las personas es por debajo de los 2.50 a 3.00 metros, lo que se conoce como la zona habitada, y que es donde interesa optimizar el uso del aire de renovación para lograr la mayor ventilación con un mínimo caudal cuando se aplica directamente sobre esa área, teniendo presente los criterios de velocidad de las corrientes de aire.

10.2 Aporte de aire exterior sin calentar

Cuando el sistema requiera operar suministrando calor al recinto por medio del aire de renovación, pueden obtenerse ahorros significativos si los procesos que se realizan interiormente liberan calor, entonces el aire frío del exterior puede suministrarse sin calentar en un volumen tal que disminuya la temperatura del aire interior al valor que se necesite para proporcionar una adecuada temperatura a los trabajadores que estén expuestos a calor radiante. Cuando internamente haya equipos que necesitan aire frío, este puede suministrarse directamente desde el exterior para disminuir una carga de calentamiento que no es necesaria agregar al sistema de aire de renovación.

10.3 Recuperación de energía

Del aire que sale del recinto puede recuperarse energía de dos maneras:

- Por medio de intercambiadores para recuperar el calor antes de que el aire se descargue al ambiente. El enfriamiento evaporativo indirecto tiene recuperación de energía cuando sea regenerativo, quiere decir que usa aire primario para aumentar el efecto de refrigeración y cuando es recuperativo o sea que usa parte del aire sale del edificio para enfriar el aire primario, refiérase al capítulo 8.

- El enfriamiento evaporativo directo tiene recuperación de calor si se emplea aire del interior para recirculación.

11. EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE EXPOSICIÓN DE LOS TRABAJADORES

Los niveles de exposición de los trabajadores son los rangos establecidos de concentraciones de elementos, nivel de ruido, tiempo de exposición, etc., que pueden tolerarse dentro del recinto sin que perjudique la salud del personal.

El aire exterior que se utiliza para renovación puede ser portador de gran cantidad de elementos que afectan el confort y calidad dentro del recinto, entre ellos, polvo, olores, residuos industriales, productos químicos, vapores, humos, ruido, hollín. etc. La fuente de esta contaminación puede ser el mismo aire exterior, procesos industriales internos y externos, actividades personales, medio ambiente en donde este ubicado el recinto, etc.

Un buen diseño del sistema en cuanto a distribución y cantidad de aire, capacidad de los equipos de acuerdo al tamaño del recinto y el control de las condiciones interiores, ayudan a que todos esos contaminantes se mantengan dentro de los valores permisibles.

Como indicadores de la calidad de aire podemos tomar:

- Físicos: la temperatura, humedad y contenido de partículas.
- Químicos; presencia de elementos como CO, CO₂, O₃, etc.
- Biológicos: bacterias, virus, etc.

Es necesario cumplir con los niveles permisibles para que estos factores no sean nocivos para la salud de los ocupantes del recinto.

Existen normativas internacionales que establecen los caudales mínimos en función de la cantidad de ocupantes, del tamaño del local y de los procesos industriales.

En España, la Norma UNE 100-011-91 Climatización. La ventilación para una calidad aceptable del aire en la climatización de los locales. Establece los caudales mínimos para cada local, según la cantidad de personas, procesos, ubicación geográfica, condiciones ambientales, etc.

En Brasil, la Norma NBR 6401 Instalaciones centrales de aire acondicionado para confort. Parámetros básicos de proyecto. Establece las condiciones mínimas para la elaboración de proyectos de instalaciones de unidades con capacidad individual a partir de 9000 kcal / hora.

En Estados Unidos son varias las entidades que ofrecen normativas para la ventilación industrial, entre ellas la American conference of Governmental Industrial Hygienists ACGHI; La Sociedad Americana de Ingeniería para Aire Acondicionado, Calefacción y Refrigeración ASHRAE; la Asociación de contratistas que intervienen en el área de aire acondicionado, calefacción y refrigeración, ACCA.

Los efectos de la mala calidad del aire pueden clasificarse de la manera siguiente:

- Efectos Oculares; enrojecimiento, lagrimeo, irritación.
- Efectos respiratorios: Resequedad en la garganta, congestión nasal y sinusitis, ronquera, goteo nasal.
- Efectos generales como náusea, mareos, somnolencia, dolor de cabeza, fatiga, falta de aire.
- Enfermedades contagiosas como gripes, resfriados, tuberculosis, legionela, etc.

El acondicionamiento del aire debe asegurar que los parámetros siguientes se mantengan dentro de los límites establecidos durante la ejecución de las actividades en el interior de los recintos:

- a) Temperatura de bulbo seco del aire,
- b) Humedad relativa del aire,
- c) Velocidad del aire,
- d) Grado de pureza del aire,
- e) Nivel de ruido admisible y
- f) Porcentaje de la renovación de aire.

12. PRESENTACIÓN DE PROPUESTA

Las dimensiones y distribución del equipo en el recinto se presentan en la figura 10, en la que se muestra la planta del edificio.

Dimensiones:

Largo:	18.00 m
Ancho:	14.00 m
Altura1: parte central de la nave:	9.70 m
Altura 2: parte baja de la nave:	7.20 m
Altura de instalación de ductos:	4.00 m

Premisa: Se reducirá el área del recinto a lo necesario para operación y mantenimiento de los generadores de energía, separando el área del resto del edificio con paredes, a efecto de reducir drásticamente el volumen de aire necesario. Se acondicionará del nivel de los ductos hacia el suelo en toda el área del recinto. Esto es tomando una altura para el cálculo del volumen de 4.00 metros de altura, que es el área en donde se encuentran ubicados los turbogeneradores, la parte alta del recinto no se toma en cuenta porque es la zona donde se estratifica el aire caliente y sirve de aislamiento entre el techo y el espacio climatizado.

Se toma los valores máximos de la temperatura y humedad relativa en el área, según capítulo 1, datos promedio tomados del Insivumeh $T = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Hr = 56\%$, T bulbo húmedo (carta psicrométrica) $27\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Cálculo del volumen del recinto a climatizar:

$$Vr = 14 \times 18 \times 4$$

$$Vr = 1,008\text{ m}^3$$

Tomando como base los valores establecidos en la tabla V, del capítulo 6, para naves industriales señala un índice de renovación de 30 a 60 veces por hora, tomaremos el valor de 30.

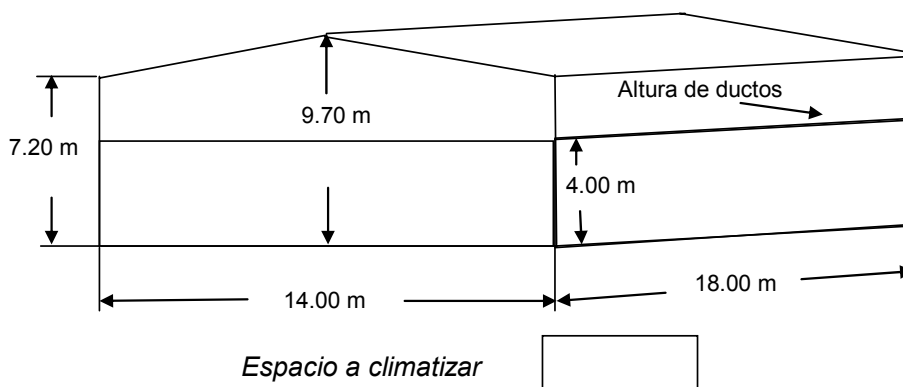
Entonces el caudal de aire es:

$$Q = Vr \times No R$$

$$Q = 1,008 \times 30$$

$$Q = 30,240 \text{ m}^3 / \text{hora}$$

Figura 11. Diagrama esquemático al espacio a climatizar



12.1 Selección del lavador de aire

La eficiencia esta dada por:

$$N = (Te - Ts) / (Te - Tbh)$$

En donde:

N = eficiencia

Te = Temperatura de entrada del aire al aparato,

Ts = Temperatura de salida del aire del aparato,

Tbh = Temperatura de bulbo húmedo,

Despejando temperatura de salida:

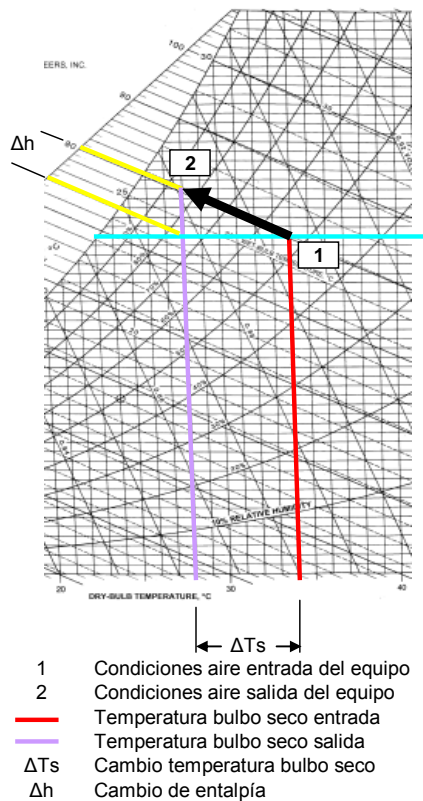
$$Ts = Te - N \times (Te - Tbh)$$

Generalmente, los fabricantes de equipos tienen ya establecidas las eficiencias para sus equipos y podemos encontrar desde 80% hasta 95%. Seleccionaremos el equipo con 85%, para el cual la temperatura de salida del aire será de:

$$T_s = 34 - 0.85 \times (34 - 27)$$

$$T_s = 28.05 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Figura 12. Representación de los datos del proyecto en la carta psicrométrica



La humedad relativa resultante según la carta psicrométrica (anexo 1) será de 89%.

Para determinar la potencia frigorífica del equipo, obtenemos de la carta psicrométrica la variación energética (entalpía) ocasionada por la disminución de la temperatura de bulbo seco del aire, así:

Punto 1: $h_1 = 83.5 \text{ kJ/Kg aire seco}$

Punto 2: $h_2 = 77 \text{ kJ / kg aire seco}$

$\Delta h = 6.5 \text{ kJ / Kg}$

Multiplicando por la densidad del aire tenemos:

$$6.5 \text{ kJ / Kg} \times 1.2 \text{ Kg / m}^3 = 7.8 \text{ kJ / m}^3$$

Entonces la capacidad de enfriamiento del equipo es el volumen de aire por la variación de entalpía:

$$P = Q \times \Delta h$$

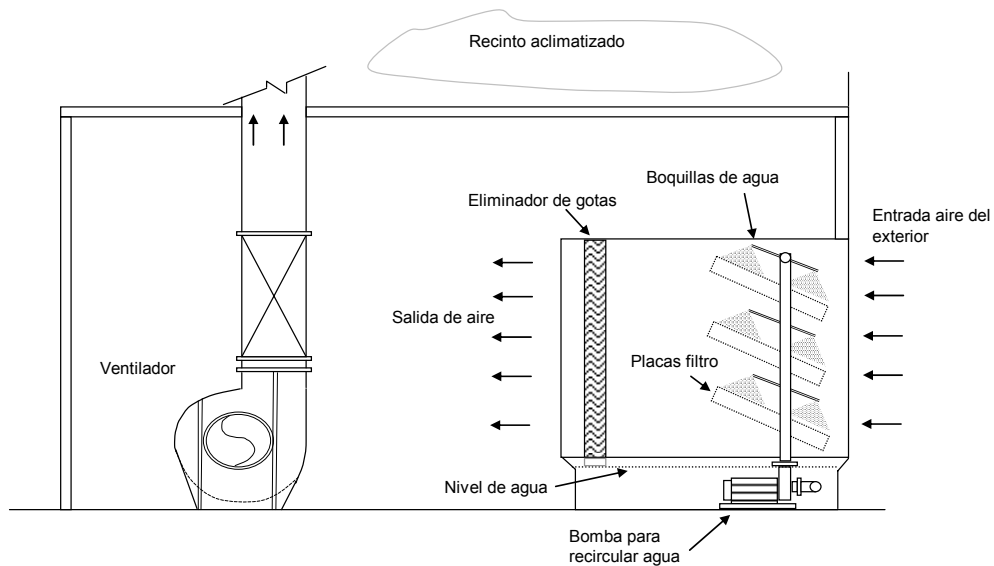
$$P = 30,240 \text{ m}^3 / \text{h} \times 7.8. \text{ kJ / m}^3$$

$$P = 235,872 \text{ kJ / h}$$

12.1.1 Características del lavador de aire

El equipo debe tener los siguientes componentes básicos, figura 13:

Figura 13: Diagrama esquemático del lavador de aire y ventilador



1. Paneles filtrantes: en forma de colmena hechas en aluminio corrugado o resina que sea capaz de retener el polvo, hollín y las impurezas presentes en el ambiente, con una moldura adecuada para evitar su deformación por el peso. Deben montarse sobre una base o bastidor, es necesario que estén bien instalados y que no haya espacios libres entre paneles, ni entre los paneles y el bastidor, de manera que no haya entradas de aire que no sea a través de las placas. La cantidad de placas debe estar de acuerdo al caudal de aire a tratar, $30,240 \text{ m}^3 / \text{h}$, y mantener una pérdida de carga no mayor a 25 mmca (según recomendaciones de fabricantes).
2. Sistema hidráulico: Tiene como propósito recircular el agua para lavar el aire y pulverizarla debidamente sobre la superficie de los paneles asegurando que toda el área de filtrado sea humedecida. Consiste en la bomba, depósito, tubería y los atomizadores, válvula de purga para remover periódicamente los sedimentos. La capacidad del sistema de recirculación varía según el fabricante, pero debe ser capaz de mantener el caudal de agua necesario para lavar el flujo de aire calculado al inicio de este capítulo.
3. Eliminador de gotas: Son elementos fabricados en polipropileno y tienen como fin eliminar las gotas de agua que van en la corriente de aire originadas por la pulverización del agua durante el lavado del agua. Se montan en la salida del lavador de aire, en forma de panel y con la cantidad necesaria para atender el caudal de aire que pasa por el lavador.
4. Durante la operación, asegurarse que no existen fugas de aire en las puertas de inspección del equipo, que los paneles estén debidamente centrados y colocados en su base, así como verificar que las boquillas pulverizadores estén bien centrados en los paneles para mantener operando toda el área de lavado. Además que se mantenga la

pérdida de carga establecida por el fabricante, porque esto indicará si hay obstrucciones en los paneles o si hay flujo de aire fuera de los paneles.

12.2 Ductos

Los ductos para transportar y distribuir el aire humedecido hacia el interior del recinto, se calculan tomando como base el caudal de 30,240 m³/h calculado anteriormente.

Tabla IX: **Velocidades estipuladas**

	Velocidades recomendadas (m / s)			Velocidades máximas (m / s)		
	Viviendas	Edificios Públicos	Edificios Industriales	Viviendas	Edificios Públicos	Edificios Industriales
Tomas de aire exterior	2.5	2.5	2.5	4	4.5	6
Baterías de calefacción en los ductos	2.25	2.5	3	2.5	3	3.5
Salida de ventiladores	5 - 8	6.5 - 10	8 - 12	8.5	11	14
Conductos principales	3.5 - 4.5	5 - 6.5	6 - 9	6	8	11
Derivaciones intermedias	3	3 - 4.5	4 - 5	5	6.5	9
Derivaciones finales	2.5	3 - 3.5	4	4	6	8

Fuente: E Carnicer Royo. **Ventilación Industrial**. Cálculos y aplicaciones

Para efectos de disponibilidad del sistema de acondicionamiento de aire, vamos a trabajar con dos ventiladores, cada uno con un caudal de 15,120 m³/h, esto nos dará flexibilidad en la operación para hacer el mantenimiento, o reparar averías, siempre tendremos la disponibilidad de un ventilador para mantener el aporte de aire aunque en menor cantidad. También en caso de instalar un sistema automático de control de temperatura y humedad del recinto, puede ser que en las horas de baja temperatura y alta humedad (durante el invierno) sea suficiente solamente con un equipo, lo que reduciría su costo de operación.

El diseño del ducto lo haremos por el método de igual pérdida de carga, por lo que partiremos con los datos siguientes:

Caudal Inicial: 30,240 m³

Pérdida de carga: 0.10 mmca,

Usando el anexo 2, diagrama para el cálculo de conductos circulares, empezamos con los ramales de la salida de uno de los ventiladores y con el caudal de 15,120 m³/h y una pérdida de carga de 0.1 encontramos el diámetro del ducto, luego con la gráfica del anexo 3, diagrama de conducción circular equivalente en sección rectangular, encontramos las dimensiones del ducto rectangular para esas condiciones, así sucesivamente para cada una de las secciones en que dividimos el ducto como se muestra en la figura 14 y los datos aparecen tabulados en la tabla X. En el apéndice 1 se encuentra el plano de planta del recinto. Se han utilizado los siguientes criterios:

- El cálculo de los factores de carga de los accesorios, codos, transiciones (cambios de sección), unión “Y” se ha realizado tomando como base la sección F35 del manual 2005 ASHRAE Fundamentals.
- Los datos para rejillas de suministro y de evacuación de aire del recinto se obtienen de datos de fabricantes.
- El cambio en las secciones del ducto se ha hecho tratando de mantener la relación de aspecto baja para evitar pérdidas de carga y disminuir el consumo de energía.
- Los caudales se dividieron de tal manera que haya más flujo sobre el área de las turbinas de vapor que son las que más calor liberan al ambiente.
- Se comparan las velocidades obtenidas en el cálculo contra la tabla IX para que cumplan con las velocidades recomendadas.

Figura 14. Disposición del ducto para suministro de aire

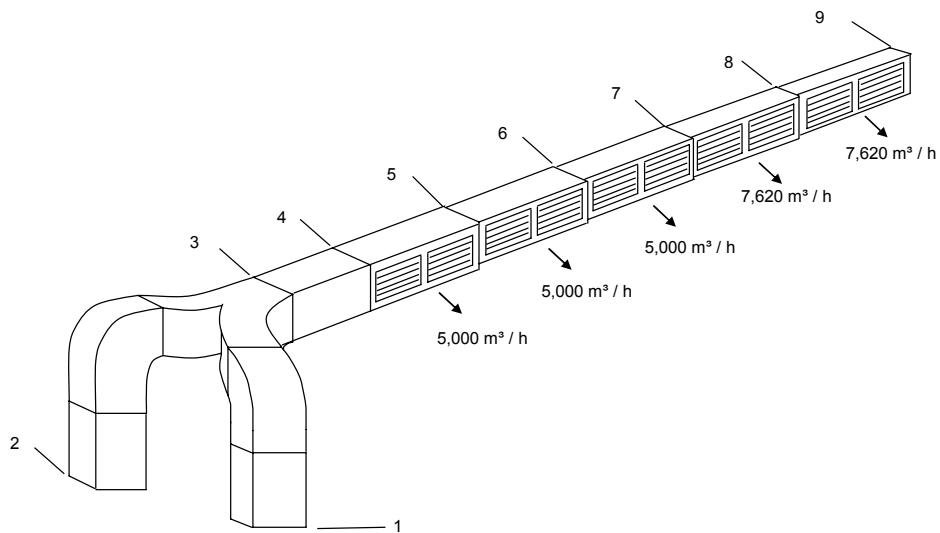


Tabla X. Dimensiones y caudales para el ducto de suministro de aire.

Sección Ducto	Elemento del ducto	Flujo aire (m³ / h)	Ø equivalente, lados rectángulo (mm)	Velocidad (m / s)	Presión dinámica (mmcda)	Largo ducto (m)	Sumatoria coeficientes de pérdida C	Pérdida de presión ducto (mmcda / m)	Total pérdida presión (mmcda)	Pérdida de presión en la sección (mmcda)	
1 - 3	Ducto	15,120	770 (1,000 x 550)	9.50		1.00		0.1	0.10		
	Codo				5.54		0.184				
	Y				5.54		0.24				
							0.424		2.35	2.45	
2 - 3	Ducto	15,120	770 (1,000 x 550)	9.50		1.00		0.1	0.10		
	Codo				5.54		0.184				
	Y				5.54		0.24				
							0.424		2.35	2.45	
3 - 4	Ducto	30,240	1,000 (1,000 x 800)	11.00	7.42	2.00		0.1	0.20	0.20	
4 - 5	Ducto	30,240	1,000 (1,000 x 800)	11.00	7.42	2.00		0.1	0.20		
	Rejilla									1.42	1.62
5 - 6	Ducto	25,240	950 (950 x 700)	10.50	6.76	2.50		0.1	0.25		
	Transición rectangular									0.05	
	Rejilla										1.42
							0.05		0.34	2.01	
6 - 7	Ducto	20,240	870 (900 x 700)	10.00	6.13	2.50		0.1	0.25		
	Transición rectangular									0.05	
	Rejilla										1.42
							0.05		0.31	1.98	
7 - 8	Ducto	15,240	770 (770 x 700)	9.20	5.19	3.50		0.1	0.35		
	Transición rectangular									0.05	
	Rejilla										1.42
							0.05		0.26	2.03	
8 - 9	Ducto	7,620	600 (600 x 500)	7.80	3.73	3.50		0.1	0.35		
	Transición rectangular									0.05	
	Rejilla										1.42
							0.05		0.19	1.96	
Pérdida total de presión del sistema, para cada ventilador (mmcda)										12.24	

12.3 Rejillas de suministro y evacuación de aire

Las rejillas para el suministro de aire en el ducto principal pueden seleccionarse de las tablas de los fabricantes para ser montadas en el ducto de manera que cumpla con el caudal de diseño, el alcance de la corriente de aire, la velocidad de salida y el nivel sonoro para evitar molestias dentro del recinto. En este caso se seleccionaron rejillas con las siguientes características:

Secciones; 4-5, 5-6 y 6-7: dos rejillas de 2,500 m³ / h por sección.

Secciones; 7-8 y 8-9: dos rejillas de 3,700 m³ / h, por sección

Pérdida de carga: 0.71 mmcda

Nivel sonoro: 35 dB(A)

Alcance: 18 m

Velocidad: 3.5 m/s.

Se dispondrán 2 rejillas en cada tramo. Dentro de las alternativas pueden seleccionarse rejillas con paletas direccionables y con dispositivos de fijación para graduar el caudal, alcance, altura y la amplitud de la corriente del aire a efecto de optimizar la distribución del aire dentro del recinto.

Las rejillas exteriores para evacuar el aire del recinto estarán montadas en la pared opuesta al suministro de aire de manera que haya un barrido del aire interior, se instalarán 3 rejillas que evacuen 12,000 m³ /h dispuestas y que cumplan con las siguientes características:

Caudal máximo: 12,000 m³ / h

Velocidad: 5 m / s

Pérdida de carga: 8 mmcda

Estas rejillas pueden también seleccionarse con el dispositivo de sobrepresión, que la mantiene cerrada y al aparecer una diferencia de presión se abre, garantizando la protección contra la lluvia, ingreso de aves, roedores y basura hacia el interior del recinto y que garanticen que interiormente se mantengan de 3 a 5 mmcda.

12.4 Selección del ventilador

El ventilador que recomiendan los fabricantes para este tipo de aplicación es del tipo centrífugo accionado con poleas y debe tener la capacidad de vencer las pérdidas de carga en el sistema, en la entrada del lavador de aire, pérdida de carga en ductos y rejillas, en las rejillas de salida del recinto y mantener una presión positiva del recinto de 3 a 5 mmcda para evitar los problemas que plantean las tablas III y IV. De esta forma, las características del ventilador quedan de la siguiente manera:

Presión del recinto: 3 – 5 mmcda

Pérdida de carga en la succión: 25 mmcda

Pérdida de carga en ductos: 12.24 mmcda

Pérdida de carga en rejillas evacuación 8.00 mmcda

Total presión estática del ventilador: 50.24 mmcda.

Esto es para condiciones estándar, sin embargo la altura sobre el nivel del mar es de 205 metros a una temperatura de 34°C (diseño del sistema), entonces, usando factor de corrección de 0.976, tenemos:

Pérdida de carga a 205 msnm = $50.24 \text{ mmcda} / 0.976 = 51.47 \text{ mmcda}$

Por lo tanto se necesita de dos ventiladores de 15,120 m³ / h con una presión estática de 51.47 mmcda.

La potencia absorbida por el ventilador se obtiene a través de la fórmula:

$$PA = (Q \times Pt) / (3600 \times 102 \times n)$$

En donde:

PA = Potencia absorbida, kW

Q = caudal, m³ / h

Pt = Presión total, mmca (P estática ventilador + P dinámica salida)

N = eficiencia, 90%

Sustituyendo los valores obtenidos anteriormente, obtenemos PA = 2.61 kW (3.50 HP), este será el valor teórico de la potencia que necesitamos en el ventilador aunque dependerá de la disposición del fabricante, tipo de poleas, fajas, etc, el valor final de la potencia del motor que sea suministrado en el equipo.

CONCLUSIONES

1. Con los datos obtenidos en las secciones anteriores, se puede seleccionar de las tablas de fabricantes equipos de enfriamiento evaporativo tipo paquete, preensamblados, que cumplan con los datos de diseño, por ejemplo, podemos seleccionar un equipo con la capacidad de 35,000 m³/ h, o podemos colocar dos unidades de 15,000 m³/ h. La ventaja de estos equipos es que ya no hay que hacer instalaciones adicionales más que la conexión a los ductos y la acometida eléctrica y suministro de agua potable.
2. Reducir el tamaño del recinto aclimatizado hasta lo que sea necesario para la operación y mantenimiento de los generadores, pues reduce considerablemente el tamaño y capacidad del equipo de enfriamiento evaporativo, ya que se contaban con propuestas que contemplaban equipos de hasta 180,000 m³ / h, con el consiguiente incremento en el valor de adquisición y costos de operación.
3. El enfriamiento evaporativo es una opción apropiada para enfriar recintos en donde la carga de enfriamiento es homogénea, se basa en un número de cambios por hora del aire del local determinada en las tablas elaboradas por los fabricantes, según su experiencia y estudios sobre los equipos que construyen. Al lavar el aire dentro del equipo, se garantiza la limpieza del aire suministrado al interior del recinto.
4. Ambientalmente, es una opción adecuada porque no necesita de ningún refrigerante que dañe el ambiente, sino sólo agua potable y electricidad para operar.

5. La desventaja del enfriamiento evaporativo es que está condicionado por la humedad relativa del ambiente, se desempeña mejor en climas cálidos y secos.
6. La distribución y evacuación del aire en el recinto se puede optimizar utilizando los accesorios que han sido desarrollados por los fabricantes tales como: reguladores de caudal en los ductos, rejillas de suministro con dispositivos de regulación de caudal, direccionamiento de las corrientes de aire para lograr una buena distribución y alcance, rejillas de sobrepresión para evacuar el aire manteniendo una presión positiva en el recinto.
7. Un sistema de enfriamiento evaporativo asegura las condiciones apropiadas para el funcionamiento de los equipos de generación de energía, al reducir la temperatura del recinto en el que está instalado y lavar el aire de renovación, así como renovar el aire en la cantidad de veces recomendadas por los fabricantes, es un sistema que está siendo aplicado ampliamente en las plantas de cogeneración en Brasil.

RECOMENDACIONES

1. Suministrar aire limpio para el recinto en donde operan los generadores de energía que puede lograrse utilizando opciones que sean viables y de menor costo que los equipos tradicionales de enfriamiento, utilizar un sistema de enfriamiento evaporativo es recomendable porque garantiza la limpieza y temperatura adecuada del aire protegiendo los embobinados, las superficies de enfriamiento y los paneles auxiliares de control. Debido a la naturaleza del ambiente en donde operan los generadores, el aire está muy cargado de partículas de polvo, hollín y otros contaminantes que no necesitan un tratamiento especial, sino que pueden ser removidos del aire con un equipo de este tipo.
2. No es necesario acondicionar espacios muy grandes, es mejor limitar el área adecuada para la operación y mantenimiento de los generadores y separarla del resto del edificio, con esto se reducirá el tamaño y capacidad de los equipos, enfriando solamente el espacio necesario, haciendo una adecuada y razonable inversión inicial y con un bajo costo de mantenimiento y operación. Aprovechar la estratificación del aire, pues optimiza el uso de un equipo de enfriamiento evaporativo porque es innecesario remover el aire en las áreas altas debido a que los equipos se encuentran operando hasta una altura máxima de cuatro metros sobre el piso.

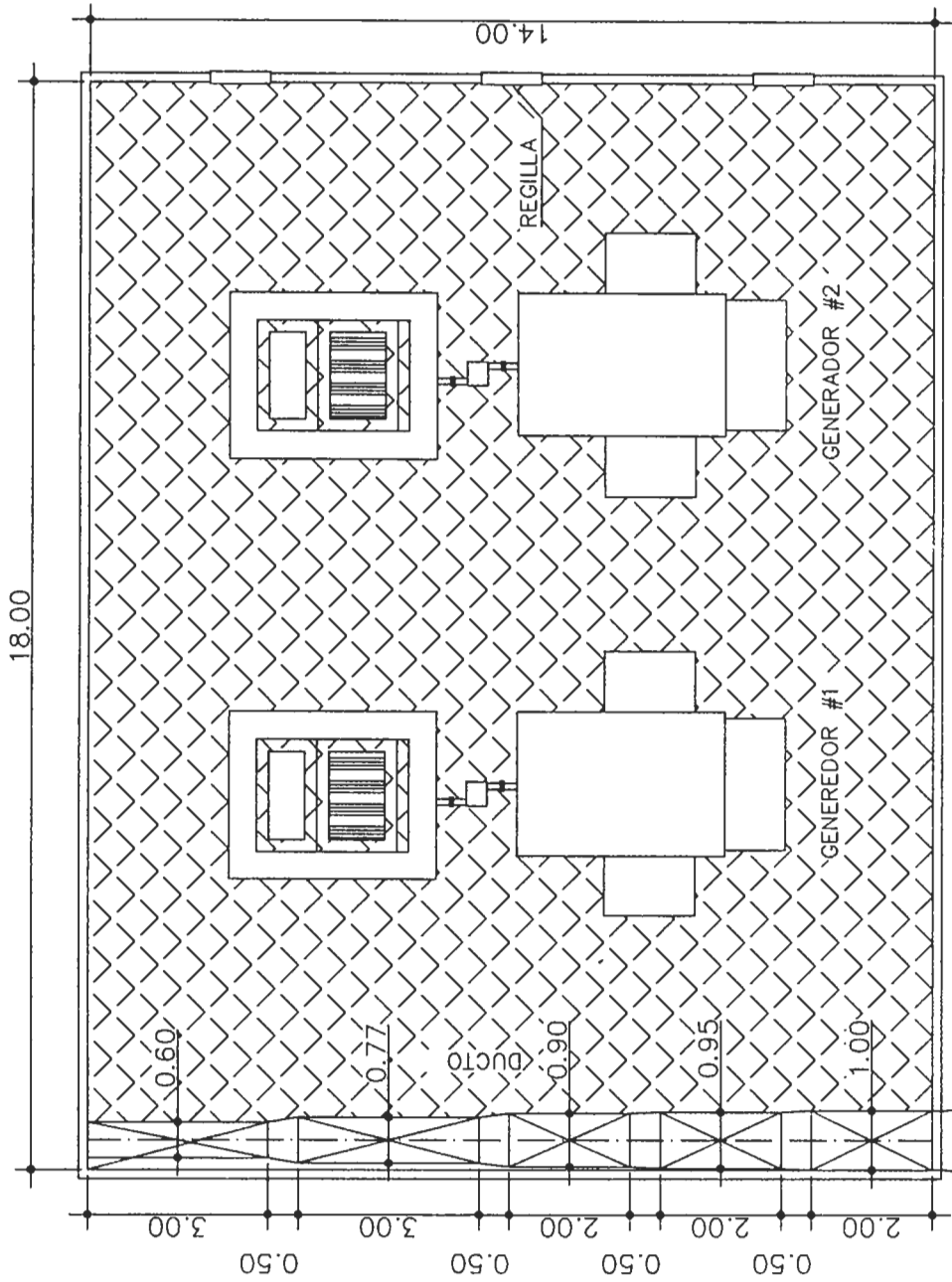
3. Suministrar aire limpio al recinto ayudará a reducir la frecuencia de limpiezas y el cumplimiento del programa de Buenas Prácticas de Manufactura, para lograr con menos recursos y esfuerzos que teniendo un recinto abierto que permita el ingreso del aire cargado de partículas que se van acumulando sobre los equipos, estructura, pisos, registros de inspección y conductos.
4. Establecer un programa para la medición de la resistencia del aislamiento cada seis meses y del índice de polaridad anualmente en cada uno de los generadores.
5. Es necesario lograr la operación continua de los generadores, para cumplir con los contratos de generación de energía y alcanzar la recuperación de la inversión en el tiempo estimado, el sistema de enfriamiento evaporativo ayudará a cumplir con los requerimientos de los fabricantes en cuanto al ambiente necesario, para una operación satisfactoria del equipo y obtener los resultados esperados por los inversionistas.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABNT. **Instalações centrais de ar-condicionado para conforto-Parâmetros básicos de projeto.** se, Brasil: 1980.17 pp.
2. ASHRAE. **The ASHRAE Handbook CD. 2005 Fundamentals.** se, Estados Unidos: 2005.
3. Baumeister, Theodore et al. **Marks. Manual del Ingeniero Mecánico.** 8ª ed. Mc Graw Hill, 1992.
4. Carnicer Royo, E. **Ventilación Industrial. Cálculos y aplicaciones.** 4ª ed. Editorial Paraninfo, España: 2001. 83 pp.
5. Generalitat Valenciana, **Ventilación Industrial. Manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales.** se, España: 1992.
6. NEMA **Standards publication MG2-2001.** se, Estados Unidos: 2001. 34 pp.
7. Pita, Edward G. **Acondicionamiento de aire. Principios y sistemas.** 2ª ed. Editorial Cecsa, 2002. 548pp.
8. Salvador Escoda S.A. **Manual práctico de ventilación. Catálogo técnico.** 2ª ed. se, España: sa 136 pp.
9. Sistemas de control Industrial GE. **Custom 8000. Motor y generador síncrono horizontal. GEEP332E.** se, Estados Unidos: 1997. 63 pp.
10. UNE 100011:1991. **Climatización. La ventilación para una calidad aceptable del aire en la climatización de los locales.** se, España: 1991. 18 pp.
11. WEG. **Manual de instalación y mantenimiento. Generadores sincrónicos línea S.** se, Brasil: 2003. 44 pp.

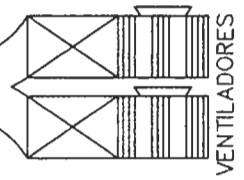
APÉNDICE

1. Planta del recinto para los turbogeneradores.



NOTA:
 LOS EQUIPOS
 GENERADORES
 NO TIENEN
 ESCALA

VISTA DE PLANTA
 Esc: 1/125



PROYECTO:	INSTALACION DE AIRE	Esc. No.	
PLANO DE:	REPARTICION DE EQUIPO Y DUCTOS DE AIRE	FECHA:	
PROYECTADO:	INGENIERO	FECHA:	MAYO 2007
REVISADO:	INGENIERO	FECHA:	
PROYECTADO:	INGENIERO	FECHA:	
REVISADO:	INGENIERO	FECHA:	
PROYECTADO:	INGENIERO	FECHA:	
REVISADO:	INGENIERO	FECHA:	

ANEXOS

1. Carta Psicrométrica. The ASHRAE CD Handbook. 2005
Fundamentals.
2. Diagrama para el cálculo de conductos circulares. Carnicer Royo, E.
página 73.
3. Diagrama de conducción circular equivalente en sección rectangular.
Carnicer Royo, E. Página 74.

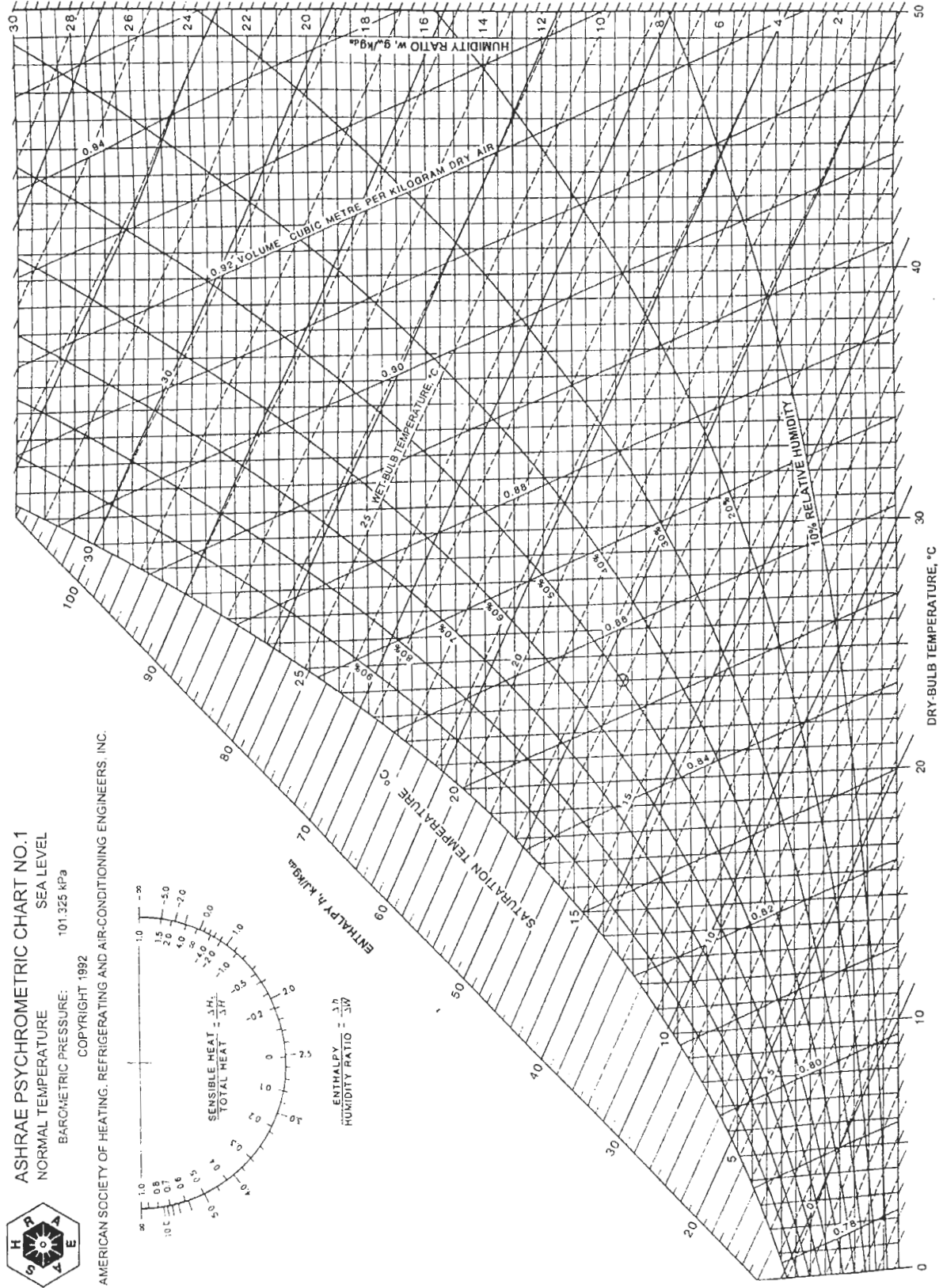
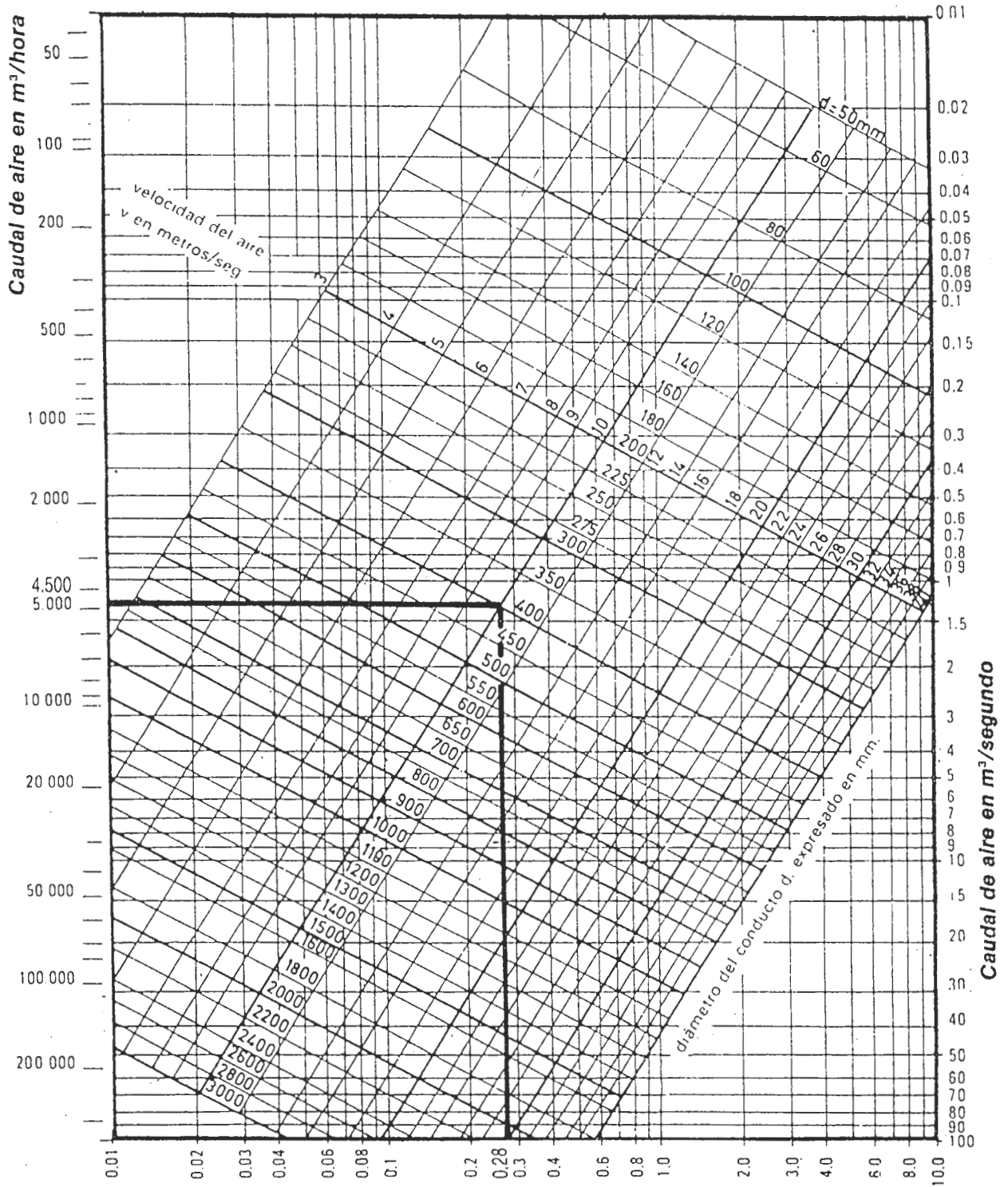


Fig. 1 ASHRAE Psychrometric Chart No. 1



Pérdidas de carga en mm. de c.d.a. por cada metro de longitud de conducto

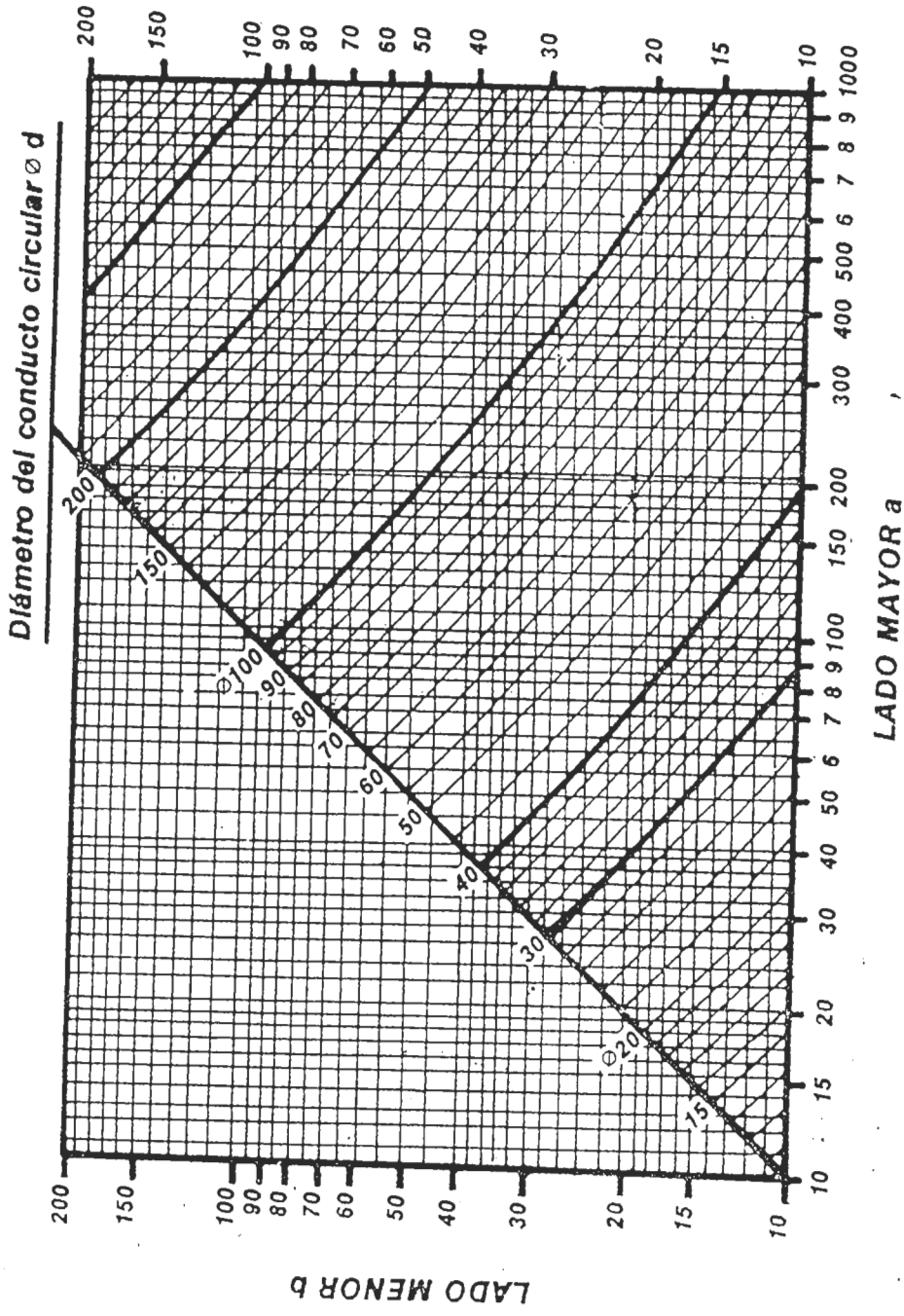


Fig. 4.2. Diagrama de conducción circular equivalente en sección rectangular.