



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

**ANÁLISIS TÉRMICO EN LA MEZCLA DE AIRE INYECTADO  
PARA DETERMINAR LOS RECURSOS NECESARIOS PARA  
LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE PINTURA  
AUTOMOTRIZ**

**Luis Felipe Morales Gordillo**

Asesorado por el Ing. Víctor Izquierdo  
Guatemala, noviembre de 2009



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS TÉRMICO EN LA MEZCLA DE AIRE INYECTADO  
PARA DETERMINAR LOS RECURSOS NECESARIOS PARA  
LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE PINTURA  
AUTOMOTRIZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**LUIS FELIPE MORALES GORDILLO**  
ASESORADO POR EL ING. VÍCTOR IZQUIERDO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2009



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 Lòpez
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Julio César Molina Zaldaña
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Víctor Eduardo Izquierdo Palacios
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

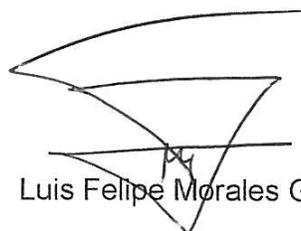


## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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:

### **ANÁLISIS TÉRMICO EN LA MEZCLA DE AIRE INYECTADO PARA DETERMINAR LOS RECURSOS NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE PINTURA AUTOMOTRIZ,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, el 23 de enero de 2008.

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above the printed name.

Luis Felipe Morales Gordillo

Guatemala, 26 de octubre de 2009

Ingeniero

Julio César Campos Paiz

Director de Escuela de Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Campus Central.

Por este medio, hago de su conocimiento que he tenido a la vista el informe final del trabajo de graduación del estudiante LUIS FELIPE MORALES GORDILLO, número de carné 8110627, titulado: ANÁLISIS TÉRMICO EN MEZCLA DE AIRE INYECTADO PARA DETERMINAR LOS RECURSOS NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE PINTURA AUTOMOTRIZ.

Y después de realizar las revisiones correspondientes he encontrado que es satisfactorio procediendo por este medio a su aprobación.

El autor de este trabajo y el suscrito asesor nos responsabilizamos por el contenido y conclusiones que en ella se exponen.

Atentamente

  
Ingeniero Mecánico

Víctor Eduardo Izquierdo Palacios

Ing. Víctor Eduardo  
Izquierdo Palacios  
Colegiado No. 3103

Colegiado No. 3,103

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 ANÁLISIS TÉRMICO EN LA MEZCLA DE AIRE INYECTADO PARA DETERMINAR LOS RECURSOS NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE PINTURA AUTOMOTRIZ, del estudiante **Luis Felipe Morales Gordillo**, recomienda su aprobación.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**



Ing. Julio César Molina Zaldivia  
Coordinador de Área

Guatemala, octubre de 2009 .

/behdei



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 ANÁLISIS TÉRMICO EN LA MEZCLA DE AIRE INYECTADO PARA DETERMINAR LOS RECURSOS NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE PINTURA AUTOMOTRIZ, del estudiante **Luis Felipe Morales Gordillo**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑADA A TODOS

Ing. Julio César Campos Raiz  
DIRECTOR



Guatemala, noviembre de 2009

JCCP/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 Industrial, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS TÉRMICO EN LA MEZCLA DE AIRE INYECTADO PARA DETERMINAR LOS RECURSOS NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE PINTURA AUTOMOTRIZ**, presentado por el estudiante universitario Luis Felipe Morales Gordillo, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, noviembre de 2009.



/gdech

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>DIOS</b>	Haberme permitido culminar este trabajo, dándome la fuerza y el entendimiento necesario
<b>MI ESPOSA</b>	Miriam
<b>MIS HIJOS</b>	Luis Alberto, Luis Pablo, Luis Andrés y Luis Alejandro
<b>MIS PADRES</b>	Luis Felipe Morales Medina e Irma Judith Gordillo de Morales
<b>MIS SUEGROS</b>	Cayetano Antonio Bolaños Duarte y Miriam Ileana Minera de Bolaños
<b>MIS CENTROS DE ESTUDIO</b>	Colegio Maryknoll, Colegio La Salle y Universidad de San Carlos de Guatemala Al centro Universitario Ciudad Vieja
<b>INGENIEROS</b>	Carla Gordillo de Marchena y Víctor Eduardo Izquierdo por su apoyo incondicional en este trabajo

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	<b>XII</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>XIV</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XVI</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XVIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XX</b>
<b>1 CONCEPTOS GENERALES</b>	<b>1</b>
1.1 Aire atmosférico	1
1.1.1 Humedad específica y relativa del aire	3
1.1.2 Temperatura del punto de rocío	4
1.1.3 Temperatura de saturación adiabática y bulbo húmedo	4
1.1.4 La carta psicrométrica	6
1.1.5 Procesos de acondicionamiento de aire	7
1.1.5.1.1 Calentamiento	

	y enfriamiento simple	8
1.1.5.1.2	Calentamiento con deshumidificación	9
1.1.5.1.3	Mezcla adiabática de corrientes de aire	10
1.2	Compresores utilizados en la industria de pintura automotriz	12
1.2.1	Compresores de tornillo	12
1.2.2	Compresores reciprocantes	13
<b>2</b>	<b>CÁLCULO DE EQUIPOS DE INYECCIÓN DE AIRE PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE PINTURA</b>	<b>15</b>
2.1	Cantidad de aire por minuto necesario para mantener condiciones estables dentro de la cámara de pintura	15
2.2	Cálculo y diseño de ductos de ventilación y extracción de aire	19

2.3	Cálculo en las dimensiones de equipo de inyección de aire	21
2.4	Cálculo en los equipos para deshumidificación según carta psicrométrica	23
2.4.1	Factor de calor sensible	24
2.4.2	Factor de calor sensible del local (RSHF)	25
2.4.3	Caudal necesario de aire tratado	26
2.5	Determinación del método más conveniente de calentamiento posterior a deshumidificación	28
<b>3</b>	<b>AISLAMIENTOS TÉRMICOS</b>	<b>31</b>
3.1	Teoría sobre transferencia de calor	31
3.1.1	Transmisión de calor por conducción en régimen estacionario y flujo unidireccional	32
3.1.2	Pared plana	33
3.1.3	Paredes planas en serie	34
3.1.4	Analogía eléctrica de la conducción	35

3.1.5 Paredes en paralelo	36
3.1.6 Resistencia de contacto	38
3.1.7 Conductividad térmica	41
3.1.8 Coeficiente de conductividad térmica para las aleaciones	43
3.1.9 Conductividad térmica de líquidos	44
3.2 Aislamientos térmicos	45
3.2.1 Lana de vidrio	46
3.2.2 Lana mineral	47
3.2.3 Espuma celulósica	47
3.2.4 Espuma de polietileno	47
3.2.5 Espuma de poliuretano	48
3.2.6 Coquillas (medias cañas) de lana mineral	48
3.2.7 Espuma elastomérica	48
3.3 Análisis Sobre aislante térmico más conveniente	49
3.4 Cantidad necesaria de aislante térmico en paredes y techo de la cámara de pintura automotriz	49

<b>4 SISTEMAS DE FILTRACIÓN DE AIRE DE ADMISIÓN Y EXPULSIÓN AL AMBIENTE</b>	<b>51</b>
4.1 Breve análisis del aire de admisión y de expulsión al ambiente luego de su uso	51
4.1.1 Importancia del aire en el proceso de pintura automotriz	52
4.1.2 Necesidad de renovar el aire dentro de la cámara para no asfixiar el proceso de curado de la pintura	52
4.2 Importancia de filtrar el aire de admisión y expulsión al ambiente	53
4.2.1 Filtración	54
4.2.2 Filtros de medio fijo	54
4.2.2.1 Filtro de aire	55
4.2.2.2 Bolsas para líquidos	56
4.2.2.3 Cartuchos	56
4.2.2.4 Papel filtro	57
4.2.2.5 Lonas	57

4.2.2.6 Equipos	57
4.2.3 Filtros desechables planos	60
4.2.4 Filtros desechables superficie	62
4.2.4.1 Tipo zig-zag	62
4.2.4.2 Filtros de bolsa de alta eficiencia	62
4.2.4.3 Filtros absolutos	63
4.2.4.4 Filtros metálicos lavables	64
4.2.4.5 Filtros de carbón activado	65
4.2.4.6 Filtros electrostáticos	65
4.2.4.7 Gabinete portafiltros	66
4.3 Tipo de filtros en el mercado guatemalteco	67
4.4 El filtro más aceptable en la admisión y en la expulsión del aire	67

<b>5 PROPUESTA FINAL PARA LA ELABORACIÓN CON DISEÑO TERMODINÁMICO IDÓNEO PARA LA CÁMARA DE PINTURA AUTOMOTRIZ</b>	<b>69</b>
5.1 Propuesta de diseño de ductos y equipos de	

inyección y expulsión de aire a la cámara de pintura	69
5.1.1 Casetas para pulverización de pintura	69
5.1.2 Estaciones de trabajo de pro-prep	77
5.2 Condiciones a cumplir para mantener un ambiente estable y predeterminado en la cámara de pintura	79
5.2.1 Ordenanzas de OSHA para casetas de pulverización	79
5.2.1.1 Construcción de la caseta	79
5.2.1.2 Instalación de la caseta	79
5.2.1.3 Ordenanzas sobre iluminación	80
5.2.1.4 Ordenanzas para el aire de descarga	81
5.2.1.5 Ordenanzas para el aire de repuesto	83
5.2.1.6 Limpieza	85
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>87</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>89</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>91</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>93</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Saturación adiabática	5
2. La Carta psicrométrica	6
3. Calentamiento con deshumidificación	9
4. Estado en el calentamiento con deshumidificación	10
5. Corrientes de aire	11
6. Compresor de tornillo	13
7. Compresor reciprocante	14
8. Comportamiento de un chorro de aire isotérmico	17
9. Factor de calor sensible	24
10. Factor de calor sensible del Local	26
11. Líneas de proceso de acondicionamiento	27
12. Calentador eléctrico	28
13. Pared plana simple	34
14. Pared combinada en serie	35
15. Paredes en paralelo	36
16. Combinación serie paralelo	37

17. Conductividad térmica metales y aleaciones	44
18. Conductividad térmica de líquidos, gases y vapores	45
19. Filtros de aire	55
20. Bolsas para líquidos, cartuchos, papel	56
21. Lonas filtrantes, equipos	57
22. Filtros desechables planos	61
23. Filtros de fibra de vidrio	61
24. Filtros desechables superficie tipo zig-zag	62
25. Filtros de bolsa	63
26. Filtros absolutos	63
27. Filtros de aluminio	64
28. Filtro de fibra natural	65
29. Filtro de carbón activado	65
30. Filtros electrostáticos	66
31. Gabinete portafiltros	66
32. Caseta de tiro cruzado	73
33. Caseta de tiro hacia abajo	78
34. Ventilador de aire	84

## TABLAS

I. Entalpía de vapor de agua	3
II. Leyes del ventilador	22
III. Conductancias interfaciales	40
IV. Conductividad térmica de algunos metales	42
V. Características de medios filtrantes	58
VI. Calibre de lámina	82

## LISTA DE SÍMBOLOS

**GSHF**

SHF total

<b><math>k_j</math></b>	Kilojoules
<b><math>K_g</math></b>	Kilogramos
<b><math>\Phi</math></b>	Humedad Relativa
<b><math>m^3</math></b>	Metros cúbicos
<b><math>m_a</math></b>	Masa de Vapor de Aire
<b><math>m_v</math></b>	Masa de Vapor de Agua
<b>RSHF</b>	SHF del local
<b>T</b>	Temperatura
<b>SHF</b>	Factor de Calor sensible (sensible heat factor)
<b><math>\Omega</math></b>	Humedad Relativa

## **GLOSARIO**

### **CÁMARA DE PINTURA**

Cuarto móvil o fijo, aislado del resto de ambientes donde se pintan automóviles en condiciones adecuadas.

### **DESHUMIDIFICAR**

Proceso por medio del cual se extrae el vapor de agua contenido en el aire

atmosférico y obtener aire seco.

**OPACAMIENTO**

Fenómeno en la aplicación de pinturas automotrices donde no se logra el brillo y lustre deseado en la misma.

**PULVERIZAR**

Medio por el cual los sólidos se hacen más finos llevándolos a un estado de polvo.

**PUNTO DE ROCÍO**

Condición térmica del aire donde se inicia la condensación del agua contenida en el mismo.

**RECIPROCANTE**

Con movimiento alternativo de vaivén

**SATURACIÓN**

Estado de una mezcla donde por mínimo que sea el cambio cambiara de fase.

**THINNER**

Líquido que se utiliza para adelgazar la pintura y así poder aplicarla con pistola atomizadora.

**VENTILADOR**

Dispositivo electro-mecánico

utilizado para elevar la velocidad y movimiento del aire.

## **RESUMEN**

Las condiciones atmosféricas en Guatemala, como en cualquier país y la cantidad de contaminación existente en el aire atmosférico, dificultan la buena calidad del trabajo de repintado automotriz, ya que algunas pinturas necesitan condiciones atmosféricas como aire seco y caliente, no menor de 38 °C, un suministro del mismo que llene las necesidades para que la pintura no sufra un fenómeno conocido como ahogamiento que consiste en un opacamiento y envejecimiento prematuro de la pintura, que tiene que ser por lo menos de 5 a 7 veces el volumen contenido en la cabina por minuto.

Además la demanda mundial de no contaminar el ambiente por procesos productivos, que crece día con día, provoca la necesidad que en nuestro país se promueva la pintura automotriz dentro de cabinas de pintura con condiciones controladas de aire tanto que ingresa al recinto como el que se expulsa al medio ambiente.

Es por ello que el presente trabajo es una guía para la elaboración de una cámara de pintura automotriz, donde se detallan las formas para determinar las condiciones del aire a la entrada y a la salida de la misma.

Además, se especifican los métodos para calcular las condiciones del recinto a través de la carta psicrométrica, así como los métodos para calcular las dimensiones de los ductos de conducción de aire desde el exterior hasta la cámara de pintura, pasando por los serpentines de refrigeración que son los encargados de deshumidificar, es decir, quitarle humedad al aire. En otros palabras a través de estos serpentines de enfriamiento logramos que la humedad contenida en el aire atmosférico en forma de vapor, se condense o sea que vuelva a su estado líquido y se desprenda del mismo aire, modificando las condiciones de su punto de rocío.

Lograda esta deshumidificación procedemos al calentamiento del mismo aire para lograr la temperatura necesaria que exigen las pinturas automotrices para obtener un buen acabado tanto en textura como en brillo.

Así también mencionamos algunas formas de filtrar tanto el aire de entrada como el aire ya utilizado que será expulsado al medio ambiente, con una baja tasa de contaminación ya sea por partículas en suspensión como

por los adelgazadores de las diferentes pinturas que se utilizan en la pintura de automóviles, siendo estas acrílicas, sintéticas, lacas y poliuretanos.

Se menciona también que el aire que entra en la cámara debe estar libre de partículas en suspensión tanto polvos como cualesquiera otras partículas que puedan dañar la apariencia y textura en el acabado de las pinturas.

Analizamos los equipos que se pueden utilizar para el acondicionamiento del aire, entendiéndose este proceso como el enfriamiento, deshumidificación y posterior calefacción del aire que se introduce en la cámara.

Finalmente se hace la propuesta final de la construcción de la cámara de pintura, tomando en cuenta algunas recomendaciones de las normas OSHA y otras normas utilizadas en Estados Unidos, tanto para protección ambiental como para protección del personal que operará dentro de la misma.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Contar con una guía para la selección de equipos y accesorios que nos ayuden en la construcción de una cámara de pintura automotriz, utilizando lo que provee el comercio guatemalteco

### **Específicos:**

1. Definir los métodos termodinámicos utilizados en el cálculo de acondicionamiento de aire.

2. Poder determinar los equipos y accesorios mas adecuados para la construcción de la cámara de pintura.
3. Determinar los filtros a utilizar para purificar el aire expulsado al ambiente libre de contaminantes.
4. Tener una guía de cómo hacer los cálculos para seleccionar los equipos y los ductos para el aire acondicionado específico en la construcción de la cámara de pintura.

## INTRODUCCIÓN

La industria automotriz en Guatemala está experimentando cambios tanto en la exigencia de los clientes como en la calidad de los productos y materiales de pintura, así como en los tiempos de entrega de los trabajos, su acabado final y la calidad entregada por el taller.

Los trabajos han sido siempre de tipo artesanal y con productos que se desechan al ambiente produciendo contaminación por desechos de thinner y pinturas acrílicas, dañando el entorno.

Con las nuevas medidas ambientalistas y las exigencias de los clientes sumadas a las nuevas calidades en la pinturas y materiales para realizar las reparaciones en la carrocería automotriz, nace la necesidad de construir en los talleres cámaras para pintura que provean un ambiente libre de partículas de tierra o basura que dañen la pintura, y que a la vez brinden un ambiente controlado tanto en la temperatura como en la cantidad de humedad en el aire que se suministra, así como poder controlar las emanaciones de aire utilizado cuando se descarga al ambiente y evitar así contaminación en el mismo.

Estas cámaras pueden ser fijas o móviles dependiendo de las necesidades y capacidad económica del taller, siendo las móviles para

arrendamiento por mes o por días, dependiendo del volumen de trabajo y necesidades de los mismos.

Este es el estudio termodinámico tanto de las condiciones de ambiente como de los equipos y materiales a utilizar en la construcción de esta cámara, pues a la vez se hace necesario contar con análisis estructural y diseño arquitectónico de la cámara y del análisis de costos, y de costo beneficio, para hacer factible la inversión de pequeños talleres, analizando no solo estos sino además las multas municipales y del Ministerio de Ambiente de Guatemala, así como el impacto ambiental que tienen las pinturas realizadas al aire libre.

Por lo tanto en este trabajo se desarrollarán los conceptos necesarios para realizar la mezcla adecuada de aire inyectado utilizando las herramientas termodinámicas para determinar las condiciones indispensables para cumplir con las demandas de aire a 35 % de humedad relativa y 30 grados centígrados, necesarios para que las pinturas queden con un acabado y textura finos y de buena apariencia visual, puesto que las pinturas necesitan ambientes con una humedad controlada para no crear al futuro rajaduras y desteñido de sus colores.

## 1. CONCEPTOS GENERALES

### 1.1 Aire atmosférico

El aire es una mezcla de nitrógeno, oxígeno y pequeñas cantidades de otros gases. Normalmente el Aire contiene cierta cantidad de vapor de agua o lo que llamamos comúnmente humedad. Esta composición de aire es la que conocemos como *aire atmosférico*. En contraste al aire que no contiene humedad o vapor de agua se le conoce como aire seco.

Es conveniente tomar el aire atmosférico como una mezcla de vapor de agua y aire seco. Esto obedece a que la cantidad de aire seco en una mezcla permanece relativamente constante, siendo el vapor de agua el que presenta variantes en la composición de la mezcla. Con esta categoría, podemos tener una gama de aire atmosférico que va desde 100% seco hasta 100% húmedo o aire totalmente saturado.

Esta clasificación es inconveniente para poder determinar los diferentes estados del aire con sus respectivas presiones y temperaturas de saturación y punto de rocío, temas que se desarrollarán más adelante.

Siguiendo con las características del aire, podemos asegurar que si estamos en el intervalo de temperaturas  $[-10,50]$  °C, puede tratarse este como un gas ideal con un coeficiente calorífico específico o calor específico  $C_p$  constante de 1.005 kJ/(kg.K).

Si se toma como temperatura de referencia los 0 °C, la entalpía y el cambio de entalpía del aire seco se determina por:

$$H_{\text{aire seco}} = C_p \times T \text{ [kJ/kg]}$$

y

$$\Delta H = C_p \times \Delta T \text{ [kJ/kg]}$$

Donde T es la temperatura del aire en °C, y  $\Delta T$  es el cambio de temperatura.

Podemos tratar al vapor de agua como gas ideal dentro de estos rangos, sacrificando algo de exactitud aproximadamente un 0.2% de error, para así analizar los procesos con más rapidez.

En este sentido se puede utilizar al aire atmosférico como una mezcla de gases ideales cuya presión es la suma de las presiones parciales de cada uno de sus componentes, en este caso aire seco  $P_a$  y vapor de agua  $P_v$ . Siendo entonces la presión total la expresión siguiente:

$$P = P_a + P_v$$

Algo importante de resaltar es que  $P_v$  es la presión de vapor del agua, que es la que ejercería el vapor de agua si estuviera solo a la temperatura y volumen del aire atmosférico. Debemos enfatizar que a temperaturas menores a 50 °C, las líneas de entalpía coinciden con las de la temperatura en el diagrama T-s. En consecuencia la entalpía del vapor de agua en el aire puede tomarse igual a la entalpía de vapor saturado a la misma temperatura. Y esta entalpía en el intervalo [-10,50] °C, se puede calcular de la siguiente manera, utilizando un valor constante de  $C_p = 1.82 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{°C)}$  y una entalpía

inicial igual a la del vapor de agua a 0°C = 2 501.3 kJ/kg, entonces obtenemos:  $H_g = 2\,501.3 + 1.82T$  [kJ/kg]

Con errores mínimos como se observa en la tabla siguiente

**Tabla I. Entalpía de vapor de agua**

T °C,	Tabla vapor de agua	Ecuación propuesta	Diferencia como margen de error
-10	2482.9	2483.1	-0.2
0	2501.3	2501.3	0.0
10	2519.8	2519.5	0.3
20	2538.1	2537.7	0.4
30	2556.3	2555.9	0.4
40	2574.3	2574.1	0.2
50	2592.1	2592.3	-0.2

### 1.1.1 Humedad específica y relativa del aire.

La humedad específica (o Relación de Humedad)  $\omega$ , de una mezcla de agua y aire, se define como la razón de la masa de vapor de agua en cierto volumen de la mezcla, a la masa de aire en el mismo volumen. Sea  $m_v$  la masa de vapor de agua y  $m_a$  la masa de aire (seco, sin vapor) presente en la mezcla. De esta manera

$$\omega = m_v / m_a$$

La humedad relativa  $\Phi$ , de una mezcla es la razón de la masa de vapor en una unidad de volumen, a la masa de vapor que dicho volumen podría contener si el vapor estuviera saturado a la temperatura de la mezcla. El

vapor puede considerarse como gas ideal, y las propiedades denotadas con el subíndice g corresponden a “vapor saturado”. En consecuencia

$$\Phi = mv/mg$$

### **1.1.2 Temperatura del punto de rocío.**

Se define como la temperatura a la que se inicia la condensación si el aire se enfría a presión constante. En otras palabras, la temperatura del punto de rocío es la temperatura de saturación del agua correspondiente a la presión de vapor.

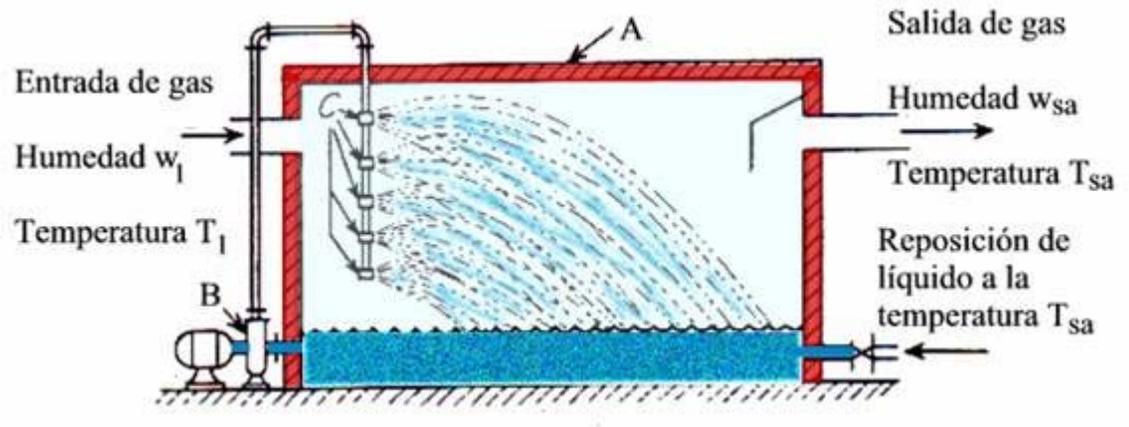
### **1.1.3 Temperatura de saturación adiabática y bulbo húmedo**

Una forma de determinar la humedad relativa es encontrar la temperatura del punto de rocío del aire. Al conocer la temperatura del punto de rocío es posible determinar la presión de vapor y de ese modo la humedad relativa. Este planteamiento es sencillo pero no práctico.

Otra manera de determinar la humedad absoluta o relativa se relaciona con un proceso de saturación adiabático, mostrado de manera esquemática y en diagrama T-s en la figura siguiente.

El sistema se compone de un canal largo aislado que contiene una pila de agua. Por el canal se hace pasar una corriente de aire no saturado que tiene una humedad específica  $\omega_1$  (desconocida) y una temperatura  $T_1$ .

Figura 1. **Saturación adiabática**



Cuando el aire fluye sobre el agua, un poco de ésta se evapora y mezcla con la corriente de aire. El contenido de humedad del aire aumentará durante este proceso y su temperatura descenderá, puesto que parte del calor latente de evaporación del agua que se gasificará provendrá del aire.

Si el canal tiene un largo suficiente, la corriente de aire saldrá como aire saturado ( $\Phi=100\%$ ) a la temperatura de  $T_2$ , que se llama **temperatura de saturación adiabática**.

El proceso de saturación adiabática recién analizado proporciona un medio para determinar la humedad absoluta o relativa del aire, pero es necesario un canal largo o un mecanismo de rociado para alcanzar condiciones de saturación a la salida. Un planteamiento más práctico consiste en emplear un termómetro cuyo bulbo está cubierto con una mecha de algodón saturada con agua y soplar aire sobre ella. La temperatura medida de esta manera se denomina **temperatura de bulbo húmedo**.

### 1.1.4 La carta psicrométrica

El estado del aire atmosférico a una presión específica se establece por completo mediante dos propiedades intensivas independientes. El resto de las propiedades se calcula fácilmente a partir de las relaciones anteriores. El dimensionamiento de un sistema común de acondicionamiento de aire implica un gran número de esos cálculos. Por tanto, hay una clara motivación para efectuar esos cálculos una vez y presentar los datos en gráficas que sean fáciles de leer. Dichas cartas reciben el nombre de **cartas psicrométricas** y se utilizan en trabajos de acondicionamiento de aire.

Las características más importantes de una carta como esta se presentan en la siguiente figura. Las temperaturas de bulbo seco se muestran sobre el eje horizontal y la humedad específica sobre el eje vertical.

Figura 2. La carta psicrométrica

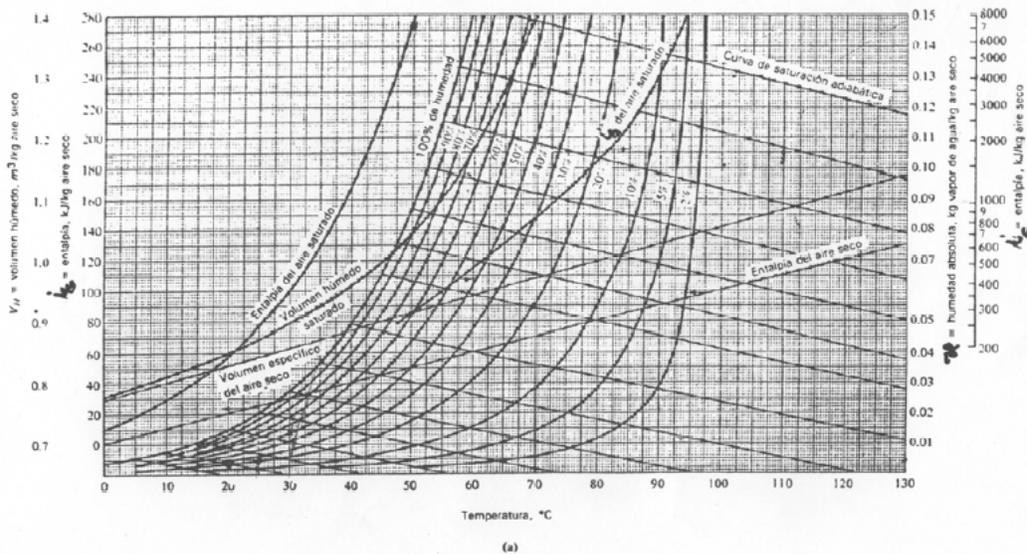


Figura 7.5(a) Carta psicrométrica para el aire-vapor de agua, 1 atm std abs., en unidades SI.

(Algunas cartas también muestran la presión de vapor sobre el eje vertical puesto que a una presión fija  $P$  hay una correspondencia uno a uno entre la humedad específica y la presión de vapor). En el extremo izquierdo de la carta hay una curva (llamada línea de saturación) en lugar de una línea recta. Todos los estados de aire saturado se localizan en esta curva. Por tanto, es también la curva de 100% de humedad relativa. Otras curvas de humedad relativa constantes tienen la misma forma general.

Las líneas de temperatura de bulbo húmedo constante tienen una apariencia descendente hacia la derecha. Las líneas de volumen específico constante (en  $\text{m}^3/\text{kg}$  de aire seco) parecen similares, salvo que son más inclinadas. Las líneas de entalpía constante (en  $\text{kJ}/\text{kg}$  de aire seco) están casi paralelas a las líneas de temperatura del bulbo húmedo constante. Por consiguiente, las líneas de temperatura de bulbo húmedo constante en algunas gráficas se emplean como líneas de entalpía constante.

Para aire saturado las temperaturas de bulbo seco, bulbo húmedo y punto de rocío son idénticas. Por tanto, en cualquier punto sobre la gráfica la temperatura del punto de rocío del aire atmosférico se determina al dibujar una línea horizontal (una línea de  $\omega = \text{constante}$ , o  $P_v = \text{constante}$ ) desde el punto hasta la curva saturada. El valor de la temperatura en el punto de intersección es la temperatura del punto de rocío.

### **1.1.5 Procesos de acondicionamiento de aire:**

Dentro de los distintos procesos de acondicionamiento de aire podemos mencionar el enfriamiento simple (que no es nada más que bajar la temperatura), el calentamiento simple (elevar la temperatura), la

humidificación (agregar humedad) y la deshumidificación (eliminar la humedad). En nuestro caso especial necesitamos deshumidificar el aire y posteriormente calentarlo hasta la temperatura deseada.

### **1.1.5.1 Calentamiento y enfriamiento simple:**

En el calentamiento simple el aire circula en ductos o tubos donde se calienta a través de transferir el calor desde una resistencia u otro mecanismo de alta temperatura, puede ser vapor de agua. Durante este proceso la cantidad de humedad permanece constante, ya que no se añade ni de quita humedad del aire. Es decir  $\omega$  que es la humedad específica permanece constante.

Es importante resaltar que la humedad relativa  $\Phi$  del aire disminuye durante un proceso de calentamiento, incluso si la humedad específica permanece constante. Esto se debe a que la humedad relativa es la relación entre el contenido de humedad y la capacidad de humedad del aire a la misma temperatura, y la capacidad de humedad aumenta con la temperatura.

En consecuencia, la humedad relativa de aire calentado puede estar bastante debajo de los niveles.

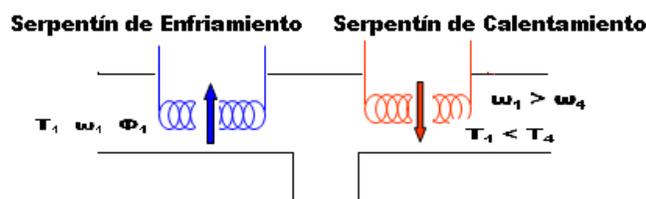
En el enfriamiento simple la humedad específica permanece constante como en el caso anterior solo que ahora aumenta la humedad relativa y la temperatura de bulbo seco disminuye. El enfriamiento se logra al hacer

circular el aire a través de serpentines por los cuales fluye algún refrigerante o agua fría.

### 1.1.5.2 Calentamiento con deshumidificación:

Uno de los principales métodos para reducir al mismo tiempo la temperatura y la humedad relativa es la que se muestra en la figura 3.

Figura 3. Calentamiento con deshumidificación.

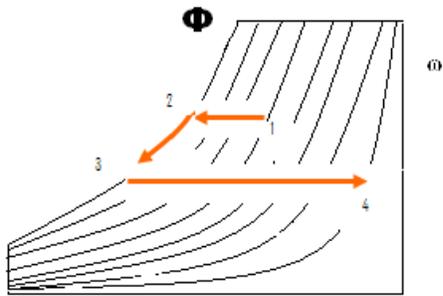


El aire que se va a tratar se hace pasar a través de un canal de flujo que contiene espiras o serpentines de enfriamiento. El estado inicial de la corriente de aire se indica como estado 1 en el esquema de una carta psicrométrica en la figura 4.

Al pasar el aire a través de las espiras enfriadoras, su temperatura disminuye y su humedad relativa aumenta con una humedad específica constante. Si el aire se mantiene en contacto con la espira enfriadora el tiempo suficiente la corriente de aire alcanzará su temperatura de rocío, indicada como estado 2 en la figura 4. Un enfriamiento posterior requiere que el aire se mantenga saturado, y su estado sigue la línea de humedad

relativa del 100% a la izquierda hacia el estado 3. Durante este último proceso, se condensa agua del aire disminuyendo su humedad específica. Así, mediante un contacto lo suficientemente prolongado con los serpentines, disminuye tanto la temperatura como el contenido de agua del aire.

Figura 4. **Estados en el calentamiento con deshumidificación**

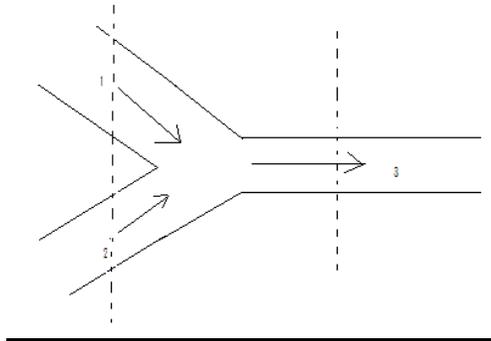


Con esto obtenemos un aire con la humedad requerida en el proceso de pintura automotriz, luego como el aire que se obtiene con este proceso es demasiado frío lo circulamos a través de espiras eléctricas de calentamiento para así alcanzar la temperatura deseada.

### 1.1.5.3 Mezcla adiabática de corrientes de aire:

Una aplicación importante en el acondicionamiento del aire es la mezcla de dos corrientes de aire, como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Corrientes de aire



Las corrientes de aire de entrada tienen temperaturas de bulbo seco y relaciones de humedad diferentes. La transferencia de calor hacia el entorno es despreciable, por lo cual el proceso se denomina *mezclado adiabático*. Se pueden escribir tres relaciones básicas para el volumen de control total:

1. Balance de masa para aire seco:

$$m_{a1} + m_{a2} = m_{a3}$$

2. Balance de masa para el vapor de agua:

$$m_{a1} \omega_1 + m_{a2} \omega_2 = m_{a3} \omega_3$$

3. Balance de energía para la mezcla adiabática

$$m_{a1} h_1 + m_{a2} h_2 = m_{a3} h_3$$

Cuando se conocen las propiedades de dos de las corrientes, estas tres ecuaciones son suficientes para evaluar las propiedades de la tercera corriente. La corriente de salida dejará el sistema con una relación de humedad y una temperatura de bulbo seco que se hallan comprendidos entre los valores de las corrientes de entrada.

## **1.2 Compresores de aire utilizados en la industria de pintura automotriz**

Compresor es un dispositivo en el que se efectúa trabajo sobre un fluido gaseoso, elevando así su presión.

Existen dos tipos generales de compresores: de movimiento alternativo (rectilíneo) y de movimiento rotatorio. En el caso de altas presiones y flujos volumétricos bajos se prefiere el compresor de movimiento alternativo, llamado también a veces “reciprocante”; cuando se trata de presiones bajas y flujos de gran intensidad se utiliza por lo común el compresor de tipo rotatorio. Pero no existe una presión distintiva que sirva para separar estos dos tipos de máquinas, puesto que los compresores rotatorios actuales pueden desarrollar también presiones elevadas.

Los compresores de aire que se utilizan en la industria de pintura automotriz, utilizan aire atmosférico y lo comprimen reduciendo su volumen específico, esto da como consecuencia una baja en la temperatura de rocío del aire condensándose gran parte de vapor de agua contenida en el mismo, por lo tanto es necesario purgar los cilindros del compresor y colocar trampas de agua en la salida de alimentación a los equipos de pintura, conocidos como pistolas de aire para pintura.

### **1.2.1 Compresor de tornillo**

La compresión por rotores paralelos puede producirse también en el sentido axial con el uso de lóbulos en espira a la manera de un tornillo sin fin. Acoplando dos rotores de este tipo, uno convexo y otro cóncavo y

haciéndolos girar en sentidos opuestos se logra desplazar el aire, paralelamente a los dos ejes, entre los lóbulos y la carcasa. Las revoluciones sucesivas de los lóbulos reducen progresivamente el volumen del gas atrapado y por consiguiente su presión. El gas así comprimido es forzado axialmente por la rotación de los lóbulos hilicoidales hasta la primera descarga.

**Figura 6. Compresor de tornillo**



### **1.2.2 Compresor reciprocante:**

Un compresor reciprocante está compuesto básicamente por un cilindro dentro del cual el aire es comprimido por un pistón que efectúa un movimiento rectilíneo en dirección axial. El aumento de presión se consigue mediante una reducción de volumen.

La admisión y la descarga del aire se hacen a través de válvulas automáticas, las cuales se abren únicamente cuando existe una presión diferencial adecuada a través de la válvula.

Las válvulas de admisión se abren cuando la presión en el cilindro es ligeramente menor que la presión de admisión. Las válvulas de descarga se

abren cuando la presión en el cilindro está un poco por encima de la presión de descarga.

**Figura 7. Compresor recíprocante**



## **2. CÁLCULO DE EQUIPOS DE INYECCIÓN DE AIRE PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE PINTURA**

### **2.1 Cantidad de aire por minuto necesario para mantener condiciones estables dentro de la cámara de pintura**

El principal objetivo de un sistema de aire acondicionado es proporcionar las condiciones necesarias para el buen funcionamiento del lugar que se acondicionará proporcionando la calidad apropiada dentro de las zonas ocupadas.

Un paso importante consiste en proporcionar aire a cada espacio de tal manera que pueda contrarrestar cualquier corriente molesta o efecto radiante dentro del mismo y asegurar que la temperatura, humedad y velocidad del aire se mantengan en niveles aceptables. Esto generalmente se logra introduciendo aire a los espacios a través de los lugares más apropiados y con suficiente velocidad para que se produzca el arrastre del aire que ya se encontraba en el recinto, o el que este contaminado. En el proceso de calefacción, la mezcla resultante permitirá que la energía almacenada en el aire caliente sea transportada hacia los espacios ocupados; en el proceso de enfriamiento, la introducción de aire frío y el desalojo y energía de los espacios ocupados tendrán el efecto contrario. El reto es lograr una buena mezcla sin crear corrientes incómodas y asegurar que haya una uniformidad razonable en la temperatura de todos los lugares del recinto. Esto debe hacerse sin que ocurran cambios bruscos en las condiciones del espacio cuando cambien sus requerimientos de carga.

El aire acondicionado llega normalmente a las rejillas de ventilación a una velocidad mucho mayor a la aceptable en el espacio ocupado. La temperatura del aire acondicionado puede ser superior, igual o inferior a la temperatura del aire ocupado. Una apropiada distribución del aire provoca el arrastre del aire del recinto por un torrente primario, y la mezcla resultante reduce los diferenciales de temperatura a límites aceptables antes de que entre al espacio ocupado. Esto también contrarresta los efectos de la convección natural y de la radiación dentro del recinto.

La proyección del aire desde las aperturas, rejillas, paneles perforados, difusores de techo y otras salidas está relacionada con su velocidad media en la salida del ducto de suministro de aire. Un chorro libre tiene cuatro zonas de expansión, y la velocidad de su parte central en cualquiera de estas zonas está relacionada con la velocidad inicial de la manera como se muestra en la figura.

Independientemente del tipo de abertura de salida, el chorro tenderá a adoptar una forma circular. En la zona III figura 6.B, la más importante desde el punto de vista de la distribución del aire en el recinto, la relación entre la velocidad de la línea central del chorro y la velocidad inicial está dada por:

$$V_x/v_0 = k \frac{(A_0)^{1/2}}{X} \quad (\text{ecuación 2.1})$$

Donde:

$V_x$  = velocidad de línea central a cualquier  $x$ , ft/min o m/s

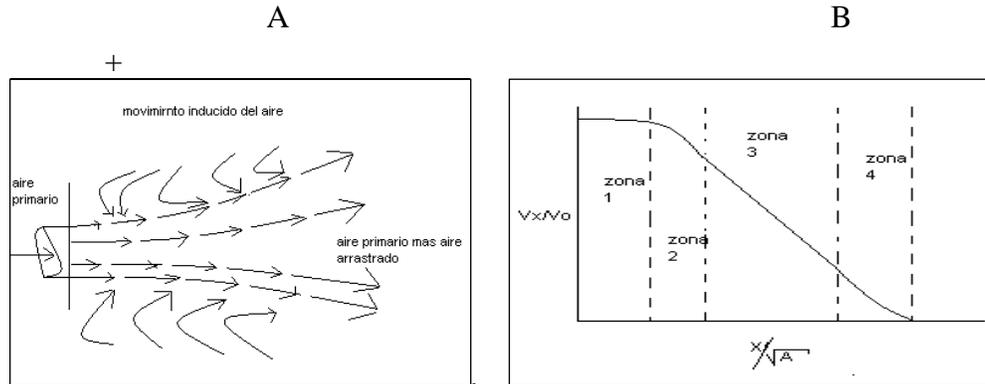
$V_0$  = velocidad inicial, ft/min o m/s

$A_0$  = área correspondiente a la velocidad inicial,  $\text{ft}^2$  o  $\text{m}^2$

$X$  = distancia desde la salida al punto de medición de  $V_x$ , en  $\text{ft}$  o  $\text{m}$

$K$  = constante de proporcionalidad, adimensional.

Figura 8. **Comportamiento de un chorro de aire isotérmico**



La ecuación anterior se aplica exclusivamente a chorros libres que tienen la misma temperatura que el aire del recinto, pero con  $A$  y  $K$  apropiadas estas ecuaciones pueden definir el desplazamiento inercial de cualquier tipo de salida. El desplazamiento inercial es la distancia desde la salida hasta el lugar donde la velocidad máxima del chorro ha decrecido a un valor especificado, que puede ser de 50, 100 o 150  $\text{ft}/\text{min}$ . La constante  $K$  varía aproximadamente desde 6 hasta 1 para difusores de techo.

El chorro se expande debido al arrastre de aire del recinto. El aire que está más allá de la zona próxima a la pared es una mezcla de aire primario y aire inducido. La razón entre el volumen total del chorro y el volumen inicial del mismo a una distancia dada desde el origen depende principalmente de

la razón entre la velocidad inicial  $V_0$  y la velocidad terminal  $V_x$ . La razón de inducción es  $Q_x/Q_0 = C (V_0/V_x)$

Donde:

$Q_x$  = mezcla de aire total a la distancia  $x$  desde la salida, cfm o  $m^3/s$

$C$  = coeficiente de arrastre (2 para un chorro libre y redondo), adimensional.

En la zona 4, figura 6.B, donde la velocidad terminal es baja, la ecuación dará valores hasta de 20 por ciento.

Las fuerzas ascensionales hacen que el chorro se eleve cuando el aire que lo constituye está caliente, y que descienda cuando está frío en relación con la temperatura del recinto. Estas condiciones provocan una disminución del desplazamiento inercial en chorros con velocidades menores de 150 ft/min (0.76m/s).

El aire del recinto cercano al chorro se mezcla con éste por lo que debe sustituirse por más aire del recinto. Este aire se desplaza hacia el sitio de suministro y pone en movimiento el aire de todo el espacio acondicionado. Siempre que la velocidad del aire del recinto sea menor a 50 cfm(0.254 m/) los efectos ascensionales podrán ser significativos. En general, a una velocidad de 15 cfm (0.08 m/) se requieren de 8 a 10 cambios de aire por hora para impedir la aparición de zonas de estancamiento; sin embargo, la existencia de regiones de estancamiento no constituye una condición seria. El enfoque general consiste en evitar que el aire que sale a alta velocidad de las rejillas de ventilación entre directamente al espacio ocupado.

(Recordemos que, para propósitos prácticos, la Proción de un recinto a menos de un pie de las paredes y más de 6 pies sobre el nivel del suelo no forma parte del espacio ocupado).

## **2.2 Cálculo y diseño de ductos de ventilación y extracción de aire**

El propósito del sistema de ductos es suministrar una cantidad específica de aire a una presión predeterminada a los difusores de cada espacio acondicionado. Con esto se busca asegurar que las cargas de los espacios acondicionados sean absorbidas y que ocurra un apropiado movimiento del aire dentro de los espacios en los que va a ser liberado. Si se utiliza un método adecuado para establecer las rutas y el tamaño de los ductos, se obtendrá un sistema razonablemente silencioso que no requerirá demasiados ajustes para lograr una apropiada distribución del aire a cada espacio. Se logra un nivel bajo de ruido limitando la velocidad del aire, utilizando ductos hechos o recubiertos de materiales absorbentes del ruido y evitando restricciones drásticas en los mismos, tales como reguladores con sus aletas casi cerradas. un sistema de ductos de baja velocidad generalmente tendrá una pérdida de presión de aproximadamente 0.08 a 0.15 in.wg. por cada 100 pies (0.65 a 1.23 Pa/m), mientras que los sistemas de altas velocidades tienen pérdidas de 0.40 a 0.70 in.wg por cada 100 pies (3.3 a 5.7 Pa/m).

El esquema de colocación de los ductos es muy importante para el diseño final del sistema. Generalmente primero se selecciona la ubicación de los difusores y del equipo para mover el aire y se bosquejan las rutas por donde correrán los ductos, dando atención al problema de cómo se instalarán; después se tienden los ductos, prestándose atención a los espacios disponibles y a la facilidad de ensamblar. Es muy importante diseñar un

sistema de ductos que pueda ser ensamblado e instalado en el espacio asignado. Si no se hace esto, el instalador puede realizar cambios que conducirán a una operación insatisfactoria.

En todos los conductos por los que circula aire, existe una continua pérdida de presión. Esta pérdida de presión se llama también pérdida de carga por rozamiento y depende de:

- 6 La velocidad del aire
- 7 Tamaño de los conductos
- 8 Rugosidad de la superficie interior de los mismos
- 9 longitud de ellos.

Cualquier variación en uno de estos factores modifica la pérdida de carga en el conducto. La relación que existe entre ellos viene dada por la ecuación

$$\Delta P = 0.4 f(L/d^{1.22})V^{1.82}$$

Donde:

**$\Delta P$**  = pérdida de carga en mm. c.a.

$f$  = rugosidad de la superficie interior (0.9 para conductos galvanizados)

**L** = longitud del ducto en m

**D** = diámetro del ducto circular ( en centímetros) equivalente a otro rectangular

**V** = velocidad del aire en m/s.

### **2.3 Cálculo en las dimensiones de equipo de inyección de aire**

El ventilador se utiliza para producir una corriente o flujo de aire. El uso del término está limitado, por definición, a los dispositivos que producen presiones diferenciales menores a  $0.25 \text{ kg/cm}^2$ , al nivel del mar.

Estos se clasifican en dos grupos generales:

1. Centrífugos, en que la corriente de aire se establece radialmente a través del rodete. A su vez los ventiladores centrífugos se clasifican por la forma de los alabes o aletas, pudiendo ser éstas curvadas hacia adelante, curvadas hacia atrás y radiales (rectas).
2. Axiales, en que la corriente de aire se establece axialmente a través del rodete. A su vez los de tipo axial se clasifican en ventiladores de hélice, tubo axial, y con aletas directrices.

Cuando es necesario el empleo de una conducción, en una instalación de acondicionamiento de aire se debe emplear un ventilador axial de tubo o de aletas directrices o bien uno centrífugo, pero nunca uno de hélice.

Las leyes que rigen el funcionamiento del ventilador y que se utilizan para predecir el comportamiento del mismo, bajo condiciones variables de funcionamiento, pueden verse en la tabla II.

Los factores que intervienen en la elección de un ventilador son: el caudal del aire, la presión estática, la densidad del aire cuando es diferente de la normal, el nivel de ruido aceptado en el local acondicionado según el uso a que está éste destinado, el espacio disponible y la naturaleza de la

carga. Una vez conocidos estos factores, la elección de un ventilador para acondicionamiento de aire depende ya de factores económicos como pueden ser el tamaño y clase de construcción, con un nivel de ruido y un rendimiento aceptable.

La velocidad de salida no se puede emplear como criterio de selección en lo que respecta a la generación del ruido. Las mejores características de ruido se obtienen como el máximo rendimiento del ventilador.

**Tabla II. Leyes del ventilador**

VARIABLE	CONSTANTE	No	LEY	FORMULA
Velocidad angular	Densidad de aire, Diámetro del rodete. Distribución. Sistema	1	El caudal es directamente proporcional a la velocidad	$Q_1/Q_2 = N_1/N_2$
		2	La presión es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad	$P_1/P_2 = (N_1/N_2)^2$
		3	La potencia es directamente proporcional al cubo de la velocidad	$HP_1/HP_2 = (N_1/N_2)^3$
Diámetro del Rodete	Densidad de aire Velocidad tangencial	4	El caudal y la potencia varían y son directamente proporcionales al cuadrado del diámetro del rodete del ventilador	$Q_1/Q_2 = HP_1/HP_2 = (D_1/D_2)^2$
		5	La velocidad es inversamente proporcional al diámetro del ventilador	$N_1/N_2 = D_1/D_2$
		6	La presión permanece constante	$P_1 = P_2$
	7	El caudal es directamente proporcional al cubo del diámetro	$Q_1/Q_2 = (D_1/D_2)^3$	

	Densidad del aire Velocidad Angular	8	La presión es directamente proporcional al cubo del diámetro	$P_1/P_2 = (D_1/D_2)^3$
		9	La potencia es directamente proporcional a la quinta potencia del diámetro	$Hp_1/Hp_2 = (D_1/D_2)^5$
Densidad del Aire	Presión Diámetro del rodete Distribución Sistema	10	La velocidad del caudal y la potencia son inversamente proporcionales a la raíz cuadrada de la densidad	$N_1/N_2 = Q_1/Q_2 = Hp_1/Hp_2 = (W_2/W_1)^{1/2}$
		11	La presión y la potencia son directamente proporcional a la densidad	$P_1/P_2 = Hp_1/Hp_2 = W_2/W_1$
		12	La velocidad permanece constante	$N_1 = N_2$

#### 2.4 Cálculo en los equipos para deshumidificación, según carta psicrométrica

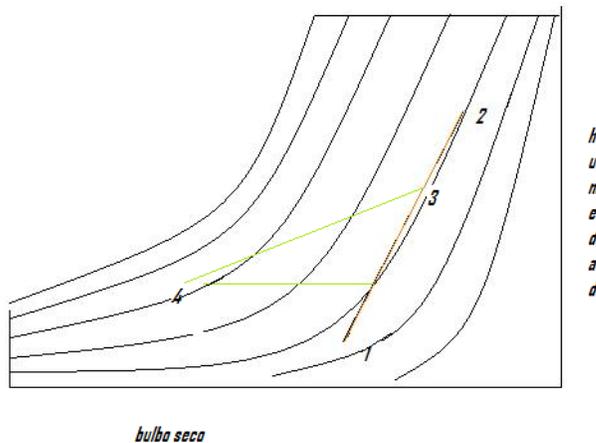
La psicrometría es la ciencia que trata de las propiedades termodinámicas del aire húmedo y del efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y sobre el confort humano. La definición debe ser ampliada para incluir el método de controlar las propiedades térmicas del aire húmedo.

El ciclo clásico de evolución del aire climatizado puede representarse sobre el diagrama psicrométrico. Como se muestra en la figura. Donde el aire en el estado (3), mezcla de aire exterior (2) y de aire de retorno (1), pasa a través del aparato acondicionador y su evolución se representa por la línea (3-4). Abandona el aparato en (4) y es impulsado hacia el local donde absorbe calor y humedad, según la transformación (4-1). En

general, gran parte del aire impulsado vuelve a recogerse para su mezcla con el aire exterior.

La selección de los aparatos adecuados para llevar el aire a las condiciones deseadas depende de un cierto número de factores. Aquí solo se explican los que afectan a su estado definido por su temperatura y su estado higrométrico, y que son el factor de calor sensible (SHF), el del local (RSHF) y el SHF total (GSHF), la temperatura equivalente de la superficie ( $t_{es}$ ), el factor de bypass (BF) y el SHF efectivo (ESHF).

Figura 9. **Factor de calor sensible**



#### 2.4.1 Factor de calor sensible

Las propiedades térmicas del aire se pueden clasificar en las dependientes del calor latente y del calor sensible. El término *factor de calor sensible* significa la razón aritmética del calor sensible al calor total, en que el calor total es la suma del calor sensible y el calor latente. Y se puede expresar como sigue:

$$SHF = SH / (SH+LH) = SH/TH$$

Donde: SHF = coeficiente del calor sensible

SH = calor sensible

LH = calor latente

TH = calor total.

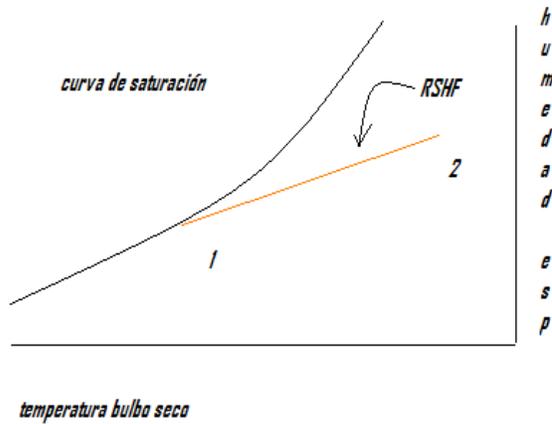
#### 2.4.2 Factor de calor sensible del local (RSHF)

El factor de calor sensible del local es la razón del calor sensible del local a la suma del calor sensible y del calor latente del local, que se puede expresar de la forma siguiente:

$$RSHF = RSH / (RSH+RLH)$$

El estado del aire impulsado en el local debe ser tal que compense simultáneamente las ganancias sensibles y latentes del local. Los puntos que representan sobre el diagrama psicrométrico el estado del aire impulsado y las condiciones interiores pueden unirse por un segmento de recta (1-2) según figura 10.

Figura 10. Factor de calor sensible del local

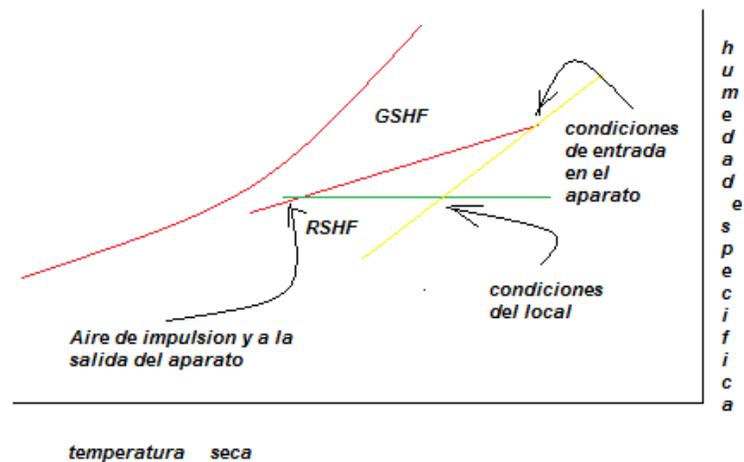


### 2.4.3 Caudal necesario de aire tratado

Los caudales necesarios de aire para compensar simultáneamente las ganancias sensibles y latentes del local, por una parte, y las ganancias sensibles y latentes totales (teniendo en cuenta el aire exterior), pueden determinarse trazando las rectas RSHF y GSHF. Su interacción corresponde a las condiciones del aire a la salida del evaporador y, despreciando el calentamiento debido al calentador, el calentamiento en el conducto y las fugas de aire eventuales a las condiciones del aire impulsado.

En general, estas ganancias suplementarias se consideran aparte del balance térmico. Por regla general, la temperatura de impulsión será superior a la temperatura de salida del acondicionador, tal como se indica en la figura 11.

Figura 11. Líneas de proceso de acondicionamiento



El caudal de aire necesario para compensar las ganancias de calor del local viene dado por

$$M^3/h_{sa} = RSH/0.29(t_{rm}-t_{sa})$$

El caudal necesario para compensar el balance térmico total (con ganancias suplementarias comprendidas ) será

$$M^3/h_{ad} = TSH/0.29(t_m-t_{db})$$

Si se desprecian las fugas en la red de distribución, el caudal de aire impulsado en el local es igual al del aire que pasa por el acondicionador. En estas dos expresiones  $t_m$  representa la temperatura de mezcla a la entrada del acondicionador y no puede determinarse más que por aproximaciones sucesivas, salvo en el caso que se trabaje totalmente sobre aire exterior.

## 2.5 Determinación del método más conveniente de calentamiento posterior a deshumidificación

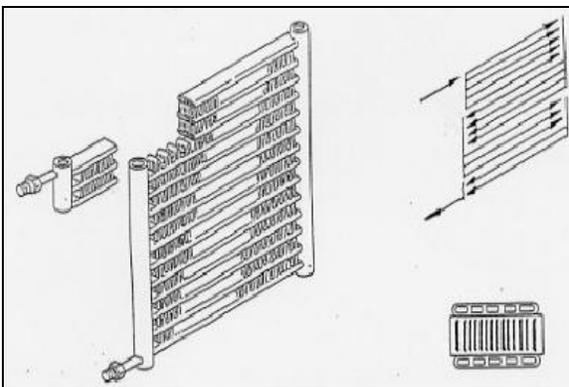
Los dispositivos de calefacción que se emplean ordinariamente con los sistemas de acondicionamiento tienen por objeto calentar el aire mediante convección forzada. Ordinariamente están colocados dentro del aparato de acondicionamiento y/o en los ductos.

Los medios empleados para la calefacción incluyen vapor, el agua caliente, la electricidad y la llama de gas. Además, para aplicaciones especiales, se pueden emplear glicoles y gas refrigerante.

Por las condiciones de las cámaras de pintura, se tomará el método por calentadores eléctricos.

Los dispositivos eléctricos de calefacción se fabrican comúnmente en los tipos abiertos y tubulares con aletas.

Figura 12. **Calentador eléctrico**



El tipo abierto se compone de una serie de bobinas de resistencia eléctrica montadas en un bastidor metálico y expuestas directamente a la

corriente de aire. El tipo de calentador tubular con aletas está constituido por tubos de acero revestidos de material refractario sobre el que hay arrollado un hilo de resistencia.

En las aplicaciones normales rara vez se requieren más de tres circuitos, pero para poder regular más gradualmente el calor producido por el calentador, se pueden emplear tantos circuitos como convenga.



## **3. AISLAMIENTOS TÉRMICOS**

### **3.1 Teoría sobre transferencia de calor:**

La ingeniería térmica trata de los procesos de transferencia de calor y la metodología para calcular la velocidad temporal a que éstos se producen y así poder diseñar componentes y sistemas.

Siempre que exista una diferencia de temperatura, la energía se transfiere de la región de mayor temperatura a la de temperatura más baja; de acuerdo con los conceptos termodinámicos la energía que se transfiere como resultado de una diferencia de temperatura se llama calor. Sin embargo aunque las leyes de la termodinámica tratan de la transferencia de energía, solo se aplican a sistemas que están en equilibrio; pueden utilizarse para predecir la cantidad de energía requerida para modificar un sistema de un estado de equilibrio a otro, pero no sirven para predecir la rapidez (tiempo) con que puedan producirse estos cambios. La fenomenología que estudia la transmisión del calor complementa los principios termodinámicos proporcionando métodos de análisis que permiten determinar esta velocidad de transferencia térmica.

Para ilustrar los diferentes tipos de información que se puede obtener desde ambos puntos de vista (termodinámico y transferencia de calor) consideremos a título de ejemplo, una barra de acero inmersa en agua caliente. Los principios termodinámicos se pueden utilizar para determinar las temperaturas inicial y final una vez los dos sistemas hayan alcanzado el equilibrio y la cantidad de energía transferida entre los dos estados de equilibrio. Pero nada dicen respecto a la velocidad de transferencia

térmica o la temperatura de la barra al cabo de cierto tiempo, o del tiempo que hay que esperar para obtener una temperatura determinada en una cierta posición de la barra. Un análisis de la transmisión del calor permite predecir la velocidad de la transferencia térmica del agua a la barra y de esta información se puede calcular la temperatura de la barra, así como la temperatura del agua en función del tiempo.

Para proceder a realizar un análisis completo de la transferencia del calor es necesario considerar tres mecanismos diferentes, *conducción, convección y radiación*.

El diseño y proyecto de los sistemas de intercambio de calor y conversión energética requieren de cierta familiaridad con cada uno de estos mecanismos, así como de sus interacciones. En primer lugar, consideremos los principios básicos de la transmisión del calor y algunas aplicaciones simples, que serán de utilidad.

### **3.1.1 Transmisión de calor por conducción en régimen estacionario y flujo unidireccional.**

La conducción es el único mecanismo de transmisión del calor posible en los medios sólidos opacos; cuando en estos cuerpos existe un gradiente de temperatura, el calor se transmite de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura, siendo el calor transmitido por conducción  $Q_{k1}$  proporcional al gradiente de temperatura  $dT/dx$ , y a la superficie  $A$  a través de la cual se transfiere.

$$Q_{k1} = A \cdot dT/dx,$$

El flujo real de calor depende de la conductividad térmica  $k$  que es una propiedad física del cuerpo por lo que la ecuación anterior se puede expresar en la forma:  $Q_{\dot{K}l} = -k A^* dT/dx$ ,

En la que si la superficie  $A$  de intercambio térmico se expresa en  $m^2$ , la temperatura en grados Kelvin, la distancia  $x$  en metros y la transmisión del calor en  $W$ , las unidades de  $k$  serán  $W/mK$ .

El signo (-) es consecuencia del segundo principio de la termodinámica, según el cual, el calor debe fluir hacia la zona de temperatura más baja. El gradiente de temperaturas es negativo si la temperatura disminuye para valores crecientes de  $x$ , por lo que si el calor transferido en la dirección positiva debe ser una magnitud positiva, en el segundo miembro de la ecuación anterior hay que introducir un signo negativo.

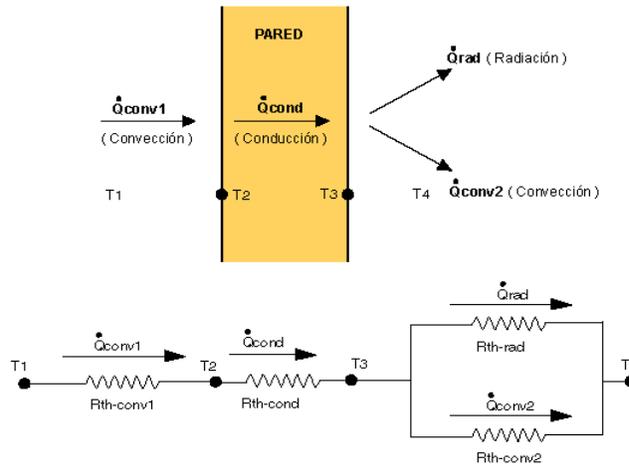
### 3.1.2 Pared plana:

Una aplicación inmediata de la ley de Fourier corresponde al caso de la transmisión del calor a través de una pared plana, Fig. 12. Cuando las superficies de la pared se encuentran a temperaturas diferentes, el calor fluye sólo en dirección perpendicular a las superficies. Si la conductividad térmica es uniforme, la integración de la ecuación anterior proporciona:

$$Q_{\dot{K}l} = \frac{-k A^*(t_3 - t_2)}{L} = \frac{t_2 - t_3}{\frac{L}{kA}}$$

En la que  $L$  es el espesor de la pared  $T_2$  es la temperatura de la superficie de la izquierda  $x=0$ , y  $T_3$  es la temperatura de la superficie de la derecha  $x=L$ .

Figura 13. Pared plana simple:

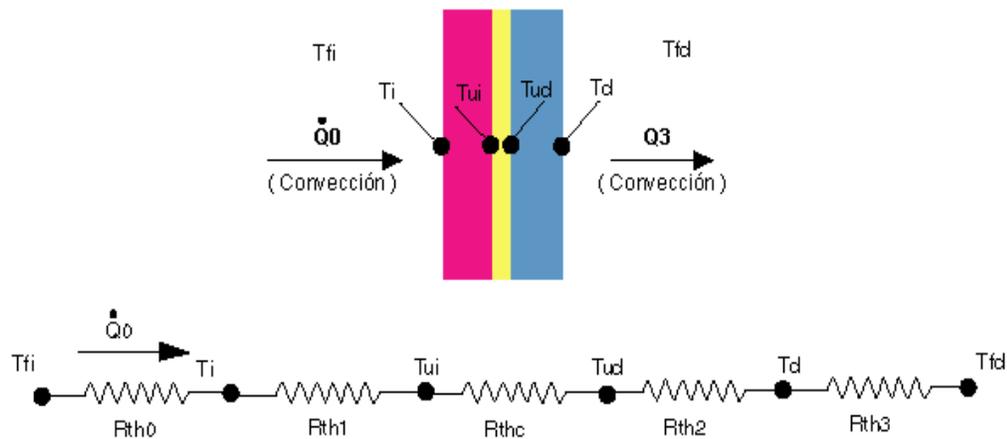


### 3.1.3 Paredes planas en serie:

Si el calor se propaga a través de varias paredes en buen contacto térmico, capas múltiples, el análisis del flujo de calor en estado estacionario a través de todas las secciones tiene que ser el mismo. Sin embargo y tal como se indica en la Fig. 13 en un sistema de tres capas, los gradientes de temperatura en ésta son distintos. El calor transmitido se puede expresar para cada sección y como es el mismo para todas las secciones se puede poner:

$$\dot{Q}k_l = \frac{t_i - t_{ui}}{\frac{L}{kA_a}} = \frac{t_{ui} - t_{ud}}{\frac{L}{kA_b}} = \frac{t_{ud} - t_d}{\frac{L}{kA_c}} = \frac{t_i - t_d}{\frac{L}{kA_a} + \frac{L}{kA_b} + \frac{L}{kA_c}}$$

Figura 14. Pared combinada en serie



### 3.1.4 Analogía eléctrica de la conducción:

La analogía entre el flujo de calor y la electricidad, permite ampliar el problema de la transmisión del calor por conducción a sistemas más complejos, utilizando conceptos desarrollados en la teoría de circuitos eléctricos. Si la transmisión de calor se considera análoga al flujo de electricidad, la expresión  $L/kA$  equivale a una resistencia y la diferencia de temperaturas a una diferencia de potencial, por lo que la ecuación anterior se puede escribir en forma semejante a la ley de Ohm.

$$\dot{Q}_k = \Delta t / R_k$$

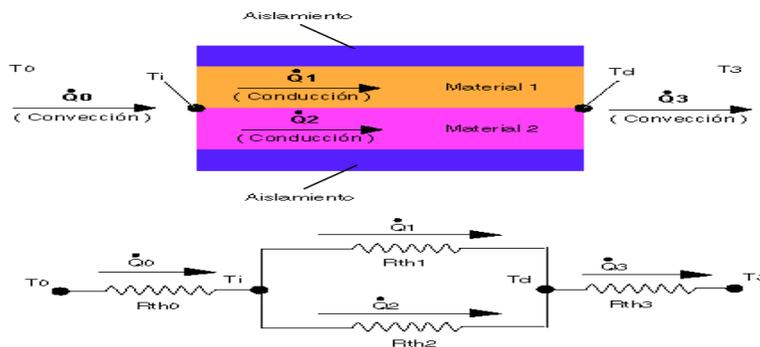
Donde  $\Delta t = t_i - t_r$  y  $R_k = L/kA$

La inversa de la resistencia térmica es la conductividad térmica  $k/L$   $W/m^2 K$  o conductancia térmica unitaria del flujo de calor por conducción.

### 3.1.5 Paredes en paralelo:

Las ecuaciones anteriores se pueden utilizar en la resolución de problemas más complejos, en los que la conducción tiene lugar en paredes dispuestas en paralelo. La fig. 14 muestra un bloque formado por dos materiales de áreas  $A_1$  y  $A_2$  en paralelo; para su resolución hay que tener en cuenta que para una determinada diferencia de temperaturas a través del bloque, cada capa del conjunto se puede analizar por separado, teniendo presentes las condiciones impuestas para el flujo unidimensional a través de cada una de las dos secciones.

Figura 15. Paredes en paralelo



Si la diferencia de temperaturas entre los materiales en contacto es pequeña, el flujo de calor paralelo a las capas dominará sobre cualquier otro flujo normal a estas por lo que el problema se puede tratar como unidireccional sin pérdida importante de exactitud.

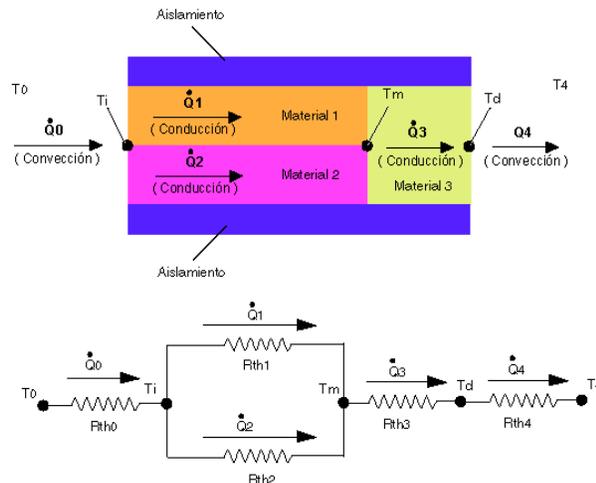
Como el calor fluye a través de los dos materiales según trayectorias separadas, el flujo total de calor  $Q_k$  será la suma de los dos flujos:

$$Q_k = Q_1 + Q_2 = \frac{t_i - t_d}{(L/kA)_1} + \frac{t_i - t_d}{(L/kA)_2}$$

En la que el área total de transmisión del calor es la suma de las dos áreas individuales y la inversa de la resistencia total es igual a la suma de las inversas de todas las resistencias individuales. Una aplicación más compleja del enfoque del circuito térmico sería la indicada en la fig. 15 en la que el calor se transfiere a través de una estructura formada por una resistencia térmica en serie, otra en paralelo y una tercera en serie; para este sistema, el flujo térmico por unidad de superficie es:

$$Q_k = \Delta t_{global} / [R_{ho} + (R_{h1}R_{h2} / \{R_{h1}+R_{h2}\}) + R_{h3}]$$

Figura 16. **Combinación serie paralelo**



En la que  $n$  es el número de capas en serie  $R$ , es la resistencia térmica de la capa  $i$  y  $\Delta T_{global}$  es la diferencia de temperaturas entre las dos superficies exteriores.

El análisis del circuito precedente supone flujo unidimensional. Si las resistencias  $R_{h1}$  y  $R_{h2}$  son muy diferentes, los efectos bidimensionales pueden ser importantes.

### **3.1.6 Resistencia de contacto:**

Cuando superficies a distintas temperaturas se ponen en contacto, aparece una resistencia térmica en la interfase de los sólidos, que se conoce como resistencia de contacto y que se desarrolla cuando los dos materiales no ajustan exactamente, por lo que entre ambos puede quedar atrapada una delgada capa de fluido. Una vista ampliada del contacto entre las dos superficies mostraría que los sólidos se tocan solo en picos superficiales, mientras que los huecos estarían ocupados por un fluido, o el vacío.

La resistencia de la interfase depende de:

- La rugosidad superficial
- La presión que mantiene en contacto las dos superficies
- Del fluido de la interfase
- De su temperatura

En la interfase, el mecanismo de la transmisión del calor, y su determinación es complejo, la conducción del calor tiene lugar a través de los puntos de contacto del sólido en forma tridimensional por cuanto el calor se transmite por las áreas de contacto a través del fluido de la interfase por convección y entre las superficies por radiación.

Si el calor a través de las superficies sólidas en contacto es  $Q$ , la diferencia de temperaturas a través del fluido que separa los dos sólidos es  $T^i$  y la resistencia de contacto  $R_i$  se puede expresar en función de una conductancia inter facial  $h_i$   $W/m^2K$ , se tiene:

$Q = h_i A \Delta t_i$  que luego de algunas operaciones matemáticas queda así

$$Q = \Delta t_i / R_i \quad \text{donde } R_i = 1/h_i A$$

Cuando las dos superficies están en contacto térmico perfecto, la diferencia de temperaturas a través de la interfase es nula, por lo que su resistencia térmica es cero; un contacto térmico imperfecto tiene lugar cuando existe una diferencia de temperaturas en la interfase.

**Tabla III. Conductancias interfaciales de algunos materiales a presiones moderadas**

Interfase	$H_i$ W/m <sup>2</sup> K
Cerámica-cerámica	500-3000
Cerámica-metal	1500-8500
Grafito-metal	3000-6000
Acero inoxidable-acero inoxidable	1700-3700
Acero inoxidable-aluminio	3000-4500
Cobre-cobre	10000-25000
Hierro-aluminio	4000-40000

La resistencia por contacto depende de la presión con que se mantiene el contacto y muestra un descenso notable cuando alcanza el límite elástico de alguno de los materiales.

En los sólidos mecánicamente unidos no se suele considerar la resistencia de la interfase, a pesar de que siempre está presente. Sin embargo hay que conocer la existencia de la resistencia de la interfase y la diferencia de temperaturas resultante a través de la misma; en superficies rugosas y bajas presiones de unión, la caída de temperatura a través de la interfase puede ser importante, incluso dominante, y hay que tenerla en

cuenta. La problemática de la resistencia de la interfase es compleja y no existe ninguna teoría o base de datos empíricos, que la describa exactamente para situaciones de interés industrial.

### **3.1.7 Conductividad térmica:**

La conductividad térmica  $k$  es una propiedad de los materiales que, excepto en el caso de los gases a bajas temperaturas, no es posible predecir analíticamente; la información disponible está basada en medidas experimentales. En general, la conductividad térmica de un material varía con la temperatura, pero en muchas situaciones prácticas se puede considerar con un valor medio constante, si el sistema tiene una temperatura media, lo que proporciona resultados bastantes satisfactorios.

En la tabla IV se relacionan los valores típicos de la conductividad térmica de algunos metales, sólidos no metálicos, líquidos y gases que nos dan una idea del orden de magnitud con que se presenta en la práctica, mientras que en la Fig 16 se presentan dos gráficas de conductividad térmicas, una entre 0 y 450 W/mk para metales y aleaciones (buenos conductores térmicos), y otra entre 0 y 0,8 W/mk para algunos gases y líquidos, observándose la gran diferencia existente entre sus coeficientes de conductividad  $k$ .

**Tabla IV. Conductividad térmica de algunos metales**

Material	k(W/m°K) a 300°K
Cobre	386
Aluminio	204
Vidrio	0.75
Plástico	0.2-0.3
Agua	0.6
Aceite de motores	0.15
Freón (líquido)	0.07
Aire	0.026

En los materiales conductores el mecanismo de la transmisión de calor por conducción esta asociado a las vibraciones de la estructura reticular y al movimiento de los electrones libres, (metales y aleaciones), al igual que en los conductores eléctricos, por lo que materiales buenos conductores de la electricidad son también, en general, buenos conductores del calor, (cobre, plata, aluminio, etc.). Los aislantes térmicos (vidrio, plásticos, etc.) que requieren de una estructura porosa y un gas atrapado en la misma, son también buenos aislantes eléctricos. En estos materiales, la transferencia de calor puede tener lugar de diversas formas:

- a) Conducción a través de la estructura sólida porosa o fibrosa

- b) Conducción y/o convección a través del aire atrapado en los espacios vacíos
- c) Radiación entre porciones de la estructura sólida, lo cual es especialmente importante a temperaturas elevadas o en recintos vacíos.

Se han desarrollado materiales súper aislantes para aplicaciones criogénicas, que constan de varias capas de materiales altamente reflectantes separados por espacios vacíos que minimizan la conducción y la convección, alcanzándose conductividades térmicas del orden de 0,02 W/mk.

En muchos materiales el valor de k no es constante, sino que varía con la temperatura y con la composición química de los mismos. Cuando solo depende de la temperatura, se puede poner el valor de k en la forma:

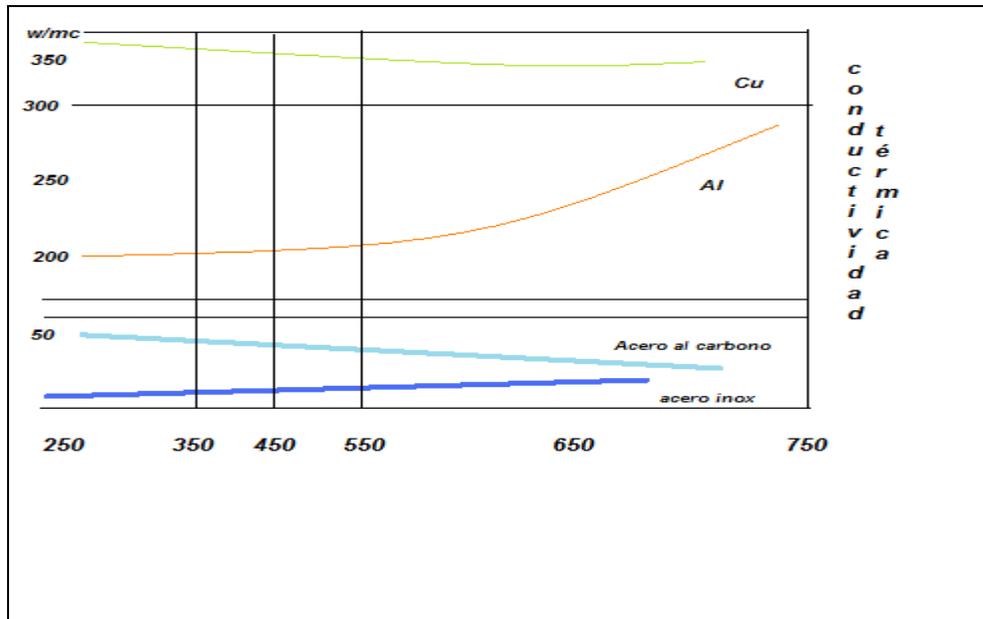
$$k = k(T) = k_0 (1 - \beta T)$$

Siendo  $k_0$  el valor de la conductividad a la temperatura de referencia y una constante, (coeficiente de dilatación). En tal caso la integración de la ecuación de Fourier proporciona:

### **3.1.8 Coeficiente de la conductividad térmica para las aleaciones:**

En la fig.17 se muestra el comportamiento de la conductividad térmica de algunos metales y aleaciones (cobre, aluminio, acero al carbono, acero inoxidable 18-8, etc.) con la temperatura.

Figura 17. Conductividad térmica metales y aleaciones



La conductividad térmica de las aleaciones, en general, y de los aceros en particular, se puede determinar mediante la relación:

$$k = k_0 / (1 + \xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n).$$

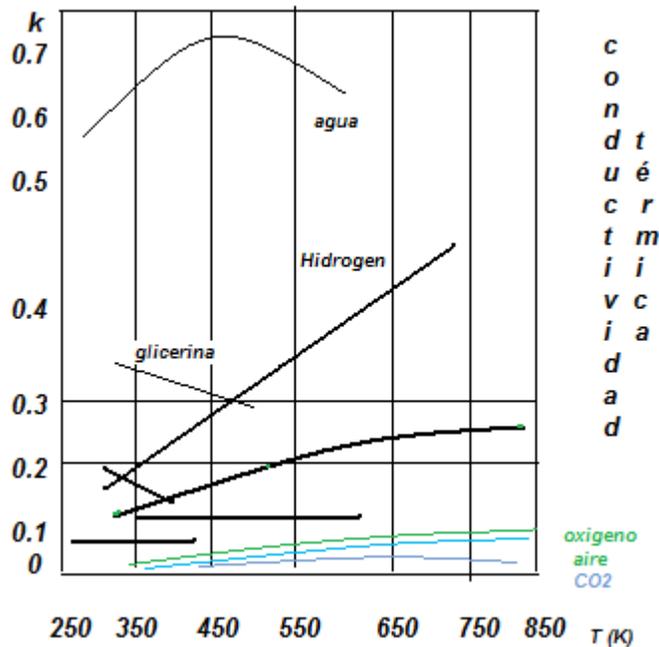
En la que  $k_0$  es la conductividad térmica del metal base, y  $\xi_1, \xi_n$  son unos factores de corrección de dicha conductividad, propios de cada metal que la caracterizan. La conductividad térmica del acero al carbono viene representada en la Fig. 17 en color celeste.

### 3.1.9 Conductividad térmica de líquidos:

En la Fig. 18 se indica la conductividad térmica de algunos líquidos en función de la temperatura, observándose que la conductividad térmica de los líquidos decrece a medida que aumenta su temperatura, excepto en el caso

del agua, pero el cambio es tan pequeño que en la mayor parte de las situaciones prácticas, la conductividad térmica se puede suponer constante para ciertos intervalos de temperatura; así mismo en los líquidos no hay una dependencia apreciable con la presión, debido a que estos son prácticamente incomprensibles.

Figura 18. **Conductividad térmica de líquidos, gases y vapores**



### 3.2 Aislamientos térmicos

Un **aislante térmico** es un material usado en la construcción y caracterizado por su alta resistencia térmica. Establece una barrera al paso

del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura.

Gracias a su baja conductividad térmica y un bajo coeficiente de absorción de la radiación, el material más resistente al paso de calor es el aire y algunos otros gases. Sin embargo el fenómeno de convección que se origina en las cámaras de aire, aumenta sensiblemente su capacidad de transferencia térmica. Por esta razón se utilizan como aislamiento térmico materiales porosos o fibrosos, capaces de inmovilizar el aire confinado en el interior de celdillas más o menos estancas. Se suelen utilizar como aislantes térmicos específicos materiales combinados de sólidos y gases: fibra de vidrio, lana de roca, poliestireno expandido, espuma de poliuretano, aglomerados de corcho, etc. En la mayoría de los casos los gases tienen la misma composición que el aire.

### 3.2.1 Lana de vidrio

Esta primera opción es una de los materiales más conocidos y clásico para ser utilizados como aislantes de techo. Cuando se tiene un techo de tejas con un machihembrado y se lo desea aislar con lana de vidrio se debe usar un producto para tal fin, que es una lana de vidrio en paneles con mayor densidad, hidrófugo e higroscópico.

Cuando se tiene un techo de chapa, la línea de producto que se debe utilizar es el trasdosado con una hoja de aluminio reforzado en una cara para que actúe de resistencia mecánica, como barrera de vapor y como material reflectivo.

- Coef. de conductividad: 0,056 a 0,049 kcal/h.m.°C.

### 3.2.2 Lana mineral

Este material se asemeja tanto en apariencia como en su colocación a la lana de vidrio y se diferencia en que tiene alrededor de un 200% más de densidad. Cuando se tiene un techo de teja con machihembrado, se utiliza un fieltro sin revestimiento o bien otro con un papel kraft en una cara, lo que favorece la colocación.

Tanto la lana de vidrio como la mineral se encuentran en manta o en paneles rígidos, aglomerados con resinas.

### 3.2.3 Espuma celulósica

El material de espuma de celulosa, consta con un poderoso poder aislante térmico y fonoabsorbente. Ideal para aplicar por la parte inferior de galpones por ser un material 100% ignífugo de color blanco y por su rapidez al ser colocado.

- Tiene un coeficiente de conductividad promedio de 0,027 kcal/h.m.°C.

### 3.2.4 Espuma de polietileno

El material se caracteriza por ser económico, hidrófugo y fácil de colocar. Con respecto a su rendimiento térmico se puede decir que es de carácter medio. Con respecto a su terminación es de color blanco o bien de color aluminio.

### 3.2.5 Espuma de poliuretano

La espuma de poliuretano es conocida por ser un material aislante de muy buen rendimiento, por consiguiente se pueden aplicar bajos espesores obteniendo rendimientos similares que otros materiales en mucho mayores espesores. Su aplicación se puede realizar desde la parte inferior o bien desde la parte superior. También tiene excelentes propiedades como aislante acústico. coeficiente variable

### 3.2.6 Coquillas (medias cañas) de lana mineral

Son tubos pre moldeados con diámetro exacto de la cañería a aislar. Como toda lana mineral, es incombustible y resiste temperaturas hasta 950 °C.

- Densidades: 140-160 kg/m<sup>3</sup>.
- Coef. de conductividad: 0,031 kcal./h.m.°C.

### 3.2.7 Espuma elastomérica

Es un aislante con un excelente rendimiento en baja y media temperatura con fácil instalación, reduciendo al máximo los costos de mano de obra. Posee en su estructura, una barrera de vapor y un comportamiento totalmente ignífugo.

- Coef. de conductividad: 0,029 kcal./m.c.h.
- Temperatura de trabajo óptima: -40 °C a 115 °

Fuente "[http://es.wikipedia.org/wiki/Aislante\\_t%C3%A9rmico](http://es.wikipedia.org/wiki/Aislante_t%C3%A9rmico)"

### **3.3 Análisis sobre aislante térmico más conveniente**

Por su baja conductividad térmica y su bajo costo así como su fácil adquisición en el mercado nacional, se recomienda que se aislen las paredes y techos con lana de vidrio recubierta con papel aluminio.

La cabina de pintura contará con dos paredes de metal de hierro galvanizado, y en medio de ellas se ubicará la lana de vidrio llenando el espacio entre ellas, conformando un sello aislante térmico hacia el interior y al exterior, logrando con esto mantener el ambiente deseado dentro del área de trabajo de la cámara.

### **3.4 Cantidad necesaria de aislante térmico en paredes y techo de la cámara de pintura automotriz**

Debido a la naturaleza del proyecto, en el cual se quiere hacer la fabricación de la cámara de pintura, se llegó a la medida de 2 pulgadas de espesor de la lana de vidrio y con estas medida obtenemos el aislamiento deseado.



## **4. SISTEMAS DE FILTRACIÓN DE AIRE DE ADMISIÓN Y EXPULSION AL AMBIENTE**

### **4.1 Breve análisis del aire de admisión y de expulsión al ambiente luego de su uso**

El aire atmosférico que rodea las instalaciones de un taller de reparaciones de enderezado y pintura está saturado de polvos producto del lijado de masillas y partículas como cabello, fibras de hilo, virutas, etcétera, los cuales son perjudiciales en el momento de aplicar la pintura a presión, ya que por la composición química de las mismas, tienen características magnéticas y electrostáticas que ayudan a la adherencia con los metales donde se aplican, pero que a la vez atraen estas partículas indeseables pues queda pegadas a la pintura y dan un aspecto no deseado y a la vez reducen el tiempo de vida de las mismas ya que estas partículas al no tener buena adherencia a los metales tienden a liberarse y formar burbujas que luego descascaran las pinturas, deteriorando el acabado de las mismas.

Y es un factor muy importante la cantidad de aire que se renueva en el área de trabajo para conseguir a la vez buenos resultados, por ello es importante que se filtre este antes de entrar a la cámara de pintura.

Luego que se aplican las pinturas rociadas a presión, se contamina el aire con solventes, colores y otros componentes de la pintura que al ser expulsados al ambiente contaminan y dañan el mismo. Por esto es importante colocar filtros de carbón activado u otro tipo de filtro para eliminar estos contaminantes y garantizar que el proceso productivo no contamina el ambiente.

#### **4.1.1 Importancia del aire en el proceso de pintura automotriz.**

El aire en este proceso es vital desde varios puntos, uno es durante la aplicación de pintura necesitando aire a presión que la adquirimos de un compresor de aire y suministrada a la pistola de atomización o pulverización, dependiendo si la pintura es líquida o en polvo respectivamente, a través de tubería o mangueras, las presiones de aires son diversos dependiendo de la aplicación.

La otra necesidad y que es la que nos interesa es la cantidad de aire que se suministra a la cámara durante la aplicación de la pintura y durante el proceso de secado o curado.

La otra aplicación de aire es para suministrar al operador la cantidad de aire necesaria para poder respirar ya que las mascarillas de filtros de carbón activado solamente filtran el aire eliminando contaminantes como thinner y pintura pero al no renovarse el aire este se satura y las mascarillas no son suficientes para proveer oxígeno, a menos que este se suministre a través de cilindros donde hay oxígeno comprimido y se lleve hasta el operador por medio de mascarillas especiales, de lo contrario se necesita renovar el aire dentro de la cámara, este por motivos de acabado de pintura debe ser filtrado para eliminar contaminantes.

#### **4.1.2 Necesidad de renovar el aire dentro de la cámara para no asfixiar el proceso de curado de la pintura.**

Renovar el aire dentro de la cámara es necesario por lo menos de 5 a 7 veces el volumen dentro de la misma por minuto, para garantizar aire fresco

que permia un buen proceso de curado de la pintura, es decir que la superficie de la misma quede tersa, lustrosa y con el brillo requerido para que el cliente quede satisfecho.

Sin este cambio de aire, las pinturas no alcanza el brillo y la durabilidad deseada porque la niebla que se forma dentro de la cámara producto de la atomización de la pintura, contiene cantidades de pintura que se secan en el aire y luego por gravedad caen sobre las pinturas aun frescas aplicadas a los automóviles, y es ahí donde se contaminan y pierden su brillo y superficie lisa.

#### **4.2 Importancia de filtrar el aire de admisión y expulsión al ambiente**

En el presente trabajo queremos mostrar una visión y entregar conocimiento de lo que son en si los filtros y separadores en general, claro si analizando los que a nuestro juicio nos parecieron más importantes.

En el caso de los filtros, estos son piezas de gran uso en el ámbito industrial y por que no decirlo vital para las personas. Ya que al ser el hombre quien esta utilizando un recurso, como por ejemplo el agua, recurso en algunas partes altamente escaso es necesario reutilizar el agua cuanta sea posible, y como lo hacemos, mediante filtros.

También vemos que poco a poco la contaminación hace necesario el uso de filtros para disminuir el daño potencial que produciría.

En el caso de los separadores, tenemos que son de gran utilidad en industrias mineras para resolver el posible y casi seguro daño que produciría un material extraño en las maquinarias, lo que causaría la paralización y por ende, pérdidas para el afectado.

Y no solo son de uso minero, también lo tenemos en empresas relacionadas con la comida, agricultura, etc.

Teniendo esta idea presente, esperamos que para el lector sea de gran ayuda.

#### **4.2.1 Filtración**

**Definición:** En esencia consiste hacer pasar un fluido a través de una barrera mecánica que retiene parte o todos los sólidos presentes.

Los principios básicos que determinan el flujo de un fluido son:

Los filtros se clasifican en:

- Filtros de medio fijo.
- Filtros de lecho profundo.
- Filtros de medio polvoriento.

#### **4.2.2 Filtros de medio fijo**

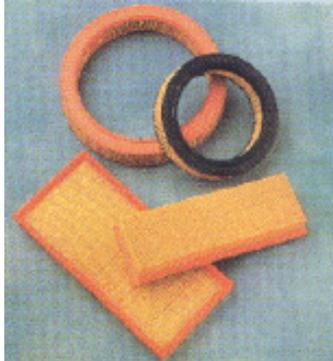
Entre los filtros de este tipo tenemos los siguientes:

#### 4.2.2.1 Filtro de aire

Es un dispositivo que retiene una parte de las impurezas del aire. Esta retención se lleva a cabo por diversos tejidos que dependen del filtro.

La calidad de los tejidos filtrantes es uno de los factores más importantes que pueden determinar el éxito o el fracaso de un filtro. El tejido filtrante constituye la base en torno a la cual se crea un sistema de filtración, que se adapte a las exigencias específicas de cada usuario.

Figura 19. **Filtros de aire**



No todas las mallas que constituyen los tejidos filtrantes son iguales cualitativamente, existen tejidos filtrantes de baja, media y alta eficacia. (ver cuadro adjunto de características)

Entre los principales medios de filtrantes que se elaboran y comercializan se señalan los siguientes:

#### 4.2.2.2 Bolsas para líquidos:

Diseñadas especialmente para filtros de canasta de distintas medidas. Se fabrican en polipropileno, nylon y poliéster, con altas normas de tecnología adecuada para productos con un alto nivel de calidad en filtrado de pinturas, solventes, aceites, agua, barnices, ácido, resinas, etc.

Figura 20. **Bolsas para líquidos, cartuchos, papel.**



#### 4.2.2.3 Cartuchos

Adecuados para la filtración en líneas intermedias de un proceso y para obtener un eficiente filtrado. Su fabricación es en materiales de resina fenólica, resina melamina, papel poliéster, polipropileno compactado, hilado y cerámica en diferentes tamaños y micrajes.

Aplicaciones: solventes, pinturas, agua, ácidos, aceites, materiales grado alimenticio, etc.

#### 4.2.2.4 Papel filtro

Útil para obtener desde una clarificación normal del producto hasta un pulido muy fino del líquido filtrado. Manejamos papel filtro en materiales y micrajes variables:

- 1.Viscosa de 30 a 90 micras
- 2.Poliéster de 25 a 70 micras
- 3.Celulosa de 1 a 30 micras

#### 4.2.2.5 Lonas

Elaboradas en algodón, poliéster, nylon y polipropileno. Se adaptan a diferentes equipos de filtración y presentan la ventaja de ofrecer una gran variedad de retención que facilita según el caso, el lavado, secado y descarga de sólido retenido.

Figura 21. **Lonas filtrantes, equipos.**



#### 4.2.2.6 Equipos

Son fabricados de acero inoxidable, acero al carbón, plástico, polipropileno y bronce, con elemento filtrante de bolsa o de cartucho de uno o más elementos. Se adecua a las diversas necesidades de la industria de la

pintura, solventes, adhesivos, tratamientos de agua, petroquímica, metalquímica, etc.

**Tabla V. Características de medios filtrantes:**

<b>Filtro de</b>	<b>Características</b>	<b>Aplicación</b>
1. Fibra de Poliéster	Tejido filtrante en fibra de poliéster impregnado en resinas sintéticas.	En centrales de Aire Acondicionado y sistemas de ventilación.
2. Fibra de Vidrio	Tejido filtrante de largas fibras de vidrio con resinas sintéticas. Su estructura con densidad variable permite conseguir una elevada capacidad de acumulación del polvo.	En centrales de Aire Acondicionado y sistemas de ventilación.
3. Espuma de Poliuretano	Su estructura con poros de diferentes diámetros y uniformemente dispuestos en la superficie, lo hacen el ideal para requerimientos de media baja.	En centrales de Aire Acondicionado Fan Coils y sistemas de ventilación.
4. De Bolsa	Construidos con tejido filtrante en fibra o microfibras de vidrio y en diferentes gramaturas, según su grado de eficacia requerida.	Su alta eficacia lo hacen apto para cualquier tipo de filtración de grado medio.
5. Absoluto	Son filtros de pliegues profundos de microfibras de vidrio o vidrio en celulosa, apretados con varias resinas especiales.	Por su construcción son idóneos para la purificación en hospitales, industrias farmacéuticas, industrias fotográficas, etc.
6. Flujo Laminar (Paneles)	La media filtrante es fabricada en microfibras de vidrio (tratada con impermeabilización y bactericida), inifuga y es densamente plegada con distanciadores de modo que aseguren una distancia constante en los pliegues.	En cámaras blancas, plano de difusores, lugares descontaminados, en la industria fotográfica, micromecánica, electromecánica, alimenticia, quirófanos, laboratorios de análisis, etc.
7. Carbón Activado	El término de carbón activado se entiende un tipo de carbón que con técnicas especiales, es activado.  Están particularmente formado por granos de carbón activado apretados entre sí por un bastidor.	Han sido especialmente diseñados para hacer frente al problema de la desodorización de ambientes y para la purificación de algunos gases tóxicos.
8. Carbón Impregnado	El tejido filtrante es impregnado de carbón activado molido	Resuelve el problema de la desodorización ambiental doméstica y en algunos campos industriales.

Simple en su concepción y altamente eficaces en la práctica, los filtros de aire vienen a ser el pulmón de cualquier maquina o, porque no, de la industria. Aunque veces se olvida de la importancia que tienen en el acondicionamiento de aire, la pureza y la calidad de éste.

Normalmente las preocupaciones son mantener la temperatura y la humedad relativa, dejando el tema de la ventilación a cargo sólo de la inyección de aire exterior.

Si bien, con esto aseguramos una buena renovación de aire interior, no hacemos lo mismo con su pureza ni su calidad.

La solución a este problema es muy sencilla. Basta con instalar el filtro adecuado a las necesidades y contar con la presión de aire suficiente para vencer la resistencia que va a ofrecer ese filtro, para lograr este objetivo, existen distintos tipos de eficiencia en los filtros para sus distintas aplicaciones:

- En el caso de una ventilación industrial común, normalmente se requiere eliminar las partículas de gran tamaño, las cuales causan algún tipo de daño a los elementos mecánicos de los sistemas. Para este caso, utilizamos filtros de paneles planos (fibra de vidrio, poliéster, etc.) o los filtros metálicos desplegados, fabricados usualmente en aluminio. La eficiencia de estos filtros es muy baja con respecto al aire atmosférico, ya que retienen partículas mayores a 10 micrones, de las cuales existen gran cantidad en la atmósfera, pero no llegan a ser las más dañinas.

- En el aire acondicionado ambiental, lo que se requiere es evitar el efecto de mancha que producen las partículas finas de aire atmosférico sobre las distintas superficies, como son las rejillas, difusores, cielo de las habitaciones, etc. Para esto lo más recomendable, son los filtros del tipo desechable, frecuentemente con superficie tipo zig-zag, de mediana eficiencia o superior (30-35% hacia arriba).

- Para aplicaciones relacionadas con ambientes de trabajo, ya sea en el área hospitalaria, farmacéutica, alimenticia y también en el área de la microelectrónica, la idea es eliminar el particulado fino, el cual en muchos casos son portadoras de microorganismos, donde lo más importante no es el tamaño ni la masa del particulado, sino el efecto que puede producir sobre las áreas antes mencionadas. Los filtros más utilizados para este efecto son los de alta eficiencia, tales como, filtros con tratamiento antimicrobiano, carbones activos, filtros absolutos, etc., alcanzando, estos últimos eficiencias mínimas de 99,97% en DOP (Dy Octhil Pthalato) para partículas de tamaño 0,3 micrones.

#### **4.2.3 Filtros desechables planos (fig. 22)**

Poliéster

Filtros de papel fabricados en fibra de poliéster. Utilizados en residencias, industrias, comerciales, etc., donde predomine el polvo como particulado contaminante. Puede ser utilizado también como prefiltro de uno de mayor eficiencia.

Fibra de vidrio

Filtros de panel desechables, fabricados en fibra de vidrio destinados a la captación de particulado atmosférico fino.

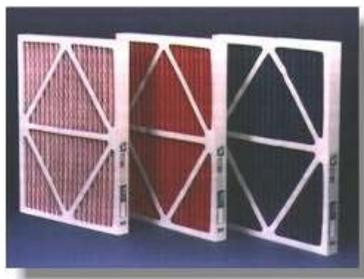
Tela antibacteriana

Filtros de panel desechables, fabricados con tela de poliéster recubierto tratada con el sistema antimicrobiano Aegis, para reducción de microorganismos sobre un 86 % de eficiencia.

Figura 22. **Filtros desechables planos**



Figura 23. **Filtros de fibra de vidrio**

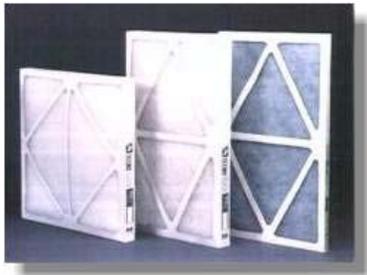


## **4.2.4 Filtros desechables superficie (fig.24)**

### **4.2.4.1 Tipo zig-zag**

Filtros desechables con superficie tipo zig-zag, fabricados con una tela combinada de algod3n y poliester con una malla met3lica para evitar deformaciones. Disponibles en tres eficiencias medias: 30 - 35%, 60 - 65% y 80 - 85%, seg3n norma.

**Figura 24. Filtros desechables superficie tipo zig-zag**



### **4.2.4.2 Filtros de bolsa de alta eficiencia (fig.25)**

Filtros de bolsa de alta capacidad y baja ca3da de presi3n. Fabricados con marco met3lico que lo hacen autosoportante. Utilizados para la soluci3n en

problemas de contaminación atmosférica y particulado fino. Disponibles en tres eficiencias medias: 60 - 65% , 80 - 85%, 90 - 95% según norma.

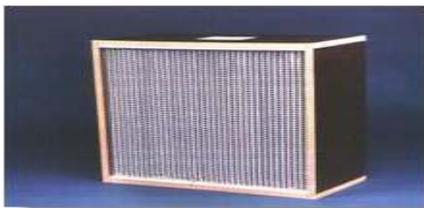
Figura 25. **Filtros de bolsa**



#### 4.2.4.3 Filtros absolutos (fig.26)

Filtros de alta eficiencia, utilizados especialmente para áreas estériles y áreas biológicamente limpias, asegurando un alto grado de purificación del aire. Son filtros testeados en laboratorios autorizados garantizando así una eficiencia mínima de 99.97% DOP para partículas de tamaño 0,3 micrones.

Figura 26. **Filtros absolutos**

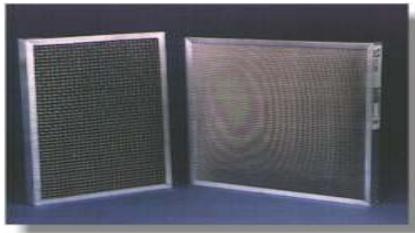


#### 4.2.4.4 Filtros metalicos lavables (fig.27,28)

Aluminio

Filtros lavables permanentes aplicables a múltiples velocidades. Fabricados con tela filtrante de aluminio en diferentes capas y marcos de acero galvanizado, zincalum o aluminio. Baja caída de presión y alta resistencia.

Figura 27. **Filtros aluminio**

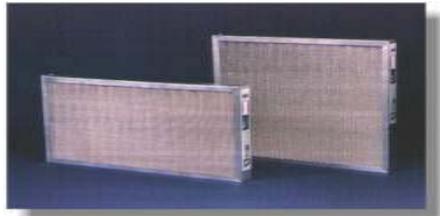


Fibra natural

Tela abrasiva

Filtros lavables permanentes con baja caída de presión. Fabricados principalmente en fibra natural o telas abrasivas lavables con marcos de acero galvanizado, zincalum o aluminio y malla de aluminio como soporte exterior. Disponibles en todo tipo de medidas y espesores.

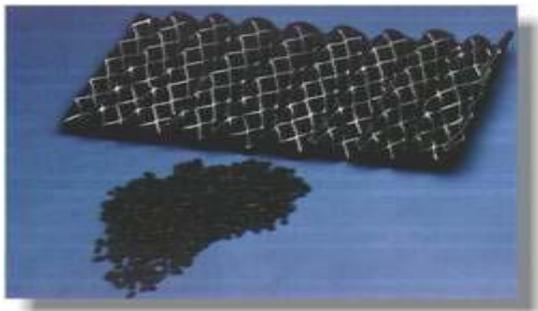
Figura 28. **Filtro de fibra natural**



#### **4.2.4.5 Filtros de carbon activado (fig29)**

Los filtros de carbón activado se fabrican en dos tipos : en gránulos o pellets y en tela impregnada de carbón activado. Su principal característica es la absorción y eliminación de gases, vapores y olores, logrando así una mayor purificación del aire en distintas áreas.

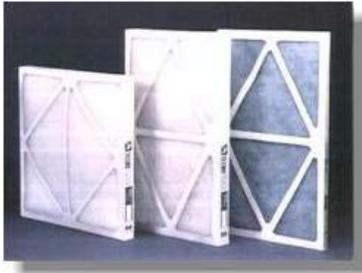
Figura 29. **Filtro de carbón activado**



#### **4.2.4.6 Filtros electrostaticos (fig.30)**

Filtros lavables permanentes fabricados en polipropileno como tela filtrante y con marco y mallas de aluminio como soporte exterior. Efectivo en la captación de particulado inferior a 3 micrones removiendo contaminantes hasta en un 88% de eficiencia.

Figura 30. **Filtros electrostáticos**



#### 4.2.4.7 Gabinete portafiltros (fig.31)

Gabinetes portafiltros fabricados principalmente en acero galvanizado, con puertas de acceso lateral y herméticamente sellados para la instalación de distintos tipos de filtros en diferentes etapas de filtrado.

Figura 31. **Gabinete portafiltros**



En resumen, la selección y aplicación del filtro adecuado consiste en una operación sencilla, pero importante. Un mal filtraje de aire puede producir sensaciones de malestar y, en algunos casos, puede llegar a ser muy perjudicial para la salud.

### **4.3 Tipo de filtros en el mercado guatemalteco**

Todos los filtros se encuentran en el mercado guatemalteco, algunos con dificultad pero si se encuentran.

### **4.4 El filtro mas aceptable en la admisión y en la expulsión de aire**

En la admisión debemos colocar filtros electrostáticos para atrapar fibras que se mantienen en el aire atmosférico.

En la expulsión es necesario garantizar que se coloquen filtros de carbón activado, para eliminar cualquier contaminante tanto de las pinturas como de los solventes



## **5. PROPUESTA FINAL PARA LA ELABORACIÓN CON DISEÑO TERMODINÁMICO IDÓNEO PARA LA CÁMARA DE PINTURA AUTOMOTRIZ**

### **5.1 Propuesta de diseño de ductos y equipos de inyección y expulsión de aire a la cámara de pintura**

Los ductos se calculan en base a la cantidad de aire/minuto necesaria para conservar, tanto el aire limpio como las condiciones térmicas en la cámara.

La propuesta es la fabricación de ductos rectangulares fabricados de fibra de vidrio o de lámina galvanizada, aislados con lana de vidrio, para evitar transferencia de calor con dimensiones de 2 pies X 1 pie (30.5 cm X 61 cm). Que nos garanticen una extracción del volumen de 5 a 7 veces por minuto.

#### **5.1.1 Casetas para pulverización de pintura**

Una caseta para pulverización es una inversión que genera muchos dividendos, porque proporciona un entorno limpio para pintar, aumentar la producción y un ambiente de trabajo seguro para el pintor. Se consideran muchos factores para determinar qué tipo de caseta se requiere. Estos incluyen trabajo que se va a hacer en ellas, el tipo de materiales utilizados en la operación de pulverizar y los diferentes reglamentos legales con respecto a la velocidad del aire, circulación del mismo, chimeneas de descarga y alumbrado.

Básicamente, las casetas que se emplean son del tipo de lavado con agua y de eliminador de pintura. Las casetas de lavado con agua usan una acción del tipo que atrapa las partículas de pintura. La caseta de lavado con agua envía aire más limpio a la atmósfera y produce menos contaminación, además de que la velocidad constante del aire da como resultado un mejor sistema de ventilación.

Una caseta que utiliza filtros eliminadores de pintura desechables es adecuada para operaciones de pulverizar limitadas o interrumpidas, como un taller de reacabado donde el uso de pintura es moderado. El consumo incluiría sobrepulverizado mínimo, y la cantidad de pintura que se está pulverizando no excedería de 2 galones por hora. Estas casetas resultan mejor cuando el recubrimiento no es de secado rápido. Si los materiales pulverizados pueden reaccionar químicamente unos con otros, se debe usar un sistema de lavado con agua.

Las casetas del tipo de eliminador de pintura eliminan las partículas de pintura, transportadas por el aire, a través de la descarga de la caseta mediante un filtro desechable. Estos filtros deben de ser de buena calidad y se deben cambiar según se requiera; de otra manera estrangulan por completo el aire para el ventilador de descarga. En una caseta con enclavamientos, un interruptor de diferencial de presión cierra el paso del aire comprimido cuando aire insuficiente va hacia la chimenea. Los requerimientos de código de OSHA indican que los filtros se examinen después de cada período de uso, y si hay algunos filtros tapados, se deben descartar y reemplazar inmediatamente.

El código de OSHA también requiere que se quiten los filtros tapados y coloquen en un depósito con agua o en una ubicación separada y segura, y se desechen a la terminación del día de trabajo. En algunas áreas se debe instalar un medidor de tiro para satisfacer los requerimientos legales. Este medidor de tiro o manómetro se deberá instalar en el costado de la caseta; el tubo de piloto se sitúa en el lado de admisión y el otro tubo en el lado de descarga de la chimenea, con filtros para indicar que hay un diferencial de presión o una caída de presión a través del banco de filtros. Después de instalados los nuevos filtros, se deberá tomar y anotar una lectura en el manómetro. Los medios filtrantes necesitaran reemplazarse cuando se de un aumento de 1/2" ó 0.635 mm indicado en el manómetro. Esto lo causa el movimiento de aire a través de los filtros, que disminuye a causa de pasajes restringidos en los medios filtrantes.

Los filtros eliminadores de pintura están hechos de un papel tratado retardante de fuego, y los agujeros están formados en una configuración en forma de diamante. Varios espesores de papel se cosen unos con otros; en consecuencia, conforme el aire fluye a través de los medios filtrantes se le obliga a moverse de un lado a otro y a desprenderse de las partículas de pintura sobre los medios filtrantes por fuerza centrífuga. Los tamaños de los agujeros de la primera hoja son los más grandes, y se hacen progresivamente más pequeños hacia la parte posterior del filtro.

Generalmente, se usan dos filtros en cada marco en la descarga del banco de filtros; normalmente se colocan uno contra el otro con los agujeros pequeños hacia el interior del banco de filtros de descarga. Se usa una rejilla en el interior para evitar que el filtro se hunda, y una rejilla en el exterior para

sostener los filtros en su lugar. Los tamaños más comunes son de 1 X 20 X 25 pulg (2.5 X 51 X 63 cm) del 1 X 20 X 20 plug (2.5 X 51 X 51 cm).

Cuando los filtros necesitan cambiarse, se quita la rejilla, se remueven los filtros, se inserta un nuevo filtro en parte posterior, el filtro que estaba en la parte posterior se instala en el frente, y la rejilla se coloca de nuevo. La razón de que se cambien así es que la porción más grande de la pintura está sobre el lado que da hacia interior de la caseta.

**Sugerencia de seguridad:** un taller bien ventilado, seguro y limpio mantendrá al personal saludable; ellos son la ventaja más apreciada. Las áreas de trabajo bien iluminadas y aseadas animarán y mejorarán el rendimiento de los empleados.

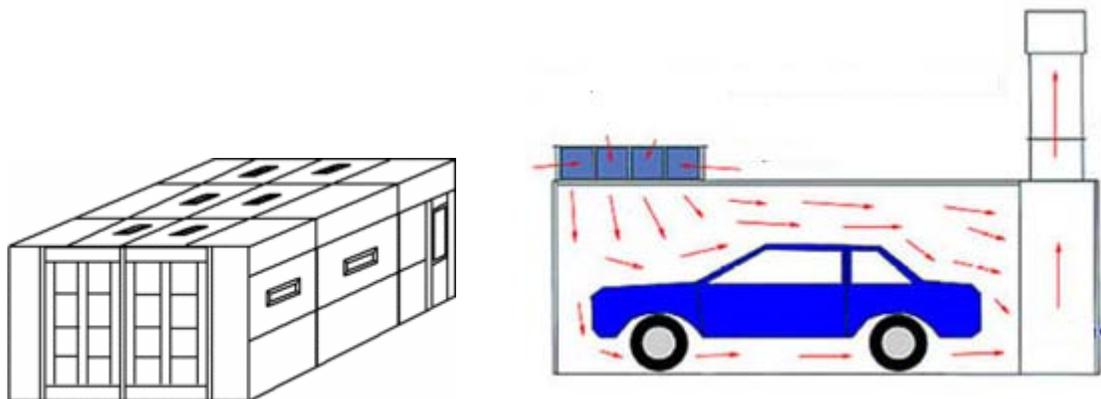
Este método de cambiar los filtros reduce el costo a la mitad y es todavía muy efectivo en la limpieza del aire. El área del banco de filtros se debe limpiar de toda pintura seca residual antes de completar el cambio de filtros. Una acumulación de pintura seca dentro del banco de filtros podría causar combustión espontánea si se dieran las condiciones favorables. Los filtros viejos se deben desechar, de acuerdo con lo establecido, de una manera apropiada y segura.

Las casetas para pulverizar del tipo de eliminador de pintura es menos costosa, más ligera y fácil de instalar. En muchos estados, provincias y ciudades, se requiere por ley que las casetas estén provistas de un sistema de rociadores de suficiente capacidad y con los cabezales colocados estratégicamente. Se acatarán los códigos eléctricos y de construcción, y la

consulta con las autoridades locales pueden ahorrar al comprador o contratista muchos dolores de cabeza además de dinero. Las autoridades pueden aconsejar respecto a qué equipo es necesario, qué códigos eléctricos y de prevención de incendios seguir y la ubicación de la caseta en el taller de pintura. Estos reglamentos comúnmente se apegan a lo indicado por la Asociación Nacional de Protección Contra Incendios (NPFA) y la Ley Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (OSHA) en Estados Unidos. En Canadá deben reunir la aprobación de las Normas Canadienses (CSA).

En Estados Unidos se usan muchas de las *casetas de tiro cruzado* (Fig. 32) y sólo últimamente se han hecho cambios a este diseño. Un cambio es el tiro medio hacia abajo en el cual el aire es sacado por los niveles superiores del taller. El aire normalmente es más limpio y se extrae a través de filtros ubicados en un pleno en el techo de la caseta. Este pleno de aire está provisto de un desviador de modo que el aire se distribuye en forma pareja y gradualmente sobre el vehículo.

Figura 32. **Caseta de tiro cruzado**



En la caseta de pulverización de tiro cruzado el aire se saca a través de filtros instalados en las puertas. El aire se desplaza horizontalmente a lo largo del vehículo y es descargado por un ventilador. La figura 32 muestra una caseta de pulverización de tiro cruzado. Estas casetas dejan mucho que desear, especialmente porque la velocidad del aire debe de ser adecuada para remover emanaciones de pintura y proveer un ambiente de trabajo seguro, pero aún bastante baja para permitir un buen trabajo de pintura. La velocidad de diseño requerida por la OSHA y por la NFPA es de 100 pies por minuto (30.48 m / min).

La velocidad a la cual se mueve este aire hace difícil que los filtros de entrada de aire remuevan todo el polvo que es arrastrado por el ventilado de descarga dentro de la caseta con presión negativa. Los filtros de aire de los tipos de auto-sello se proyectan para funcionar bien a una velocidad de aire de 125 pies / min (3810 cm / min) a 75 °F (21.1 °C) (Fig. 16-19). Están hechos de un tejido de poliéster plegable y suave recubierto con un material adhesivo especial para proporcionar capacidad superior para atrapar el polvo. Se sostienen en un marco de refuerzo interconstruido sin un revestimiento metálico perforado, el cual reduciría el flujo de aire.

La duración de los filtros de entrada varía de acuerdo con la cantidad de aire que pasa a través de ellos, así como de la temperatura del aire. Cuanto más alta sea la velocidad y la temperatura, tanto más rápido se descompondrá el material del filtro y comenzará desprendiendo algunas fibras. Por eso, es necesario que se siga un programa conveniente para el cambio de estos filtros.

Los filtros se diseñan para proporcionar un flujo uniforme y suave de aire limpio, que a su vez envuelve al vehículo que se pinta y se lleva lejos las emanaciones de pulverización y de los solventes que se evaporan. Estos filtros están disponibles en diferentes tamaños, pero los tamaños más populares son de 2 X 20 X 20 pulg (5 X 51 X 51 cm) o de 2 X 20 X 48 pulg (5 X 51 X 122 cm).

En años recientes una caseta de nuevo tipo se ha estado usando en E.U. Se llama caseta de pulverización de tiro hacia abajo y fue desarrollada en Europa. Esta caseta está diseñada bajo el mismo principio que para las casetas de tiro hacia debajo de línea de producción automotriz. El aire reemplazado pasa a través de filtros en el techo y fluye alrededor del vehículo entre emparrillados en el piso.

Esto varía de las casetas de pulverización convencionales, en donde el flujo de aire es desde un extremo al otro a través del vehículo. El flujo de aire jala lo sobrepulverizado para abajo y lejos del pintor y luego dentro de la fosa en vez de a lo largo del tramo del vehículo que se está pintando. Esto disminuye la sobrepulverización y los contaminantes en un vehículo recién pintado y evita que se eche a perder el acabado. Este tipo de caseta de pintura por pulverización da una calidad superior al vehículo pintado y saca la sobrepulverización para alejarla del pintor, dando un acabado comparable al original de la fábrica. Debido a un mejor sistema de filtración y diferente flujo de aire, ayuda a eliminar dos problemas para lograr un reacabado satisfactorio: suciedad arrastrada por el aire y un ambiente inadecuado para pintar.

Una variación de la caseta de *tiro hacia abajo* es la caseta de pulverización Concept / Cure De Vilbiss. Esta caseta funciona igual que una caseta de pulverización de tiro hacia abajo en la fase de aplicación de pintura. Pero una vez terminada la pulverización, el pintor no tiene que mover el vehículo para la etapa de curado. Esta etapa se inicia cuando el pintor acciona una palanca y selecciona la temperatura y el tiempo.

La purga de los solventes de la atmósfera de la caseta y el cambio del ciclo a un flujo de aire de alta temperatura se lleva a cabo automáticamente mediante mandos programados. El tiempo de curado varía de 20 a 30 minutos, lo cual depende del tipo de pintura y del tamaño del vehículo. Los mandos de la caseta se prefijan para cada temperatura y tiempo de curado para asegurar resultados constantes.

**Sugerencia de seguridad:** se deberá conservar el taller libre de escombros, trapos y partes viejas; un incendio podría ser una calamidad. Nunca almacene los materiales de pintura más de un día y hágalo sólo en un área aprobada de almacenamiento.

El aire nuevo que se emplea es un 10% y se calienta y mezcla con aire recirculado, manteniendo una temperatura sin cambios, sin utilizar una cantidad excesiva de combustible. El aire se filtra en todo tiempo; por eso, el automóvil nunca está expuesto al aire cargado de polvo. El aire fluye a través de la caseta de pulverización en la misma dirección, excepto que fluye mucho menos aire cuando la caseta está en fase de curado.

Una caseta para pulverización debe tener paredes lisas; esto eliminará la acumulación de polvo. La caseta deberá ser a prueba de fuego y tener un área de trabajo sin obstrucciones, así como una puerta de acceso, de manera que el pintor pueda entrar y salir de la caseta sin abrir puertas grandes. La caseta para pulverización debe tener un sistema de alumbrado que provea suficiente intensidad y uniformidad, que proporcione buenas condiciones de trabajo. Generalmente se usan lámparas fluorescentes pues dan una iluminación más uniforme y más económica de operar que los focos incandescentes que proporcionan el mismo nivel de iluminación.

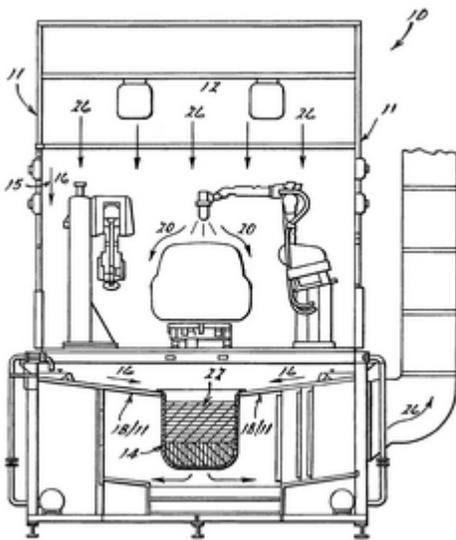
Las casetas instaladas en Estados Unidos están equipadas con lámparas fluorescentes herméticas a los vapores. Las casetas instaladas en Canadá están equipadas con dispositivos del tipo de luz abierta y de cuatro tubos. El alumbrado a prueba de explosiones, los interruptores, y el enclavamiento también debe satisfacer los requerimientos de los códigos eléctricos.

### **5.1.2 Estaciones de trabajo de pro-prep**

El uso de sistemas de *capa base / capa clara* y los requerimientos para un área de trabajo más limpia y más saludable han traído como resultado la presentación de la estación de trabajo de Pro-Prep. Estas estaciones de trabajo descargan polvo y solvente presentes en el aire mientras se está trabajando con lija o solventes. Conforme funcionan estas unidades retiran el polvo del aire, lo filtran y lo devuelven limpio al taller. Cuando se requiere imprimir compuertas interiores / exteriores descargan los vapores hacia el exterior del taller. Estos sistemas están disponibles en muchos y diferentes

diseños para satisfacer las necesidades de un taller particular. La figura 33 muestra una estación de trabajo con diseño similar a una caseta de pulverización de tiro hacia abajo.

Figura 33. Caseta tiro hacia abajo



El aire se limpia con filtros similares a los que se usan en una caseta de pulverización. La primera etapa al nivel del piso recoge las partículas grandes de sobrepulverización y de polvo. La envoltura de aire, la cual se mueve constantemente, obliga al polvo y a los vapores a entrar en el sistema de filtrado. Un sistema central para filtración contiene cuatro bolsas de filtro de alta densidad, el cual elimina el polvo y la sobrepulverización de la corriente de aire. Se usa un ventilador de descarga para mover el aire a través del sistema en un volumen de aproximadamente 10,000 pies cúbicos (283 metros cúbicos) por minuto. Durante la etapa de extracción de polvo, el aire retorna al taller a través de un pleno superior que contiene filtros

recubiertos de adhesivo y de alta calidad los cuales remueven partículas tan pequeñas como de un 10µm. Estos sistemas de filtro se sujetan a control en cuanto a eficiencia, utilizando continuamente un medidor. Estos sistemas mejoran en gran medida las condiciones de trabajo además de su calidad, lo cual disminuirá la cantidad de repetición de los trabajos en un taller normal.

## **5.2 Condiciones a cumplir para mantener un ambiente estable y predeterminado en la cámara de pintura**

### **5.2.1 Ordenanzas de OSHA para casetas de pulverización**

#### **5.2.1.1 Construcción de la caseta**

Las casetas de pulverización se construirán esencialmente con acero no mas delgado que del calibre No. 18, en forma segura y rígida. Cada caseta de pulverización que tenga un área frontal mayor a 9 pies cuadrados (0.84 metros cuadrados) tendrá un desviador metálico de no menos de 2.5" (6.4 cm) de profundidad, instalado en el borde externo superior de la caseta, sobre la abertura.

**Sugerencia de seguridad:** todos los pisos se deberán conservar limpios, y la pintura, aceite y otros materiales se deberán limpiar bien inmediatamente. Todos los agujeros del piso se deberán reparar. Todos los pasillos y pasajes se deberán conservar libres de herramientas, camas para mecánico, y otros objetos que pudieran hacer que alguien cayera o tropezara.

#### **5.2.1.2 Instalación de la caseta**

La superficie del piso de una caseta y el área de trabajo del operario, se cubrirá con materiales no combustibles.

El espacio dentro de la caseta de pulverización en los lados hacia donde va y de donde viene la corriente de los filtros se protegerá con rociadores automáticos aprobados.

El cableado y el equipo eléctrico estarán conforme a las provisiones de este párrafo, o bien de acuerdo con la subparte S o esta parte [Código Nacional Eléctrico (National Electric Code)].

Las casetas de pulverización se instalarán de tal modo que todas sus partes estén accesibles para su limpieza. Un espacio de menos de 3 pies (91 cm) en todos los lados se mantendrá libre de almacenaje o de construcción inflamable.

### **5.2.1.3 Ordenanzas sobre iluminación**

Cuando las áreas de pulverización están iluminadas a través de paneles de vidrio o de otros materiales transparentes, se usarán sólo unidades de alumbrado fijas como fuente de iluminación. Los paneles aislarán efectivamente la zona de pulverización del área en la cual esté ubicada la unidad de alumbrado, y serán de un material no combustible, de tal naturaleza o protegidos de modo que su rotura sea improbable. Las lámparas eléctricas portátiles no se usarán en ningún área durante la pulverización.

Se requiere que la chimenea de descarga ventile la caseta hacia el exterior y debe de ser del mismo tamaño y diámetro que el ventilador. La chimenea deberá descargar verticalmente para un adecuado flujo de aire de descarga y debe ser lo suficientemente alta para satisfacer los reglamentos. La chimenea de descarga se debe construir con metal en láminas de suficiente calibre para satisfacer las normas. Cuando una chimenea de descarga se tiende horizontalmente a través de una pared lateral, un viento fuerte podría reducir extremadamente la velocidad de aire de descarga en la caseta.

#### **5.2.1.4 Ordenanzas para el aire de descarga**

La velocidad promedio del aire sobre la parte abierta de la caseta (o de sección recta de caseta durante la pulverización) no será menor de 100 pies lineales por minuto (30.5 m / min). Medidores visibles o alarma audible o dispositivos a presión se instalarán para indicar o asegurar que se mantiene la velocidad requerida para el aire.

La ventilación mecánica se mantendrá funcionando en tanto se esté pulverizando y posteriormente por un tiempo suficiente para permitir que se descarguen los vapores de los artículos recubiertos y el acabado se seque.

Los ductos de descarga se construirán con acero y estarán soportados firmemente. Si se instalan ductos de descarga sin compuertas, se mantendrán de manera que estén en posición de abertura total siempre que el sistema de ventilación esté funcionando. Los ductos de descarga se protegerán contra daño mecánico y tendrán un espacio libre desde el

material combustible protegido de no menos de 18” (46 cm). La descarga de aire proveniente de la caseta no se dirigirá de manera que vaya a contaminar el aire de repuesto que se está introduciendo en el área de pulverización u otras admisiones para ventilación, ni dirigidas de modo que creen incomodidad. El aire de descarga que provenga de operaciones de pulverización no recirculará.

Los ductos se construirán de manera que proporcionen resistencia estructural y estabilidad equivalente en lo mínimo a metal de lámina de no menos que los espesores que se muestran en la tabla 16-1. Se deben colocar extinguidores del tipo apropiado para satisfacer los reglamentos para prevención de incendios. En una instalación nueva se recomienda y en algunas áreas es ley, que todas las casetas nuevas estén provistas de una unidad de reposición de aire capaz de calentar todo el aire de repuesto que circula en la caseta. El tipo de sistema que se muestra es el de una instalación del tipo positivo; o sea, entra a la caseta ligeramente más aire que el que se descarga de acuerdo con los reglamentos. Esto proporciona un ambiente sujeto a control, menos suciedad y una temperatura de aire bajo control.

**Tabla VI. Calibre de lámina**

Diámetro	No. de calibre americano (US.)
Hasta 8 pulg (20 cm) inclusive	24
Más de 8 pulg hasta 18 pulg. (20 a 46 cm) inclusive	22
Más de 18 pulg. Hasta 30 pulg. ( 46 a 76 cm) inclusive	20
Más de 30 pulg (76 cm)	18

### **5.2.1.5 Ordenanzas para el aire de repuesto**

El aire limpio y nuevo se abastecerá a una caseta o espacio para pulverización en cantidades iguales al volumen de aire descargado a través de la caseta. Se proveerán los medios para calentar el *aire de repuesto* para cualquier caseta de pulverización en todos los lugares donde la temperatura a la intemperie sea por debajo de 55 °F (12.7 °C) por períodos apreciables.

Como una opción respecto a un sistema de reposición de aire que compre con lo anterior, la calefacción general del edificio se puede emplear siempre y cuando todas las partes ocupadas del edificio se mantengan a no menos de 65°F (18 °C) cuando el sistema de descarga está funcionando.

Para tener un equilibrio de aire apropiado, la reposición de aire se deberá proyectar para entregar aire nuevo, filtrado y calentado dentro de una caseta o edificio para pulverización. Para determinar los requerimientos para reposición de aire, multiplique la capacidad de régimen del ventilador de descarga, en pies cúbicos por minuto, o metros cúbicos por minuto, por 20. (Esto se basa en tres cambios de aire por hora:  $60 \text{ min} / 3 = 20$ .) Usando este cálculo en una caseta normal de tiro cruzado, usaríamos de 180,000 a 250,000 pies cúbicos de aire de descarga, lo que depende de los requerimientos para velocidad del código que regula la cantidad de aire descargada por minuto. Esto se puede encontrar multiplicando la altura x el ancho de la caseta y esto por la velocidad según los requerimientos legales. OSHA y NFPA requieren que los fabricantes proyecten velocidades de 100 pies por minuto (31 m / min) mientras se están llevando a cabo operaciones

de pulverización. Si el área de taller (ancho x largo x altura) es menor que la cantidad de pies cúbicos de aire descargado, se deberá instalar una unidad para reemplazo de aire.

Todas las casetas tienen un *ventilador de descarga* que debe tener capacidad suficiente para cumplir con los requerimientos legales de NFPA y de OSHA y se debe instalar para satisfacer el Código Nacional Eléctrico (National Electric Code). Estos ventiladores se diseñan en varios modelos y tamaños para diferentes cantidades de movimiento de aire. El ventilador tiene aspas de una pieza, que no producen de forma aerodinámica y equilibradas, las cuales pueden mover grandes cantidades de aire requerido con mínima potencia para lograr alta eficiencia y economía (Fig. 34)

Figura 34. **Ventilador de aire**



**Sugerencia de seguridad:** se deben colocar extinguidores de incendios en ubicaciones estratégicas y revisar periódicamente su carga.

Los ventiladores se construyen para crear el mínimo posible de ruido al trabajar. Si el ruido es molesto, un ventilador grande que gire más lento disminuirá en sus decibeles. Los servicios son sencillos, pues las bandas

están encerradas en un alojamiento que las conserva limpias y prolonga su duración por un tiempo de operación largo y libre de problemas. El ventilador tiene cojinetes de bolas lubricados permanentemente que se pueden usar en temperaturas hasta del 225 °F (107 C). Un ventilador se construye para trabajar hasta una velocidad de régimen máxima y ésta nunca se debe exceder. Si se requiere más descarga, se debe instalar un ventilador más grande. Las aspas se deberán revisar periódicamente en cuanto a su limpieza; si la pintura se ha acumulado en ellas, se deberá limpiar bien, raspando poco a poco, con cuidado de no dañar las aspas. No se deberá usar removedor de pintura sobre aspas de aluminio pues se podrían dañar el metal si no se neutraliza en forma apropiada.

#### **5.2.1.6 Limpieza**

Para mantener la caseta de pulverización en buena forma de operación al pintar, es importante que el piso se barra y se lave si se requiere. El piso se puede humedecer para ayudar a mantener al mínimo los problemas de polvo. La caseta se deberá mantener libre de materiales no necesarios, como repuestos, cubetas para agua, escobas, raederas, recogedores y latas de desecho. Las mangueras se deberán colgar siempre en suspensores y no tendidas sobre el piso de la caseta.

Todos los filtros, sean de admisión o de descarga, se deberán cambiar cuando se requiera y todos los sellos de puertas se deberán conservar en buen estado, de manera que el polvo no pase a través de aberturas. El vidrio, los dispositivos fluorescentes, y las paredes de la caseta se deberán mantener en buena condición de limpieza.



## **CONCLUSIONES**

1. Utilizando filtros para aire de los descritos en este trabajo garantizamos la pureza del aire que ingresa a la cámara de pintura.
2. Promoviendo el uso de cámaras de pintura automotriz garantizamos el aire de expulsión en los talleres de reparaciones de pintura para que sea limpio y no dañino al entorno.
3. Los trabajos se realizan en forma continua, y con acabados finos y brillantes para garantizar la satisfacción del cliente.
4. Utilizando equipos para garantizar cambios de aire en el recinto con flujos de 5 a 7 veces el volumen del mismo por minuto emplearemos menos tiempo, para alcanzar el curado de las pinturas y su acabado final fino.
5. Con la utilización de filtros de carbón activado aseguramos que el aire de expulsión esté libre de contaminantes tanto sólidos como gases.
6. Apegándonos a las normas OSHA proveeremos a los empleados un ambiente libre de accidentes y enfermedades ocupacionales.



## RECOMENDACIONES

1. Promover el uso de cámaras de pintura, así como otros dispositivos para evitar la contaminación ambiental durante el proceso de reacondicionamiento de vehículos chocados.
2. Cambiar los filtros de entrada y salida de aire a la cámara periódicamente, por lo menos cada 30 automóviles pintados o 3 meses el que llegue primero.
3. Regirse a las normas del país y si no hay utilizar las normas OSHA e ISO, para el desecho de aire no contaminado.
4. La cámara de pintura se puede construir de material como lámina galvanizada lisa, haciendo una doble pared, y en medio rellenar con lana de vidrio que no necesariamente debe llevar forro de aluminio, la estructura se puede hacer de costanera, el cielo falso de un material como duroport, y entre este y el techo debe haber también una capa de lana de vidrio. Con esto aislamos bien la cámara del ambiente exterior y garantizamos las condiciones térmicas dentro de la misma.
5. Que los equipos de inyección de aire garanticen por lo menos un cambio de 5 veces el volumen de espacio por minuto, además que sea de aire cruzado, para evitar molestias en la aplicación de las pinturas.



## BIBLIOGRAFÍA

1. McQuinston Faye, Parker Jerald y Spitler Jeffrey, Calefacción, Ventilación y Aire acondicionado. México, Limusa, 2003.
2. Çengel Yanus y Boles Michael, Termodinámica. 4ª edición, México, McGawHill, 2003.
3. Carrier Air Conditioning Company, Manual de Aire Acondicionado. Marcombo, Barcelona, 1999.
4. Wark Kenneth, JR., Termodinámica. 5ª edición, México, McGrawHill, México 1993.
5. [http://es.wikipedia.org/wiki/Aislante t%C3%A9rmico](http://es.wikipedia.org/wiki/Aislante_t%C3%A9rmico), Septiembre de 2009.
6. <http://www.powdertronic.com/cabinas/automotrices.html> Octubre 2009.



# ANEXOS

## NORMAS OSHA

La norma OSHA es una especificación empleada internacionalmente para la implementación, mantención y mejora continua de la Gestión de Prevención de Riesgos y Enfermedades Profesionales.

Es un modelo de Gestión de Recinto Seguro para toda el área donde se desarrollen proceso de la empresa.

Toda empresa está legalmente obligada a velar por la seguridad y salud de su empleados y adicionalmente las enfermedades y accidentes ocasionan costos económicos directos y afectan la imagen y confianza de la misma a nivel competitivo internacional.

Es importante contar con cursos de capacitación en el área de seguridad e higiene industrial, así como control de conatos e incendios provocados por la combustión de material sólido y líquido inflamables que en un taller son extensos.

Se debe contar además con sistemas de equipos contra incendios siendo los mínimos los extinguidores del tipo CO<sub>2</sub> o polvos químicos.

Los accidentes que se pueden ocasionar dentro de la cámara podrían ser asfixia, stress por calor, perdida temporal de la consciencia debido a la inhalación de productos volátiles debido a mascarillas en mal estado o extracción de aire deficiente, problemas visuales debido a accidentes ocasionados por salpicaduras de pintura o solventes en el momento de la preparación de la pintura, shocks eléctricos debido a una mala tierra o a cables con aislantes deteriorados y expuesto, y otros.

Es por lo tanto importante que la cámara cuente con vidrios transparentes y alarmas de socorro que estén al alcance inmediato del operador, y los vidrios que cubran la mayor parte de la cámara, así como que el operario cuente con un ayudante que esté en la parte de afuera como medida de precaución.