



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de ingeniería

Colegio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO MECÁNICO PARA AIRE DE UN QUIRÓFANO
PERTENECIENTE AL HOSPITAL DE TRAUMATOLOGÍA Y ORTOPEDIA DEL
IMSS EN PUEBLA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

Presenta:

Aketzali Avendaño Torres

Director:

M. C. Tomás Aarón Juárez Zerón

Co Asesores:

M. M. María del Rosario Espinosa Carrasco

M. Guillermo Flores Martínez

M. José Alfredo Mejía Pérez

Puebla, Puebla

Febrero 2020

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	VI
ANTECEDENTES	VII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	VIII
JUSTIFICACIÓN	X
OBJETIVOS.....	XII
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	XII
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	XII
HIPÓTESIS.....	XII
CAPITULO 1: GENERALIDADES	1
1.1 HISTORIA DEL AIRE ACONDICIONADO	1
1.2 AIRE ACONDICIONADO	2
1.2.1 Humidificación y deshumidificación del aire	3
1.2.2 Calentamiento y enfriamiento sensible del aire.....	4
1.2.3 Enfriamiento con deshumedecimiento	4
1.2.4 Secado y humedecido adiabático del aire	4
1.3 AIRE.....	4
1.3.1 Aire seco	5
1.3.2 Aire húmedo	6
1.3.3 Aire saturado.....	7
1.3.4 Aire sobresaturado.....	7
1.4 ENTROPÍA.....	8
1.5 ENTALPÍA	9
1.6 PRESIÓN	10
1.7 PSICROMETRÍA.....	11
1.7.1 Diagrama de Carrier	11
1.7.2 Carta psicrométrica.....	12
1.7.3 Leyes psicrométricas	13
1.8 CALOR	14
1.8.1 Calor sensible	14
1.8.2 Calor latente.....	14
1.8.3 Calor total	15
1.8.4 Caloría	16

1.8.5	Calor específico	16
1.8.6	Capacidad térmica.....	16
1.9	TEMPERATURA.....	17
1.9.1	Temperatura de bulbo seco	17
1.9.2	Temperatura de bulbo húmedo	18
1.9.3	Temperatura de rocío	18
1.10	HUMEDAD.....	19
1.10.1	Humedad relativa (ϕ)	19
1.10.2	Humedad absoluta (<i>habs</i>)	20
1.10.3	Humedad específica (<i>w</i>).....	20
1.11	HUMIDIFICACIÓN	21
1.12	DESHUMIDIFICACIÓN	21
1.13	VOLUMEN ESPECÍFICO (<i>v</i>)	21
2	CAPITULO 2: SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO	23
2.1	SISTEMA QUE UTILIZA SOLO AIRE	24
2.2	SISTEMA DE UNA SOLA ZONA	25
3	CAPITULO 3: SELECCIÓN DEL EQUIPO	26
3.1	EVAPORADORES.....	26
3.2	CONDENSADORES.....	27
3.3	VENTILADORES.....	27
3.3.1	Ventiladores radiales (centrífugos)	28
3.3.2	Ventiladores axiales	29
3.4	COMPRESOR	30
3.4.1	Compresores reciprocantes	31
3.4.2	Compresores de tipo abierto	31
3.4.3	Motocompresor semihermético	31
3.4.4	Motocompresor hermético.....	32
3.4.5	Funcionamiento básico	32
3.5	BOCAS DE SALIDA EN TECHO	32
3.5.1	Difusor.....	32
3.6	REFRIGERANTE.....	34
3.6.1	Propiedades	35
4	CAPÍTULO 4: CUARTO LIMPIO	37

4.1	¿QUÉ ES UN CUARTO LIMPIO?	37
4.1.1	Ventilación por flujo turbulento	39
4.1.2	Ventilación por flujo laminar	40
4.1.3	Cuartos limpios industriales	44
4.1.4	Cuartos limpios biológicos o biolimpios	44
4.1.5	Características de cuartos biolimpios	45
4.2	Fuentes de partículas en espacios limpios	46
4.3	EL QUIRÓFANO Y SUS PRINCIPALES ÁREAS DE TRABAJO	46
4.3.1	Quirófano	47
5	CAPITULO 5: CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA	53
5.1	BALANCE TÉRMICO	53
5.2	¿PARA QUÉ SIRVE EL BALANCE TÉRMICO?	54
5.3	DATOS DE DISEÑO	56
5.3.1	Calor exterior (<i>Q_{ext}</i>)	57
5.3.2	Calor interior (<i>Q_{int}</i>)	60
5.3.3	Cálculo de calor total	63
5.4	GASTO DE AIRE	63
5.4.1	Cálculo de diferencia de temperaturas (ΔT)	64
5.5	DISTRIBUCIÓN DE AIRE	67
5.5.1	Condiciones necesarias para una buena distribución de aire	69
5.5.2	Cálculo de ductos	70
6	CAPÍTULO 6: SELECCIÓN DEL EQUIPO	77
6.1	FILTROS	77
6.1.1	6.1.1 Rendimiento de los filtros	78
6.2	TIPOS DE FILTROS	79
6.2.1	Prefiltros	79
6.2.2	Filtros tipo bolsa	80
6.2.3	Filtro HEPA (high efficiency particulate air)	80
6.3	CALCULOS Y SELECCIÓN DE FILTROS	81
6.3.1	Filtros HEPA	81
6.3.2	Filtro de bolsa	82
6.3.3	Prefiltro de acrílico	82
6.4	SERPENTÍN	82

6.5	VENTILADOR	84
6.5.1	Diámetro de la polea del ventilador con respecto al motor	85
CONCLUSIONES		86
REFERENCIAS.....		87

INTRODUCCIÓN

Acondicionar aire significa controlar la pureza, temperatura, humedad, y distribución, esto con el fin de brindar una sensación agradable a personas dentro de un espacio determinado.

El aire acondicionado es tan antiguo como el mismo hombre. Los primeros individuos sobre la faz de la tierra utilizaban pieles de animales para poder controlar la pérdida de calor de sus cuerpos.

El aire acondicionado para comodidad fue utilizado por primera vez en una sala de cine, posteriormente teatros famosos empezaron a utilizarlo durante la década de 1920; actualmente el tema es tan basto pues abarca desde principios de física y termodinámica hasta problemas prácticos de ingeniería (Whitman, 2000).

Pero no solo el aire acondicionado debe brindar confort al remover calor de los cuerpos, sino que también debe proporcionar aire libre de impurezas como lo son las bacterias, virus o microbios, que dentro de un cuarto común y corriente como lo puede ser un auditorio o una cafetería no sería de vital importancia, pero dentro de un laboratorio esto traería consecuencias, porque cualquier tipo de contaminación podría abarcar con años de investigación sobre un producto (como un microprocesador), o en el caso algo tan importante como un quirófano, acabar con la vida humana.

Dentro de los cuartos limpios estos se dividen en industriales y biológicos. Los industriales en breves palabras son donde se lleva a cabo la producción de diversos productos para el consumo, pero, dentro de los biológicos se encuentran los quirófanos, cuartos en los cuales día a día se salvan o transforman vidas y que es muy importante dentro del ámbito de la medicina. Por ello la importancia de tener un ambiente libre de contaminación, porque cualquier error de cálculo podría traer consecuencias irreversibles.

ANTECEDENTES

Se definirá lo que es un cuarto limpio como un espacio determinado en el cual debe existir la menor contaminación de aire que sea posible, donde los niveles de diversas partículas y microbios se mantienen controlados dentro de un límite establecido. “Dentro de estos se vigila la contaminación de elementos producidos como pueden ser desde la máquina de un reloj hasta la investigación y producción de medicamentos, al igual que se manejan condiciones ambientales como la humedad, temperatura y presión cuando es requerido” (Matasaka, 2004, p.19).

Los cuartos limpios se dividen en dos grupos: cuartos limpios industriales y cuartos limpios biológicos. En los primeros se pueden producir diferentes tipos de productos como son equipos electrónicos, eléctricos, médicos, ópticos, etc. Los cuartos biológicos son los más limpios, puesto que deben de alojar la menor cantidad de gérmenes y microbios que la mayoría; esto se logra a través de filtros de aire de gran desempeño, los cuales son capaces de mantener el ambiente libre de casi el 100% de partículas de un tamaño de 0.3 micrones e incluso bacterias (Matasaka, 2004, p.20).

Un quirófano es una rama de los cuartos biolimpios y uno de los más conocidos debido a su gran importancia en el área de la salud, aparte de ser una de los más cuidados en el aspecto de la limpieza del aire que se encuentra en él. Es por eso la importancia del estudio del acondicionamiento de aire de un quirófano, ya que cualquier error que suceda en el sistema no sólo repercutirá en la contaminación del ambiente sino hasta en la vida del paciente que se está interviniendo dentro de la sala de operación.

La empresa Air Trade Center realizó el estudio Lidwell en diferentes hospitales público de Alemania, dicho estudio comprobó que algunas de las pautas para conseguir una calidad de aire acondicionado ultralimpio se debe tener un completo control de las cargas térmicas (Jamesson, 2018, p.1). Logrando así la Prevención de las infecciones durante las operaciones, reduciendo la concentración de gases dentro del área.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación del aire por partículas se sitúa como el quinto factor de riesgo a la salud por el número de muertes prematuras, de acuerdo con el estudio sobre carga global de la enfermedad en 2015 (Tzintzun, 2016, p.8). Para México, dicho estudio estima que en el 2015 cerca de 29,000 muertes y casi 558,000 DALY (años de vida ajustados por discapacidad) serían atribuibles a la mala calidad del aire (IHME, 2016).

La ciudad de Puebla acumula poco más de 6 millones de habitantes al 2018 (INEGI, 2019). Como consecuencia de la intensa actividad económica y la dinámica urbana y poblacional de esta región, se presentan problemas de calidad del aire.

Entre los especialistas en salud es bien conocido, pero no por ello menos paradójico, que un gran número de los pacientes que ingresan a un centro de salud por una razón específica, no necesariamente infecciosa, adquieren en ese lugar y en ámbito del que se esperaría casi una total asepsia, una infección bacteriana hospitalaria, la que potencialmente podría llegar a ser una afección más seria que la razón que motivó inicialmente la consulta médica (Lax, 2017).

El origen del estudio es el diseño de un sistema de enfriamiento de aire con el fin de conjuntar y definir cada uno de los pasos a seguir para un correcto acondicionamiento y diseño y así facilitar la información a las personas interesadas en el tema, ya que la calidad de Aire interior en centro de salud dependen de la acertada planificación que va desde la etapa de diseño hasta los productos y métodos que permitan alcanzar el objetivo primordial de garantizar mejores condiciones para el correcto funcionamiento del establecimiento

Se hace necesario el conocimiento en su totalidad de los lugares a acondicionar, tratando de esta forma dar la solución óptima al problema, buscando realizar una propuesta que cumpla con los requerimientos necesarios, normativos, especificaciones técnicas y teóricas, y brindar la mejor opción para la realización del proyecto.

Por lo general se desarrolla en etapas buscando el cumplimiento de todos los requerimientos para elaborar el proyecto.

Se elaborará el proyecto, abordando normas tales como el ASHRAE 170-2013 (Ventilation oh Health Care Facilities) y el ASHRAE HVAC (Design Manual for Hospitals and Clinics-2013), orientados a asegurar la calidad en la infraestructura edilicia, en este caso la

hospitalaria, en cuestiones como presurización, inyección de aire, renovaciones horarias, mecanismos para el control de asepsia, ventilación artificial y sistemas de filtración de aire.

Para tener una visión clara de las dimensiones y características físicas del quirófano, se solicita al usuario los planos de construcción, así como los datos eléctricos con los que cuenta el edificio, para poder realizar el balance térmico que nos dará el flujo de aire a suministrar, el grado de filtración de éste y la potencia de refrigeración requerida.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente el uso de cuartos limpios en México es muy común en el área médica. Desde el punto de vista de localización, la Ciudad de México ha sido por muchos años el sitio en donde más hospitales de mayor capacidad resolutive existen, y fue hasta el año 1951 cuando se inició a través de la Secretaría de Salud, un plan para la construcción de más hospitales regionales. Esto con el propósito de desarrollar un sector hospitalario mexicano moderno, que cumple con un sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado, apegado a normas y estándares nacionales e internacionales vigentes (CYVSA, 2012).

La gran importancia que tiene un acondicionamiento de aire de un quirófano es debido a las grandes necesidades que existen de asepsia (microorganismos en suspensión en el aire), como son cadenas de infecciones, sanitización, desinfección y esterilización, por lo que tienen como objetivo conseguir una limitación microbiana en las zonas que se ocuparán para realizar investigaciones o para realizar algún procedimiento quirúrgico (Elsauz, 2018).

En México no existe una norma que indique de forma precisa sobre los controles y clasificación de este tipo de instalaciones en materia de calidad de aire, ya que, la norma oficial que habla de este tema solo indica de forma muy general las condiciones de aire en un quirófano:

“Se establecen los requisitos mínimos de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada” (NOM-197-SSA1-2000, inciso 6.3.1.3).

El punto crucial para escoger este tema cuando cursaba la materia de Aire Acondicionado con el Prof. Zerón y realizando mis prácticas profesionales en el Hospital de Traumatología y Ortopedia, fue cuando observé la forma aplicada de todo lo que él explicaba en sus clases, por lo que lo que en un principio tomé como un tema sin trascendencia y que al estudiarlo llegó a tornarse interesante. Pero debido a que es un tema tan extenso, abarqué una única zona del hospital para estudio ya que se trata de un área tan delicada que necesita especial cuidado al momento de acondicionar el aire que circula.

El presente proyecto pretende aplicar los conceptos y conocimientos teóricos adquiridos en la licenciatura de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA; sobre la correcta selección

e instalación de un sistema de aire acondicionado para el área específica con las condiciones a garantizar que sería la temperatura y calidad del aire.

Los beneficios que se deriven de este proyecto serán de gran ayuda además de efectivos, ya que pretende ayudar a mejorar el diseño, a determinar el tipo de instalación y operación, a la obtención cargas térmicas, y al conocimiento del buen funcionamiento de cualquier sistema de acondicionamiento de aire, ya sea en el área de la salud, farmacéutica, electrónica e industrial y dar a conocer un tema poco desarrollado.

OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Proporcionar a los usuarios de un quirófano una calidad de aire con el mínimo de bacterias y microorganismos, que cumplan con los estándares de asepsia al realizar una cirugía.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Aplicar los métodos termodinámicos utilizados para el cálculo del sistema de acondicionamiento.
2. Determinar los filtros en función del tamaño de las partículas que logra retener el sistema.
3. Analizar y determinar el tamaño, localización de los equipos e instalaciones y organización optima requerida para su buen uso, funcionamiento y eficiencia.
4. Calcular los elementos del sistema de acondicionamiento de aire.
5. Proporcionar una adecuada temperatura y humedad en el sistema de enfriamiento de aire siguiendo normas establecidas por NOM (México) y por ASHRAE (Europa).

HIPÓTESIS

Un sistema termodinámico de calentamiento y enfriamiento para aire mediante una filtración de tres etapas (prefiltro, filtro tipo bolsa y filtro absoluto), genera aire acondicionado con las más altas normas de calidad en el quirófano de un hospital.

CAPITULO 1: GENERALIDADES

1.1 HISTORIA DEL AIRE ACONDICIONADO

Con el objetivo de obtener un ambiente sano y agradable, el científico Lord Kelvin creó un circuito frigorífico hermético que se basaba en la absorción de calor por medio de un gas refrigerante, en pocas palabras, inventó el principio del aire acondicionado, y se basó en 3 principios:

- El calor se transmite de la temperatura más alta a la más baja.
- El cambio de estado del líquido a gas absorbe calor.
- La presión y la temperatura están directamente relacionadas.

En 1906, el Dr. Willis Haviland Carrier, siendo empleado de Buffalo Forge Company, patentó su primer equipo como un aparato para tratar aire, pero no fue hasta 1928 que desarrolló el primer equipo que enfriaba, calentaba, limpiaba, y hacía circular el aire para casas y departamentos.

Actualmente en la sociedad muchos productos y servicios vitales dependen del control del clima interno; la comida, la ropa que vestimos y la biotecnología de donde se obtienen químicos, plásticos y fertilizantes (Ticó, 2017. Pág.).

La climatización es el proceso de tratamiento del aire que controla simultáneamente su temperatura, humedad, limpieza y distribución para responder a las exigencias del espacio climatizado (RITE,2007).

La humedad se refiere a la cantidad de vapor de agua contenida en el aire y está directamente relacionada con la sensación de bienestar. El aire del ambiente se controla para mantener la humedad relativa preestablecida mediante la humidificación o deshumidificación del aire ambiente (Carrier, 1980).

Es necesaria la distribución y circulación uniforme del aire en el espacio para obtener la comodidad deseada sin haber alguna corriente desagradable.

El aire acondicionado no es más que un servicio con el que dota a un edificio, por tanto, la instalación de aire acondicionado debe someterse por entero a las características de este, tratando de no influir, siempre que ello sea posible, al resto de elementos que constituyen el edificio. Una buena instalación de aire acondicionado debería cumplir la condición, de pasar

desapercibida. En otras palabras, se construyen los edificios, y se les dota de aire acondicionado, entre otros servicios.

Encontrar un edificio construido para ser acondicionado, es difícil. La idea debe mantenerse siempre en mente, tanto del agente técnico-comercial que ofrece la instalación como del proyectista.

Un sistema de control ambiental que comprende el enfriamiento y deshumidificación necesita un medio para eliminar el calor de los recintos acondicionados, como el calor solo fluye de la temperatura mayor a la temperatura menor, se debe tener disponible un fluido con una menor temperatura que la del diseño del recinto. El diseño y funcionamiento de los sistemas de refrigeración gira alrededor de este fluido refrigerante, al cual mediante una serie de dispositivos se le hace realizar el trabajo fundamental de absorber calor en un lugar (Morocho, 2015).

Al momento de seleccionar el equipo adecuado se debe satisfacer a la carga instantánea máxima y ser capaz de también de trabajar en condiciones de carga potencial. Para cumplir con la función de una instalación de aire acondicionado, los fabricantes ofrecen diversos equipos, que son utilizados en forma coordinada y cumplen con los requisitos de instalación.

Una vez determinadas las cargas térmicas y expuesto las condiciones psicrométricas es posible estimar que clase de equipo se necesita para el funcionamiento del local.

Al comenzar con el estudio del tema, es conveniente conocer el término acondicionamiento de aire para posteriormente entender ¿Qué es el aire acondicionado?, ¿Para qué sirve?, ¿Cómo funciona?, ¿Cuál es el procedimiento de un balance térmico y la selección del equipo?

1.2 AIRE ACONDICIONADO

Aire acondicionado es controlar la temperatura, la circulación, la humedad y la pureza de aire que respiramos y en el que vivimos o, hablando en términos más generales, el acondicionamiento completo del aire significa calentar el aire en invierno, enfriarlo en verano, circular el aire y renovarlo en esas dos estaciones del año, secarlo cuando el aire está demasiado húmedo, humedecerlo cuando es demasiado seco y filtrar o lavar el aire para privarle del polvo y los posibles microorganismos que contenga tanto en el verano como en el invierno, todo con el fin de brindar a las personas una comodidad o brindar a la industria

ambientes controlados para la producción de diversos productos o servicios (Hernández, 2010).

El concepto más importante en este tema es la primera ley de la termodinámica la cual conduce a la idea del balance energético (Clausius, 1850). En algunos casos este balance se encuentra en un sistema cerrado en una masa fija.

Un aspecto importante para definir también es el aire, el cual es una combinación de diversos gases que forma la atmósfera de la tierra.

El aire contiene normalmente, muchas impurezas como gases, sólidos, polvos, etc., en proporciones que dependen de muchos factores. Se compone de nitrógeno, oxígeno (que es la sustancia que permite la vida de cualquier ser vivo), dióxido de carbono, vapor de agua y pequeñas cantidades de otros elementos (argón, neón, etc.). A mayor altura en la atmósfera, el aire también contiene ozono, helio e hidrógeno (Godino, 2002).

Si se reflexiona sobre las posibilidades del acondicionamiento del aire, es fácil de ver el enorme efecto que puede tener sobre la comodidad, la eficiencia y la salud en la vida diaria del hogar y del trabajo, si se realiza dentro de locales cerrados. Es fácil ver porque el acondicionamiento de aire ha interesado a gentes de todas partes y porque tiene ante sí un porvenir tan extraordinario (Godino, 2002)

Para que un sistema de acondicionamiento lleve a cabo su función en forma adecuada debe operar en forma simultánea y continua sobre las magnitudes siguientes (Godino, 2002):

- a) Temperatura: Calefacción, Refrigeración.
- b) Humedad: Humidificación, Deshumidificación.
- c) Velocidad: Ventilación mecánica, Extracción del aire.
- d) Pureza: Filtrado, Esterilizado.

1.2.1 Humidificación y deshumidificación del aire

La humidificación es el proceso mediante el cual se agrega la humedad deseada al aire suministrado a un espacio. El equipo utilizado para dicho proceso es el humidificador de aire acondicionado, el cual consiste en inyectar el aire fresco que pasa a través de un filtro y luego por un precalentador de aire, posteriormente pasa a la zona de pulverización donde es

humedecido, enseguida por un calentador de aire para ser dirigido al espacio mediante un ventilador (Freire, 2014).

1.2.2 Calentamiento y enfriamiento sensible del aire

Cuando se entrega energía al aire, la temperatura aumenta, pero la razón de humedad permanece constante, pues no hay ni aumento ni disminución en la cantidad de materia de la mezcla (aire seco y vapor de agua). El mismo proceso sucede con el enfriamiento del aire; se retira energía y la razón de humedad permanece constante, por lo que, los procesos de calentamiento y enfriamiento de aire aparecen en la carta psicrométrica con líneas horizontales, paralelas a la abscisa a partir del punto de estado (Hadzich, 2012).

1.2.3 Enfriamiento con deshumedecimiento

Durante el enfriamiento del aire, cuando alcanza la curva de humedad relativa máxima ($0=100\%$) se obtiene el punto de rocío. El enfriamiento de ese aire moverá el punto de estado sobre la línea de saturación, con lo que se condensará una parte del vapor de agua presente en el aire. En consecuencia, la razón de humedad disminuirá (Díaz, 2009).

1.2.4 Secado y humedecido adiabático del aire

La adición de humedad de aire o su extracción sin aumentar ni disminuir la energía, hace que el punto de estado se mueva sobre una línea de entalpía constante. Si se trata de agregar humedad, el punto se desplaza hacia arriba y si se trata de retirar humedad, se desplaza hacia abajo (Díaz, 2009).

Operaciones de calentamiento, enfriamiento, secado y humedecido del aire tienen especial importancia en los trabajos de manejo, secado y almacenamiento de productos biológicos.

1.3 AIRE

Se denomina aire a la mezcla de gases que forma la atmósfera terrestre, sujetos alrededor de la tierra por la fuerza de gravedad. El aire es esencial para la vida del planeta, es particularmente delicado y está compuesto en proporciones ligeramente variables por sustancias tales como se ven en la siguiente figura 1.1:

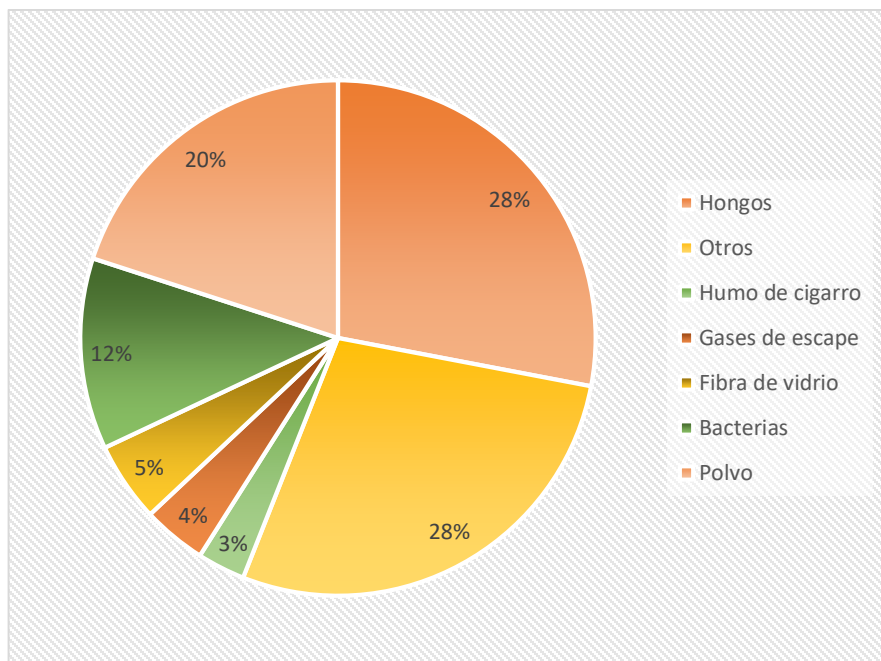


Fig. 1.1 Partículas suspendidas en el aire
Fuente: S&P, 2018

Las propiedades psicrométricas del aire en determinadas condiciones en las que se goza de un bienestar máximo son:

- La temperatura del aire.
- La humedad del aire.
- El movimiento del aire.
- La pureza del aire.

1.3.1 Aire seco

El aire seco se caracteriza como su nombre lo indica, porque carece de humedad, no contiene vapor de agua. La proporción de los gases constituyentes del aire seco es casi constante y solo varía ligeramente con el clima, la ubicación geográfica y la altitud sobre el nivel del mar (tabla 1.1).

Tabla 1.1 Composición de aire seco
Fuente: S&P, 2018

CONSTITUYENTE	MASA MOLECULAR	FRACCIÓN VOLUMÉTRICA
Oxígeno	32 000	0.2095
Nitrógeno	28 016	0.7809
Dióxido de carbono	44 010	0.0003

1.3.2 Aire húmedo

Esta caracterizado por contener cierto porcentaje de humedad que puede ser mayor a 0% pero menor al 100%, y porque obedece fielmente la ley de los gases perfectos. La ley de las presiones parciales para una mezcla de gases perfectos enuncia que “La presión de la mezcla es igual a la suma de las presiones parciales de los gases constituyentes” (Dalton, 1802).

La ecuación 1 es para el aire húmedo:

$$P = p_{N_2} + p_{O_2} + p_{CO_2} + p_{Ar} + p_v \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

P =Presión de la mezcla

p_{N_2} =Presión del nitrógeno

p_{O_2} =Presión del oxígeno

p_{CO_2} =Presión del dióxido de carbono

p_{Ar} =Presión del argón

p_v =Presión del vapor de agua

Aún cuando tiene varios constituyentes, el aire seco (Ecuación 2) puede ser considerado como un gas simple, así que la presión total del aire húmedo sería la suma de las presiones parciales del aire seco y del vapor de agua.

$$P = p_a + p_v \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

p_a =Presión de aire seco

p_v =Presión de vapor de agua

1.3.2.1 Propiedades termodinámicas del aire húmedo

Diversas propiedades termodinámicas fundamentales están ligadas a las propiedades del aire húmedo. Hay propiedades independientes para establecer el estado termodinámico del aire húmedo, además de la presión atmosférica (Howell, 1990).

Las propiedades que se relacionan con la temperatura son tres:

- a. Temperatura de bulbo húmedo
- b. Temperatura termodinámica de bulbo húmedo
- c. Temperatura de punto de rocío

La cantidad de vapor de agua que caracterizan a algunas de las propiedades termodinámicas presente en el aire húmedo:

- a. Presión de vapor
- b. Razón de humedad
- c. Humedad relativa
- d. Grado de saturación

Las propiedades relacionadas respectivamente con el volumen ocupado por el aire y con la energía son:

- a. El volumen específicamente
- b. La entalpía

1.3.3 Aire saturado

Es el aire cargado de la máxima cantidad de vapor de agua que puede retener a una presión y temperatura constante (fig. 1.2).

El aire saturado tiene humedad relativa del 100%. Es un punto cualquiera localizado debajo de la línea de saturación (100% HR) y sus propiedades obedecen las leyes psicrométricas.

1.3.4 Aire sobresaturado

Es el aire que va sobrecargado de agua. Es un punto cualquiera por encima de la línea de saturación (fig. 1.2).

El cuerpo humano está constituido para resistir constantemente a la presión atmosférica. Es capaz de adaptarse a pequeñas variaciones si es que éstas se efectúan gradualmente (Carrier, 1990).

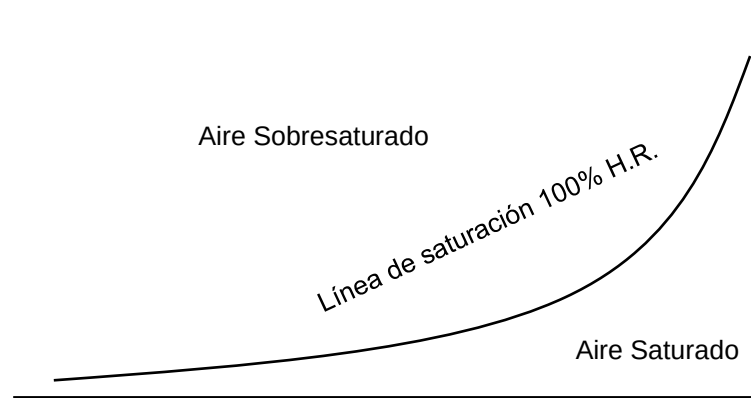


Fig. 1.2 Relación de aire sobresaturado y saturado
Fuente: Elaboración propia

La mezcla de aire está compuesta por diferentes elementos y en proporciones diferentes, divididos en:

- Gases (Nitrógeno, Oxígeno, Argón, Bióxido de carbono)
- Agua
- Impureza (polvo, cenizas, CO₂, minerales, vegetales, animales, microorganismos)

Las partículas de polvo que se encuentran en el aire son diminutas partes de materia sólida que flotan mantenidas por el movimiento del aire. Dichas partículas de polvo conducen gran cantidad de bacterias y es por lo que la extracción de polvo es una función específica del acondicionamiento (Carrier, 1990).

También existen parámetros a considerar en el aire, estos son:

- Temperatura
- Volumen específico
- Entalpía
- Entropía

1.4 ENTROPÍA

La “desigualdad de Clausius” es una relación que dice que “Si el sistema evoluciona variando su temperatura en varios pasos, a base de ponerse en contacto con distintos ambientes a diferentes temperaturas, intercambiará calor con cada uno de ellos”. (Clausius, 1865, p.8) Esta desigualdad viene dada por la ecuación 3:

$$\frac{dQ}{T} = 0 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Imponiendo que usemos un camino cualquiera, esta diferencial es una diferencial exacta y diremos que representa a una función de estado S que puede representarse por dS . Esta cantidad recibe el nombre de “entalpía del sistema” (LeMay, 2004) y su ecuación está expresada en la ecuación 4:

$$\frac{dQ}{T} = dS \quad (\text{Ecuación 4})$$

La cual establece que, la variación de entropía de un sistema entre dos estados de equilibrio cualesquiera se obtiene llevando el sistema a lo largo de cualquier camino reversible que una a dichos estados, dividiendo el calor que se entrega al sistema en cada punto del camino por la temperatura del sistema y sumando los coeficientes así obtenidos.

1.5 ENTALPÍA

Es una magnitud que mide el calor absorbido por un sistema durante un proceso a presión constante. Lo que en realidad medimos es el cambio de entalpía (ΔH), que se define como la diferencia entre la entalpía de los productos y la entalpía de los reactivos (LeMay, 2004) esa diferencia se expresa en la ecuación 5:

$$\Delta H = H_{\text{productos}} - H_{\text{reactivos}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Hay dos métodos para calcular el cambio de entalpía de una reacción:

- **Directo:** se utiliza para calcular la entalpía de una reacción como en la ecuación 6:



Se puede calcular si se conocen los valores de entalpía estándar de formación de todos los reactivos y de todos los productos, utilizando la ecuación 7:

$$\Delta H_r = [c\Delta H_f(C) + d\Delta H_f(D)] - [a\Delta H_f(A) + b\Delta H_f(B)] \quad (\text{Ecuación 7})$$

- **Indirecto o ley de Hess:** se utiliza cuando los compuestos no se pueden sintetizar directamente a partir de sus elementos. La ley de Hess dice que: “cuando los reactivos se convierten en productos, el cambio de entalpía es el mismo independientemente de que la reacción se realice en un paso o en una serie de pasos” (Hess, 1840).

1.6 PRESIÓN

Se define como la fuerza ejercida sobre un área determinada o sobre la unidad de superficie de un cuerpo. Dentro del acondicionamiento, la presión (ecuación 8) se expresa en kilogramo por centímetro cuadrado en el sistema internacional, o en libras por pulgada cuadrada en el sistema inglés (Betucci, 2014).

$$P = \frac{F}{A} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Siendo:

P = Presión

F = Fuerza

A = Área

El científico Blaise Pascal describió dos importantes principios acerca de la presión; el primero dice que “La presión actúa uniformemente en todas direcciones sobre un pequeño volumen de fluido.” (Pascal, 1654). El segundo menciona: “En un fluido confinado entre fronteras sólidas, la presión actúa perpendicularmente a la frontera.” (Pascal, 1660)

La presión se expresa normalmente por la altura de una columna de líquido, agua o mercurio. El grueso o superficie de la base de la columna no afecta a la altura de esta cuando nos referimos a presión, que es la fuerza ejercida por unidad de superficie (Betucci, 2014).

Podemos encontrar diversos tipos de presiones dependiendo desde el punto de vista donde se mida:

- **Presión absoluta (P_{Abs}):** Se mide desde el cero absoluto. Equivale a la presión atmosférica más la presión manométrica (Betucci, 2014) en la ecuación 9 viene desarrollada como:

$$P_{Abs} = P_{Man} + P_{atm} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

P_{Abs} = Presión absoluta

P_{man} = Presión manométrica

P_{atm} = Presión atmosférica

- **Presión manométrica o relativa (P_{Man}):** Es la presión que se mide a partir de la presión atmosférica como cero. También es la presión que registra un dispositivo

de medición normal. Dicho dispositivo mide la presión en exceso de la atmosférica (Betucci, 2014).

- **Presión atmosférica (P_{Atm}):** La atmósfera compuesta de gases como oxígeno y nitrógeno se extiende sobre la tierra, muchos kilómetros sobre la superficie. El peso de esta atmósfera crea la presión atmosférica. En un punto dado, la presión atmosférica es relativamente constante exceptuando pequeños cambios debidos a diferentes condiciones. La presión de un cierto número de atmósferas indica simplemente el número de veces por el que se multiplica la presión atmosférica absoluta (Betucci, 2014).

1.7 PSICROMETRÍA

Estudia las propiedades termodinámicas de mezclas de aire con vapor de agua. Resulta útil en el diseño y análisis de sistemas de almacenamiento y procesado de alimentos, diseño de equipos de refrigeración, estudio del secado de alimentos, estudios de aire acondicionado y climatización, torres de enfriamiento, y todos los procesos industriales que exijan un fuerte control del contenido de vapor de agua en el aire (Bedoya, 2004).

1.7.1 Diagrama de Carrier

Este concepto tiene diferentes características:

- Representa la temperatura (en grados centígrados) en el eje de las abscisas y la razón de mezcla o humedad (en kilogramos de agua por kilogramo de aire seco) en el eje de las ordenadas.
- La curva de saturación asciende hacia la derecha y representa el final del diagrama. Aquí se localizan las temperaturas de bulbo húmedo y las temperaturas de rocío.
- Las curvas de humedad relativa constante son similares a la de saturación, avanzando hacia abajo según disminuye la humedad del aire.
- En el caso de la entalpía se obtiene únicamente el valor de la entalpía húmeda en la saturación, siendo entonces necesario incluir otras curvas que dan la desviación correspondiente (fig. 1.3).

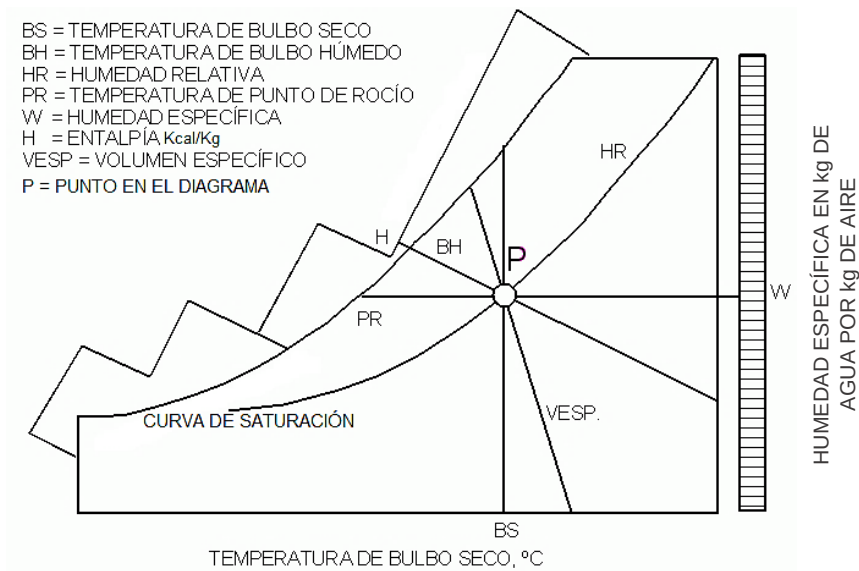


Fig.1.3 Diagrama de Carrier
 Fuente: Carrier, 1976

1.7.2 Carta psicrométrica

Es una gráfica de las propiedades del aire tales como temperatura, volumen, presión, etc. Las cartas psicrométricas se utilizan para determinar, cómo varían estas propiedades al cambiar el contenido de calor y humedad del aire; por lo tanto, la carta psicrométrica puede basarse en datos obtenidos a la presión atmosférica normal al nivel del mar, o puede estar basada en presiones menores que la atmosférica, o sea, para sitios a mayores alturas sobre el nivel del mar (Czajkowski, 1994).

Aunque existen las tablas psicrométricas, el uso de la carta psicrométrica pueden ahorrarnos mucho tiempo y cálculos, en la mayoría de los casos donde no se requiere una extremada precisión.

Existen muchos tipos de cartas psicrométricas, cada una con sus propias ventajas. Algunas se hacen para el rango de bajas temperaturas, algunas para el rango de media temperatura y otras para el rango de alta temperatura.

A algunas de las cartas psicrométricas se les amplía la longitud y se recorta su altura; mientras que otras son más altas que anchas y otras tienen forma de triángulo. Pero todas tienen la misma función; deberá seleccionarse para el rango de temperaturas y el tipo de aplicación (fig. 1.4).

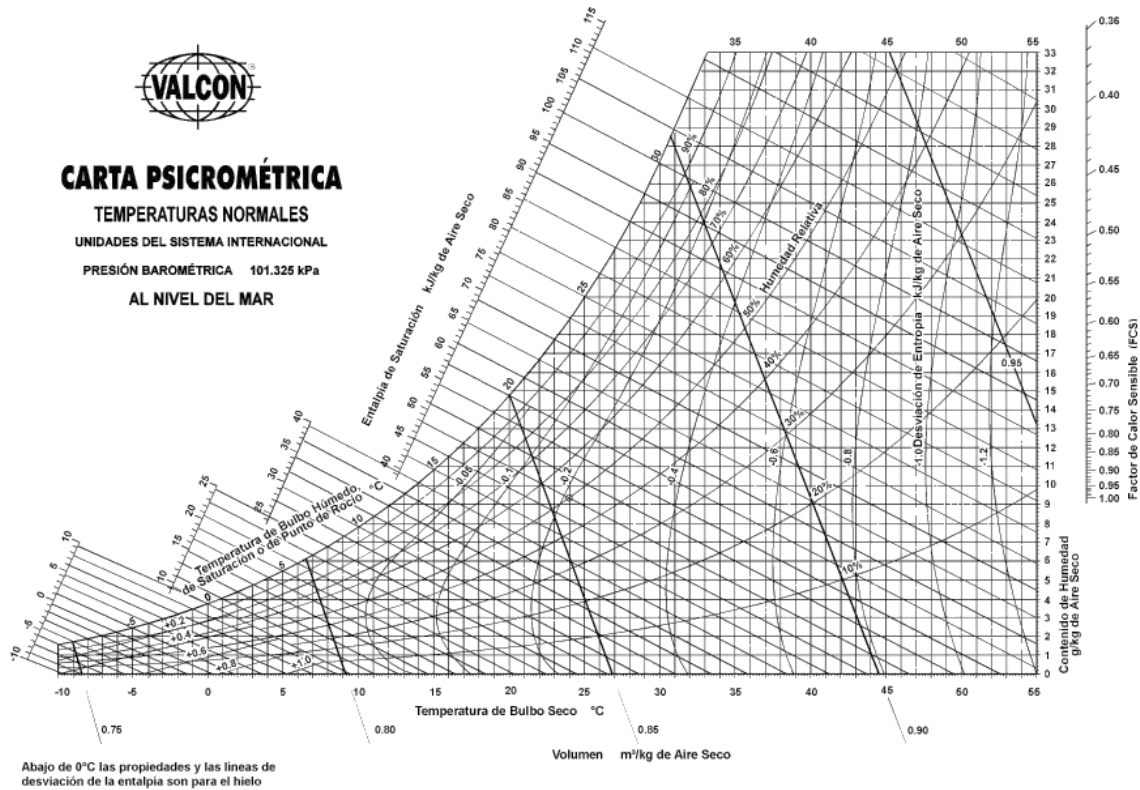


Fig. 1.4 Carta psicrométrica
Fuente: VALCON, 1990

1.7.3 Leyes psicrométricas

1. Cuando el aire seco se satura adiabáticamente, la temperatura se reduce y la humedad relativa se incrementa, y la reducción de calor sensible es igual al incremento simultáneo de calor latente.
2. Cuando el contenido de humedad del aire se incrementa adiabáticamente, la temperatura se reduce simultáneamente, la temperatura se reduce simultáneamente hasta que la presión de vapor corresponde a la temperatura de saturación. Ésta se llama “temperatura de saturación adiabática”.
3. Cuando cierta cantidad de aire aislada se evapora, se supone que la temperatura se reduce simultáneamente hasta que la presión será la adiabática de saturación y no está afectada por convección, por lo que la temperatura de bulbo húmedo será la adiabática de saturación.
4. La temperatura de bulbo húmedo del aire depende sólo del calor total sensible y latente y es independiente de sus proporciones relativas. En otras palabras, la temperatura de bulbo húmedo es constante ya que el calor total también lo es.

1.8 CALOR

Es una forma de energía que se transfiere dependiendo de una diferencia de temperatura. Esta energía existe en todos los cuerpos, en cualquier parte, en mayor o menor grado.

No puede ser creada ni destruida como cualquier forma de energía, aunque otra forma de energía puede transformarse en calor y viceversa. Cuanto más se calienta un material cualquiera, más rápido será el movimiento de las moléculas de las que toda sustancia o material está compuesta.

La capacidad del agua de encajar los impactos de calor sin casi inmutarse incrementando poco su temperatura se representa mediante una magnitud llamada calor específico (C_e): calor que necesita 1g de sustancia para aumentar 1 grado su temperatura (Koshkin, 1975).

1.8.1 Calor sensible

Calor que se puede sentir o medir con algún instrumento. Es el calor que causa un cambio en la temperatura de la sustancia, pero no un cambio en el estado, por ejemplo, cuando la temperatura de un líquido o de una sustancia cualquiera se eleva, está absorbiendo calor sensible, por el contrario, cuando baja la temperatura de una sustancia, está desprendiendo calor sensible (Tippens, 1988).

Se representa por la ecuación 10:

$$Q = m \times ce \times (T^{\circ}f - T^{\circ}i) \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

Q = Es la cantidad de calor entregada o recibida por un cuerpo (Kcal)

m = Es la masa de un cuerpo (Kg)

ce = Es el calor específico de la sustancia (Kcal/Kg°C)

$T^{\circ}i$ = Es la temperatura inicial del cuerpo (°C)

$T^{\circ}f$ = Es la temperatura final del cuerpo (°C)

1.8.2 Calor latente

Cantidad de calor necesaria para cambiar el estado físico de una sustancia sin variar la temperatura, de sólido a líquido o de líquido a vapor. Para hacer posible ese cambio físico hay que añadirle una cantidad considerable de calor.

Este calor latente es almacenado en la sustancia y lo devuelve de nuevo cuando la sustancia retorna a su estado inicial cuando se enfría (Tippens, 1988).

Se representa por la ecuación 11:

$$Q = m \times C_{vl} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

C_{vl} = Calor latente de vaporización (kcal/kg)

1.8.2.1 Calor latente de fusión del agua

Bajo un cambio de estado, la mayoría de las sustancias tendrán un punto de fusión en el cual cambiarán de un sólido a un líquido sin ningún incremento en la temperatura. En este punto, si la sustancia está en estado líquido y el calor se retira de ella, la sustancia se solidifica sin un cambio en su temperatura.

El calor envuelto en uno u otro de estos sin un cambio en la temperatura se conoce como el calor latente de fusión. El calor latente de fusión del agua (0°C) es 80 kcal/kg (Tippens, 1988).

1.8.2.2 Calor latente de vaporización de agua

Para cambiar una sustancia de líquido a vapor y de vapor a líquido se requiere calor latente de evaporación.

Puesto que la ebullición es solo un proceso acelerado de evaporación, este calor también puede llamarse calor latente de ebullición, calor latente de evaporación, o para el proceso contrario, calor latente de condensación.

La absorción de calor para cambiar un líquido a vapor y la substracción de este calor para condensar nuevamente el vapor, es la clave para todo el proceso de la refrigeración mecánica y la transmisión del calor latente requerido es el instrumento básico de la refrigeración. El calor de evaporación del agua (100°C) es 539 kcal/kg (Tippens, 1988).

1.8.3 Calor total

“El contenido de calor total de una mezcla de aire y vapor de agua, conocido técnicamente como entalpía, depende de la temperatura de bulbo húmedo. Por lo tanto, la escala de calor total está emplazada junto a la del bulbo húmedo” (Hernández, 2003, p.23). Es la suma del calor latente y el calor sensible (ecuación 12).

Para el estudio y para efectos prácticos se analizará el sistema de refrigeración por compresión de vapor .

$$QT = QS + QL \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

QT = Calor total

QS = Calor sensible

QL = Calor latente

1.8.4 Caloría

Es la unidad de medida del calor y representa la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de 1Kg de agua, en 1°C a presión atmosférica normal (Oxon, 1997).

$$1\text{Kcal}=1.000 \text{ cal (frigorías)}$$

Puede referirse a un gramo del cuerpo o sustancia cuya cantidad de calor deba medirse.

1.8.5 Calor específico

Se define a la cantidad de calor necesario para elevar en 1°C la temperatura de la unidad de masa de una sustancia. Como unidad se usa el agua a presión atmosférica normal, considerándose 15°C una temperatura normal que está dentro del entorno de las aplicaciones prácticas (Tippens, 1988).

La unidad de calor específico valdrá el resultado de la ecuación 13:

$$Ce = \frac{kcal}{kg^{\circ}C} \quad (\text{Ecuación 13})$$

1.8.6 Capacidad térmica

Es una característica de cada cuerpo y representa su capacidad de recibir o ceder calor variando su energía térmica. Por lo tanto, es la relación entre la cantidad de calor (Q) que es recibida por un cuerpo y que este experimenta la variación de temperatura (Δt) (Einstein, 1907), expresada en la ecuación 14.

$$C = \frac{Q}{\Delta t} \rightarrow Q = C \times \Delta t \quad (\text{Ecuación 14})$$

1.9 TEMPERATURA

Cuanto más se concentre sobre un punto de un cuerpo una cantidad de energía calorífica dada, tanto más elevada será la temperatura de dicho punto. La temperatura está descrita como una magnitud física descriptiva que caracteriza la transferencia de energía térmica, o calor, entre un sistema y otro (Zemansky, 1985).

La temperatura se mide en grados, pero hay dos escalas:

- La escala centígrada (Latinoamérica) que tiene como punto de congelación del agua de 0° y el de ebullición es de 100° .
- La escala Fahrenheit (Europa) que tiene como punto de congelación del agua de 32° y el de ebullición de 212° .

1.9.1 Temperatura de bulbo seco

En el acondicionamiento de aire la temperatura de “bulbo seco” (T_{bs}), es tomada con el elemento sensor del termómetro en una condición seca. La temperatura de bulbo seco es la temperatura medida por termómetros ordinarios en casa. Hasta este punto, todas las temperaturas antes descritas corresponden a temperaturas de bulbo seco, excepto en donde se ha referido específicamente a temperatura de punto de rocío.

En la carta psicrométrica es la horizontal (abscisa), según se muestra en la fig. 1.5; Las líneas que se extienden verticalmente, desde la parte baja hasta la parte alta de la carta, se llaman líneas de temperatura de bulbo seco constantes, o simplemente “líneas de bulbo seco”. Son constantes porque cualquier punto a lo largo de una de las líneas corresponde a la misma temperatura de bulbo seco indicada en la escala de la parte baja (Zemansky, 1985).

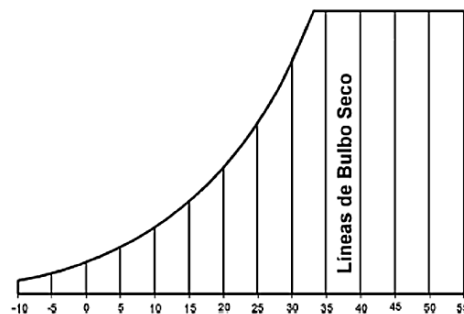


Fig. 1.5 Líneas de temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$)
Fuente: Hernández, 1973

1.9.2 Temperatura de bulbo húmedo

Es la temperatura medida por un termómetro cuyo bulbo se encuentra encerrado en una mecha o saco de tela húmeda y se conoce como de “bulbo húmedo” (T_{bh}).

Si el aire estuviese saturado con humedad (100% HR), la lectura de la temperatura en el termómetro de bulbo húmedo sería la misma que la del termómetro de bulbo seco.

Sin embargo, la humedad relativa normalmente es menor de 100% y el aire está parcialmente seco, por lo que algo de la humedad de la mecha se evapora hacia el aire. Esta evaporación de la humedad de la mecha provoca que la mecha y el bulbo del termómetro se enfríen, provocando una temperatura más baja que la del bulbo seco.

Mientras más seco esté el aire, más rápida será la evaporación de la humedad de la mecha. La precisión de la lectura del bulbo húmedo depende de qué tan rápido pase el aire sobre el bulbo (Zemansky, 1985).

También la temperatura de bulbo húmedo varía de acuerdo con la temperatura de la habitación; así que, es afectada tanto por el calor sensible del aire en la habitación, como por el calor latente de la humedad del aire. Por lo tanto, la temperatura de bulbo húmedo es una indicación del calor total en el aire y la humedad (fig. 1.6).

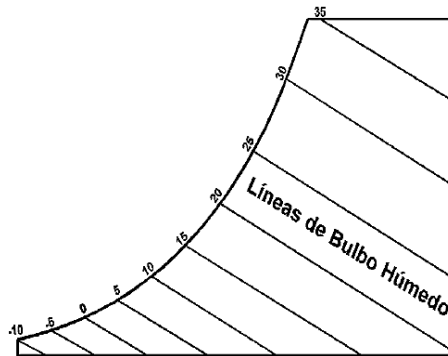


Fig. 1.6 Líneas de temperatura de bulbo húmedo
Fuente: Hernández, 1973

1.9.3 Temperatura de rocío

Es la temperatura de la cual el vapor de agua en el aire comienza a condensarse. También es el punto de 100% de humedad. La humedad relativa de una muestra de aire puede determinarse por su punto de rocío y existen varios métodos para calcularla.

La escala para las temperaturas de punto de rocío es idéntica que la escala para las temperaturas de bulbo húmedo; es decir, es la misma escala para ambas propiedades. Sin

embargo, las líneas de la temperatura de punto de rocío corren horizontalmente de izquierda a derecha (Zemansky, 1985).

Cualquier punto sobre una línea de punto de rocío constante, corresponde a la temperatura de punto de rocío sobre la escala, en la línea curva de la carta (fig. 1.7).

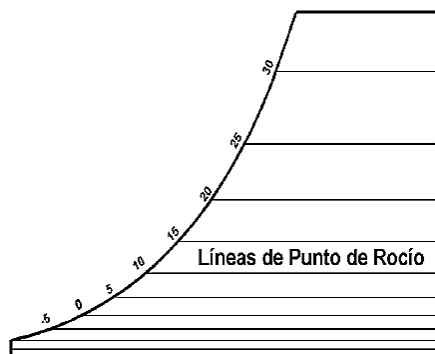


Fig.1.7 Líneas de temperatura de punto de rocío (°C)
Fuente: Hernández, 1973

1.10 HUMEDAD

Propiedad que describe el contenido de vapor de agua presente en el aire, el cual se puede expresar en términos de varias magnitudes. Algunas de ellas se pueden medir directamente y otras se pueden calcular a partir de magnitudes medidas.

La selección de una magnitud de humedad depende de la aplicación, por ejemplo, en meteorología la humedad se expresa con la temperatura de bulbo húmedo, en cambio, en los cuartos limpios se usa la humedad relativa (Zemansky, 1985). Y se dividen en lo siguiente:

1.10.1 Humedad relativa (ϕ)

Es la proporción de vapor de agua real en el aire comparada con la cantidad de vapor de agua necesaria para la saturación a la temperatura correspondiente (ecuación 15). La humedad relativa indica que tan próximo está el aire a la saturación, es decir, la cantidad real de vapor de agua en el aire. Se mide en porcentaje entre 0 y 100, donde 0% significa aire seco, y 100% aire saturado de humedad (Zemansky, 1985).

$$\phi = \left[\frac{x_v}{x_s} \right]_{t,P} \quad (\text{Ecuación 15})$$

En una carta psicrométrica las líneas de humedad relativa constante son las líneas curvas que se extienden hacia arriba y hacia la derecha. Se expresan en porciento, y este valor se indica sobre cada línea (fig. 1.8).

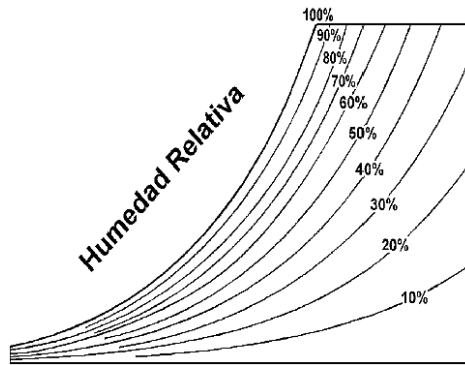


Fig.1.8 Líneas de humedad relativa (%)

Fuente: Hernández, 1973

1.10.2 Humedad absoluta (h_{abs})

Es la cantidad de masa de vapor de agua contenida en una unidad de volumen de aire, se mide en gr/m^3 . Por lo tanto, la humedad absoluta constituye la densidad del vapor de agua existente en el aire. Valores máximos de h_{abs} son del orden de 40 gr/m^3 (Zemansky, 1985).

1.10.3 Humedad específica (w)

Es la cantidad de gramos de vapor de agua contenidos en un kilogramo de aire húmedo; en una mezcla de aire seco y vapor de agua. Se mide en gr/kg . Valores máximos de w (ecuación 16) son del orden de 40 gr/kg . Los valores de esta propiedad se expresan en gramos de humedad por kilogramo de aire seco (g/kg). Las líneas de humedad específica corren horizontalmente de derecha a izquierda, y son paralelas a las líneas de punto de rocío y coinciden con éstas (Zemansky, 1985). Así pues, podemos ver que la cantidad de humedad en el aire depende del punto de rocío del aire (fig. 1.9).

$$W = \frac{m_v}{m_a} \quad (\text{Ecuación 16})$$

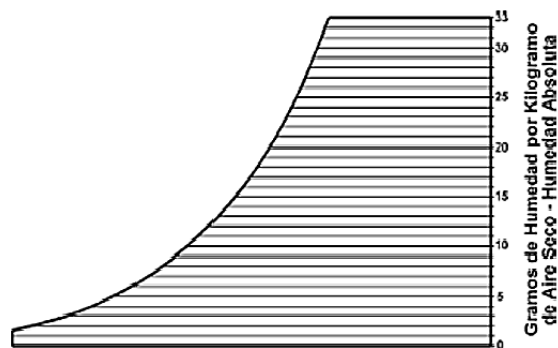


Fig. 1.9 Líneas de humedad absoluta (gr/kg)

Fuente: Hernández, 1973

1.11 HUMIDIFICACIÓN

Operación que consiste en aumentar la cantidad de vapor presente en una corriente gaseosa; el vapor puede aumentar pasando el gas a través de un líquido que se evapora en el gas (Zemansky, 1985). A grandes rasgos, el proceso que tiene lugar en la operación de humidificación es el siguiente:

1. Una corriente de agua caliente se pone en contacto con una de aire seco, normalmente aire atmosférico.
2. Parte del agua se evapora, enfriándose así la interfase.
3. El seno del líquido cede entonces calor a la interfase, y por lo tanto se enfría.
4. A su vez, el agua evaporada en la interfase se transfiere al aire, por lo que se humidifica.

1.12 DESHUMIDIFICACIÓN

Operación que consiste en reducir la cantidad de vapor presente en una corriente de aire gaseosa, mediante una condensación parcial del vapor, que se separa (Zemansky, 1985).

1.13 VOLUMEN ESPECÍFICO (v)

Volumen ocupado por la unidad de masa de una sustancia en condiciones específicas de presión y temperatura.

En una carta psicrométrica las líneas de volumen específico están aproximadamente en un ángulo de 60° con la horizontal y va aumentando de valor de izquierda a derecha. Por lo general, el espacio entre cada línea representa un cambio de volumen específico de 0.05 m³/kg. Se expresa en unidades de volumen sobre unidades de masa (fig. 1.10).

Si se desea saber la densidad del aire a cualquier condición, se debe dividir uno entre el volumen específico (ecuación 17), puesto que la densidad es la inversa del volumen específico y viceversa (Zemansky, 1985).

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Donde:

V = Volumen, m = Masa, ρ = densidad del material

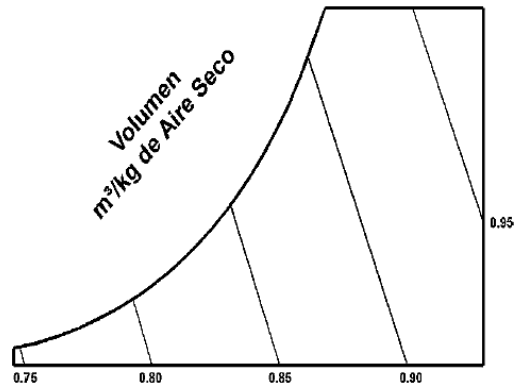


Fig. 1.10 Líneas de volumen específico (m^3/kg de aire seco)
Fuente: Hernández, 1973

CAPITULO 2: SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO

Determinar las zonas individuales que van a ser acondicionadas y la ubicación del equipo son parte del diseño de un sistema de aire acondicionado que por lo general se encuentra fuera del área a acondicionar.

Se denomina “zona” al espacio acondicionado que se controla por un termostato propio. El termostato es un instrumento de control que mide la temperatura del lugar y que envía una señal correctiva si la temperatura está fuera del radio deseado. Debe estar ubicado en un lugar donde la temperatura se acerque lo más posible a la temperatura promedio del espacio y que se encuentre libre de perturbaciones (Rivera, 2011).

Aquellos lugares donde las temperaturas uniformes existen son los espacios con grandes áreas cubiertas y con pequeñas transferencias de calor externo.

Realizando ajustes a flujos locales de aire o cambiando la temperatura, se pueden reducir las variaciones de temperatura de una zona. Lugares en donde los requerimientos de limpieza, control de temperatura, humedad y distribución de aire, por lo general son aislados y considerados como zonas independientes con sistemas autónomos dotados con controles de precisión.

En lugares como las salas de operación, que requiere medidas asépticas estrictas, se instalan sistemas que solo utilizan aire, proporcionando una adecuada dilución del aire en el espacio controlado.

Edificios en donde los enfriadores y las calderas suministran agua helada o caliente son acondicionados con estaciones o plantas centrales, ya que es probable que no todas las instalaciones de estos edificios estén en uso al mismo tiempo, por lo que la capacidad del equipo de planta central será mucho menor a la suma de los máximos requerimientos de todas las áreas. A esta razón de las máximas demandas de las partes individuales de la instalación se le conoce como “factor de diversidad” (INIFED, 2015).

La distancia a la que debe transportarse la energía es también otro factor para considerar, ya que a medida que la distancia aumenta el costo, en comparación con los enfriadores y calderas, tiende a volverse más significativo.

Evaluada las necesidades y definidas las zonas a acondicionar, calculando las cargas y determinado el sistema a utilizar se iniciará la selección e instalación de los componentes del sistema. Se debe garantizar que el equipo sea el adecuado para las necesidades específicas, que tenga un tamaño adecuado y de fácil acceso para su mantenimiento y ser intuitivo en su control.

Los equipos de aire acondicionado deben cumplir con seis funciones principales:

Invierno:	Verano:	Todo el año:
Calefacción	Refrigeración	Filtraje de aire
Humidificación	Deshumidificación	Ventilación adecuada

En la parte de diseño, las redes de ductos y tubos constituyen una parte importante. Los demás componentes del sistema de aire acondicionado se clasifican en cinco grupos:

- Fuentes de calor
- Bombas y tuberías
- Dispositivos de refrigeración o enfriamiento
- Controles e instrumentación
- Manipuladores o administradores de aire y ventiladores

Deben estar diseñados para ser utilizados en cualquier tipo de clima (tabla 2.1):

Tabla 2.1 Acondicionamiento en diferentes climas
Fuente: Carrier, 1990

Acondicionamiento en verano	Acondicionamiento en invierno	Acondicionamiento para todo el año
• El aire debe ser enfriado • El aire debe ser deshumidificado • El aire debe ser circulado	• El aire debe ser calentado • El aire debe ser humidificado • El aire debe ser circulado	• El aire debe ser enfriado y deshumidificado en verano • El aire debe ser humidificado y calentado en invierno • El aire debe ser circulado

2.1 SISTEMA QUE UTILIZA SOLO AIRE

Este sistema es capaz, por medio del suministro de aire al espacio acondicionado, proporcionar calefacción y humidificación sensible, así como enfriamiento sensible y latente. Puede utilizarse agua, o algún líquido en la tubería que conecte a calefactores y enfriadores con el administrador de aire. Para propósitos de confort o para espacios de trabajo, el sistema es adaptable a todo tipo de sistemas de aire acondicionado. Se utiliza en lugares que requieren de controles individuales de las condiciones ambientales y que tiene una multiplicidad de zonas. Tienen algunas aplicaciones especiales donde se requiere un estrecho control de temperatura y humedad.

Por medio de un sistema separado o por medio de rodapiés radiantes, agua caliente, vapor o resistencias eléctricas se puede suministrar calefacción por el mismo sistema de ductos que se utiliza para enfriamiento (Martín, 2017).

2.2 SISTEMA DE UNA SOLA ZONA

Es la unidad de suministro de aire que sirve a una sola zona, es uno de los sistemas que solo utilizan aire, uno de los más simples (Martín, 2017). Puede operar con o sin sistema de ductos e instalarse dentro de la propia zona o en un lugar aparte.

Responde solo a algunas condiciones, por lo tanto, su aplicación es limitada a lugares donde se pueden mantener temperaturas uniformes razonablemente en todos los puntos (fig. 2.1).

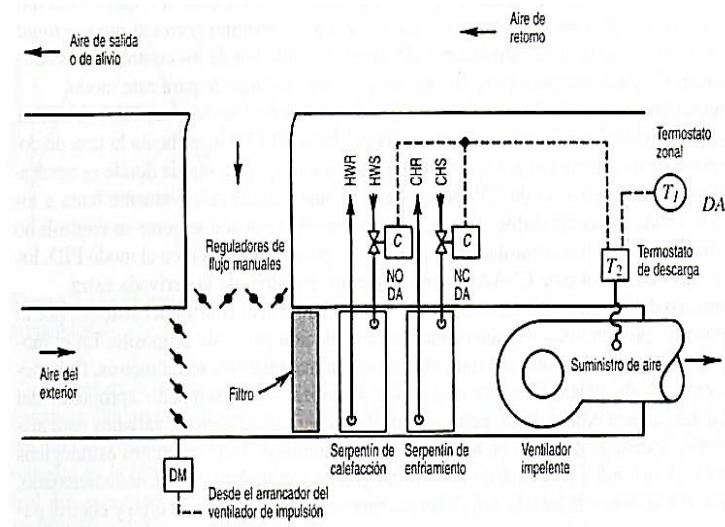


Fig. 2.1 Sistema de una sola zona
Fuente: Araujo, 2017

Como se muestra en la ilustración anterior, se observa el esquema de un administrador de aire, con sistemas de flujo y controles, para un sistema totalmente de volumen de aire constante.

El termostato de este sistema particularmente mantiene la temperatura controlando la temperatura del aire suministrado. El termostato de descarga recibe una señal del termostato de la zona y abre o cierra la válvula apropiada en el serpentín de calefacción o de enfriamiento para mantener la temperatura adecuada en el espacio.

Los reguladores de flujo del exterior tienen un motor que mueve las ventilas desde la posición “cerrado” y que es cuando el ventilador está apagado, hasta la posición de apertura (Martín, 2017). En este caso, en el momento en que el aire suministrado por el ventilador es constante, la cantidad de aire introducido desde el exterior está determinada por el ajuste de los reguladores de flujo.

CAPITULO 3: SELECCIÓN DEL EQUIPO

La instalación de aire acondicionado debe someterse por entero a las características del edificio, tratando de no influir, siempre que ello sea posible, al resto que lo constituye. Una buena instalación de aire acondicionado debería cumplir la condición de pasar desapercibida. En otras palabras, se construyen los edificios y entre otros servicios, se les dota de aire acondicionado.

Un sistema de control ambiental que comprende el enfriamiento y deshumidificación necesita un medio para eliminar el calor de los recintos acondicionados, como el calor solo fluye de la temperatura mayor a la temperatura menor, se debe tener disponible un fluido con una menor temperatura que la del diseño del edificio.

El diseño y funcionamiento de los sistemas de refrigeración giran alrededor de este fluido refrigerante, al cual mediante una serie de dispositivos se le hace realizar un trabajo fundamental y absorber calor en un lugar.

Para seleccionar el equipo adecuado se deberá satisfacer a la carga instantánea máxima y ser capaz también de trabajar en condiciones de carga potencial. Para cumplir con la función de una instalación de aire acondicionado, los fabricantes ofrecen diversos equipos, que son utilizados en forma coordinada y cumplen con los requisitos de una instalación.

3.1 EVAPORADORES

Es el que proporciona la superficie de calefacción necesaria para que el refrigerante se evapore y absorba el calor (Dossat, 2001).

Se clasifican por:

- Tipo de construcción
- Condiciones de operación
- Método de circulación
- Tipo de control

Y tienen dos grandes ramas en las cuales se divide. Que son:

- **Inundados:** Siempre está lleno de refrigerante. El nivel se mantiene con una válvula de flotador o con algún otro tipo de control.

El vapor acumulado por la ebullición se extrae de la parte superior por el compresor. Una ventaja que tiene es que la superficie interior siempre esta mojada por líquido, eso genera un alto coeficiente de transmisión de calor. Su desventaja es que son muy voluminosos.

- **De expansión seca:** El líquido se alimenta a través de una válvula de expansión que provee de refrigerante de tal modo que se vaya evaporando conforme va entrando hasta que salga del evaporador.

Dependiendo de la rapidez de evaporación el gasto del refrigerante aumenta o disminuye según la carga. La capacidad de un evaporador o de un enfriador, es la cantidad de calor que este absorbe para evaporar el líquido refrigerante, y se expresa en TR . El calor se absorbe mediante tres métodos de transferencia en el evaporador: Convección que es como se transmite la mayor parte de calor; Radiación es la principal transferencia de calor en radiaciones directas y la conducción que se da cuando el producto está en contacto con la superficie exterior del evaporador.

3.2 CONDENSADORES

Se encarga de proveer la superficie de calefacción necesaria para condensar el refrigerante que sale del compresor (Dossat, 2001). Pueden ser:

- **Enfriados por aire:** Tipo Natural y tipo forzado (el aire entra a través de un mecanismo).
- **Enfriados por agua:** Sistema abierto (el agua no recircula en el sistema y se desecha) y sistema cerrado (el agua es enfriada para su reutilización).
- **Evaporativos:** El agua fría se recircula en el propio condensador, absorbe el calor de condensación y a su vez se enfría por el aire que se satura con la misma agua.

3.3 VENTILADORES

Es una turbo maquinaria que se caracteriza porque el fluido impulsado es un gas al que se transfiere una potencia con un determinado rendimiento (Carrier, 1980). Se dividen en:

- **Ventilador de baja presión:** hasta una presión del orden 200 mmca
- **Ventilador de media presión (soplantes):** entre 200 y 800 mmca

- **Ventilador de alta presión (turbosoplantes):** entre 800 y 2500 mmca
- **Ventilador de muy alta presión (turbocompresores):** mayor a 2500mmca

Y por la trayectoria del fluido se dividen en:

- De flujo radial (centrífugos)
- De flujo semiaxial (hélico-centrífugos)
- De flujo axial

3.3.1 Ventiladores radiales (centrífugos)

En este tipo de ventiladores, la trayectoria del fluido sigue la dirección del eje del rodete a la entrada y está perpendicular al mismo cuando sale.

Este tipo de ventiladores tiene tres tipos de rodetes:

1. **Álabes curvados hacia adelante (jaula de ardilla):** se caracterizan por tener una hélice con los álabes curvados en el mismo sentido que la dirección de giro. Se utilizan principalmente cuando la presión estática necesaria es de baja a media. No es recomendable instalar este tipo de ventiladores donde hay presencia de aire polvoriento ya que las partículas se adhieren a los álabes y pueden desequilibrar el rodete.

Las ventajas que presentan es que necesitan poco espacio, baja velocidad periférica y son silenciosos. Su desventaja es que se debe tener cuidado en el cálculo de la presión necesaria al momento de su instalación. Son muy inestables considerando su característica caudal-presión.

2. **Álabes rectos:** Los ventiladores radiales o rectos tienen el rodete con los álabes dispuestos en forma radial. A la entrada y a la salida su carcasa está diseñada para alcanzar velocidades de transporte de material. El diseño radial evita la acumulación de materiales sobre estos. Son utilizados en muchos sistemas de extracción de aire limpio o sucio.

3. **Álabes inclinados hacia atrás:** Este tipo de ventiladores cuentan con un rodete con los álabes inclinados en sentido contrario al que rota. Tiene una mayor velocidad periférica, tienen mayor rendimiento con un nivel sonoro bajo y con una eficiencia tipo “no sobre cargable”, que se refiere a que el consumo de energía se produce en un punto próximo al de rendimiento óptimo de forma que cualquier cambio debido a variaciones de resistencia tendrá como consecuencia un consumo

de energía menor. Debido a que la forma de los álabes tiende a la acumulación de materiales sobre ellos, debe limitarse su uso como se indica a continuación (fig. 3.1):

- Álabes de espesor uniforme: permiten el trabajo con aire ligeramente sucio o húmedo.
- Álabes de ala portante: permiten mayor rendimiento y operación silenciosa.

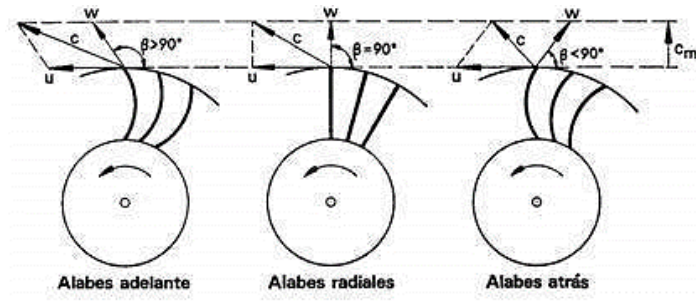


Fig. 3.1 Triángulo de velocidades para los diferentes rodets centrífugos
Fuente: Carrier, 1980

3.3.2 Ventiladores axiales

Se dividen en tres tipos básicos:

- 1. Ventiladores helicoidales:** Son los más comunes en ventilación general. Su característica principal es que debido a la resistencia al flujo del aire y un pequeño incremento de la presión provoca una reducción importante del caudal. Se construyen con dos tipos de álabes: álabes de discos y álabes estrechas, que deben soportar resistencias bajas (<25 mmca)
- 2. Ventiladores tubulares:** Por lo general no dispone de ningún mecanismo para enderezar el flujo de aire. Estos ventiladores cuentan con una hélice de álabes estrechos con un perfil aerodinámico montada en una carcasa cilíndrica. Pueden mover aire soportando resistencias moderadas (<50 mmca).
- 3. Ventiladores tubulares con directrices:** En comparación con los anteriores, tiene un rendimiento superior. Tiene una hélice con álabes con perfil aerodinámico montado en una carcasa cilíndrica que normalmente cuenta con aletas que enderezan el flujo de aire del lado de impulsión. Pueden soportar presiones superiores (<200 mmca).

A la entrada del rodete o tras su paso por el mismo las directrices tienen la misión de hacer la rotación existente o adquirida por el fluido en la instalación. Estas directrices se pueden

colocar a la salida o entrada del rodete. (fig. 3.2) Deben calcularse cuidadosamente, ya que, aunque mejoran las características del flujo del aire trabajando en mejores condiciones, produce una pérdida de presión adicional que condicionaría el resto de la instalación. Provocando cambios contraproducentes en el caudal del diseño.

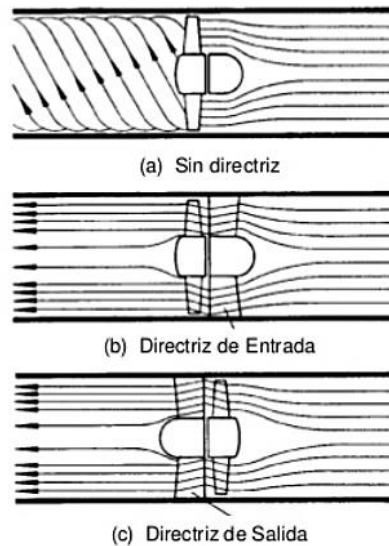


Fig. 3.2 Efecto de las directrices sobre líneas de corriente
Fuente: Carrier, 1980

3.4 COMPRESOR

En el ciclo de refrigeración, el compresor tiene dos funciones:

1. Succiona el vapor refrigerante y reduce la presión en el evaporador a un punto en el que puede ser mantenida la temperatura de evaporación deseada.
2. Eleva la presión del vapor refrigerante a un nivel alto, de modo que la temperatura de saturación sea superior a la temperatura del medio enfriante disponible para la condensación del vapor refrigerante

Hay tres tipos de compresores básicos:

- Centrífugos
- Reciprocantes
- Rotativos

3.4.1 Compresores reciprocantes

Diseñados con un pistón accionado por un cigüeñal que realiza carreras alternas de succión y compresión en un cilindro provisto con válvulas de succión y descarga.

Resulta apropiado para volúmenes de desplazamiento reducido el compresor reciprocante ya que es una bomba de desplazamiento positivo, a presiones de condensación elevada y en altas relaciones de compresión es muy eficaz.

Algunas de las ventajas que presenta es que son durables, tienen un diseño sencillo, son adaptables a diferentes refrigerantes, y lo más importante es, que permiten el desplazamiento de líquido a través de tuberías dada la alta presión que se crea que se crea por el compresor (Widman, 2006).

3.4.2 Compresores de tipo abierto

Este tipo de compresores fueron los primeros modelos de compresores de refrigeración. Cuenta con pistones y cilindros sellados en el interior de un cigüeñal y un cárter extendiéndose por todo el cuerpo hacia afuera accionándose por una fuerza externa. Lo que evita la pérdida del refrigerante y aceite del compresor es un sello en torno del cigüeñal.

Su uso va en decadencia debido a que ha sido reemplazado por el motocompresor de tipo semihermético y hermético, pero aun es utilizado en aplicaciones especializadas como el acondicionamiento de aire para automóviles (Widman, 2006).

Las desventajas que presentan son el excesivo nivel de ruido, tienen un mayor tamaño y por consiguiente un peso mayor, la calidad de vida de las bandas o componentes de acción directa es corta, alineación de cigüeñal difícil y es vulnerable a fallas en los sellos.

3.4.3 Motocompresor semihermético

Este tipo de compresor es accionado por un motor eléctrico que se encuentra directamente en el cigüeñal del compresor, con todas sus partes (tanto del motor como de compresor), selladas herméticamente en el interior de una cubierta común.

Pueden calcularse los motores para la carga que han de accionar ya que se eliminan los trastornos del sello, y el diseño resultante será compacto, eficiente, económico y sin necesidad de mantenimiento básicamente (Widman, 2006). Las placas del fondo, las cabezas cubiertas del estator y las cubiertas del cárter son desmontables para reparaciones sencillas dado el caso que se necesite en el compresor.

3.4.4 Motocompresor hermético

Utilizado en equipo unitario de baja potencia, fue desarrollado en un esfuerzo para lograr disminuir el tamaño y el costo.

Al igual que en el caso del motocompresor semihermético, el motor se encuentra montado en el cigüeñal del compresor, pero el cuerpo es una carcasa metálica sellada con soldadura. No pueden hacerse reparaciones interiores en este tipo de compresores debido a que la única manera de abrirlos es cortar la carcasa del compresor (Widman, 2006).

3.4.5 Funcionamiento básico

El funcionamiento empieza cuando el pistón se mueve hacia abajo en la carrera de succión lo que reduce la presión en el cilindro; y cuando la presión del cilindro es menor que el de la línea de succión del compresor, la diferencia de la presión motiva la apertura de las válvulas de succión y fuerza al vapor refrigerante a que fluya al interior del cilindro.

Cuando el pistón alcanza el fin de su carrera de succión se crea una presión en el cilindro forzando el cierre de las válvulas de succión e inicia la subida o también llamada “carrera de compresión”. A medida que el cilindro se desplaza hacia arriba, la presión en el cilindro continúa elevándose, por lo que se comprime el vapor atrapado en el cilindro. Una vez que la presión en el cilindro es mayor a la presión existente en la línea de descarga del compresor, se abren las válvulas de descarga y fluye el aire comprimido hacia la tubería de descarga y al condensador.

La reducción de la presión inicia cuando el pistón encamina su carrera hacia abajo y permite que se cierren las válvulas de descarga dada la elevada presión del condensador y del conducto de descarga, y el ciclo de repite.

Se produce una carrera de succión y otra de compresión de cada pistón durante cada revolución del cigüeñal, de modo que en los motocompresores de 1750 rpm tienen lugar a 1750 ciclos completos de succión y compresión en cada cilindro durante cada minuto (Linares, 2000). En los compresores de 3500 rpm se tiene 3500 ciclos completos en cada minuto.

3.5 BOCAS DE SALIDA EN TECHO

3.5.1 Difusor

En la ventilación mecánica, los difusores son los lugares por los que finalmente el aire se desplazará tras haber sido impulsado. El concepto de los difusores se realiza más en relación con las rejillas de ventilación y a las bocas de extracción; ya que son los paneles que se

colocan en el extremo final de la entrada de aire en el primer caso y de la impulsión o extracción en el segundo.

Su función como sistema es debido a que son capaces de regular el caudal de aire y su dirección. Dependiendo del tipo de diseño que incorporen es como será su funcionamiento; pero consiste básicamente en que el aire es extraído o enviado a través de los ductos para que sea distribuido a través de rejillas de ajuste con una inclinación determinada o boquillas que varían en función del tipo de sistema (Moran, 2004).

Se encuentran diferentes tipos de difusores de aire, entre los cuales algunos muy comunes son:

3.5.1.1.1 Tipos de difusores

Se coloca en el techo, realizados en conos concéntricos que facilitan la mezcla del aire impulsado con el aire del medio ambiente (fig. 3.3).

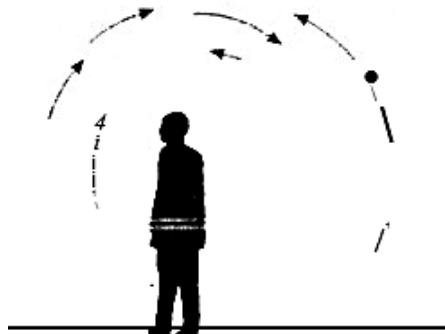


Fig. 3.3 Corrientes convectivas
Fuente: Araujo, 2017

- **Difusores de techo:** En este tipo de difusores las instalaciones dan lugar normalmente a menos quejas por corrientes de aire que los que emplean bocas de salida en paredes laterales. Por lo que, para evitar corrientes molestas de aire, se deben tener en cuenta las recomendaciones siguientes:
 - Distancia de propulsión: una distancia de propulsión excesiva puede plantear problemas en las instalaciones, lo que no ocurriría si la distancia es corta. Se deben elegir difusores de techo de alcance moderado, generalmente igual o inferior al 75% del valor indicado en tablas.
 - Pérdidas de carga: se indica en la mayoría de las tablas, la pérdida de carga a través de la rejilla únicamente, no incluyendo la presión necesaria para expulsar el aire del conducto e introducirlo a través del cuello y la rejilla en la habitación.

- Disposición del difusor: significa o bien las buenas guías giratorias o bien un cuello de por lo menos cuatro veces el diámetro del conducto. Deben estar colocadas las paletas o guías, si se emplean, y deben estar colocados perpendicularmente al flujo de aire en la parte superior del cuello y separados 5 cm entre ellos.
- Obstrucciones: cuando se encuentran obstrucciones, se tapa una pequeña parte del difusor en el punto de la obstrucción utilizando normalmente baffles de tipo enganche.
- **Difusores lineales:** Se tratan de una o más aberturas o fisuras, largas y estrechas, situada en el techo, la pared o en el suelo por la que sale el aire. Generalmente la abertura es tan larga como el techo, la pared o el pavimento en el que va instalada.
- **Paneles perforados:** El techo está formado con paneles de yeso perforado, chapa, etc. El aire es distribuido por el falso techo mediante un conducto provisto de apertura, de manera que se obtenga una distribución uniforme. El aire pasará por los agujeros de los paneles perforados y llegará a la habitación o local que se desea climatizar.

3.5.1.2 Difusor de techo

Estos difusores apresuran la inducción por suministrar el aire en varias capas. Las condiciones de instalación deben ser buenas para asegurar una distribución de aire uniforme. A menudo se fabrican con características de inducción interna y se combinan con los aparatos de alumbrado.

Para introducir el aire acondicionado en sistema de confort o industriales existen varios tipos de techos perforados.

Una característica principal de este método de tratamiento del aire es que se puede introducir mayor volumen de aire por metro cuadrado de superficie de suelo, con un mínimo desplazamiento en la zona ocupada y con menos riesgo de corrientes de aire. Debido a que la velocidad de descarga es baja, la inducción también lo es. Por lo que, se debe proveer el suficiente movimiento de aire a velocidad mayor de 0.08m/s (Moran, 2004).

3.6 REFRIGERANTE

Desde el punto de vista de la refrigeración de un líquido y la compresión de vapor, se puede definir al refrigerante como el medio para transportar calor desde donde lo absorbe por ebullición, a baja temperatura y presión, hasta donde lo rechaza al condensarse a alta temperatura y presión. Es también descrito como cualquier cuerpo o sustancia que actúe como agente de enfriamiento, absorbiendo calor de otro cuerpo o sustancia (Whitman, 2000).

El refrigerante adaptable a todas las aplicaciones y que sea “ideal”, no existe. Un refrigerante se aproximará al “ideal” solo en tanto que sus propiedades satisfagan las condiciones y necesidades de la aplicación para las que se va a utilizar (Tabla 3.1).

Tabla 3.1 Grupos de refrigerantes
Fuente: Whitman, 2000

Refrigerantes	Nivel de toxicidad	Uso
Grupo 1	Despreciable	11,113 y 114 en compresores centrífugos 12, 22, 500 y 502 en compresores alternativos y de elevada capacidad
Grupo 2	Tóxicos/inflamables	Incluye a el Amoniaco, Cloruro de metilo y Dióxido de azufre, pero solo el Amoniaco (r-717) es utilizado
Grupo 3	Inflamables y explosivos	Incluye el Butano, Propano, Isobutano, Etano, Etileno, Propileno y Metano. Trabajan para evitar que aumente el peligro de explosión.

3.6.1 Propiedades

Se busca que los fluidos cumplan con la mayoría de las siguientes características para tener un uso apropiado:

- **Baja temperatura de inyección:** punto de ebullición por debajo de la temperatura ambiente a presión atmosférica.
- **Fácil manejo en estado líquido:** punto de ebullición controlable con facilidad para que su capacidad de absorber sea controlable igualmente.
- **Alto calor latente de vaporización:** a mayor calor latente de vaporización, mayor calor absorbido por kilogramo de refrigerante en circulación.
- **No inflamable.**
- **Químicamente estable.**
- **No corrosivo:** asegura que en la construcción del sistema puedan usarse materiales comunes y alarga la vida de sus componentes.
- **Presiones de trabajo moderadas:** elevadas presiones ($>25 - 28 \text{ kg/cm}^2$) requiere equipo pesado. Operaciones en vacío ($<0 \text{ kg/cm}^2$) introducen posibilidad de presentación de aire en el sistema.
- **Fácil detección y localización de pérdida:** se produce la disminución del refrigerante y la contaminación al haber pérdidas en el sistema.
- **Inocuo para los aceites lubricantes:** la acción del refrigerante en los aceites lubricantes no debe alterar la acción de lubricación.

- **Bajo punto de congelación:** debe estar muy por debajo de cualquier temperatura a la cual el evaporador pueda operar.
- **Alta temperatura crítica:** la mayoría de los refrigerantes poseen temperaturas críticas superiores a 93°C.
- **Moderado volumen específico de vapor**
- **Bajo costo**

Para la selección del refrigerante adecuado para su aplicación y el equipo disponible, se nombran las características más importantes influyendo en su capacidad y eficiencia:

- Calor latente de evaporación.
- Relación de compresión.
- Calor específico del refrigerante, ya sea en estado líquido como de vapor.

CAPÍTULO 4: CUARTO LIMPIO

4.1 ¿QUÉ ES UN CUARTO LIMPIO?

La necesidad de que existiera un ambiente limpio dentro de los hospitales es básica en el control de infecciones. Se sabe que las bacterias causan infecciones en las heridas desde hace tiempo, por lo que en los hospitales es vital que haya un correcto control de contaminación de aire en cuartos, pasillos, salas de espera y sobre todo en quirófanos. El control de infecciones se dio por primera vez gracias al manejo de técnicas en las cuales se utilizan antisépticos para la limpieza de instrumentos quirúrgicos, heridas y desinfectar las manos del personal del hospital.

Posteriormente técnicas asépticas tales como la esterilización de ropa quirúrgica e instrumentos y el uso de guantes, tapabocas y batas fueron de gran utilidad para la reducción e infecciones; pero estas técnicas no fueron suficientes para controlar por completo las infecciones debido a que la principal causa de propagación de bacterias dentro de un hospital era el mismo aire. Así se empezó a utilizar filtros en las rejillas de ventilación, esto ayudó bastante al control de entrada de bacterias, pero no fue completamente adoptado en los hospitales hasta después de la segunda guerra mundial (Orozco, 2006).

El desarrollo de un cuarto limpio industrial comenzó durante la segunda guerra mundial en Estados Unidos de América e Inglaterra en un intento de implementar la calidad y fiabilidad en instrumentación utilizada en armas, tanques y aviones. Esto se realizó al percatarse que las líneas de producción debían estar libres de contaminación en el ambiente ya que podría generar mal funcionamiento de las piezas fabricadas (Orozco, 2006). Una causa más de su desarrollo fue que en el aire se transportaban grandes cantidades de partículas debido a las máquinas, las cuales afectaban a los trabajadores por lo que constantemente grandes cantidades de aire tenían que ser filtradas.

El control en la calidad del aire se debe a que este último transporta diferentes elementos como: polen, organismos vivos y muertos, piel humana, polvo; en un ambiente industrial se llevan cabo diversos procesos como la combustión, procesos químicos, vapores, etc. Muchas empresas, laboratorios y hospitales utilizan cuartos limpios ya que cualquier clase de contaminación que no esté bajo los parámetros establecido puede ocasionar pérdidas económicas, o pérdidas de vidas humanas en el caso de que sea un cuarto limpio de tipo biológico.

Por esta razón en la actualidad el uso de cuartos limpios es de vital importancia en diversas industrias y hospitales. Todo es gracias a los microambientes que se crean dentro

de ellos en los cuales se controlan diversos factores y están libres de cualquier tipo de contaminación.

Para comprender mejor cuáles son los usos y funcionamiento de un cuarto limpio se define a continuación.

Un cuarto limpio es un espacio determinado donde se controla la contaminación, además de que los niveles de partículas y microbios son mantenidos dentro de un parámetro dependiendo del uso que se le dé al cuarto limpio. En ellos se controla todo tipo de contaminación que pueden tener elementos producidos en el espacio, como puede ser materia, químicos y agua; otros aspectos a controlar dentro de los cuartos son la temperatura, humedad y la presión cuando sea requerido (Orozco, 2006).

Según ISO-14644-1 un cuarto limpio se define como “un cuarto en el cual las partículas que contiene el aire son controladas; está construido y se utiliza de tal manera que minimice la introducción, generación y retención de partículas dentro del cuarto, y otros parámetros relevantes como la temperatura, humedad y presión también son controlados” (Pág.). Federal Standard 209E define un cuarto limpio como “una habitación donde la concentración de partículas de aire es controlada dentro de límites específicos” (Pág.).

British Standard 5295 describe que un cuarto limpio es “un cuarto de control de contaminación en particular. Construido y utilizado en gran manera para minimizar la introducción, generación y retención de partículas dentro del cuarto y en el cual la humedad, temperatura, flujos de aire, y presión son controlados” (Pág).

Los cuartos limpios se basan en cuatro reglas básicas para mantener y optimizar la limpieza dentro de ellos, estas reglas se deben tomar en cuenta para su diseño, construcción y funcionamiento:

1. No se introducen partículas ya que cuenta con un sistema de manejo de aire (filtración del aire de suministro y presión de aire interno, etc.).
2. Se eliminan partículas por medio de sistemas que manejan el flujo de aire, la velocidad de circulación, etc.
3. No se generan partículas si se tiene una buena planeación arquitectónica (acabado interior, etc.) y se tiene un buen manejo (suministro y limpieza de ropa, etc.). Lo que hace también posible que no se acumulen partículas dentro del área.

Los cuartos limpios han evolucionado con el paso de los años en dos importantes tipos los cuales se diferencian por el método de ventilación, estos pueden ser ventilación por flujo de aire turbulento o por flujo de aire laminar.

4.1.1 Ventilación por flujo turbulento

El flujo turbulento está caracterizado por las siguientes propiedades:

- El movimiento de partículas fluidas es muy desordenado (caótico)
- Es imposible identificar las líneas de corriente.
- Es fuertemente rotacional con existencia de múltiples circulaciones cerradas o remolinos de diferentes escalas superpuestos a un movimiento general.
- Es muy disipativo (pérdida de energía).
- Se favorece la mezcla de magnitudes y de constituyentes.

El movimiento turbulento se origina como consecuencia de la inestabilización del flujo laminar. Cuando el régimen laminar sufre una perturbación o la cizalla intrínseca a ese régimen alcanza valores considerables, se produce la inestabilización en el régimen inicialmente laminar pasando, después de una fase de transición, al flujo turbulento (Mott, 1996). Las perturbaciones por causa externa al movimiento fluido pueden ser de diversas índoles: obstáculos, efectos térmicos con variaciones espaciales de densidad vibraciones en los conductos, etc.

El método utilizado en ventilación de flujo turbulento es similar al que se encuentra en ventilaciones de oficinas, escuelas, centros comerciales, etc. En este método el aire que se encuentra dentro del cuarto es suplido por un sistema de aire acondicionado que es propagado a través de difusores colocados en el techo. Sin embargo, un cuarto limpio se diferencia de un cuarto ventilado ordinario en aspectos como el incremento de cambios de aire, la utilización de filtros de aire de alta eficiencia y la presurización del cuarto.

Un cuarto limpio que utiliza flujo de aire turbulento tiene por lo menos 10 cambios de aire por hora, en otros casos existen cuartos que tienen entre 20 y 60 cambios de aire por hora según el uso que se le da al mismo. Estos **cambios de aire constantes tienen el objetivo de diluir la contaminación producida en el cuarto (Mott, 1996)**. Los filtros de aire de alta eficiencia son empleados para filtrar los cambios de aire que entran al cuarto y evitar el paso de partículas pequeñas. Estos filtros son instalados ya sea en el techo, piso, paredes, etc.

La tarea principal de la presurización del cuarto es asegurarse que el aire no tratado de áreas adyacentes al cuarto limpio no pase y contamine el aire del cuarto. La presurización del cuarto se logra extrayendo menos aire que el que es suplido.

Para ventilar un espacio, un recinto o una máquina, ya sea impulsando aire o bien extrayéndolo, es normal tener que conectar el ventilador o extractor por medio de un conducto, una tubería, de mayor o menor longitud. El fluir del aire por tal conducto absorbe

energía del ventilador que lo extrae o impulsa debido al roce con las paredes, los cambios de dirección o los obstáculos que se hallan a su paso (Orozco, 2006).

4.1.2 Ventilación por flujo laminar

El flujo laminar es utilizado cuando se necesita que dentro del cuarto exista una baja concentración de partículas y bacterias. Este tipo de flujo es en una sola dirección, regularmente horizontal o vertical a una velocidad constante de entre 60-90 ft/min por todo el espacio. La velocidad del aire es suficiente para remover partículas grandes antes de asentarse en la superficie (Mott, 2006). Cualquier tipo de contaminación liberada dentro del cuarto puede ser removida inmediatamente gracias al flujo de aire laminar, mientras que en el sistema de ventilación por medio de flujo de aire turbulento se basa en mezclar y diluir para remover la contaminación.

En un cuarto vacío donde no existe obstrucción alguna para el paso del flujo de aire, la contaminación es removida rápidamente por velocidades de aire más bajas que las que se han mencionado con anterioridad. Sin embargo, en la práctica no existen cuartos vacíos donde el paso del flujo del aire sea completamente libre y sin personas. Los obstáculos que se encuentra en su trayectoria el flujo laminar pueden causar que este se convierta en flujo laminar alrededor de ellos. En áreas turbulentas es donde se concentran principalmente altos niveles de contaminación. Sin embargo, se ha encontrado que la limpieza de los cuartos limpios que utilizan ventilación flujo de aire laminar es directamente proporcional a la velocidad del aire. Los cambios de aire por unidad de tiempo están relacionados al volumen del cuarto y son mucho más grandes que los que proveen un sistema de ventilación por flujo turbulento.

Además del tipo de flujo de aire existen otros factores que intervienen en el diseño, construcción y funcionamiento de los cuartos limpios.

Uno de ellos y que es fundamental en los cuartos limpios es el de número de partículas que se permite dentro de cuarto según el uso que se le dé. Las normas que rigen cuartos limpios dentro de la zona industrial utilizan diversos parámetros para clasificar la pureza del aire de un cuarto limpio, a esta medida se le conoce como “número de clase”. Estos se clasifican por el tamaño y número de partículas (Orozco, 2006).

Uno de los métodos más conocidos y utilizados anteriormente es el sugerido por Federal Standard 209E, en el cual, el número de partículas iguales o mayores a 0.5 micrómetros medidas en pies cúbicos de aire designa el número de clase, como se muestra en la tabla 4.1:

Tabla 4.1 Tamaño de partículas permitidas
Fuente: Federal Standard 209D

Clase	Tamaño de partículas permitidas (Micrómetros)				
	0.1	0.2	0.3	0.5	5.0
1	35	7.5	3	1	NA
10	350	75	30	10	NA
100	NA	750	300	100	NA
1,000	NA	NA	NA	1,000	7
10,000	NA	NA	NA	10,000	70
100,000	NA	NA	NA	100,000	700

Como se aprecia en la tabla 4.2, el nivel de contaminación aerotransportado dentro de los cuartos limpios depende de las partículas que se generan gracias a las actividades que se realizan dentro del mismo. Si un cuarto limpio se encuentra vacío, una pequeña cantidad de partículas puede ser adquirida, esto refleja la calidad de aire suministrado por el filtro de eficiencia.

Tabla 4.2 Tipo de partículas aerotransportadas
Fuente: Federal Standard 209D

Tipo		Límites									
		0.1 mm		0.2 mm		0.3 mm		0.5 mm		5 mm	
		Volumen		Volumen		Volumen		Volumen		Volumen	
SI	Inglés	(m³)	(ft³)	(m³)	(ft³)	(m³)	(ft³)	(m³)	(ft³)	(m³)	(ft³)
M 1		350	9.91	75.7	2.14	30.9	0.875	10.0	0.283	--	--
M 1.5	1	1 240	35.0	265	7.50	106	3.00	35.3	1.00	--	--
M 2		3 500	99.1	757	21.4	309	8.75	100	2.83	--	--
M 2.5	10	12 400	350	2 650	75.0	1 060	30.0	353	10.0	--	--
M 3		35 000	991	7 570	214	3 090	87.5	1 000	28.3	--	--
M 3.5	100	--	--	26 500	750	10 600	300	3 530	100	--	--
M 4		--	--	75 700	2 140	30 900	875	10 000	283	--	--
M 4.5	1 000	--	--	--	--	--	--	35 300	1 000	247	7.00
M 5		--	--	--	--	--	--	100 000	2 830	618	17.5
M 5.5	10 000	--	--	--	--	--	--	353 000	10 000	2 470	70.0
M 6		--	--	--	--	--	--	1 000 000	28 300	6 180	175
M 6.5	100 000	--	--	--	--	--	--	3 350 000	100 000	24 700	700
M 7		--	--	--	--	--	--	10 000 000	283 000	61 800	1 750

Si en el cuarto se encuentra equipo de producción funcionando y trabajando, esto propiciará que dentro del cuarto exista un mayor número de partículas. La clasificación de cuarto de acuerdo con FS209 puede ser realizada cuando el cuarto está:

- En construcción, es decir, completo y listo con todos los servicios conectados y funcionando, pero sin equipo de producción ni con personal operando.
- En reposo, es decir, completo con todos los servicios operando y con equipo instalado y operable o funcionando, pero sin personal.
- Operando, es decir, en operación con todos los servicios instalados y equipos y personal trabajando.

La Organización Internacional de Estandarización es la que actualmente controla la certificación y clasificación de los cuartos limpios. Surgió a partir de 1992, gracias a la incitación del Instituto de Ciencias Ambientales, del Instituto de Estándares Nacional Americano, los cuales presentaron una solicitud a la ISO con el fin de crear un comité técnico que regulara los cuartos limpios y los ambientes controlados.

A partir de su creación se desarrollaron dos estándares internacionales:

1. ISO/DIN 14644-1 Cuartos limpios y ambientes controlados – Parte 1: Clasificación de partículas de aire (Tabla 4.3).

Tabla 4.3 Límites de clases

Fuente: ISO/DIS 14644-1

Número de clasificación ISO (N)	LIMITES DE CLASES (partículas/m ³)					
	Límite máximo de concentración (partículas/m ³ de aire) para partículas iguales o mayores que los tamaños considerados a continuación.					
	0.1 µm	0.2 µm	0.3 µm	0.5 µm	1 µm	5 µm
ISO Clasif. 1	10	2		--	--	--
ISO Clasif. 2	100	24	10	4	--	--
ISO Clasif. 3	1 000	237	102	35	8	--
ISO Clasif. 4	10 000	2 370	1 020	352	83	--
ISO Clasif. 5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	--
ISO Clasif. 6	1 000 000	237 000	--	35 200	8 320	29
ISO Clasif. 7	--	--	--	352 000	83 200	2 930
ISO Clasif. 8	--	--	--	3 520 000	832 000	29 300
ISO Clasif. 9	--	--	--	35 200 000	8 320 000	293 000

2. ISO/DIN 14644-2 Cuartos limpios y ambientes controlados – Parte 2: Especificaciones para pruebas y monitoreo para mostrar la conformidad seguida de la ISO/DIN 14644-1.

Estos son solo 2 de los 10 documentos que forman parte de los Estándares Globales de cuartos limpios, los cuales son los siguientes (tabla 4.4):

Tabla 4.4 Estándares globales de cuartos limpios
Fuente: ISO/DIS 14644-1

ISO	TÍTULO
ISO-14644-1	Clasificación de Limpieza de Aire
ISO-14644-2	Pruebas para los cuartos limpios
ISO-14644-3	Métodos para evaluación y medición de cuartos limpios
ISO-14644-4	Diseño y contrición de cuartos limpios
ISO-14644-5	Operación de cuartos limpios
ISO-14644-6	Términos, definiciones y unidades
ISO-1644-7	Dispositivos limpios realzados
ISO-14644-8	Contaminación molecular
ISO-14698-1	Biocontaminación: Principios generales de control
ISO-14698-2	Biocontaminación: Evaluación e interpretación de datos
ISO-14698-3	Biocontaminación: Metodología para la medición de superficies

Los cuartos limpios se pueden clasificar también por el uso que se les dé, es decir, qué se va a producir o qué se va a manejar dentro de ellos, esto puede ir desde la construcción de un reloj hasta una operación de cualquier índole. Pueden dividirse en dos áreas principales: cuartos limpios industriales y cuartos limpios biológicos. La fig. 4.1 muestra las áreas para el uso de cuartos limpios:

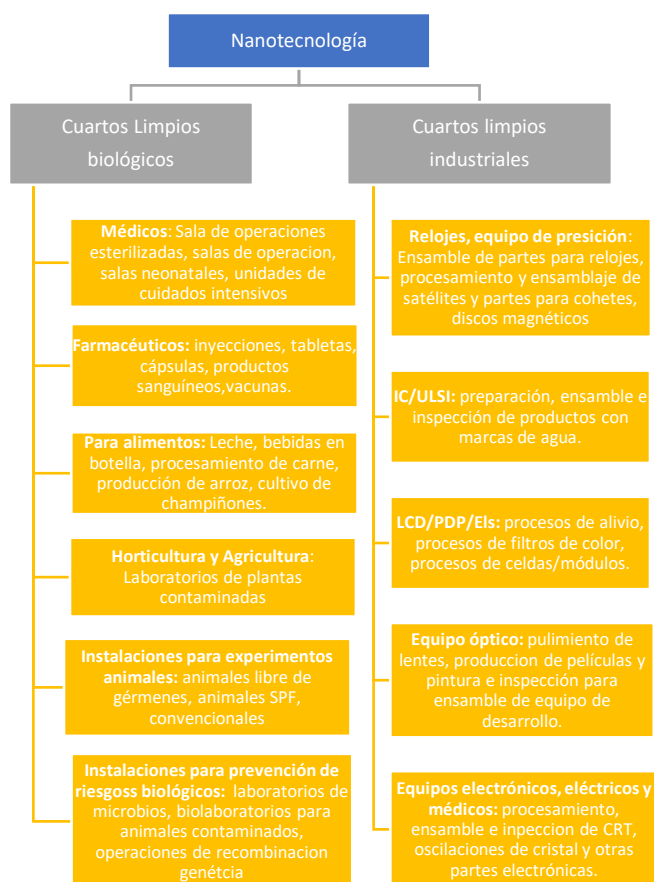


Fig. 4.1 Expansión de áreas para el uso de cuartos limpios
Fuente: ISO/DIN 14644-1

4.1.3 Cuartos limpios industriales

Los cuartos limpios se utilizan principalmente en muchas instalaciones de fabricación e investigación de productos industriales, desde dispositivos electrónicos hasta materiales de alta pureza.

Como se definió, los cuartos limpios son espacios herméticos en los cuales se mantiene el nivel de limpieza, con el propósito de producir o investigar en otros lugares, las personas tienen que estar entrando y saliendo, al igual que las materias primas, productos y servicios de producción (tales como agua des ionizada, gas, aire de escape, drenaje). Debe haber una distribución lógica de las instalaciones relacionadas con el cuarto limpio y planeación para la circulación de personas y objetos, con sistemas de barreras tales como duchas de aire, cuartos de paso y control de presión de aire para evitar contaminación cruzada; también se debe mantener el nivel de limpieza y la buena funcionalidad (ISO/DIN 14644-1).

4.1.4 Cuartos limpios biológicos o biolimpios

Son cuartos libres de gérmenes o que tienen menos microbios que los cuartos limpios industriales. Normalmente, para crear tales ambientes, se utilizan filtros de aire de alto desempeño llamados “filtros de aire de partículas de alta eficiencia”. Este tipo de filtro es capaz de atrapar el 99.97% de partículas de 0.3 micrones, e incluso de bacterias.

Por otra parte, los virus son más pequeños que el tamaño de partículas que pueden ser atrapadas, así que existe la posibilidad de que pasen a través de los filtros de aire. Sin embargo, los virus no flotan en el aire como unidades simples (los virus se unen al polvo que flota en el aire), por lo que, si los insectos y el polvo pueden ser eliminados, es posible asegurar un ambiente biológicamente adecuado y apto dentro del cuarto. Se muestra la tabla 4.5 de microbios que pueden contaminar un cuarto limpio (ISO/DIN 14644-1).

*Tabla 4.5 Tamaño de microbios
Fuente: Wiesmann, 1982*

Microbios	Tamaño
Protozoarios	Varios micrones a varias docenas de micrones
Moho	Varios micrones
Bacterias	1 micrón
Rickettsias	0.3 micrones
Virus	0.01 micrones a 0.2 micrones

Las causas de contaminación de los cuartos biolimpios son el equipo, los materiales y las personas entran y salen de ellos. Por lo tanto, cuando se entra o se transportan

elementos como equipo y materiales al interior de los cuartos, las personas y los elementos deben pasar a través de los llamados “equipos barrera”.

4.1.5 Características de cuartos biolimpios

Tabla 4.6 Diferencia entre cuartos limpios industriales y biológicos

Fuente: ISO/DIN 14644-1

CUARTO LIMPIO BIOLÓGICO	ITEM	CUARTO LIMPIO INDUSTRIAL
Dependiendo del tipo de instalación se presentan dos aspectos: -Prevención de contaminación desde fuera Prevención de contaminación hacia afuera	Método básico	Prevención de contaminación desde fuera
Ambiente interno		
20 – 26°C 2 – 3°C	Temperatura	23°C 1 – 2°C
50% 10%	Humedad	45% 5 – 10%
0.5 micrones	Tamaño de partículas del blanco	0.1 a 0.3 micrones
Dependiendo del tipo de instalaciones, los cuartos limpios pueden tener una presión positiva o una presión negativa	Presión del cuarto	Los cuartos tienen una presión positiva
Si (depende de la aplicación)	Esterilización interna	No
Por lo general se requieren grandes volúmenes de aire externo. Según la instalación, la operación de aire externo puede ser de 15 a 20 veces/horas	Volumen de aire externo	5 a 15 veces/hora
Planeación del piso de trabajo		
Principalmente cuartos pequeños	Tamaño de los cuartos	Principalmente cuartos grandes
La entrada y la salida pueden utilizar la misma ruta, pero en otros casos pueden estar completamente separadas	Ruta de personas y objetos	La entrada y la salida utilizan la misma ruta
En algunos casos, las intersecciones de circulación pueden evitarse	La contaminación cruzada al transportar hacia adentro y hacia afuera	No limitado
Planeación del sistema		
Depende del tipo de instalación Plantas farmacéuticas e instalaciones para animales de laboratorio: 24 hrs/día Laboratorios de radioisótopos y de investigación: las horas en que sea utilizada la instalación	Horas de acondicionamiento de aire	24 horas/día
Las plantas farmacéuticas, las instalaciones de animales de laboratorio y los laboratorios de radioisótopos requieren un tratamiento de escape	Tratamiento de aire de escape	24 horas/día
Agua funcional, gases especiales (aire presurizado, vacío, nitrógeno, dióxido de carbono, etc.)	Instalaciones especiales	Agua des ionizada, la mayoría de los gases especiales, químicos etc.
Equipos de barrera		
Cuartos para cambiarse de ropa, duchas de aire, equipos de lavado de manos, secadores de chorro, aparatos de desinfección en chorros de alcohol, autoclave, aparatos de esterilización con gas EO, germicida, cuartos de paso	Equipo y servicios instalados	Cambio de cuarto, ducha de aire, equipo de lavado de manos, secador de chorro, cuarto de paso
Se instalan en las entradas a las áreas de producción, y si los ambientes dentro y fuera del área de producción son diferentes, las barreras deben establecerse entre esas áreas	Sitios de instalación	Para instalarse solamente en las entradas a las áreas de producción

4.2 Fuentes de partículas en espacios limpios

Existen dos fuentes y se les puede denominar como:

- **Externas:** son aquellas partículas que pueden entrar a un espacio que originalmente se considere limpio; normalmente estas partículas entran por ventanas, puertas, perforaciones en las paredes, etc. El control de los microorganismos y nutrientes que entren por estos espacios podrán controlarse con agentes bactericidas, limpiadores y programas continuados de aseo y remoción de partículas precipitadas. El control de estas partículas proveniente del exterior por el sistema de aire acondicionado se logra principalmente con: filtración (aire entrando por el sistema de aire acondicionado), presurización y sellado del salón (partículas entrando por ventanas, orificios y espacios libres).
- **Internas:** este tipo de partículas es producido especialmente por las personas, equipos de procesos y maquinarias que se encuentren en el espacio originalmente limpio. Las personas que laboran en estos espacios generalmente aportan millones de partículas por minuto, dentro de las cuales deben destacarse aquellas que pueden desempeñarse como nutrientes para microorganismos (cabellos, escamas de la piel, sudor, cosméticos) así como las grandes cantidades de nutrientes que aportan los equipos (celulosa, carbón, gomas, azúcares).

Es importante que el sistema de aire que trabaja en el ambiente al cual se desea mantener libre de microorganismos nocivos a la salud, este diseñando para lavar o duchar continuamente con aire limpio de partículas al personal y equipo.

4.3 EL QUIRÓFANO Y SUS PRINCIPALES ÁREAS DE TRABAJO

El quirófano es una de las áreas más importantes dentro de un hospital, ya que dentro de este se llevan a cabo diversas cirugías en las cuales muchas veces la vida se pone en juego. Es por eso la importancia que dentro de los quirófanos la contaminación sea controlada. A continuación, se definirá y describirá las partes de un quirófano.

El diseño de la sala de operaciones plantea un problema singular, puesto que trata de una instalación que requiere apoyo y material complejo; circulan en ella personal sano, enfermos, equipos, ropa contaminada, etc. Y al mismo tiempo, se debe asegurar al máximo el aislamiento bacteriológico para impedir cualquier tipo de contaminación o infección que complique o amenace la vida del paciente.

4.3.1 Quirófano

Se describe como un área del hospital integrada por varios locales, que forman las salas de operaciones, es planeada técnica y funcionalmente para ser un lugar en donde se practica la cirugía, con reglas modernas de asepsia, para afines de diagnóstico, paliativas y terapéuticas (Bustamante, 2007).

Anteriormente las inquietudes que se tenían hicieron que se reunieran equipos de salud con arquitectos, todo con el fin de llegar a un correcto diseño de un quirófano el cual tuviera diversas secciones que se les denominan “áreas de quirófano” o “zona quirúrgica” en las que se albergan las salas de operaciones propiamente y sus servicios colaterales.

No existe un diseño del quirófano adecuado a todos los hospitales, sino que este se diseña y construye según las necesidades, espacio, distribución, ubicación, y presupuesto del hospital que lo requiere. Uno de los problemas principales que influye en el diseño y la ubicación es el de las infecciones ya que debe de seguir los principios de asepsia (Zapata, 2012).

Para la ubicación de los quirófanos debe haberse realizado un aislamiento topográfico, y debe localizarse en un lugar limpio y con relativa quietud.

El conjunto de servicios que integran un quirófano debe ubicarse en un corredor ciego, ya sea en el piso más alto del hospital o en los sótanos. Debe tener acceso restringido a personas no autorizadas. Así el paciente y el personal médico pueden estar tranquilos de que no existirá ningún tipo de infección ni contaminación que pueda impedir una cirugía segura y eficaz.

El diseño de los quirófanos sigue dos principios fundamentales:

- a) Establecer un filtro a los factores de contaminación que pudieran introducirse en el área quirúrgica a través de personas, materiales, objetos e incluso el aire.
- b) Separación de las áreas asépticas y sépticas dentro de la sala de operaciones, facilitando la práctica de una buena técnica que evite la contaminación.

El quirófano se divide en tres áreas o zonas de restricción progresiva para eliminar fuentes de contaminación:

4.3.1.1 Área negra o zona de perímetro externo

Es la primera zona de restricción, es una verdadera zona amortiguadora de protección. Es donde se encuentra todo lo que no ha sido descontaminado o esterilizado y esto puede causar contaminación en el aire. Por esta puede pasar el personal y pacientes, sin temor a contaminar, pues es la zona de acceso (Zapata, 2012).

Para transitar por ella no se necesita nada más que portar el uniforme que exige cada hospital.

Puede estar separada del resto del hospital por un corredor pequeño o una barrera de intercambio en donde se proporcionen botas limpias, en donde se pueda dejar el paciente de la sala o donde ocurre el traslado de las camillas de las salas al quirófano.

Los objetivos principales de esta área son:

- Revisar las condiciones de preparación y presentación de los pacientes
- Permitir el aislamiento del material de desechos y ropa que se utiliza en las cirugías,
- Realiza cualquier tipo de trabajo administrativo relacionado
- Permitir al personal contar con área para efectuar el cambio de uniforme institucional por ropa quirúrgica
- Permitir la comunicación con los demás servicios del hospital

Esta área incluye las oficinas, de doble frente, uno de ellos ve a la zona negra y el otro con una ventanilla a la zona gris; tiene la recepción de los pacientes, baños, sanitarios y vestidores.

4.3.1.2 Área gris o zona media

En esta zona se requiere portar el uniforme completo que cada institución exige a su personal (uniforme de algodón, gorro, cubre bocas y botas).

Sus secciones son:

- Áreas de lavado quirúrgico (adyacentes a la sala de operaciones)
- Central de equipos
- Cuartos de anestesia
- Sala de recuperación
- Cuarto de rayos X
- Cuartos sépticos (equipados con lavabos para instrumental quirúrgico que ha sido utilizado en cirugía)
- Anexos a la sala de operación

Debe estar comunicado por un pasillo al laboratorio de análisis clínicos, al banco de sangre y al servicio de anatomía patológica. Adyacente a cada sala de operaciones se encuentra un área de lavado quirúrgico para el personal.

Cada área de lavado consta de uno o dos lavabos, cuyo flujo de agua se acciona mediante rodilleras o es electrónico y funciona mediante fotoceldas, al igual que las jaboneras.

Esta zona se caracteriza por tener áreas de circulación amplias, por las que se lleva todo el material utilizado que se elimina empacado en bolsas de polietileno por una salida apartada. Aquí también se preparan, esterilizan y almacenan los materiales de uso anestésico, quirúrgico y de apoyo (Zapata, 2012).

Todo el personal que entra al área gris o zona media debe vestir uniforme quirúrgico que el hospital exige.

El calzado del personal debe ser exclusivo para portarlo dentro del quirófano, debe ser de suela de cuero delgada y de material conductor para evitar cargas estáticas en el cuerpo, y al pasar del área negra de vestidores al área gris, se cubre con botas de lona gruesa para evitar que los zapatos sean un medio de transporte para los microbios al cambiar de áreas o zonas (Bustamante, 2007).

4.3.1.3 Área blanca o zona interna

Es el área del campo operatorio estéril en la que se lleva a cabo la colocación de campos quirúrgicos; se encuentra el cirujano, ayudantes, enfermeras y las mesas de instrumental.

Está integrada por el conjunto de salas de operaciones, donde se encuentra todo lo limpio y aséptico, es decir, lo descontaminado y libre de cualquier virus o bacteria que pueda causar alguna infección (Zapata, 2012).

Los principales objetivos de esta área son las de:

- Evitar la contaminación del medio ambiente dentro de la sala de operaciones.
- Obtener un aislamiento del equipo y material aséptico del contaminado.
- Contribuir en la disminución de infecciones postquirúrgicas

4.3.2 Sala de operación

Es el local perfectamente equipado e integrado con características específicas; cuya función única es la de facilitar el desarrollo eficaz y seguro de las cirugías (Zapata, 2012).

Se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de cirugía que se lleva dentro de cada una de ellas de la siguiente manera:

- Sala de cirugía general

- Sala de cirugía de especialidad

Son iguales en el material utilizado en la construcción, pero varían en sus dimensiones y en el equipo que las integran.

4.3.3 Sala de cirugía general

Las dimensiones de esta sala son de $6.5 \times 4.5 \text{ m}$ más una pequeña área de $1.7 \times 1.5 \text{ m}$ con una altura de 2.5 m . Con área suficiente para poner en práctica técnicas asépticas.

4.3.4 Paredes y techos

Las paredes y techos deben ser duros, lisos, a prueba de fuego, impermeable, a prueba de manchas, sin grietas, fácilmente lavable, sin brillo, sin colores fatigantes para la vista y absorbentes de sonido.

No se construyen repisas o salientes que puedan albergar polvo. Las ventanas no son indispensables; agregan la ventaja psicológica de la luz del día y mejoran las condiciones de trabajo, pero deben estar situadas en una de las paredes donde dé a una zona donde exista el menor ruido posible.

En las salas destinadas al uso de procedimientos radiológicos se exige en las paredes un recubrimiento de plomo (Figuerola, 1970).

4.3.4.1 Piso

El piso debe tener características como: ser resistente al agua y buen conductor de corriente para evitar la acumulación de cargas electrostáticas que puedan provocar chispa. Para facilitar su aseo, las esquinas deben estar redondeadas (Figuerola, 1970).

4.3.4.2 Puertas

Generalmente son puertas corredizas que se puedan abrir en los dos sentidos y así facilitar el lavado de sus superficies. Este tipo de puertas se eliminan las corrientes de aire causadas por las puertas abatibles, corrientes que estudios han demostrado que en la apertura y cierre de puertas de tipo vaivén se produce mucha turbulencia de aire, aumentando el número total de partículas que se remueven (Figuerola, 1970).

4.3.4.3 Iluminación

La sala esta iluminada de una forma difusa, con luz neón y plafones con difusores de prisma. Tanto la iluminación en el área operatoria como el área en general en la sala deben ser flexible, ajustable y controlable. La relación entre la brillantez del sitio quirúrgico, la periferia de este y el perímetro del quirófano debe de ser 5:3:1. En las instalaciones nuevas se recomienda que la brillantez de la iluminación general sea hasta de 70 bujías por metro (Figueroa, 1970).

Un alumbrado adecuado es indispensable para llevar con seguridad la cirugía, debiendo reunir las siguientes características:

- La iluminación debe ser cenital, no debe producir sombras ni reflejos
- De intensidad semejante a la luz del día
- No debe producir calor

Esta iluminación es proporcionada por lámparas que están suspendidas en un soporte que tiene mecanismos de rotación de rieles que, a su vez, quedan fijos al techo para libre movimiento ya que pueden ajustar a todos los ángulos, permitiendo orientarlas de la manera más conveniente hacia el campo operatorio.

Las lámparas usadas comúnmente en quirófanos son medias esferas metálicas cuya cavidad refleja en dirección convergente hacia la región anatómica los haces luminosos de uno a varios focos cuya propiedad es generar más luz con menos calor. Estas lámparas usan focos comúnmente de halógeno, y en algunos casos cuentan con un sistema de encendido digital (Zapata, 2012).

Las salas de operaciones cuentan también con iluminación de urgencia o emergencia, esta proviene de lámparas independientes de la energía general para usarse en caso de alguna falla en el suministro de energía eléctrica.

Uno de los factores a tomar en cuenta de la iluminación es la producción de calor. La luz infrarroja que emite en forma directa la fuente de luz puede producir calor o también la transformación de energía por el objeto iluminado.

4.3.4.4 Instalaciones eléctricas

Los campos quirúrgicos cuentan con enchufes de corriente eléctrica de tipo doméstico y trifásico. Las conexiones son puestas a tierra para impedir interferencias en electrocardiogramas y registros. Todo ello con enchufes anti-explosión y con mantenimiento constante para impedir cualquier anomalía.

Cuenta con tomas de aire a presión, tomas de oxígeno entubado y diversos aparatos. Tiene también un sistema de intercomunicación para comunicarse sin tener que estar saliendo constantemente (Figueroa, 1970).

4.3.4.4.1 Mobiliario

Toda sala de operaciones cuenta con un mobiliario básico que debe estar en contacto con el piso mediante materiales conductores. El mobiliario es de acero inoxidable, es liso, durable y puede limpiarse con facilidad (Zapata, 2012).

CAPITULO 5: CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

5.1 BALANCE TÉRMICO

El balance térmico es la relación entre entradas y salidas de energía térmica para mantener el ambiente interior del lugar en condiciones de temperatura y humedad definidas para dar comodidad o para desarrollar un proceso industrial (Hernández, 1973. Pág, 129).

Las condiciones interiores, desde el punto de vista del balance térmico del lugar, son las que hacen referencia a la temperatura del aire, tales como, temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo (Hernández, 1973).

En el lugar donde se desarrollan diversas actividades se produce la ganancia y pérdida de energía térmica debida a las causas siguientes:

- A. La radiación solar que en todos los casos (invierno y verano) se traduce en un flujo de calor entrante (entrada de energía térmica).
- B. La transferencia de calor entre el interior y el exterior, en invierno constituirá una salida de energía térmica, mientras que en verano constituirá una entrada de energía térmica.
- C. La infiltración del aire exterior, en invierno significa una pérdida (salida) de energía térmica; en contraste con el verano que representa aire exterior más caliente y húmedo consecuentemente una entrada de energía térmica.
- D. La iluminación artificial significa una entrada de energía eléctrica consumida en las luminarias y sus equipos auxiliares la cual se transforma en energía térmica y de modo parcial o total entra al lugar. Constituye una entrada neta de energía térmica independiente de la estación climatológica.
- E. Los equipos, procesos o maquinaria que forma parte de la actividad desarrollada en el lugar acondicionado, consumen energía eléctrica, térmica o de otro tipo y que en última estancia se convierte en calor. Este calor en mayor o menor parte constituye también una entrada energética al lugar.
- F. La presencia de personas en el ambiente acondicionado, en todos los casos representa una ganancia de energía térmica que es variable según el grado de actividad desarrollada.

5.2 ¿PARA QUÉ SIRVE EL BALANCE TÉRMICO?

El balance de ganancias y pérdidas de energía térmica en un lugar acondicionado puede establecerse un modo esquemático como el siguiente:

- Radiación solar.
- Intercambio térmico, por conducción y convección, por diferencia entre la temperatura interior y la exterior.
- Efectos de las infiltraciones de aire controladas o incontroladas
- Iluminación artificial.
- Equipos, procesos y maquinaria.
- Ocupación personal.

El balance térmico sirve para calcular cada uno de estos factores anteriores y de esta forma se suman para cuantificar la cantidad de calor que es necesaria disipar o agregar al espacio acondicionado, a esta cantidad de calor se le conoce como “carga térmica”, y se refiere a la cantidad de calor expresada en $kcal/hr$, dicha carga determina la potencia de acondicionamiento de un equipo (Rapin, 1997).

Se comprende entonces que los lugares, con mucha frecuencia, tienen un balance térmico global desplazado hacia el lado de una entrada neta de energía térmica. Es decir, para mantener en el ambiente una temperatura definida, el lugar debe ser refrigerado. La energía térmica ganada neta se debe extraer del local.

Puesto que la ganancia y pérdida neta de la energía térmica afecta a la temperatura y la humedad del aire ambiente del espacio, la calefacción o la refrigeración debe atender el tratar dicho aire ambiente para mantener las condiciones deseadas. El sistema de tratamiento del aire se encarga de transmitir y distribuir al ambiente la energía térmica de calefacción o de extraer del mismo la energía ganada.

Las aplicaciones del aire acondicionado a la comodidad de las personas alcanzan prácticamente todos los casos posibles de lugares. Los distintos usos de estas aplicaciones condicionan los diferentes sistemas de acondicionamiento a emplear y los tipos de equipos a emplear.

Los factores más influyentes en las instalaciones de aire acondicionado son: el uso que va a tener el local, las condiciones ambientales, la radiación solar, la iluminación eléctrica

ambiental del interior del lugar, el número de personas que ocupan el local y la actividad desarrollada por los ocupantes dentro del área acondicionada (Zapata, 2012).

Algunas de las características de este tipo de áreas es que deben ser habitaciones en las cuales el aire de inyección debe ser completamente limpio con un nivel de pureza muy alto, la extracción de aire debe ser un número de veces por hora, manteniendo dentro del local una presión positiva para evitar infiltraciones.

Además, se debe mantener un nivel considerablemente bajo ya que debe compatibilizarse con la ausencia total de corrientes de aire en nivel de ocupación normal, donde la forma de inyectar y extraer el aire tiene ciertas especificaciones que se deben seguir. Dentro de un cuarto, las cargas se calculan debido a que con ellas se puede elegir un equipo con características necesarias para una sala de quirófano.

Para asegurar la circulación del caudal de aire necesario entre los diferentes espacios, las unidades técnicas de aire deben estar diseñadas para ello, disponiendo de accesos fáciles que permitan llevar a cabo las tareas de limpieza, desinfección, mantenimiento y cambio de filtros (Zapata, 2012). El sentido de circulación del aire será desde las zonas más limpias hacia las zonas más sucias, y las condiciones termo-higrométricas han de ser las adecuadas para cada lugar.

Lo primero es calcular el gasto de aire necesario dentro de la sala, tomando diversos factores para su cálculo (fig. 5.1).

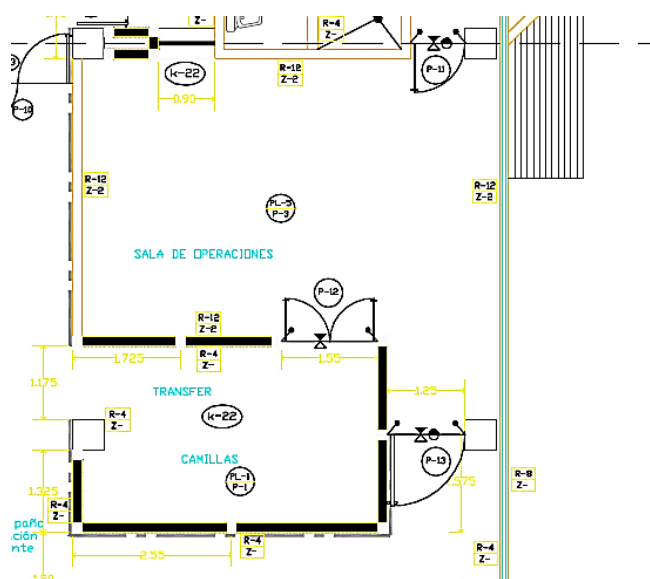


Fig. 5.1 Área de quirófanos vista planta

5.3 DATOS DE DISEÑO

Proyecto:

Sistema de acondicionamiento de aire para un quirófano perteneciente al hospital de Traumatología y Ortopedia de Instituto Mexicano del Seguro Social en la ciudad de Puebla.

Ubicación y Localización geográfica: Diagonal Defensores de la República y 6 Poniente S/N, Col. Amor C.P. 72140, Puebla.

Altura sobre el nivel del mar: 2.150m

Velocidad promedio del aire exterior: 3.2 m/s en verano – otoño y de 1.8 m/s en invierno – primavera.

El espacio por acondicionar será utilizado todos los días durante las 24 horas, durante todo el año, por lo que debe estar preparado para cualquier emergencia que exija el uso del área de quirófanos. Las dimensiones y orientación del local se detallan a continuación en la figura 5.6:

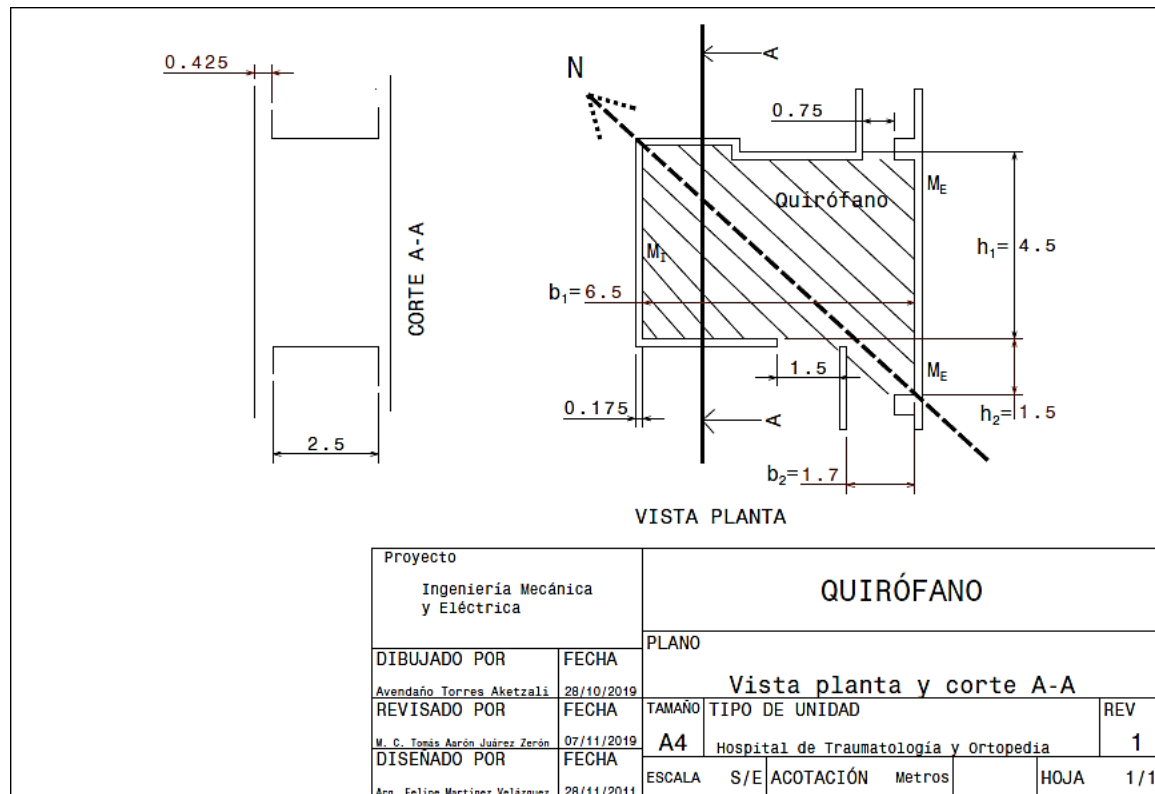


Fig. 5.2 Dimensiones de la sala de quirófano

5.3.1 Calor exterior (Q_{ext})

$$Q_{ext} = Q_{techo} + Q_{paredes} + Q_{ventanas} \quad (Ecuación 18)$$

NOTA: Debido a que la sala se encuentra dentro del hospital, esta solo recibe calor por un muro, pero no por ventanas (ya que debido a la naturaleza de uso no cuenta con ellas), ni por el techo, ya que hay más habitaciones alrededor de ella.

5.3.1.1 Calor generado por las paredes ($Q_{paredes}$)

La ecuación que rige la conducción se denomina ecuación de Fourier (Ecuación 19) y es específicamente para el caso estacionario, unidimensional en una placa plana (Chamarro, 2005). Esta carga es calculada para cada una de las paredes limitadoras, suelos, techo, puertas y ventanas del lugar acondicionado.

$$Q = K \times A \times \Delta T \quad (Ecuación 19)$$

Para este caso específico llamaremos a la ecuación 20: $Q_{paredes}$.

$$Q_{paredes} = K \times A \times \Delta T \quad (Ecuación 20)$$

Donde:

$Q_{paredes}$ = Cantidad de calor transferido

ΔT = Variación de las temperaturas a ambos lados de la pared (°F)

A = Área expuesta al flujo de calor (pie²)

K = Coeficiente de conductividad térmica global

5.3.1.1.1 Cálculo de K

$$K = \frac{1}{R} \quad (Ecuación 21)$$

Donde:

R = Resistencia térmica total de techos y muros viene expresada en la ecuación 22 $\left(\frac{Kcal}{m^2 h^{\circ}C}\right)$

$$R = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_6} \quad (Ecuación 22)$$

Donde:

δ = Espesor del material (m)

f_1 = Conductancia superficial interior, f_2 = Conductancia superficial exterior T

Tabla 5.1 Coeficientes de conductividad térmica (K) de materiales de construcción a 20°C
Fuente: Hernández, 1973

Material	Densidad Kg/m ³	K Kcal/hm ² °C	K W/m°C
	800	0.20	0.23
		0.26	0.314
Acabado texturizado	1,500 – 1,800	0.80	0.93
Acustome	1,600	0.70	0.814
Arena, por término medio	2,100	0.60	0.69
Arenisca Calcárea	600	0.12	0.14
Asfalto	1,600 – 1,800	0.25	0.29
Contrachapado de Madera		0.99	1.16
Concreto Armado		1.20	1.395
Mortero de cemento	2,600 – 1,800	2.50 – 3.50	2.9 – 4.0
Cemento – arena	1,500 – 1,800	0.80	0.93
Granito		0.60	0.697
Grava por relleno		0.86	1.0
Impermeabilizante	1,600 – 1,800	0.33 – 0.45	0.38 – 0.52
Block común	1,200	0.16	0.19
Ladrillo		0.90	1.04
Linóleo			
Mosaico y Azulejo	200 – 300	0.07 – 0.09	0.08 – 0.10
Madera, vertical a la fibra:	400 – 600	0.10 – 0.14	0.11 – 0.16
Ligera, de balsa	700 – 900	0.14 – 0.18	0.16 – 0.21
Abeto rojo, Pino	800	0.30 – 0.45	0.35 – 0.52
Haya, Roble	1,600	0.45 – 0.65	0.52 – 0.75
Mampostería de ladrillo, Ladrillo hueco	1,600 – 1,800	0.60	0.69
Mampostería de ladrillo, Ladrillo hueco	1,600 – 1,800	0.75	0.87
Mampostería de ladrillo, Macizo interior		1.20	1.4
Mampostería de ladrillo, Macizo exterior	2,200	1.20	1.4
Mortero de Cemento	2,20 – 2,500	1.40 – 1.80	1.63 – 2.09
Pavimento de Cemento	2,550	1.05	1.22
Piedra Arenisca	15-30	0.033	0.038
Piedra Caliza		0.03	0.04
Poliestireno (Styropor)	1,500	0.2	0.23
Corcho	1,600 – 1,800	0.80 – 1.00	0.93 – 1.16
Recubrimiento (Plástico)	900	0.15	0.17
Revoque, Aplanado de cemento, cal, arena	2,200	1.20	1.4
Tableros rígidos de Fibra de madera	1,000 – 2,000	0.15 – 0.50	0.17 – 0.58
Terrazo (Mosaico Veneciano)		0.039	0.046
		0.023	0.027
Terreno, seco	300	0.05	0.058
Moqueta	2,400 – 3,200	0.50 – 0.90	0.58 – 1.05
Alfombra	500	0.18	0.21
Viruta de caña de azúcar (Celotex)			
Vidrio de ventana			
Yeso (Aplanado)			

Unidades de K, Kcal/ (hora) (m²) (°C/m)

NOTA: En la tabla la constante K es el valor de λ.

Descripción de los materiales de pared sureste exterior:

Material	δ (m)	$\Lambda \left(\frac{Kcal}{m^2 h^\circ C} \right)$
Impermeabilizante asfáltico 3/8"	0.025	0.60
Ladrillo de barro rojo común	0.025	0.33
Losa de concreto armado	0.1	0.25
Espacio libre	0.25	0.03
Plafón interior de tabla roca de 1/2" Cartón de yeso	0.0254	0.18

Sustituyendo la fórmula:

$$\frac{1}{K_p} = \frac{1}{7} + \frac{0.05}{0.25} + \frac{0.15}{0.33} + \frac{0.05}{0.25} + \frac{1}{25}$$

$$\frac{1}{K_p} = 1.037 \frac{kcal}{m^2 hr^\circ C}$$

5.3.1.1.2 Cálculo del área del quirófano

Área del techo:

$$A_T = (b_1 \times h_1) + (b_2 \times h_2)$$

$$(6.5m \times 4.5m) + (1.7m \times 1.5m) = 31.8m^2$$

Área de pared sureste exterior:

$$a_T = 2.5m$$

$$A_{PSE} = (h_1 \times a_T) + (h_2 \times a_T)$$

$$(4.5m \times 2.5m) + (1.5m \times 2.5m) = 15m^2$$

5.3.1.1.3 Cálculo de ΔT equivalente para Puebla

Durante el transcurso del día, la temperatura exterior de bulbo seco sufre variaciones desde un punto mínimo a un punto máximo, formando intervalos que dependen de la situación geográfica.

Para el caso en que la temperatura exterior sea menor a la del cuarto: Si la temperatura de diseño exterior menos la temperatura del cuarto es diferente de 15° (mayor o menor), deberá corregirse agregando el exceso (o restar la diferencia de) a los diferenciales.

Temperatura interna requerida para la sala de quirófano: 20°C = 68°F

Temperatura externa o de diseño para la ciudad: 29°C = 84.2°F

$\Delta T_{eq} \text{ } ^\circ F$	Factor de corrección	$\Delta T_{eq} \text{ corregida}$	$\Delta T_{eq} \text{ } ^\circ C$
$84.2^\circ F - 68^\circ F = 16.2^\circ F$	$16 - 15 = +1$	$16 + 1 = 17^\circ F$	$9.4^\circ C$

Sustituyendo fórmula general:

$$Q_{paredes} = K \times A \times \Delta T$$

$$Q_{paredes} = 1.037 \frac{kcal}{m^2 hr^\circ C} \times 15m^2 \times 9.4^\circ C$$

$$Q_{paredes} = 146.217 \frac{kcal}{hr}$$

Construcción	Orientación	A (m ²)	K ($\frac{kcal}{m^2 hr^\circ C}$)	ΔT (°C)	$Q_{paredes}$
Pared	SE	15	1.03	9.4	146.217

Calor exterior:

$$Q_{ext} = 146.217 \frac{kcal}{hr}$$

5.3.2 Calor interior (Q_{int})

$$Q_{int} = Q_{máquinas} + Q_{personas} + Q_{luz} \quad (\text{Ecuación 23})$$

Donde:

$$Q_{personas} = \text{Calor producido por personas}$$

$$Q_{luz} = \text{Calor producido por iluminación eléctrica}$$

$$Q_{máquinas} = \text{Calor producido por las máquinas dentro de la sala}$$

5.3.2.1 Calor generado por personas ($Q_{personas}$)

$Q_{personas}$ = La ganancia de calor producida por los ocupantes del espacio a enfriar esta tabulada y depende de la propia actividad que las personas desarrollen dentro del espacio y de la temperatura de ese ambiente (fig. 5.2). La ganancia puede considerarse en dos partes:

- a) Ganancia de calor sensible (H_s)
- b) Ganancia de calor latente (H_L)

Tabla 5.2 Ganancia de calor debido a los ocupantes
Fuente: Hernández, 1973

Actividad	Régimen metabólico promedio, calor total disipado, Kcal/h	Calor sensible, Kcal/h	Calor latente, Kcal/h	Humedad producida, gr/hora
Sentada, quieta.....	96	56	40	71
De pie, quieta.....	108	56	52	91
Oficinista, actividad moderada	123	56		116
Paseo, danza lenta.....	190	63		225
Camarera, muy ocupada	250	80	170	345
Marcha rápida, danza viva, patinaje sobre ruedas	345	115	336	415
Bowling	375	122	253	480
Ejercicio muy severo	640			

La sala de quirófanos está ocupada en promedio por 8 ocupantes, que son: el médico cirujano, el primer ayudante, un segundo ayudante, el instrumentista, un médico anestesista, el auxiliar anestesista, la enfermera circulante y el paciente. De los cuáles solo el último está en reposo y los demás se encuentran realizando una actividad moderada.

$$123 \frac{kcal}{hr} \times 7 \text{ personas} = 861 \frac{kcal}{hr}$$

$$96 \frac{kcal}{hr} \times 1 \text{ persona} = 96 \frac{kcal}{hr}$$

$$861 \frac{kcal}{hr} + 96 \frac{kcal}{hr} = 957 \frac{kcal}{hr}$$

El calor total generado por 8 personas es:

$$Q_{personas} = 957 \frac{kcal}{hr}$$

5.3.2.2 Calor generado por iluminación eléctrica (Q_{luz})

Dentro de la sala de quirófano existen 64 lámparas de 16 W por hora.

$$64 \times 16W = 1024W$$

$$1024W \times 0.86 = 880.64 \frac{kcal}{hr}$$

El calor total generado es:

$$Q_{luz} = 880.64 \frac{kcal}{hr}$$

5.3.2.3 Calor generado por máquinas ($Q_{máquinas}$)

$Q_{máquinas}$: Los equipos eléctricos y electrónicos se obtienen directamente de la tabla de especificaciones de cada equipo, siempre y cuando estén en unidades de Kcal/hr; ya que las máquinas son accionadas por motores eléctricos que emplean parte de su energía consumida en vencer rozamientos, esa energía total que toman de la línea de alimentación la transforman en calor.

Aparatos que generan calor dentro de la sala de operación:

Equipo	Calor generado
Arco en C	$1977.54 \frac{kcal}{hr}$
Computadora DELL	$249.34 \frac{kcal}{hr}$
Monitor BARCO	$55.887 \frac{kcal}{hr}$
Máquina de anestesia	$639.84 \frac{kcal}{hr}$
Electrocauterio	$602 \frac{kcal}{hr}$
Negatoscopio	$45 \frac{kcal}{hr}$
Generador electro quirúrgico	$103.17 \frac{kcal}{hr}$

El calor total generado por máquinas es:

$$Q_{máquinas} = 3672.77 \frac{kcal}{hr}$$

Sustituyendo en fórmula de Q_{int} .

$$Q_{int} = 3672.77 \frac{kcal}{hr} + 957 \frac{kcal}{hr} + 880.64 \frac{kcal}{hr}$$

$$Q_{int} = 5510.41 \frac{kcal}{hr}$$

5.3.3 Cálculo de calor total

$$Q_T = Q_{int} + Q_{ext} \quad (\text{Ecuación 24})$$

Donde:

Q_{int} = Calor interior, Q_{ext} = Calor exterior

Sustituyendo fórmula de Q_T .

$$Q_T = 5510.41 \frac{kcal}{hr} + 146.217 \frac{kcal}{hr}$$

$$Q_T = 5656.627 \frac{kcal}{hr}$$

5.4 GASTO DE AIRE

$$\varphi = \frac{Q_T}{\Delta T \times \delta \times C} \quad (\text{Ecuación 25})$$

Donde:

Q_T = Calor total (Kcal/hr)

δ = Densidad del aire (Kg/m³)

ΔT = Diferencia de temperaturas (°C)

C = Constante (0.24) (Kcal/°CKg)

Sustituyendo gasto de aire de la ecuación 25 (φ). Obtenidos los siguientes datos:

$$Q_T = 5656.627 \frac{kcal}{hr}$$

La constante $C = 0.24 \frac{kcal}{kg^{\circ}C}$

$$\delta = 0.94 \frac{kg}{m^3}$$

5.4.1 Cálculo de diferencia de temperaturas (ΔT)

Cuando los locales por acondicionar son de condiciones limpias, se puede aprovechar parte del mismo aire interior que se ha trabajado para volver a circularlo por el local, mezclándose con el aire exterior.

Este aire exterior representa el volumen necesario para la respiración de los ocupantes y el aire recirculado es el complemento total que se debe circular en el sistema. El sistema de aire acondicionado elegido será con un 100% aire de aire exterior (fig. 5.3).

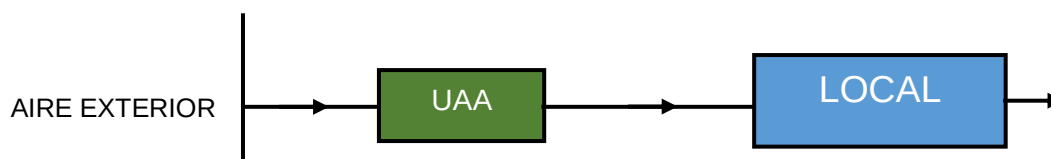


Fig. 5.3 Aire 100% del exterior
Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.3 Condiciones normales en la ciudad de Puebla
Fuente: SMN, 2018

UBICACIÓN GEOGRÁFICA					DATOS DE VERANO			
Latitud N	Longitud O	A.S.N.M. m	PRESIÓN BAROMÉTRICA		Temperatura Prom. Máx. Ext. °C	Temperatura de Cálculo °C		Grados día Anuales °C
			Mb	mm Hg		BS	BH	
19°02'	98°11'	2150	790	593	30.8	29	17	144

NOTA: Con los valores de la temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo se obtiene la humedad relativa en la carta psicrométrica de la ciudad de Puebla. (Tabla 5.3).

Condiciones interiores:

Tabla 5.4 Clasificación de Wladir Köppen

POR TEMPERATURA		POR HUMEDAD RELATIVA	
De 37°C y mayores	Muy cálidos	De 20% y menores	Semiáridos o semisecos
De 31 a 36°C	Cálidos	De 21 a 30% HR	Secos
De 26 a 36°C	Semicálidos	De 31 a 40% HR	Semihúmedos
De 21 a 25°C	Templados	De 41 a 60% HR	Húmedos
De 18 a 20°C	Semifríos	De 61 y mayores	Lluviosos

De estas dos clasificaciones anteriores (tabla 5.4): la Ubicación Geográfica, Temperatura y Humedad son utilizadas en estas normas y la integración de ambas queda como sigue en la tabla 5.5:

Tabla 5.5 Integración de zonas con temperaturas y humedades relativas
Fuente: SMN, 2018

POR TEMPERATURA	POR HUMEDAD RELATIVA	
	VERANO	INVIERNO
Zona extremosa	Cálido	Frío
Zona tropical	Cálido húmedo	18°C y mayores
Zona altiplano	Templado y cálido seco	Frío

La temperatura de la sala de operación permanece de 20°C y humedad relativa de 40%. La temperatura de bulbo seco es de 32°C y la de bulbo húmedo de 17°C, según la tabla 5.6 siguiente:

Tabla 5.6 Temperaturas de diseño para Puebla
Fuente: SMN, 2018

Lugar	Bulbo seco		Bulbo húmedo	
	°C	°F	°C	°F
Puebla	29	84	17	63

NOTA: La temperatura y la humedad relativa para el interior del quirófano son tomados de la norma de instalaciones de aire acondicionado del Seguro Social; que son las recomendadas para este tipo de locales.

Ubicar en la carta la temperatura de bulbo seco y la temperatura de bulbo húmedo será el primer paso por seguir. Con la temperatura de bulbo húmedo se seguirá una línea vertical hacia arriba hasta que se una con la línea de saturación. Localizado este punto, se trazará una línea diagonal hasta que intercepte con la temperatura de bulbo seco. Este será el primer punto en la carta que corresponderá a las condiciones exteriores.

El segundo paso por localizar son las condiciones interiores, se necesita conocer la temperatura de diseño interior y la humedad relativa, que como se mencionó, la temperatura interior es de 20°C y la humedad relativa del 40% y se seguirá el mismo procedimiento que con el punto 1.

En la carta psicrométrica (fig. 5.4) se dibujará una línea horizontal hasta la línea de saturación y obtendremos el punto tres con el que se conoce la temperatura de rocío de 6°C y la entalpía de $5.97 \frac{kcal}{kg}$.

Para calcular el punto cuatro se seguirá el siguiente procedimiento: se medirá la distancia del punto 1 (condiciones exteriores) al punto 2 (condiciones interiores) en mm y se multiplicará por el porcentaje de aire exterior, que es de 20% (Quadri, 2013).

Teniendo como origen el punto 2, se traza la distancia en la línea 1 – 2. La temperatura del punto 4 es de 21.9°C y el valor de entalpía es de $10.103 \frac{kcal}{kg}$.

$$\Delta T = T_3 - T_4$$

$$\Delta T = 21.9^\circ C - 6^\circ C$$

$$\Delta T = 15.9^\circ C$$

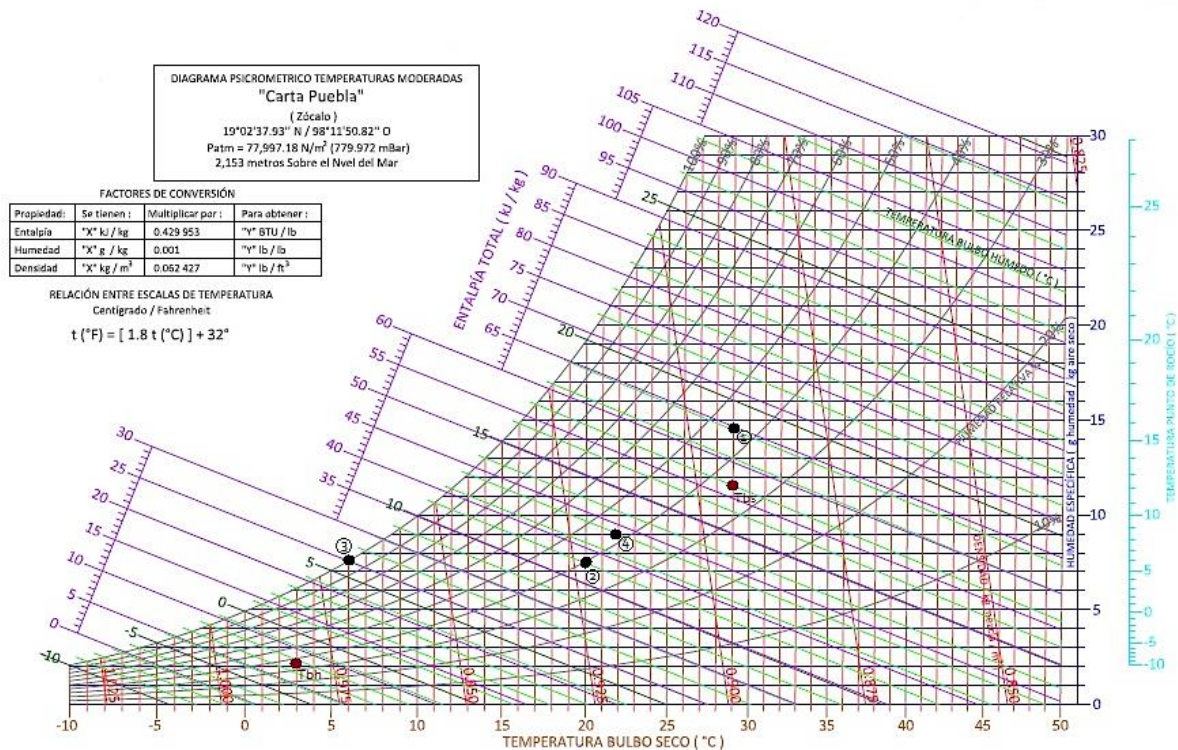


Fig. 5.4 Carta psicrométrica con puntos ubicando las diferencias de temperaturas
Fuente: Rey, 2018 y elaboración propia

Sustituyendo valores en la fórmula:

$$\varphi = \frac{5656.627 \frac{kcal}{hr}}{15.9^\circ C \times 0.94 \frac{kcal}{m^3} \times 0.24 \frac{kcal}{kg^\circ C}}$$

$$\varphi = 1576.96 \frac{m^3}{hr}$$

La potencia de refrigeración (PR) viene dada en la ecuación 26:

$$PR = \varphi \times \Delta h \times \gamma \quad (\text{Ecuación 26})$$

Donde:

φ = Gasto de aire

Δh = Diferencia de entalpía

γ = Densidad del aire

$$PR = 1576.96 \frac{m^3}{hr} \times (10.103 - 5.97) \frac{kcal}{kg} \times 0.94 \frac{kg}{m^3}$$

$$PR = 1576.96 \frac{m^3}{hr} \times 4.133 \frac{kcal}{kg} \times 0.94 \frac{kg}{m^3}$$

$$PR = 6126.52 \frac{kcal}{hr}$$

$$\text{Toneladas de refrigeración}(TR) = PR \div 3024$$

$$TR = 6126.52 \frac{kcal}{hr} \div 3024$$

$$TR = 2.025$$

5.5 DISTRIBUCIÓN DE AIRE

Para ventilar un recinto, una máquina o simplemente un espacio, ya sea impulsando aire o bien extrayéndolo, es normal tener que conectar el ventilador o extractor por medio de un conducto, una tubería, de mayor o menor longitud. El fluir del aire por tal conducto absorbe energía del ventilador que lo extrae o impulsa debido al roce con las paredes, los cambios de dirección o los obstáculos que se hallan a su paso. Se deben calcular las pérdidas de presión en sistemas de conductos para determinar la capacidad de los ventiladores, verificar el funcionamiento del sistema y balancear las cantidades de aire. La presión de aire necesaria para vencer la fricción en un conducto es la que determina el gasto de energía del ventilador (Carpio, 2013).

El aire entra en el local con velocidad y temperatura determinadas; en el local distinguiremos dos zonas (fig. 5.5):

- La zona que realmente puede ser ocupada por la gente
- El espacio que no puede ser ocupado normalmente, por ejemplo, la parte cercana del techo

Por lo que, el aire debe entrar en el local por la zona no ocupable y amortiguar la velocidad y la temperatura antes de entrar en la zona ocupable.

Los sistemas de ventilación y aire acondicionado distribuyen el aire a través de ductos a relativamente baja presión. Existen dos tipos de pérdida de energía en sistemas de ductos: pérdidas por fricción y Dispositivos de control de flujo.

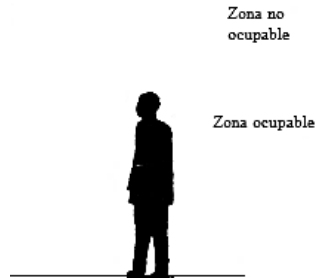


Fig. 5.5 Zona de trabajo
Fuente: Hernández, 1973

Las pérdidas por fricción pueden estimarse por medio de tablas diseñadas por parte de American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) para las condiciones típicas encontradas en el diseño de ductos. Las unidades utilizadas se describen a continuación en la tabla 5.7:

Tabla 5.7 Distribución de aire
Fuente: Mott, 1996

	Sistema ingles de unidades	Unidades sistema internacional
Velocidad de flujo	Pies/min (cfm)	m ³ /s
Pérdida por fricción h_L	Pulg de agua por 100 pies (pulg H ₂ O/100 pies)	Pa/m
Velocidad	Pies/min	m/s
Diámetro del ducto	Pulgadas	Mm
Peso específico del aire	0.075lb/pies ³	11.81 N/m ³
Rugosidad en la superficie del ducto	5×10^{-4} pies	1.5×10^{-4} m
Condiciones del aire	14.7 lb/pulg ² absolutas; 68°F	101.3 kPa; 20°C

Se define a la pérdida total de presión del sistema como la pérdida de presión total a través del trayecto del ducto que tiene las mayores pérdidas de presión. Este trayecto es con frecuencia el más largo, pero puede ser uno más corto que contenga un número considerado de conexiones con grandes pérdidas de presión. Es más sencillo trabajar con la pérdida total de presión en conductos (Pysmennyy, 2007). Esto proporciona una mejor comprensión de la misma presión total disponible en cada punto del sistema, en caso de surgir problemas.

5.5.1 Condiciones necesarias para una buena distribución de aire

5.5.1.1 Temperatura

Para mantener la temperatura dentro de límites tolerables, el sistema de distribución de aire debe estar proyectado para tal propósito. En una habitación se admite una variación máxima aproximada de 1°C entre los distintos puntos, en cambio, en un grupo de habitaciones situadas dentro de un espacio, es admisible una diferencia de 1.7°C como máxima entre ellas. Las variaciones de temperatura son generalmente más frecuentes durante la época de refrigeración.

Las variaciones son menos visibles que las fluctuaciones de temperatura. Estas fluctuaciones dependen del sistema de control de temperatura comúnmente. Pueden dar lugar a aquejas por corriente de aire cuando van acompañadas de desplazamiento de aire con las velocidades más altas dentro del intervalo de las recomendadas (Croiset, 1976).

5.5.1.2 Velocidad del aire

Se muestra a continuación las velocidades recomendables del aire en espacios acondicionados. La tabla 5.8 incluye reacciones de los ocupantes en las distintas velocidades del aire.

Tabla 5.8 Velocidades del aire recomendables para diferentes locales
Fuente: Croiset, 1976

Velocidad del aire en m/s (ppm)	Reacción	Aplicación recomendada
0 – 0.08 (0-16)	Quejas por estancamiento del aire	Ninguna
0.127 (25)	Proyecto ideal favorable	Todas las aplicaciones comerciales
0.12 – 0.25 (25-50)	Probablemente favorable, pero la máxima velocidad admisible para personas sentadas es 0.25 m/s aprox.	Todas las aplicaciones comerciales
0.33 (65)	Desfavorables – los papeles ligeros colocados en las mesas son insuflados	Laboratorios, cafeterías, cocinas, restaurantes y zona de butacas en auditorios.
0.38 (75)	Límite máximo para personas que se desplazan lentamente favorable	Laboratorios, cocinas, talleres, salones de baile y zona de gradas en gimnasios.
0.38 – 0.75 (75 – 150)	Límite máximo para personas realizando trabajo pesado o gran actividad física.	Gimnasios, talleres y cuartos de máquinas.

5.5.1.3 Alcance

Se refiere a la distancia horizontal que recorre una corriente de aire desde su boca de salida. Este alcance está dado por la distancia medida desde la boca de salida hasta un punto donde

la velocidad del aire alcanza un valor mínimo definido, 0.25 m/s, inhibido a 2.1 metros por encima del suelo.

La distancia de propulsión es proporcional a la velocidad de aire primario y a su salida de la boca de impulsión, siendo independiente de la diferencia entre la temperatura del aire suministrado y la del aire de la habitación (Quadri, 2013).

5.5.1.4 Caída

Es la distancia vertical que el aire se desplaza desde la boca de salida hasta la trayectoria de propulsión final (Quadri, 2013).

5.5.1.5 Inducción

Es el arrastre de aire que procede del espacio a enfriar por el aire impulsado por la boca de salida, dependiente de la velocidad del aire de impulsión. Se denomina aire primario al aire que llega directamente de la boca de impulsión. El aire secundario es aquel que será aspirado y arrastrado a lo largo de la trayectoria del aire primero.

El alcance depende de la cantidad de inducción que se produce, ya que la distancia de propulsión es función de la velocidad, y el decremento de la velocidad en la unidad de tiempo depende de la relación de inducción. La cantidad de inducción desde una boca de impulsión es una función directa del perímetro de la sección recta de la corriente del aire primario.

De dos bocas de impulsión de la misma área, la de mayor perímetro tiene mayor inducción y, por lo tanto, su alcance es más corto.

Con un caudal de aire dado y descargado a una presión dado en un local, se obtiene la mínima inducción y el máximo alcance mediante una sola boca de salida de sección recta circular (Quadri, 2013). Contrariamente, con una zona boca de salida (larga y estrecha) se obtiene la distancia de propulsión más corta y una mayor inducción.

5.5.1.6 Difusión o dispersión

Es el ángulo de divergencia de la corriente de aire que se origina al salir de la boca de impulsión y se mide en grados. A la divergencia en el plano horizontal se le llama dispersión horizontal, mientras que a la divergencia en el plano vertical se le conoce como dispersión vertical (Quadri, 2013).

5.5.2 Cálculo de ductos

Para calcular los ductos y específicamente pérdida de presión que existe a través de ella se realizan los siguientes pasos (Hernández, 1997):

1. Se debe conocer el gasto de aire, calculado previamente mediante el balance térmico.
2. Se selecciona la velocidad adecuada, conociendo que en la instalación industrial o de confort se consideran velocidades de 3 a 6 m/s y en instalaciones industriales de 8 a 12 m/s. Para el caso de este estudio se considerará una velocidad de 4 m/s.
3. Se aplica la siguiente fórmula (ecuación 27) de continuidad:

$$\varphi = A \times V \quad (\text{Ecuación 27})$$

Donde:

$$\varphi = \text{Gasto de aire } \left(\frac{m^3}{hr}\right)$$

$$V = \text{Velocidad del aire } \left(\frac{m}{seg}\right)$$

$$A = \text{Sección transversal por donde circula el aire } (m^2)$$

4. Se realiza una tabla de cálculo considerando los resultados obtenidos de pasos anteriores.

Cálculo de ductos rectos:

Gasto de aire calculado mediante balance térmico:

$$\varphi = 1576.96 \frac{m^3}{hr} = 0.438 \frac{m^3}{seg}$$

Para el cálculo del gasto de aire en la salida se usará:

$$\varphi = A \times V \therefore A = \frac{\varphi}{V}$$

De donde:

$$\varphi = 0.438 \frac{m^3}{seg}$$

$$V = 4 \frac{m}{seg}$$

Conociendo el gasto y la velocidad, se procede a calcular el área que tendrán los ductos a utilizar. Sustituyendo:

$$A = \frac{0.438 \frac{m^3}{seg}}{4 \frac{m}{seg}}$$

$$A = 0.1095m^2$$

Es necesario contar con una gráfica para cálculo de caídas (fig. 5.6), en esta se resumen las pérdidas de presión por metro lineal para diferentes volúmenes y velocidades.

La caída de presión viene dada por la ecuación 28:

$$\Delta P = Ro \times L \quad (\text{Ecuación 28})$$

Donde:

Ro = Caída de presión por metro lineal

L = Longitud del ducto en metros

Entonces:

Para el cálculo de Ro :

$$\varphi = 1576.96 \frac{m^3}{hr} \quad Y \quad V = 4 \frac{m}{seg} \quad \text{se busca en la Fig. 5.4}$$

$$Ro = 0.06 \text{ mmca}/m$$

Para el cálculo de L se hace un diseño aproximado de la instalación del ducto recto:

$$L = 9.5 \text{ m}$$

Sustituyendo:

$$\Delta P = Ro \times L$$

$$\Delta P = (0.06 \text{ mmca}/m)(9.5m)$$

$$\Delta P = 0.57 \text{ mmca}$$

Hay que recordar que esta esta expresión es solo válida para tramos rectos y en el caso de conexiones la ΔP se calcula mediante la ecuación 29 y viene relacionada con la ecuación 30:

$$\Delta P = \zeta \times Pd \quad (\text{Ecuación 29})$$

Donde:

ζ =Factor de pérdidas de presión de la pieza

Pd = Presión dinámica del aire en la pieza

Siendo:

$$Pd = V^2 \times \frac{\gamma}{2g} \quad (\text{Ecuación 30})$$

γ = Densidad del aire = $1.24 \frac{kg}{m^3}$ a nivel del mar

$$g = \text{Gravedad} = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

No es necesario, en muchos casos, calcularlos porque los fabricantes incluyen tablas con datos anteriores. En los siguientes gráficos se encuentran todos los datos para el cálculo de la caída, comprendiendo todas las secciones rectas y elementos como codos, reducciones y ramificaciones.

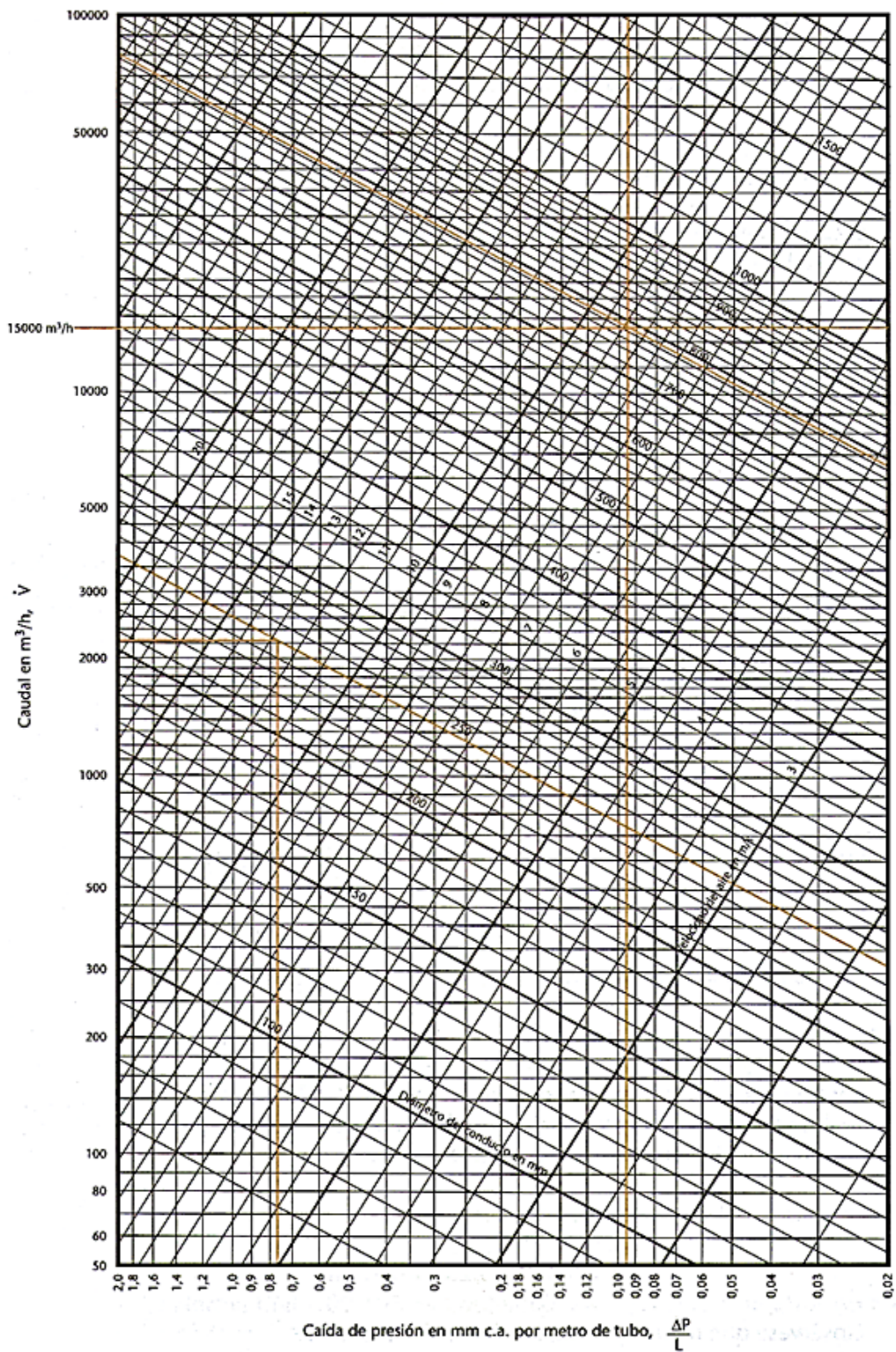


Fig. 5.6 Diagrama de rozamiento para tubos lisos
Fuente: Hernández, 1973

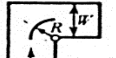
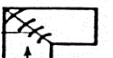
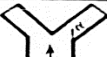
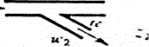
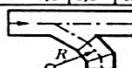
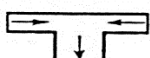
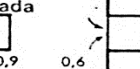
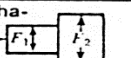
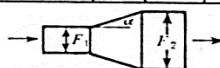
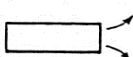
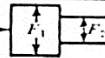
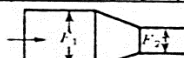
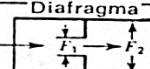
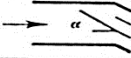
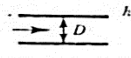
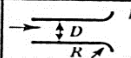
Codo  $R/D = 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2$ $\zeta = 0.9, 0.43, 0.33, 0.24, 0.19, 0.15$	3  $R/D = 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2$ 3 Segm. $\zeta = 1.3, 0.8, 0.5, 0.3, 0.25$ 5 Segm. $\zeta = 1.1, 0.6, 0.4, 0.25, 0.2$	2 Chapa direct. (alabe)  $R/W = 0.5, 0.75, 1, 2$ $W_1/W = 0.25, \zeta = 0.4, 0.25, 0.2, 0.1$ $W_1/W = 0.5, \zeta = 0.5, 0.3, 0.2, 0.1$																																																																	
 $h/b = 0.25, 0.5, 1.0, 2.0$ $\zeta = 2.1, 1.7, 1.2, 0.6$	5  $R/W = 0.5, 0.75, 1, 1.5, 2$ $\zeta = 1.4, 0.7, 0.6, 0.7, 1.1$	6 Chapas direct. (alabes)  $L/D = 0.35$ Perfit $\zeta = 0.1$																																																																	
Bifurcación  $\zeta = 1.4$	8  $R/W = 0.5, 0.75, 1, 1.5, 2$ $\zeta = 1.1, 0.6, 0.4, 0.25, 0.2$ $\zeta = 1.0, 0.5, 0.25, 0.15, 0.1$	9  $\alpha = 10, 30, 45, 60, 90^\circ$ $\zeta = 0.1, 0.3, 0.7, 1.0, 1.4$																																																																	
Derivación  $W_2/W_1 = 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 2.0, 3.0$ $\alpha = 60^\circ, 5.0, 2.2, 1.3, 0.8, 0.5, 0.6$ $\alpha = 45^\circ, 3.5, 1.3, 0.7, 0.4, 0.4, 0.5$	11  $R/D = 0.5, 0.75, 1, 1.5, 2$ $\zeta = 1.3, 0.9, 0.8, 0.6, 0.5$	12  $\zeta = 1.4$																																																																	
Abertura de entrada  $\zeta = 0.9, 0.6$ $\zeta = 1.25, 0.7$	14  $R/D = 0.25, 0.5, 0.75, 1.0$ $\zeta = 0.2, 0.1, 0.05, 0.05$	15  $\alpha = 15, 30, 45, 60, 90^\circ$ $\zeta = 0.5, 0.3, 0.3, 0.4, 0.7$																																																																	
Ensanchamiento  $F_1/F_2 = 0, 10, 20, 40, 60, 80, 1.0$ $\zeta_1 = 1.0, 0.7, 0.4, 0.2, 0.1, 0$	17  $\alpha = 5, 7.5, 10, 15, 22.5, 30, 45, 90^\circ$ $\zeta_1 = 0.15, 0.2, 0.25, 0.4, 0.6, 0.8, 0.9, 1$	18  $\zeta = 1.0$																																																																	
Estrechamiento  $F_2/F_1 = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ $\zeta_2 = 0.6, 0.45, 0.3, 0.2, 0.1, 0$	20  $\zeta_2 = 0.1$	21 Diafragma  $F_1/F_2 = 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4$ $\zeta = 0.06, 0.28, 0.78, 1.82, 3.8, 8.1$																																																																	
 $\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ $\zeta = 1, 1.5, 3.5, 8$	23  $h/D = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ $\zeta = 1.6, 1.2, 1.05, 1.0$	24  $R/D = 0.5$ $h/D = 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ $\zeta = 0.7, 0.4, 0.7, 0.8, 0.8, 0.8$																																																																	
Rejilla (estampada)																																																																			
<table> <tr> <th>Sección libre en %</th><th>10</th><th>20</th><th>30</th><th>40</th><th>50</th><th>60</th><th>70</th><th>80</th><th></th></tr> <tr> <td>ζ con $v = 0.5$ m/s</td><td>110</td><td>30</td><td>12</td><td>6</td><td>3.6</td><td>2.3</td><td>1.8</td><td>1.4</td><td rowspan="6">Con telas metálicas se toma para ζ aprox. la mitad de estos valores.</td></tr> <tr> <td>ζ con $v = 1.0$ m/s</td><td>120</td><td>33</td><td>13</td><td>6.8</td><td>4.1</td><td>2.7</td><td>2.1</td><td>1.6</td></tr> <tr> <td>ζ con $v = 1.5$ m/s</td><td>128</td><td>36</td><td>14.5</td><td>7.4</td><td>4.6</td><td>3.0</td><td>2.3</td><td>1.8</td></tr> <tr> <td>ζ con $v = 2.0$ m/s</td><td>134</td><td>39</td><td>15.5</td><td>7.8</td><td>4.9</td><td>3.2</td><td>2.5</td><td>1.9</td></tr> <tr> <td>ζ con $v = 2.5$ m/s</td><td>140</td><td>40</td><td>16.5</td><td>8.3</td><td>5.2</td><td>3.4</td><td>2.6</td><td>2.0</td></tr> <tr> <td>ζ con $v = 3.0$ m/s</td><td>146</td><td>41</td><td>17.5</td><td>8.6</td><td>5.5</td><td>3.7</td><td>2.8</td><td>2.1</td></tr> </table>			Sección libre en %	10	20	30	40	50	60	70	80		ζ con $v = 0.5$ m/s	110	30	12	6	3.6	2.3	1.8	1.4	Con telas metálicas se toma para ζ aprox. la mitad de estos valores.	ζ con $v = 1.0$ m/s	120	33	13	6.8	4.1	2.7	2.1	1.6	ζ con $v = 1.5$ m/s	128	36	14.5	7.4	4.6	3.0	2.3	1.8	ζ con $v = 2.0$ m/s	134	39	15.5	7.8	4.9	3.2	2.5	1.9	ζ con $v = 2.5$ m/s	140	40	16.5	8.3	5.2	3.4	2.6	2.0	ζ con $v = 3.0$ m/s	146	41	17.5	8.6	5.5	3.7	2.8	2.1
Sección libre en %	10	20	30	40	50	60	70	80																																																											
ζ con $v = 0.5$ m/s	110	30	12	6	3.6	2.3	1.8	1.4	Con telas metálicas se toma para ζ aprox. la mitad de estos valores.																																																										
ζ con $v = 1.0$ m/s	120	33	13	6.8	4.1	2.7	2.1	1.6																																																											
ζ con $v = 1.5$ m/s	128	36	14.5	7.4	4.6	3.0	2.3	1.8																																																											
ζ con $v = 2.0$ m/s	134	39	15.5	7.8	4.9	3.2	2.5	1.9																																																											
ζ con $v = 2.5$ m/s	140	40	16.5	8.3	5.2	3.4	2.6	2.0																																																											
ζ con $v = 3.0$ m/s	146	41	17.5	8.6	5.5	3.7	2.8	2.1																																																											

Fig. 5.7 Coeficiente de resistencias unitarias en corriente de aire
Fuente: Hernández, 1973

Ro/m : En la fig. 5.6 se busca el gasto y la velocidad $v = 4 \frac{m}{seg}$ y se concentran en la tabla 5.9.

Tabla 5.9 Conjunto de codos y reducciones

Zonas	Φ $\frac{m^3}{hr}$	Φ $\frac{m^3}{s}$	V $\frac{m}{s}$	A m^2	$b \times h$ m	Ro/m mmca	Long m	$Ro \times m$ mmca	Pd	ζ	ΔP
φ_1	1576.76	0.438	4	0.1095	0.548×0.2	0.06	1	0.06	1.011	0.43	0.43473
φ_2	1051.17	0.292	4	0.073	0.365×0.2	0.08	2.16	0.037	1.011	0.4	0.4044
φ_3	525.58	0.146	4	0.0365	0.183×0.2	0.13	2.16	0.06	1.011	0.3	0.3033

Cálculo de codos:

Se utiliza la fórmula $\frac{R}{D}$ de la sección CODO en la ilustración 22.

Codo		1						
		$R/D = 0.5$	0.75	1.0	1.5	2	3	4
ζ		-0.9	0.43	0.33	0.24	0.19	0.17	0.15

Conociendo que $D = 548$ se redondeará a $D = 550$

Calculando R:

$$R = 550 \times 0.25 = 138 + (550 \div 2) = 413$$

$$\frac{R}{D} = \frac{413}{550} = 0.75$$

Este valor se busca en los valores de CODO y se tiene $\zeta = 0.43$

$$\Delta P = P_d \times \zeta$$

$$\Delta P = (1.011)(0.43) = 0.4347$$

Secciones	Piezas	mmca	Total
Codos 90°	3	0.43473	1.30419 mmca
Reducciones	3	0.4044	1.2132 mmca
Difusores	3	0.3033	0.9099 mmca

CAPÍTULO 6: SELECCIÓN DEL EQUIPO

Ya realizados los cálculos de las cargas, así como los de caída de presión se puede seleccionar el equipo a utilizar en este sistema.

El equipo que conforma este sistema de aire consta de una unidad condensadora, evaporador y ventilador; solo utiliza aire cuya proporción es de 20% aire exterior y 80% aire de retorno.

Pero, un cuarto no puede llamarse “limpio” hasta que esté ausente de partículas contaminantes, así que para evitar la contaminación de aire se utilizan aditamentos conocidos como “filtros”.

6.1 FILTROS

El área de quirófanos debe ser un área completamente limpia debido al tan delicado trabajo que se realiza en este tipo de locales, en donde se debe contar con un ambiente libre de cualquier tipo de contaminante, puesto que los pacientes en el momento de la cirugía se encuentran expuestos totalmente a ser infectados por virus o bacterias que ponen en riesgo su salud (Whitman, 2000).

Por tal motivo la norma del Instituto Mexicano del Seguro Social ha puesto especial atención en este punto, y ha determinado que el aire se debe hacer pasar por un sistema de filtrado compuesto de tres tipos de filtros para así garantizar la pureza del aire hasta un 99.98% estos tipos de filtros son los siguientes:

- Filtros metálicos eficiencia de 30% Norma ASHRAE 52-1-92.
- Filtros de bolsa eficiencia de 60% Norma ASHRAE 52-1-92.
- Filtros absolutos eficiencia de 99.997% Norma ASHRAE 52-1-92.

Se deben considerar los siguientes puntos para la evaluación de un filtro para una aplicación en particular:

- Grado y tipo de limpieza
- Cantidad y tipo de polvo
- Resistencia de flujo de aire
- Espacio disponible
- Costo inicial de mantenimiento

La función principal de los filtros de aire acondicionado es prevenir la entrada de partículas y microorganismos indeseables al espacio limpio, esta es una labor fundamental en espacios en la cual la calidad del aire tiene mucho que ver con la salud humana (Whitman, 2000).

La aerotransportación de partículas como polen, bacterias, microorganismos vivos y muertos, arenas de mar, polvos y residuos industriales (carbón, vapores químicos, partículas sólidas) ocurren de manera natural. Muchas de estas partículas y especialmente aquellas con tamaños superiores a los 5 μm , se precipitan fácilmente depositándose sobre objetos y personas que se encuentran en el lugar.

Los filtros son dispositivos diseñados para disminuir la concentración de las partículas que se encuentran suspendidas en el aire (Whitman, 2000). El tipo de filtro a utilizar dependerá de la calidad del aire que se requiera filtrar, de tal manera que podemos no solamente separar finísimas partículas de polvo y de gases sino también detener bacterias de determinados tamaños. Algunas de sus características operacionales son:

- **Eficiencia:** Mide la habilidad de un limpiador para remover partículas de la corriente de aire.
- **Resistencia al flujo de aire:** Es la caída de presión estática a través de un filtro en un flujo de aire determinado.
- **Capacidad de polvos:** Es el efecto de las cargas de polvo sobre rendimiento de filtro.

El uso del aire acondicionado tiene dos aplicaciones que son: mantener la comodidad del ser humano y controlar un proceso industrial.

6.1.1 Rendimiento de los filtros

Las condiciones que deben mantenerse en un proceso industrial dependen de la naturaleza de este o de los materiales que se manejan, mientras que, en un sistema para la comodidad humana, las condiciones son dictadas por las demandas del cuerpo y, por lo tanto, es necesario conocer las funciones esenciales para saber lo que es requerido de un sistema para el acondicionamiento del aire (Tricomi, 1986).

Las necesidades básicas para una instalación de aire acondicionado son pues, equipo fácilmente accesible, simplicidad de diseño y facilidad de instalación.

Hay métodos por los cuales se puede medir el rendimiento y la capacidad de los filtros de aire se describirán tres (tabla 6.1):

- **Arrestancia:** Expresa el término del limpiador en términos de peso de las partículas extraídas con relación al peso del aire total.
Prueba sintética de polvo: 72% polvo fino de prueba, 23% carbón pulverizado, 5% pelusas de algodón.
Útil para evaluar filtros de eficiencia media.
- **Marcha de polvo atmosférico:** Se especifican los filtros en términos de la opacidad relativa de las manchas resultantes en el papel de filtro que atraviesa el aire.
Se utiliza para valorar los dispositivos de limpieza de alto rendimiento.
- **Ensayo Di-Octil-Dtalato (DOP):** Mide el rendimiento del filtro en función de la tendencia de dispersión de la luz.

Tabla 6.1 Grados de eficacia de los métodos de prueba
Fuente: Whitman, 2000

Gama de la eficacia	Tamaño de las partículas típico conservado por filtro
Arrestancia	10 micrones La partícula más pequeña visible al ojo humano
Mancha de polvo	1.5 micrones
DOP - HEPA	0.3 micrones

6.2 TIPOS DE FILTROS

Existen diversas formas de clasificar a los sistemas de aire acondicionado. Es posible encontrar clasificaciones que tienen en cuenta el grado de centralidad, el tipo de expansión o el sistema, por nombrar algunas (Tricomi, 1986). A continuación, se dividirá en dos grandes grupos:

6.2.1 Prefiltros

Colocados a la entrada de aire exterior y de retorno. Son filtros de panel con alta porosidad, están recubiertos de una sustancia viscosa que provoca que las partículas contaminantes de adhieran a ellos.

La función principal de este filtro es la de atrapar impurezas de tamaño considerable, lo que ocasiona que se sature constantemente debido al tamaño de las impurezas recolectadas y necesite se cambiado regularmente. Tienen una gran capacidad de retención de polvo, pero baja eficiencia.

6.2.2 Filtros tipo bolsa

Para el caso de la filtración por bolsa, está indicada para aquellas aplicaciones en que los fluidos tienen grandes concentraciones de contaminantes, o que tienen grandes viscosidades, necesitándose una filtración de fácil uso, que admita grandes caudales y con un coste muy bajo (Cooper, 2002. Pág. 347).

Esta filtración consiste en hacer circular el líquido a filtrar a través de una bolsa filtrante que se encuentra alojada en una porta bolsas, quedando los contaminantes retenidos en esta.

Las bolsas pueden elegirse entre una amplia variedad de tamaños y materiales de construcción (polipropileno, poliéster) aprobados por la FDA y con un amplio rango de filtración que se adaptan a cualquier aplicación a considerar. (Tabla 6.5).

Este tipo de porta bolsas están disponibles en aleaciones especiales como: acero inoxidable, acero al carbono y materiales polímeros, y con diferentes tamaños, desde equipos de una bolsa a equipos multibolsa.

*Tabla 6.2 Filtro de superficie extendida
Fuente: Whitman, 2000*

Filtros de bolsa		
Usos y aplicaciones	Código de color para identificar su eficacia	
– Sistemas HVAC – Hospitales – Sala de cómputo – Industria alimenticia	Color	Eficiencia
	Amarillo	90 – 95%
	Rosa	80 – 85%
	Anaranjado	60 – 65%
	Amarillo/crema	40 – 45%

6.2.3 Filtro HEPA (high efficiency particulate air)

El filtro HEPA es un filtro de alta eficiencia en el control de partículas suspendidas y tiene un diseño específico para proteger el sistema respiratorio del ser humano ya que anteriormente, en la segunda guerra mundial, fue desarrollado para remover y capturar partículas de polvo radioactivas en laboratorios de investigación donde pudieran afectar a los investigadores.

Debido a su alto nivel de eficiencia son conocidos también como filtros “absolutos”.

Los filtros HEPA actualmente son reconocidos por la Environmental Protection Agency (EPA) como el método para limpiar el aire “más reciente y eficiente”; ya que ya que con una eficiencia del 99.97% retiene y filtra las partículas del aire desde 0.3 micras.

Es importante el reemplazo constante de los prefiltros de fibra de vidrio y de carbón activado para preservar la vida útil de estos filtros (Whitman, 2000).

6.3 CALCULOS Y SELECCIÓN DE FILTROS

Caída de presión del sistema sin filtros:

$$\varphi = 1576.96 \frac{m^3}{hr} = 0.438 \frac{m^3}{seg}$$

$$\Delta P = 4.184 \text{ mmca}$$

Para la selección práctica de los filtros utilizando los catálogos se seleccionará primero el filtro absoluto.

6.3.1 Filtros HEPA

Como los m^2 de filtrado aumentarán, se recalcula la velocidad de paso:

$$V = 0.343 \frac{m}{seg} \text{ Con un filtro} \quad \varphi = A \times V \therefore A = \frac{\varphi}{V}$$

$$A = \frac{0.438 \frac{m^3}{seg}}{0.343 \frac{m}{seg}} = 1.277 m^2$$

Debido a que son tres filtros, uno por cada rejilla, se dividirá la velocidad entre el número de filtros.

$$\frac{1.277 m^2}{3} = 0.425 m^2$$

Se selecciona el modelo del filtro FDV-5 de la marca VECO, línea Vecoflow "FDV". Que tiene una capacidad de operación de $2718.7 \frac{m^3}{hr}$; Y con dimensiones de $59.39 \text{ cm} \times 49.20 \text{ cm} \times 29.21 \text{ cm}$.

$$\Delta P = 0.65 \text{ pulg c. a.} = 16.51 \text{ mm c. a. Filtro limpio}$$

$$\text{Factor de conversión de pulgadas a mm} = 25.4$$

$$\Delta P = 1.20 \text{ pulg c. a.} = 30.48 \text{ mm c. a. Filtro sucio}$$

Utilizando los datos calculados anteriormente en el filtro absoluto, se procede a buscar en otros catálogos que se cumpla con la capacidad requerida para el gasto de aire y con las dimensiones del prefiltro.

6.3.2 Filtro de bolsa

Se selecciona el modelo de filtro AV-85-1000-R marca VECO, línea Vecoflow “AV”, con una capacidad de operación de $1670 \frac{m^3}{hr}$; con dimensiones de $60.96 \text{ cm} \times 53.34 \text{ cm} \times 30.48 \text{ cm}$.

$$\Delta P = 0.30 \text{ pulg c. a.} = 7.62 \text{ mm c. a. Filtro limpio}$$

$$\Delta P = 0.80 \text{ pulg c. a.} = 20.32 \text{ mm c. a. Filtro sucio}$$

6.3.3 Prefiltro deacrílico

Se selecciona el modelo de filtro J-120-2 de la marca VECO línea “J” con una capacidad de operación de $2110 \frac{m^3}{hr}$; con dimensiones de $120 \text{ cm} \times 120 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$.

$$\Delta P = 0.50 \text{ pulg c. a.} = 12.7 \text{ mm c. a.}$$

$$\text{Total mm c. a.} = 30.48 + 20.32 + 12.7 = 63.5$$

6.4 SERPENTÍN

El más común de los componentes para transferencia de calor es el serpentín, está formado por una serie de tubos, a través de los cuales circula un refrigerante, agua fría, salmuera, agua caliente o vapor.

El aire es inducido o forzado a pasar por entre los tubos, y al estar en contacto con la superficie del serpentín, dependiendo de la temperatura del fluido dentro de los tubos, se calienta, se enfría o se enfría y se deshumidifica al mismo tiempo. A su vez, el fluido dentro de los tubos se enfría o se calienta.

La cantidad de calor transferido y el calor de desvío (FD) del serpentín, va en función de su superficie, así como de la velocidad del aire (Wirz, 2008); es decir, está en función del tiempo que el aire esté en contacto con la superficie del serpentín al pasar a través de él.

Para la selección del evaporador se utilizan los siguientes datos:

Gasto total del sistema:

$$\varphi = 1576.96 \frac{m^3}{hr} = 0.438 \frac{m^3}{seg}$$

$$\frac{0.438 \frac{m^3}{seg}}{2 \frac{m}{seg}} = 0.219 m^2$$

Dimensiones:

B	H	
500mm	500mm	Caja
470mm	500mm	Serpentín

Potencia de refrigeración:

$$\varphi_T = 1576.96 \frac{m^3}{hr} = 2.025 TR \approx 2TR$$

Para la selección de serpentines es importante recordar que la velocidad de paso no debe ser mayor a 600 PPM. Se calcula:

$$1PPM = 0.005 \frac{m}{s} \therefore 600PPM \times \frac{0.005 \frac{m}{s}}{1 PPM} = 3 \frac{m}{s}$$

Con los datos anteriores se busca un serpentín en un catálogo que cumpla con las especificaciones antes calculadas. Y se encuentra el modelo CNPVP4217A#A de la serie C en el catálogo CNPVP, CNPVT, CNPVU, CNRVU Evaporator Coil de la marca Carrier. Se obtienen los siguientes datos:

$$Capacidad\ de\ enfriamiento: 1000 \frac{pies^3}{min} a 24\ 000\ BTU$$

Se convierte el gasto a pies cúbicos por minuto para comprobar que cumple con la capacidad:

$$\varphi = 1576.96 \frac{m^3}{hr} = 26.26 \frac{m^3}{min}$$

$$1 \frac{m^3}{min} = 35.31 \frac{pies^3}{min} \therefore 26.26 \frac{m^3}{min} \times \frac{35.31 \frac{pies^3}{min}}{1 \frac{m^3}{min}} = 927.24 \frac{pies^3}{min}$$

$$1 TR = 10\,000 BTU$$

Caída de presión:

$$0.17 \text{ pulg c. a.} = 4.318 \text{ mm c. a. Filtro limpio}$$

$$0.22 \text{ pulg c. a.} = 5.588 \text{ mm c. a. Filtro limpio}$$

6.5 VENTILADOR

Al seleccionar el ventilador, se debe tomar en cuenta el flujo que debe de otorgar y la caída de presión que genera por la ductería, la suma de los filtros y el serpentín.

		ΔP (mmca)
Ductos rectos		0.57
Codos		1.30419
Reducciones		1.2132
Difusores		0.9099
Σ		3.99729
Filtros	Acrílico	13
	Bolsa	21
	Absoluto	31
Serpentín		6
Σ		74.99729

Se aumenta el factor de seguridad del 10% a la caída de presión.

$$74.99729 \times 1.10 = 82.49 \text{ mmca}$$

Se sabe que:

$$\varphi = 1576.96 \frac{m^3}{hr} \text{ y } \delta = 0.94 \frac{kg}{m^3}$$

Teniendo estos datos anteriores, se elige del catálogo de ventiladores el modelo BDB 315 con característica de ventilador centrífugo de doble aspiración de la marca Soler&Palau, con las especificaciones siguientes:

$$\eta = 60\% , HP_1 = 0.85$$

Conociendo que:

$$HP_1 = 0.85$$

$$\delta_1 = 1.2 \frac{kg}{m^3}$$

$$\delta_2 = 0.94 \frac{kg}{m^3}$$

Para comprobar:

$$\frac{HP_1}{HP_2} = \frac{\delta_1}{\delta_2} \rightarrow HP_2 = \frac{HP_1 \delta_2}{\delta_1}$$

Sustituyendo:

$$HP_2 = \frac{0.85 HP \times 0.94 \frac{kg}{m^3}}{1.2 \frac{kg}{m^3}} = 0.66 \rightarrow 1 HP / 2 HP$$

6.5.1 Diámetro de la polea del ventilador con respecto al motor

La necesidad de calcular este diámetro es debido a que las revoluciones por minuto del ventilador deben ser las correctas para que se dé el gasto requerido, se logra a través de una polea en el ventilador.

$$\phi_1 = \text{Diámetro polea del motor}$$

$$\phi_2 = \text{Diámetro polea del ventilador}$$

$$RPM_1 \times \phi_1 = RPM_2 \times \phi_2$$

$$\phi_2 = \frac{RPM_1 \times \phi_1}{RPM_2}$$

CONCLUSIONES

Los sistemas de aire forman parte de la formación del ingeniero mecánico eléctrico ya que incorpora conocimientos de termodinámica, refrigeración, mecánica de fluidos y circuitos eléctricos que son fundamentales para llevar a cabo un proyecto de esta magnitud que implica tener mucho cuidado debido a las aplicaciones de un hospital y para lograr una condición de confort en los ocupantes del lugar acondicionado.

El presente proyecto llevado a cabo en la ciudad de Puebla es una aplicación de las muy diversas que se pueden dar en los proyectos de aire acondicionado, la distribución, equipos, cálculo de cargas térmicas y balances que se hicieron en la presente tesis y que se dieron lugar en un hospital para el área de quirófanos también es el mismo para una habitación convencional.

Se consideran aspectos diferentes en una sala de operación respecto al suministro y filtración del aire, como la superficie lisa de las paredes para no albergar polvo, el tipo de piso para no producir estática y su porosidad para evitar el mínimo alojamiento de contaminantes; puertas herméticas para evitar la salida de aire limpio y entrada de aire no tratado, preferentemente deben ser dos par que permita a la entrada y salida un mejor cierre y evite pérdidas de aire limpio o contaminación de este. La ropa del personal debe usar: ropa de algodón que haya sido lavada y esterilizada, tapabocas, gorro y botas que cubran el calzado. Al terminar el uso de la sala debe ser limpiada completamente.

La selección de equipos se llevó a cabo a partir del balance térmico y posteriormente llevándolos a la carta psicrométrica que nos dio los datos para calcular los equipos necesarios para acondicionar esta área.

La “instalación” que se presentó requirió de un sistema de filtración por medio de un banco de filtros adecuados para llevar a cabo la limpieza del aire a suministrar. Se requirieron tres tipos de filtros para llevar a cabo la limpieza según la norma que son el metálico, el de bolsa y el filtro absoluto, logrando de esta manera la calidad del aire exigida.

REFERENCIAS

- Anónimo. (2016). Tipos de compresores de aire acondicionado. Recuperado el día 27 de septiembre de 2019. De *Aire Acondicionado* Sitio web: http://www.aire-acondicionado.com.es/tipos-de-compresores_de_aire_acondicionado/#Tipos-de-compresores-de-aire-acondicionado-segun-su-funcionamiento-Tecnologia.
- Archundia, A. (2001). *Educación quirúrgica para el desarrollo de la salud*. México: Méndez editores.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2005). *En Instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales*. Madrid, España.
- Bonilla J. (2005 enero). *Propuesta de selección de un sistema de aire acondicionado para los quirófanos del hospital policlínico Roma del Instituto Salvadoreño del Seguro Social*. Tesis de Ingeniería Mecánica no publicada. Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador.
- Borrego, G., Morales, A., Domínguez, A. & Toca, A. (1999). *Normas de diseño de Ingeniería Electromecánica*. (29ª ed.) México: Geodiseño-Gráfico.
- Botero, C. (2008). Cuartos limpios, instalaciones en crecimiento. De *Mundo HVACR*. Recuperado el día 12 de diciembre de 2019. Sitio web: <https://www.mundohvacr.com.mx/2014/11/cuartos-limpios-instalaciones-en-crecimiento/>.
- Bustamante, L., Restrepo, N. & Vélez, M. (2007). *Normas y procesos técnicos en el quirófano*. En Manual para personal de enfermería. Colombia: Universidad Antioquia.
- Carrier Air Conditioning Company. (1999). Manual de aire acondicionado. (5.ª ed.) España: Marcombo.
- Carpio, J., Vicente, J., Guirado, R. & Del Valle, J. (2013). *Alimentación de cargas críticas y calidad de la energía eléctrica*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Chamarro, M. & Esplugas, S. (2005) *Fundamentos de transmisión de calor*. España: Universitat de Barcelona.
- Clausius, R., Carnot, S., William, B. & Kelvin, T. (1899). *The second law of thermodynamics: Memoirs*. Alemania: Nabu Press.
- Croiset, M. (1976). *Humedad y temperatura en los edificios*. Condensaciones y confort térmico de verano y de invierno. España: Editores técnicos asociados.
- Dalton, J. & Thackray, A. (1972). *Critical Assessment of his life and science*. EUA. Harvard University Press.
- Desconocido. (s.f.). Conceptos básicos de Refrigeración. De *Clima – Control*. Recuperado el día 8 de septiembre de 2019. Sitio web: http://www.asoc.egresados.efn.uncor.edu/archivos/Sist_AA_1_mod_Conceptos_Basicos_y_Equipos.pdf

- Desconocido. (2012). CNPVP, CNPVT, CNPVU, CNRVU. *Bobina evaporadora*. Recuperado el día 1 de diciembre del 2019. Sitio web: <https://www.carrier.com.mx/content/commercial/serpentines/31.pdf?time=116dca1b26b6175eb4dec96330790ec3>.
- Dossat, J. (2001). *Principios de refrigeración*. México: CECSA.
- Einstein, A. (1907). «Die Plancksche Theorie der Strahlung und die Theorie der spezifischen Wärme». Alemania. *Annalen der Physik*.
- Elvira, J., Contreras, A., & Albicker, C. (2012). Meteorología. *Programa de Gestión de Calidad del Aire 2012-2020 del Estado de Puebla, 1*, pp. 49-51. Recuperado el 26 de agosto de 2019. México: Base de Datos De Dirección de Calidad del Aire y Cambio Climático.
- Ficha técnica. *Filtros para Aire*. (2011). Recuperado el 3 de octubre de 2019. De <http://www.casiba.com.ar/filtros-para-aire/files/2013/01/FIPOL.pdf>.
- Figuera, D. (1970). *Diseño de quirófanos*. Barcelona: De Asociación para el desarrollo hospitalario del distrito universitario.
- Flores, J. (2005). *Humedad en la atmósfera*. 2019, de UAAAN. Recuperado el 10 de agosto de 2019. En sitio web: <http://www.uaaan.mx/~jaflores/humedad/humedad.pdf>
- García, F. (2005). *La tesis y el trabajo de tesis*. México: Limusa.
- Gómez, C. & Urecelay, R. (1996). *Manual de diseño de calefacción, ventilación y aire acondicionado*. De manuales McGraw-Hill de Ingeniería y Ciencia. México. McGraw-Hill Interamericana.
- Hernández, E. (1973). *Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración*. México. Limusa.
- Infraestructura Educativa. (2014). Instalaciones de Aire Acondicionado. *Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones*, 5, pp. 3-10.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Gobierno de Puebla. (2017). Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos. En *Anuario estadístico y geográfico de Puebla, 317.2*, pp. 19-22. Recuperado el día 22 de agosto de 2019. México: Base de Datos De Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Salud Pública. Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental. (2016). Estimación de impactos en la salud por contaminación atmosférica en la región centro del País y alternativas de gestión. En *Contaminación y Salud Ambiental*, pp. 13-16. Recuperado el día 12 de noviembre de 2019. México: Base de Datos De Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Juárez, T. (s.f.). Sistemas de limpieza del aire. *Aire Acondicionado*, (4), (pp. 1 – 32). Recuperado el 9 de septiembre de 2019. De la base de Datos de Ingeniería Mecánica, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Jutglar, L., Miranda, A. & Villarubia, M. (2011). *Manual de calefacción*. Marcombo. Gran vía de les Corts.
- Martines, E. (2007). *Definiciones de humedad y su equivalencia*. Recuperado el 9 de agosto de 2019, de CENAM Sitio web: <http://www.cenam.mx/dme/pdf/TM02.pdf>.

- Martínez, E. (2007). *Acondicionamiento de aire de un quirófano en un hospital de la ciudad de Puebla*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica y Eléctrica no publicada. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México.
- Moran, M. (2004). *Fundamentos de termodinámica técnica*. Buenos Aires: Reverté.
- Otero, L. (2017 mayo). *Diseño de la instalación de un hospital*. Tesis de Ingeniería Eléctrica no publicada. Universidad politécnica de Catalunya. Barcelona, España.
- Orozco, C. (2006). *Metodología para el Diseño de Cuartos limpios*. Scientia et Technica, 1, 3. Recuperado el día 12 de diciembre de 2019. México: Base de Datos Universidad Tecnológica de Pereira.
- Ovando, P. (2017 octubre 23). *Propuesta Avance Financiero*. IMSS, 1, 4. Recuperado el día 10 de septiembre de 2019. México: Base de Datos Departamento de Conservación.
- Paniagua, J., Otero, G., Fernández, J., Monge, V. & García, J. (1996). *Guía práctica para el diseño y mantenimiento de la climatización en quirófanos*. Madrid: FARESO, S. A.
- Press, L. (2014). *Calidad de Aire Interior en Centros de Salud*. 1, 10. Recuperado en día 12 de diciembre del 2019. Latinoamérica.
- Pulla, P. (2010). La operación unitaria de humidificación. *En Ingeniería de Operaciones Agroindustriales II* (p.p. 1-5). Perú.
- Pysmennyy, Y. Polupan, G., Carvajal, I. & Sánchez, F. (2007). *Manual para el cálculo de intercambiadores de calor y bancos de tubos aletados*. México: Reverté.
- Quadri, N. (2013). *Manual de aire acondicionado y calefacción*. Cálculo y diseño. México: Alsina.
- Ramírez, L. (2013). *Proyecto de un sistema de acondicionamiento de aire para un quirófano perteneciente a un hospital, localizado en la ciudad de Toluca; Estado de México*. Tesis de Ingeniería Mecánica no publicada. Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de Puebla, México.
- Reyo, J. (2008 abril). Presentación de 10 cartas psicrométricas para la República Mexicana. *En Cálculo y Procedimiento de Trazo del Diagrama Psicrométrico para diversificar su aplicación en la República Mexicana* (pp. 49-59). Recuperado el 6 de septiembre de 2019. México: Base de Datos, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
- Rite, A. (2007). Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios. *Eficiencia y Ahorro energético*. Recuperado el día 12 de diciembre del 2019. España. De la Base de Datos Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- Secretaría de salud. Innovaciones en gestión hospitalaria en México (2006). Recuperado el día 12 de diciembre del 2019. De <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/documentos/DOCSAL7848.pdf>.
- Serpentín, ¿Cuál es su función? (s.f.). Recuperado el 9 de octubre de 2019 de <https://www.climasmonterrey.com/cual-es-la-funcion-del-serpentin>.
- Soler & Palau. (s.f.). *Cálculos y aplicación práctica para una correcta circulación de aire por conductos*. (Cap. 5). Recuperado el 14 de octubre de 2019. EUA: Base de Datos, Soler&Palau Ventilation Group.
- Tippens, Paul E. (1988). *Física: conceptos y aplicaciones*: McGraw-Hill.

- Tricomi, E. (1992). *ABC del Aire acondicionado*. (3). Indianápolis, EUA: W. Sams & Co.
- Trejo, P., & Reyes, H. (2009 agosto). Instalación, Operación y Mantenimiento del Equipo. En *Cálculo y Selección del Equipo de un Sistema de Aire acondicionado para un Teatro en Puerto Vallarta, Jalisco*, (pp. 64-67). Recuperado el 18 de septiembre de 2019. México: Base de Datos, Escuela Superior de ingeniería Mecánica y Eléctrica.
- Whitman, C. & Johnson M. (2004). Refrigeración y refrigerantes. (1.^a ed.). *Tecnología de la Refrigeración y Aire acondicionado*. (pp. 23 – 52). Madrid: Thomson – Paraninfo.
- Wirz, D. (2008). *Refrigeración comercial para técnicos de aire acondicionado*. España: Paraninfo.
- Zapata, A. & Ramírez, D. (2012). *Proyecto de guía para el diseño de un quirófano: Que mitigue los factores de riesgo*. España: Académica Española.
- Zemansky, M. (1985). *Calor y termodinámica*. Madrid: McGraw-Hill.