

MANUAL TÉCNICO Y PRACTICO DE REFRIGERACION Y AIRE ACONDICIONADO

En la refrigeración para producir el frío se utilizan gas refrigerante.

Ante de explicar el circuito frigorífico, quiero explicar el comportamiento del gas y las leyes que lo gobierna.

Los físicos Boyle y Mariotte, Charles y Gay Lussac fueron los primeros a formular la ley que comprende las cuatros grandezas físicas.

P = presión absoluta;

V = volumen específico: m³/kg;

T = temperatura absoluta en grados Kelvin; (°K) (cero absoluto – 273.15 °C)

R = constante universal del gas (848 kgmole)

Kgmole = kilogramo molécula

MR = constante individual del gas que se logra dividiendo el valor de la constante universal del gas por el peso molecular.

M = peso molecular del gas; (por el aire es 28.96, Kg., por el gas R 22 es 86.48 Kg)

Pe = peso especifico (kg/m³)

LEY DE BOYLE Y MARIOTTE

A temperatura constante, el volumen del gas es inversamente proporcional a la presión absoluta que es sometido.

Con presión doble, el volumen corresponde a la mitad.

$$\frac{P_1}{V_1} = \frac{P_2}{V_2}; P_1 = \frac{P_2 \cdot V_2}{V_1}; V_1 = \frac{P_2 \cdot V_2}{P_1}; P_2 = \frac{P_1 \cdot V_1}{V_2}; V_2 = \frac{P_1 \cdot V_1}{P_2}$$

LEY DE CHARLES Y GAY LUSSAC

A presión constante el volumen del gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta. La temperatura del gas depende de la energía de sus moléculas.

Con temperatura mas alta hay mayor energía y aumenta la velocidad de las moléculas que hace aumentar la presión. Para mantener constante la presión se debe mantener constante el volumen.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}; V_2 = \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1}; V_1 = \frac{V_2 \cdot T_1}{T_2}; T_2 = \frac{V_2 \cdot T_1}{V_1}; T_1 = \frac{V_1 \cdot T_2}{V_2}$$

HIPÓTESIS DE AVOGADRO

Volúmenes iguales de todos los gases en las mismas condiciones de presión y temperatura contienen el mismo número de moléculas. (molécula = mole)

Un kilogramo molécula = 1 kgmole es 22.4 litros

LA PRESIÓN

Es la fuerza ejercida por el peso o por el empuje de un cuerpo sobre una superficie.

En los líquidos, la presión es ejercida en todas las direcciones.

En los gases la presión es ejercida sobre las paredes del recipiente que lo contiene.

La presión atmosférica es la presión medida a nivel del mar y es de 760 mm (cm 76) de columna de mercurio que corresponde a la densidad de 13.6 g/cm³.

La presión es absoluta y relativa: es absoluta cuando se hace la suma de la presión relativa con la presión atmosférica que es 1. Se la presión relativa medida de un manómetro es 10 atm la presión absoluta es: $10 + 1 = 11$ atmosferas absolutas.

UNIDADES DE PRESIÓN, ACELERACIÓN DE GRAVEDAD Y DE CALOR

Multiplicando 760 mm de columna de mercurio por la densidad que es $13,6 \text{ g/cm}^3$ se hallan los mm de columna de agua: $760 \cdot 13,6 = 10336 \text{ mm ca.}$

* $10336 \text{ mm ca.} = 10,33 \text{ m ca} = 1 \text{ atm} = 760 \text{ torr};$

* $1 \text{ kp/m}^2 = 9,81 \text{ pa.} = 0,0001 \text{ kp/cm}^2 = 1 \text{ mm ca}$

* $1 \text{ N/mm}^2 = 10^5 \text{ pa} = 10 \text{ bar} = 10,2 \text{ kp/cm}^2 = 9,87 \text{ atm} = 7500 \text{ Torr}$

* $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 10^{-5} \text{ bar} = 0,102 \text{ kp/m}^2 = 0,102 \times 10^{-4} \text{ kp/cm}^2 = 0,987 \times 10^{-5} \text{ atm}$

* $1 \text{ KPa} = 10 \text{ mbar} = 0,01 \text{ bar} = 0,01 \text{ kp/cm}^2 = 102 \text{ mm ca}$

* $1 \text{ bar} = 100000 \text{ Pa} = 1,02 \text{ kp/cm}^2 = 1020 \text{ kp/m}^2 = 10200 \text{ mm ca} = 10,2 \text{ m ca}$

* $1 \text{ kp/cm}^2 = 0,968 \text{ atm} = 98100 \text{ Pa} = 10^4 \text{ k/m}^2 = 0,981 \text{ bar} = 10 \text{ m ca} = 10000 \text{ mm ca} =$
 $= 1074 \text{ g/cm}^2 = 1,074 \text{ kg/cm}^2$

* $1 \text{ N} = 0,102 \text{ kgf};$ * $1 \text{ kgf} = 9,807 \text{ N};$ * $1 \text{ kp} = 9,807 \text{ N};$ * $1 \text{ KPa} = 102 \text{ kgf/m}^2.$

* $1 \text{ N} = \text{kg} \times 1 \text{ m/s}^2:$ es la fuerza que imprime a la masa de 1 kg la aceleración de 1 m/s^2

* $g =$ aceleración por gravedad, corresponde \pm a $9,807 \text{ m/s}^2.$ (N = Newton)

$1 \text{ KJ} = 0,2388 \text{ kcal};$ $1 \text{ kcal} = 4,18 \text{ KJ};$ $1 \text{ KW} = 860 \text{ kcal};$ $1 \text{ KW} = 3600 \text{ KJ};$ $1 \text{ W} = 3,6 \text{ KJ}$

(KJ = kilo Jaule) (kcal = kilo caloría) (W = Watt) (Pa = Pascal) (ca = columna de agua)

(atm = atmosfera) (Kgf = kilogramo fuerza) (kp = kilogramo peso) (KW = kilo Watt)

EL VOLUMEN ESPECÍFICO DEL GAS

El volumen específico del gas se mide en $\text{m}^3/\text{kg}.$

EL PESO ESPECÍFICO DEL GAS

El peso de 1 m^3 de gas a temperatura de 0°C a presión atmosférica, se mide en kg/m^3

EJEMPLO:

Un recipiente contiene 2 m^3 de aire a temperatura relativa de 20°C , que corresponde a la temperatura absoluta de: $273 + 20 = 293 \text{ }^\circ\text{K}.$

La presión relativa es de 3,5 bar.

La presión absoluta es: $3,5 + 1 = 4,5 \text{ bara.}$ (peso molecular del aire = $28,96 \text{ kgmol}$)

Hallar el volumen y el peso específico del aire.

$$\text{Volumen específico: } V = \frac{28,96 \cdot 293}{10000} = 0,857 \text{ m}^3/\text{kg};$$

$$\text{Peso específico: } Pe = \frac{1}{0,857} = 1,16 \text{ kg/m}^3;$$

DETERMINAR EL VALOR DE LA CONSTANTE UNIVERSAL E INDIVIDUAL DEL GAS.

$$R = \frac{P \cdot V}{T} = \frac{10336 \cdot 22,4}{273} = 848 \text{ (constante universal)}$$

$$MR = \frac{R}{M} = \frac{848}{28,96} = 29,28 \text{ (constante individual del aire)}$$

VAPOR SATURADO

Cuando el vapor es en equilibrio con el líquido y se encuentra exactamente en el punto de ebullición a la presión existente, se denomina vapor saturado.

EVAPORACIÓN.

Si el gas líquido se calienta evapora absorbiendo calor y se transforma en vapor

CONDENSACIÓN DEL VAPOR.

Es el contrario de la evaporación, si el vapor se enfría cede calor y se convierte en líquido.

VAPOR SOBRECALENTADO.

El vapor es a temperatura superior de la temperatura de evaporación a presión constante.

Ejemplo si la temperatura de ebullición en el evaporador es de 0°C. A la salida del evaporador la temperatura es de 5°C el sobrecalentamiento corresponde a 5°C.

SUBENFRIAMIENTO DEL GAS LÍQUIDO.

El gas líquido es subenfriado, cuando a presión constante es a temperatura mas baja de la temperatura de condensación.

TITULO DEL VAPOR SATURADO.

Es la relación entre la masa de vapor y la masa de la mezcla líquida mas el vapor

Corresponde a la masa de vapor contenida en un kilogramo de mezcla de gas.

El titulo de vapor en el diagrama del gas es de cero a uno, es cero cuando es líquido y es uno cuando es todo vapor y se indica con la X.

DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA ENTALPICO DEL GAS.

Las líneas interna son indicadas con la letra X y es la cantidad de vapor contenida en la mezcla de gas líquido y vapor.

X 0, X 0,1, X 0,2, X 0,3, X 0,4, X 0,5, X 0,6, X 0,7, X 0,8, X 0,9, X 1

0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100% (de vapor)

En los diagramas y en las tablas del gas la presión es absoluta y la temperatura es relativa, en el diagrama las líneas verticales corresponden a la entalpía del gas a temperatura de evaporación y de condensación. (entalpía = kcal/kg o kJ/kg)

En la parte derecha del diagrama se encuentran las líneas curva del volumen del gas vapor, la temperatura y las calorías por el trabajo de compresión

CALCULO DEL EFECTO FRIGORIFICO DEL GAS R 22 CON EL DIAGRAMA.

Temperatura de evaporación: 6°C (150 kcal/kg); temperatura de condensación: 36°C (111,43 kcal/kg)

El efecto frigorífico en el diagrama es: $150 - 111,43 = 38,58$ Kcal./kg;

volumen: $0,039$ m³/kg; peso específico: $1 : 0,039 = 25,64$ kg/m³

Hallar las kcal/m³: $38,58 : 0,039 = 989,23$ kcal/m³.

Hallar las kcal/kg del gas por la compresión: $155 - 150 = 5$ kcal/kg

CALCULO DEL EFECTO FRIGORIFICO CON LAS TABLAS.

Columna de entalpía del gas vapor la temperatura es 6°C: Kcal./kg 150,01.

Columna de entalpía del gas líquido la temperatura es 36°C: Kcal./kg 111,43.

Efecto frigorífico: $150,01 - 111,43 = 38,58$ Kcal./kg.

Columna volumen específico: a 6°C es $0,039$ m³/kg.

EXPLICACIÓN DEL CIRCUITO FRIGORÍFICO CON EL DIAGRAMA SIMPLE DE MOLLIER DEL GAS R

En el punto D el gas vapor comprimido del compresor es sobrecalentado a temperatura de 44,5° entra en el condensador descendiendo de temperatura con rapidez asta el valor de liquefacción a presión constante de condensación y se realiza una trasmisión lenta del calor latente de liquefacción del vapor a temperatura de 36°C.

En el punto A el gas liquido entra en la válvula de expansión que hace laminar el gas asta el punto B que entra en el evaporador y evapora a temperatura de 5°C a presión constante.

En el punto C el gas vapor lo aspira el compresor y el ciclo continua.

El efecto frigorífico del gas se encuentra entre B y C se llama entalpía y se mide en kcal/kg (kJ/kg).

Hallar el peso específico del gas de evaporación.

$1 : 0,04 = 25 \text{ kg/m}^3$.

Hallar la entalpía del gas: $150 - 111 = 39 \text{ kcal/kg}$.

Del punto C al punto B se encuentra el calor del trabajo por la compresión.

Hallar las kcal/kg del gas por el trabajo de compresión:

$155 - 150 = 5 \text{ kcal/kg}$.

En el punto C en la curva del volumen se encuentran los metros cubicos del gas vapor que son $0,04 \text{ m}^3/\text{kg}$.

En el punto B hay la presión absoluta de evaporación es: $6,18 \text{ kg/cm}^2$.

En el punto A hay la presión absoluta de condensación es: $14,3 \text{ kg/cm}^2$.

EL COMPRESOR

El compresor puede ser a pistón, rotativo, centrifugo, a tornillo y scrholl.

El compresor es el corazón del equipo frigorífico.

La suya función es de aspirar gas vapor seco a baja presión y de comprimirlo a alta presión en el condensador que lo trasforma en gas liquido.

No debe aspirar gas líquido porque no es comprimible y rompe las válvulas de aspiración y los pedazos entran en el cilindro causando daños.

Cuando el compresor no es en marcha en el carter se mezcla el aceite con el gas. Cuando se pone en marcha aspira la mezcla que viene comprimida en los cilindros dañando las válvulas de aspiración, para evitar este problema se debe instalar un calentador eléctrico en el carter que tiene caliente el aceite y el gas se evapora.

Se debe instalar el intercambiador liquido/vapor en las tuberías del liquido y de aspiración. El gas líquido se subenfria absorbiendo calor del gas vapor que sale del evaporador porque hace evaporar las partículas de gas liquido mezcladas al vapor.

Da la posibilidad de disminuir el sobrecalentamiento de la válvula de termo expansión aumentando la capacidad frigorífica del evaporador y protege de golpes de gas liquido el compresor. El gas líquido subenfriado aumenta el efecto frigorífico

Se puede hallar de cuanto aumenta el efecto frigorífico en kcal/kg o kJ/kg en la izquierda del diagrama del gas.

El compresor no debe aspirar gas demasiado sobrecalentado, porque se dañan los cilindros, pistones y las válvulas. No debe comprimir el gas a presión demasiado alta porque se dañan pistones, bielas y cojinete. Debe ser protegido con el presostato de máxima y mínima presión y con el presostato diferencial que controla la presión del aceite que debe parar el compresor cuando la presión del aceite es igual a la presión de aspiración. El compresor de doble estadio es a tres, seis, nueve cilindros etc.

Los cilindros de baja son siempre el doble de los cilindros de alta presión.

Si el compresor es de tres cilindros, dos son por la baja e uno por la alta presión, el gas de baja presión es comprimido en la aspiración del cilindro de alta presión que lo comprime en el condensador.

En el tubo que conecta los cilindros de baja con los cilindros de alta se hace inyección de gas líquido con una válvula de termo expansión para reducir el sobrecalentamiento y para

aumentar la capacidad frigorífica. En el circuito de refrigeración se instala un intercambiador de calor que subenfria de 6°C el gas líquido que entra en la válvula de termo expansión que alimenta el evaporador.

El intercambiador hace aumentar la capacidad frigorífica del compresor y del equipo de refrigeración. (ver circuito y diagramas del compresor a doble estadio)

Para conocer el rendimiento volumétrico real del compresor a simple estadio se divide la presión absoluta de compresión P.C. por la presión absoluta de aspiración P.A.

P.C.

----- = R (relación)

P.A.

R es la relación entre P.C.y P. A. Con la relación se encuentra el rendimiento real del compresor en el diagrama.(ver diagrama de rendimiento real del compresor)

Mas grande es la diferencia de presión mas bajo es el rendimiento del compresor.

El gas R 502 con temperatura de evaporación de – 35°C (1,658 kg/cm²) y condensación de 50°C (21,5 kg/cm²); R = 21,5 : 1,658 = 12, 96; el rendimiento es meno del 30%.

Se debe utilizar el compresor de doble estadio.

Si se quiere alcanzar temperaturas de – 80°C se debe usar el circuito en cascada.

(ver dibujo)

HALLAR LOS VALORES DE LOS COEFICIENTES DE POTENCIA Y LA CILINDRADA DEL COMPRESOR CON EL CICLO FRIGORÍFICO A GAS R 22

Temperatura de evaporación: 5°C;

Temperatura de condensación: 35°C;

Potencia frigorífica: 4000 Fg/h

En el diagrama del gas:

Presión de evaporación: 5,99 kp/cm²; (PA)

Presión de condensación: 13,95 kp/cm²; (PC)

Efecto frigorífico:

149,91 – 111,1 = 38,81 Fg/kg;

Kilo calorías por el trabajo del compresor:

154,91 – 149,91 = 5 kcal/kg;

Volumen del gas a: 5°C = 0,04 m³/kg:

Coefficiente del efecto frigorífico:

38,81 : 5 = 7,76 Fg/kcal;

7,76 . 0,86 = 6,7 Fg/W

38,81 : 0,04 = 970,2 Fg/m³;

Potencia eléctrica en W del compresor:

4000 : 6,7 = 597 W;

Volumen de aspiración en metros cúbicos por hora:

4000 : 970,2 = 4,122 m³/h;

Cilindrada del compresor a 1400 vuelta por minuto primero:

$$\frac{4,122 \cdot 10^6}{1400 \cdot 60} = 49 \text{ cm}^3;$$

Relación del rendimiento real: R.

PC 13,95

$$R = \frac{\text{PA}}{5,99} = 2,328$$

En el diagrama el rendimiento del compresor es del 78%:

La potencia frigorífica real del compresor es: $4000 \cdot 0,78 = 3120 \text{ Fg/h. (Kcal/h)}$

Para los compresores de media y grande potencia el rendimiento es mayor.

CALCULO DEL DIÁMETRO DE LA POLEA DEL MOTOR QUE ACCIONA EL COMPRESOR ABIERTO.

D = diámetro de la polea del compresor; N = vueltas del compresor; d = diámetro de la polea del motor; n = vueltas del motor.

$$D = \frac{n \cdot d}{N}; N = \frac{n \cdot d}{D}; d = \frac{N \cdot D}{n}; n = \frac{N \cdot D}{d}$$

EL CONDENSADOR

Debe ser dimensionado para absorber el calor de evaporación y el calor de compresión.

Se el compresor es hermético o semi hermético se debe sumar el calor del motor.

CONDENSADOR POR AIRE FORZADO.

El condensador por aire forzado, es constituido de una serie de tubos a serpentina con aletas, en la serpentina circula el gas y a través de las aletas circula el aire.

CONDENSADOR POR AGUA EN CONTRACORRIENTE.

Es constituido de una serie de tubos de dos diámetros distintos, tubo adentro tubo.

En el tubo interior circula el agua en el intersticio circula el gas.

CONDENSADOR EVAPORATIVO

Es constituido de un armario de lamina a forma de torre, en el interior son alojados una serie de tubos que en el interior circula el gas y en el exterior circula una mezcla de aire y agua pulverizada.

La bomba hace circular el agua que aspira de la vasca y la lleva a los pulverizadores.

El ventilador aspira el aire de bajo de la torre que se mezcla con el agua pulverizada,

el agua que evapora sustrae calor y se enfría de $5 \pm 6^\circ\text{C}$.

Con temperatura del agua de 29°C la condensación es de $40 \pm 41^\circ\text{C}$.

Mas seca es el aire mas es la evaporación del agua, mas el rendimiento del condensador.

El aire caliente sale de la parte superior y viene insuflada en la atmosfera

En la vasca la llave a flotador mantiene constante el nivel del agua. Para el control de la

temperatura de condensación se varía la velocidad del ventilador con un presostato

electrónico accionado con la presión de condensación

CONDENSADOR POR AGUA MULTITUBULARES

Esta constituido por un depósito cilíndrico cerrado que lleva alojados una serie de tubos paralelos y soldados en las dos bases del cilindro, en el interior de los tubos circula el agua y el gas en el intersticio.

EVAPORADOR A SERPENTINA.

El evaporador a serpentina se usa para enfriar líquidos en vascas y producir hielo.

Para producir 1 kg de hielo sirve 145 Kcal/kg (con agitador del agua con aire).

El coeficiente de transmisión (K)

Espesor de hielo:

Espesor 1 cm; $K = 130 \text{ Kcal./m}^2/\text{h}^\circ\text{C}$;

Espesor 2 cm; $K = 100 \text{ Kcal./m}^2/\text{h}^\circ\text{C}$

Espesor 3 cm; $K = 85 \text{ Kcal./m}^2/\text{h}^\circ\text{C}$

FORMULA PARA EL CALCULO DE LA SUPERFICIE DE LA SERPENTINA

$Q = \text{kcal/h}$

$S = \text{superficie de la serpentina en m}^2$.

$K = \text{coeficiente de transmisión de calor (kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C)}$.

$\Delta t_{ml} = \text{diferencia de temperatura media logaritmo entre evaporación y el agua.}$

$$S = \frac{Q}{K \cdot \Delta T} = \text{m}^2$$

EVAPORADOR DE PLANCHA.

El evaporador a plancha se usa en las neveras, en vasca para enfriar líquidos, para la producción de hielo, en armarios de congelación y liofilizador.

EVAPORADOR DE SERPENTINA EN CONTRA CORRIENTE

Es constituido como el condensador en contra corriente.

El gas circula en el tubo interno y el líquido en el intersticio de los dos tubos.

EVAPORADOR MULTITUBULAR

Es constituido como el condensador multitubular y se puede llamar a expansión seca.

El gas circula en el interior de los tubos y en el intersticio el líquido de enfriar.

EVAPORADOR CON CIRCULACIÓN DE AIRE FORZADA

Esta constituido de una serie de tubos a serpentina con aletas.

En el interior de los tubos circula el gas y en el exterior el aire.

Se emplea en las cámaras frigoríficas, aire acondicionado y otras aplicaciones.

Para temperatura de evaporación -10°C el numero de aletas es de 4 por pulgada.

Para temperatura de evaporación de -20°C el numero de aletas es de 3 por pulgada.

Para temperaturas mas baja el numero de aletas es de 2 por pulgada.

El numero de aletas a baja temperatura debe disminuir porque se forma mas hielo.

El caudal del aire debe ser muy grande para aumentar el intercambio de calor.

EL CIRCUITO FRIGORIFICO

El dimensionado de los componentes debe ser echo con mucha pericia, para que sean compatibles entre ellos.

Se la potencia del compresor es mas de la potencia del condensador el compresor trabaja con una presión demasiado alta y el rendimiento es bajo.

Se el evaporador es de potencia mas baja del compresor es insuficiente para enfriar porque el compresor pierde de potencia.

Con la suma de las perdidas de presión en el circuito frigorífico y la diferencia de presión entre aspiración y condensación si selecciona la válvula de termo expansión.

Mas adelante voy a explicar el funcionamiento de come se selecciona la válvula de termo expansión.

El filtro debe ser dimensionado sensiblemente más grande de la potencia del equipo porque el sucio y la humedad lo atasca en poco tiempo.

Después de 48 horas de trabajo del equipo se debe reemplazar el filtro del gas y limpiar el filtro metálico instalado en la llave de aspiración del compresor
 Las tuberías deben ser dimensionadas para una velocidad del gas que arrastre el aceite y por la caída de presión que debe ser en los límites tolerables.
 Terminada la selección de los componentes se debe hacer la selección de las tuberías.
 Para el dimensionado de las tuberías se usan las formulas y los diagramas.
 Para el dimensionado de llaves, filtro, válvula electromagnética, curvas, T, sifón etc. se debe usar las formulas o las tablas. (ver tablas.)
 Cuando el circuito frigorífico esta terminado se debe poner en presión a 10 bar con gas refrigerante y nitrógeno, con un detector se controla las perdidas de gas.
 Después se descarga el gas y con una bomba se hace circular en el circuito percloro asta que sale todo el sucio.
 Terminada la operación de la limpieza se pone bajo vacío con una bomba de 0,05 mbar de vacío por 4 horas y se hace la carga de gas en fase liquida asta que entra (con compresor parado). Después se pone en marcha el compresor y se termina la carga en fase vapor asta que el indicador de pasaje del gas líquido no hace mas ampolla,
 Se controla el sobrecalentamiento del gas que sale del evaporador y se debe regular la válvula de termo expansión de 5°C a 7°C mayor de la evaporación porque el compresor debe aspirar gas vapor seco.
 Esta operación se hace con el termómetro a contacto con el bulbo de la válvula de termo expansión y con el manómetro en aspiración con escala de presión y temperatura.
 Se debe regular el punto de control del presostato de minima presión de aspiración y máxima presión de compresión.
 Se debe regular el punto de control de temperatura del termostato
 Con el amperímetro se debe medir la corriente que absorbe el motor y regular el térmico con el tiempo de 90 segundos.
 Para controlar el tiempo de interrupción de funcionamiento del motor se saca un fusible y se mide el tiempo con el reloj.

EQUIPO DE REFRIGERACIÓN EN CASCADA DE – 80°C

Es compuesto de dos circuitos frigoríficos, uno de baja y uno de alta temperatura.

El circuito de baja temperatura es compuesto:

- 1 evaporador de acero inox AISI 316 hastelloy,
- 1 válvula de expansión automática ,
- 1 indicador de pasaje, 1 filtro,
- 1 intercambiador gas líquido/vapor,

1 separador de aceite,

1 compresor y un intercambiador intermedio. (condensadór/evaporadór).

El circuito de alta temperatura es compuesto:

- 1 compresor,
- 1 separador de aceite,
- 1 condensador,
- 1 filtro deshidrator
- 1 intercambiador liquido/vapor,
- 1 indicador de pasaje,
- 1 válvula de expansión,
- 1 intercambiador condensador/evaporador)

El circuito de alta funciona con gas R 502.

El circuito de baja funciona con gas R 13.

La secuencia del arranque es la siguiente: por primero arranca el compresor de alta cuando la temperatura del intercambiador (condensador/evaporador) es – 35 – 40°C:

El pressostato que controla la presión del condensador pone en marcha compresor de baja temperatura.

La potencia frigorífica se calcula en el mismo modo de un circuito estándar.

Estos equipos de baja temperatura lo usan laboratorios farmacéuticos para la conservación de microbios, virus etc.

El cálculo del efecto frigorífico se hace con las tablas de entalpía y con los diagramas del gas .

El diámetro de las tuberías se calcula con las formulas.

En el conservador de baja temperatura no se utiliza la válvula de termo expansión porque no se encuentra de estas características y tamaño, se debe usar la válvula de expansión automática, válvula de aguja, o el tubo capilar.

PROYECTO DE UN CONSERVADOR DE LA CAPACIDAD DE 100 dm³ POR TEMPERATURA DE – 80°C

Superficie exterior del conservador: 2,38 m²

Temperatura exterior del conservador : 25°C.

Temperatura interior del conservador: – 80°C

Diferencia de temperatura: 105°C

Calor que entra a trabes de las paredes aisladas con 200 mm de espuma de poliuretano.

$Q = m^2 \cdot k \cdot \Delta t = 2,38 \cdot 2 \cdot 105 = 499,8 \text{ Kcal./h.}$

CALCULO DEL CIRCUITO DE BAJA TEMPERATURA CON GAS R 13

Temperatura de evaporación: – 80°C

Temperatura de condensación: – 30°C

Cálculo del efecto frigorífico:

En la tabla del gas R13.

A – 80°C: entalpía del vapor = 115,96 Kcal./kg

A – 30°C: entalpía del líquido = 92,17 Kcal./kg

Efecto frigorífico:

$115,96 - 92,77 = 23,19 \text{ Kcal./kg;}$

Volumen del gas a – 80°C = 0,133 m³/kg

$23,19 : 0,133 = 174,36 \text{ Kcal./m}^3$

$499,8 : 174,36 = 2,86 \text{ m}^3/\text{h}$ de gas vapor que debe aspirar el compresor

Presión del gas a – 30°C = 8,62 kp/cm²

Presión del gas a – 80°C = 1,119 kp/cm²

$R = 8,62 : 1,119 = 7,7$ (ver diagrama del rendimiento)

En el diagrama del rendimiento del compresor del 63%

Se puede usar un compresor hermético con desplazamiento volumétrico de 4,5 m³/h.

Para el evaporador se usa la vasca con serpentina de cobre soldada en el exterior.

LISTA DE LOS COMPONENTES DEL CIRCUITO DE BAJA

1 evaporador en acero inox AISI 316 Astelloy (como evaporador se usa la vasca)

1 compresor hermético con desplazamiento de 4,5 m³/h.(V220/1f/50Hz)

1 separador de aceite (1000 Kcal./h)

1 intercambiador líquido vapor (1000 Kcal/h)

1 filtro deshidratador posicionado en vertical con la salida del gas a bajo.

1 válvula de expansión automática o válvula de aguja o tubo capilar.

1 termostato (opcional)

1 presostato de alta presión

1 condensador/evaporador (intercambiador líquido/vapor de 2000 Kcal./h)

Tubo de aspiración del diámetro 14/16 mm

Tubo de impulsión del diámetro 8/10 mm

Tubo del líquido del diámetro 4/6 mm

CALCULO DEL CIRCUITO FRIGORÍFICO DE ALTA CON GAS R 502

Temperatura de evaporación – 35°C

Temperatura de condensación +35°C

Calculo del efecto frigorífico del gas R 502

En la tabla del gas R502

A – 35°C: entalpía del vapor: 131,86 Kcal./kg

A + 35°C: entalpía del liquido: 110,09 kca/kg

Efecto frigorífico:

$131,86 - 110,09 = 21,77$ Kcal./kg

Volumen del gas vapor a – 35°C = 0,1029 m³/kg

$21,77 : 0,1029 = 211,56$ kcal/m³.

Potencia frigorífica del circuito de alta temperatura:

$1,78 \cdot 500 = 890$ kca/h (1,78 se encuentra en la tabla 6)

Volumen del gas:

$890 : 211,56 = 4,2$ m³/h

Presión del gas a + 35°C = 15,23 kp/cm²

Presión del gas a – 35°C = 1,658 kp/cm²

$R = 15,23 : 1,658 = 9,18$

En el diagrama el rendimiento del compresor es del 55%

Se puede usar un compresor hermético con desplazamiento de 7,6 m³/h

Para el condensador y evaporador, seleccionar un intercambiador de calor de la Danfoss. o tubo entre tubo en contracorriente de 2000 kca/h; Δt 5°C

$890 \cdot 1,88 = 1673$ Kcal./h (1700 Kcal/h potencia del condensador de aire forzada)

LISTA DE LOS COMPONENTES DEL CIRCUITO DE ALTA

1 compresor hermético con desplazamiento de 7,6 m³/h (V220/1f/50 Hz)

1 separador de aceite (1000 Kcal./h)

1 condensador de aire forzada (1900 Kcal./h)

1 intercambiador liquido/vapor (1000 Kcal./h)

1 filtro deshidratador posicionado en vertical con la salida a debajo

1 válvula de expansión automática o válvula de aguja o el tubo capilar.

1 presostato de alta y baja presión

Tubo de aspiración diámetro 14/16 mm

Tubo de impulsión diámetro 10/12 mm

Tubo del líquido diámetro 4/6 mm.

BAÑOS GALVANICOS

Los baños de galvanización sirven para platear, por la doradura, la oxidación del aluminio y para hacer circuitos electrónicos con fichas cubiertas de cobre, etc.

PRECIPITACION DEL OXIDO DE COBRE.

El circuito electrónico de la ficha se cubre con la pintura anticorrosión y se pone en el baño para esculpir el circuito.

La vasca es de la capacidad de 550 dm³ y contiene una mezcla de líquidos:

275 dm³ de ácido sulfúrico,

53 dm³ de agua oxigenada,

222 dm³ de agua destilada.

La mezcla se debe mantener a temperatura de 40°C.

La mezcla se enfría con la serpentina instalada en la vasca para mantener la temperatura deseada, en la serpentina circula agua refrigerada a temperatura de 7°C.

La serpentina es en acero al titanio.

Para la calefacción se usa un calentador eléctrico a serpentina de titanio.
 Durante la elaboración la mezcla se satura de óxido de cobre.
 Con una bomba de PVC el 25% se envía en el depósito de PVC a forma de embudo con una válvula a mariposa en el fondo para descargar la sal de cobre.
 En el depósito hay una serpentina de acero al titanio para la circulación del líquido refrigerante a temperatura de -10°C y hay un agitador de aire comprimida para mantener en movimiento la mezcla que debe llegar a temperatura de $+2^{\circ}\text{C}$.
 Con el frío la sal precipita en el fondo del depósito y se descarga en la centrifuga para desecarla y el líquido se envía con la bomba en la vasca
 El baño produce en 8 horas 35 kg de sal de cobre
 La sal la compra la industria para hacer sulfato de cobre y otros productos químicos.
 La potencia frigorífica es de 5000 Kcal/h a temperatura de evaporación de -15°C

PRECIPITACIÓN DEL ÓXIDO DE HIERRO

El rollo de lámina de hierro cuando es oxidado se pone a baño en la vasca con ácido sulfúrico puro para quitarle el óxido.
 El óxido se transforma en sal de hierro que lo compra la industria química.
 La cantidad de la sal depende del tiempo de la elaboración.
 Cuando el ácido es saturado de sal se envía con una bomba de PVC en un depósito de PVC a forma de embudo y se enfría a temperatura de -20°C para hacer precipitar la sal.
 La sal precipita en el fondo del depósito y se centrifuga para desecarla.
 El ácido se envía en el depósito del ácido puro para continuar el ciclo.
 Para enfriar 200 dm^3 de ácido a temperatura de 44°C hasta a temperatura de -20°C se necesita 8000 Kcal./h con temperatura de evaporación de -25°C .
 El enfriamiento del depósito es hecho con un refrigerador de agua y glicol que con una bomba se hace circular en la serpentina instalada en el depósito
 Para tener en movimiento el ácido se insufla aire comprimida en el depósito.
 El refrigerador es compuesto de:
 1 compresor semi hermético.
 1 condensador de aire forzada
 1 evaporador multitubulares
 1 válvula de expansión termostática
 1 indicador de pasaje del gas líquido
 1 válvula electromagnética
 1 filtro deshidratador
 1 presostato de mínima y máxima presión
 1 presostato diferencial del aceite
 1 termostato
 1 tablero eléctrico de potencia y control.

LA SUBLIMACIÓN

Es el término para describir el pasaje directo del hielo de estado sólido a vapor.
 En el hielo hay tres fases: sólido, líquido y vapor.
 Las tres fases del hielo: sólido, líquido y vapor, cuando son en equilibrio se llama punto triple.(con la sublimación no hay la fase líquida).
 El punto de sublimación es la temperatura correspondiente a la presión del vapor.
 En el sólido es igual a la presión total de contacto con el vapor y es análogo al punto de ebullición de un líquido.
 El punto nieve es análogo al punto de rocío.
 Sublimando, se refiere al producto sublimable ante de la evaporación.
 Sublimado, es el producto desecado con el frío debajo vacío.

El uso de la sublimación es el método físico para la separación de los componentes. En la sublimación la temperatura del sublimado y la velocidad del flujo de calor son baja porque el coeficiente de transmisión de calor del hielo es: $1,92 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$. Se el producto de sublimar es un líquido, la velocidad del flujo de calor es mas rápida porque no existe el calor latente que existe en el hielo. Para aumentar la velocidad de sublimación se calientan las planchas con la circulación de un líquido anticongelante que se pueda calentar asta 100°C por ejemplo el MET 120. En la sublimación simple, la velocidad es regulada por la difusión del vapor sublimado entre las dos zonas, porque la velocidad depende de las propiedad de las moléculas del vapor y de las características físicas del sublimado de condensar. La velocidad de trasferencia de la masa es la diferencia entre la presión parcial del producto sublimable y la presión del vapor del producto a temperatura de condensación. La velocidad optima de congelación del vapor se alcanza a temperatura de $-45 - 55^\circ\text{C}$. La liofilización es la técnica de desecación de los productos con el frio, productos farmacéuticos, dietéticos y alimenticios etc. A los productos se quita el agua que es favorable al desarrollo de micro organismos que hacen deteriorar el producto.

Las principales ventaja de la liofilización es que la baja temperatura evita el cambio estructural y químico de lo productos.

La perdida de componentes volátil es minima.

Los productos se pueden desecar sin producción de espuma.

La coagulación de los componentes es minima.

La cementación es eliminada.

La esterilidad es mantenida.

La oxidación es minima.

LA LIOFILIZACION MECANICA.

En la liofilización el agua es el elemento prevaleciente de quitar a los productos.

Se debe congelar el producto a temperatura de $-35^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}$ en la cámara de congelación con la llave de la cámara y condensador cerrada. Se hace enfriar el condensador a temperatura de $-50^\circ\text{C} - 55^\circ\text{C}$ y se abre la llave de la cámara y condensador, se pone bajo vacío con la bomba la cámara de congelación y del condensador. La bomba debe hacer el vacío final asta $0,03 \text{ mbar}$.

En la mayoría de los productos por quitar el 95% de agua se necesita el tiempo de 45h para el remanente 5% se necesita el tiempo de otras 3h.

Para sublimar 1 kg de hielo se necesita 700 kcal.

Un kg de vapor a 0°C y a 100 micrón de presión corresponde al volumen de 10 m^3 .

Para tener certeza que el producto es desecado se debe cerrar la lave que conecta la cámara con el condensador y se espera por algunos minuto, se el medidor de vacío de la cámara se queda parado quiere decir que el producto esta desecado.

VOLUMEN ESPECIFICO DEL AIRE Y VAPOR DEBAJO VACIO

Presión absoluta Mm Hg	Presión absoluta Micron	Volumen específico del aire a 0°C m ³ /kg	Volumen específico del vapor a 0°C m ³ /kg
1	1000	0,588	0,943
0,5	500	1,175	1,887
0,1	100	5,88	9,43
0,05	50	11,75	18,87
0,01	10	58,87	94,37
0,005	5	117,5	188,75
0,001	1	588,75	943,7

PRESIÓN DEL VAPOR Y SUBLIMACIÓN DEL HIELO

Temperatura del producto en °C	Presión del vapor en mm Hg	Presión del vapor en Micron	Calor de sublimación Kcal./kg
0	4,8	4600	678
-10	2	2000	673
-20	0,8	800	667
-30	0,3	300	663
-40	0,1	100	660
-45	0,08	80	530

1 mbar = 0,75 mm Hg; 1 mmHg = 1000 micrón.

PROYECTO DE UN LIOSTATO PARA LIOFILIZAR 23000 FRASCOS DE VACUNA DE 4 mg Y DEL DIÁMETRO DE 22 mm DE CERRAR DEBAJO VACIO (STOPPERING) DESCRIPCIÓN DEL LIÓSTATO.

Dimensión interna de la cámara de congelación en acero inox AISI 316L.

Longitud = 1800 mm; profundidad = 1500 mm; altitud = 1800 mm.

7 planchas en acero inox AISI 316 L (6 plancha útil para la congelación de los frascos),

1 plancha de derribo en la parte mas alta de la cámara.

Dimensión útil de las planchas:

1270 x 1460 mm; espesor 20 mm.

Superficie útil de las 6 planchas m² 11.

Distancia entre las planchas 100 mm.

Temperatura en la planchas – 55°C.

Dimensión interna de la cámara de condensación en acero inox AISI 304.

Longitud = 1000 mm; profundidad = 1600 mm; altitud = 1600 mm.

Superficie de intercambio del condensador 22 m².(de planchas en acero al zinc)

Capacidad máxima del condensador: 400 kg de hielo.

Temperatura en el intercambiador – 55°C.

Descongelación: con agua y aire caliente.

Fluido para congelar y calentar:(Met 120 de la Esso).

LISTA DE LOS COMPONENTES:

1 llave del diámetro de 500 mm de conexión entre las dos cámara del condensador y evaporador.

1 bomba para la circulación del liquido en las planchas.

1 intercambiador de la potencia de 18000 kcal/h para calentar el liquido.

1 intercambiador de la potencia de 18000 kcal/h para enfriar las planchas.

- 2 compresores a doble estadio de la potencia de 18000 kcal/h con temperatura de evaporación de -70°C y condensación 50°C con gas R404A.
- 1 condensador de aire y en serie un intercambiador de plancha para el recupero del calor de compresión de los compresores para calentar el agua.
- 1 intercambiador de calor de planchas para recuperar el calor de compresión.
- 1 bomba de alto vacío de doble estadio rotativa con eficiencia de $300\text{ m}^3/\text{h}$ con vacío final de $0,03\text{ mbar}$.
- 1 bomba ruach en serie con eficiencia de $300\text{ m}^3/\text{h}$ con vacío final de $0,03\text{ mbar}$.
- 1 regulador electrónico neumático para el control del vacío de la bomba.
- 1 medidor electrónico de temperatura y vacío con 12 sensores de temperatura y 12 sensores del vacío.
- 1 computadora para programar el ciclo de liofilización.
- 1 calentador eléctrico con ventilador para descongelar el condensador.
- 4 llaves a mariposa neumáticas del diámetro 80 mm para el control de los fluidos.
- 1 compresor de aire comprimido.
- 1 tablero eléctrico de potencia y control de todos los aparato.

EL DIAGRAMA DE MOLLIER DEL AIRE

Con el diagrama de Mollier se puede calcular las trasformaciones del aire. La calefacción, el enfriamiento la humedad relativa y absoluta, la deshumidificación, el peso específico, el volumen específico, la entalpía (kcal./kg) el contenido de agua en g/kg de aire, calor latente y el calor sensible..

TEMPERATURA DE SATURACIÓN (grado de saturación)

Es el punto en el que el aire no puede absorber mas agua y es la cantidad de agua que contener en gramos de agua un kilogramo de aire seca y se indica con la X
El punto de saturación se conoce como punto de rocío
El aire es satura de agua a la temperatura correspondiente.
Es la temperatura que se mide con el termómetro de bulbo húmedo.
La temperatura del bulbo húmedo es siempre mas baja del bulbo seco.

TEMPERATURA DE ROCÍO (se mide con lo psicrómetro)

Es la temperatura de inicio condensación del vapor del agua que contiene el aire.
La temperatura de rocío es siempre mas baja de la temperatura del bulbo seco.

HUMEDAD ABSOLUTA DEL AIRE (hálala en el diagrama del aire con la X)

Es la cantidad del vapor de agua en g que puede contener 1 kg de aire seca a la temperatura correspondiente. (g/kg)

HUMEDAD RELATIVA (se mide con lo psicrómetro)

Es la humedad medida con el psicrómetro.
Nota: lo psicrómetro es un aparato con dos termómetros, el bulbo de un termómetro es cubierto con una gasa. Cuando se mide la temperatura se debe bañar con agua destilada el termómetro con la gasa, el agua evapora y hace enfriar el termómetro que baja de temperatura. Con la diferencia de temperatura entre los dos termómetros en la tabla psicrométrica se encuentra la humedad relativa del aire en %

DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DEL AIRE. CARRIER

La temperatura del aire se consigue en las líneas verticales.
La humedad absoluta se consigue en las líneas horizontales y es representada con la X.
La humedad relativa es representada con las líneas curva con valores del 10% a 100%
El volumen específico es representado con la $V = \text{m}^3/\text{kg}$.

Para hallar el peso específico del aire se divide 1 para los m^3/kg .
Ejemplo: se el volumen del aire es $0,8 \text{ m}^3/\text{kg}$ el peso específico es:
 $1 : 0,8 = 1,25 \text{ kg}/\text{m}^3$.

TRATAMIENTO DEL AIRE

Enfriamiento sin des humidificación (no hay sustracción de vapor del agua)
Enfriamiento con des humidificación (hay sustracción de vapor del agua)
Humidificación con vapor (el aire aumenta de temperatura porque sustrae calor al vapor)
Humidificación adiabática con agua (el agua evapora y sustrae calor al aire)

CALOR SENSIBLE

Se llama calor sensible lo que puede ser apreciado por nuestro sentido y que se puede medir con el termómetro.

El calor sensible del aire es $0,24 \text{ Kcal./kg}$.

CALCULO DEL CALOR SENSIBLE (cs) DEL AIRE

El calor sensible del aire es $0,24 \text{ Kcal./kg}$.

$P =$ peso en kg/m^3

$T_e =$ temperatura de entrada de aire en el acondicionador.

$T_u =$ temperatura de salida del aire del acondicionador.

$cs = P.(T_e - T_u) \cdot 0,24 = \text{Kcal./kg}$.

CALOR LATENTE.

El calor latente del agua es la cantidad de calor que necesita el agua para transformarse de líquido en vapor, es decir el calor que necesita para vencer la cohesión molecular que se opone a la transformación en vapor.(sin variación de temperatura)

Para transformar 1 kg de agua en vapor se necesita $\pm 600 \text{ Kcal}$.

CALCULO DEL CALOR LATENTE (cl) DEL AIRE

En el diagrama la X representa la humedad absoluta del aire.

Para producir 1 kg de vapor sirve 600 kcal ($0,6 \text{ kcal/g}$).

$X_e =$ humedad absoluta del aire que entra en el acondicionador.

$X_u =$ humedad absoluta del aire que sale del acondicionador.

$cl = 0,6 \cdot (X_e - X_u) \cdot P = \text{kcal/kg}$.

CALOR TOTAL DEL AIRE (ct)

$J_e =$ entalpía del aire que entra en el acondicionador (Kcal./kg)

$J_u =$ entalpía del aire que sale del acondicionador.(Kcal./kg)

R = es la relacion entre el calor sensible y el calor total.

$ct = \text{kg} \cdot (J_e - J_u) = \text{kcal/kg}$.

También: $cs + cl = ct$.

$R = cs : ct$;

EJEMPLOS DE TRATAMIENTO DEL AIRE CON EL DIAGRAMA

Tratamiento

Enfriamiento sensible del aire

Tratamiento

Enfriamiento sensible y enfriamiento con deshumidificación.

Tratamiento

Enfriamiento con deshumidificación

Tratamiento

Enfriamiento sensible enfriamiento con deshumidificación y postcalefacción.

Tratamiento

Precalentamiento del aire exterior

Tratamiento

Precalentamiento del aire exterior y humidificación adiabática (con agua caliente)

Tratamiento

Precalentamiento del aire exterior y humidificación adiabática y calefacción

Tratamiento

Precalentamiento del aire exterior y humidificación con vapor

Tratamiento (mezcla)

Precalentamiento del aire exterior y postcalefacción

Tratamiento (mezcla)

Enfriamiento del aire exterior con aire ambiente

ACONDICIONAMIENTO DE UNA MEZCLA DE AIRE INVERNAL

Hallar la temperatura y la humedad absoluta de la mezcla.

Una mezcla de aire de 4000 kg;

Temperatura ambiente 20°C.

Humedad relativa ambiente 45%

2000 kg/h de aire exterior a temperatura de 1°C y humedad del 80%.

En el diagrama: a temperatura de 20°C el aire contiene 6,5 g de agua por kg que corresponde al 45% de humedad relativa.

A temperatura de 1°C el aire contiene 2g de agua por kg; humedad relativa 80%.

Solución:

$$\text{Temperatura de la mezcla} = \frac{4000 \cdot 20 + 2000 \cdot 1}{4000 + 2000} = 13,66^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Agua en la mezcla} = \frac{4000 \cdot 6,5 + 2000 \cdot 2}{4000 + 2000} = 5 \text{ g/kg}$$

La temperatura del aire que entra en el acondicionador es de 13,66°C y contiene 5g de agua por kg, la humedad relativa corresponde al 50%.

ACONDICIONAMIENTO DE UNA MEZCLA DE AIRE EN EL VERANO.

Hallar la temperatura y la humedad absoluta de la mezcla.

Una mezcla de aire de 6000 kg a 25°C y humedad relativa del 50% correspondiente a 10,5 g de agua por kg y 2000 kg exterior a 32°C y con el 50% de humedad relativa correspondiente a 15 g de agua por kg de aire.

Solución:

$$\text{Temperatura de la mezcla} = \frac{6000 \cdot 25 + 2000 \cdot 32}{6000 + 2000} = 27,5^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Agua en la mezcla} = \frac{6000 \cdot 10,5 + 2000 \cdot 15}{6000 + 2000} = 11,6 \text{ g por kg}$$

CALCULO DE LA POTENCIA FRIGORÍFERA DE UN ACONDICIONADOR

Se debe enfriar la mezcla de aire de 8000 kg de 27,5°C asta a 12°C.y humedad relativa del 85%.

Solución:

$$cs = 8000 \cdot 0,24 \cdot 15,5 = 29760 \text{ kcal}$$

A 27,5°C el aire contiene 11,6 g de agua por kg.

A 12°C el aire contiene 7g de agua por kg.

Agua de quitar a el aire: $11,6 - 7 = 4,6 \text{ g/kg}$.

$$cl = 0,6 \cdot 4,6 \cdot 8000 = 22080 \text{ kcal.}$$

$$ct = 29760 + 22080 = 51840 \text{ kcal.}$$

$$R = 22080 : 29760 = 0,42$$

La potencia del acondicionador es de 51840 kcal/h.

MODULO DE CALCÚLO DEL CALOR DE UN AMBIENTE

VENTANAS EXPUESTAS AL SOL.	Superficie m ²		Sin cortina	Cortina interna	Cortina externa	kcal/h
	A		B1	B2	B3	A x B
Norte este	m ²	x	165	70	30	
Este	m ²	x	220	120	70	
Sur este	m ²	x	205	110	65	
Sur	m ²	x	205	110	75	
Sur oeste	m ²	x	330	160	100	
Oeste	m ²	x	410	250	150	
Norte oeste	m ²	x	220	100	60	
Ventana no espuesta al sol	m ²	x	38			
PARED ESPESOR			Expuesta al sol	No expuesta al sol		
Espesor 0,12 m	m ²	x	30	12		
Espesor 0,25 m	m ²	x	22	10		
Espesor 0,38 m	m ²	x	14	8		
TECHO						
Aislado	m ²	x	20			
No aislado	m ²	x	48			
Con desván	m ²	x	10			
Ático	m ²	x	30			
Terraza aislada	m ²	x	25			
Terraza sin aislante	m ²	x	100			
Suelo	m ²	x	10			
Puerta esterna en madera	m ²	x	15			
Puertas no cerrada	m ²	x	125			
Equipos eléctricos			Kw.	X 860 = Kcal/h		
Personas			Nº	x 100 = kca/h		
Aire exterior			m ³ /h	x 0,31 x Δt = kcal/h		
			TOTAL kcal/h			

N. B. ESTOS VALORES SON VALIDOS POR UNA DIFERENCIA DE TEMPERATURA DE 7°C ENTRE INTERNO Y EXTERNO DEL AMBIENTE

Ej. Calculo del calor que entra en un ambiente las dimension: (A) 5 m de longitud, (B) 4 m de ancho, (H) altitud 3 m. Volumen del ambiente: $A \times B \times H = m^3$ 60

Superficie exterior de las paredes: 54 m². Superficie del techo: 20 m², Superficie del suelo: 20 m². Superficie de la ventana espuesta a este: 2 m², Superficie de la puerta 2,5 m². 2 Personas, Aparatos electricos: 2 KW. Aire exterior 30 m³/h. espesor de las paredes: 0,12 m.

Solucion: calor a traves de las paredes: $54 \times 30 = 1620$ Kcal/h. Calor a traves del techo no aislado: $48 \times 20 = 960$ Kcal/h. Calor a traves del suelo: $10 \times 20 = 200$ Kcal/h. Calor a traves de la ventana sin cortina espuesta a este: $220 \times 2 = 440$ Kcal/h. Calor a traves de la puerta externa: $15 \times 2,5 = 37,5$ Kcal/h. Calor de 2 personas: 200 Kcal/h. Calor de aparatos electricos: 1720 Kcal/h. Calor del aire exterior: $30 \times 0,31 \times 7 = 65$ Kcal/h.

Total kcal/h: $1620 + 960 + 200 + 440 + 37,5 + 200 + 1720 + 65 = 5242,5$.

10% por seguridad: $5242,5 \times 1,1 = 5766$ Kcal/h.

CALCULO DE LA TRASMISION DE CALOR A TRAVES DE LAS PAREDES.

Una pared de ladrillo de la superficie de 10 m² y de espesor de 0,25 m, la temperatura exterior de la pared es de 30°C y la temperatura interna de 20°C, hallar cuantas kcal/h pasan a través de la pared.

Coefficiente de conductividad del ladrillo: K 0,5 kcal/mh°C.

Q = kcal/h.

K = coeficiente de conductividad

S = espesor de la pared.

m² = superficie de la pared.

Te = temperatura exterior.

Ti = temperatura interior.

Formula

$$Q = \frac{K \cdot m^2}{S} \cdot (Te - Ti) = \text{kcal/h.}$$

Solución:

$$Q = \frac{0,5 \cdot 10}{0,25} \cdot (30 - 20) = 200 \text{ kcal/h.}$$

Se la misma pared la aislamos con una plancha de polistirolo de espesor (S1) de 0,06 m, cuantas kcal/h pasan a través de la pared.

Coefficiente de transmisión del polistirolo: K = 0,045 kcal/mh°C.

Solución:

$$Q = m^2 \cdot \frac{Te - Ti}{\frac{S}{K} + \frac{S1}{K1}} = 10 \cdot \frac{30 - 20}{\frac{0,25}{0,5} + \frac{0,06}{0,045}} = 54,64 \text{ kcal/h.}$$

ACONDICIONAMIENTO DEL AIRE CIVIL, COMERCIAL Y INDUSTRIAL

En el verano la temperatura en un AMBIENTE CIVIL debe ser de 7°C meno de la temperatura exterior y la humedad se debe mantener entre 45% ± 55%.

El aire exterior de recambio no debe ser meno de 30 m³ por persona.

En los AMBIENTES COMERCIALES el aire externa de recambio debe ser de 10 volumen del ambiente por hora.

En las canalización la velocidad del aire debe ser (máxima 10 m/s).

A través del filtro la velocidad del aire debe ser (máxima 1,5 m/s).

En el ambiente la velocidad del aire debe ser (0,7 m/s).

El agua refrigerada debe entrar en la batería del acondicionador a temperatura de 7°C.

A expansión directa en la bateria la temperatura de evaporación del gas debe ser de 2°C ± 5°C.

Para la calefacción del aire la temperatura del agua en la serpentina de calefacción del acondicionador debe ser de 60°C ± 80°C.

Cuando se hace el proyecto de acondicionamiento de aire para ambiente civil se puede usar el modulo de calculo.

En los ambientes industriales, sala de baile, industrias, se debe hacer el calculo del calor que produce la iluminación, las maquinarias, el calor que pasa a través de las paredes, ventanas, puertas y el calor que las personas producen por el trabajo o por el movimiento

PRODUCCIÓN DE CALOR DE LAS PERSONAS.

	Calor total kcal/h	Calor sensible kcal/h	Calor latente kcal/h
Persona sentada	90	50	40
Persona que trabaja sentada	100	50	50
Persona sentada con trabajo moderado	115	50	65
Empleado de banco y tienda	125	50	75
Bailarín de danza lenta	210	60	150
Bailarín de danza animada	400	120	280
Persona de trabajo moderado	250	75	175
Persona de trabajo pesado	380	130	250

ACONDICIONAMIENTO DE LOS CUARTOS ESTÉRIL PARA LOS PRODUCTOS FARMACÉUTICOS Y DIETÉTICOS.

Los volúmenes de aire deben ser muy grande para una eficiente filtración del aire.

Los volúmenes son de 25 ± 40 veces del volumen ambiente.

La velocidad del aire en el ambiente debe ser de 0,3 ± 0,4 m/s.

La temperatura ambiente de 22°C ± 23°C y la humedad del 20% ± 25%.

El aire de recambio debe ser por lo menos de 30 volumen ambiente por hora..

CLASIFICACION DE LOS FILTROS DEL AIRE

La clasificación de la filtración del aire a normas internacionales son:

100000; 10000; 100.

100000: es el filtro de los acondicionadores por uso civil y comerciales. .

10000 : el acondicionador debe tener un filtro de 100000, un filtro a bolsillo y un filtro absoluto con eficiencia de 98/97%

100: el acondicionador debe tener un filtro de 100000, un filtro a bolsillo y un filtro absoluto con eficiencia de 99,999%.

NORMAS DE SOLICITUD DEL FEDERAL STANDARD (209 D) PARA OBTENER EL AIRE LIMPIA CONDICIONES DEL AMBIENTE DE PREPARACIÓN DE LOS PRODUCTOS

MAXIMA PARTÍCULAS PERMITIDA POR m³ DE AIRE ACONDICIONADO

Clasificación: 100 (A B) 3500 partículas de 0,5 micron/m³

Clasificación: 10000 (C) 350000 partículas de 0,5 micron/m³

Clasificación: 100000 (D) 3500000 partículas de 0,5 micron/m³

En los ambientes acondicionados a flujo laminar el numero de microorganismo vivientes permitido debe ser inferior de 1 micron por m³ de aire.

Clasificación; 100 el numero máximo de microorganismos debe ser 5/m³

Clasificación : 10000 el numero máximo de microorganismos debe ser 100/m³

Cosificación: 100000 el numero máximo de microorganismo debe ser 500/m³

Clase del filtro:

Clase 100: filtro absoluto rendimiento DOP 99,999%.

Clase:10000: filtro absoluto rendimiento DOP 99,97%

Clase:100000: filtro normal y filtro a bolsillo.

El filtro normal y el filtro a bolsillo se debe instalar ante del filtro absoluto.

TABLA DE CLASIFICACION DEL AIRE A NORMAS ISO.

Clasificación Numero	Limite maximo de concentracion de particulas por m ³ de aire.					
	0,1 micron	0,2 micron	0,3 micron	0,5 micron	1 micron	5 Micron
ISO 1	10	2				
ISO 2	100	24	10	4		
ISO 3	1000	237	102	35	8	
ISO 4	10000	2370	1020	352	83	
ISO 5	100000	23700	10200	3520	832	29
ISO 6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
ISO 7				352000	83200	2930
ISO 8				3520000	832000	29300
ISO 9				35200000	8320000	293000

Para una buena filtracion el reciclaje del aire ambiente debe ser de 25 a 40 volume por hora, el numero de reciclaje depende del producto y del polvo que produce la elaboración.

El aire exterior debe ser tomada a una altitud mínima de 5 m del nivel del suelo y debe ser filtrada ante de entrar en el acondicionador.

La cantidad de aire exterior no debe ser meno de 1 volumen ambiente por hora.

Se el acondicionador es a flujo vertical el aire entra en el ambiente del techo de traves de los filtros absolutos a velocidad de 0,5 m/s y viene aspirada de la parte baja del ambiente.

A flujo transversal el aire entra en el ambiente de una pared de filtros absolutos y aspirada de la pared opuesta.

ACONDICIONADOR DE AMBIENTE ESTERIL.

El acondicionador debe mantener constante el caudal del aire, la temperatura, la humedad relativa en todas las condiciones.

La temperatura ambiente debe ser mantenida de $20 \pm 23^{\circ}\text{C}$.

La humedad relativa no debe ser mayor del 20%.

El dimensionado de la potencia del acondicionador se puede hacer con el modulo de calculo o analíticamente.

La batería de enfriamiento debe ser dimensionada con la eficiencia de hacer la deshumidificación del aire asta el 15% de humedad.

Para hallar una buena deshumidificación del aire la temperatura de la batería debe ser de 10°C .

La batería debe ser ad expansión directa y a temperatura de 2°C .

La batería de post calefacción debe ser de agua caliente con la regulación de la temperatura que debe ser echa con una válvula a tres vías motorizada y con control electrónico y la batería debe calentar el aire en cualquiera condición.

LA REFRIGERACION INDUSTRIAL Y COMERCIAL.

En la industria las aplicaciones de la refrigeración son distinta.

Para producir agua refrigerada a temperatura de 12 a 7°C por el aire acondicionado industrial, comercial y civil se utilizan refrigeradores (water chiller).

Para enfriar el vino y la leche se utiliza agua helada que es refrigerada con el hielo producido en una vasca con un evaporador echo a serpentina.

El agua circula en la vasca por medio de una bomba y se mantiene a temperatura de $0,5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ y se envía en los depósitos para enfriar el vino o la leche etc.

Si se usa como liquido refrigerante agua y glicol propilenico se puede alcanzar la temperatura de -40°C .

Las baja temperatura se usa para condensar vapor de gas, en las cámara de refrigeración, en la industria química farmacéutica, en los túnel de congelación, de prueba de autos y en la industria aeronáutica.

En la refrigeración comercial se utilizan refrigeradores a glicol propilenico para refrigerar las cámaras de conservacion de la fruta en atmósfera controlada.

Para conservar los productos alimenticios en las cámara de refrigeración se usan evaporadores estáticos y ventilados, los evaporadores estáticos desecan meno los alimentos.

El evaporador ventilado si selecciona con la diferencia de 5°C entre la temperatura de la cámara y la evaporación para mantener en la cámara la humedad debe ser del 90%.

La humedad en la cámara de refrigeración hace la función de limitar la perdida de peso del alimento causada para la evaporación del agua fisiológica del alimento.

Con la humedad relativa alta en la cámara hay meno perdida de peso, pero hay peligro de desarrollo microbianos y del moho.

Por la buena conservación de los alimentos se debe hallar un compromiso de aceptar una leve pérdida de peso que es menos costosa del daño que puede provocar las bacterias y el moho.

LA REFRIGERACION

Para la mayoría de los productos de horticultura la temperatura óptima de conservación es de $1 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y la humedad del $90 \pm 95\%$, a estas condiciones el CO_2 producido de la pera por la respiración es de $2 \pm 3 \text{ ml/kg/h}$, para hacer el cálculo del calor de respiración de 1 kg de pera se multiplica 0,122 para los ml de CO_2 .

$\text{ml } 3 \cdot 0,122 = 0,366 \text{ kcal/kg/24h}$, a estas condiciones en la cámara frigorífica se alarga la vida a los alimentos porque con el frío hay una reducción de la actividad enzimática y microbiana.

El tiempo de conservación de los alimentos en las cámaras de refrigeración de los vendedores de fruta y verdura es promedio de 6 ± 8 días.

LA CONGELACION

La congelación es el método de congelar el agua que contiene el alimento.

El agua es el elemento preponderante de congelar porque es la causa principal para el desarrollo de microorganismos que hacen deteriorar los alimentos.

Si los alimentos se congelan a temperatura de -18°C el desarrollo de los microbios se puede considerar casi nada, la mayoría de los microbios y las toxinas microbianas no se mueren con el frío, los alimentos deben ser irreprochables higiénicamente y no deben sufrir de alzas de temperatura durante la conservación porque puede provocar el aumento de la actividad microbiana que daña el alimento.

La fruta y la verdura respiran como las personas y continúan a respirar también después de la cosecha y durante la conservación en las cámaras de refrigeración y si hay oxígeno hay producción de CO_2 y de etileno que se transforma en calor y la hace madurar, mayor es la velocidad de respiración menor es la vida de la fruta y verdura.

En Europa las manzanas que se cosechan en octubre y noviembre se conservan por el tiempo de 5 – 6 meses y la respiración se controla en atmósfera controlada con el 2 – 3 % de oxígeno para limitar la respiración y la maduración.

La temperatura de conservación de los productos de horticultura no deben alcanzar el punto de congelación para no alterar el producto.

Para la congelación de los alimentos se usan cámaras y túnel.

Para las cámaras de conservación la temperatura del aire debe ser de $-3 - 4^{\circ}\text{C}$ y el caudal del aire de 150 volumen por hora.

Para las cámaras de congelación la temperatura del aire debe ser de $-35 - 40^{\circ}\text{C}$ y el caudal del aire de 300 volumen por hora.

El túnel de congelación debe haber la longitud 4 veces el ancho, la temperatura del aire debe ser de $-35 - 40^{\circ}\text{C}$ y el caudal del aire de 200 volumen por hora.

LA CONGELACION RAPIDA

La congelación es rápida cuando el frío entra en el producto a la velocidad de 5 cm por hora y en menos de 4 horas debe alcanzar la temperatura de -18°C en el centro del producto.

La congelación es lenta cuando el frío entra en el producto a la velocidad de 1 cm por hora y emplea más de 4 horas a alcanzar la temperatura de -18°C en el corazón del producto.

La congelación debe ser rápida porque si es lenta se forman grandes cristales de hielo que rompen la fibra del producto y consecuentemente pérdida de líquido y peso.

Con la congelación rápida los cristales de hielo son más pequeños y hay menor pérdida de líquido y peso.

Por la conservación y la congelación de los productos consultar la tabla 1.

En la tabla 30 hay ejemplos de cálculo de cámaras de conservación y congelación.

EQUIPO DE REFRIGERACION POR CAMARA DE REFRIGERACION A TEMPERATURA DE 0°C CON GAS R 134 A.

Potencia frigorífica: 20000 kcal/h = 23,25 KW/h = 83720 KJ/h.

Temperatura de evaporación: – 5°C.

Temperatura de condensación: 50°C.

TUBERIA DE ASPIRACION:

Longitud total de la tubería de aspiración: 10m.

Longitud de 3 m de tubería que sale del evaporador en vertical de bajo arriba.

Longitud de 2 m de tubería horizontal.

Longitud de 5 m de tubería de arriba a bajo.

2 sifon

2 curvas

llave.

TUBERIA DE IMPULSION

Longitud total de la tubería de impulsión: 20 m.

Longitud de 19 m la tubería en vertical de bajo arriba.

1 sifón

2 curvas

1 llave.

TUBERIA DEL GAS LIQUIDO

Longitud total 10 m

3 llaves

2 curvas

1 filtro

1 válvula electromagnética

1 indicador de pasaje del gas líquido

1 válvula de termo expansión.

HALLAR EL DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ASPIRACION

Velocidad del gas en la tubería de aspiración 9 m/s.

En la tabla 11 el gas 134 A, a – 5°C de evaporación y 50°C de condensación, la capacidad volumétrica es 1509 KJ/m³

83720 : 1509 = 55,48 m³/h.

$$D = \sqrt{\frac{m^3/h}{900 \cdot 3,14 \cdot m/s}} = \sqrt{\frac{55,48}{900 \cdot 3,14 \cdot 9}} = 46,7 \text{ mm.}$$

CALCULO DE LAS PERDIDAS DE CARGA

$$\Delta p = \frac{f \cdot \rho \cdot v^2/2 \cdot l/d}{9,807 \cdot 10^4} = \frac{0,018 \cdot 11,92 \cdot 40,5 \cdot 21,74}{98070} = 0,0019 \text{ kp/cm}^2/\text{m.}$$

Longitud de la tubería 10 m;

10 · 0,0019 = 0,019 kp/m².

2 sifones Δp 5,6 m + 2 curvas Δp 1,96 m + 1 llave Δp 0,11 m: total 7,67 m.

$0,019 + 0,767 = 0,786 \text{ kp/cm}^2$ (perdidas total).

HALLAR EL DIAMETRO DE LA TUBERIA DE IMPULSION.

En la tabla termodinámica del gas hallamos que a -5°C la densidad del gas es $11,94 \text{ kg/m}^3$ y a 50°C la densidad es $64,66 \text{ kg/m}^3$.

La densidad promedio es: $11,94 + 64,66 : 2 = 38,29 \text{ kg/m}^3$.

Entalpía en KJ/kg: a -5°C = 398,20; a 50°C 270,77.

Efecto frigorífico: $398,20 - 270,77 = 127,43 \text{ KJ/kg}$.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{3,14 \cdot v \cdot \rho \cdot 3600 \cdot \Delta J}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 83720}{3,14 \cdot 9 \cdot 38,3 \cdot 3600 \cdot 127,43}} = 26 \text{ mm.}$$

CALCULO DE LAS PERDIDAS DE CARGA

$$\Delta p = \frac{f \cdot \rho \cdot v^2/2 \cdot l/d}{9,807 \cdot 10^4} = \frac{0,018 \cdot 38,29 \cdot 40,5 \cdot 38,46}{98070} = 0,01 \text{ kp/cm}^2/\text{m.}$$

Longitud de la tubería 20 m.

Perdidas total de la tubería: $20 \cdot 0,01 = 0,2 \text{ kp/cm}^2$.

1 sifón Δp 1,5 m + 2 curvas Δp 1,6 + 1 llave Δp 0,07 m; total 3,17 m.

$0,2 + 0,317 = 0,517 \text{ kp/cm}^2$.

HALLAR EL DIAMETRO DE LA TUBERIA DEL GAS LIQUIDO.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{3,14 \cdot v \cdot \rho \cdot 3600 \cdot \Delta J}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 83720}{3,13 \cdot 05 \cdot 1197,98 \cdot 3600 \cdot 127,43}} = 20 \text{ mm.}$$

CALCULO DE LAS PERDIDAS DE CARGA

$$\Delta p = \frac{f \cdot \rho \cdot v^2/2 \cdot l/d}{9,807 \cdot 10^4} = \frac{0,018 \cdot 1197,98 \cdot 0,125 \cdot 50}{98070} = 0,0013 \text{ kp/cm}^2.$$

Longitud total 10 m.

Perdida total de carga en la tubería: $10 \cdot 0,0013 \text{ kp/cm}^2$.

2 llaves Δp 0,12 m + 2 curvas Δp 0,43 m + 1 filtro Δp 5 m + 1 válvula electromagnética Δp 2,5 m + 1 indicador de pasaje del gas líquido Δp 2,5 m: total 10,55 m.

$0,0013 + 1,055 = 1,06 \text{ kp/cm}^2$. pérdida total de la tubería del gas líquido.

Perdidas totales en el circuito frigorífico $2,36 \text{ kp/cm}^2$.

Seleccionar la válvula de termo expansión de la potencia de 23 KW/h:

Evaporación -5°C .

Presión de condensación $13,20 \text{ kp/cm}^2$.

Presión de evaporación $2,43 \text{ kp/cm}^2$.

$13,20 - 2,43 - 2,36 = 8,41 \text{ kp/cm}^2$.

Con temperatura de evaporación de -5°C en la columna con Δp 8 se busca la válvula de 23 KW o la más cercana. Nota: la válvula de expansión tiene una capacidad mayor del 20% de la tabla de selección.

PROYECTO DE UN LIOSTATO POR LA LIOFILIZACION DE 1300 FRASCOS DE 4 mg Y DEL DIAMETRO DE 22 mm.

CAMARA DE CONGELACION.

Dimensión interna de la cámara de refrigeración en lamina de acero inox AISI 316 L de espesor de 3 mm.

Longitud 790 mm; ancho 500 mm; altitud 410 mm.

Numero 3 planchas, dos para el enfriamiento de los frascos y una de derribo.

Dimensión de las planchas: 400 mm x 780 mm x 20 de espesor.

Puerta de la cámara en plexiglas: dimensión 800 x 420 mm y de espesor de 40 mm y con cornisa en acero inox, guarnición en goma de silicona del diámetro de 6 mm.

Superficie de las dos planchas: 0,63 m².

Distancia entre las dos planchas: 250 mm.

Temperatura en las planchas – 45°C.

Enfriamiento ad expansión directa.

Calefacción con dos baterías eléctricas de 0,5 KW cada una.

CAMARA DEL CONDENSADOR.

Dimensión interna de la cámara de condensación en acero inox AISI 304.

De forma cilíndrica y del diámetro interno de 400 mm y longitud de 500 mm.

Superficie de intercambio del condensador: 1,5 m² en planchas en acero en zinc.

Capacidad maxima de hielo en el condensador: 27 kg.

Temperatura en las planchas – 45°C ad expansión directa.

Descongelación con agua y aire caliente.

1 llave del diámetro de 110 mm por la conexión entre las dos camaras.

1 compresor de 2 hp a gas 404 A (para el enfriamiento del condensador).

Potencia frigorífica de 1350 W/h a temperatura de evaporación de – 45°C y condensación de 30°C ad agua.

1 compresor de 1,5 hp a gas 404 A (para el enfriamiento de las planchas).

Temperatura de evaporación – 45°C y condensación ad agua de 30°C.

Potencia frigorífica 850 W/h

1 bomba de alto vacío, rotativa del caudal de 18 m³/h con vacío final de 0,03 mbar.

1 medidor de vacío con 3 sensores.

1 medidor de temperatura con 4 sensores

1 computadora por el programa de liofilización.

2 llaves a mariposa del Ø de 36 mm.

1 tablero eléctrico de potencia y control.

FORMULAS POR EL DIMENSIONADO DE LAS TUBERIAS.

m³/h = volumen del gas correspondiente a las kcal/h.

Q = kcal/h

ΔJ = kcal/kg de gas (entalpía)

ρ = densidad del gas (kg/m³)

d = diámetro interior de la tubería (m)

π = 3,14

v = m/s

Δp = caída de presión o perdida de carga.

l = longitud de la tubería (m)

f = coeficiente de rugosidad

n = numero de curvas

g = aceleración de gravedad correspondiente ± 9,807 m/s²

kp = kilogramo peso; 1kp = 9,807 N

ξ = coeficiente de resistencia de una llave o curva
 h = desnivel en m.

Formulas por el cálculo de velocidad del gas en las tuberías

$$v = \frac{m^3 h}{900 \cdot \pi \cdot d^2} = \text{m/s}; \quad v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2 \cdot \rho \cdot 3600 \cdot \Delta J} = \text{m/s}.$$

Formula por el cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías

$$\Delta p = \frac{f \cdot \rho \cdot v^2 / 2 \cdot l / d}{9,807 \cdot 10^4} = \text{kp/cm}^2.$$

Formulas por las pérdidas de carga en las curvas, llaves y desnivel.

$$\Delta p = \frac{n \cdot \xi \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2}{9,807 \cdot 10^4} = \text{kp/cm}^2 \text{ (por las curvas } \xi = 0,66)$$

$$\Delta p = \frac{\xi \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2}{9,807 \cdot 10^4} = \text{kp/cm}^2 \text{ (por las llaves } \xi = 6)$$

$$\Delta p = \frac{\rho \cdot g \cdot h}{9,807 \cdot 10^4} = \text{kp/cm}^2 \text{ (por el desnivel en m)}$$

En la tubería vertical del gas líquido se debe sumar la caída de presión estática.

VELOCIDAD DE SUMINISTRAR AL GAS EN LAS TUBERIAS (m/s)

Tipo de gas	Tubo del liquido	Tubo de aspiración	Tubo de impulsión
R 12	0,3 – 0,5 m/s	Vertical 7,5 – 9 m/s Horizontal 2,5 – 4 m/s	Vertical 8 – 10 m/s Horizontal 5 – 7 m/s
R 134 ^a	0,3 – 0,5 m/s	Vertical 7 – 9 m/s Horizontal 2 – 4 m/s	Vertical 8 – 10 m/s Horizontal 5 – 7 m/s
R 22	0,3 – 0,5 m/s	Vertical 7,5 – 9 m/s Horizontal 5 – 8 m/s	Vertical 8 – 10 m/s Horizontal 5 – 8 m/s
R 407	0,3 – 0,5 m/s	Vertical 7 – 9 m/s Horizontal 5 – 8 m/s	Vertical 8 – 10 m/s Horizontal 5 – 8 m/s

Se la velocidad del gas aumenta del doble la caída de presión aumenta al cuadrado.

Se la velocidad del gas es 5 m/s (V1) y la caída de presión de 0,04 kp/cm² (P1) y la velocidad (V2) de 10 m/s hallar la caída de presión (P2).

$$P_2 = P_1 (V_2 : V_1)^2 = 0,04 (10 : 5)^2 = 0,16 \text{ kp/cm}^2.$$

Formula para hallar la velocidad del gas variando la presión.

$$V_2 = V_1 \cdot \sqrt{P_2 : P_1} = 5 \cdot \sqrt{0,16 : 0,04} = 10 \text{ m/s}.$$

Si doblamos el diámetro del tubo manteniendo la misma velocidad, el caudal del tubo aumenta de 4 veces.

CAIDA DE PRESION ESTATICA DEL GAS LIQUIDO EN LOS TUBOS VERTICALES.

	Altitud en m y caída de presión en bar								
Altitud	1 m	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	35 m	40 m
R 22	0,117	0,585	1,17	1,755	2,34	2,93	3,51	4,1	4,69
R 134 A	0,119	0,595	1,19	1,785	2,38	2,98	3,57	4,17	4,76
R 404 A	0,098	0,49	0,98	1,47	1,96	2,45	2,94	3,43	2,92
R 507 A	0,0985	0,493	0,985	1,48	1,97	2,46	2,95	3,45	3,94

PERDIDAS DE CARGA EN LAS TUBERIAS

La pérdida de carga es la pérdida de presión que sufre el fluido para circular en la tubería. Las pérdidas de carga son debidas por el rozamiento con las paredes y entre los estratos del líquido. Hay dos pérdidas de carga, pérdida de carga lineal en la longitud de la tubería y la pérdida singular que se produce en un circuito hidráulico o frigorífico.

Los fluidos comprimibles son los gases, el aire, combustibles, humo etc.

Los fluidos no comprimibles son los líquidos.

Las pérdidas de cargas dependen de las características del fluido y de la tubería.

Las características del fluido son la densidad (kg/m^3) y la viscosidad (Re)

Las características de la tubería depende de la sección interna y de la rugosidad.

Las pérdidas de carga de los fluidos dependen de la velocidad y del número de Reynolds. La densidad es la masa del fluido contenida en la unidad del volumen que en los fluidos depende de la temperatura. Se denomina con la letra (ρ) y se mide en kg/m^3

En los gases la variación de densidad es mas importante que en los líquidos porque depende de la temperatura y de la presión. El peso específico, es el peso de un fluido contenido en la unidad de volumen y se logra dividiendo el peso por el volumen.

La viscosidad es la resistencia que opone al fluido en el movimiento paralelo a si mismo La viscosidad absoluta disminuye con el aumento de la temperatura, es laminar cuando los Reynolds son 2000 y es turbulenta cuando son 3000 o mas.

DIMENSIONADO DE LAS TUBERIAS DE UN EQUIPO DE REFRIGERACION.

Cuando se hace el dimensionado de las tuberías se debe tener en cuenta dos exigencias, la velocidad del gas suficiente para arrastrar el aceite de enviar al compresor.

Contener la caída de presión entre límites tolerables.

La disminución de presión en la tubería del gas liquido provoca la reducción de la capacidad de la válvula de termo expansion y del evaporador.

La disminución de presión en la tubería de aspiración hace disminuir la potencia frigorífica del compresor.

En la tubería del gas liquido cuando la caída de presión corresponde a 1°C se debe instalar un intercambiador de calor por gas liquido y vapor que hace aumentar el efecto frigorífico, sub enfría el liquido y sobrecalienta el vapor que sale del evaporador.

En el diagrama del gas se puede averiguar de cuanto se sub enfría y cuanto aumenta en kcal/kg el efecto frigorífico.

En el equipo de refrigeración la caída de presión en la tubería del gas liquido es mas sensible porque hay mas componentes, generalmente hay 2 llaves, 1 filtro, 1 válvula electromagnética

y 1 indicador de pasaje del gas líquido y más la caída estática de la tubería es en vertical de bajo arriba.

Cuando la aspiración del gas es echa de arriba se debe hacer 1 sifón cada 2,5 metros y se hace dimensión de la tubería de una sección más grande para compensar la pérdidas de los sifones.

Cuando el condensador es instalado a la altitud más arriba del compresor para arrastrar el aceite se debe hacer 1 sifón cada 2,5 m y el tubo se dimensiona de sección más grande para compensar las pérdidas de carga de los sifones.

En los equipos de refrigeración por baja temperatura se debe instalar un separador de aceite en el tubo de impulsión a la salida del compresor.

LA VALVULA DE EXPANSION

Las válvulas de expansión son de 4 tipos: válvula de aguja o restrictor, válvula de expansión automática, válvula de expansión eléctrica y válvula de termo expansión.

LA VALVULA DE AGUJA

Es una llave a punzón que obra sobre un orificio calibrado que hace pasar el gas líquido de alimentación del evaporador. (se debe arreglar manualmente)

Se instala en equipos de pequeñas potencias en sustitución del tubo capilar.

LA VALVULA DE EXPANSION AUTOMATICA

La su función es de mantener la presión constante en el evaporador.

Se instala en equipos de pequeñas potencias.

LA VALVULA DE EXPANSION ELECTRICA

Funciona abriendo y cerrando el pasaje del gas a tiempo.

Se queda abierta hasta que en la salida del evaporador no encuentra el punto de equilibrio. El control es echo electronicamente.

LA VALVULA DE TERMO EXPANSION. (ver dibujo)

Controla el flujo del gas líquido que entra el evaporador ad expansión directa y mantiene constante el sobrecalentamiento del gas vapor que sale del evaporador.

Funciona con tres presión: P1, P2, P3.

La P1 es la presión del bulbo que tramite el fuelle que acciona el obturador que abre o cierra el pasaje del gas líquido en el evaporador.

La P2 es la presión del gas que evapora en el evaporador, que tramite el fuelle hace cerrar la válvula.

Esta presión se llama presión de igualización que en la válvula pequeñas es interna, entra de traves de un agujero de bajo del fuelle.

La P3 es la presión del resorte que empuja el obturador en contra del fuelle para disminuir o aumentar el sobre calentamiento del gas vapor que sale del evaporador.

Esta regulación se hace lentamente y manualmente.

La válvula es en equilibrio cuando la presión P1 corresponde a la suma de las presiones P2 y P3.

La temperatura de evaporación es controlada del bulbo termostatico.

El bulbo se debe sujetar firmemente mediante abrazadoras al tubo de aspiración lo más acerca posible de la salida del gas del evaporador en el tramo horizontal y se debe aislar con cinta

hidro repulsiva y aislante de calor porque el bulbo debe captar solo la temperatura del gas del tubo de aspiración.

LA UBICACION DEL BULBO EN EL TUBO DE ASPIRACION

Por el tubo del diámetro de 16 mm, se posiciona en la parte superior, mirando el reloj a las 12, por el diámetro del tubo hasta 36 mm se posiciona (mirando el reloj) a las horas 14, por diámetros del tubo más de 36 mm el bulbo se posiciona (mirando el reloj) a las horas 16. Las válvulas de termo expansión son de dos tipos: en las de pequeña capacidad el igualizador es interior a la válvula, de capacidad más grande el igualizador es exterior y se conecta al tubo de aspiración mediante un tubo del diámetro de 6 mm. La válvula de termo expansión con igualizador exterior es más sensible a las variaciones de presión de evaporación y se usa en evaporadores con caída de presión bastante sensible.

La presión de la válvula de termo expansión termostática con igualizador exterior se llama M.O.P. (Maximum Operating Pressure) es la presión que hace cerrar la válvula de termo expansión, esta presión depende de la carga del fuelle.

Para temperatura de evaporación de 10°C con gas R 22 la MOP es de 6,9 bar, a esta presión la válvula es completamente cerrada.

Las válvulas que trabajan con temperaturas más bajas de -15°C la MOP es de 2,5 bar.

Las válvulas por temperaturas de -70°C y con gas de R 23 la MOP es 1,4 bar

DIMENSIONADO DE LA VALVULA DE TERMO EXPANSION

Potencia del equipo de refrigeración: 9 KW/h a gas R 22, temperatura de evaporación -10°C correspondiente a la presión de 2,5 bar.

Temperatura de condensación 40°C correspondiente a la presión de 14,5 bar.

Perdida de carga en el circuito frigorífico 2 bar.

Hallar la caída de presión entre la entrada y la salida de la válvula.

$$\Delta p = 14,5 - 2,5 - 2 = 10 \text{ bar.}$$

En la tabla de selección de la válvula por el gas R 22 con -10°C de evaporación se toma la columna con Δp 10 bar se busca la válvula de 9 KW/h.

Cuando se hace la selección se debe tener en cuenta que la capacidad de la válvula se puede aumentar o disminuir la capacidad cambiando el orificio.

Si la válvula es demasiado grande crea el problema que péndula en continuación y no se puede regular el punto de equilibrio con el equipo.

PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA VALVULA DE EXPANSION

La humedad, el sucio y el aire en el circuito de refrigeración son las causas más frecuentes del mal funcionamiento de la válvula.

Antes de instalar la válvula se debe limpiar y desecar el circuito de refrigeración y se debe hacer un buen vacío..

Con una bomba se hace circular percloro en el circuito, el percloro que pesa más del agua, limpia las tuberías del sucio y arrastra el agua que está en el equipo.

Cuando se termina esta operación se pone bajo vacío con una bomba de 0,05 bar por lo menos 4 horas.

ALGUNOS PROBLEMAS DE LA VALVULA DE EXPANSION.

LA VALVULA NO ABRE

CAUSA:

*ESTA BLOQUEADA O EL FUELLE ES DESCARGADO.

LA VALVULA FUNCIONA BIEN POR POCO TIEMPO Y SE BLOQUEA.

CAUSA:

* SE BLOQUEA PORQUE HAY HUMEDAD EN EL CIRCUITO

LA VALVULA ABRE Y CERRA EN CONTINUACION

CAUSA:

*DEMASIADO GRANDE O DEMASIADO ABIERTA.

GOLPES DE GAS LIQUIDO EN LOS CILINDROS DEL COMPRESOR

CAUSA:

*VALVULA DEMASIADO ABIERTA

* EL BULBO NO HACE BIEN CONTACTO CON EL TUBO

* EL BULBO NO ESTA BIEN AISLADO

EL GAS EN ASPIRACION ES DEMASIADO CALIENTE.

CAUSA:

*LA VALVULA ES DEMASIADO PEQUEÑA O DEMASIADO CERRADA

INTERCAMBIADOR DE CALOR

Se llama intercambiador de calor el aparato que enfría y calienta dos fluidos en movimiento separados de una pared y se transmiten calor y frío.

Los dos fluidos se pueden mover en el mismo sentido (equicorriente) y de contra sentido (contracorriente)

El intercambiador más simple es de dos tubos, uno adentro el otro.

La temperatura del fluido caliente la denotamos: TC; la temperatura del fluido frío la denotamos: TF; la diferencia media de temperatura: Δt_m .

TC 1 = 100°C; TF1 = 12°C; TC2 = 40°C; TF2 36°C

Formula del Δt_m aritmética

$$\frac{(TC\ 1 - TF1) + (TC2 - TF2)}{2} = \frac{(100 - 12) + (40 - 36)}{2} = 46$$

No es la media aritmética de la diferencia de las temperaturas de salida de los fluidos

CALCULO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE AGUA

TUBO ADENTRO TUBO CON LA FORMULA DEL $\Delta t_{m\ln}$ LOGARITMO

Para iniciar el cálculo del intercambiador se deben determinar las temperaturas de entrada y salida de los fluidos que se deben enfriar y calentar

Determinar las temperaturas de los fluidos

El agua caliente fluye en el intersticio de los dos tubos:

Entrada del agua caliente: TC1 = 100°C. Salida del agua caliente: TC2 = 40°C.

El agua fría fluye en el tubo interior:

Entrada del agua fría: TF1 = 12°C. Salida del agua fría: TF2 = 36°C

$\Delta t_{m\ln}$ = diferencia media logaritmo natural (ln) entre las temperaturas de los dos fluidos que circulan en el intercambiador de calor

Calcular la temperatura media logaritmo ($\Delta t_{m\ln}$) del agua de un intercambiador con circulación del agua en el mismo sentido. (equicorriente)

$$TC1 = 100^{\circ}C > TC2 = 40^{\circ}C$$

$$----- = (100 - 12) - (40 - 36) = 88 - 4 = 84$$

$$TF1 = 12^{\circ}C > TF2 = 36^{\circ}C$$

Calculo del Δt_{mln} en equicorriente

$$\text{Temperatura media logaritmo} = \frac{84}{\ln 88 - \ln 4} = \frac{84}{4,47 - 1,38} = \frac{84}{3,09} = 27^{\circ}C$$

Intercambiador con circulación de agua en contra sentido (contracorriente)
Calcular la temperatura media logaritmo

$$TC1 = 100^{\circ}C > TC2 = 40^{\circ}C$$

$$----- = (100 - 36) - (40 - 12) = 64 - 28 = 36$$

$$TF2 = 36^{\circ}C < TF1 = 12^{\circ}C$$

Calculo del Δt_{mln} en contracorriente

$$\text{Temperatura media logaritmo} = \frac{36}{\ln 64 - \ln 28} = \frac{36}{4,15 - 3,33} = \frac{36}{0,82} = 43,9^{\circ}C$$

El valor es mayor del intercambiador del mismo sentido

BALANCE TERMICO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR

Formula:

$$Q = PV \cdot Y \cdot C \cdot (t_u - t_e) = \text{Kcal/h}$$

Q = calor de trasmisión entre los dos fluidos: $Q = (K \cdot S \cdot \Delta t)$

PV = caudal del volumen del fluido: m^3/h

Y = peso especifico del fluido: kg/m^3

PV . Y = caudal del fluido en kg/h

Ce = calor especifico del fluido: $0,7 \text{ Kcal/kg}^{\circ}C$

Ce = calor especifico del humo: $250 \text{ Kcal/kg}^{\circ}C$

Te = temperatura de entrada del fluido: $^{\circ}C$

Tu = temperatura de salida del fluido: $^{\circ}C$

Δt = diferencia de temperatura entre entrada y salida del fluido

K = coeficiente de contacto del humo

S = superficie de intercambio: m^2

Di = diámetro interno del tubo: m

L = longitud del tubo: m

INTERCAMBIADOR DE HUMO DE LA POTENCIA DE 100000 Kcal/h

Peso específico del fluido: 700 kg/m³

Calor específico del fluido: 0,7 Kcal/kg

Calor promedio del humo: 600 °C

Coefficiente de contacto del humo: K = 50 Kcal/m²h°C

Coefficiente de contacto del fluido: 2500 Kcal/m²h°C

Temperatura de entrada del fluido: 150°C

Temperatura de salida del fluido: 200 °C

Temperatura promedio del fluido: 150 + 200 : 2 = 175 °C

Temperatura promedio entre el fluido y el humo: 600 – 175 = 425 °C

Coefficiente de transmisión promedio: K = 425 . 50 = 21250 Kcal/m²h°C

$$\text{Superficie de intercambio del intercambiador: } S = \frac{Q}{K \cdot \Delta T} = \frac{100000}{21250} = 4,7 \text{ m}^2$$

Caudal del líquido: m³/h

$$Pv = \frac{Q}{\gamma \cdot C \cdot K} = \frac{100000}{700 \cdot 0,7 \cdot 50} = 4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Hallar el diámetro interior del tubo por la circulación del fluido

Velocidad del fluido: v = 3 m/s

$$Di = \sqrt{\frac{Pv \text{ (m}^3\text{)}}{900 \cdot 3,14 \cdot v \text{ (m/s)}}} = \sqrt{\frac{4}{900 \cdot 3,14 \cdot 3}} = 0,0217 \text{ m} = 21,72 > 22 \text{ mm}$$

Longitud de los tubos: L = m

$$L = \frac{S}{3,14 \cdot Di} = \frac{4,7}{3,14 \cdot 0,022} = 68 \text{ m}$$

La longitud de todos los tubos del intercambiador es de 68 m

Se puede construir un intercambiador de tubo a dentro tubo in serie paralelo

El intercambiador es compuesto de 15 tubos del diámetro interno: 22 mm conectados en serie por la circulación del fluido y 15 tubos del diámetro interior 106 mm conectados en paralelo por la circulación del humo

Se debe instalar una bomba del caudal de 4,7 m³/h por la circulación del fluido.