

**SELECCIÓN DE UN EVAPORADOR PARA UN CUARTO DE CONGELACIÓN
DEL LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN DE LA IUPB**

**JOSÉ DIEGO ÁNGEL RENDÓN
SERGIO ALEXANDER TROCHES FORONDA
JHON EDISON PÉREZ NANCLARES**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA ELECTROMECAÁNICA
MEDELLÍN
2013**

**SELECCIÓN DE UN EVAPORADOR PARA UN CUARTO DE CONGELACIÓN
DEL LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN DE LA IUPB**

**JOSÉ DIEGO ÁNGEL RENDÓN
SERGIO ALEXANDER TROCHES FORONDA
JHON EDISON PÉREZ NANCLARES**

**Trabajo de Grado para optar por el Título de
Tecnólogo Electromecánico**

**Asesor
ARLEY SALAZAR HINCAPIE
Ingeniero Mecánico**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA ELECTROMECAÁNICA
MEDELLÍN
2013**

Nota de Aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Medellín, Noviembre de 2013

AGRADECIMIENTOS

Damos gracias a DIOS por permitirnos elaborar y estructurar este proyecto.

A los docentes de la facultad quienes nos apoyaron con su conocimiento en la complemetacion de este trabajo.

A nuestro asesor y guía Ing. Arley Salazar Hincapié por toda su orientación y dedicación en la ejecución de esta tesis.

A la InstituciónUniversitaria Pascual Bravo por permitirnos hacer parte de al reailizacion del laboratorio.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. EL PROBLEMA	15
2. JUSTIFICACIÓN	16
3. OBJETIVOS	17
3.1 OBJETIVO GENERAL	17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
4. REFERENTES TEÓRICOS	18
4.1 DEFINICION DE EVAPORADOR	18
4.1.1 Función del Evaporador	18
4.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN EVAPORADOR.	19
4.3 PARTES DE UN EVAPORADOR	19
4.3.1 Válvula de Expansión	21
4.3.2 Bulbo Sensor	22
4.3.3 Serpentín de Enfriamiento	22
4.3.3.1 Tamaño del serpentín	23
4.3.3.2 Capacidad del serpentín	24
4.3.3.3 Espacio entre aletas	24
4.4 TIPOS DE EVAPORADORES	24
4.4.1 Clasificación Según Alimentación de Refrigerante	24
4.4.1.1 Evaporadores de expansión directa o expansión seca (DX)	24
4.4.1.2 Evaporadores inundados	25
4.4.2 Clasificación de los evaporadores según tipo de construcción	26
4.4.2.1 Evaporadores de tubos descubiertos	26
4.4.2.2 Evaporadores de superficie de placa	27
4.4.2.3 Evaporadores aleteados	28
4.4.3 Clasificación de los Evaporadores Según su Aplicación	30
4.4.3.1 Evaporadores para enfriamiento de líquido	30
4.5 EVAPORADORES DE MAYOR UTILIDAD EN LOS PROCESOS DE CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS	34
4.6 IMPORTANCIA DE LOS EVAPORADORES EN LOS PROCESOS DE CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS	34
4.7 TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL EVAPORADOR	35

5. MÉTODOS SELECCIÓN DE UN EVAPORADOR	36
5.1 SELECCIÓN SERPENTÍN DEL EVAPORADOR - DIFERENCIA DE TEMPERATURA DEL SISTEMA Y HUMEDAD RELATIVA	36
5.2 TIEMPO DE OPERACIÓN Y DESESCARCHE	37
5.2.1 Desescarche Eléctrico	37
5.2.2 El Descongelamiento de Gas Caliente	37
5.2.3 Método de Descongelamiento por Agua	37
5.2.4 Consideraciones Generales de Deshielo	38
5.3 SELECCIÓN DEL EVAPORADOR	38
5.4 CONFIGURACIÓN Y UBICACIÓN DEL EVAPORADOR	39
6.METODOLOGÍA	41
6.1 TIPO DE ESTUDIO	41
6.2 MÉTODO	41
6.3 POBLACIÓN	41
6.3.1 Fuentes Primarias	41
6.3.2 Fuentes Secundarias	41
6.4 PROCEDIMIENTO	42
7. RESULTADOS DEL PROYECTO	43
7.1 DIMENSIONADO Y SELECCIÓN DEL EVAPORADOR	43
7.1.1 Tiempo Funcionamiento del Evaporador	46
7.1.2 Capacidad Frigorífica de Evaporadores	46
7.1.3 Método de selección	48
7.2 INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO EVAPORADORES DE BAJA TEMPERATURA	50
7.2.1 Mantenimiento del evaporador	50
7.2.1.1 Mantenimiento preventivo del evaporador	51
7.2.1.2 Manteniendo correctivo	51
8. CONCLUSIONES	53
9. RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	55
CIBERGRAFÍA	56
ANEXOS	57

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Equivalencia entre Flujo de Calor y Flujo de Corriente	35
Tabla 2. Variación de la humedad con la temperatura de almacenamiento	36
Tabla 3. Factor de Calor Latente	47
Tabla 4. Factor de Refrigerante	48

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Principio de operación de un evaporador	19
Figura 2. Partes de un Evaporador de expansión seca	20
Figura 3. Válvula de Expansión Termostática	21
Figura 4. Bulbo Sensor	22
Figura 5. Serpentín de Enfriamiento	23
Figura 6. Evaporador de expansión seca	25
Figura 7. Evaporador Inundado	26
Figura 8. Evaporador de Tubos desnudos	27
Figura 9. Evaporadores de superficie de Placa	28
Figura 10. Evaporadores Aleteados	29
Figura 11. Evaporador de inmersión	30
Figura 12. Esquema Temperaturas Evaporador doble tubo contracorriente	31
Figura 13. Evaporador Multitubular	32
Figura 14. Partes de Evaporador Multitubular	32
Figura 15. Evaporador Especial	33
Figura 16. Configuración del evaporador dentro del cuarto de congelación	40
Figura 17. Diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior del evaporador	43
Figura 18. Ábaco de Mehner para cálculo del salto térmico	45
Figura 19. Calculo del factor F	47

Figura 20. Diagrama para cálculo de factor de corrección de descharche 48

Figura 21. Salto Térmico en el evaporador 50

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Diferencia de temperatura	44
Ecuación 2. Área de transferencia de calor.	45
Ecuación 3. Tiempo funcionamiento del Evaporador.	46
Ecuación 4. Calculo de la capacidad de selección de un evaporador.	49

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Anticipos al Contratista	57

RESUMEN

En la construcción de un cuarto frío existe un elemento fundamental y ese elemento es el evaporador, desde allí se genera el frío que reduce la temperatura de los alimentos al interior del cuarto, de la eficiencia de este y de su correcta selección e instalación dependerá que los alimentos se conserven a la temperatura de diseño requerida por el proyecto.

Podemos encontrar en el mercado evaporadores de convección natural, evaporadores de convección forzada, así mismo evaporadores para enfriamiento de líquidos y enfriamiento de aire, cada uno con una configuración estructural diferente y propia de cada diseño. La industria actual logra reducir la temperatura de sus alimentos sólidos y líquidos mediante el uso de evaporadores para enfriamiento de aire y enfriamiento de líquidos respectivamente.

Existen variedad de evaporadores en función de su método de enfriamiento y de su capacidad en BTU/h, el cuarto de congelación del Pascual Bravo está diseñado para almacenar una carga térmica equivalente a 1 Tonelada de refrigeración lo que nos garantizará remover 12000 BTU/h.

El evaporador para el cuarto de congelación es de tipo cúbico y de ventilación forzada, el cual cuenta con 1 ventilador para la impulsión del aire a través de la periferia del cuarto de congelación y con un control de encendido y apagado por temperatura de zona. Este se ha seleccionado bajo los criterios de operación del cuarto de congelación y a la capacidad de enfriamiento previamente calculada antes de su construcción.

ABSTRACT

In the construction of a cold room there is a fundamental element and that element is the evaporator, since there is generated which reduces the temperature cold food into the room, the efficiency of this and proper selection and installation depend on which food is kept at a temperature required by the project design.

We can find in the market evaporators natural convection, forced convection evaporators, likewise evaporators for liquid cooling and air cooling, each with a different and self-structural settings of each design. The current industry is able to reduce the temperature of your food and liquids solids using evaporators for air cooling and liquid cooling respectively

There are variety of evaporators function of its cooling method and its capacity in BTU / h, the fourth of the Easter freeze bravo is designed to store heat load equivalent to 1 ton of refrigeration so we guarantee remover 12000 BTU / h.

The evaporator for freezing room type is cubic and forced ventilation, which has one fan for air impulsion through the periphery of the freezing room and control on and off for zone temperature. This is selected under the criteria freezing room operation and the cooling capacity previously calculated before construction.

INTRODUCCIÓN

El evaporador es el corazón de un ciclo de refrigeración, a este ingresa el líquido refrigerante proveniente de la válvula de expansión, existen muchos tipos de evaporadores en el mercado para diversas aplicaciones. El presente trabajo fundamentará la selección del evaporador adecuado de acuerdo a los parámetros de almacenamiento, tipo de productos, temperatura de diseño y método de descongelación de serpentín para el momento en que se forme escarcha en el proceso de congelación.

Dicha fundamentación consiste en realizar una investigación teórica en las bibliografías más relevantes para determinar cuál es el tipo de evaporador más adecuado para nuestra aplicación. La cual pretende congelar hasta $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ una carga de alimentos en un tiempo de 24 horas.

1. EL PROBLEMA

Actualmente en la Institución Universitaria Pascual Bravo se esta desarrollando el diseño e instalación de un laboratorio de refrigeración el cual cuenta con unos cuartos para conservación y congelación de alimentos. Dichos cuartos llevan en su interior un evaporador para hacer circular el aire en su interior, previo a un enfriamiento que permitira un intercambio de calor entre los alimentos y el aire para asi lograr el descenso de su temperatura a la de diseño.

El evaporador es el equipo encargado de realizar el intercambio entre el aire y el refrigerante de manera que se genere una reducción en la temperatura del aire para la conservación de alimentos al interior de un cuarto frio.

Según los requerimientos del laboratorio el evaporador del cuarto de congelación debe de absorber una carga termica de 12000 BTH/h y reducir su temperatura hasta los -25°C en un tiempo de 24 horas, para cumplir su objetivo este debe de seleccionarse con una alta eficiencia y contar con las características mínimas para operar bajo condiciones de extremas temperaturas.

2. JUSTIFICACIÓN

El mercado laboral exige hoy en día personas con un conocimiento y manejo de temas previamente a su ingreso en la industria. Es por eso que la construcción del laboratorio se ha convertido en una necesidad de primer orden, pues esta permitirá formar personas con las capacidades que requieran actualmente las empresas.

La refrigeración es un campo muy poco explorado a nivel formativo, pues los espacios con los que cuentan la institución universitaria son casi que nulos, lo que imposibilita el aprendizaje práctico de los conceptos de refrigeración y aire acondicionado.

El Instituto Tecnológico Pascual Bravo cuenta con ese espacio requerido para tal simulación, dentro del cual se encuentra una cava de congelación y el sistema de refrigeración.

El proyecto contribuirá a la construcción de un espacio adecuado para que los profesionales egresados de la institución enfrenten las adversidades que a nivel laboral van a encontrar en el campo de la refrigeración.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Seleccionar un evaporador que cumpla con las exigencias de carga térmica para el cuarto de congelación del laboratorio de refrigeración de la IUPB.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un proceso investigativo que recopile todo el estado del arte de evaporadores para congelación de alimentos.
- Describir los tipos de evaporadores más comunes ofrecidos por el mercado actual.
- Establecer un procedimiento analítico para la selección de evaporadores de acuerdo a la carga térmica de refrigeración en el cuarto de conservación.
- Realizar un Instructivo de mantenimiento preventivo para evaporadores de baja temperatura.

4. REFERENTES TEÓRICOS

Es importante realizar una fundamentación teórica que describa con claridad que es un evaporador, sus partes principales, sus tipos y métodos de selección para que la sección de montaje se realice bajo los estándares que de aquí en adelante se describen.

4.1 DEFINICIÓN DE EVAPORADOR

El propósito del evaporador es eliminar el calor de los productos, a través del refrigerante líquido. El líquido refrigerante contenido dentro del evaporador está hirviendo a una baja presión. El nivel de esta presión está determinado por dos factores:

- La velocidad a la que el calor se absorbe en el producto para el refrigerante líquido en el evaporador.
- La velocidad a la que el vapor de baja presión se retira del evaporador por el compresor.

Para permitir la transferencia de calor, la temperatura del refrigerante líquido debe ser menor que la temperatura del producto a ser enfriado. Una vez transferido, el refrigerante líquido es aspirado desde el evaporador por el compresor a través de la línea de succión. Al salir del evaporador el refrigerante líquido esta en forma de vapor.

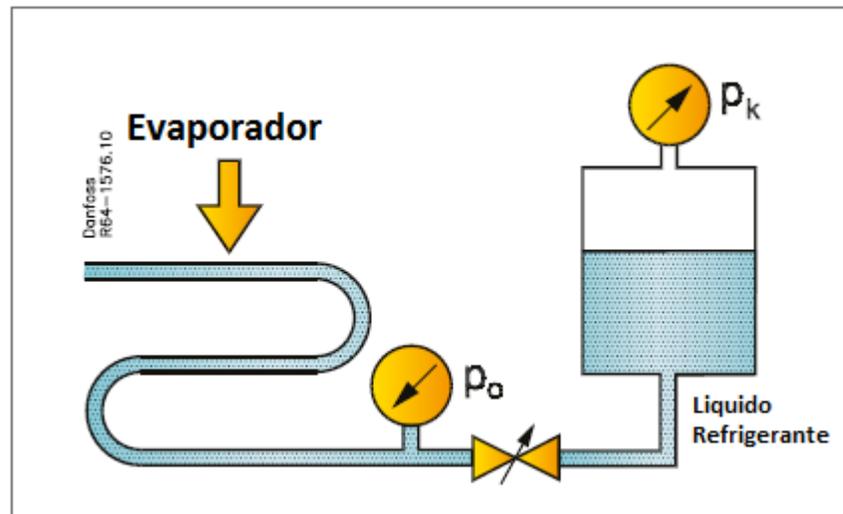
4.1.1 Función del Evaporador. El evaporador desempeña la función de enfriar el aire puesto en movimiento por el impulsor (ventilador centrífugo situado en el conjunto de distribución de trampillas) y enviado hacia el espacio acondicionar.

En ciertas condiciones de utilización del circuito de refrigeración, debe permitir deshumidificar ese flujo de aire, con el fin de evitar el empañado de las superficies acristaladas del vehículo. Sin embargo, el nivel de deshumidificación no es controlable ya que depende directamente de la temperatura a la se va a enfriar dicho aire; la deshumidificación del aire no se produce a menos que su temperatura sea inferior a la temperatura de rocío correspondiente al aire.

4.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN EVAPORADOR.

Un refrigerante en estado líquido absorbe calor cuando este se evapora y es este cambio condicional produce el enfriamiento en un proceso de refrigeración. Si un refrigerante a la misma temperatura ambiente se le permite expandirse a través de una manguera con una toma de corriente a la presión atmosférica, el calor será absorbido de esta forma ocurrirá que el aire circundante y la evaporación a una temperatura correspondiente a la presión atmosférica. Si en una cierta presión situación en el lado de salida (presión atmosférica) se cambia, se obtiene una temperatura diferente ya que esta es análogo la temperatura origina. Tal principio de puede contemplar en la figura 1.

Figura 1. Principio de operación de un evaporador.



Fuente: DANFOSS, Principios de Refrigeración. 2010. p. 23.

4.3 PARTES DE UN EVAPORADOR

Los sistemas de evaporadores industriales normalmente constan de:

Un intercambiador de calor para aportar el calor sensible y el calor latente de evaporación del alimento líquido. En la industria de los alimentos normalmente se utiliza como medio de calentamiento vapor saturado.

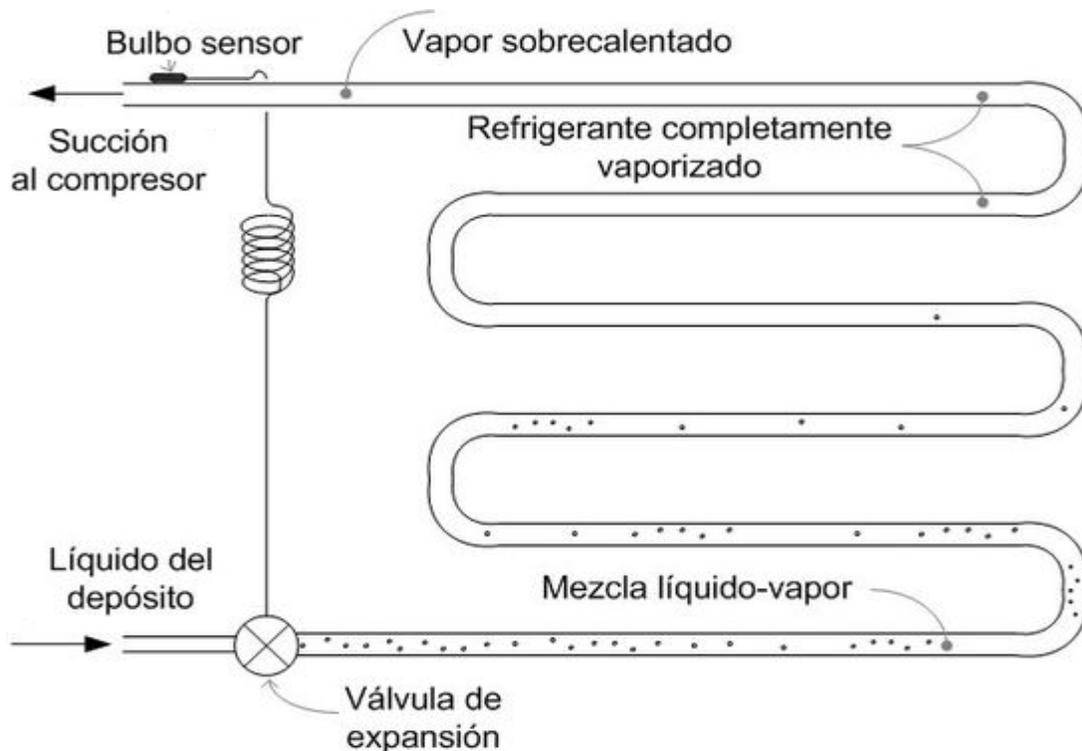
Un separador en el que el vapor se separa de la fase líquida concentrada. En los sistemas que operan a presión atmosférica el separador puede omitirse.

Un condensador para condensar el vapor y eliminar el condensado del sistema.

Dependiendo de la aplicación, varios requisitos se imponen en el evaporador. Por lo tanto, se realizan en una serie de diferentes versiones. Los evaporadores de circulación natural del aire se utilizan con menos frecuencia debido a la relativamente pobre transferencia de calor desde el aire a los tubos de refrigeración. Las versiones anteriores fueron equipadas con tubos lisos, pero ahora es común el uso de tubos acanalados o elementos de aletas. El rendimiento del evaporador aumenta significativamente si se utiliza la circulación forzada de aire. Con un aumento de la velocidad del aire de la transferencia de calor del aire al tubo es mejorado de manera que para un resfriado dado producir una menor superficie del evaporador de circulación natural puede ser utilizado. Como el nombre implica, un enfriador se enfría líquido. El método más sencillo consiste en sumergir un serpentín de tubo en un tanque abierto. Los sistemas cerrados están entrando en usar más y más.

La figura 2 muestra las partes típicas de un evaporador de expansión seca.

Figura 2. Partes de un Evaporador de expansión seca.



Fuente: DANFOSS, Principios de Refrigeración. 2010. p. 31.

4.3.1 Válvula de Expansión. Una válvula de expansión termostática (a menudo abreviado como VET o válvula TX en inglés) es un dispositivo de expansión el cual es un componente clave en sistemas de refrigeración y aire acondicionado, que tiene la capacidad de generar la caída de presión necesaria entre el condensador y el evaporador en el sistema. Básicamente su misión, en los equipos de expansión directa (o seca), se restringe a dos funciones: la de controlar el caudal de refrigerante en estado líquido que ingresa al evaporador y la de sostener un sobrecalentamiento constante a la salida de este. Para realizar este cometido dispone de un bulbo sensor de temperatura que se encarga de cerrar o abrir la válvula para así disminuir o aumentar el ingreso de refrigerante y su consecuente evaporación dentro del evaporador, lo que implica una mayor o menor temperatura ambiente, respectivamente.

Este dispositivo permite mejorar la eficiencia de los sistemas de refrigeración y de aire acondicionado, ya que regula el flujo másico del refrigerante en función de la carga térmica. El refrigerante que ingresa al evaporador de expansión directa lo hace en estado de mezcla líquido/vapor, ya que al salir de la válvula se produce una brusca caída de presión producida por la "expansión directa" del líquido refrigerante, lo que provoca un parcial cambio de estado del fluido a la entrada del evaporador. A este fenómeno producido en válvulas se le conoce como flash-gas.

La figura 3 muestra una válvula de expansión típica de una instalación en una planta de refrigeración.

Figura 3. Válvula de Expansión Termostática



Fuente: DANFOSS, Principios de Refrigeración. 2010. p. 31.

4.3.2 Bulbo Sensor. El bulbo sensor de temperatura, o también denominado bulbo remoto, de las válvulas de expansión termostáticas y válvulas limitadoras de presión es el elemento que mide el grado de sobrecalentamiento del vapor de refrigerante a la salida del evaporador.

Este bulbo, el que está conectado a la parte superior de la válvula por medio de un tubo capilar, se encuentra lleno de un fluido potencia denominado carga termostática, el cual al evaporarse ejerce una fuerza sobre el diafragma de la válvula controlando el flujo de refrigerante al interior del evaporador.

Figura 4. Bulbo Sensor.



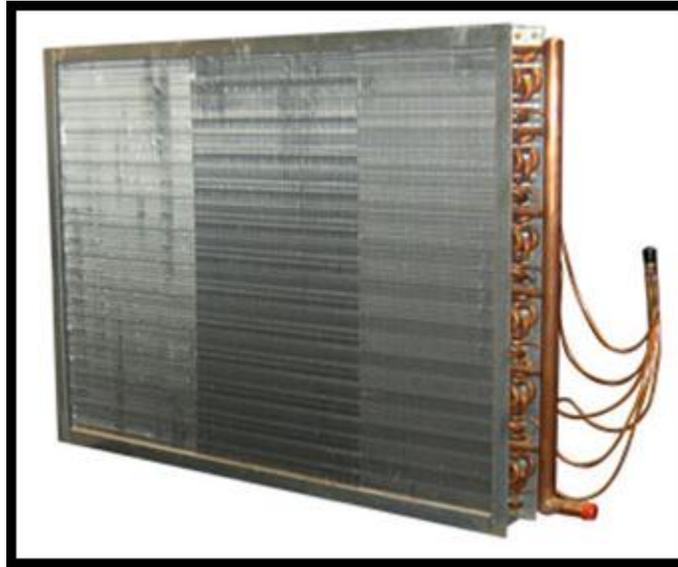
Fuente: DANFOSS, Principios de Refrigeración. 2010. p. 35.

El funcionamiento adecuado de la válvula depende de la localización e instalación del bulbo. Ya que generalmente se usa un bulbo instalado en el exterior de la tubería debido a que existen otros que también puede ir dentro de ella- este debe ir firmemente fijado con abrazaderas metálicas y cercano a la salida del evaporador, en posición horizontal. Su ángulo de fijación está recomendado a 45° por debajo del plano horizontal; si la tubería es demasiado estrecha o de igual sección circular que la del bulbo, se recomienda montar el bulbo sobre esta. Todo este artificio es necesario a fin de evitar las erróneas señales de temperatura que arroja el aceite alojado en la parte inferior de la tubería a la salida del evaporador, las cuales indican un equivoco valor de sobrecalentamiento, distinto al del vapor de refrigerante.

4.3.3 Serpentin de Enfriamiento. Es un haz de tubos fabricados en cobre y con aletas, los serpentines de intercambio de calor utilizados para la eliminación de calor del aire en sistemas de aire acondicionado y refrigeración operan en

circunstancias muy complejas. Sin embargo, si se siguen ciertas pautas no se causaran problemas en su operación.

Figura 5. Serpentín de Enfriamiento.



Fuente: WILLIAM C., Whitman, WILLIAM M., Johnson. Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado 4. España. p. 45.

4.3.3.1 Tamaño del serpentín. El tamaño del serpentín debe regirse por el volumen de aire a manejar. Las velocidades de superficie deben estar por encima de 1,5 M / S para fomentar la distribución uniforme del aire pero por debajo de 2,6 M / S para asegurar que el agua condensada no se lleva fuera del serpentín por el aire. Esta cifra puede superarse si se colocan separadores de aguas abajo del serpentín para recoger el agua, sin embargo, la caída de presión de aire por lo general se hace excesiva en mayores valores de velocidad.

La selección de una velocidad nominal máxima será determinada por un tamaño mínimo de área de contacto, pero la longitud de relación altura tendrá un efecto en el precio. Un serpentín largo y estrecho tiene menos tubos, soldadura y colector que el de un serpentín más cuadrado por lo que es más barato de fabricar. Si se toma a una extrema esto puede resultar en costes excesivos conductos y por lo que una proporción de 2:1 a menudo se llama para. La altura de aletas de un serpentín de enfriamiento puede tener un efecto sobre el rendimiento cuando el serpentín está operando en condiciones "húmedas" si el agua que cae de la parte superior del serpentín comienza a afectar el flujo de aire por la parte inferior. Por esta razón la altura es a menudo limitada a 750 - 900 mm.

4.3.3.2 Capacidad del serpentín. La carga o de la tasa del serpentín debe determinarse a partir de la carga de calor en base a los cálculos del espacio a acondicionar. Esta carga tendrá normalmente un calor latente, así como el contenido de calor sensible. Los dos se suman y se expresan como la carga "Total" y la carga "Sensible" por lo general se especifica por separado.

4.3.3.3 Espacio entre aletas. El espacio entre aletas puede variar en función del fabricante para obtener la capacidad de enfriamiento requerida y puede ir de 236 a 551 Aletas por metro (FPM). Cerrar separación de aletas es la más económica manera de aumentar el rendimiento de transferencia de calor, sin embargo, el serpentín recoge la suciedad a una mayor tasa. A menudo, 472 o 394 FPM se especifican como un máximo para frenar este proceso.

4.4 TIPOS DE EVAPORADORES

Debido a que un evaporador es cualquier superficie de transferencia de calor en la cual se vaporiza un líquido volátil para eliminar calor de un espacio o producto refrigerado, los evaporadores se fabrican en una gran variedad de tipos, tamaños y diseños y se pueden clasificar de diferentes maneras.

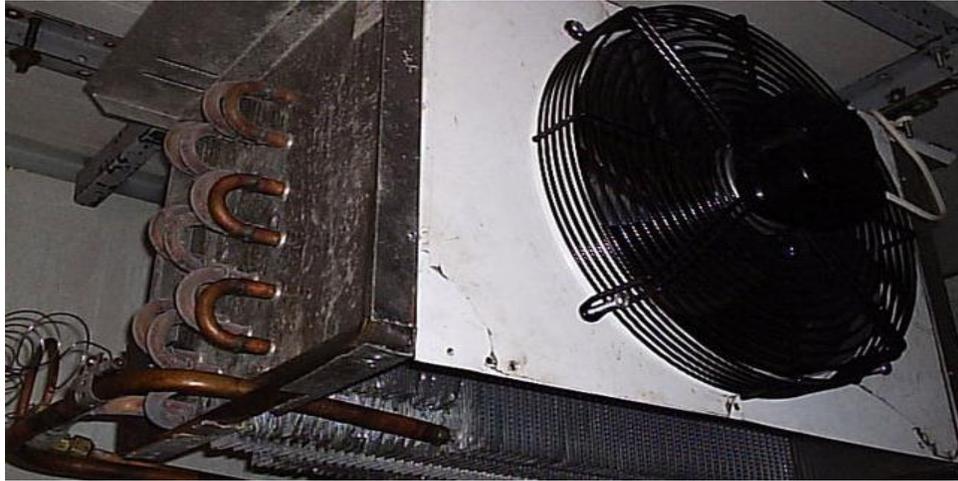
4.4.1 Clasificación Según Alimentación de Refrigerante.

4.4.1.1 Evaporadores de expansión directa o expansión seca (DX). En los evaporadores de expansión directa la evaporación del refrigerante se lleva a cabo a través de su recorrido por el evaporador, encontrándose este en estado de mezcla en un punto intermedio de este. De esta manera, el fluido que abandona el evaporador es puramente vapor sobrecalentado. Estos evaporadores son los más comunes y son ampliamente utilizados en sistemas de aire acondicionado. No obstante son muy utilizados en la refrigeración de media y baja temperatura, no son los más apropiados para instalaciones de gran volumen.

La vaporización completa se asegura mediante un recalentado del refrigerante, que por otro lado, redundará en un mayor consumo del compresor. En la zona en que el título del refrigerante es igual a la unidad el coeficiente de transferencia de calor del fluido refrigerante será inferior al de zonas en que exista una mezcla de líquido y vapor.

En la figura 6 se observa claramente es aspecto de un evaporador de expansión seca o expansión directa.

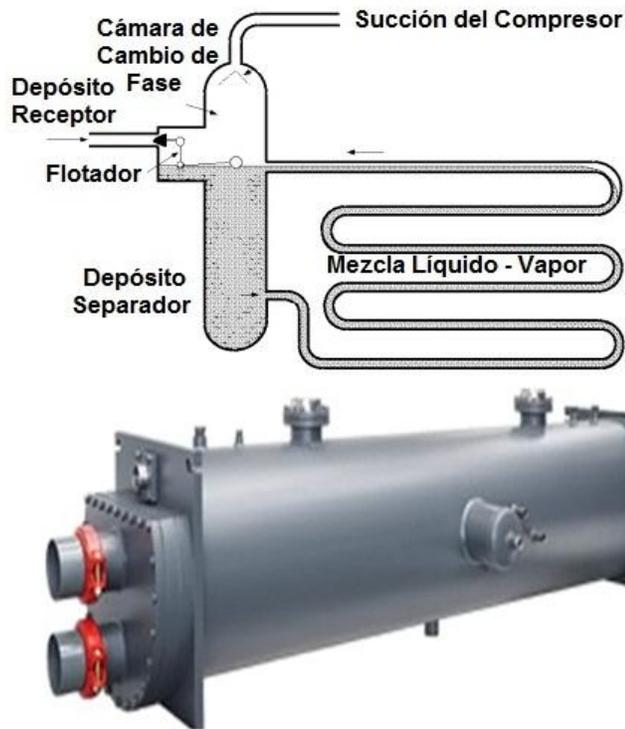
Figura 6. Evaporador de expansión seca.



Fuente: S.K.WANG. Handbook of air conditioning and Refrigeration. 2ª Ed. New York, p. 22.

4.4.1.2 Evaporadores inundados. En este tipo de evaporadores el flujo másico de líquido supera con creces al flujo de vapor producido en el evaporador. De esta manera, el fluido que abandona el evaporador es mezcla vapor-líquido de alto título, que no alcanza a ser vapor saturado. Es común el apelativo de "sobrealimentación de líquido" para estos intercambiadores, los que preferentemente son utilizados en aplicaciones industriales, con un número considerable de evaporadores, operando a baja temperatura y utilizando amoníaco (R717) como refrigerante tal como se puede apreciar en la figura 7.

Figura 7. Evaporador Inundado.



Fuente: L. WANG, B.SUDÉN y R.M.MANGLIK. Plate heat exchangers: Design applications and performance. 1ª Ed. Southampton UK, 2007. p. 89.

4.4.2 Clasificación de los evaporadores según tipo de construcción.

4.4.2.1 Evaporadores de tubos descubiertos. Evaporador de tubo descubierto de cobre para enfriamiento de agua. Los evaporadores de tubo descubierto se construyen por lo general en tuberías de cobre o bien en tubería de acero. El tubo de acero se utiliza en grandes evaporadores y cuando el refrigerante a utilizar sea amoníaco (R717), mientras para pequeños evaporadores se utiliza cobre. Son ampliamente utilizados para el enfriamiento de líquidos o bien utilizando refrigerante secundario por su interior (salmuera, glicol), donde el fenómeno de evaporación de refrigerante no se lleva a cabo, sino más bien estos cumplen la labor de intercambiadores de calor. Los tubos desnudos no están recubiertos por nada en su superficie tal cual como lo indica la figura 8

Figura 8. Evaporador de Tubos desnudos.



Fuente: MIRANDA, Ángel Luis; Jutglar Banyeras, Luis. Técnicas de refrigeración Marcombo, S.A. 1ª ed. 2009.

4.4.2.2 Evaporadores de superficie de placa. Existen varios tipos de estos evaporadores. Uno de ellos consta de dos placas acanaladas y asimétricas las cuales son soldadas herméticamente una contra la otra de manera tal que el gas refrigerante pueda fluir por entre ellas; son ampliamente usados en refrigeradores y congeladores debido a su economía, fácil limpieza y modulación de fabricación. Otro tipo de evaporador corresponde a una tubería doblada en serpentín instalada entre dos placas metálicas soldadas por sus orillas. Ambos tipos de evaporadores, los que suelen ir recubiertos con pintura epóxica, tienen excelente respuesta en aplicaciones de refrigeración para mantención de productos congelados. La sección del congelador de la nevera es lo más cercano a un evaporador de placas como se observa en la figura 9.

Figura 9. Evaporadores de superficie de Placa.



Fuente: CEBRIÁN, Sistemas de climatización para viviendas, residencias y locales comerciales. DTIE 9.03. ATECYR. 2004.

4.4.2.3 Evaporadores aleteados. Los serpentines aleteados son serpentines de tubo descubierto sobre los cuales se colocan placas metálicas o aletas y son los más ampliamente utilizados en la refrigeración industrial como en los equipos de aire acondicionado. Las aletas sirven como superficie secundaria absorbidora de calor y tiene por efecto aumentar el área superficial externa del intercambiador de calor, mejorándose por tanto la eficiencia para enfriar aire u otros gases.

El tamaño y espaciamiento de las aletas depende del tipo de aplicación para el cual está diseñado el serpentín. Tubos pequeños requieren aletas pequeñas y viceversa. El espaciamiento de la aletas varía entre 1 hasta 14 aletas por pulgada, dependiendo principalmente de la temperatura de operación del serpentín. A menor temperatura, mayor espaciamiento entre aletas; esta distancia entre las aletas es de elemental relevancia frente la formación de escarcha debido a que esta puede obstruir parcial o totalmente la circulación de aire y disminuir el rendimiento del evaporador. En la figura 10 se observa la separación que existe entre aleta y aleta.

Figura 10. Evaporadores Aleteados.



Fuente: CUSA, J. Calefacción, Refrigeración y acondicionamiento de aire. Ediciones CEAC, 2008. p. 45.

Respecto de los evaporadores aleteados para aire acondicionado, y debido a que evaporan a mayores temperaturas y no generan escarcha, estos pueden tener hasta 14 aletas por pulgada.

Ya que existe una relación entre superficie interior y exterior para estos intercambiadores de calor, resulta del todo ineficiente aumentar el número de aletas por sobre ese valor (para aumentar superficie de intercambio optimizando el tamaño del evaporador), ya que se disminuye la eficiencia del evaporador dificultando la circulación del aire a través de este.

Esta circulación de aire se realiza de dos maneras: por convección forzada por ventiladores bien sean centrífugos o axiales, mono o trifásicos, conforme la aplicación y de manera natural por diferencia de densidades del aire, fenómeno conocido como convección natural.

4.4.3 Clasificación de los Evaporadores Según su Aplicación.

4.4.3.1 Evaporadores para enfriamiento de líquido.

- **Evaporadores de inmersión.**

Estos evaporadores están formados por un tubo al cual se le da la forma más conveniente para su colocación en el recipiente que se desea enfriar, tomando el nombre de evaporadores de inmersión.

El material empleado principalmente en este tipo de evaporadores es el tubo de cobre, aunque en instalaciones de gran capacidad también se emplean serpentines de tubo de acero como se observa en la figura 11.

Figura 11. Evaporador de inmersión.



Fuente: MIRANDA, A. Cámaras Frigoríficas. Ediciones CEAC, 1996. p.56.

- **Evaporadores de doble tubo a contracorriente.**

La construcción de estos evaporadores es similar a los de condensadores a contracorriente. Su utilización es muy escasa, ya que implica que para la limpieza del circuito de líquido incongelable ó del agua, el aislamiento de cada codo sea desmontable.

- **Evaporadores de lluvia o de cortina.**

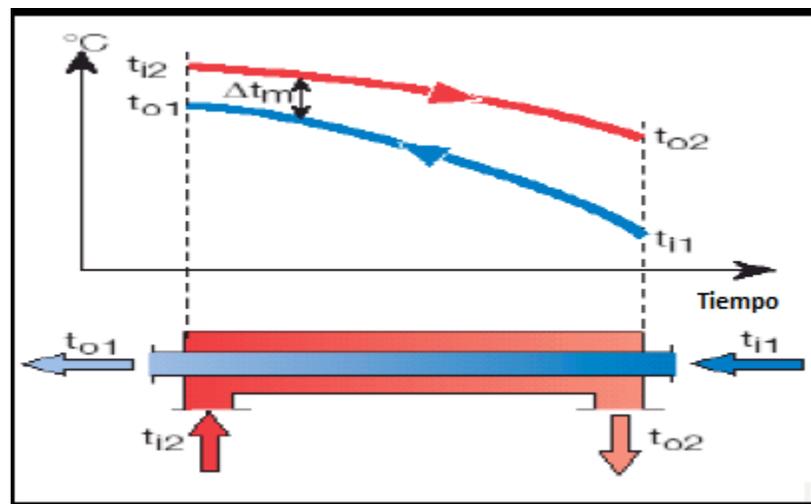
Este tipo de evaporadores se vienen utilizando para el enfriamiento de líquidos alimenticios como leche, cerveza, vino, etc.

Sus condiciones de aplicación hacen que este evaporador se divida en dos partes. En la sección primera del aparato el líquido a enfriar baja de la temperatura de

entrada (cercana a 100°C en el caso del mosto procedente de la cuba, o de 75 °C en el caso de la leche que sale del pasteurizador), hasta la temperatura cercana a la temperatura del agua de suministro, que circula por el interior de dicha sección de tubos.

En la segunda sección del evaporador, el líquido se enfría hasta la temperatura deseada de conservación, por la circulación de agua helada obtenida en evaporadores acumuladores de frío, o por expansión directa del fluido refrigerante. Los cambios en la temperatura se pueden apreciar de manera esquemática en la figura 12.

Figura 12. Esquema Temperaturas Evaporador doble tubo contracorriente.



Fuente: RUFES, Pedro. Ciclo de Refrigeración. Ediciones CEAC, 2004. p. 89.

El agua de enfriamiento circula primero en un haz de tubos separadores y el fluido refrigerante por el segundo haz colocado debajo de aquél. Las dos secciones se hallan en contacto total con dos placas de acero inoxidable sobre las cuales cae por lluvia el líquido que ha de enfriarse, repartiéndose a todo el ancho del evaporador por medio de un depósito distribuidor. Después de su enfriamiento, el líquido se recoge en el tanque de recuperación.

- **Evaporadores multitubulares.**

Este tipo de evaporadores, se emplean normalmente para el enfriamiento de líquidos por expansión directa del refrigerante. Están formados por un haz de tubos instalados en el interior de un cilindro de chapa de acero y pueden ser de dos tipos: Que el refrigerante circule por el interior de los tubos y el líquido a enfriar circule por el cilindro, o bien que el líquido a enfriar circule por el interior de los tubos y el

refrigerante evapore en el interior del cilindro como se observa en la figura 13 y 14 respectivamente.

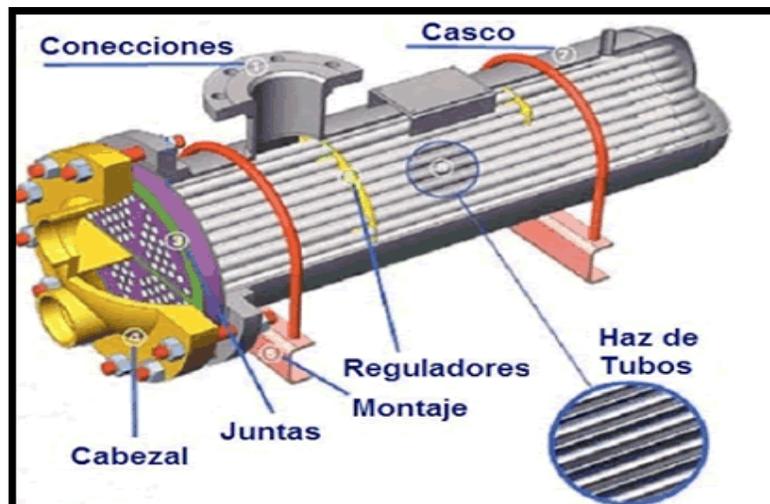
Figura 13. Evaporador Multitubular.



Fuente: CARNICER. Aire Acondicionado. España: Paraninfo, 2000. p. 90.

En el primer caso la alimentación de refrigerante a los tubos se realiza a través de una válvula de expansión termostática, y en el segundo caso con el refrigerante expansionado en el circuito, el líquido a enfriar se mantiene a un nivel por debajo de la parte superior del envoltorio a fin de que haya suficiente espacio para la separación entre el refrigerante líquido y vapor, trabajando en un régimen inundado y regulando la inyección por medio de una válvula de flotador.

Figura 14. Partes de Evaporador Multitubular.



Fuente: CUSA, J. Refrigeración y acondicionamiento de aire. España: Ediciones CEAC, 2009. p. 78.

Las temperaturas de funcionamiento estimadas como normales son:

- Temperatura de evaporización = + 2 °C
- Temperatura de entrada del agua = + 12 °C
- Temperatura de salida del agua = + 7 °C

- **Evaporadores especiales.**

Uno de estos evaporadores son los utilizados en enología, el cual se destina a enfriar las sidras y los vinos a fines de clarificación.

Este evaporador se compone de una cuba en la que el vino a tratar entra por la parte inferior como se observa en la figura 15. Esta cuba está provista de un doble envolvente en cuyo interior se evapora el fluido refrigerante. En la parte superior de este doble envolvente existe un depósito adicional que forma la cúpula de vapor, para la salida de éste, y también para obtener la separación de las partículas de líquido contenidas en el mismo.

Figura 15. Evaporador Especial.



Fuente: Tomado de www.dellatoffola.es/Maquinaria-2ª-mano_4_0_91_

Por medio de un agitador de paletas y de rascadores, se mantiene en movimiento el vino que debe tratarse, a la vez se enfría a una temperatura cercana al punto de congelación.

4.5 EVAPORADORES DE MAYOR UTILIDAD EN LOS PROCESOS DE CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS

Los sistemas que se utilizan o se han utilizado en la industria para conseguir la concentración por evaporación de los alimentos líquidos, son muy numerosos. No existe un evaporador que sea adecuado para todas las condiciones ni para todo tipo de alimentos. La calidad del producto, las propiedades de transmisión de calor, energía y factores económicos son los que determinan la elección de uno u otro tipo de evaporador para cada aplicación particular.

- Evaporador de tubos verticales cortos (más antiguo utilizado en la industria alimentaria).
- Evaporador de película descendente (Alimentos sensibles al calor).
- Evaporadores centrífugos (concentración de productos termo-sensibles).
- Evaporador de serpiente rotativo (concentración de tomates).
- Evaporador de camisa de vapor (más simple y antiguo utilizado en la industria alimentaria).

4.6 IMPORTANCIA DE LOS EVAPORADORES EN LOS PROCESOS DE CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS

La evaporación es un proceso generalizado en la industria. Básicamente consiste en la separación de una mezcla mediante destilación simple del componente más volátil y posterior condensación para ser colectado.

La utilización de evaporadores emerge de las tecnologías que se aplican en distintas ramas de la industria: En la industria de la azucarera, el azúcar contenido en la materia prima es extraído con agua. Posteriormente el agua es eliminada en evaporadores que permiten obtener el azúcar.

En la industria farmacéutica es habitual la síntesis de productos en el seno de un disolvente orgánico que después debe ser eliminado.

En la industria de residuos, se utilizan los evaporadores para la minimización de residuos haciendo más sencillo y económico su transporte y su posterior eliminación.

La importancia de los evaporadores en la industria alimentaria se debe a su utilidad:

- Asegurar mayor estabilidad fisicoquímica (almacenamiento).
- Hacer más cómodo su transporte y utilización (fluidez, concentración).

- También son ideales para el concentrado, destilado, o reaccionado de productos que poseen una o más características problemáticas, tales como sensibilidad al calor, alta viscosidad.
- Disminución del contenido de agua del alimento para evitar el desarrollo de microorganismos.

4.7 TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL EVAPORADOR

Se puede visualizar el proceso de transferencia de calor en un evaporador, como un proceso análogo al proceso de circulación de una corriente eléctrica por una resistencia. La ley de Ohm nos dice que $I=V/R$ La correspondiente equivalencia para el flujo de calor se resume en la tabla 1.

Tabla 1. Equivalencia entre Flujo de Calor y Flujo de Corriente.

CANTIDAD	SIMBOLO Y UNIDADES	
	ELECTRICIDAD	TRANSEF. CALOR
FLUJO	I, Amperio	Q, Watts
POTENCIAL	V, Volts	Δt , °C
RESISTENCIA	R, Ohm	X/kA, 1/hA, °C/W

Fuente: MIRANDA. Técnicas De Refrigeración. 1ª Ed. Marcombo, S.A., 1999. p. 48.

5. MÉTODOS SELECCIÓN DE UN EVAPORADOR

Una vez la carga de refrigeración se conoce para el cuarto frío, es el momento de seleccionar el equipo más adecuado para la aplicación.

5.1 SELECCIÓN SERPENTÍN DEL EVAPORADOR - DIFERENCIA DE TEMPERATURA DEL SISTEMA Y HUMEDAD RELATIVA

Al seleccionar un serpentín del evaporador, la diferencia de temperatura, o TD, entre la cámara de frío y la succión saturada temperatura dicta la humedad relativa en el espacio (suponiendo que la habitación esté bien sellada). Cuanto más cerca de la diferencia de temperatura entre el ambiente y de aspiración en la selección de temperaturas del evaporador, el más grande del evaporador y cuanto mayor sea la humedad relativa en la sala. A la inversa, un sistema de gran TD reduce el tamaño del evaporador y hace que se haga más de secado y por lo tanto, disminuye la humedad relativa. En la tabla siguiente se puede utilizar como una guía. Conociendo el requisito de humedad relativa del producto, seleccione el evaporador como sigue:

Tabla 2. Variación de la humedad con la temperatura de almacenamiento.

Humedad Relativa (RH) %	TD (°F)
Over 90	8
80-90	10
70-80	15
50-70	20

Fuente: MIRANDA, Ángel Luis; Jutglar Banyeras, Luis. Técnicas de refrigeración Marcombo, S.A. 1ª ed. 2009.

Una baja humedad relativa se traducirá en la pérdida de peso excesivo en el producto, así como deterioro de la superficie. Demasiado alto en relación humedad acelera el crecimiento de bacterias y limo superficie. Ver Tabla 2 para valores de humedad relativa recomendadas para diferentes productos. Hay un problema ligeramente diferente asociado con congeladores. Con el fin de evitar la acumulación excesiva de escarcha en el serpentín, y para prevenir la deshidratación del producto durante el almacenamiento a largo plazo, más evaporadores son seleccionados por 10 ° F TD

5.2 TIEMPO DE OPERACIÓN Y DESESCARCHE

Cuando la temperatura de succión de diseño es superior a 30 ° F, el ciclo de descongelamiento no se requiere normalmente, y es práctica común seleccionar el equipo en un 20 - a la operación del compresor 22 horas. Para temperaturas de succión por debajo de 30 ° F y la temperatura ambiente más de 35 ° F, por lo general puede ser utilizado fuera de ciclo (descongelación aire). Este consiste en un ciclo al compresor con un reloj de tiempo, mientras que los ventiladores del evaporador se mantienen en funcionamiento y el aire ambiente se derrite el hielo en el serpentín. Por cada dos horas de funcionamiento del compresor, Se necesita una hora de tiempo de descongelación aire. Por lo tanto, la selección del compresor se basa en 16 horas por día.

Para temperaturas de succión por debajo de 30 ° F y habitaciones por debajo de 35 ° F, Se requiere descongelación eléctrica, gas caliente o agua de descongelación. Con estos métodos positivos de descongelación, la selección de equipos puede basarse en el funcionamiento del compresor más largo, con 18 al 20 horas más comunes. Sin embargo, esto depende del tipo de equipo utilizado y la carga latente en el almacenamiento. Una moderna unidad de enfriador o refrigerador de producto en un cuarto apretado con el promedio de carga latente, se puede seleccionar en la operación 20 horas. El tipo de desescarche que se utiliza es generalmente una cuestión de preferencia ya sea el contratista o el propietario. Las diferentes regiones geográficas tienden a utilizar un tipo particular de descongelación más frecuencia. Por regla general, descongelación eléctrica es más común que el gas caliente, y gas caliente más común que el agua de descongelación.

5.2.1 Desescarche Eléctrico. Es el método más común en uso hoy en día. El costo del equipo es casi lo mismo que con el gas caliente, pero el costo instalado puede ser menor. El costo de funcionamiento es de aproximadamente 15% más alta con descongelación eléctrica que con gas caliente y una buena cantidad de calor y la humedad se libera en la habitación durante el deshielo.

5.2.2 El Descongelamiento de Gas Caliente. La Descongelación por gas caliente es todavía el método más eficiente de descongelación independientemente de la temperatura de almacenamiento, pero, por desgracia, la mayoría contratistas son renuentes a usarlo. Descongelar es muy rápido con mínimo aumento de la temperatura ambiente. El Descongelamiento por gas caliente, sin embargo, requiere cuidado para asegurar que el compresor está protegido contra líquidos.

5.2.3 Método de Descongelamiento por Agua. El agua de descongelación si bien no es muy común, el agua de descongelación se puede utilizar en tanto

almacenamientos media y baja temperatura. El agua debe ser por lo menos 50 ° C y se pulveriza sobre el serpentín a una velocidad de aproximadamente 3pie gpm / cuadrado del serpentín durante cinco a 15 minutos, dependiendo del hielo en la superficie del evaporador. El agua de descongelación es rápida y eficiente, pero un poco de humedad está liberado de nuevo en la habitación.

Estos sistemas también requieren más mantenimiento que el deshielo por resistencias eléctricas o por gas caliente.

5.2.4 Consideraciones Generales de Deshielo. Debido a la alta presión de aspiración (y alta carga) después de descongelar, la selección del compresor se debe comprobar para ver que puede operar en un rango más alto que el punto de diseño real. Si no, un regulador de presión de cárter puede ser necesario para mantener la presión de succióna valores aceptables. Si este es el caso, un acumulador también se debe utilizar. Esto es muy importante para un túnel de congelación. En los grandes sistemas de descongelación del aire (serpentín gravedad, por ejemplo), es una buena idea tener solenoides en el líquido y líneas de aspiración de refrigerante así no se migrarán durante el deshielo. Además, las grandes instalaciones de bobina aleta a menudo se divide en secciones con un termostato para cada sección para compensar desigual carga habitación. También se recomienda que se utilice un sistema de bombeo tanto para el ciclo de apagado y todos los períodos de descongelación.

5.3 SELECCIÓN DEL EVAPORADOR

El espaciamiento de las aletas en el serpentín del evaporador debe estar considerado para una aplicación particular. Mientras más alta es la densidad de aletas (12 aletas / pulgada) da mayor capacidad de enfriamiento, sino que también aumenta el problema de la suciedad y la recogida de las heladas. En la mayoría de las aplicaciones de refrigeración comercial, las separaciones de aletas utilizadas son 8, 6 y 4 aletas / pulgada. Generalmente, 8 aletas / pulgada se utiliza a 32 ° C temperatura del serpentín, mientras que espaciamiento de 4 y 6 aletas / pulgada se utiliza cuando la escarcha estará presente. Cuanto más cerca de las aletas son juntos, más rápidamente la capacidad del serpentín se caerá como se forma escarcha. En la mayoría de las aplicaciones de baja temperatura, 6 aletas / pulgada se pueden utilizar siempre y cuando la capacidad del evaporador se reduce en un 15% (0,85 x), al hacer la selección. Esta reducción de los 15% heladas es más representación exacta de la capacidad de la unidad promedio durante el cuatro a seis horas entre los ciclos de descongelación. Por mínimo el tiempo de inactividad, la selección de la base en una aleta / serpentín de 4 pulgadas y es normal capacidad de reducir en un 5% (0,95 x). En la mayoría de los casos, manteniendo congeladores se seleccionan con 6 aletas / pulgada bobinas mientras túneles de

congelación utilizar 4 aletas / pulgada. Una vez que las cargas espaciales y el producto se han establecido, seleccionar el tipo de evaporador más adecuado para la aplicación. Esta selección dependerá del a Temperatura de almacenamiento, Humedad relativa del aire, La velocidad del aire del Tamaño de la habitación y la forma Consulte la Tabla 2 para la temperatura recomendada de almacenamiento y humedad relativa. Como la mayoría de las salas de manejar más de un producto, puede ser necesario un compromiso. A continuación, establezca lose requiere formulario (si los hay) de descongelación. A continuación se describen los distintos tipos de evaporadores que los están disponibles y los datos descriptivos de su uso.

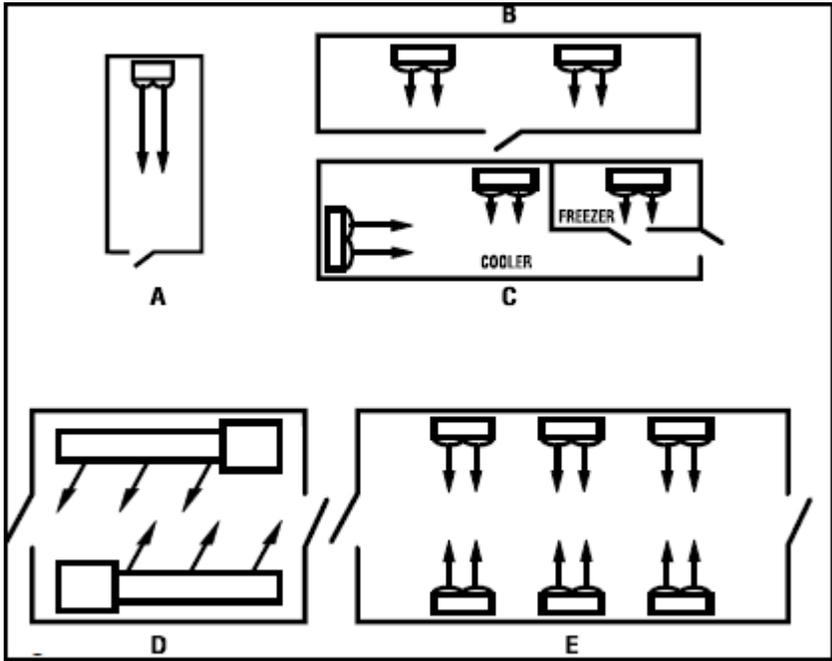
5.4 CONFIGURACIÓN Y UBICACIÓN DEL EVAPORADOR

Diseño del evaporador es mucho más importante de lo que muchos diseñadores se dan cuenta. Siga estos generales, pero importante, reglas:

- Cono de soplado debe cubrir toda la habitación.
- Nunca coloque evaporadores sobre las puertas.
- Conozca la ubicación de las naves laterales, bastidores etc.
- Localice cerca compresores para carreras mínimas de la tubería.
- Localice cerca drenajes de condensación para funcionamiento mínimo.

El tamaño y la forma del almacenamiento de los datos determinan el tipoy la ubicación de los evaporadores. Las ilustraciones siguientes muestran algunos ejemplos típicos.

Figura 16. Configuración del evaporador dentro del cuarto de congelación.



Fuente: WILLIAM C., Whitman, WILLIAM M., Johnson. Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado 4. España. p. 45.

6.METODOLOGÍA

6.1 TIPO DE ESTUDIO

El proyecto aquí realizado es del tipo teórico, el cual es un estudio del estado del arte actualizado de los tipos de evaporadores, sus aplicaciones, y las de las alternativas que el mercado comercial hoy en día nos ofrece.

La descripción del estado del arte nos permitio ampliar nuestros conocimientos en el tema de evaporadores, lo que generara una selección correcta del tipo de evaporador a emplearse en el laboratorio del Pascual Bravo.

6.2 MÉTODO

La metodologia investigativa ha permitido una profundización en el tema de sistema de evaporación para la conservación y congelación de alimentos, investigación que arrojo resultados tecnicos que sera de utilidad en la selección de los equipos para lograr el objetivo general aquí planteado.

6.3 POBLACIÓN

El evaporador para el cuarto de congelación se instalara en el laboratorio de refrigeración en la institución universitaria Pascual Bravo, lugar determinado para la ubicación de los cuartos fríos. Allí se encuentra ubicado el cuarto de congelación en donde instalaremos el evaporador con la ayuda de personal técnico capacitado, quienes nos apoyaran en la selección, instalación y puesta en marcha del equipo.

6.3.1 Fuentes Primarias. La estructuración del estado del arte se basó en la información actualizada de grandes autores a nive internacional. Los cuales han didicado gran parte de su tiempo al diseño, e investigación de los componentes en un ciclo de refrigeración y aire acondicionado.

6.3.2 Fuentes Secundarias. Los manuales de los fabricantes han sido de gran aporte, pues en ellos se reafirma lo que en la fundamentación técnica se dice, dando veracidad a las definiciones y calculos especificados por los diseñadores y conoedores del tema.

6.4 PROCEDIMIENTO

Recopilación de la información, asesorías técnicas, informes de avance, reuniones de equipo, elaboración del informe final y entrega del anteproyecto y posteriormente el proyecto de grado.

7. RESULTADOS DEL PROYECTO

A continuación se detalla el procedimiento analítico para la selección del evaporador como también los procedimientos de mantenimientos preventivos para evaporadores de baja temperatura.

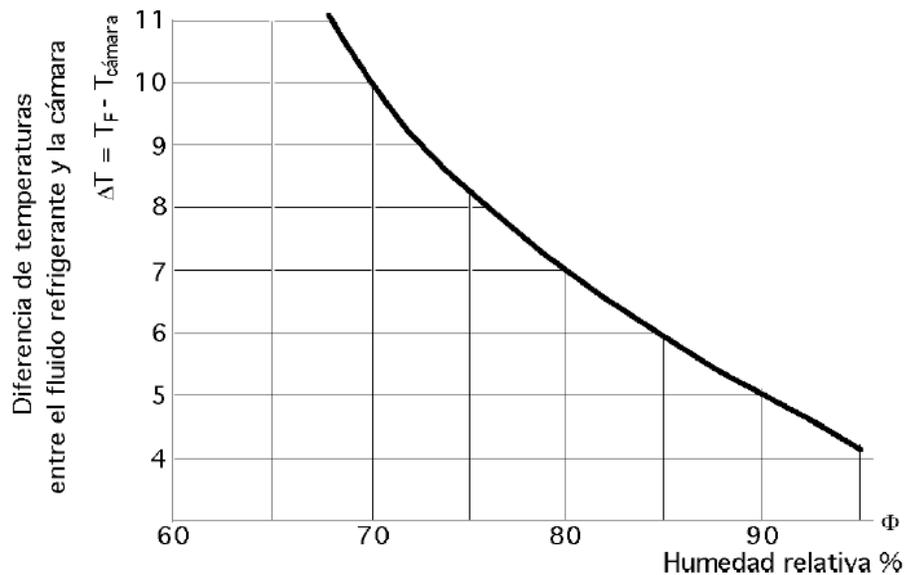
7.1 DIMENSIONADO Y SELECCIÓN DEL EVAPORADOR

La cantidad de calor que pasa de un ambiente caracterizado por una temperatura alta, a otro que se encuentra a una temperatura más baja depende de las siguientes variables:

- La superficie de intercambio
- La diferencia de temperaturas
- El coeficiente global de transmisión de calor
- El espesor del material que separa los dos ambientes
- El tiempo de operación del equipo

La figura 17 muestra el diagrama correspondiente a las diferencias de temperatura existentes entre el interior y el exterior de un evaporador.

Figura 17. Diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior del evaporador.



Fuente: GONZALES. Manual de Aire Acondicionado y Refrigeración. México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1994. p. 50.

En el caso más común de un evaporador que utiliza aire en convección forzada a T1, el calor ambiente pasa a través de una capa de aire que circunda la superficie metálica, luego a través del metal del tubo y, por último, atraviesa la película de aceite que baña la pared interior, calentando el líquido a una temperatura T2, evaporándolo, por lo que $(T1 - T2) = \Delta T$ es el salto térmico de la relación precedente. Normalmente, los fabricantes proporcionan el coeficiente global de transmisión de calor U para cada tipo de evaporador que producen. En un evaporador ventilado, el coeficiente U es más grande que en un evaporador estático no cubierto de escarcha y éste, a su vez, posee un coeficiente mayor que uno cubierto, estando sus valores indicativos en la relación:

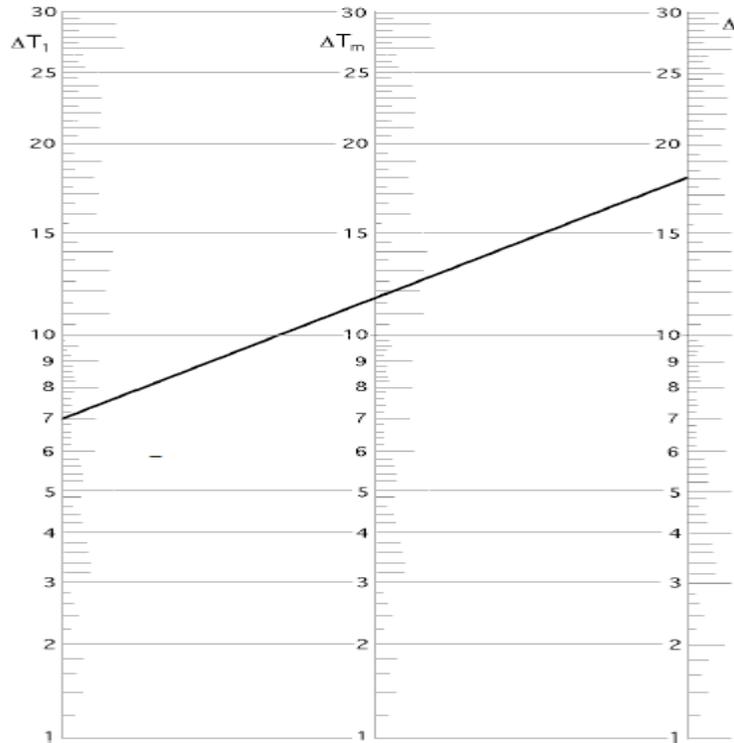
Ecuación 1. Diferencia de temperatura

$$U = \frac{40}{7} / 5 \frac{Kcal}{hm^2 \cdot C}$$

Fuente: GONZALES. Manual de Aire Acondicionado y Refrigeración. México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1994. p. 50.

El salto térmico ΔT que se impone al circuito es importante, ya que determina la humedad relativa en el interior de la cámara; se elige en función del producto que se desea conservar, de acuerdo con la Fig. 18, ábaco de Mehner

Figura 18. Ábaco de Mehner para cálculo del salto térmico.



Fuente: Tomado de biblio3.url.edu.gt/publi/libros/2013/manalesIng/02/16/07.pdf

La elección del evaporador se efectúa considerando la superficie de intercambio térmico que es necesaria para disipar la carga térmica de diseño según la expresión:

Ecuación 2. Área de transferencia de calor.

$$A = \frac{Q}{U\Delta T}$$

Fuente: Tomado de <http://es.scribd.com/doc/15497225000/CARGAS-TERMICAS>

Donde **A** es el área de transferencia de calor, **Q** es el número de personas o compuertas y **U** la transferencia térmica.

Una vez hallada la superficie de intercambio térmico **A** se consultan los catálogos de los fabricantes y se elige el tipo y el número de evaporadores que servirán para disipar el calor de la cámara. Hay que hacer notar que el cálculo resulta sencillo si ΔT representa la diferencia existente entre la temperatura de evaporación del líquido en el interior del serpentín y la temperatura ambiente cuando ésta alcanza las condiciones de régimen, pero conduce a errores, dado que las temperaturas del

fluido y del aire de la cámara, cuando éstos atraviesan el evaporador, se comportan según una evolución logarítmica y no lineal, por lo cual hay que utilizar la LMTD.

7.1.1 Tiempo Funcionamiento del Evaporador.

Ecuación 3. Tiempo funcionamiento del Evaporador.

$$\text{Capacidad del equipo en } \frac{BTU}{h} = \frac{\text{Tiempo deseado de funcionamiento en horas}}{\text{Carga de enfriamiento total en BTU}}$$

Fuente: Tomado de biblio3.url.edu.gt/publi/libros/2013/manalesIng/02/16/07.pdf

Por la necesidad de deshielar el evaporador a intervalos frecuentes, no resulta práctico diseñar los sistemas de refrigeración de tal forma que el equipo deba trabajar continuamente a fin de manejar la carga. No importa la forma en que se efectuó el deshielo, esto requiere determinado tiempo para efectuarse, durante el cual debe detenerse el efecto refrigerante en el serpentín mientras se efectúa el deshielo. Un método de deshielo consiste en detener el compresor y dar lugar a que el evaporador se caliente hasta la temperatura que se tiene en el espacio y conservarlo a esta temperatura por tiempo suficiente hasta que se termine el deshielo del serpentín. A este método se le denomina CICLO FUERA. Este método tiene el inconveniente que el deshielo es lento. La experiencia dicta que cuando se emplea este método de deshielo, el tiempo máximo permitido de funcionamiento del equipo es de 16 horas por cada período de 24 horas; las otras 8 se utilizan para deshielo, además de esto, la temperatura del espacio refrigerado debe mantenerse superior a los 34°F. En los casos en que la temperatura del espacio refrigerado deba estar a menos de 34°F, se emplean métodos artificiales para calentar el serpentín; ya sea con elementos eléctricos, hidráulicos o con gas caliente de la descarga del compresor. Para los sistemas que usan calor suplementario para efectuar el deshielo, el tiempo de funcionamiento del equipo es de 18 a 20 horas por cada período de 24 horas. Como regla general se emplea 18 horas como tiempo de funcionamiento.

7.1.2 Capacidad Frigorífica de Evaporadores. Las capacidades frigoríficas de los evaporadores se determinan con superficie de aleta seca (calor sensible) según la norma ENV 328, utilizando refrigerante R-22 en las condiciones de prueba (temperatura de entrada del aire 0°C y temperatura de evaporación -8°C).

Las capacidades frigoríficas nominales totales (calor sensible + calor latente) indicadas en catálogo corresponden a la capacidad del evaporador con batería seca multiplicada por un factor F (factor de calor latente) para considerar el aumento de capacidad producido por la condensación del vapor de agua contenido en el aire

sobre la superficie de las aletas. Este factor F, por tanto, nos da la relación potencia nominal / Potencia estándar y varía según las temperaturas de aplicación según se indica en la tabla siguiente, que se ha estimado teniendo en cuenta las condiciones de temperatura y humedad habitualmente encontradas en las cámaras frigoríficas.

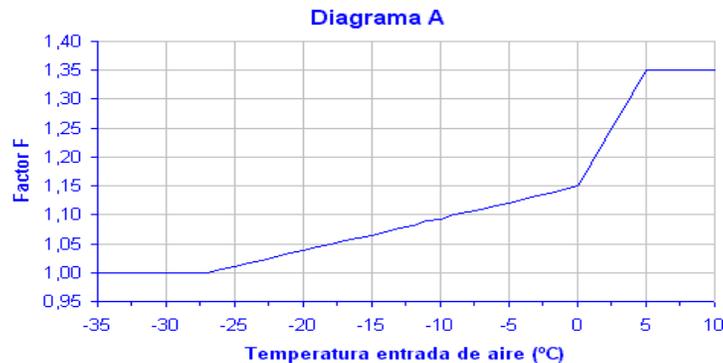
Tabla 3. Factor de Calor Latente.

Condición	Temp.Cámara(°C)	Temp.Evaporación(°C)	DT (K)
C1	+2,5	-5,5	8
C2	-5	-13	8
C3	-18	-26	8
C4	-23	-31	8

Fuente: GONZALES. Manual de Aire Acondicionado y Refrigeración. México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1994. p. 50.

No obstante, para determinar el valor del Factor F en condiciones diferentes a las indicadas, se puede utilizar el diagrama de la figura 19 incluido a continuación.

Figura 19. Calculo del factor F

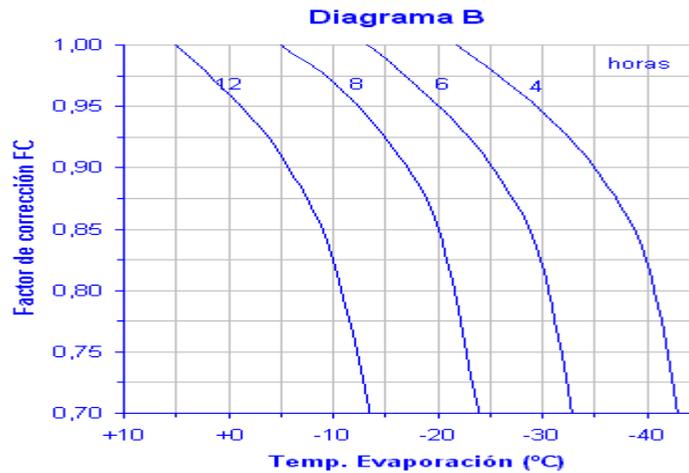


Fuente: GONZALES. Manual de Aire Acondicionado y Refrigeración. México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1994. p. 50.

Por otra parte, ha de tenerse en cuenta que la acumulación de escarcha sobre el serpentín disminuye el rendimiento del evaporador, por lo que la determinación del rendimiento neto del evaporador en las condiciones de utilización reales podrá hacerse con ayuda del diagrama B incluido en la figura 20, que da el factor de corrección FC a aplicar según el tiempo transcurrido entre dos desescarche sucesivos para distintas temperaturas de evaporación: Dada una temperatura de

evaporación se levanta una vertical hasta incidir sobre la curva indicadora del período entre desescarche; la intersección de ambas líneas dará en el eje de ordenadas el factor de corrección FC a aplicar en cada caso.

Figura 20. Diagrama para cálculo de factor de corrección de descharche.



Fuente: GONZALES. Manual de Aire Acondicionado y Refrigeración. México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1994. p. 50.

Además, si el refrigerante a utilizar es distinto de R 22, se aplicará el coeficiente corrector FR dado por la siguiente tabla 4:

Tabla 4. Factor de Refrigerante.

Refrigerante	R 404A	R 22	R 134a
Factor FR	1,05	1	0,95

Fuente: GONZALES. Manual de Aire Acondicionado y Refrigeración. México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1994. p. 50.

7.1.3 Método de selección.

Datos iniciales:

CT (W) = Capacidad frigorífica deseada.

Tc (°C) = Temperatura Cámara = Temperatura del aire a la entrada del evaporador.
Te (°C) = Temperatura Evaporación = Temperatura correspondiente a la presión del refrigerante a la salida del evaporador.

HR (%) = Humedad Relativa.

DT (K) = Salto Térmico. Tc-Te. Si no es conocido, para su elección se puede utilizar el **diagrama C** mostrado en la figura 21.

Fs = Factor F en las condiciones C1 a C4.

Para seleccionar en las condiciones del catálogo, se deben aplicar los siguientes factores de corrección:

F = Factor F en las condiciones deseadas.

FC = Factor de corrección de desescarche.

FR = Factor de refrigerante.

Csel (W) = Capacidad frigorífica de selección.

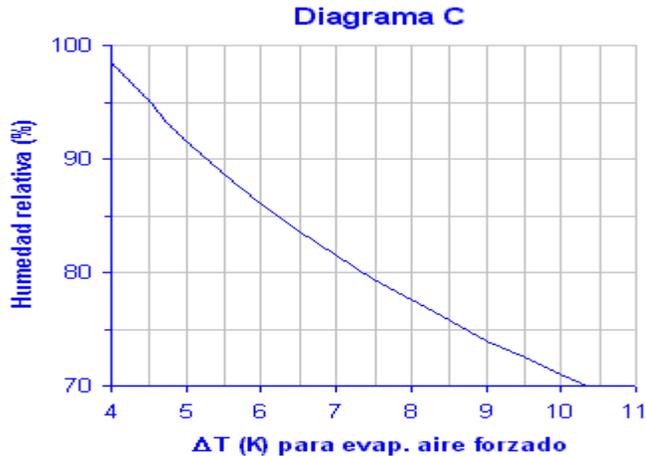
Ecuación 4. Calculo de la capacidad de selección de un evaporador.

$$C_{sel} = CT \times \frac{F_s}{F} \times \frac{1}{FC} \times \frac{8}{\Delta T} \times \frac{1}{FR}$$

Fuente: Tomado de industriales.utu.edu.uy/archivos/mecánica-general/apuntes/GUIA2.pdf

El resultado de esta ecuación nos da la Capacidad en Watss. (1 Watts = 3.414135 BTU/h).

Figura 21. Salto Térmico en el evaporador.



Fuente: GONZALES. Manual de Aire Acondicionado y Refrigeración. México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1994. p. 50.

Con todos los fundamentos anteriormente definidos es posible hacer la selección de un evaporador para un cuarto de congelación de alimentos. Tal selección puede realizarse por el método anterior o por la implementación de un software que facilite esta labor, actualmente los fabricantes de evaporadores proporcionan tal software arrojando resultados con recomendaciones técnicas seguras y exactas.

7.2 INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO EVAPORADORES DE BAJA TEMPERATURA

7.2.1 Mantenimiento del evaporador. Para mantener un sistema o instalación frigorífica, es necesario conocer su funcionamiento y para qué va destinada. La información previa es esencial (documentación del diseño y montaje); el cliente, normalmente, nos informa en relación a los síntomas que detecta en cuanto a sus necesidades, rara vez en cuanto al funcionamiento del sistema.

El mantenimiento preventivo y correctivo comienza con el diseño del sistema, su puesta en funcionamiento y las anotaciones en la ficha de campo de la cámara frigorífica.

7.2.1.1 Mantenimiento preventivo del evaporador. El buen funcionamiento de la instalación responde a una serie de criterios o magnitudes físicas que se mantienen a lo largo del tiempo. Estos criterios se resumen en la siguiente lista:

- Temperatura alcanzada y mantenida en el recinto refrigerado.
- Temperatura de vaporización dentro del rango de diseño.
- Recalentamiento normal en el evaporador
- Diferencias de temperaturas normales en los intercambiadores.
- Ningún ruido sospechoso ni vibraciones anormales.
- Se verifica el estado de soportes, anclajes y elementos antivibratorios de sustentación de motores y compresores.
- La limpieza física y química de los circuitos de los evaporadores, se realiza con los procedimientos establecidos, en condiciones de seguridad y con la frecuencia requerida.

7.2.1.2 Manteniendo correctivo. A continuación una lista de las posibles fallas en un evaporador y su acción correctiva.

- **Síntomas**

Evaporador. Fuerte caída de presión en el evaporador.

- **Causas posibles**

El evaporador tiene solamente el final del serpentín cubierto de escarcha, quedando la entrada o las primeras vueltas relativamente calientes. Empleándose válvulas de expansión termostática con compensador de presión interior, la pérdida de presión del evaporador ejerce influencia sobre el comportamiento regulador de la válvula.

- **Solución**

Hay que bajar la alta presión, que existe al principio del evaporador. Indica que existe un estrechamiento en aquel punto del evaporador en que comienza la escarcha. Comprobar que la toma de presión de la válvula está después del bulbo y a 10 centímetros, si no es así corregir.

- **Síntomas**

Evaporador. No está totalmente escarchado, está alimentado parcialmente.

- **Causas posibles**

No pasa suficiente gas refrigerante al evaporador. La válvula de expansión no permite, el paso del gas refrigerante total o parcialmente.

- **Solución**

Reajustar la válvula hasta que el evaporador se cubra de escarcha, hasta que el punto en que se encuentre el bulbo sensible. Regular el ajuste de la tobera. En instalaciones frigoríficas a baja temperatura, el intercambiador de calor debe

cubrirse aproximadamente, hasta la mitad, con una fuerte capa de escarcha. Cuando en estas instalaciones se efectúe un reajuste de la válvula, es muy posible que el escarchado del evaporador o no cambie, o que cambie solamente de forma apenas perceptible, porque el aire prácticamente ya no contiene humedad alguna que pueda condensarse en forma de escarcha. Este fenómeno se presenta principalmente, cuando sube la temperatura de evaporación a consecuencia del reajuste, elevándose con ésta el punto del deshielo, en comparación con el estado anterior.

- **Síntomas**

Evaporador. Temperatura de evaporación demasiado alta o baja.

- **Causas posibles**

Cuando la temperatura de los evaporadores es más alta o más baja de lo que corresponde según los cálculos previos y a las necesidades de la instalación, a pesar de que los evaporadores estén lo suficientemente alimentados y completamente escarchados, el tamaño de los evaporadores no guarda la relación debida con la potencia de la máquina. Debido a construcción incorrecta o su superficie demasiado grande de los evaporadores.

Calentamiento insuficiente cerca del bulbo.

- **Solución**

Cambiar los evaporadores por los más apropiados.

8. CONCLUSIONES

- Los evaporadores de convección forzada y para enfriamiento de aire son los mas eficientes en los procesos de congelación y conservación de alimentos.
- El espaciamiento entre aletas es un factor a considerar, pues de el dependera el aumento o el descenso de la eficiencia debido a la congelación de la humedad entre espacios o las incrustaciones en estos debido a su reducido espaciamiento.
- Los ventiladores deben de tener la capacidad de hacer circular el aire a través de toda la camara de congelación, logrando la distribución de este en todo el perimitro abarcado por los alimentos.

9. RECOMENDACIONES

- Realizar mantenimientos periodicos para mantener limpios los evaporadores
- Observar manchas de posibles fugas en as tuberias y elementos varios.
- Verificar el funcionamiento de los ventiladores tanto en el evaporador como en el condensador
- Verificar que no se forme hielo en el evaporador.
- Realizar un control periódico de temperatura.
- Avisar inmediatamente al servicio de mantenimiento ante cualquier ruido extraño o la perdida de temperatura.

BIBLIOGRAFÍA

CARNICER. Aire Acondicionado. España: Paraninfo, 2000. p. 90.

CEBRIÁN, Sistemas de climatización para viviendas, residencias y locales comerciales. DTIE 9.03. ATECYR. 2004

CUSA, J. Calefacción, Refrigeración y acondicionamiento de aire. Ediciones CEAC, 2008. p. 45.

CUSA, J. Refrigeración y Acondicionamiento de aire. España: Ediciones CEAC, 2009. p. 78.

DANFOSS, Principios de Refrigeración. 2010. p. 23.

GONZALES. Manual de Aire Acondicionado y Refrigeración. México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1994. p. 50.

L. WANG, B.SUDÉN y R.M.MANGLIK. Plate heat exchangers: Design applications and performance. 1ª Ed. Southampton UK, 2007. p. 89.

MIRANDA, A. Cámaras Frigoríficas. Ediciones CEAC, 1996. p.56.

MIRANDA, Ángel Luis; Jutglar Banyeras, Luis. Técnicas de refrigeración Marcombo, S.A. 1ª ed. 2009.

RUFES, Pedro. Ciclo de Refrigeración. Ediciones CEAC, 2004. p. 89.

S.K., WANG. Handbook of air conditioning and Refrigeration. 2ª Ed. New York, p. 22.

WILLIAM C., Whitman, WILLIAM M., Johnson. Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado 4. España.

CIBERGRAFÍA

DELLA TROFA. Evaporadores por vacío [en línea]. [Citado en octubre de 2013].
Disponible en Internet: <www.dellatoffola.es/Maquinaria-2ª-mano_4_0_91_>

DE LA OLIVA CARDONA, José Fernando. Guía Práctica. Selección de los elementos de una instalación frigorífica [en línea]. [Citado en octubre de 2013].
Disponible en Internet:
<<http://industriales.utu.edu.uy/archivos/mecanica-general/Apuntes/GUIA2.pdf>>

biblio3.url.edu.gt/publi/libros/2013/manalesIng/02/16/07.pdf

<http://es.scribd.com/doc/15497225000/CARGAS-TERMICAS>

ANEXOS

Anexo A. Anticipos al Contratista

REFRIGERACIÓN COMERCIAL

Maxifrio

Régimen Común - Nit: 811.006.209-1

LUGAR Y FECHA: Medellín, Octubre 24 de 2012 - PEDIDO N° 1802

CLIENTE (Pedido del Señor(a): Alfonso Delgado Nit: 73213367

DIRECCION (Para entregar en): Parque Prado Teléfono: 300 804 757

Cantidad	ARTICULOS	Precio. Unit.	VALOR TOTAL
1	Quarto Conservación.		7777.000
2	Montaje. (Segun Cotización)		
	<u>Incluido.</u>		

FORMA DE PAGO

Al firmar esta nota de pedido \$ 3'800.000 =

Al recibo de la mercancía

En 15 Cuotas de 3'972.000

17 Cuotas

Primer vencimiento _____

OBSERVACIONES _____

 El Vendedor

 Comprador

Los precios se entienden por mercancía Puesta en Medellín, Fletes, Seguros y demás gastos por cuenta del cliente.
Este pedido queda sujeto a aprobación de la Gerencia. Al no ser indicado por el cliente, las mercancías no serán aseguradas.

Calle 53 No. 59 - 21 Tels: 513 81 22 - 513 62 54
E-mail: maxifrio1@une.net.co Medellín - Col.

Anticipo para el pago del proyecto global Montaje de Sistemas de condensación y evaporación para los cuartos de congelación y conservación con los respectivos tableros de potencia y control para cada sistema de alimentos del laboratorio – IUPB.