

Resumen

El objeto del presente proyecto de final de carrera es realizar básicamente el estudio y selección de materiales de dos opciones muy diferentes de instalación frigorífica para abastecer ocho cámaras de alquiler de 2.560 m³ cada una. Estas ocho cámaras frigoríficas se ubican en una nave industrial emplazada en la provincia de Lérida. Cuatro de éstas serán exclusivamente destinadas a almacenar producto congelado mientras que las otras cuatro serán bitéperas, es decir, tendrán la posibilidad de ser utilizadas para almacenar producto congelado o fresco según lo exija la demanda del mercado.

Una de las opciones de instalación frigorífica se basa en una distribución descentralizada y en cambio la otra se caracteriza por una centralización de la misma. Las dos opciones son igual de válidas como solución para la refrigeración de las ocho cámaras, consecuentemente una parte importante del proyecto se destinará a la comparación de las instalaciones des del ámbito energético, económico y ambiental entre otros.

La opción de instalación descentralizada se caracteriza por una central frigorífica para cada cámara por separado situadas en el altillo de la nave. Estas ocho centrales funcionan con el refrigerante R-404A y se basan en un ciclo de refrigeración sencillo, lo que implica que realizan la compresión en una sola etapa.

La opción de instalación centralizada se caracteriza por una única central situada a parte en una sala de máquinas que abastece a las ocho cámaras. Esta central funciona con el refrigerante amoníaco (NH₃) y se basa en un ciclo de refrigeración booster de inyección total, lo que implica entre otras cuestiones que realiza la compresión en dos etapas.

El proyecto consta de los siguientes bloques principales:

- Necesidades térmicas de las cámaras frigoríficas.
- Descripción y análisis de los ciclos frigoríficos en los que se basan las instalaciones.
- Descripción y selección de los componentes que constituyen ambos tipos de instalación: compresores, evaporadores, condensadores, valvulería, etc.
- Elementos de control y de seguridad que constituyen ambos tipos de instalación (presostatos, termostatos, cuadro eléctrico, etc.) y descripción de su función en las instalaciones.
- Análisis ambiental.
 - Descripción y normativa vigente de los refrigerantes que utilizan las instalaciones.
 - Consumos eléctricos de las instalaciones.
- Comparación de las instalaciones.
- Presupuestos de las dos instalaciones.





Sumario Memoria

RESUMEN	1
SUMARIO MEMORIA	3
1 INTRODUCCIÓN	7
2 INDUSTRIA DE CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS	8
2.1 Introducción	8
2.2 Cámaras frigoríficas	9
3 ESTIMACIÓN DE LAS CARGAS TÉRMICAS	10
3.1 Introducción	10
3.1.1 Tabla resumen de las necesidades térmicas totales para el funcionamiento como almacén de congelados	11
3.1.2 Tabla resumen de las necesidades térmicas totales para el funcionamiento como almacén de frescos	12
4 POTENCIA FRIGORÍFICA	13
4.1 Introducción	13
4.2 Instalación descentralizada de R-404A	13
4.2.1 Tabla resumen de la potencia frigorífica en la instalación descentralizada de R-404A	14
4.3 Instalación centralizada de AMONÍACO	14
4.3.1 Tabla resumen de la potencia frigorífica en la instalación centralizada de AMONÍACO	15
5 CICLOS Y CIRCUITOS FRIGORÍFICOS	16
5.1 Instalación descentralizada de R-404A	16
5.1.1 Introducción	16
5.1.2 Esquema básico del circuito frigorífico	18
5.1.3 Representación del ciclo frigorífico en el diagrama de Molier del R-404A	19
5.2 Instalación centralizada de AMONÍACO	23
5.2.1 Introducción	23
5.2.2 Esquema básico del circuito frigorífico	25
5.2.3 Representación del ciclo frigorífico en el diagrama de Molier del amoníaco (R-717)	26



6 SELECCIÓN DE MATERIAL PARA LA INSTALACIÓN DESCENTRALIZADA DE R-404A	31
6.1 Introducción.....	31
6.2 Compresor	31
6.2.1 Tipos de compresores.....	31
6.2.2 Ventajas e inconvenientes del compresor alternativo.....	32
6.2.3 Selección del compresor para las cámaras de congelados	33
6.2.4 Selección del compresor para las cámaras de bitéperas	34
6.2.5 Control de capacidad de los compresores alternativos	36
6.2.6 Selección de la central frigorífica	38
6.3 Evaporadores.....	40
6.3.1 Introducción	40
6.3.2 Selección de los evaporadores para las cámaras de congelados	41
6.3.3 Selección de los evaporadores para las cámaras bitéperas	44
6.3.4 Desescarche por gas caliente de los evaporadores	46
6.4 Condensadores.....	48
6.4.1 Selección de los condensadores para las cámaras de congelados.....	49
6.4.2 Selección de los condensadores para las cámaras bitéperas	51
6.5 Tuberías	53
6.5.1 Introducción	53
6.5.2 Selección de tuberías para las cámaras de congelados	55
6.5.3 Selección de tuberías para las cámaras bitéperas	56
6.6 Válvula de expansión.....	57
6.6.1 Introducción	57
6.6.2 Selección de la válvula de expansión para las cámaras de congelados	60
6.6.3 Selección de la válvula de expansión para las cámaras bitéperas	61
6.7 Accesorios del equipo frigorífico	62
6.7.1 Válvulas complementarias	62
6.7.2 Elementos mecánicos	65
6.7.3 Recipientes.....	68
6.7.4 Aparatos de regulación y seguridad	70
6.8 Control de la instalación.....	72
6.8.1 Cuadros eléctricos.....	72
6.8.2 Controlador electrónico para compresores y condensador	73



7	SELECCIÓN DE MATERIAL PARA LA INSTALACIÓN CENTRALIZADA DE R-717 (AMONÍACO)	75
7.1	Introducción	75
7.1.1	Sala de máquinas	75
7.2	Compresores	77
7.2.1	Selección de los compresores	78
7.2.2	Características principales del compresor AERZENER modelo: VMY336M	82
7.2.3	Componentes de la unidad compresora de tornillo AERZENER	84
7.3	Evaporadores	87
7.3.1	Introducción	87
7.3.2	Selección de los evaporadores	88
7.3.3	Características generales de los evaporadores TCI 083604-G	90
7.4	Recipiente de amoníaco líquido de alta presión	93
7.4.1	Introducción	93
7.4.2	Selección del depósito de amoníaco de alta presión	93
7.4.3	Características de los recipientes de amoníaco de la serie RHA	94
7.5	Grupos separadores por bombeo	95
7.5.1	Introducción	95
7.5.2	Selección de los separadores por bombeo de la instalación	95
7.6	Condensadores evaporativos	105
7.6.1	Introducción	105
7.6.2	Selección de los condensadores	106
7.6.3	Características constructivas de los condensadores evaporativos	108
7.7	Tuberías	112
7.7.1	Introducción	112
7.7.2	Selección de las tuberías de la instalación centralizada	112
7.8	Accesorios del equipo frigorífico	115
7.8.1	Válvulas de regulación manual	115
7.8.2	Válvulas seleccionadas para el desescarche	118
7.8.3	Otras válvulas del circuito frigorífico	121
7.9	Control de la instalación	123
7.9.1	Cuadros eléctricos	123
7.9.2	Controlador electrónico para compresores y condensador	125
8	ANÁLISIS AMBIENTAL	129
8.1	Fluidos frigoríficos R-404A y Amoníaco (R-717)	129
8.1.1	Introducción	129
8.1.2	R-404A	130
8.1.3	R-717	131



8.1.4	Comparación de las propiedades principales de ambos refrigerantes	132
8.2	Consumos eléctricos de las instalaciones	133
9	COMPARACIÓN DE LAS INSTALACIONES	134
9.1	Rendimientos y potencias absorbidas	134
9.2	Comportamiento de los compresores	139
9.2.1	Instalación descentralizada	139
9.2.2	Instalación centralizada	141
9.3	Resumen de los presupuestos de ambas instalaciones	143
9.4	Consumos y costes eléctricos	144
	CONCLUSIONES	147
	BIBLIOGRAFÍA	149
9.5	Referencias bibliográficas	149
9.6	Bibliografía complementaria	149



1 Introducción

El objetivo principal del proyecto es el diseño de la instalación frigorífica para abastecer una industria de conservación de alimentos de dos maneras diferentes para destacar las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas.

La industria de conservación de alimentos consta de ocho almacenes frigoríficos de alquiler y se sitúa en una zona de gran producción agrícola y ganadera.

De cada una de las instalaciones se define el ciclo frigorífico teórico en el que se basan, se realiza un esquema frigorífico de la instalación, se describe el proceso de selección y se definen todos los componentes que la constituyen, y se elabora su presupuesto.

Por último, se realiza una comparación entre ambas instalaciones desde el punto de vista energético, medioambiental, y de coste inicial y a largo plazo.



2 Industria de conservación de alimentos

2.1 Introducción

La industria de conservación de alimentos se sitúa en la provincia de Lérida, concretamente en Alpicat.

Está constituida por ocho cámaras o almacenes frigoríficos de alquiler. Cuatro de estos almacenes se destinan a la conservación de producto congelado, en cambio los otros cuatro tienen la opción de funcionar como almacenes de producto congelado o producto fresco.

Todas las cámaras tienen las mismas dimensiones, y un volumen interno de 2.560 m³ cada una. Todas están aisladas con paneles de poliuretano de TAVER de 155 milímetros de espesor.

Las características detalladas de los paneles de poliuretano TAVER se encuentran en el **apartado B.1.del anexo B.**

Se parte de la hipótesis de que en raras ocasiones alguna de las cámaras se encuentre vacía, y de que la entrada y salida de producto es continua y diaria.

En los almacenes de frescos se ha previsto que la máxima cantidad de producto nuevo que se puede introducir diariamente en cada uno es el diez por ciento del total de producto que se puede almacenar en él.

En los almacenes de congelados se ha previsto que la máxima cantidad de producto nuevo que se puede introducir diariamente en cada uno es el equivalente a la carga de cuatro camiones de veinte toneladas.

Las condiciones previstas para el interior de las cámaras son las siguientes:

- Condiciones interiores deseadas para los almacenes de congelados:
 - Temperatura interior para los congelados: $T_{int.c} = -20\text{ °C}$
 - Humedad relativa: $Hr_{int.c} = 80\%$
- Condiciones interiores deseadas para los almacenes de frescos:
 - Temperatura interior para los frescos: $T_{int.f} = 0\text{ °C}$
 - Humedad relativa: $Hr_{int.f} = 80\%$



Esta breve descripción de la industria de conservación de alimentos permite fijar los parámetros necesarios para calcular la potencia frigorífica necesaria para las dos alternativas de instalación que se plantean en el presente proyecto.

Estos parámetros se encuentran en **el apartado A.1.2 del anexo A. Datos y cálculos previos.**

2.2 Cámaras frigoríficas

La distribución de las cámaras en la nave industrial se encuentra en **el apartado A.1.1 del Anexo A.**

Características de las cámaras frigoríficas:

- Todas las cámaras tienen las mismas dimensiones y un volumen interno de 2.560 m³ cada una.
- Las puertas de las cámaras son isotérmicas y se pueden abrir des del interior y el exterior.
- Debido a que todas las cámaras en determinado momento pueden funcionar a temperaturas inferiores a 0 °C, junto a la puerta se dispone un hacha tipo bombero tal y como indica la instrucción MI-IF-006.
- Cada cámara dispone de una válvula equilibradora de presiones que actúa cuando la diferencia de presión entre el interior y el exterior es superior a 10 milímetros de columna de agua tal y como indica la instrucción MI-IF-011.
- Las cámaras que puedan funcionar como almacén de producto fresco están equipadas con la correspondiente maquinaria capaz de mantener una atmósfera controlada (absorbedores de dióxido de carbono y reductores de oxígeno) para evitar el deterioro prematuro del género.



3 Estimación de las cargas térmicas

3.1 Introducción

El cálculo de las cargas o necesidades térmicas de una instalación es el paso inicial en el diseño de la misma. A partir de las cargas térmicas se determina la potencia frigorífica máxima necesaria para cubrir las necesidades de dicha instalación.

No es necesario distinguir entre los dos tipos de instalación frigorífica. Las cargas térmicas estimadas en este apartado se tendrán en cuenta para diseñar ambas instalaciones.

La estimación de las necesidades térmicas se realiza para las condiciones más desfavorables (aquellas que producen unas mayores necesidades frigoríficas).

Esta potencia máxima permitirá diseñar y dimensionar los equipos, tales como el compresor, el evaporador, el condensador, las tuberías, etc.

La estimación de la **carga térmica total** $\left[Q_{\substack{\text{necesidades} \\ \text{térmicas.TOTALES}}} \right]$ que se debe contrarrestar con la instalación frigorífica, resulta de la suma de las siguientes cargas térmicas parciales:

La carga térmica debida a la transmisión de calor a través de paredes, techo y suelo

$\left[q_{\substack{\text{transmisión.calor} \\ \text{paredes,techo,suelo.}}} \right]$, expresa las pérdidas frigoríficas o la cantidad de calor transmitida por unidad de tiempo a través de paredes, techo y suelo de la cámara.

La carga térmica debida a los servicios $\left[q_{\text{servicios}} \right]$, expresa el calor aportado por las luces, las personas y las máquinas que se encuentran o trabajan en el interior de las cámaras.

La carga térmica debida a las infiltraciones $\left[q_{\text{infiltraciones}} \right]$ expresa las pérdidas de calor debidas a la entrada de aire del exterior al interior de la cámara. Se prevén unas cuatro renovaciones al día del total del aire que contiene la cámara con el fin de contemplar en conjunto todas las veces que se abre y se cierra la puerta de la cámara en un día.

La carga térmica correspondiente al enfriamiento del género $\left[q_{\substack{\text{enfriamiento} \\ \text{género}}} \right]$, refleja el calor que hay que aportar al producto para llegar a su temperatura de conservación.



La **carga térmica debida al calor de respiración** $[q_{respiración}]$, expresa el calor que desprenden los productos frescos (frutas y hortalizas) durante el tiempo que están almacenados y todavía no alcanzan su temperatura de congelación.

La **carga térmica debida a los ventiladores** $[q_{ventiladores}]$, refleja el calor que aportan los ventiladores de los evaporadores aunque estos, a la vez, se encarguen, en parte, de aportar el frío a la cámara.

A continuación se encuentran las tablas resumen de los cálculos realizados en el **apartado A.1.3 del anexo A. Estimación de las cargas térmicas.**

3.1.1 Tabla resumen de las necesidades térmicas totales para el funcionamiento como almacén de congelados

ALMACEN DE CONGELADOS		
CONDICIONES DE TRABAJO		
Temperatura interior deseada	$T_{int,c}$	-20°C
Humedad interior relativa deseada	$Hr_{int,c}$	80%
Temperatura de entrada del producto	$T_{ent,c}$	-15°C
CARGAS TERMICAS EN		[MJ/día]
TRANSMISION suelo+paredes+techo	$q_{transmisión\ calor\ paredes\ ,techo\ ,suelo\ .}$	906,1
SERVICIOS	$q_{servicios}$	362,4
INFILTRACIONES	$q_{infiltraciones}$	1.400,9
ENFRIAMIENTO GENERO	$q_{enfriamiento\ género}$	800,0
VENTILADORES	$q_{ventiladores}$	346,9
CARGA TERMICA TOTAL	$Q_{necesidades\ térmicas\ .TOTALES}$	3.816,3

Tabla 1. Tabla resumen de los datos y las necesidades térmicas para los congelados.

Los cálculos detallados se encuentran en el **apartado A.1 del anexo A. Necesidades térmicas.**



3.1.2 Tabla resumen de las necesidades térmicas totales para el funcionamiento como almacén de frescos

ALMACEN DE FRESCOS		
CONDICIONES DE TRABAJO		
Temperatura interior deseada	$T_{int,f}$	0°C
Humedad interior relativa deseada	$Hr_{int,f}$	80%
Temperatura de entrada del producto	$T_{ent,f}$	25°C
CARGAS TERMICAS EN [MJ/día]		
TRANSMISION suelo+paredes+techo	$q_{transmisión\ calor\ paredes,\ techo,\ suelo}$	582,5
SERVICIOS	$q_{servicios}$	233,0
INFILTRACIONES	$q_{infiltraciones}$	952,0
ENFRIAMIENTO GENERO	$q_{enfriamiento\ género}$	5.760,0
RESPIRACION GENERO	$q_{respiración}$	6.469,6
VENTILADORES	$q_{ventiladores}$	1.399,7
CARGA TERMICA TOTAL	$Q_{necesidades\ térmicas\ TOTALES}$	8.927,2

Tabla 2. Tabla resumen de los datos y las necesidades térmicas para los frescos.

Los cálculos detallados se encuentran en el apartado A.1 del anexo A. Necesidades térmicas.



4 Potencia frigorífica

4.1 Introducción

La potencia frigorífica, así como la carga térmica, es energía por unidad de tiempo que se debe extraer del recinto a refrigerar.

La potencia frigorífica se calcula a partir de la carga térmica total, que es la energía que se debe extraer cada día del recinto a refrigerar, cambiando la unidad de tiempo por las horas que se pretende que funcione el equipo frigorífico.

A partir de ahora se debe distinguir entre las dos instalaciones, la descentralizada de R-404A y la centralizada de amoníaco.

4.2 Instalación descentralizada de R-404A

La instalación descentralizada es una instalación que dispone un equipo frigorífico independiente para cada una de las ocho cámaras. Los equipos se sitúan en el altillo de la nave industrial y utilizan como refrigerante el R-404A. Cuatro de estos equipos únicamente trabajan para conservar producto congelado mientras que los otros cuatro lo hacen para conservar producto congelado o producto fresco según sea necesario.

Se realiza el cálculo de la potencia para una cámara funcionando como almacén de congelados y para otra cámara funcionando como almacén de frescos.

La potencia frigorífica del equipo de las cámaras de producto congelado se calcula para que éste funcione ocho horas.

La potencia frigorífica de los almacenes de producto fresco se debe obtener a partir del equipo que proporciona frío para las cámaras bitéperas. Esto significa que se debe producir con la misma maquinaria la potencia necesaria para las cámaras cuando funcionen como almacén de congelados que cuando funcionen como almacén de frescos.

Se sabe que más o menos la potencia de frescos debe ser el doble que la de congelados para obtenerlas con el mismo equipo, así que se escoge un tiempo de trabajo de dieciséis horas para el equipo de las cámaras bitéperas, en el caso del funcionamiento como almacén de frescos, y ocho horas, en el caso del funcionamiento como almacén de congelados para obtener más o menos esta proporcionalidad.



A continuación se encuentran las tablas resumen de los cálculos realizados en **el apartado A.2.1 del anexo A. Instalación descentralizada de R-404A.**

4.2.1 Tabla resumen de la potencia frigorífica en la instalación descentralizada de R-404A

	POTENCIA FRIGORÍFICA NECESARIA [kW]	
	CONGELADOS	FRESCOS
EQUIPO CAMARA CONGELADOS	132,5	—
EQUIPO CAMARA BITEMPERA	132,5	267,3

Tabla 3. Tabla de la potencia frigorífica para un equipo de R-404A.

Los cálculos detallados se encuentran en **el apartados 2 del anexo A. Potencia frigorífica.**

4.3 Instalación centralizada de AMONÍACO

La instalación centralizada dispone un único equipo frigorífico situado en una sala de máquinas independiente que proporciona el frío a las ocho cámaras simultáneamente y utiliza como refrigerante el amoníaco (R-717).

Se realiza el cálculo de la potencia para que el equipo frigorífico funcione ocho horas.

Se deben contemplar los casos extremos, es decir, aquél en el que la demanda de potencia frigorífica de las cámaras de congelados sea máxima; y aquél otro en el que la demanda de potencia de las cámaras de frescos sea máxima.

La demanda de potencia frigorífica de las cámaras de congelados es máxima cuando las ocho cámaras funcionan como almacén de congelados.

La demanda de potencia frigorífica de las cámaras de frescos es máxima cuando cuatro cámaras funcionan como almacén de frescos.

A continuación se encuentra la tabla resumen de los cálculos realizados en **el apartado A.2.2 del anexo A. Instalación centralizada de amoníaco.**



4.3.1 Tabla resumen de la potencia frigorífica en la instalación centralizada de AMONÍACO

	POTENCIA FRIGORÍFICA MÁXIMA NECESARIA POR EL EQUIPO [kW]	
	ETAPA DE BAJA	ETAPA DE ALTA
8 camaras funcionando como almacén de congelados	1.060	No es un máximo
4 camaras funcionando como almacén de frescos y 4 como almacén de congelados	No es un máximo	2.140

Tabla 4. Tabla de la potencia frigorífica para un equipo de AMONIACO.

Los cálculos detallados se encuentran en el apartado A.2 del anexo A. *Potencia frigorífica.*



5 Ciclos y circuitos frigoríficos

En este apartado se definirán los ciclos y circuitos frigoríficos en los que se basarán las dos instalaciones, la descentralizada y la centralizada.

5.1 Instalación descentralizada de R-404A

5.1.1 Introducción

Esta instalación consta de ocho equipos frigoríficos independientes. Cuatro de éstos se corresponden a las cámaras de congelados y los otros cuatro a las cámaras bitéperas. Más adelante se plantean los cálculos del ciclo para el funcionamiento de las cámaras como almacén de congelados y como almacén de frescos independientemente ya que las presiones de trabajo son distintas. El equipo frigorífico de las cámaras bitéperas, aunque no simultáneamente, deberá contemplar ambos ciclos; en cambio las cámaras de congelados basarán su equipo en un único ciclo.

Cada equipo frigorífico se basa en un sistema simple de expansión directa con una etapa de compresión.

En este circuito frigorífico el refrigerante R-404A que sale del evaporador en estado vapor se comprime en una sola etapa de compresión aunque ésta disponga de varios compresores dispuestos en paralelo.

En el **esquema del Anexo B, apartado B.2.1.1.** se aprecia muy bien el tipo de sistema de refrigeración utilizado.

El gas refrigerante en estado vapor, sobrecalentado y a alta presión, se introduce en el **condensador** para pasar a líquido a alta presión. El refrigerante líquido se subenfria unos 2K en el condensador (**subenfriamiento en el condensador**), y se almacena en el recipiente de líquido asegurando de esta forma el buen funcionamiento de la **válvula termostática**, ya que ésta sólo debe ser alimentada con líquido, no con una mezcla de líquido y vapor.

La válvula termostática mediante un bulbo situado después del evaporador de expansión seca regula la cantidad de líquido a expandir hasta la presión de baja para mantener una presión constante en el evaporador y también para que éste pueda evaporar todo el refrigerante que se le introduce. En el evaporador también se realiza un recalentamiento del refrigerante de unos 5 K ya que el bulbo de la válvula termostática no realiza la corrección



del caudal de forma instantánea, éste recibe el nombre de **recalentamiento útil**. De esta manera se evita que llegue líquido al compresor y éste se rompa. Éste tipo de avería se denomina: golpe de líquido en el compresor.

El proceso que se realiza en la válvula es adiabático, irreversible e isoentálpico, denominado laminación. El líquido, a alta presión y alta temperatura, que procede del condensador atraviesa la válvula y al encontrarse con una presión más baja, se vaporiza en parte tomando el calor necesario del propio líquido que se enfría hasta la temperatura correspondiente a la presión de evaporación. Se obtiene el fluido frigorífico en estado líquido a baja presión y baja temperatura (más algo de vapor en iguales condiciones).

En el **evaporador** el refrigerante entra por los tubos como vapor saturado muy húmedo (con un título de vapor muy bajo) y cambia de estado a vapor saturado seco, aumentando su título hasta el valor $x=1$. El cambio de fase se realiza mediante la absorción del calor del medio que rodea los tubos, el aire de la cámara, de esta manera se disminuye la temperatura del recinto a refrigerar. (El calor que se absorbe es el calor latente de vaporización del R404A a la presión de baja).

La situación ideal sería alimentar al evaporador únicamente con líquido, ya que esto no es posible, se intentará conseguir la mayor fracción de líquido mediante el subenfriamiento del refrigerante a la salida del condensador.

En este ciclo obtenemos una fracción de vapor no deseada pero inevitable antes de llegar al evaporador. Esta fracción de refrigerante no realiza su función en el evaporador ya que no realiza el cambio de estado en el interior de éste y además consume energía eléctrica ya que si que debe ser comprimido de nuevo por el **compresor**.

Más adelante profundizaremos en definir y determinar: los elementos que constituyen los equipos, y la función que desempeñan cada uno de ellos más específicamente en el funcionamiento de la instalación.



5.1.2 Esquema básico del circuito frigorífico

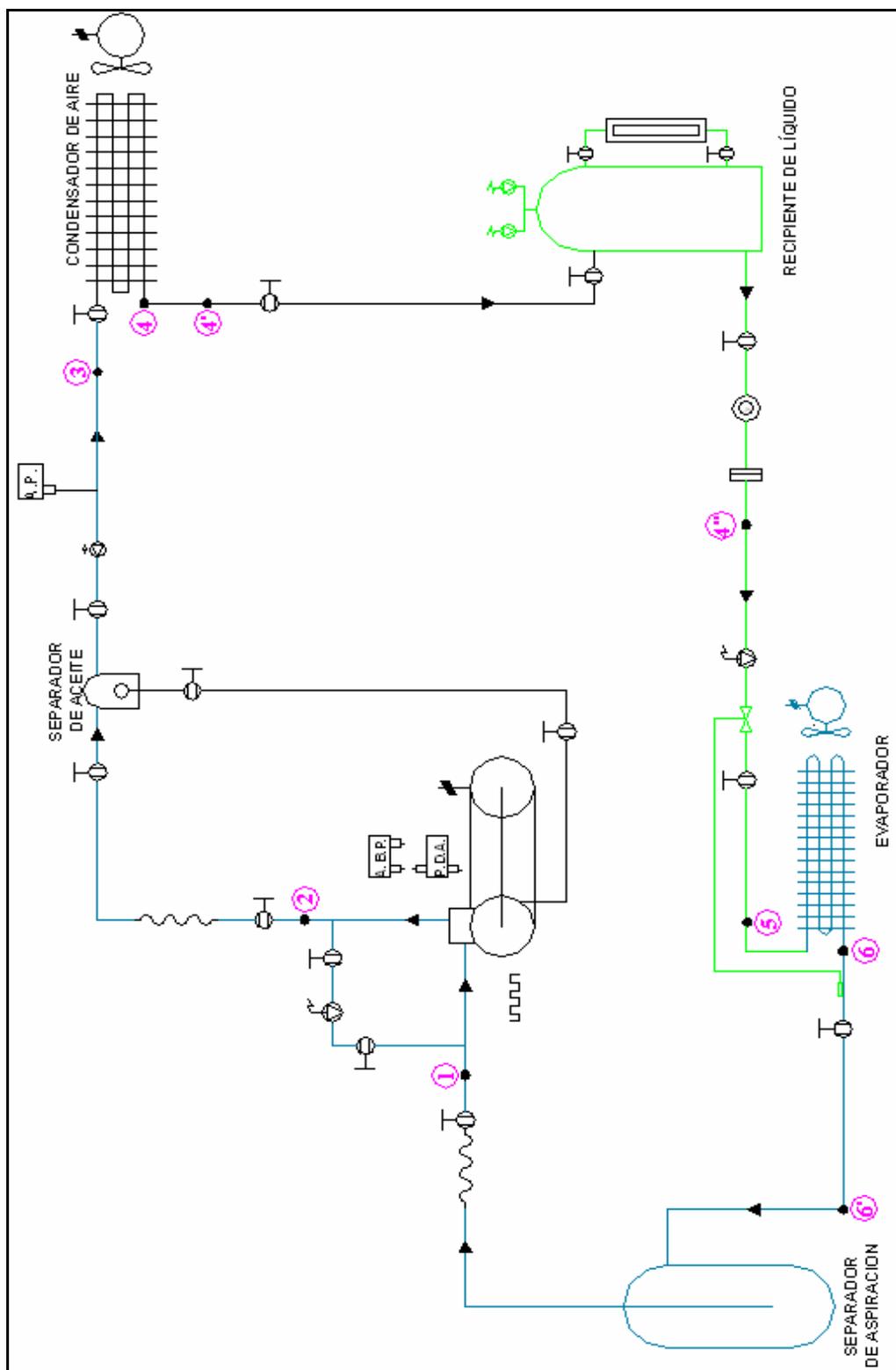


Gráfico 1. Esquema básico del circuito frigorífico de la instalación descentralizada.



5.1.3 Representación del ciclo frigorífico en el diagrama de Molier del R-404A

La representación del ciclo frigorífico en el diagrama de Molier (presión ($\log(P)$) -entalpía (h)) del fluido refrigerante (R-404A) permite hallar valores prácticos para el diseño de la instalación.

En este tipo de instalación tenemos ocho equipos frigoríficos independientes. Cuatro de estos equipos se basan en el ciclo que denominaremos como **ciclo de congelados**. Los otros cuatro equipos se basan en el ciclo de congelados cuando la cámara a la que proporcionan el frío funcione como almacén de congelados y también se basan en el ciclo que denominaremos **ciclo de frescos** cuando la cámara a la que proporcionan el frío funcione como almacén de frescos.

A continuación se representan el ciclo de congelados y el ciclo de frescos en un esquema del diagrama de Molier del R-404A y también se definen las temperaturas y presiones de trabajo de la instalación descentralizada. La representación de los ciclos en el diagrama de Molier real del R-404A se encuentran en **el apartado B.2.1.2 del anexo B**.

Cámara funcionando como almacén de congelados, ciclo de congelado.

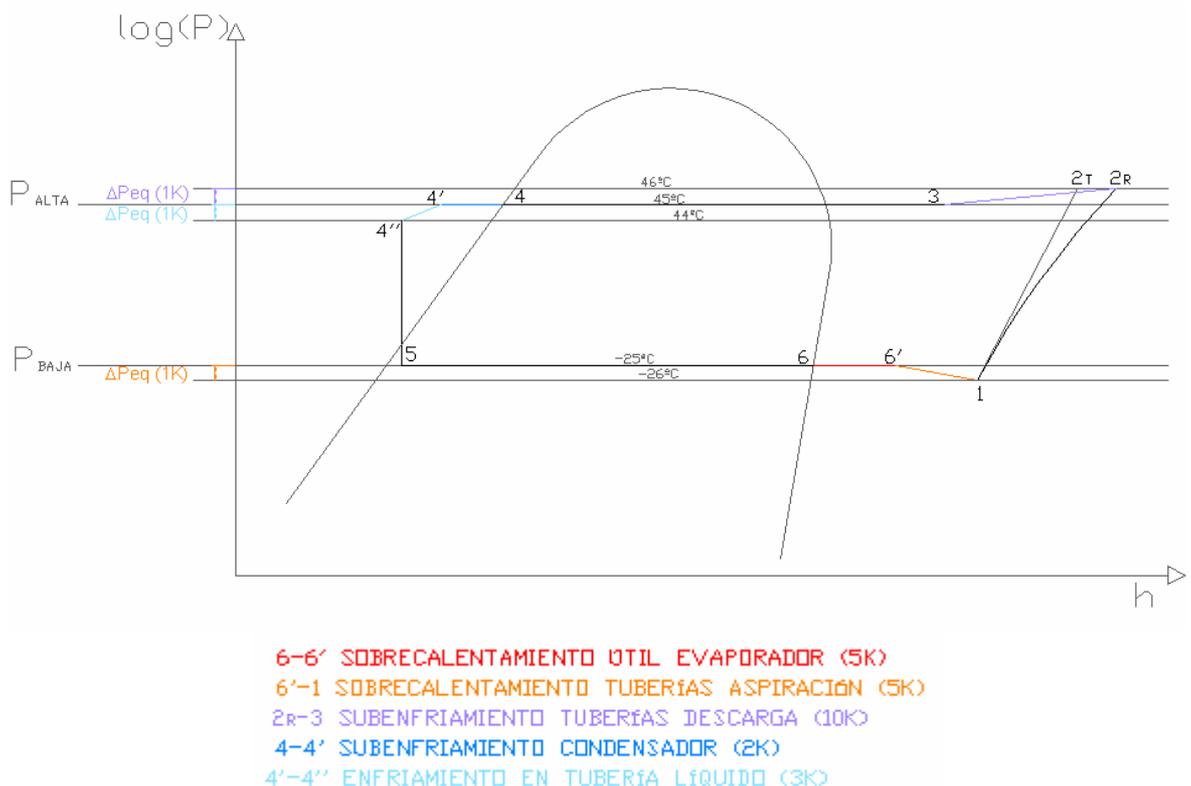


Gráfico 2. Esquema del diagrama de Molier para el ciclo de congelados.



PUNTOS DEL DIAGRAMA P-h	DIFERENCIA DE TEMPERATURA REAL		DIFERENCIAL DE PRESIONES EQUIVALENTE	DIFERENCIA DE PRESION REAL
	DENOMINACION	ΔT [K]	ΔP_{eq} [K]	ΔP [bar]
1-6'	SOBRECALENTAMIENTO TUBERIAS ASPIRACION	5	1	0,097
2R-3	SUBENFRIAMIENTO TUBERIAS DESCARGA	10	1	0,483
4'-4"	SUBENFRIAMIENTO TUBERIAS LIQUIDO	3	1	0,475

Tabla 5. Tabla de las pérdidas de presión en las tuberías ciclo de congelados.

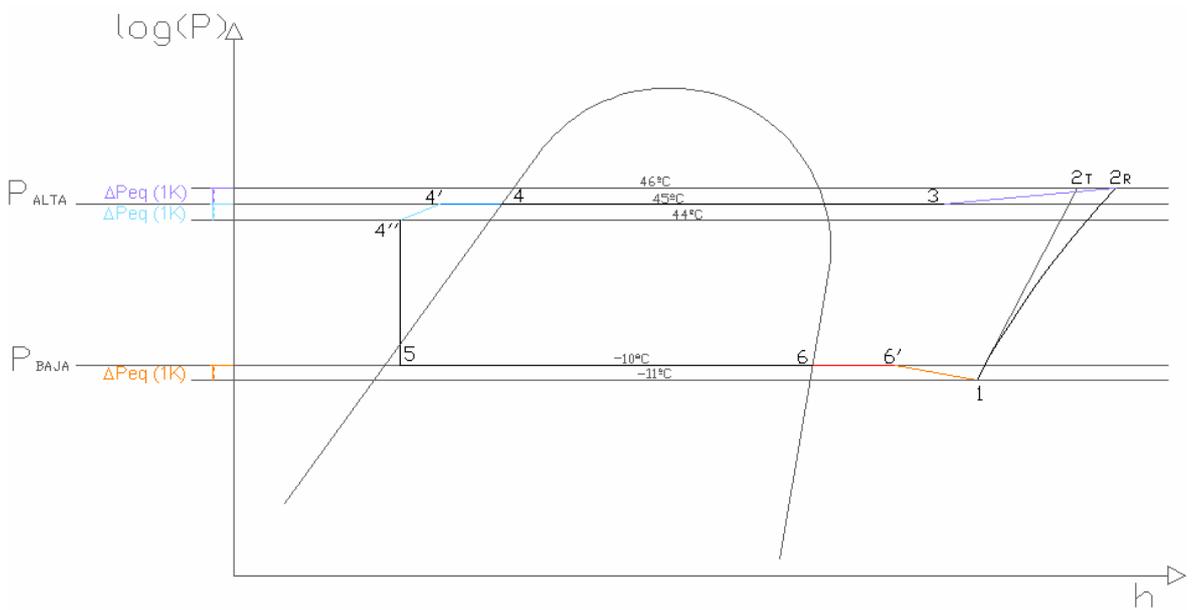
PUNTOS DEL DIAGRAMA	PRESIONES [bar]		TEMPERATURAS [°C]		ENTALPIA [kJ/kg]	ENTROPIA [kJ/kg·K]	VOLUMEN ESPECIFICO [m ³ /kg]
	P _{ABS}	P _m	T _m	T _{real}	h	s	v
1	2,402	1,402	-26,0	-15,0	361,68	1,6627	0,085999
2T	20,932	19,932	46,0	63,7	408,00	1,6627	
2R	20,932	19,932	46,0	85,1	432,39		
3	20,449	19,449	45,0	75,1	421,64		
4	20,449	19,449	45,0	45,0	272,66		
4'	20,449	19,449	45,0	43,0	269,36		
4"	19,974	18,974	44,0	40,0	263,76		
5	2,499	1,499	-25,0	-25,0	263,76		
6	2,499	1,499	-25,0	-25,0	353,41		
6'	2,499	1,499	-25,0	-20,0	357,45		

Tabla 6. Tabla de propiedades termodinámicas del R-404A en el ciclo de congelados.

- Datos obtenidos a partir del balance energético, cálculos en el apartado A.3 del anexo A.
- Datos obtenidos a partir del programa Coolpack.



Cámara funcionando como almacén de frescos, ciclo de frescos.



- 6-6' SOBRECALENTAMIENTO UTIL EVAPORADOR (5K)
- 6'-1 SOBRECALENTAMIENTO TUBERIAS ASPIRACION (5K)
- 2r-3 SUBENFRIAMIENTO TUBERIAS DESCARGA (10K)
- 4-4' SUBENFRIAMIENTO CONDENSADOR (2K)
- 4'-4'' ENFRIAMIENTO EN TUBERIA LIQUIDO (3K)

Gráfico

3. Esquema del diagrama de Molire para el ciclo de frescos.

PUNTOS DEL DIAGRAMA P-h	DIFERENCIA DE TEMPERATURA REAL		DIFERENCIAL DE PRESIONES EQUIVALENTE	DIFERENCIA DE PRESION REAL
	DENOMINACION	ΔT [K]	ΔP _{eq} [K]	ΔP[bar]
1-6'	SOBRECALENTAMIENTO TUBERIAS ASPIRACION	5	1	0,147
2R-3	SUBENFRIAMIENTO TUBERIAS DESCARGA	10	1	0,483
4'-4''	SUBENFRIAMIENTO TUBERIAS LIQUIDO	3	1	0,475

Tabla 7. Tabla de las pérdidas de presión en las tuberías ciclo de frescos.



PUNTOS DEL DIAGRAMA	PRESIONES [bar]		TEMPERATURAS [°C]		ENTALPIA [kJ/kg]	ENTROPIA [kJ/kg-K]	VOLUMEN ESPECIFICO [m ³ /kg]
	P _{ABS}	P _m	T _m	T _{real}	h	s	v
1	4,186	3,186	-11,0	0,0	371,38	1,6555	0,050463
2T	20,932	19,932	46,0	61,8	405,58	1,6555	
2R	20,932	19,932	46,0	75,5	421,49		
3	20,449	19,449	45,0	65,5	410,67		
4	20,449	19,449	45,0	45,0	272,66		
4'	20,449	19,449	45,0	43,0	269,36		
4''	19,974	18,974	44,0	40,0	263,76		
5	4,333	3,333	-10,0	-10,0	263,76		
6	4,333	3,333	-10,0	-10,0	362,56		
6'	4,333	3,333	-10,0	-5,0	366,84		

Tabla 8. Tabla de propiedades termodinámicas del R-404A en el ciclo de frescos.



Datos obtenidos a partir del balance energético, cálculos en el apartado A.3 del anexo A.



Datos obtenidos a partir del programa Coolpack.



5.2 Instalación centralizada de AMONÍACO

5.2.1 Introducción

Esta instalación consta de un único equipo frigorífico para abastecer la demanda de frío de las ocho cámaras frigoríficas.

El equipo se basa en un **Booster de inyección total**, un sistema compuesto de recirculación o de sobrealimentación con bombeo de amoníaco líquido, con dos etapas de compresión, [2].

Definiremos dos conceptos por separado y a continuación los uniremos para explicar el funcionamiento del ciclo Booster de inyección total en conjunto.

Un **sistema compuesto** de refrigeración consta de dos o más etapas de compresión donde los compresores están interconectados en serie en el mismo sistema frigorífico.

Un **sistema de recirculación o de sobrealimentación con bombeo de amoníaco líquido** de una sola etapa de compresión básicamente implica disponer de una o más bombas que hacen circular líquido de un recipiente de baja presión hacia los evaporadores de tipo inundado o sobrealimentados.

El recipiente o separador de aspiración de baja presión se emplea para almacenar refrigerante a baja presión y suministrar refrigerante a los evaporadores por gravedad o con una bomba con moderada altura de bombeo. En el recipiente de baja presión también se realiza la aspiración de los compresores, consecuentemente es el equipo que se encarga de separar el líquido del vapor y por esa razón también recibe el nombre de separador de aspiración de baja.

La cantidad de líquido llevada a los evaporadores es varias veces la cantidad que realmente se evapora en él, por esa razón siempre hay presencia de líquido en el retorno de la aspiración al recipiente de baja presión. Normalmente circulan tres o cuatro veces la cantidad evaporada de refrigerante en el evaporador. En el **esquema del Anexo B, apartado B.3.1.** se aprecia muy bien lo que es un sistema sobrealimentado con bombeo de refrigerante. El sistema representado consta únicamente de una etapa de compresión.

En el sistema de refrigeración **Booster de inyección total** debido a las dos etapas de compresión dispone además del recipiente o separador de aspiración de baja presión, otro de presión intermedia.



En el **separador de aspiración de baja** se realiza la separación del líquido y el vapor a la presión de saturación correspondiente a la temperatura de evaporación de baja. Se suministra amoníaco líquido mediante una bomba a los evaporadores de baja temperatura o a los de las cámaras de congelados, y también se realiza la aspiración de los compresores de baja.

Los **compresores de baja** comprimen el amoníaco vapor hasta la presión intermedia.

El **recipiente de presión intermedia** realiza dos funciones esenciales para esta instalación: la de enfriador intermedio y la de separador de aspiración.

Como **enfriador intermedio** los compresores de baja descargan el vapor a presión intermedia en el recipiente de presión intermedia. El recipiente intermedio enfría el vapor de descarga entre las etapas de alta y de baja, evitando el sobrecalentamiento del compresor de la etapa de alta y la craquización del aceite.

Como **separador de aspiración intermedio** en él se separa el vapor del líquido a presión intermedia. Se suministra amoníaco líquido a presión intermedia mediante una bomba a los evaporadores de alta temperatura o a los de las cámaras de frescos; también suministra líquido al recipiente o separador de aspiración de baja por diferencia de presiones; y se produce la aspiración del vapor a presión intermedia por los compresores de la etapa de alta.

A continuación, los **compresores de alta** comprimen el amoníaco vapor hasta la alta presión y lo descargan en **el condensador** que convierte el amoníaco vapor en amoníaco líquido a alta presión. El líquido se subenfía a la salida del condensador, para aumentar el efecto refrigerante por unidad de masa de amoníaco.

El amoníaco líquido se almacena en el **recipiente de líquido a alta presión** y a través de una válvula solenoide, controlada por un interruptor flotador o electrónico, se mantiene el nivel de líquido del recipiente de presión intermedia.

El líquido a la presión intermedia pasa del separador intermedio al separador de baja presión también regulado por una válvula solenoide, controlada por un interruptor flotador o electrónico, que mantiene el nivel en el separador de baja presión.

Un **separador de aceite**, aplicado tanto a los compresores de baja como los de alta, devuelve el aceite al cárter de los compresores, previo enfriamiento de éste en el **enfriador de aceite**.

Más adelante profundizaremos en definir y determinar los elementos que constituyen el equipo y la función que desempeñan cada uno de ellos más específicamente en la instalación.



5.2.2 Esquema básico del circuito frigorífico

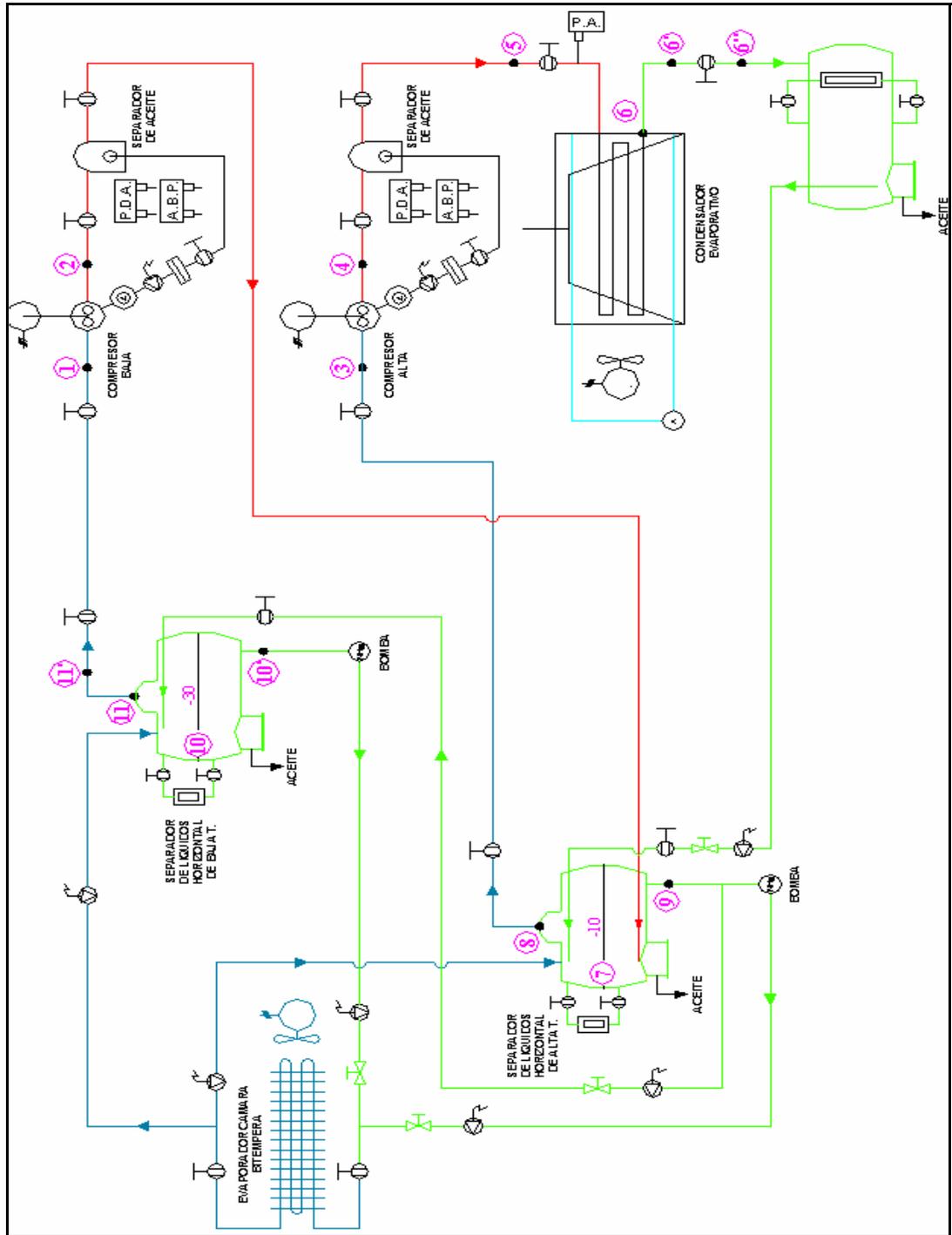


Gráfico 4. Esquema básico del circuito frigorífico de la instalación centralizada.



5.2.3 Representación del ciclo frigorífico en el diagrama de Mollier del amoníaco (R-717)

Esta representación del ciclo frigorífico en el diagrama de Mollier (presión ($\log(P)$) -entalpía (h)) del fluido refrigerante (R-717), permite hallar valores prácticos para el diseño de la instalación.

En este tipo de instalación predomina un ciclo donde la presión intermedia de trabajo corresponde a la temperatura de evaporación de -10°C . Este ciclo frigorífico es aquél en que se basa la instalación cuando hay una o más cámaras funcionando como almacén de frescos. Los evaporadores de las cámaras de frescos se alimentan del recipiente a presión y temperatura de saturación intermedias. Lo denominaremos **ciclo condicionado**.

Cuando no exista ninguna cámara funcionando como almacén de frescos, para conseguir una mayor eficiencia energética se modifica la presión intermedia según la siguiente ecuación:

$$P_I = \sqrt{P_A \times P_B} \quad (\text{Ec. 5.1})$$

donde:

P_A = la presión de alta o de condensación, de la **tabla 10** tomamos $P_A = 13,504$ bar.

P_B = la presión de baja o de los evaporadores de congelados, de la **tabla 10** tomamos $P_B = 1,195$ bar.

P_I = la presión intermedia de máxima eficiencia energética.

Según los valores de la **tabla 10** y la **ecuación 5.1**, la presión intermedia es de **$P_I = 4,017$ bar** y corresponde a la temperatura de saturación de $T_{\text{SAT}}(P_I) = -1,77^{\circ}\text{C}$.

La presión intermedia que cumple esta ecuación es aquella que hace que el coeficiente de eficiencia energética (CEE), más conocido su nombre en inglés, Coeficient Of Performance (COP), sea máximo. Lo denominaremos **ciclo de máxima eficiencia**.

A continuación se representan el ciclo condicionado y el ciclo de máxima eficiencia en un esquema del diagrama de Mollier del amoníaco y también se definen las temperaturas y presiones de trabajo. La representación de los ciclos en el diagrama de Mollier real del R-717 se encuentran en **el apartado B.3.2 y B.3.3 del anexo B**.



Una o más cámaras funcionando como almacén de frescos, ciclo condicionado

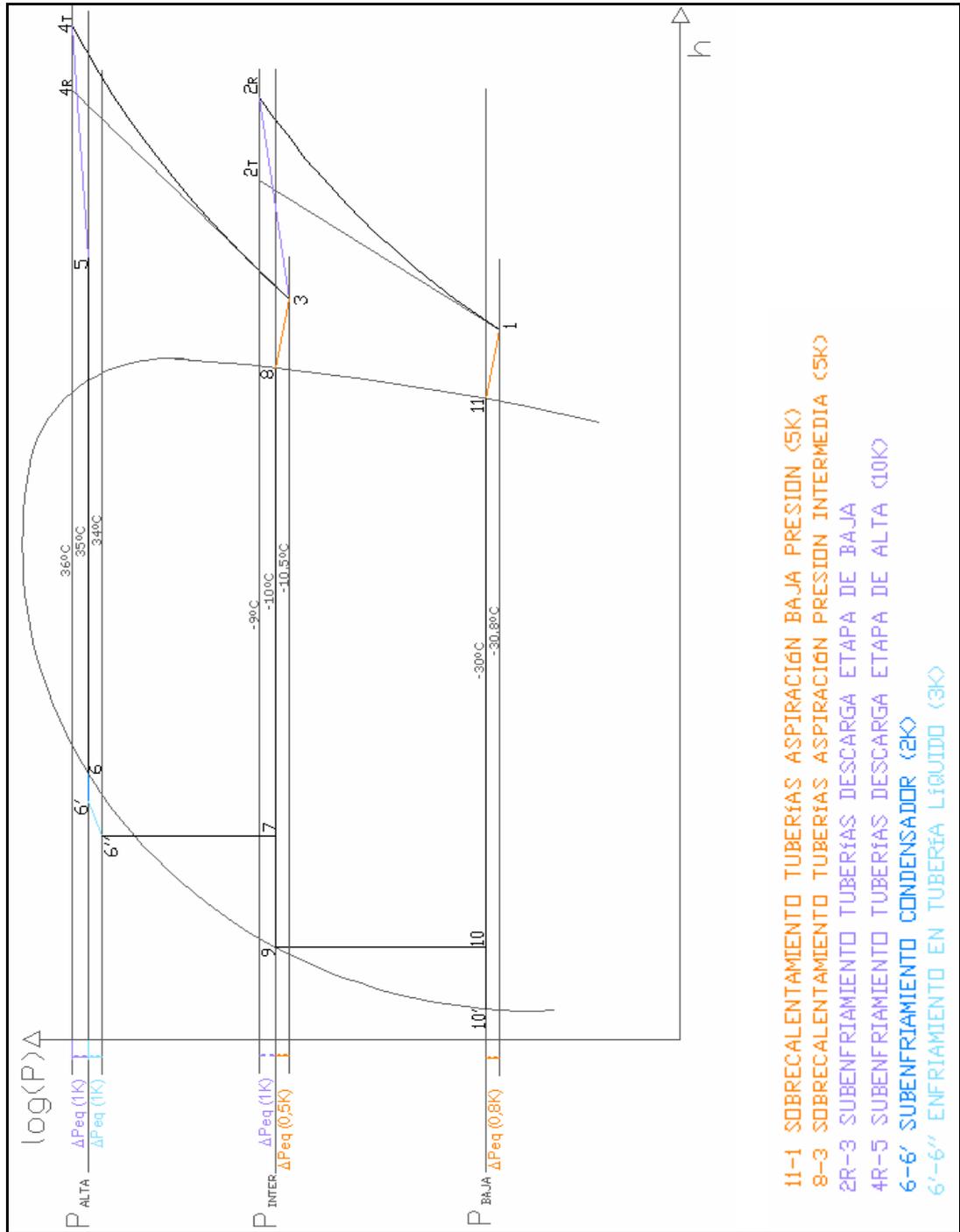


Gráfico 5. Esquema del diagrama de Moliere para el ciclo condicionado.



A continuación se cuantifican en las tablas los puntos del diagrama del gráfico 5:

PUNTOS DEL DIAGRAMA P-h	DIFERENCIA DE TEMPERATURA REAL		DIFERENCIAL DE PRESIONES EQUIVALENTE	DIFERENCIA DE PRESION REAL
	DENOMINACION	ΔT [K]	ΔP_{eq} [K]	ΔP [bar]
11--1	TUBERIAS ASPIRACION BAJA PRESION	5	0,8	0,046
8--3	TUBERIAS ASPIRACION PRESION INTERMEDIA	5	0,5	0,059
2R--3	SUBENFRIAMIENTO TUBERIAS DESCARGA A PRESION INTERMEDIA		1	0,169
4R--5	SUBENFRIAMIENTO TUBERIAS DESCARGA A ALTA PRESION	10	1	0,392
6'--6"	SUBENFRIAMIENTO TUBERIAS LIQUIDO	3	1	0,383

Tabla 9. Tabla de las pérdidas de presión en las tuberías ciclo condicionado.

PUNTOS DEL DIAGRAMA	PRESIONES [bar]		TEMPERATURAS [°C]		ENTALPIA [kJ/kg]	ENTROPIA [kJ/kg-K]	VOLUMEN ESPECIFICO [m³/kg]
	P_{ABS}	P_m	T_m	T_{real}	h	s	v
1	1,149	0,149	-30,8	-25,0	1434,59	6,1291	1,025408
2T	3,028	2,028	-9,0	37,5	1562,26	6,1291	
2R	3,028	2,028	-9,0	76,1	1650,62		
3	2,849	1,849	-10,5	-5,0	1462,45	5,8104	0,436941
4T	13,896	12,896	36,0	111,0	1699,60	5,8104	
4R	13,896	12,896	36,0	141,1	1775,97		
5	13,504	12,504	35,0	131,1	1752,00		
6	13,504	12,504	35,0	35,0	362,58		
6'	13,504	12,504	35,0	33,0	353,30		
6"	13,121	12,121	34,0	30,0	339,00		
7	2,908	1,908	-10,0	-10,0	339,00		
8	2,908	1,908	-10,0	-10,0	1449,29		
9	2,908	1,908	-10,0	-10,0	154,52		
10	1,195	0,195	-30,0	-30,0	154,52		
10'	1,195	0,195	-30,0	-30,0	64,64		
11	1,195	0,195	-30,0	-30,0	1442,46		

Tabla 10. Tabla de propiedades termodinámicas del R-717 en el ciclo condicionado.

Datos obtenidos a partir del balance energético, cálculos en el apartado A.3 del anexo A.

Datos obtenidos a partir del programa Coolpack.



Ninguna cámara funcionando como almacén de frescos, ciclo de máxima eficiencia.

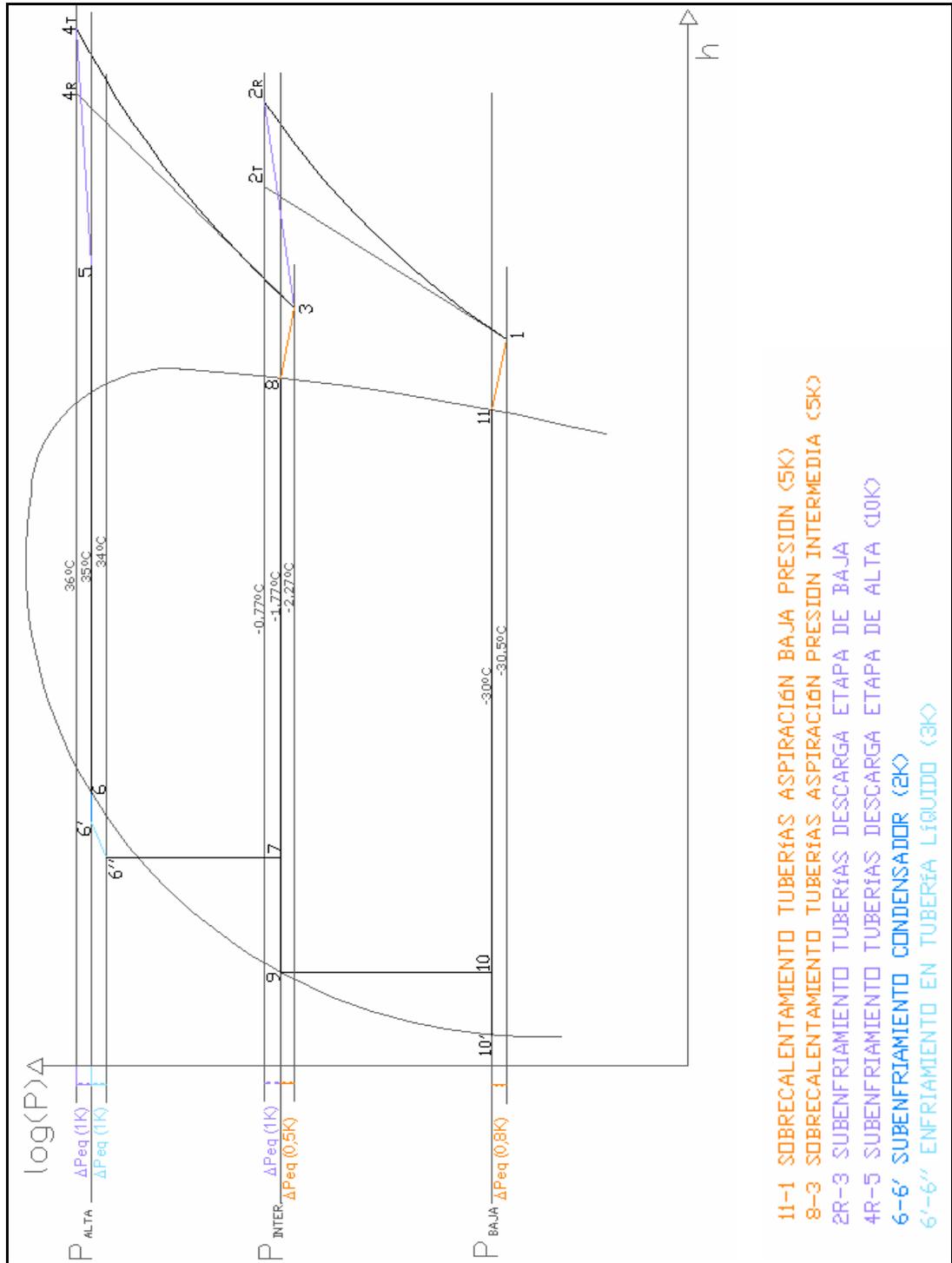


Gráfico 6. Esquema del diagrama de Moliere para el ciclo de máxima eficiencia.



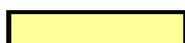
A continuación se cuantifican en las tablas los puntos del diagrama del gráfico 6:

PUNTOS DEL DIAGRAMA P-h	DIFERENCIA DE TEMPERATURA REAL		DIFERENCIAL DE PRESIONES EQUIVALENTE	DIFERENCIA DE PRESION REAL
	DENOMINACION	ΔT [K]	ΔP_{eq} [K]	ΔP [bar]
11--1	TUBERIAS ASPIRACION BAJA PRESION	5	0,8	0,046
8--3	TUBERIAS ASPIRACION PRESION INTERMEDIA	5	0,5	0,076
2R--3	SUBENFRIAMIENTO TUBERIAS DESCARGA A PRESION INTERMEDIA		1	0,231
4R--5	SUBENFRIAMIENTO TUBERIAS DESCARGA A ALTA PRESION	10	1	0,392
6'--6"	SUBENFRIAMIENTO TUBERIAS LIQUIDO	3	1	0,383

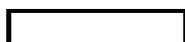
Tabla 11. Tabla de las pérdidas de presión en las tuberías ciclo de máxima eficiencia.

PUNTOS DEL DIAGRAMA	PRESIONES [bar]		TEMPERATURAS [°C]		ENTALPIA [kJ/kg]	ENTROPIA [kJ/kg·K]	VOLUMEN ESPECIFICO [m³/kg]
	P_{ABS}	P_m	T_m	T_{real}	h	s	v
1	1,149	0,149	-30,80	-25,00	1434,59	6,1291	1,025408
2T	4,172	3,172	-0,77	61,30	1611,81	6,1291	
2R	4,172	3,172	-0,77	103,20	1709,26		
3	3,941	2,941	-2,27	4,77	1476,51	5,7120	0,324111
4T	13,896	12,896	36,00	96,90	1662,50	5,7120	
4R	13,896	12,896	36,00	121,00	1725,20		
5	13,504	12,504	35,00	111,00	1700,50		
6	13,504	12,504	35,00	35,00	362,58		
6'	13,504	12,504	35,00	33,00	353,30		
6"	13,121	12,121	34,00	30,00	339,00		
7	4,017	3,017	-1,77	-1,77	339,00		
8	4,017	3,017	-1,77	-1,77	1458,76		
9	4,017	3,017	-1,77	-1,77	191,92		
10	1,195	0,195	-30,00	-30,00	191,92		
10'	1,195	0,195	-30,00	-30,00	64,64		
11	1,195	0,195	-30,00	-30,00	1422,46		

Tabla 12. Tabla de propiedades termodinámicas del R-717 en el ciclo de máxima eficiencia.



Datos obtenidos a partir del balance energético, cálculos en el apartado A.3 del anexo A.



Datos obtenidos a partir del programa Coolpack.



6 Selección de material para la instalación descentralizada de R-404A

6.1 Introducción

Debido a que cada una de las cuatro cámaras dispone de un equipo frigorífico independiente se realiza la selección del material para las necesidades de frío de una única cámara.

6.2 Compresor

El compresor en esta instalación es el único elemento generador del movimiento del fluido refrigerante.

Desempeña fundamentalmente dos funciones, la de aspiración y la de compresión.

La función de aspiración se refiere a la de aspirar los vapores generados en el evaporador, por absorción de potencia térmica procedente de la cámara, con la finalidad de que éstos no se acumulen en el evaporador. Esta acumulación provocaría un aumento de la presión y como consecuencia aumentaría la temperatura de evaporación.

La función de compresión es necesaria para aumentar la presión del vapor y hacer que los vapores se conviertan el líquido, de manera más económica, en el condensador.

6.2.1 Tipos de compresores

Los compresores utilizados en la industria frigorífica pueden ser clasificados en dos categorías según el método utilizado para comprimir.

Los **compresores volumétricos o de desplazamiento positivo**, aumentan la presión introduciendo un determinado volumen de vapor en un espacio cerrado que posteriormente se reduce mediante la acción mecánica. Estos compresores son los mas utilizados en todos los campos de la climatización y la refrigeración.

Los **compresores aerodinámicos o centrífugos** aumentan la presión transmitiendo energía cinética al flujo constante de vapor y convirtiendo esta energía en presión mediante un difusor. El principio de funcionamiento de este tipo de compresores es parecido al de un ventilador o bomba centrífuga. Tienen la capacidad de desplazar grandes volúmenes pero



no pueden usarse en caso de elevadas relaciones de compresión. Estos compresores se usan en grandes instalaciones de aire acondicionado.

Los compresores que constituyen la bancada de este equipo frigorífico son alternativos y semi-herméticos. Como su nombre indica la carcasa sólo protege al motor eléctrico y el compresor queda accesible desde el exterior, de esta manera se puede realizar un mínimo mantenimiento en el lugar de trabajo. Disponen de bomba de aceite que asegura la lubricación de los elementos móviles del compresor.

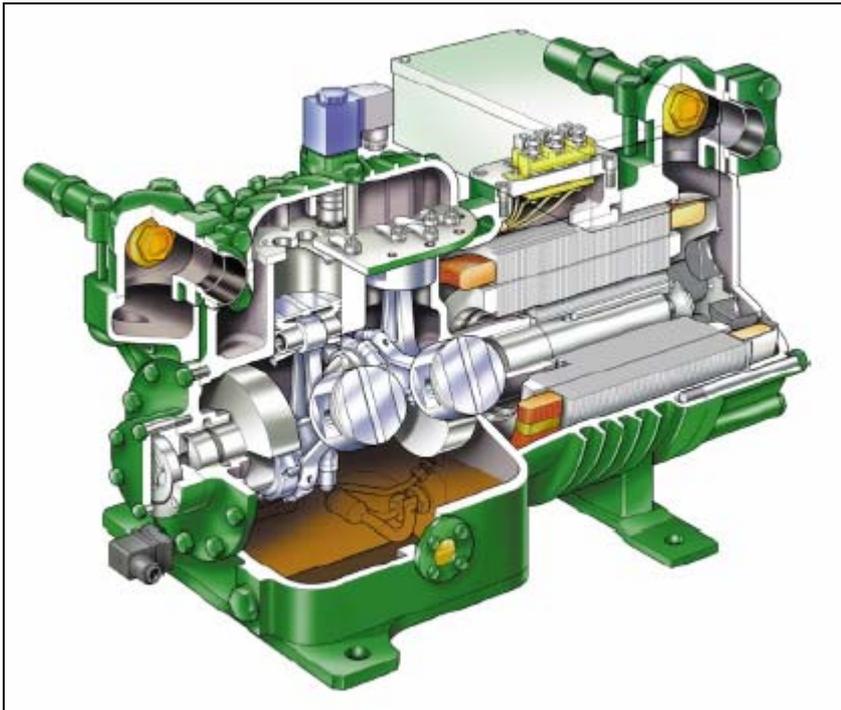


Figura 1. Sección de un compresor semihermético Bitzer.

6.2.2 Ventajas e inconvenientes del compresor alternativo

Ventajas del compresor alternativo

- Robustos y fiables.
- Económicos.
- Mejor eficiencia frigorífica a cargas parciales que otros tipos de compresor.

Inconvenientes del compresor alternativo

- Velocidades limitadas por las inercias.
- Las válvulas deben ser estancas, elásticas y sin apenas inercia.
- Frecuentes mantenimientos.
- Regulación de la capacidad por etapas.



- A elevadas temperaturas de descarga se consume más aceite. Esto implica que para obtener los mismos niveles de separación de aceite que en un compresor de tornillo, en un compresor alternativo es necesario un sistema más sofisticado y consecuentemente más caro para separar el aceite.

6.2.3 Selección del compresor para las cámaras de congelados

En cada uno de los equipos se ha decidido utilizar **4 compresores** instalados en una bancada como la que se aprecia en la **figura 2**.



Figura 2. Bancada compresores alternativos de pistón Bitzer.

Del apartado **4.2.1 de la memoria** conocemos la potencia frigorífica total necesaria para una cámara de congelados. Consecuentemente cada compresor deberá realizar una cuarta parte del trabajo.

$$\dot{Q}_{COMPRESOR.CONGELADOS} [kW] = \frac{\dot{Q}_{R-404A.CONGELADOS} [kW]}{4} \quad (\text{Ec. 6.1})$$

Donde,



$\dot{Q}_{R-404A \text{ CONGELADOS}} = 132,5 \text{ [kW]}$;la potencia frigorífica del equipo necesaria para una cámara de congelados.

Entonces la potencia del compresor para una cámara de congelados según la ecuación 6.1 resulta ser de:

$$\dot{Q}_{\text{COMPRESOR.CONGELADOS}} = 33,1 \text{ [kW]}$$

Para la selección del compresor se ha utilizado el programa Bitzer versión 4.2., los datos de entrada y los resultados se muestran la hoja de selección del compresor de congelados que se encuentra **el apartado B.2.1.3 del anexo B.**

Finalmente el compresor escogido es el modelo: **6F-40.2Y-40P.**

La hoja de especificaciones técnicas del compresor Bitzer: **6F-40.2Y-40P** se encuentra **el apartado B.2.1.4 del anexo B.**

Características de los compresores para las cámaras de congelados:

FABRICANTE	Bitzer
MODELO	6F-40.2Y-40P
Nº Compresores	4
Potencia frigorífica[kW]/Compresor	33,5
Potencia absorbida[kW]/Compresor	25
COP	1,34
Caudal másico[kg/h] / [kg/s]	1258 / 0,35

Tabla 13. Características de los compresores de las cámaras de congelados.

Los resultados obtenidos en el programa Bitzer (COP, Caudal másico,...) se comprueban de forma teórica en el balance energético realizado en **el apartado A.3.1.1 del anexo A.**

6.2.4 Selección del compresor para las cámaras de bitéperas

En este caso lo primero que se debe comprobar es si el mismo compresor elegido para funcionar en las cámaras de congelados puede abastecer las necesidades de la cámara bitémpera funcionando como almacén de frescos. Se parte de esta suposición porque el funcionamiento de la cámara bitémpera como almacén de congelados requiere el mismo frío que el de las cámaras exclusivamente de congelados.

Del apartado 4.2.1 de la memoria conocemos la potencia frigorífica total necesaria para una cámara bitémpera funcionando como almacén de frescos. Consecuentemente como partimos de la hipótesis que se utiliza la misma bancada que en las cámaras de congelados



de cuatro compresores Bitzer modelo: **6F-40.2Y-40P**, cada compresor deberá realizar una cuarta parte del trabajo.

Con la siguiente expresión se calcula la potencia que deberá suministrar cada uno de los cuatro compresores funcionando en el ciclo de frescos.

$$\dot{Q}_{COMPRESOR.FRESCOS} [kW] = \frac{\dot{Q}_{R-404A.FRESCOS} [kW]}{4} \quad (\text{Ec. 6.2})$$

Donde,

$\dot{Q}_{R-404A.FRESCOS} = 267,3 [kW]$;la potencia frigorífica del equipo necesaria para una cámara de frescos.

Entonces la potencia del compresor para una cámara bitémpera funcionando como almacén de frescos según la ecuación 6.2 resulta ser de:

$$\dot{Q}_{COMPRESOR.FRESCOS} = 66,9 [kW]$$

Para comprobarlo se ha utilizado el programa Bitzer versión 4.2., los datos de entrada y los resultados se muestran la hoja de comprobación del funcionamiento del compresor Bitzer modelo: **6F-40.2Y-40P** en la instalación para las cámaras bitémperas trabajando como almacén de frescos que se encuentra **el apartado B.2.2.2 del anexo B.**

Finalmente se comprueba que el compresor Bitzer modelo: **6F-40.2Y-40P** es suficiente para abastecer los dos modos de trabajo de la instalación bitémpera. Así pues en la instalación descentralizada se dispone de ocho equipos de compresión iguales uno para cada cámara frigorífica.



Características de los compresores para las cámaras bitéperas:

MODO DE TRABAJO	CONGELADOS	FRESCOS
FABRICANTE	Bitzer	
MODELO	6F-40.2Y-40P	
Nº Compresores	4	
Potencia frigorífica[kW]/Compresor	33,5	71,4
Potencia absorbida[kW]/Compresor	25	35,1
COP	1,34	2,03
Caudal másico[kg/h] / [kg/s]	1258 / 0,35	2449 / 0,68

Tabla 14. Características de los compresores de las cámaras de congelados.

Los resultados obtenidos en el programa Bitzer (Potencia frigorífica, COP, Caudal másico,...) se comprueban de forma teórica en el balance energético realizado en **el apartado A.3.1.2 del anexo A.**

6.2.5 Control de capacidad de los compresores alternativos

Según la norma UNE-86-609-85 ("Maquinaria frigorífica de compresión mecánica, Fraccionamiento de potencia"), un equipo frigorífico trabajando en ciclo de frío y/o calor, tendrá los dispositivos necesarios para reducir la potencia térmica suministrada al sistema al variar la demanda de éste. Esta se aplica para acercar la eficiencia energética instantánea del sistema de producción a la máxima posible, que corresponde al régimen de la instalación a plena carga. El fraccionamiento de la potencia térmica suministrada se podrá obtener de forma escalonada o bien continua.

Según la norma el mínimo para nuestro equipo de producción es de cuatro escalones de potencia (véase **tabla 15**). Se ha dispuesto cuatro compresores en paralelo por equipo de producción así que se dispone de cuatro escalones de potencia, sin tener en cuenta las reducciones de capacidad de cada compresor.

Maquinaria de parcialización escalonada (instalación descentralizada de R-404A):

Potencia frigorífica útil en kW	Número mínimo de escalones de parcialización del conjunto de máquinas
Hasta 35	1
Hasta 80	2
Hasta 125	3
Hasta 320	4
Hasta 500	8
Más de 500	10

Tabla 15. Maquinaria con parcialización escalonada.



Maquinaria de parcialización continua (instalación centralizada de amoníaco):

Potencia frigorífica útil en kW	Número mínimo de equipos
Hasta 1000	1
Hasta 3000	2
Más de 3000	3

Tabla 16. Maquinaria con parcialización continua.

La regulación de capacidad del equipo en la instalación descentralizada se realiza a partir de la lectura de la temperatura de la cámara por el termostato. Se evita un desgaste desigual de los compresores con un control adecuado de la instalación que permite igualar las horas de funcionamiento de cada uno de los cuatro compresores que forman el equipo.

En principio no es necesario realizar ningún control extra de capacidad en los compresores. Lo que se quiere decir es que no será necesario regular parcialmente la capacidad de cada compresor para aumentar el número de escalones de potencia.

Los compresores Bitzer que se utilizan en nuestros equipos de producción tienen seis pistones, dos en cada culata, así que es posible regular su capacidad de la siguiente forma: 0-33-66-100%. La capacidad se reduce abriendo las válvulas de aspiración y descarga de los cilindros que se desea deshabilitar.

Como no representa un gran aumento en el precio final del compresor se adquieren los compresores con regulación de capacidad. Se consigue así un mayor fraccionamiento de la potencia y también una mayor eficiencia energética a cargas parciales.



6.2.6 Selección de la central frigorífica

Debido a que todas las cámaras deben ser equipadas con los mismos modelos de compresor, se adquieren ocho **centrales frigoríficas Pecomark modelo: CBI-4-402**.

Las características detalladas de la central se encuentran en **el apartado X del anexo B**.

Características principales de la central Pecomark modelo: CBI-4-402

- La **central Pecomark modelo: CBI-4-402** consta de dos bancadas, la bancada central para los compresores y la otra bancada para el recipiente de líquido.
- Colectores de aspiración, descarga y aceite en acero inoxidable de gran limpieza interior y resistencia a la corrosión.
- Elevado número de tomas de presión con llave de cierre en colectores.
- Cuatro compresores semi-herméticos Bitzer modelo: **6F-40.2Y-40P**, con su resistencia de cárter y presostato diferencial de aceite electrónico Delta-P.
- Panel de control en acero inoxidable con:
 - Presostato alta y baja de doble contacto por compresor.
 - Presostato alta general.
 - Manómetros de alta y baja de diámetro 100 Mm. Con glicerina.
 - Sonda de alta (4-20mA).
 - Sonda de baja (4-20mA).
- Separador de aceite de alta eficacia.
- Acumulador de aceite despresurizado.
- Filtro de aceite.
- Retención general de descarga.
- Filtro de líquido recargable, visor, válvula de líquido.
- Colector de aspiración completamente aislado.
- Filtros de aspiración recargables con cartucho de fieltro para la puesta en marcha.
- Válvulas de aspiración.
- Recipiente de líquido vertical de 283 litros con visores incorporados, toma para el control de nivel mínimo de líquido y dos válvulas de seguridad en paralelo, conectadas a una válvula de cierre de tres vías, en cumplimiento a lo establecido en



la instrucción **MI.IF-009**. *Protección de las instalaciones contra sobrepresiones para recipientes con volumen interior igual o superior a 280 dm³.*

Las centrales frigoríficas base (modulo base) pueden suministrarse con diferentes módulos añadidos. A las centrales se les añaden los siguientes módulos:

- **Módulo arranque descargado:** se recomienda para compresores mayores o iguales a la potencia de 10 CV, la central se constituye por compresores de 40 CV.
- **Módulo desescarche por gases calientes:** más adelante se muestra la variante escogida.
- **Módulo pre-instalación:** cableado de maniobra a cuadro de bornes montado sobre bancada central.
- **Módulo electrificación:** cuadro eléctrico va montado sobre la bancada central como se aprecia en la figura 3. Se escoge principalmente esta configuración para facilitar el mantenimiento de la central. Como se encuentra situada en el attillo, la proximidad del cuadro eléctrico facilita el trabajo del personal encargado del mantenimiento.



Figura 3. Central con cuadro de maniobra y/o cableado hasta borneo.

A la central frigorífica base se le añaden las siguientes opciones disponibles:

- Un separador de aspiración adicional.
- Reducciones de capacidad.
- Ventiladores de culata.
- Válvulas de retención en la descarga de cada compresor.
- By-pass por compresor (sin retención).
- Válvula pilotada en descarga para desescarche por gases calientes.
- Presostato diferencial de aceite electrónico Delta-P.



6.3 Evaporadores

6.3.1 Introducción

El evaporador es un intercambiador de calor en el que se produce el efecto útil de la instalación frigorífica. Se sitúa entre la válvula de expansión y la tubería de aspiración del compresor y su función en la instalación frigorífica es la de absorber calor del recinto a refrigerar y transmitir ese calor al fluido refrigerante.

La finalidad del evaporador se consigue de la siguiente manera: el refrigerante que proviene del condensador después de pasar por el elemento de regulación de flujo refrigerante entra al evaporador a la temperatura de ebullición correspondiente a la presión existente en el mismo, y lo hace como líquido saturado o vapor muy húmedo con un título muy bajo. Debido a las condiciones de presión mencionadas en el interior del intercambiador, el refrigerante absorbe el calor latente necesario para realizar su cambio de estado de líquido a vapor a través de las paredes del evaporador. De esta manera se consigue disminuir la temperatura de la cámara y consecuentemente enfriar el género que ésta contiene.

Los evaporadores más utilizados en refrigeración son **enfriadores de gases con circulación forzada** ya que lo que se pretende enfriar es el aire de la cámara.

Los intercambiadores están constituidos a partir de baterías de tubos aleteados, lo que significa que constan de un serpentín o conjunto de tubos por el interior de los cuales circula el refrigerante y soldados a éstos se disponen unas láminas para aumentar la superficie de transferencia de calor por radiación. Normalmente el aire se hace circular de manera forzada mediante ventiladores favoreciendo el intercambio térmico por convección.

La naturaleza de los metales va en función del fluido frigorífico utilizado en la instalación. Para el amoníaco serán de acero los tubos y las aletas de aluminio; y para los clorofluorados serán de cobre los tubos y las aletas de aluminio.

Un factor importante a tener en cuenta en estos intercambiadores es el deshielo. Las placas de hielo que se forman entre las aletas impiden el intercambio de calor entre el refrigerante y el aire de la cámara, por lo tanto, periódicamente se debe realizar el deshielo de las baterías. Más adelante se explica con más detalle como se realiza el proceso de deshielo.

Los evaporadores en refrigeración pueden ser clasificados según el tipo de alimentación del líquido como:

- **Evaporadores de expansión seca**
- **Evaporadores inundados o sobrealimentados de líquido**



En este tipo de instalación, la descentralizada, se usan los de expansión seca y en la centralizada los inundados, así que éstos últimos se definirán más adelante.

En los evaporadores de expansión seca la cantidad de líquido refrigerante alimentado al evaporador está limitada a la cantidad que pueda ser completamente evaporada durante el tiempo que éste permanezca en el interior del intercambiador, de manera que solo llegue refrigerante en estado de vapor saturado seco a la tubería de aspiración del compresor. Generalmente, para obtener una vaporización completa del refrigerante en el evaporador, se permite un recalentamiento de hasta 10 K al final del mismo. Esto requiere de un 10% a un 20% de la superficie total intercambio térmico del evaporador en la que el refrigerante solo aumenta su temperatura, es decir, que el calor absorbido por éste es solo sensible. Esto se traduce en un coeficiente de transmisión de calor global del evaporador menor que en el caso de los evaporadores de tipo inundado.

La válvula empleada con este tipo de alimentación de líquido para el control del fluido es de expansión termostática o tubo capilar en caso de tratarse de pequeñas potencias frigoríficas.

Este tipo de evaporadores a pesar de tener rendimientos peores que los de tipo inundado, son mucho más baratos y más simples en su diseño.

6.3.2 Selección de los evaporadores para las cámaras de congelados

La selección de los evaporadores se realiza a partir de los datos proporcionados por el fabricante en los catálogos, o también, a partir de programas de selección ya que las condiciones de trabajo de los intercambiadores pueden ser distintas a las representadas en los catálogos.

Cada una de las cámaras dispone de cuatro evaporadores, uno por cada compresor, para facilitar el deshielo por gas caliente, que se explica en el apartado 6.3.4 de la memoria.

La potencia frigorífica que se utiliza para elegir los evaporadores es la obtenida como resultado de potencia frigorífica del compresor Bitzer modelo: **6F-40.2Y-40P** en la hoja de selección del compresor de congelados que se encuentra el apartado B.2.1.3 del anexo B. De esta manera se consigue un ciclo frigorífico equilibrado.

$$\dot{Q}_{\text{COMPRESOR CONGELADOS}}^{\text{Bitzer:6F-40.2Y-40P}} = \dot{Q}_{\text{EVAPORADOR CONGELADOS}} = 33,5 \text{ [kW]}$$



$$\dot{Q}_{FRIGORIFICA}^{CAMARA.CONGELADOS} = \dot{Q}_{EVAPORADOR}^{CONGELADOS} \times 4EVAPORADORES = 134 [kW] \quad (\text{Ec. 6.3})$$

Para la selección de los evaporadores ECO se ha utilizado el software facilitado por el fabricante, "Scelte", los datos de entrada y los resultados se muestran en la hoja de selección de los evaporadores para las cámaras de congelados que se encuentra el apartado **B.2.1.7 del anexo B**.

Finalmente se selecciona el evaporador modelo: **ICE 53D10 bv**. Donde la extensión **bv** significa que la velocidad de rotación de los ventiladores es la más baja (conexión del motor eléctrico en estrella).

El rendimiento individual de cada uno de los cuatro evaporadores se muestra en la hoja de comprobación del evaporador seleccionado que se encuentra el apartado **B.2.1.8 del anexo B**.

Características de los evaporadores para las cámaras de congelados

FABRICANTE	ECO
MODELO	ICE 53D10 bv
Nº Evaporadores	4
nº ventiladores	3
Diametro de los ventiladores [mm]	560
Velocidad de rotacion ventiladores [r.p.m]	900
Potencia frigorífica[kW]/Evaporador	33,486
Temperatura de evaporación [°C]	-25,9
ΔT [°C]	5,9
Potencia absorbida[W]/Evaporador	1800
Paso de aletas [mm]	10
Flecha de aire [m]	24
Caudal de aire[m ³ /h]	20370
Superficie externa [m ²]	201,53
Dimensiones: alto [m] x ancho [m] x profundo[m]	1,02 x 3,75 x 1,07

Tabla 17. Características de los evaporadores de las cámaras de congelados.

Características generales de los evaporadores seleccionados

Los evaporadores cúbicos seleccionados son de la gama **ICE**, diseñada para aplicaciones en grandes cámaras frigoríficas para la conservación de producto fresco y congelado. Estos están contruidos con aletas de aluminio con perfil especial y tubos de cobre estriados estudiados para aplicaciones con los nuevos gases refrigerantes, los clorofluorados.

En función del tipo de aplicación se subdividen en dos series:



- **ICE 06** para alta y media temperatura (Temperatura cámara $\geq -15^{\circ}\text{C}$) con paso de aleta de 6mm.
- **ICE 10** para baja temperatura (Temperatura cámara $\geq -35^{\circ}\text{C}$) con paso de aleta de 10mm.

Los evaporadores seleccionados son los de la serie **ICE 10** ya que todas las cámaras pueden funcionar como almacén de congelados.

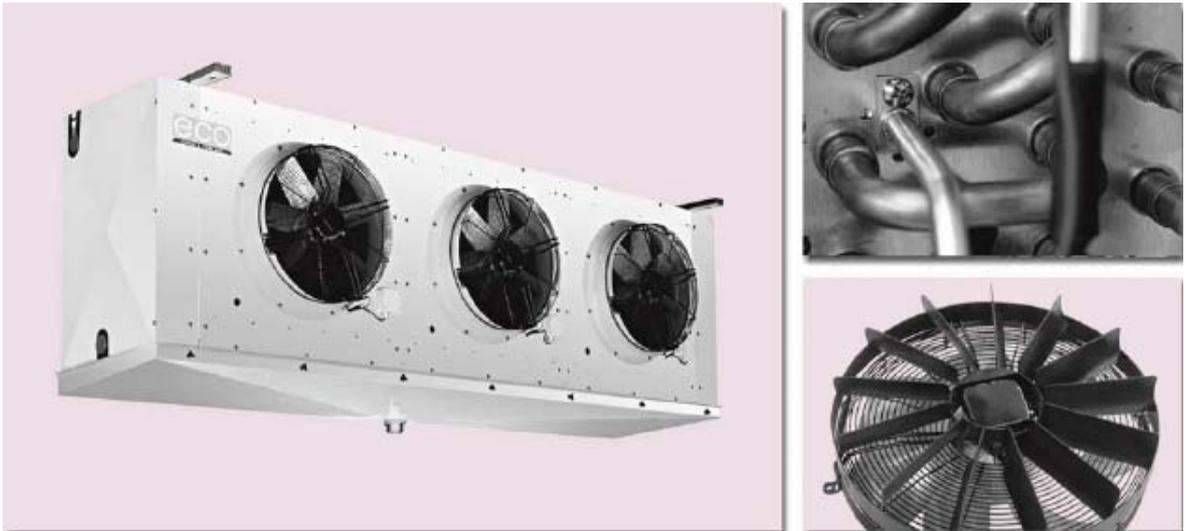


Figura 4. Evaporador cúbico industrial ECO, vista frontal, y detalle del lateral y los motoventiladores.

Estos intercambiadores se fijan en el techo de las cámaras y el diseño de los laterales de apoyo asegura la instalación de éste sin causar daño a los tubos. También están cuidadosamente desengrasados según los criterios más rígidos estándar de fabricación y verificados a una presión de 30 bar.

La carrocería se realiza en aluminio liso, su diseño garantiza la máxima accesibilidad a los elementos internos y reúne las características siguientes:

- Elevada resistencia mecánica y a la corrosión.
- Es inquebrantable a bajas temperaturas.
- No es tóxica.
- No produce partículas contaminantes.
- Se suministra con una película de plástico protectora.

Los motoventiladores eclécticos estándar de la gama **ICE** están anclados a la estructura mediante un sistema de antivibración y reúnen las siguientes características:

- Trifásicos 400V/3/50Hz de doble velocidad, rotor exterior y rejillas en acero protegidas con pintura al polvo epóxica.



- Grado de protección IP 54.
- Clase de aislamiento B.
- Termocontacto de protección interno.
- Temperatura de funcionamiento de -40°C a $+40^{\circ}\text{C}$.

Las unidades están preparadas para la conexión a tierra.

Normas de referencia

- La limpieza interna de los intercambiadores se realiza conforme los estándares DIN 8964.
- Los motoventiladores eléctricos son construidos según EN 60335-1
- Las rejillas de protección respetan la norma de seguridad EN 294.
- La flecha de aire a sido medida en el Laboratorio Tecnológico de Eco según la norma CECOMAF GT 6-001 ($v_f = 0,25$ m/s).
- Responden a la normativa para la maquinaria 98/37 CEE, a la normativa para baja tensión 73/23 CEE, a la normativa para recipientes a presión 97/23 CEE.

6.3.3 Selección de los evaporadores para las cámaras bitéperas

Igual que en la selección de los compresores, lo primero que se debe comprobar es si el mismo evaporador elegido para funcionar en las cámaras de congelados puede abastecer las necesidades de la cámara bitémpera funcionando como almacén de frescos. Se parte de esta suposición porque el funcionamiento de la cámara bitémpera como almacén de congelados requiere el mismo frío que el de las cámaras exclusivamente de congelados.

La potencia frigorífica que se utiliza para comprobación es la obtenida como resultado en la hoja de comprobación del funcionamiento del compresor Bitzer modelo: **6F-40.2Y-40P** en la instalación para las cámaras bitéperas trabajando como almacén de frescos que se encuentra **el apartado B.2.2.2 del anexo B**. De esta manera se consigue un ciclo frigorífico equilibrado.

$$\dot{Q}_{\text{COMPRESOR.FRESCOS}}^{\text{Bitzer:6F-40.2Y-40P}} = \dot{Q}_{\text{EVAPORADOR}}^{\text{BITEMPERAS}} = 71,4 \text{ [kW]}$$



$$\dot{Q}_{FRIGORIFICA\ CAMARA.FRESCOS} = \dot{Q}_{EVAPORADOR\ BITEMPERA} \times 4EVAPORADORES = 286 [kW] \quad (\text{Ec. 6.4})$$

La comprobación se realiza mediante el software de ECO, "Scelte" y los resultados se muestran en la hoja de comprobación del evaporador seleccionado para las cámaras bitéperas de congelados funcionando como almacén de frescos que se encuentra en el **apartado B.2.2.6 del anexo B**.

Se comprueba que el rendimiento del evaporador **ICE 53D10 bv** no es suficiente, así que se procede a una nueva selección y los resultados se muestran en la hoja de selección de los evaporadores para las cámaras bitéperas que se encuentra en el **apartado B.2.2.7 del anexo B**.

Finalmente el evaporador escogido es el modelo: **ICE 53D10**. Es el mismo que en las cámaras de congelados pero la velocidad de rotación de los ventiladores es la alta (conexión del motor ecléctico en triangulo).

El rendimiento individual de cada uno de los cuatro evaporadores de las cámaras bitéperas se muestra en la hoja de comprobación del evaporador seleccionado que se encuentra en el **apartado B.2.2.8 del anexo B**, funcionando como almacén de frescos; y en el **apartado B.2.2.9 del anexo B**, funcionando como almacén de congelados.

Características de los evaporadores para las cámaras bitéperas

MODO DE TRABAJO	CONGELADOS	FRESCOS
FABRICANTE	ECO	
MODELO	ICE 53D10	
Nº Evaporadores	4	
nº ventiladores	3	
Diametro de los ventiladores [mm]	560	
Velocidad de rotacion ventiladores [r.p.m]	1220	
Potencia frigorífica[kW]/Evaporador	33,92	71,26
Temperatura de evaporación [°C]	-24,9	-9,3
ΔT [°C]	4,9	9,3
Potencia absorbida[W]/Evaporador	3000	
Paso de aletas [mm]	10	
Flecha de aire [m]	34	
Caudal de aire[m ³ /h]	28290	
Superficie externa [m ²]	201,53	
Dimensiones: alto [m] x ancho [m] x profundo[m]	1,02 x 3,75 x 1,07	

Tabla 18. Características de los evaporadores de las cámaras bitéperas.



6.3.4 Desescarche por gas caliente de los evaporadores

El deshielo del evaporador se consigue mediante el gas refrigerante caliente que cede su calor al intercambiador fundiendo el hielo mientras el refrigerante se condensa. El gas caliente procede de la descarga del compresor.

Se dispone de un reloj que inicia el desescarche de un evaporador cada dos horas. Esto implica que como cada cámara está equipada por cuatro evaporadores, cada uno se desescarcha tres veces al día.

Cuando el reloj indica que un evaporador inicie el desescarche ocurre lo siguiente:

Se cierra la solenoide de líquido de la entrada del evaporador en cuestión y seguidamente también se paran los ventiladores del evaporador.

Una válvula de tres pilotos situada después de la tubería de gas caliente en el momento del desescarche cierra el piloto que corresponde a la solenoide para que el piloto de regulación de presión actúe (**figura 13 del apartado 6.7 de la memoria**). La función de regulación de la válvula consiste en mantener una presión aguas abajo de manera que se distribuye el gas de la descarga de los compresores entre el circuito frigorífico normal, es decir, hacia el condensador; y el circuito para el desescarche, es decir, hacia el evaporador.

Para que el gas caliente se dirija al evaporador que necesita el desescarche, la válvula solenoide de gas caliente situada en la tubería de desvío que llega al evaporador, se abre, y pasa a actuar el piloto de regulación de la válvula de tres pilotos como se ha comentado anteriormente. El gas caliente atraviesa el serpentín de la bandeja de deshielo y luego atraviesa los tubos de arriba a bajo del evaporador deshaciendo el hielo que se ha formado entre las aletas y éste sale a través del distribuidor. Luego el refrigerante ya condensado se encuentra con la solenoide de líquido cerrada así que se lleva a través de una tubería de desviación al colector de líquido.

Luego la sonda de temperatura del termostato situada en los codos del evaporador da la orden de fin de desescarche cuando la temperatura leída por ésta sea de 15°C.

Seguidamente se cierra la solenoide de la desviación de gases calientes, abre la solenoide de líquido para permitir la entrada de refrigerante condensado al evaporador y la válvula de tres pilotos queda completamente abierta.

Finalmente, la sonda de temperatura del termostato situada en los codos del evaporador cuando detecta que los tubos están fríos, arranca los ventiladores de éste. Evitando así la proyección de agua sobre el género almacenado en la cámara.



Ventajas del desescarche por gases calientes

- Ningún coste de funcionamiento añadido ya que se aprovecha el calor que de otra manera sería disipado en el condensador.
- Desescarche rápido y efectivo.
- Durante el desescarche se libera al condensador de la disipación de una parte de calor.
- El funcionamiento del desescarche no afecta negativamente al resto de la instalación.

En el apartado **B.2.3 del anexo B**, se encuentra el esquema que ilustra perfectamente el desescarche por gas caliente utilizado en cada uno de los ocho equipos frigoríficos.



6.4 Condensadores

El condensador es un intercambiador de calor en el que se produce la condensación del fluido frigorífico que proviene de la descarga del compresor. Para conseguir el intercambio de calor es necesario un agente de condensación que puede ser una corriente de aire, de agua o de ambas.

En el condensador se produce la cesión de calor del gas refrigerante al exterior, este calor es la suma del calor absorbido en el evaporador y el producido por el trabajo de compresión; y se produce en tres fases:

- El enfriamiento del gas sobrecalentado que proviene de la descarga del compresor hasta la temperatura de condensación.
- La cesión de calor latente por parte del refrigerante, cuando éste cambia de fase de gas a líquido, al agente de condensación.
- El subenfriamiento del líquido refrigerante para mejorar el rendimiento del ciclo frigorífico ya que de esta manera al evaporador llega el refrigerante con una proporción de líquido/gas mayor.

Los condensadores se clasifican de la siguiente manera según el agente de condensación:

Los **condensadores de aire** se utilizan prácticamente siempre en las pequeñas instalaciones, en caso de tratarse de instalaciones mayores su uso es determinado por falta de recursos hidráulicos o por cuestiones medioambientales. Estos condensadores disponen de mayores presiones de condensación, mayores presiones sonoras y mayor consumo energético que los que se presentan a continuación.

Se construyen exactamente igual que los evaporadores de aire. Constan de un serpentín o conjunto de tubos de cobre por el interior de los cuales circula el refrigerante y soldados a éstos se disponen unas láminas de aluminio para aumentar la superficie de transferencia de calor por radiación. Normalmente en estos condensadores el aire se hace circular de manera forzada a través de ventiladores que se pueden montar de manera que, o bien impulsan el aire sobre el conjunto de tubos aleteados o bien extraen el aire a través del condensador, lo cual mejora la ventilación de los extremos.

Los **condensadores de agua** debido al elevado consumo de agua, que en grandes instalaciones encarece mucho el proceso, ésta se recupera para enfriarla en equipos auxiliares denominados torres de refrigeración, y se reutiliza. En las torres de refrigeración el agua caliente que sale del condensador es atomizada desde la parte superior cayendo por gravedad hacia la parte inferior. Mediante la circulación de aire por el interior de la torre se



consigue reducir la temperatura del agua al ceder esta su calor al aire por evaporación de una parte de ella que pasa a la corriente de aire. El agua enfriada se bombea de nuevo hacia el condensador para ejercer de nuevo como agente condensador. Las pérdidas de agua se deben compensar con agua nueva.

Las **torres de refrigeración** se clasifican en:

- Las **atmosféricas** son en las que el aire se mueve por convección natural.
- Las de **tiro mecánico** son en las que el aire se mueve por convección forzada por la acción de un ventilador.

Los **condensadores evaporativos** son una combinación de los condensadores de aire y las torres de enfriamiento y se utilizan cuando se dispone de poca agua para enfriar o su coste es muy elevado.

En este tipo de instalación, la descentralizada, se usan los condensadores de aire y en la centralizada los evaporativos, así que éstos últimos se definirán más detalladamente en la selección del material de ésta última.

6.4.1 Selección de los condensadores para las cámaras de congelados

El proceso de selección de los condensadores de aire es el mismo que se ha utilizado para los evaporadores.

La selección del condensador ECO se realiza a partir del software facilitado por el fabricante, "Scelte", los datos de entrada y los resultados se muestran en la hoja de selección del condensador para las cámaras de congelados que se encuentra **el apartado B.2.1.9 del anexo B**. La potencia calorífica que se utiliza para elegir el condensador es la obtenida como resultado en el balance energético del ciclo de congelados que se encuentra **el apartado B.3.1.1 del anexo A**.

$$\dot{Q}_{\text{CALORIFICA CAMARA.CONGELADOS}} = 215,4 \text{ [kW]}$$

Finalmente el condensador escogido es el modelo: **ACE 86E4-DV**.





Figura 5. Condensador de aire industrial ECO, vista frontal, y detalle de la carcasa y los motoventiladores.

Características del condensador para las cámaras de congelados

FABRICANTE	ECO
MODELO	ACE 86E4-DV
Nº Condensadores	1
nº ventiladores	6
Diametro de los ventiladores [mm]	800
Velocidad de rotacion ventiladores 400V/3/50Hz Conexión triangulo [r.p.m]	680
Potencia calorífica[kW]	215,4
Temperatura de condensación [°C]	45
ΔT [°C]	9
Potencia absorbida[W]	5700
Paso de aletas [mm]	2,1
Presión sonora total a 10 m. [dB]	52
Potencia sonora [dB]	85
Caudal de aire[m³/h]	86000
Superficie externa [m²]	1132
Dimensiones: alto [m] x ancho [m] x profundo[m]	1,335 x 4,783 x 2,436

Tabla 19. Características del condensador de las cámaras de congelados.

Características generales del condensador seleccionado

Los condensadores de aire **ACE** han sido estudiados para satisfacer todos los posibles empleos en refrigeración y en acondicionamiento de aire.

Los intercambiadores, de elevada eficiencia, están contruidos con aletas de aluminio con perfil especial "Air Intake" y tubos de cobre estriados para las aplicaciones con los nuevos fluidos refrigerantes. Todos los modelos son suministrados cargados con aire seco a 2 bar.



La carrocería se realiza en plancha galvanizada prepintada, y ésta tiene las mismas características que las comentadas para los evaporadores **ICE**, **apartado 6.3.2 de la memoria**.

Los motoventiladores son axiales de rotor exterior y reúnen las siguientes características:

- Trifásicos 400V/3/50Hz de doble velocidad.
- Palas de aluminio inyectado con perfil en forma de hoz.
- Grado de protección IP 54.
- Clase de aislamiento F.
- Termocontacto de protección interno.
- Rejillas en acero protegidas con pintura al polvo epóxica.

Los motoventiladores y la carrocería están preparadas para la conexión a tierra.

Normas de referencia

Son las mismas que en los evaporadores **ICE**, **apartado 6.3.2 de la memoria**.

6.4.2 Selección de los condensadores para las cámaras bitéperas

La selección del condensador para las cámaras bitéperas se realiza a partir de la potencia calorífica necesaria para el funcionamiento de las cámaras como almacén de frescos porque la potencia es mayor y a partir del software facilitado por el fabricante, "Scelte".

$$\dot{Q}_{\text{CAMARA.BITEMPERA}}^{\text{CALORIFICA.FRESCOS}} = 395,96 \text{ [kW]}$$

Los datos de entrada y los resultados se muestran en la hoja de selección del condensador para las cámaras bitéperas que se encuentra **el apartado B.2.2.10 del anexo B**.

La demanda de potencia en el funcionamiento como almacén de congelados es mucho menor, así que mediante un presostato de alta presión, se procede a desconectar uno a uno los ventiladores del condensador para mantener una presión de condensación mínima que asegure un buen funcionamiento de la válvula de expansión, es decir, que permita condensar todo el refrigerante.

Finalmente el condensador de aire ECO escogido es el modelo: **ACE 812E3-DV**.

Características del condensador para las cámaras bitéperas



FABRICANTE	ECO
MODELO	ACE 812E3-DV
Nº Condensadores	1
nº ventiladores	12
Diametro de los ventiladores [mm]	800
Velocidad de rotacion ventiladores 400V/3/50Hz Conexión triangulo [r.p.m]	680
Potencia calorífica[kW]	392,05
Temperatura de condensación [°C]	45
ΔT [°C]	9
Potencia absorbida[W]	11400
Paso de aletas [mm]	2,1
Presión sonora total a 10 m. [dB]	54
Potencia sonora [dB]	88
Caudal de aire[m³/h]	177480
Superficie externa [m²]	1697
Dimensiones: alto [m] x ancho [m] x profundo[m]	1,335 x 9,208 x 2,436

Tabla 20. Características del condensador de las cámaras bitéperas.

Características generales del condensador seleccionado

El condensador es de la misma gama que el seleccionado para las cámaras de congelados así que las características serán las mismas. Se encuentran en **el apartado 6.4.1 de la memoria.**



6.5 Tuberías

6.5.1 Introducción

Los sistemas de tuberías frigoríficas se diseñan y funcionan para:

- Asegurar una adecuada alimentación de los evaporadores.
- Proporcionar tamaños prácticos de las líneas frigoríficas sin una caída de presión excesiva.
- Evitar que, en cualquier parte del sistema, queden retenidas cantidades excesivas de aceite de lubricación.
- Proteger, en todos los casos, el compresor de la pérdida de aceite de lubricación.
- Evitar que refrigerante líquido o bolsas de aceite lleguen al compresor durante los períodos de funcionamiento y parada.
- Mantener el sistema limpio y seco.

Las tuberías serán de cobre en cumplimiento de la normativa establecida en la instrucción **MI.IF-005**, esta hace referencia a los materiales utilizados en la construcción de los equipos frigoríficos. También deben cumplir las normas dispuestas en el “Reglamento de Seguridad para Plantas e Instalaciones Frigoríficas.”

Todas las tuberías del circuito frigorífico irán identificados según la norma UNE. Consecuentemente, las tuberías se pintarán de la siguiente forma:

- Tubería aspiración: azul
- Tubería de líquido: verde
- Tubería de descarga: rojo

La **tubería de aspiración** debe ser bien dimensionada. Una pérdida de carga excesiva del fluido refrigerante en este tramo puede ocasionar pérdidas importantes de capacidad y eficacia del sistema, ya que se fuerza al compresor a funcionar a una presión de aspiración más baja para mantener la temperatura de evaporación deseada en el evaporador.

La velocidad del refrigerante, que en este tramo se encuentra en estado vapor, debe ser suficiente para arrastrar el aceite al cárter del compresor. En el caso de la instalación descentralizada, la velocidad mínima del vapor no es de mucha importancia ya que los compresores están situados por debajo de los evaporadores, lo que significa que el aceite drenará por gravedad y no será necesario la utilización de sifones como trampas para el aceite cada tres metros ya que la tubería no tiene tramos verticales.



La pérdida de carga admisible en este tramo no debe ser superior a la equivalente a un aumento de temperatura de 1 K. Las caídas de presión se dan en grados , porque este método de dimensionado es conveniente y es aceptado por toda la técnica industrial.

Las tuberías de aspiración deben estar aisladas para prevenir la condensación de la humedad del aire ambiente y reducir las ganancias de calor. El aislamiento de las tuberías de aspiración debe dimensionarse de forma que en la superficie exterior del aislamiento la temperatura sea superior a la del rocío del aire de los alrededores para evitar la formación de escarcha.

El hecho de dimensionar mal la **tubería de descarga** también afecta directamente a la capacidad del sistema. Una elevada caída de presión en las líneas de gas caliente incrementa le potencia del compresor que se necesita por unidad de refrigeración y disminuye la capacidad del compresor.

Para mantener mínima esta caída de presión se tiende a escoger mayores diámetros en estas líneas, aunque se debe mantener una mínima velocidad del vapor para el arrastre del aceite en todas las condiciones de carga del sistema.

En el caso de la instalación descentralizada, la velocidad mínima del vapor tiene más importancia debido a que el tramo de tubería es vertical. Se debe mantener una velocidad del vapor entre 15 y 20 m/s aproximadamente. Es importante recordar que se dispone de separador de aceite, así que la cantidad de aceite que circula por el circuito es mínima.

La pérdida de carga admisible en este tramo debe ser la equivalente a una disminución de temperatura de cómo máximo 1 K.

Las tuberías de descarga no se deben aislar ya que es mejor que pierdan calor, aunque hay que evitar los riesgos de quemaduras por contacto.

El diseño de la **tubería de líquido** es menos crítico que el de las demás tuberías, ya que el aceite esta mezclado con el refrigerante en estado líquido y a las temperaturas de condensación y velocidades de líquido normales, que suelen ser pequeñas, no existe riesgo de formación de depósitos de aceite en el condensador y en el recipiente de líquido.

Las tuberías de líquido deben diseñarse de forma que llegue líquido ligeramente subenfriado a la válvula de expansión y a una presión lo suficientemente alta (mayor a la presión de saturación correspondiente a la temperatura del líquido) para un correcto funcionamiento de ésta. Por lo tanto la caída de presión en estas tuberías debido al rozamiento de las válvulas y demás accesorios debe ser mínima para evitar la revaporización del refrigerante en la línea.



La pérdida de carga admisible en este tramo debe ser la equivalente a una disminución de temperatura entre 0,5 y 1 K.

Las tuberías de líquido no hace falta aislarlas excepto si atraviesan locales a alta temperatura.

La **tubería de gas caliente** debe ser dimensionada para que el gas fluya a una velocidad entre 15 y 30 m/s para que el desescarche del evaporador no sea muy lento. Tal y como se dispone la instalación descentralizada, el caudal de gas de descarga de uno de los cuatro compresores de la central es el necesario para desescarchar un evaporador, ya que en cada cámara hay también cuatro evaporadores.

Las velocidades recomendadas para las tuberías se encuentran en **el apartado B.2.1.10 del anexo B**.

6.5.2 Selección de tuberías para las cámaras de congelados

La selección de las tuberías se realiza a partir del programa informático Solkane 6.0. Se introducen los datos del ciclo frigorífico, se fija la pérdida de carga equivalente en grados y se obtienen los diámetros de las tuberías, así como las pérdidas de carga y las velocidades del fluido.

Los datos de entrada y los resultados se encuentran en **el Anexo B, apartado B.2.1.11**.

A continuación se muestra la tabla resumen de las tuberías que se utilizaran para los equipos de las cámaras de congelados.

	DIAMETRO EXTERIOR REAL [mm]		DIAMETRO en PULGADAS ["]	
	Potencia total 134 kW	Potencia parcial 33,5 kW	Potencia total 134 kW	Potencia parcial 33,5 kW
Tubería de gas aspirado o de aspiración	89	54	3 5/8"	2 1/8"
Tubería de gas a presión o de descarga	42	28	1 5/8"	1 1/8"
Tubería de gas caliente		16		5/8"
Tubería de líquido	28	16	1 1/8"	5/8"

Tabla 21. Tuberías de los equipos de las cámaras de congelados.



6.5.3 Selección de tuberías para las cámaras bitéperas

La selección de las tuberías para las cámaras bitéperas se realiza también a partir del programa informático Solkane 6.0.

La selección de las tuberías se realiza a partir de los datos de entrada del ciclo de frescos y a continuación se comprueban las tuberías elegidas para la potencia de congelados, manteniendo como criterio principal de selección la pérdida de carga equivalente en grados.

Los datos de entrada y los resultados se encuentran en **el Anexo B, apartado B.2.2.11** Las comprobaciones para la potencia de congelados se encuentran en **el Anexo B, apartado B.2.2.12**.

A continuación mostramos la tabla resumen de las tuberías que se utilizarán para los equipos de las cámaras bitéperas.

	DIAMETRO EXTERIOR REAL [mm]		DIAMETRO en PULGADAS ["]	
	Potencia total 286 kW	Potencia parcial 71,4 kW	Potencia total 286 kW	Potencia parcial 71,4 kW
Tubería de gas aspirado o de aspiración	89	54	3 5/8"	2 1/8"
Tubería de gas a presión o de descarga	54	35	2 1/8"	1 3/8"
Tubería de gas caliente		18		3/4"
Tubería de líquido	35	22	1 3/8"	7/8"

Tabla 22. Tuberías de los equipos de las cámaras bitéperas.



6.6 Válvula de expansión

6.6.1 Introducción

Existen básicamente siete tipos de controles de flujo de refrigerante:

- Válvula de expansión manual
- Válvula de expansión automática
- Válvula de expansión termostática
- Tubo capilar
- Válvula de flotador de alta y de baja presión
- Válvula solenoide
- Válvula de expansión electrónica

Independientemente del tipo, la función de cualquier elemento de control de flujo refrigerante es:

- Regular el caudal de líquido refrigerante desde la línea de líquido hasta el evaporador de manera que el evaporador pueda vaporizar todo el líquido que se le envía.
- Mantener una diferencia de presiones entre la presión de alta y la de baja del sistema para permitir que el refrigerante se vaporice bajo las condiciones de presión más baja existentes en el evaporador mientras que el proceso de condensación del refrigerante sucede en la alta presión del condensador.

En esta instalación el control del flujo se realizará a partir de **válvulas de expansión termostáticas equilibradas exteriormente**. Este tipo de válvula asegura que el vapor que se va formando en el evaporador se recaliente hasta un valor predeterminado. Esto permite mantener el evaporador completamente lleno de refrigerante bajo las condiciones de carga del sistema, sin peligro de paso de líquido a la tubería de aspiración.



Figura 6. Válvulas de expansión termostáticas Danfoss.



Funcionamiento de las válvulas de expansión termostáticas

El bulbo remoto de la válvula de expansión termostática se sitúa en la tubería de aspiración del compresor, a la salida del evaporador (punto C, figura 6), donde responde a los cambios de temperatura del refrigerante en estado de vapor en ese punto de la tubería. Normalmente el fluido que se utiliza en el interior del bulbo es el mismo que el que se emplea en el sistema.

En una válvula de expansión termostática con igualador externo, la presión del evaporador es la de salida del intercambiador en lugar de la de entrada. Esto se consigue aislando completamente el diafragma de la válvula, de la presión de entrada del evaporador. Se aplica la presión de la salida sobre el diafragma a través de un tubo situado unos 15 cm. después del bulbo remoto (punto B, figura 7).

Se evita que la caída de presión en el interior del evaporador, aunque ésta sea muy pequeña, afecte al funcionamiento de la válvula. También se evita aumentar el grado de recalentamiento para que la válvula se encuentre en condiciones de equilibrio y por lo tanto se aumenta la superficie de enfriamiento efectivo del evaporador.

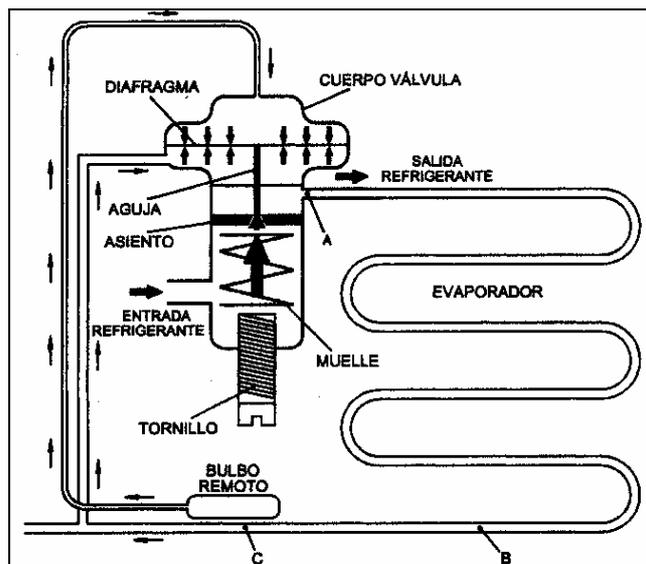


Figura 7. Esquema de una válvula expansión termostática equilibrada externamente.

El funcionamiento de las válvulas de expansión termostáticas es el resultado de la acción de tres fuerzas independientes,

- Presión del evaporador.
- Presión del muelle.
- Presión ejercida por la mezcla líquido-vapor saturado en el bulbo remoto.



De manera que la válvula se encuentra en condiciones de equilibrio cuando se cumple la siguiente ecuación:

$$P_{EVAPORADOR} + P_{MUELLE} = P_{BULBO} \quad (\text{Ec. 6.5})$$

La válvula permanece en equilibrio hasta que un cambio en el grado de aspiración del vapor sobrecalentado, desequilibre las fuerzas y cause que la válvula se mueva en una dirección u otra.

La presión del fluido en el bulbo remoto actúa en un lado del diafragma a través del tubo capilar y hace que la válvula se abra, en cambio la presión del evaporador y la del muelle actúan en el otro lado del diafragma y hacen que la válvula se cierre.

Ventajas de las válvulas de expansión termostáticas

Proporcionar un uso total y efectivo de la superficie del evaporador bajo cualquier condición de carga, gracias al control de un recalentamiento constante al final del intercambiador. Con este control también se evitan los golpes de líquido en el compresor.

Las válvulas termostáticas tienen una larga vida y se pueden utilizar con todos los refrigerantes, aunque para cada refrigerante éstas son diferentes.

Inconvenientes de las válvulas de expansión termostáticas

Por si solas no mantienen una presión constante en el evaporador, por lo tanto la temperatura de vaporización no se mantiene constante.

Al aumentar la carga del sistema y mantener un recalentamiento fijo, entrará un mayor caudal en el intercambiador provocando un aumento de presión y temperatura de vaporización del refrigerante. Consecuentemente un descenso de la carga térmica en la instalación provoca lo contrario y esta variación provoca un descenso de la humedad relativa de la cámara frigorífica.

Este inconveniente se soluciona realizando una buena previsión de las necesidades de la cámara y con la instalación de la regulación de capacidad de los compresores, que permite que estas variaciones no sean tan bruscas. La humedad relativa de la cámara se mantiene elevada si se reduce la capacidad de los compresores pero se mantienen todos los evaporadores de la cámara en funcionamiento.



6.6.2 Selección de la válvula de expansión para las cámaras de congelados

La selección de la válvula se realiza a partir de los datos proporcionados por el fabricante en el catálogo técnico.

En el **anexo B**, apartado **B.2.1.12**, encontramos las hojas del catálogo de Danfoss que corresponden a las válvulas termostáticas para R-404A.

Para seleccionar la válvula se debe entrar en las tablas del **Anexo B**, apartado **B.2.1.12** con los siguientes datos:

Temperatura de vaporización: $T_{\text{vaporización}} = -25^{\circ}\text{C}$

Se debe interpolar entre las temperaturas de vaporización de: -20°C y -30°C .

Diferencia de presiones entre la válvula de expansión: $\Delta P_{4''-5} = P_{4''} - P_5 = 17,5 \text{ bar}$, valores tomados de la **Tabla 6**. Tabla de propiedades termodinámicas del R-404A en el ciclo de congelados, **apartado 5.1.3.1 de la memoria**.

Se entra en la tabla por $\Delta P = 16 \text{ bar}$.

Se debe buscar una capacidad que se aproxime a:

Potencia frigorífica del evaporador: $\dot{Q}_{\text{EVAPORADOR CONGELADOS}} = 33,5 \text{ [kW]}$

Entonces la válvula de expansión termostática con igualador externo seleccionada para las cámaras de congelados es la siguiente:

FABRICANTE	Danfoss
TIPO DE VÁLVULA	TE-12
Elemento termostático	TES-12
Código Danfoss/sin MOP/ Rango N, -40°C a $+10^{\circ}\text{C}$	067B3346
Orificio	TES-12-13.4
Código Danfoss, orificio 04	067B2008
Cuerpo	TE-12
Código Danfoss, para orificios del 03-04	067B4026
Capacidad en [kW] de la válvula	
DP= 16 bar, $T_{\text{vaporización}} = -25^{\circ}\text{C}$	36,45

Tabla 23. Características de la válvula de expansión termostática de las cámaras de congelados.

En el **apartado B.2.1.12 del Anexo B**, se muestran las dimensiones y los pesos de la válvula de expansión para las cámaras de congelados.



6.6.3 Selección de la válvula de expansión para las cámaras bitéperas

La selección de las válvulas termostáticas en el caso de las cámaras bitéperas se realiza a partir de las mismas tablas que en el caso de las cámaras de congelados, (**tablas del Anexo B, apartado B.2.2.13**).

Para el funcionamiento de la cámara como almacén de congelados la válvula de expansión termostática es la misma que en el caso de las cámaras solo de congelados, así pues se debe seleccionar únicamente la válvula termostática para el funcionamiento de la cámara como almacén de frescos.

Para seleccionar la válvula se debe entrar en las tablas **del Anexo B, apartado B.2.2.13** con los siguientes datos:

Temperatura de vaporización: $T_{\text{vaporización}} = -10^{\circ}\text{C}$

Diferencia de presiones entre la válvula de expansión: $\Delta P_{4''-5} = P_{4''} - P_5 = 15,6 \text{ bar}$, valores tomados de la **Tabla 8**. Tabla de propiedades termodinámicas del R-404A en el ciclo de frescos, **apartado 5.1.3.2 de la memoria**.

Se entra en la tabla por $\Delta P = 16 \text{ bar}$.

Se debe buscar una capacidad que se aproxime a:

Potencia frigorífica del evaporador: $\dot{Q}_{\text{EVAPORADOR}}^{\text{FRESCOS}} = 71,4 \text{ [kW]}$

Entonces la válvula de expansión termostática con igualador externo seleccionada para las cámaras bitéperas es la siguiente:

MODO DE TRABAJO	CONGELADOS	FRESCOS
FABRICANTE	Danfoss	
TIPO DE VÁLVULA	TE-12	TE-55
Elemento termostático	TES-12	TES-55
Código Danfoss/sin MOP/ Rango N, -40°C a +10°C	067B3346	067G3302
Orificio	TES-12-13.4	TES-55-37.0
Código Danfoss, orificio 04	067B2008	
Código Danfoss, orificio 01		067G2011
Cuerpo	TE-12	TE-55
Código Danfoss, para orificios del 03-04	067B4021	
Código Danfoss, para orificios del 01		067G4003
Capacidad en [kW] de la válvula		
DP= 16 bar, $T_{\text{vaporización}} = -25^{\circ}\text{C}$	36,45	
DP= 16 bar, $T_{\text{vaporización}} = -10^{\circ}\text{C}$		85

Tabla 24. Características de las válvulas de expansión termostáticas de las cámaras bitéperas.

En el **apartado B.2.2.13 del Anexo B**, se muestran las dimensiones y los pesos de la válvula de expansión para las cámaras bitéperas funcionando como almacén de frescos.



6.7 Accesorios del equipo frigorífico

6.7.1 Válvulas complementarias

Válvulas de paso manuales o de bola:

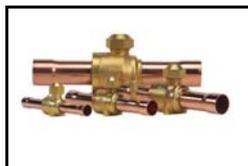


Figura 8. Válvulas de bola Danfoss

Estas válvulas se instalan antes y después de todos los componentes básicos del equipo frigorífico con la finalidad de poder aislar cuando sea conveniente del resto del equipo; ya sea por cuestiones de mantenimiento, reparación, sustitución; el componente que sea necesario.

Estas válvulas se seleccionan a partir del diámetro de la tubería en la que se instalan.

Válvulas de retención o antiretorno:

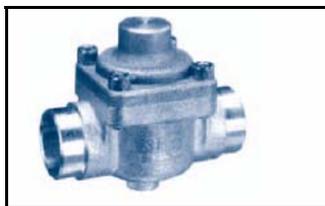


Figura 9. Válvula de retención Castel.

Estas válvulas se instalan en aquellas tuberías donde es importante que el fluido solo circule en un sentido. Se seleccionan a partir del diámetro de la tubería en la que se instalan.

En la instalación descentralizada se requieren:

- Entre la descarga del compresor y el condensador para evitar en caso de parada de los compresores que se condense el gas en la tubería de descarga y éste regrese al compresor provocando un golpe de líquido en el siguiente arranque.
- En la línea de líquido del recipiente hacia el evaporador se ha dispuesto un By-pass entre la entrada de líquido al evaporador y la salida de los gases calientes (ya condensados) hacia el recipiente de líquido. En las dos derivaciones se instala una válvula de retención ya que en una el fluido va en un sentido y en la otra en sentido contrario.

Válvulas de seguridad:





Figura 10. Válvulas de seguridad Danfoss.

Estas válvulas evacuan el exceso de fluido a la atmósfera. Se instalan ya que en un equipo frigorífico se puede dar el caso de sobrepresiones accidentales y peligrosas.

Se requieren dos válvulas de seguridad en paralelo, conectadas a una válvula de cierre de tres vías en los recipientes que contengan gas a presión y tengan una capacidad superior a 280 litros, tal y como se indica en la instrucción MI-IF-009, y se exige en el Reglamento de Seguridad para Plantas e Instalaciones Frigoríficas.

Estas válvulas se seleccionan según la máxima presión de trabajo (21 bar).

Válvulas de regulación industrial:

Válvula solenoide de líquido: Es una válvula que accionada eléctricamente cierra o abre un circuito frigorífico. Consiste en un bobinado de hilo conductor de cobre aislado y un núcleo de hierro que se desplaza hacia el campo magnético del bobinado cuando este está excitado eléctricamente.

En el circuito frigorífico se dispone una a la entrada del evaporador que cierra cuando se paran los compresores y también cuando el evaporador está realizando el desescarche de su batería.

Se seleccionan según el diámetro de la tubería en la que se instalan, la capacidad frigorífica y la temperatura del refrigerante que circula a través de ellas.



Figura 11. Válvulas solenoide Danfoss.



Válvula solenoide de gas o pilotada (1 piloto): Ídem a la válvula solenoide de líquido.

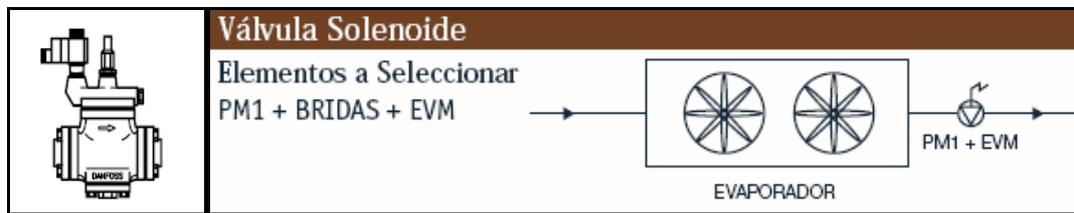


Figura 12. Esquema del catálogo de Totaline para el montaje de una válvula solenoide a partir de una válvula de un piloto.

Válvula de gas caliente o pilotada (3 pilortos): Esta válvula es una válvula pilotada de tres pilotos. Es la suma de una válvula reguladora de presión y una válvula solenoide de gas caliente. Se sitúa a la salida del colector de descarga de los compresores, después de la desviación para el desescarche de los evaporadores.

Si ningún evaporador está realizando el desescarche, la válvula estará completamente abierta. Si algún evaporador inicia el ciclo de desescarche, cierra el piloto que corresponde a la solenoide para que el piloto de regulación de presión actúe. La función de regulación de la válvula consiste en mantener una presión aguas abajo de manera que se distribuye el gas de la descarga de los compresores entre el circuito frigorífico normal, es decir, hacia el condensador; y el circuito para el desescarche, es decir, hacia el evaporador.

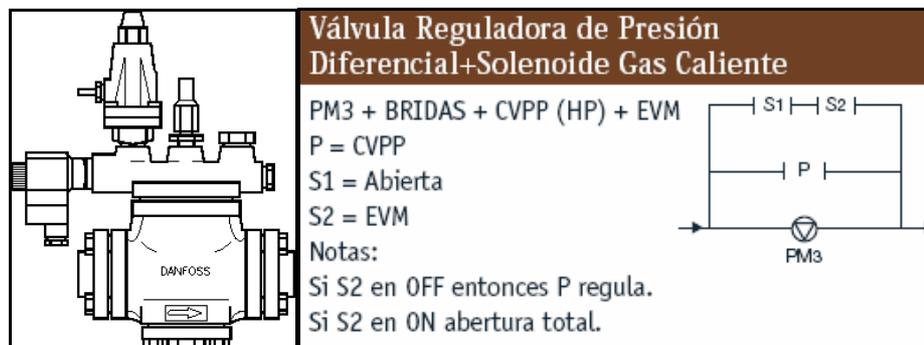


Figura 13. Dibujo de Danfoss de la válvula montada con los pilotos seleccionados para el funcionamiento representado en el esquema del catálogo de Totaline.



6.7.2 Elementos mecánicos

Filtro deshidratador:



Figura 14. Filtro deshidratador Danfoss.

A la práctica en un circuito frigorífico aparece la humedad aunque se haya diseñado a la perfección, sea perfectamente estanco y se haya deshidratado antes de su puesta en marcha.

La humedad es especialmente perjudicial cuando se trata de fluidos clorofluorados, ya que estos no absorben el agua. La presencia de humedad en la instalación provoca las siguientes consecuencias:

Agarrotamiento de la válvula de expansión.

La hidrólisis del fluido refrigerante, que a la vez libera ácidos fluorados y en menor cantidad ácidos clorados. El hierro y el aluminio que son elementos constructivos de los compresores actúan como catalizadores y aceleran esta reacción.

Las sales metálicas y los óxidos resultantes de la reacción se depositan sobre la superficie interna de los tubos del condensador y del evaporador, reduciendo los intercambios térmicos. Estos depósitos también provocan el engomado de las válvulas, el taponamiento de los filtros, el gripaje de los pistones, el desgaste anormal de los cojinetes, etc.

Además, en los compresores herméticos y semi-herméticos se produce el deterioro del bobinado del motor eléctrico con la presencia de la humedad en el circuito.

Para evitar este problema se coloca en la instalación un cartucho cargado con un producto deshidratante destinado a retener la humedad que pueda arrastrar el refrigerante en su recorrido por el circuito frigorífico. Se sitúan en la línea de líquido en sentido vertical.

Normalmente son tamices moleculares de óxido de aluminio que presentan una porosidad uniforme (de 4 Å) que retienen las moléculas de agua mientras que dejan pasar las de refrigerante sin retenerlas.

Se seleccionan según la capacidad frigorífica y la temperatura de evaporación.



Filtros mecánicos:

Figura 15. Filtro Danfoss.

Todos los fluidos frigorígenos son detergentes muy eficaces capaces de disolver en poco tiempo cualquier acumulación de suciedad.

La suciedad puede ser ocasionada por los siguientes factores:

- Cuerpos extraños procedentes de la mecanización o de los trabajos de montaje y mantenimiento.
 - Arena de fundición, óxidos de hierro y cobre, virutas metálicas, polvillo silicoso procedente del deshidratador.
- Acumulaciones de impurezas en el transcurso del funcionamiento de la planta frigorífica.
 - Lodos motivados por la humedad debidos a la descomposición parcial del aceite.
 - Lodos motivados por el aceite debidos al uso de distintos aceites para recargar la instalación.

Los efectos de la suciedad en la instalación sin los filtros adecuados son los siguientes:

- Los óxidos de las sales metálicas y los fangos tienden a obstruir los orificios de pequeña dimensión como pueden ser los orificios de igualación de presión de algunos automatismos, los orificios de las válvulas de expansión y de las válvulas solenoide.
- Las partículas metálicas i el polvo de sílice presentan el riesgo de rallar los cilindros y los pistones de los compresores y deteriorar las válvulas, también la válvula termostática.

Los filtros incorporan un cartucho que puede ser de tela metálica con malla muy espesa , de bronce, de latón o de acero niquelado o inoxidable, cuando se trata de superficies filtrantes grandes.

Se colocan antes de los compresores, de las válvulas de expansión y de las válvulas solenoide de la línea de líquido.



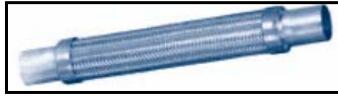
Antivibradores:

Figura 16. Antivibrador flexible Packless.

Son tubos flexibles, construidos con una aleación de cobre, que se utilizan en la aspiración y la descarga del compresor para evitar la transmisión de vibraciones al resto de los equipos de la instalación.

Las dimensiones de cada uno dependen del diámetro de la tubería en la que se instalan.

Sifón:

Figura 17. Sifón de cobre.

Es un arco parecido a una curva de 180 grados. Su principal función es absorber las variaciones de longitud provocadas por las variaciones de temperatura en las tuberías. También evitan las acumulaciones de bolsas de gas, de líquido o de aceite.

Las dimensiones de cada uno dependen del diámetro de la tubería en la que se instalan.

Visor de líquido:

Figura 18. Visor de líquido y detector de humedad Totaline.

Es una conexión corta y transparente que permite ver el fluido refrigerante. Se sitúa antes de la válvula de expansión y muestra la presencia o ausencia de burbujas de vapor en la línea de líquido o en la línea de retorno de aceite para verificar el buen funcionamiento del retorno de aceite de un separador. También pueden llevar un disco de sal higroscópica que cambia de color cuando detecta humedad en el sistema.

También se utilizan en los recipientes de líquido para indicar el nivel de líquido en éstos.

Las dimensiones de cada uno dependen del diámetro de la tubería en la que se instalan.



Manómetros:

Instrumentos para medir la presión del fluido. Se utilizan en ambos lados del compresor, para medir la presión de alta y la de baja. También se instalan en el circuito de aceite.



Figura 19. Manómetro Wigam.

6.7.3 Recipientes

Separador de aspiración: Su finalidad es evitar el arrastre de líquido hacia los compresores desde los evaporadores y evitar los golpes de líquido cuyos efectos sobre el compresor pueden ir desde la deformación permanente de las válvulas de descarga, que pierden su cierre estanco, a la ruptura de las mismas, hasta afectar al conjunto biela-pistón.

Es un depósito donde se acumulan y decantan pequeñas gotas de líquido gracias a la reducción de velocidad que provoca el aumento de sección al pasar de la tubería de líquido al recipiente. El líquido se vaporiza con el calor procedente del ambiente exterior.

Se sitúa en la aspiración conjunta de los compresores, lo más cerca posible y en un nivel superior.



Figura 20. Sección de un separador de aspiración.



Separador de aceite:

En una instalación frigorífica se utiliza la sobreabundancia de aceite porque no se puede medir la cantidad exacta de aceite necesaria para el buen funcionamiento de los compresores. Esto provoca la migración del aceite por la instalación a través de la tubería de descarga del compresor.

Sobretudo en el caso de los clorofluorados que son miscibles con el aceite, éste es arrastrado por los gases comprimidos en forma de gotas extremadamente tenues.

Para eliminar los problemas que puede ocasionar la circulación de aceite en el circuito frigorífico, se instala un separador de aceite en la línea de descarga del compresor que devuelve el aceite al cárter. Con ello se consigue:

- Mantener un nivel de aceite conveniente dentro del cárter del compresor a fin de asegurar la lubricación de los elementos móviles de éste.
- Para suprimir la acumulación imprevista de aceite en determinados lugares de la instalación.
- Para mantener lo más baja posible la concentración de aceite en el fluido frigorígeno que provoca la aparición de películas de aceite sobre las paredes del evaporador o del condensador reduciendo el coeficiente de transmisión térmica.

Los separadores de aceite están formados generalmente por recipientes de chapa de acero cuya sección obliga a que la velocidad del gas no pase de 0,5 m/s y en cuyo interior los tabiques y los anillos metálicos (viruta metálica) provocan numerosos choques y cambios de dirección del fluido separando el aceite del refrigerante.

En la instalación descentralizada se lleva el aceite separado a un **depósito acumulador** y éste vuelve al compresor por diferencia de presión entre la descarga y el cárter. El nivel de aceite en el cárter se mantiene mediante un regulador mecánico tipo flotador situado antes del cárter de cada uno de los compresores que conforman la central frigorífica.

El refrigerante que queda de la separación del aceite es devuelto a la aspiración de los compresores.

Ver sistema de aceite en **el apartado B.2.3 del anexo B.**



6.7.4 Aparatos de regulación y seguridad

La regulación y protección del funcionamiento de una instalación frigorífica se basa en mantener, más o menos, constantes los siguientes parámetros:

- Temperatura del recinto
- Presión de aspiración, de descarga y de aceite.

Los reguladores de los parámetros anteriores son los siguientes:

- **Termostatos:** reguladores de temperatura.
- **Presostatos:** reguladores de presión

Estos reguladores suelen ser interruptores eléctricos o automáticos. Su objetivo es el de poner en marcha o parar la instalación que regulan o protegen, o bien parte de ésta.

Termostatos:



Figura 21. Termostatos Danfoss.

El termostato es un aparato que regula la temperatura de una superficie fría o ambiente frío, entre dos límites prefijados, muy próximos a la temperatura real que se desea obtener.

Un termostato consta de las siguientes partes:

- Un órgano de detección: **el termómetro.**
- Un órgano de accionamiento: **interruptor eléctrico.**
- Un dispositivo de enlace mecánico que une los dos anteriores.

Se disponen dos tipos de termostato:

En el **termostato bimetalico**, el detector es un bimetálico que está directamente en contacto con el aire de la cámara, Las variaciones de temperatura provocan la deformación de éste y la respuesta se transmite al interruptor.

La lectura del termostato cada determinado período de tiempo permite realizar el paro y la marcha de los compresores y su regulación de capacidad.



En el **termostato de bulbo**, el detector es un bulbo que está sumergido en el medio a regular. Este bulbo está sujeto a un muelle. Entonces la variación de temperatura del bulbo provoca una variación de la tensión del fluido con el que esta cargado, y esta variación provoca la correspondiente deformación en el muelle.

Se pueden utilizar para el inicio y fin de desescarche y para el arranque posterior de los ventiladores de los evaporadores. El bulbo se sitúa en los codos de los tubos de los evaporadores.

Presostatos:



Figura 22. Presostatos Danfoss.

El presostato es un aparato que regula y mide la presión. Actúa mediante un diafragma que está conectado por un lado a un interruptor eléctrico y por otro a la presión del refrigerante.

Los presostatos realizan dos funciones diferentes:

- Regulación del paro o marcha del sistema: **presostatos de baja presión.**
- Protección de algún equipo del sistema: **presostato de baja presión, presostato de alta presión, presostato diferencial.**

Existe el **presostato de alta y baja** que combina ambas funciones.

La lista de los modelos de los accesorios de las cámaras de congelados se encuentra en el **apartado B.2.1.13 del Anexo B** y la de las cámaras bitéperas se encuentra en el **apartado B.2.2.14 del Anexo B.**



6.8 Control de la instalación

6.8.1 Cuadros eléctricos

Como se ha comentado anteriormente, PECOMARK, el suministrador de las centrales frigoríficas también suministra los cuadros eléctricos de potencia y maniobra, para la gestión y control de las centrales frigoríficas, así como los servicios que de ellas dependen, evaporadores y condensadores.

Elementos que deben proteger y controlar los cuadros:

Central:

- 4 Compresores semi-herméticos Bitzer mod. 6F-40.2Y, III 380V.
 - Arranque Part-Winding.
 - Sistema de arranque descargado (By-pass).
 - Resistencias de carter y ventilador de culata.
 - Presostato de Alta/Baja y presostato diferencial de aceite.
 - Reducción de capacidad (100-66-33%)
 - Presostato General de Alta.
 - Nivostato de nivel mínimo en recipiente de líquido.

Condensador Congelados:

- 1 Condensador ECO, modelo ACE 86E4-DV
 - 6 Ventiladores, III 380V, doble velocidad, 1.050W por ventilador conectado en triángulo.
 - Presostato de Alta.

Condensador Bitémperas:

- 1 Condensador ECO, modelo ACE 812E3-DV
 - 12 Ventiladores, III 380V, doble velocidad, 1.050W por ventilador conectado en triángulo.
 - Presostato de Alta.

Servicios Congelados y Bitémperas:

- 4 Evaporadores ECO, modelo ICE 53D10.
 - 3 Ventiladores, III 380V, doble velocidad, 1000W por ventilador conectado en triangulo.
 - Solenoide de liquido.
 - Desescarche por gas caliente.



6.8.2 Controlador electrónico para compresores y condensador

El controlador utilizado se basa en tecnología PLC. El PLC se encarga de recoger todas las señales de los iniciadores y una vez realizados los algoritmos correspondientes envía las señales pertinentes que permiten actuar sobre los mecanismos de funcionamiento y seguridad.

Las señales a considerar y sus correspondientes respuestas, se resumen en las tablas siguientes:

Entradas:

Tag.	Servicio	Elemento / Situación	Función
	Temperatura de la cámara		Control flotante. Congelados se mantiene entre -18°C y -22°C. Frescos se mantiene entre -0.5 y +0.5°C Se actúa sobre los compresores, Marcha / 66% / 33% / Paro.
	Presión mínima antes Condensador	Presostato de alta	Actúa sobre los ventiladores del condensador, 12 ventiladores en las bitempera y 6 en las de congelados. Para asegurar una alimentación correcta de la válvula de expansión, asegurar que solo le llegue liquido. Marcha / 50% / Paro.
	Alto Nivel Liquido en Recipiente	Nivostato en deposito	Paro Compresores. Cierre válvulas solenoides de líquido.
	Bajo Nivel Liquido en Recipiente	Nivostato en deposito	Paro Compresores. Necesario Rearme Manual para arranque.
	Baja Presión Diferencial Aceite Compresor 1, 2, 3 y 4	Presostato diferencial entre descarga compresor y carter aceite	Paro Compresor
	Alta presión Descarga Compresor 1, 2 3 y 4.	Presostato Alta / Baja	Paro compresor
	Baja presión Aspiración Compresor 1, 2, 3 y 4.	Presostato Alta / Baja	Paro compresor.



Tag.	Servicio	Elemento / Situación	Función
	Sonda Temperatura Culata Compresor 1, 2, 3 y 4		Paro / marcha Ventilador de culata del compresor.
	Sonda Temperatura Codos Evaporador (32 sondas)	Termostato (2 puntos de ajuste)	-Fin Desescarche: Cuando la temperatura supera los 15°C, actúa para finalizar el Desescarche (ver apartado 6.3.4 de la Memoria). - Arranque Ventiladores Evaporador: Cuando la temperatura es inferior a 0°C, permite el funcionamiento de los ventiladores del evaporador, evitando la proyección de agua a la cámara.

Salidas:

Tag.	Servicio	Función
SLC1, 2, 3 y 4	Válvula solenoide Líquido Congelados	Cierra con paro de todos los compresores. Cierra durante desescarche del evaporador al cual alimenta de líquido.
SLF1, 2, 3 y 4	Válvula solenoide Líquido Frescos	Cierra con paro de todos los compresores. Cierra durante desescarche del evaporador al cual alimenta de líquido.
SC1, 2, 3 y 4.	Válvula solenoide Arranque Descargado	Funcionamiento en vacío durante el proceso de arranque.
RC1, 2, 3 y 4.	Resistencia cárter aceite	Alimentación RC antes del proceso de arranque. Tiempo programado.
SGA1, 2, 3 y 4.	Válvula Solenoide Gas en aspiración.	Cierra salida de gas al compresor durante el proceso de desescarche de su evaporador.
SGC1, 2, 3 y 4.	Solenoide de Gas Caliente Individual	Abre el paso de gas caliente hacia su evaporador durante el proceso de desescarche.
SGC	Solenoide Gas Caliente	Abre la desviación de gas caliente a la descarga de los compresores hacia los evaporadores, durante el proceso de desescarche de cualquiera de ellos.
PM3	Válvula Pilotada Gas Caliente	Durante el desescarche cierra el piloto de la solenoide para que actúe el piloto regulador de presión.



7 Selección de material para la instalación centralizada de R-717 (Amoníaco)

7.1 Introducción

La instalación que se presenta a continuación se basa en un equipo frigorífico situado en una sala de máquinas que abastecerá a las ocho cámaras frigoríficas.

7.1.1 Sala de máquinas

La sala de máquinas se considera de seguridad elevada y cumple lo establecido en la instrucción MI-IF-007.

Dispone de dos puertas debidamente ajustadas para evitar el paso de escapes de refrigerante. La puerta que comunica al pasillo que separa cuatro cámaras de las otras cuatro, debe tener una resistencia mecánica como mínimo equivalente a la exigida para los muros incombustibles y debe abrir al exterior de la sala con un dispositivo que impida que queden abiertas por si solas (ver croquis en **el apartado A.1.1 del anexo A**). La otra puerta que comunica con el exterior debe tener unas dimensiones mínimas de 1 m. de ancho por dos metros de alto, marcos incombustibles y deben abrir hacia fuera sin posibilidad de impedimentos.

La ventilación de la sala se realiza a partir de ventiladores extractores cuya capacidad total debe ser capaz de evacuar un caudal de 16.000 m³/h.

Los motores y transmisiones están debidamente protegidos.

La maquinaria frigorífica y los elementos complementarios estarán dispuestos de forma que todas sus partes sean fácilmente accesibles e inspeccionables y en particular, las uniones mecánicas son observables en todo momento.

Entre los distintos elementos de la sala existirá el espacio libre mínimo recomendado por el fabricante para poder efectuar las operaciones de mantenimiento.

Estará dotada de iluminación artificial adecuada.

Carecerá de aparatos productores de llama, instalados con carácter permanente.



La estructura de la sala tendrá una resistencia de, al menos, tres horas frente al fuego tipo, respondiendo sus materiales y espesores a las características que se especifican en la instrucción.

La temperatura de combustión del acabado interior de las paredes, techo y suelo será superior a 800°C.

El espesor de las paredes de hormigón armado será de 25 cm. Respetando una distancia mínima de 6 m. entre el muro y los aparatos a presión según lo indicado en el capítulo III del Reglamento de Recipientes a Presión , aprobado por Decreto 2443/1969, de 16 de agosto.

Todos los conductos y tuberías que atraviesan las paredes, techo y suelo deben hacerlo sin dejar huecos libres que permitan el paso del gas refrigerante.

Las aberturas exteriores no están próximas a ningún posible escape de gas o fuego, ni a ninguna escalera.

Estará dotada de control remoto desde el exterior, para poder parar en todo momento el funcionamiento de los compresores y poner en marcha el sistema de ventilación mecánica, estando dichos controles cerca de los accesos a la sala.

En la sala de máquinas se expondrá una placa metálica con el nombre del instalador, la presión máxima de servicio, la carga máxima de refrigerante para la que se ha proyectado y construido, y el año de construcción; tal y como se indica en la instrucción MI-IF-016.

Se disponen cuatro mascarillas antigás y dos equipos autónomos de aire comprimido con los correspondientes trajes de protección, tal y como se indica en la instrucción MI-IF-016, para instalaciones con cargas de amoníaco superiores a 500 kg. Estos equipos estarán situados fuera de la sala de máquinas, cerca del acceso y preparados para su utilización.

También en la sala de máquinas, antes de la puesta en marcha del equipo, el Instalador Frigorista Autorizado debe suministrar un manual con las instrucciones para el correcto servicio y actuación en caso de averías que se situará en un lugar visible; tal y como se indica en la instrucción MI-IF-013.



7.2 Compresores

Los compresores que se utilizan en esta instalación son de tornillo. Este tipo de compresores de desplazamiento positivo se utilizan para obtener elevadas potencias frigoríficas.

No disponen de válvulas de aspiración ni de descarga y la compresión del refrigerante en estado vapor se obtiene en el espacio resultante entre los engranajes helicoidales de igual diámetro exterior, montados dentro de un cárter de fundición de alta resistencia.

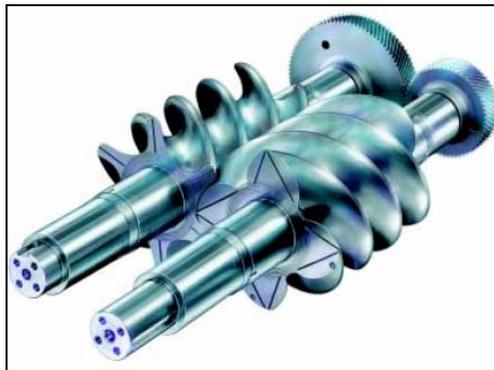


Figura 23. Detalle de los engranajes helicoidales de un compresor de tornillo.

El compresor de tornillo, compuesto de dos engranajes helicoidales, uno macho, de perfil semicircular, con cuatro lóbulos y el otro hembra, con seis huecos de igual perfil, realiza la compresión del refrigerante en estado vapor por la reducción volumétrica que se consigue en el espacio cerrado entre el cárter y los huecos entre engranajes. En esta compresión el fluido es arrastrado tanto radial como axialmente.

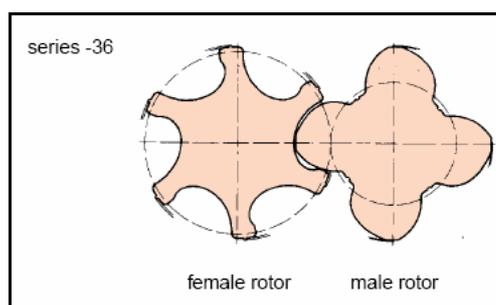


Figura 24. Detalle de los lóbulos de un compresor de tornillo.

Este tipo de compresores deben ir provistos de separadores de aceite muy eficaces, ya que el enfriamiento de la máquina se realiza por inyección de aceite en las diversas partes de la misma, la regulación de capacidad y también el sellado de los rotores.



Ventajas del compresor de tornillo

- Mantiene su eficiencia durante su período de vida útil, ya que no posee prácticamente roces mecánicos, lo que implica menor frecuencia de mantenimiento.
- Bajo coste de mantenimiento, ya que bajo condiciones normales de funcionamiento sus desgastes se limitan a los cojinetes de trabajo radial y axial, siendo los únicos elementos a cambiar.
- Disponen de una regulación de capacidad continua y del 100% hasta el 10% de su capacidad. Se realiza mediante un by-pass con corredera que modifica el largo del tornillo y así el volumen desplazado.
- Mejor rendimiento isentrópico que los compresores alternativos, debido a la estanqueidad y el enfriamiento que se consigue con la sobreabundancia de aceite para el enfriamiento de sus partes móviles.
- Soporta bien los arrastres de líquido.

Inconvenientes del compresor de tornillo

- Elevado coste económico.
- Sobreabundancia de aceite.
- Necesidad de separador de aceite y enfriador de aceite.
- Disminuye considerablemente su eficiencia energética a cargas parciales menores al 50%.

7.2.1 Selección de los compresores

La selección de los compresores se realiza a partir del programa de selección facilitado por el fabricante. Los compresores son de la marca AERZENER, antigua SABROE.

Para realizar la selección en esta instalación se plantean dos casos de máxima demanda:

- La máxima demanda de frío para la conservación de frescos. Se produce cuando cuatro de las ocho cámaras, aquellas que son bitéperas, funcionan todas como almacén de producto fresco. Las presiones de trabajo se corresponden al **ciclo condicionado**, así como en cualquier otra situación en la que al menos una de las cámaras bitéperas funcione como almacén de frescos.

$$\dot{Q}_{R-717.DEMANDA.FRESCOS}^{MAXIMA} = 2140 [kW]; \quad \dot{Q}_{R-717.DEMANDA.CONGELADOS} = 530 [kW]$$

- La máxima demanda de potencia para la conservación de los congelados. Se produce cuando las ocho cámaras funcionan todas como almacén de producto congelado. Las presiones de trabajo se corresponden al **ciclo de máxima**



eficiencia, así como en cualquier otra situación en la que no exista demanda de potencia para la conservación de frescos.

$$\dot{Q}_{R-717.DEMANDA.CONGELADOS}^{MAXIMA} = 1.060 [kW]; \quad \dot{Q}_{R-717.DEMANDA}^{FRESCOS} = 0 [kW]$$

El procedimiento que se ha empleado para realizar la selección es el siguiente:

Primero se empieza por los compresores de la etapa de baja que son aquellos que deben comprimir el vapor del amoníaco que proviene de los evaporadores de las cámaras de congelados, hasta la presión intermedia que depende del ciclo en el que se trabaja.

Como medida de seguridad como mínimo se debe disponer de dos unidades de compresión para la etapa de baja. De esta manera en caso de avería en una de las máquinas se puede abastecer la demanda de frío haciendo que la otra máquina funcione el doble de horas durante el tiempo que se tarde en reparar o sustituir el compresor averiado.

Además la demanda de frío para los congelados en la situación de máxima demanda para la conservación de frescos, corresponde a la mitad de la potencia máxima para los congelados. Seleccionando dos compresores para la etapa de baja significa que en esta situación se emplea un único compresor a plena carga para realizar la compresión del vapor refrigerante de la baja presión a la presión intermedia.

Según lo planteado, cada compresor de la etapa de baja debe realizar la mitad del trabajo y debe bombear la mitad del caudal másico calculado en balance energético. Ver **el anexo A, apartado A.3.2.1. Cálculos previos para la selección del compresor.**

$$\dot{Q}_{COMPRESOR}^{CONGELADOS_{BAJA}} = 530 [kW]$$

$$\frac{\dot{m}_{R-717}^{BAJA_{MAXIMO}}}{COMPRESOR} = 0,39 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Se introducen en el programa de AERZENER los rangos de trabajo correspondientes al ciclo condicionado, la potencia y el caudal másico necesarios. No se han introducido los datos correspondientes al ciclo de máxima eficiencia, porque se sobredimensionaría el compresor. El motivo principal es que la relación de compresión de la etapa de baja en el ciclo de máxima eficiencia es ligeramente superior que en el ciclo condicionado.

Además, la selección se realiza para la situación ambiental más desfavorable y ésta solo se produce durante pocos días del año, en los cuales si es necesario, se puede hacer funcionar



durante más tiempo el compresor para adaptar la potencia necesaria a la potencia máxima del compresor en las condiciones mencionadas.

A continuación se muestra un resumen de la *hoja de resultados para la selección del compresor de la etapa de baja según las presiones de trabajo del ciclo condicionado* que se encuentra en **el anexo B, apartado B.3.4.1.**

DATOS DE ENTRADA SELECCIÓN COMPRESOR DE BAJA	
Refrigerante	R717
Temperatura de evaporación	-30,00 °C
Recalentamiento tuberías aspiración	5,000 K
Pérdida de presión en tuberías aspiración	0,0460 bar
Temperatura condensación	-10,00 °C
Subenfriamiento en condensador	0,0 K
Pérdida de presión en tuberías descarga	0,1690 bar
Potencia frigorífica necesaria	530,0 kW
Caudal másico necesario	0,3905 kg/s

Tabla 25. Tabla resumen de los datos introducidos en el programa de selección AERZENER.

DATOS DE SALIDA SELECCIÓN COMPRESOR DE BAJA			
Modelo de compresor del compresor	VMY336M		
Capacidad del compresor	100%	87%	min
Potencia frigorífica (kW)	569	495	114
Caudal másico (kg/s)	0,4484	0,3905	0,897
Potencia consumida (kW)	94,6	86	36,3

Tabla 26. Datos de salida del programa de selección AERZENER.

Finalmente, el compresor de tornillo AERZENER elegido corresponde al modelo: **VMY336M**

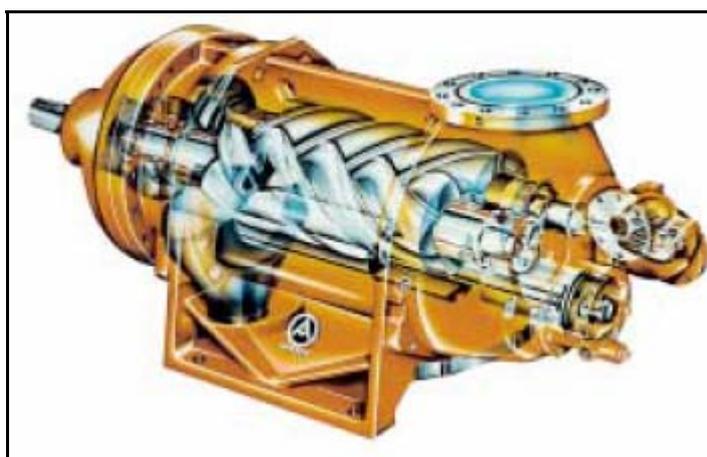


Figura 25. Compresor de tornillo AERZEN para refrigeración de la serie VMY.



Se observa en la **tabla 26**, que la potencia frigorífica y el caudal másico obtenidos en la tabla de los datos de salida, para el 100% de la capacidad del compresor, son aproximadamente los que se necesitan.

Las características técnicas del compresor se encuentran en el **anexo B, apartado B.3.9**; y el estudio de su comportamiento bajo los distintos modos de trabajo de la instalación centralizada se encuentra en el **anexo B, apartado B.3.4**.

Para facilitar el hecho de disponer de compresores de repuesto en caso de avería, y en la medida de lo posible, se procura que los compresores de la etapa de alta y los compresores de la etapa de baja sean iguales. Así que se procede a calcular bajo las condiciones de trabajo de la etapa de alta, y que corresponden al ciclo condicionado, el rendimiento del compresor seleccionado para la etapa de baja.

El resultado es el siguiente:

DATOS DE ENTRADA SELECCIÓN COMPRESOR DE ALTA	
Refrigerante	R717
Temperatura de evaporación	-10,00 °C
Recalentamiento tuberías aspiración	5,000 K
Pérdida de presión en tuberías aspiración	0,0590 bar
Temperatura condensación	35,00 °C
Subenfriamiento en condensador	2,0 K
Pérdida de presión en tuberías descarga	0,3920 bar
Modelo de compresor	VMY336M

Tabla 27. Tabla resumen de los datos de entrada para el programa de selección AERZENER.

DATOS DE SALIDA SELECCIÓN COMPRESOR DE ALTA		
Capacidad del compresor	100%	min
Potencia frigorífica (kW)	1161	232
Caudal másico (kg/s)	1,059	0,212
Potencia consumida (kW)	322	150

Tabla 28. Tabla resumen de los datos de salida del programa de selección AERZENER.

Como se puede observar, el compresor cubre las necesidades de frío para la máxima demanda de frescos si se dispone de dos unidades del mismo para la etapa de alta.

Los datos de entrada para la comprobación y el resultado de la selección se encuentran en la hoja de resultados para la selección del compresor de la etapa de alta según las presiones de trabajo del ciclo condicionado en el **anexo B, apartado B.3.4.2**.

Consecuentemente, se ha dispuesto para la instalación centralizada cuatro compresores de tornillo AERZENER modelo: VMY336M, dos unidades para realizar la etapa de baja y dos unidades para la etapa de alta.



7.2.2 Características principales del compresor AERZENER modelo: VMY336M

CICLO DE TRABAJO	CONDICIONADO		MAXIMA EFICIENCIA	
	ETAPA DE BAJA	ETAPA DE ALTA	ETAPA DE BAJA	ETAPA DE ALTA
MODO DE TRABAJO				
FABRICANTE	AERZENER			
MODELO	VMY336M			
Nº Compresores	2	2	2	2
Potencia frigorífica[kW]/ Compresor	569	1161	549	1595
Potencia absorbida[kW]/ Compresor	94,6	322	120,8	336
Caudal másico[kg/s]/ Compresor	0,4484	1,059	0,4458	1,442

Tabla 29. Características de los compresores AERZENER modelo: VMY336M a plena carga.

Los compresores AERZEN de la serie VMY se caracterizan principalmente por la inyección de aceite y el control infinito de su capacidad.

Inyección de aceite:

La inyección de aceite lubrica y enfría el compresor. También garantiza una elevada estanqueidad de la cámara de compresión y consecuentemente un elevado rendimiento volumétrico.

El aporte de aceite en el arranque se asegura realizándose a partir de una bomba mecánica gobernada por el rotor hembra. En el apartado B.3.10 del anexo B se aprecian todas las partes del compresor incluida la bomba de aceite.

Control de capacidad de los compresores de tornillo AERZENER:

Todos los compresores de la gama VMY, como máquinas de producción estándar, están equipados con una válvula corredera de control de capacidad, (en inglés "capacity slide valve").

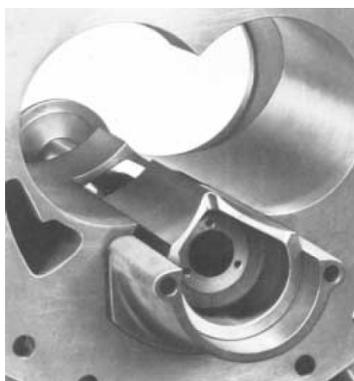


Figura 26. Válvula corredera en la carcasa del compresor de tornillo.



En el apartado **B.3.8 del anexo B**, se puede apreciar en detalle el funcionamiento del este mecanismo de control de volumen interno.

Ésta válvula permite la variación de la capacidad del 100% hasta el 10 % de forma continua regulando el caudal aspirado por el compresor y con ello su capacidad frigorífica.

La longitud efectiva de los rotores se acorta mediante el funcionamiento de la corredera cuya forma encaja con los contornos de la carcasa (véase **figura 26**). Esta válvula corredera está diseñada para moverse en dirección paralela a los rotores.

Accionada por un pistón hidráulico actuado por el aceite inyectado, la válvula corredera, “capacity slide valve”, se desplaza hacia el lado de la descarga, destapando una abertura a través de la cual un volumen de gas refrigerante proporcional al orificio fluye de nuevo sin ser comprimido hacia la entrada. Este tipo de control ofrece una utilización más eficiente de la potencia absorbida.

Además del control de capacidad los compresores disponen de un mecanismo automático de variación de la relación volumétrica integrada (V_i). A partir de una pieza desplazable, la “ V_i slide valve”, se cambia la relación de compresión en función de las presiones de aspiración y descarga. El objetivo es lograr una compresión más eficaz cuando varían las presiones de trabajo, lo cual se traduce en un mayor rendimiento frigorífico y un menor consumo eléctrico.

La regulación de capacidad de los compresores en paralelo (dos compresores para la etapa de baja y dos para la etapa de alta), se debe realizar de la siguiente forma:

- Del 0% - 50% del total de la carga solo funciona uno de los dos compresores hasta que llega al 100% de su capacidad.
- A partir del 50% de la carga ambos compresores se reparten la carga a partes iguales.

De esta forma se consigue un buen rendimiento, ya que ningún compresor funciona por debajo del 50% de su capacidad si no es del todo necesario; y los cojinetes que soportan los tornillos de los compresores no sufren innecesariamente. Este control se realiza a partir del algoritmo introducido en el autómata de tecnología PLC.



7.2.3 Componentes de la unidad compresora de tornillo AERZENER

Los compresores de tornillo forman parte de un equipo como el que se puede apreciar en la **figura 27**.

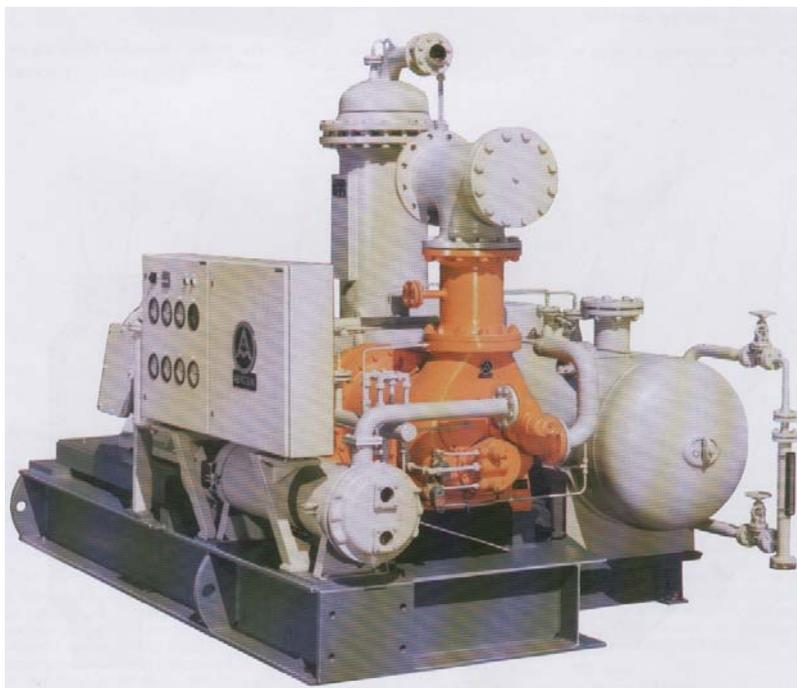


Figura 27. Unidad compresora de tornillo AERZEN.

En **el apartado B.3.10 del anexo B** se encuentra un esquema detallado de una unidad compresora de tornillo. Los componentes de la unidad se describen a continuación.

Separador de aceite horizontal:

Consta de dos partes, la primera se usa para el almacenaje del aceite (parte inferior) y para la primera fase de separación de aceite (parte superior) con demister (filtro para no colapsar los filtros coalescentes) y chapas de choque. El aceite separado en esta fase se bombea hacia el compresor y una válvula termostática de tres vías se encarga de mantener la temperatura alrededor de los 50 °C.

La segunda parte sirve para la separación final del aceite mediante filtros coalescentes. Desde este punto el aceite se lleva directamente al cárter del compresor. En la línea de aspiración hacia el cárter se dispone una solenoide con filtro, un visor, una válvula de regulación manual de tipo aguja y las correspondientes válvulas de cierre.

El separador dispone de un sistema de retorno automático de aceite, así como de resistencias de calentamiento, visores de nivel y nivel de aceite de seguridad.



Enfriamiento del aceite por termosifón:

El aceite de los compresores de tornillo se enfría por alguno de los tres métodos siguientes:

- Inyección directa de líquido refrigerante en el compresor para enfriar el gas de descarga.
- Enfriamiento externo mediante un intercambiador de calor empleando agua o salmuera
- Enfriamiento externo usando el refrigerante, por expansión seca o por termosifón.

El método que se utiliza en la instalación es el enfriamiento del aceite por termosifón, ya que resulta el método más barato. En el apartado **B.3.11 del anexo B** se encuentra un esquema del enfriamiento de aceite por termosifón.

Se trata de emplear refrigerante del recipiente de amoníaco líquido de alta presión, es decir, a las condiciones de salida del condensador, y hacerlo pasar por un **intercambiador de haz tubular inundado** para enfriar el aceite.

Solenoides de alimentación de líquido al intercambiador o enfriador (HCK-2):

Esta válvula se encarga de cerrar cuando se para la unidad compresora con el fin de no enfriar demasiado el aceite y dificultar la nueva puesta en servicio por aceite muy frío, (normalmente la temperatura de aceite mínima es de 35°C antes del arranque).

Al arrancar el compresor, el aceite del enfriado se mezcla con el absorbido por la bomba del separador: la temperatura de la mezcla es generalmente superior a la mínima de arranque. Además luego el aceite pasa por una válvula termostática que garantiza la temperatura de entrada al compresor adecuada. Consecuentemente en esta unidad compresora esta válvula no es necesaria.

Válvula termostática de control de temperatura del aceite:

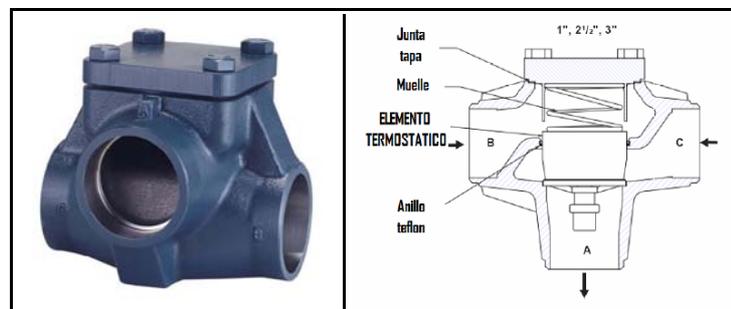


Figura 28. Válvula termostática de control de temperatura de aceite Hansen.



Esta válvula (termostática, motorizada, etc.) es necesaria para mantener la temperatura de entrada de aceite en el compresor dentro de los límites marcados por el fabricante del compresor.

El elemento termostático interno modula las entradas de aceite caliente (del compresor) y frío (del enfriador de aceite) manteniendo una temperatura de salida hacia el compresor constante con una variación de $\pm 5/6$ °C.

En el caso de AERZEN la temperatura del aceite para la gama VMY estaría entre 40 y 60 °C, por lo tanto la temperatura nominal para la selección de la válvula sería de 50 °C.

Filtros:

- Filtro de aceite de acero inoxidable.
- Filtro aspiración.

Motor eléctrico acoplado directamente al compresor:

Los motores eléctricos acoplados a los compresores son asíncronos, trifásicos, con rotor en cortocircuito, velocidad de giro de 2.950 r.p.m., tensión 400 V, 50 Hz., con protección IP45 y de servicio continuo.

Los compresores de alta requieren, cada uno, un motor de 540 C.V. y los compresores de baja requieren, cada uno, un motor de 180 C.V.

Al ser un equipo con compresor y motor abiertos el consumo de energía con respecto a los compresores semi-herméticos se reduce en, aproximadamente, un 5%.

Igualmente, al no estar el motor en contacto con el refrigerante como ocurre en los semi-herméticos, no existe la posibilidad de contaminación del circuito frigorífico con todos los problemas que ello conlleva, ni es necesario enviar el motocompresor a fábrica para su reparación. En caso de avería del motor abierto puede incluso ser rebobinado en el lugar de trabajo del mismo.



7.3 Evaporadores

7.3.1 Introducción

Los evaporadores que se utilizan en esta instalación son del tipo inundado. Estos evaporadores son sobrealimentados con considerable exceso de líquido y sólo parte de éste se vaporiza. El exceso de líquido es separado del vapor en los grupos separadores de aspiración por bombeo y es recirculado de nuevo hacia los evaporadores, mientras que el vapor es extraído por la aspiración de los compresores.

Al tratarse de un sistema de doble salto, se dispone de dos separadores de aspiración: el separador intermedio impulsa el líquido mediante las bombas de recirculación a los evaporadores de las cámaras bitéperas que funcionen como almacén de frescos y el separador de baja a los evaporadores de las cámaras de congelados. Los separadores de aspiración se definen con detalle más adelante.

Este tipo de evaporador es alimentado con una cantidad de líquido superior a la que puede vaporizar. La parte de líquido refrigerante que se vaporiza es la necesaria para satisfacer la carga térmica a eliminar. La otra parte de líquido refrigerante se emplea para mantener la superficie interior de los tubos húmeda, así se incrementa la transferencia de calor interno y al mismo tiempo también sirve para eliminar el aceite.

En un sistema de sobrealimentación de amoníaco líquido como el planteado en esta instalación, se emplea una tasa de circulación de 4.

Se conoce como número de circulaciones o **tasa de circulación** la relación másica entre el líquido bombeado y la cantidad de líquido evaporado. La cantidad de líquido evaporado se basa en el calor latente del refrigerante a la temperatura del evaporador.

La **tasa de sobrealimentación** hace referencia a la relación entre el líquido y el vapor que retornan al separador intermedio o al de baja presión.

Si el vapor abandona un evaporador en condiciones de vapor saturado sin líquido en exceso, la tasa de circulación es 1 y la tasa de sobrealimentación es 0. En el caso planteado con una tasa de circulación de 4, la tasa de sobrealimentación a plena carga es 3 y a carga nula es 4. En todo caso, a plena carga, la composición en peso de refrigerante en los separadores estará compuesta por tres partes de líquido y una de vapor.

Por lo general el dispositivo de control de caudal de líquido a los evaporadores sobrealimentados es una válvula de expansión manual ajustada en la puesta en marcha



para limitar el caudal de líquido a la aspiración de los evaporadores cuando se tengan las cargas más elevadas. Para mantener la temperatura deseada en la cámara una válvula solenoide se encarga de abrir y cerrar la entrada de líquido refrigerante al evaporador.

Ventajas de los evaporadores inundados

- La superficie de intercambio térmico se aprovecha mejor, ya que el evaporador es alimentado por líquido saturado y no por una fracción de líquido/vapor. El incremento de entalpía del refrigerante entre la entrada y la salida del evaporador es mayor.
- La eficiencia energética del ciclo (el COP) aumenta, y la temperatura de descarga de los compresores es menor, ya que a la salida del evaporador se obtiene vapor saturado y no sobrecalentado.

Inconvenientes de los evaporadores inundados

- Se requiere una mayor carga de refrigerante.
- Mayor coste inicial que los de expansión seca.

7.3.2 Selección de los evaporadores

La selección de los evaporadores, en este caso, se realiza a partir de los datos proporcionados por el fabricante TEFRINCA en los catálogos técnicos.

La selección a partir de un catálogo requiere la realización de cálculos que serían los equivalentes a los que puede realizar un software de selección. Son cálculos para adaptar la potencia que se necesita en la instalación a las condiciones de trabajo que se representan en el catálogo. Son los cálculos indicados por el fabricante en el catálogo para la selección de los evaporadores.

Estos cálculos se encuentran en **el apartado B.3.13 del anexo B.**

En la instalación centralizada se disponen tres evaporadores por cámara. Cada uno de los evaporadores debe tener la siguiente potencia frigorífica según su modo de trabajo:

Potencia de los evaporadores cuando la cámara funciona como almacén de congelados:

$$\dot{Q}_{\text{EVAPORADOR}}^{\text{CONGELADOS}}_{\text{SOBREALIMENTADO}} = 44,17 \text{ [kW]}$$

Potencia de los evaporadores cuando la cámara funciona como almacén de frescos:

$$\dot{Q}_{\text{EVAPORADOR}}^{\text{BITEMPERA.FRESCOS}}_{\text{SOBREALIMENTADO}} = 89,1 \text{ [kW]}$$



Los parámetros requeridos para la selección de los evaporadores son los siguientes:

- Refrigerante: R717 (Circulación por bomba).
- Separación entre láminas: 8 mm.
- Tipo de desescarche: Gas caliente.
- Número de ventiladores: Entre tres y cuatro.
- Capacidad requerida: $Q_{0, \text{FRESC.}} = 89,1 \text{ kW.} / Q_{0, \text{CONG.}} = 44,17 \text{ kW.}$
- Temperatura de la cámara: $T_C = 0 \text{ °C.} / T_C = -24 \text{ °C.}$
- Temperatura de evaporación: $T_{\text{EVAP}} = -10 \text{ °C.} / T_{\text{EVAP}} = -30 \text{ °C.}$

El evaporador elegido es el modelo **TCI 083604-G**.

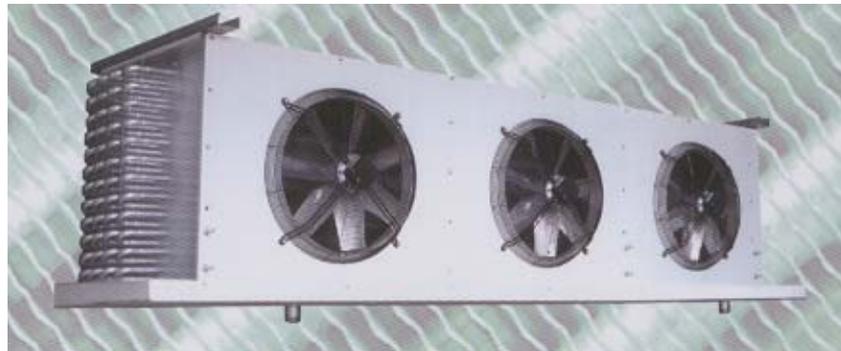


Figura 29. Evaporador cúbico industrial TEFRINCA. Serie TCI.

Características principales del evaporador modelo TCI 083604-G.

MODO DE TRABAJO	CONGELADOS	FRESCOS
FABRICANTE	TEFRINCA	
MODELO	TCI-083604-G	
Nº Evaporadores/cámara	3	
Tipo de desescarche	GAS CALIENTE	
nº ventiladores	3	
Diametro de los ventiladores [mm]	630	
Velocidad de rotacion ventiladores [r.p.m]	1340/1000	
Consumo de los ventiladores [A]	2,2/1,25	
Potencia frigorífica[kW]/Evaporador	46,82	91,25
Temperatura de evaporación [°C]	-30	-10
ΔT [°C]	6	10
Paso de aletas [mm]	8	
Caudal de aire[m ³ /h]	29700	
Superficie externa [m ²]	310	
Volumen interno [dm ³]	137	
Dimensiones: alto [m] x ancho [m] x profundo[m]	1,3 x 3,05 x 0,865	

Tabla 30. Características de los evaporadores TCI 083604-G



7.3.3 Características generales de los evaporadores TCI 083604-G

La serie de evaporadores cúbicos TCI, ha sido diseñada para instalaciones industriales con refrigerante amoníaco y sistema inundado (alimentación por bombeo o gravedad).

Los evaporadores TEFRINCA de la serie TCI se alimentan por la parte inferior.

Ventajas de la alimentación inferior:

- Los detalles de la distribución son menos críticos.
- Son menos importantes las posiciones relativas de los evaporadores y de los separadores de aspiración.
- Se simplifica el diseño y la implantación del sistema.
- Mayor coeficiente de transmisión de calor, ya que la carga de refrigerante en la disposición con alimentación inferior ocupa entre el 60 y el 75 % del volumen del evaporador, en cambio en la alimentación superior ocupa entre un 25 y un 40%.

Inconvenientes de la alimentación inferior:

- Mayor carga de refrigerante.
- Mayor tamaño de los recipientes y separadores.

Características de la batería:

- Tubo de acero inoxidable (AISI304) $\Phi 22$.
- Aletas de acero con perfil ondulado.
- Disposición triangular de los tubos (65,4 x 56,6), lo que garantiza un mayor rendimiento del evaporador para una misma superficie de intercambio.
- Separación de aletas estándar: 6, 8, 10 y 12 mm.
- Las baterías están fabricadas de acuerdo con la "Directiva Europea sobre Aparatos a Presión" (CE/97/23), y se prueban a una presión neumática de 30 bar.

Características del carenado:

- Realizado en chapa galvanizada.

Características de la bandeja:

- Construida íntegramente en fibra de vidrio y poliéster.
- Aislamiento de poliuretano.

Ventajas:

- Mayor duración
- Fácil evacuación del agua, al evitarse deformaciones en la bandeja.



- Mayor facilidad de limpieza, lo que garantiza mejores condiciones sanitarias.
- El aislamiento de poliuretano evita la formación de condensaciones en el reverso de la bandeja.

Características de los ventiladores:

- Ejecución cerrada con protección IP-55 o IP-54, según el modelo de evaporador.
- Motores de doble velocidad, trifásicos, alimentación de 400V y a 50 Hz.

Opciones de desescarche:

- Desescarche eléctrico: Resistencias en la batería y la bandeja.
- Desescarche por gas caliente: La bandeja dispondrá de un serpentín especialmente diseñado para evitar la formación de hielo en la misma.
- Desescarche por agua: Se dispondrá de un sistema de distribución de agua para el desescarche de la batería.

La opción de desescarche elegida es la de gas caliente.

El funcionamiento es parecido al de la instalación descentralizada. La diferencia principal es que el gas caliente una vez que pasa por el interior del evaporador y se condensa, se lleva al separador de baja que es el punto del circuito que tiene menor presión.

El retorno se realiza conectando la salida del gas caliente del evaporador al colector de retorno húmedo del separador haciendo pasar el refrigerante por una válvula o regulador de alivio de reasentamiento (HA4AK) que proporciona un alivio de presión fija hacia la sección de menor presión del sistema. También se instala una válvula de cierre por succión (HCK2), de baja pérdida de presión, a la salida del refrigerante húmedo del evaporador que accionada por el gas caliente cierra para el correcto funcionamiento del desescarche.

En el apartado **B.3.13.5 del anexo B** se encuentra el esquema de desescarche utilizado en la instalación que ha sido proporcionado por Dicostock, así como las válvulas que se utilizan en el proceso de desescarche y en el funcionamiento frigorífico normal.

El cálculo de los componentes se ha realizado a partir de las siguientes suposiciones:

- Espesor del hielo al comienzo: 1,5 mm.
- Tiempo total de desescarche: 32 minutos, (6 minutos de vaciado, 20 minutos de gas caliente 4 minutos de igualación y 4 minutos de eliminación de gotas de agua).

Igual que en la instalación descentralizada, se dispone de un reloj de desescarche que ordena el inicio del desescarche de los evaporadores. En esta instalación, la centralizada, se



da la orden de inicio de desescarche de un evaporador diferente, y de cámaras diferentes, cada veinte minutos para que cada evaporador realice tres desescarches al día, ya que se dispone de un total de veinticuatro evaporadores.

La secuencia del proceso de desescarche de un evaporador es la siguiente:

Se cierra la solenoide de líquido (HS7) de la entrada del evaporador en cuestión y seguidamente también se paran los ventiladores del evaporador.

Se abre la solenoide de gas caliente situada en la tubería de entrada de gas caliente para el desescarche (HS7) y a al mismo tiempo se abre la solenoide piloto (HS6), que permitiendo el paso de gas caliente por el conducto de pilotaje, acciona la válvula de cierre por succión (HCK2) que cierra la salida de retorno húmedo del evaporador.

De esta manera el gas caliente pasa por todo el serpentín tubular del evaporador deshaciendo la escarcha, primero pasa por la bandeja y luego recorre todo el intercambiador de arriba abajo. La salida del gas caliente del evaporador, ya condensado, se realiza por la tubería de desviación de pequeño diámetro entre la aspiración de líquido habitual y el retorno húmedo hacia el separador de baja; haciendo pasar el refrigerante por una válvula o regulador de alivio de reasentamiento (HA4AK) que proporciona un alivio de presión fija hacia la sección de menor presión.

Luego la sonda de temperatura del termostato situada en los codos del evaporador da la orden de fin de desescarche cuando la temperatura leída por ésta sea de 15°C.

Seguidamente se cierra la solenoide de la desviación de gases calientes (HS7) y la solenoide piloto (HS6), así pues, automáticamente se abre la salida del retorno húmedo del evaporador, ya que la válvula de cierre por succión (HCK2) no es estanca.

A continuación se abre la solenoide de líquido (HS7) para permitir la entrada de refrigerante condensado al evaporador procedente del separador intermedio o de baja para enfriar el serpentín.

Finalmente, la sonda de temperatura del termostato situada en los codos del evaporador cuando detecta que los tubos están fríos, arranca los ventiladores de éste. Evitando así, la proyección de agua sobre el género almacenado en la cámara.



7.4 Recipiente de amoníaco líquido de alta presión

7.4.1 Introducción

Prácticamente todos los sistemas de refrigeración de elevadas potencias tienen un recipiente de refrigerante líquido para almacenar temporalmente cantidades de refrigerante en exceso. Por ejemplo, cuando partes del sistema se vacían para ser reparadas, se desescarchan algunos evaporadores o algunos de éstos cierran por su termostato.

El recipiente debe tener la capacidad suficiente para contener, como mínimo, 1,25 veces el volumen de los evaporadores según la instrucción MI-IF-006, y en la medida de lo posible, toda la carga del sistema.

Durante el funcionamiento normal de la instalación el recipiente de amoníaco de alta presión recibe el líquido del condensador y lo envía al separador intermedio cuando se abre la válvula solenoide de la línea de líquido que une ambos equipos. La válvula solenoide se abre por orden del nivostato del separador intermedio si el nivel de refrigerante se encuentra por debajo del nivel de trabajo establecido.

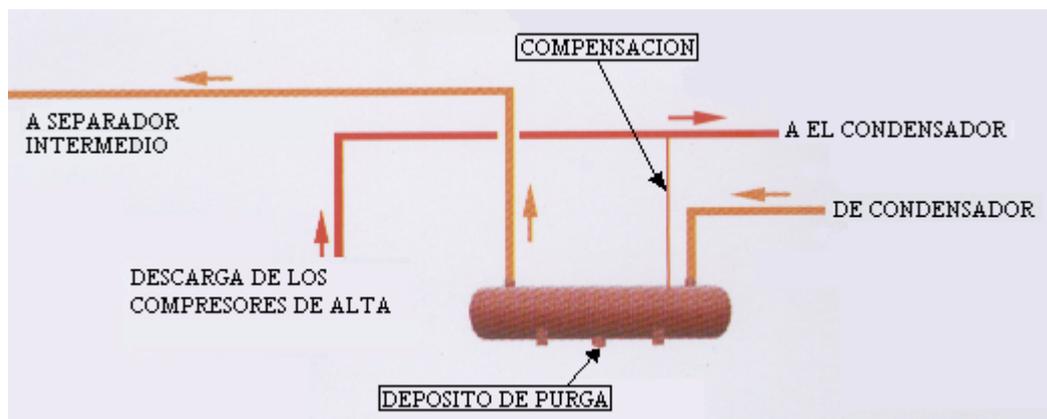


Figura 30. Recipiente horizontal de amoníaco líquido a alta presión.

7.4.2 Selección del depósito de amoníaco de alta presión

La selección del depósito de líquido se realiza a partir de la carga de refrigerante líquido de la instalación, ya que debe ser capaz de contenerla; y a partir del catálogo del fabricante TEFRINCA.

A continuación se realiza una estimación de la carga total de refrigerante en la instalación (m_{R-717}). Se tiene en cuenta para dicha estimación la carga de refrigerante que pueden contener los evaporadores y la carga de refrigerante que pueden contener las tuberías o líneas de líquido.



Los cálculos de la carga total de refrigerante se encuentran en el apartado **B.3.14.2 del anexo B**.

La carga total estimada de refrigerante resulta ser de:

$$m_{R-717} = 5.295,1 \left[dm^3 \right]$$

Finalmente, el recipiente elegido es el **RHA 1200** que tiene una capacidad de **6.900 litros**.

7.4.3 Características de los recipientes de amoníaco de la serie RHA

Los recipientes horizontales TEFRINCA, RHA están diseñados para el almacenamiento del líquido refrigerante procedente del condensador, en instalaciones que utilicen como refrigerante amoníaco.

El recipiente se protege con dos válvulas de seguridad en paralelo, conectadas a una válvula de cierre de tres vías, en cumplimiento a lo establecido en la instrucción **MI.IF-009. Protección de las instalaciones contra sobrepresiones**. Para recipientes con volumen interior igual o superior a 280 dm³.

Características constructivas:

- Llevan incorporados en su parte inferior un depósito de purga.
- Construidos con chapa de acero al carbono H-11, según la norma DIN-17155.
- Dotados de embranques para el conexionado de entrada, salida, compensación y válvula de tres vías.
- Bajo demanda se suministran con válvulas, visores y niveles de líquido.

Características concretas del recipiente horizontal RHA 1200:

FABRICANTE	TEFRINCA
MODELO	RHA 1200
CAPACIDAD DE AMONIACO LIQUIDO(dm³)	6900
Dimensiones: alto [m] x ancho [m] x profundo[m]	1,45 x 6,54 x 1,2
Entrada de líquido	3"
Salida de líquido	2 1/2"
Compensación	1 1/4"
Peso [kg]	3100

Tabla 31. Características del recipiente de amoníaco líquido RHA 1200.



7.5 Grupos separadores por bombeo

7.5.1 Introducción

El separador de líquido en una instalación, mantiene un nivel de líquido constante gracias a los dispositivos de control de que dispone (véase **figura 31**).

Este líquido es bombeado hacia los evaporadores con un ratio que excede al de evaporación, consiguiendo de esta forma que el interior de los evaporadores se mantenga continuamente húmedo, aumentando así su eficiencia.

La mezcla de líquido y de vapor que proviene de los evaporadores es devuelta al separador, en el cual se precipitarán las partes de líquido mientras que el vapor será aspirado por los compresores.

Ventajas del uso de separadores por bombeo en una instalación:

- La sobrealimentación de líquido al evaporador produce un aumento de los coeficientes de transmisión, y por lo tanto un aumento del rendimiento de los evaporadores.
- El exceso de líquido favorece el retorno de aceite hacia el separador, el cual dispone de un domo para evitar la acumulación de aceite en el equipo, y facilita su drenaje.
- El separador protege al compresor ante posibles golpes de líquido.

7.5.2 Selección de los separadores por bombeo de la instalación

La selección de los separadores de aspiración por bombeo, en este caso, se realiza a partir de los datos proporcionados por el fabricante TEFRINCA en los catálogos técnicos.

La utilización de los grupos separadores por bombeo TEFRINCA, compactos y completamente ensamblados en fábrica, representa las siguientes ventajas:

- Se reducen los costes de diseño
- Se reducen costes y tiempos de instalación comparados con el montaje en obra del equipo.



Características generales y descripción de los grupos separadores por bombeo TEFRINCA:

Los separadores TEFRINCA se diseñan y se fabrican según la normativa alemana AD-Merkblatt. Todos los componentes del grupo cumplen el Reglamento Europeo sobre Aparatos a Presión. CE/97/23.

Los grupos separadores TEFRINCA constan de los siguientes elementos estándar:



Figura 31 Partes principales de un separador de aspiración por bombeo TEFRINCA.

1. Control de nivel:

Para el control del nivel de líquido en el separador, se dispone de dos flotadores eléctricos (máximo y mínimo) y sus correspondientes válvulas de cierre.

El flotador de nivel máximo es el que ordena abrir la válvula solenoide para que entre líquido del recipiente que abastece al separador en cuestión. El flotador de nivel mínimo para las bombas para que estas no caviten.

Además el separador cuenta con un tubo de acero inoxidable para la visualización directa del nivel por escarcha.

2. Bombas:

El uso de bombas semi-herméticas (con rotor encapsulado), minimiza el riesgo de fugas, a la vez que facilita el aislamiento de la unidad.



3. Líneas de caudal mínimo (Q_{MIN}) individuales:

Cada bomba dispone de su propia línea de caudal mínimo, realizando ésta dos funciones principales:

- Con la bomba en funcionamiento, se garantiza que el caudal suministrado por la bomba no sea inferior al crítico y se evita la cavitación de las mismas.
- Con la bomba en reposo, se evita la acumulación de refrigerante en forma de gas, que produciría problemas de cavitación en el arranque.

4. Protección de las bombas:

Cada bomba quedará protegida por su propio presostato diferencial, y su correspondiente juego de válvulas y manómetro para la visualización de las presiones de aspiración y descarga.

La línea de aspiración de cada bomba ha sido diseñada con el fin de evitar cualquier posible problema de cavitación por la entrada de refrigerante vaporizado, gracias a la adopción de un sistema "Anti-Vórtice" y válvulas de bola con muy baja pérdida de presión.

Los equipos se suministran con los siguientes accesorios:

- **Válvulas de seguridad** adecuadas al volumen del separador seleccionado.
- **Filtros** en cada una de las aspiraciones de las bombas.
- **Sistema de alimentación al separador**, compuesto por:
 - Válvula de cierre
 - Filtro
 - Solenoide
 - Válvula de regulación manual

A continuación se realiza por separado la selección del separador de aspiración intermedio y la del de baja.



Separador de baja presión:

En el separador de aspiración de baja se realiza la separación del líquido y el vapor a la presión de saturación correspondiente a la temperatura de evaporación de baja (-30 °C).

Se suministra amoníaco líquido mediante una bomba a los evaporadores de baja temperatura o a los de las cámaras de congelados. También se realiza la aspiración de los compresores de baja como se aprecia en la **figura 32**.

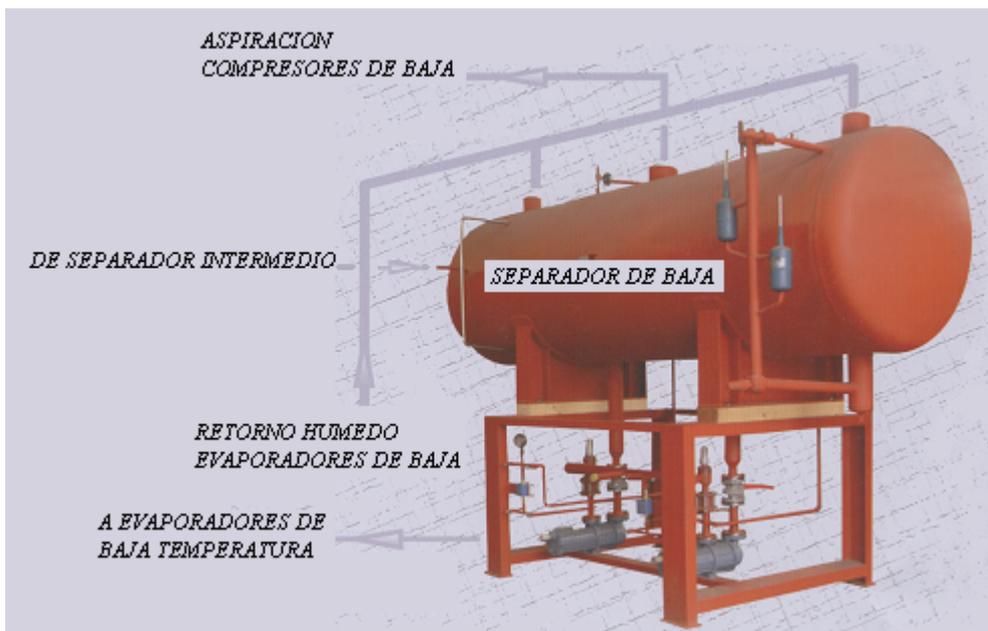


Figura 32. Separador de baja de aspiración por bombeo.

La selección del separador de baja o de congelados se debe realizar para la situación de máxima demanda de potencia frigorífica de los almacenes de producto congelado.

$$\dot{Q}_{R-717.MAXIMA}^{DEMANDA.CONGELADOS} = 1.060 [kW]$$

Los parámetros requeridos por el fabricante para la selección del grupo separador por bombeo de baja son los siguientes:

Potencia requerida: $\dot{Q}_{BAJA}^{REQUERIDA} = 1.060 [kW]$

Temperatura de entrada del amoníaco líquido: $T_{ENT.LIQ.} = -10^{\circ}C$

El separador de baja es abastecido de líquido por el separador intermedio, así que la temperatura de entrada del líquido es la temperatura de saturación de la presión intermedia.



Temperatura de evaporación: $T_{EVAP} = -30\text{ °C}$

Tasa de circulación: $TS = 4$

Anteriormente, **en el apartado 7.4 de la memoria**, se ha definido el concepto y se ha establecido su valor.

Capacidad de fluctuación requerida: $FI = 2.466\text{ dm}^3$.

En el caso del separador de baja la capacidad de fluctuación es la cantidad de litros necesarios de líquido para abastecer a todos los evaporadores de los almacenes de congelados.

Una vez definidas las características del grupo separador de aspiración por bombeo de baja se procede a realizar la selección.

Los cálculos para la selección del separador de baja se encuentran en **el apartado B.3.15.8 del anexo B**.

El grupo separador por bombeo seleccionado para funcionar como separador de baja es el modelo **GSB 13/ 069/ D2**.

Características concretas del grupo separador por bombeo modelo GSB 13/ 069/ D2:

FABRICANTE	TEFRINCA
MODELO	GSB 13/069 /D2
POTENCIA FRIGORIFICA MAXIMA a $T_{EVAP}=-30\text{°C}$ [kW]	1147,6
Volumen interno (dm³)	6900
Capacidad de fluctuación (dm³)	2820
Dimensiones: alto [m] x ancho [m] x profundo[m]	3,60 x 5,65 x 1,85
Entrada de líquido del separador intermedio	2 1/2"
Salida de líquido hacia evaporadores	4"
Retorno húmedo de los evaporadores	2 x 8"
Aspiración de los compresores de baja	8"
Peso [kg]	3600
Potencia de la bomba modelo D [kW]	4,5
Caudal mínimo / máximo de la bomba [m³/h]	10,5 / 18,0

Tabla 32. Características del grupo separador por bombeo modelo GSB 13/ 069/ D2

El recipiente se protege con dos válvulas de seguridad en paralelo, conectadas a una válvula de cierre de tres vías, en cumplimiento a lo establecido en la instrucción **MI.IF-009. Protección de las instalaciones contra sobrepresiones**. Para recipientes con volumen interior igual o superior a 280 dm³.



Extras añadidos al grupo separador por bombeo de baja:**Nivostato electrónico con tres niveles para la regulación de líquido:**

- Nivel máximo para de paro y arranque de compresores por exceso de líquido.
- Nivel de trabajo que abre y cierra la válvula solenoide de entrada de líquido.
- Nivel mínimo de paro y arranque de las bombas de refrigerante para no permitir la cavitación de las mismas.



Separador de presión intermedia:

En la instalación centralizada se integra en el mismo equipo el enfriador intermedio de inyección total y el separador de aspiración de los compresores de alta tal y como se aprecia en la **figura 33**.

Esto implica la necesidad de añadir ciertos cambios de diseño al equipo estándar.



Figura 33. Separador intermedio de aspiración por bombeo.

Funcionamiento como enfriador intermedio de inyección total:

El enfriador intermedio se utiliza para enfriar el gas de descarga entre las etapas para evitar el sobrecalentamiento del compresor de la etapa superior.

El enfriamiento se consigue introduciendo el vapor de descarga de los compresores de baja a través de un tubo agujereado situado en fondo del separador intermedio. De esta manera se hace borbotear el gas de descarga del compresor de la etapa de baja en un baño de refrigerante líquido a presión y temperatura de saturación intermedias. El calor eliminado del gas de descarga es absorbido por la evaporación de parte del líquido del baño, y, eventualmente, a través del compresor de la etapa de alta, pasa al condensador.



Funcionamiento como separador de aspiración de los compresores de alta:

En el recipiente de presión intermedia se separa el vapor del líquido a presión intermedia.

Se produce la aspiración del vapor a presión intermedia por los compresores de la etapa de alta.

Se suministra amoníaco líquido a presión intermedia mediante una bomba a los evaporadores de alta temperatura o a los de las cámaras de frescos. También se suministra líquido al recipiente o separador de aspiración de baja por diferencia de presiones.

Un nivostato electrónico mantiene el nivel de líquido de trabajo en el enfriador intermedio mediante el control de una válvula solenoide que regula el caudal de amoníaco líquido que va del recipiente de alta presión al enfriador en cuestión. El líquido se inyecta por encima del nivel máximo de líquido del separador y se vaporiza a presión y temperatura intermedias.

El líquido a la presión intermedia pasa del separador intermedio al recipiente de baja presión también regulado por una válvula solenoide, controlada por un nivostato electrónico, que mantiene el nivel de líquido de trabajo en el separador de baja presión.

Para realizar **la selección del separador intermedio** o de frescos se debe realizar para la situación de máxima demanda de potencia frigorífica de los almacenes de producto fresco.

$$\dot{Q}_{\substack{R-717.MAXIMA \\ DEMANDA.FRESCOS}} = 2140 [kW]$$

Los parámetros requeridos por el fabricante para la selección del grupo separador por bombeo intermedio son los siguientes:

Potencia requerida: $\dot{Q}_{\substack{REQUERIDA \\ INTERMEDIA}} = 2140 [kW]$

Temperatura de entrada del amoníaco líquido: $T_{\text{ENT. LIQ.}} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$

El separador intermedio es abastecido de líquido por el recipiente de amoníaco líquido a alta presión, así que la temperatura de entrada del líquido es la temperatura de saturación de la alta presión.



Temperatura de evaporación: $T_{EVAP} = -10\text{ °C}$

Tasa de circulación: $TS = 4$

Anteriormente, **en el apartado 7.4 de la memoria**, se ha definido el concepto y se ha establecido su valor.

Capacidad de fluctuación requerida: $FL_{INTER} = 3.699\text{ dm}^3$.

En el caso del separador intermedio la capacidad de fluctuación es la cantidad de litros necesarios de líquido para abastecer a todos los evaporadores de los almacenes de frescos y al separador de baja.

Una vez definidas las características del grupo separador de aspiración por bombeo intermedio se procede a realizar la selección.

Los cálculos para la selección del separador intermedio se encuentran en **el apartado B.3.15.9 del anexo B**.

El grupo separador por bombeo seleccionado para funcionar como separador intermedio es el modelo **GSB 15/ 108/ F2**. con las modificaciones de diseño pertinentes para añadir la función de enfriador de los gases de descarga de los compresores de baja al equipo.

Características concretas del grupo separador por bombeo modelo GSB 15/ 108/ F2:

FABRICANTE	TEFRINCA
MODELO	GSB 15/108 /F2
POTENCIA FRIGORIFICA MAXIMA a $T_{EVAP}=-10\text{°C}$ [kW]	2345,6
Volumen interno (dm³)	10800
Capacidad de fluctuación (dm³)	4460
Dimensiones: alto [m] x ancho [m] x profundo[m]	3,70 x 6,75 x 1,95
Entrada de líquido	3"
Salida de líquido hacia evaporadores	5"
Retorno húmedo de los evaporadores	2 x 8"
Salida de líquido hacia el separador de baja	2 1/2"
Aspiración de los compresores de alta	10"
Descarga de los compresores de baja	8"
Peso [kg]	6000
Potencia de la bomba modelo F [kW]	8,5

Tabla 33. Características del grupo separador por bombeo modelo GSB 15/ 108/ F2

El recipiente se protege con dos válvulas de seguridad en paralelo, conectadas a una válvula de cierre de tres vías, en cumplimiento a lo establecido en la instrucción **MI.IF-009**.



Protección de las instalaciones contra sobrepresiones. Para recipientes con volumen interior igual o superior a 280 dm³.

Extras añadidos al grupo separador por bombeo intermedio:

Nivostato electrónico con tres niveles para la regulación de líquido:

- Nivel máximo para de paro y arranque de compresores por exceso de líquido.
- Nivel de trabajo que abre y cierra la válvula solenoide de entrada de líquido.
- Nivel mínimo de paro y arranque de las bombas de refrigerante para no permitir la cavitación de las mismas.

Para integrar el enfriador intermedio se necesita:

- Salida de líquido por la parte inferior del separador para enviar el líquido al separador de baja.
- Entrada de gas a través de un tubo agujereado sumergido en el líquido del separador para enfriar los gases de descarga de los compresores de baja.



7.6 Condensadores evaporativos

7.6.1 Introducción

Los condensadores evaporativos son una combinación de los condensadores enfriados por aire y de las torres de enfriamiento. Es un condensador atmosférico con circulación forzada de agua y flujo de aire.

Se utilizan cuando se dispone de poca cantidad de agua de enfriamiento o el coste de ésta es muy elevado.

Tanto el aire como el agua son empleados por este condensador, el aire se introduce por la parte inferior, bien impulsado o aspirado por ventiladores, recorriendo los serpentines de condensación y saliendo por la parte superior en general. El agua, simultáneamente, se introduce por unas tuberías situadas por encima de los tubos en forma de lluvia, humedeciendo toda su superficie para conseguir una eficacia máxima. Separadores adecuados impiden que el agua sea arrastrada por el aire (véase **figura 34**).

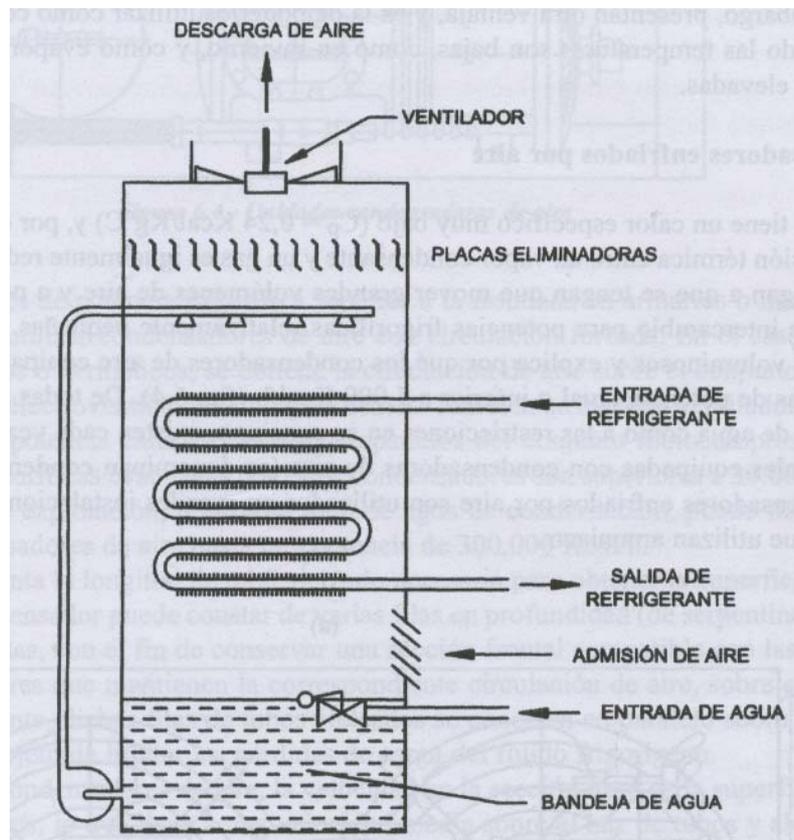


Figura 34. Esquema de un condensador evaporativo.



El agua absorbe el calor cedido por el fluido refrigerante a través de los serpentines del condensador, en forma de calor sensible elevando su temperatura.

El aire, atraviesa la cortina acuosa, absorbe algo de agua que se rocía sobre los serpentines, y se lleva como calor latente el calor absorbido por el agua.

Consecuentemente, el rendimiento de estos condensadores depende de la humedad relativa del aire y de la temperatura de condensación del refrigerante.

El consumo de agua teórico se establece en 2 a 3 litros/h por cada 1,16 kW/h. Se tiene en cuenta el agua vaporizada para conseguir el enfriamiento, el agua de purga y el agua que arrastra el aire en forma de gotitas.

El mayor inconveniente de estos condensadores es su elevado coste inicial.

La principal ventaja es que se pueden utilizar como condensadores enfriados por aire cuando las temperaturas son bajas, como en invierno, y como evaporativos cuando las temperaturas son elevadas.

7.6.2 Selección de los condensadores

La selección de los condensadores, en este caso, se realiza a partir de los datos proporcionados por el fabricante TEFRINCA en los catálogos técnicos.

La potencia calorífica total que se debe disipar en los condensadores es la calculada en **el apartado A.3.2.2 del anexo A**. Corresponde a la potencia calorífica del ciclo condicionado ya que es superior a la del ciclo de máxima eficiencia.

$$\dot{Q}_{CALORIFICA} = 2777,05 [kW]$$

Se disponen cuatro condensadores evaporativos, ya que la gama de condensadores elegida, la **CET-AI**, permite regular el caudal de aire de sus ventiladores impelentes hasta reducir al 50% la potencia total de cada condensador. De esta manera se dispone de un condensador por cada dos cámaras frigoríficas.

Los cálculos para la selección de los condensadores evaporativos se encuentran en **el apartado B.3.16.5 del anexo B**.



Los parámetros requeridos por el fabricante para la selección de los condensadores evaporativos son los siguientes:

- Temperatura de condensación: $T_c = 35 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura del termómetro húmedo del aire exterior: $T_w = 26 \text{ }^\circ\text{C}$, dato obtenido del apartado A.1.3.4 *Carga térmica debida a las infiltraciones* en el anexo A. Concretamente del punto E (condiciones del aire exterior) del diagrama psicrométrico. (Gráfico 2).
- Calorías a disipar: **597.0066,14 kcal/h**

Entonces el condensador elegido es el modelo **CET 20-AI**.



Figura 35. Condensador evaporativo TEFRINCA. Serie CET-AI.

Características concretas del condensador evaporativo modelo CET 20-AI:

FABRICANTE	TEFRINCA
MODELO	CET 20-AI
Nº Condensadores	4
nº ventiladores	4
Diametro de los ventiladores [mm]	860
Velocidad estándar de rotacion ventiladores [r.p.m]	1430
Potencia de los ventiladores (C.V.)	3
Caudal de aire total [m ³ /h]	80000
Potencia calorífica [kcal/h]	600600
Potencia calorífica [kW]	698,37
Temperatura de condensación [°C]	35
Temperatura húmeda del aire exterior [°C]	26
Potencia de las bombas de agua (C.V.)	3
Caudal de agua[m ³ /h]	70
Dimensiones: alto [m] x ancho [m] x profundo[m]	3,047 x 5,050 x 1,685
Entrada de gas	4"
Salida de líquido	3"
Entrada de agua	1 1/2"
Peso en vacío [kg]	3790
Peso en marcha [kg]	5690

Tabla 34. Características de los condensadores evaporativos CET 20-AI.



7.6.3 Características constructivas de los condensadores evaporativos

Los condensadores evaporativos TEFRINCA están diseñados especialmente para el campo de la refrigeración industrial, aire acondicionado y todo tipo de procesos de condensación de vapor. Todos los condensadores están sujetos a las siguientes características estándar:

Galvanizado en caliente:

Los condensadores se instalan en el exterior, motivo por el cual deben ser tratados contra la corrosión para la protección de sus partes metálicas. El fabricante TEFRINCA lo consigue mediante el galvanizado en caliente de todo el equipo.

El conjunto (cuba, batería y estructura) es sumergido en un baño de Zinc a una temperatura alrededor de 446 °C. Debido al espesor de la estructura metálica (más de 3 mm), la calidad del acero y del proceso en sí, se garantiza un recubrimiento mínimo de Zinc de 1.800 gramos por metro cuadrado.

Este método de protección contra la corrosión es realmente el más efectivo, elimina además el coste extra que supone el acabado con pinturas y aumenta considerablemente la vida útil del equipo.

Carenado de poliéster:

Para garantizar una mayor resistencia a la corrosión incluso en las condiciones ambientales más desfavorables, el cuerpo del condensador queda forrado en su parte externa mediante paneles de poliéster con un espesor de 3 mm.

Serpentín tubular:

La batería se construye con tubo de acero de la más alta calidad, colocándose esta en un bastidor extremadamente resistente antes de su completo galvanizado.

Dicha batería también es sometida a una prueba de presión neumática de 2,5 MPa (25 bar) y sumergida en un baño de agua, asegurando así la detección de posibles fugas, antes y después del proceso de galvanización.



Diseño de la cuba-balsa:

La cuba-balsa ha sido diseñada para permitir el completo vaciado del agua de una manera fácil y rápida. Gracias a su forma (véase **figura 36.**), el agua quedará dirigida hacia la parte inferior, al tubo de drenaje, con lo que su limpieza podrá realizarse de una forma sencilla mediante el uso de una manguera convencional.

Con este diseño se reducen los riesgos de estancamiento de agua, cosa que facilitaría la aparición de bacterias.

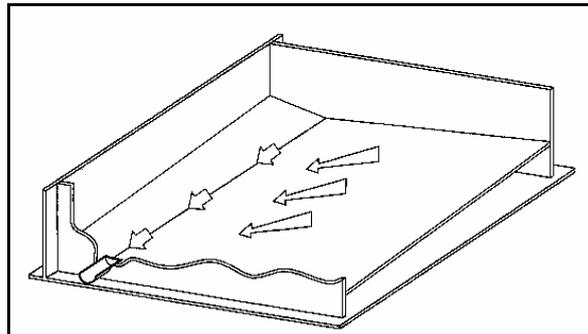


Figura 36. Sección de la cuba-balsa de los condensador evaporativo TEFRINCA.

Separadores de gotas:

Los separadores de gotas se construyen con material plástico (PVC). De esta manera se consigue eliminar la posible aparición de corrosión en este vital componente del condensador.

Su montaje se realiza en diferentes módulos lo que facilita la inspección del sistema de distribución de agua, así como su sustitución en caso de ser necesario.

Motores cerrados:

Los condensadores evaporativos TEFRINCA están dotados de motores completamente cerrados tanto en bombas como en ventiladores, con protección IP55 y aislamiento tipo F.



Características de los condensadores evaporativos de la serie CET –AI:

Los condensadores evaporativos **CET-AI** se dividen esencialmente en dos cuerpos, uno inferior que comprende la cuba con sus correspondientes tuberías para entrada y salida del agua y en la que se acoplan los ventiladores; y el superior en el que aparecen la batería tubular, colectores, rociadores de agua y separadores de gotas.

Estos modelos están diseñados con ventiladores impelentes. El caudal efectivo de aire de dichos ventiladores puede reducir las necesidades de potencia hasta un 50% en comparación con los modelos centrífugos de capacidades similares.

Ventajas de la serie CET-AI:

Total accesibilidad a los separadores de gotas, así como a todos los motores, tanto de la bomba como de los ventiladores, para un mejor mantenimiento.

La zona de los ventiladores en la parte inferior permite una mejor accesibilidad y que ésta quede descubierta totalmente con sólo quitar las protecciones.

El acceso a la sección de la cuba de agua fría se realiza a través de una compuerta situada en uno de los laterales.

Cada ventilador tiene su propio motor y su sistema Tasplash individual. El sistema Tasplash permite trabajar con diferente número de ventiladores en función de las necesidades energéticas, evitando el efecto by-pass y garantizando una mayor eficiencia comparado con otros sistemas. Lo que se consigue es que cuando se necesita parar uno de los ventiladores el aire se sigue repartiendo de forma homogénea en todo el condensador, (véase **figura 37**).

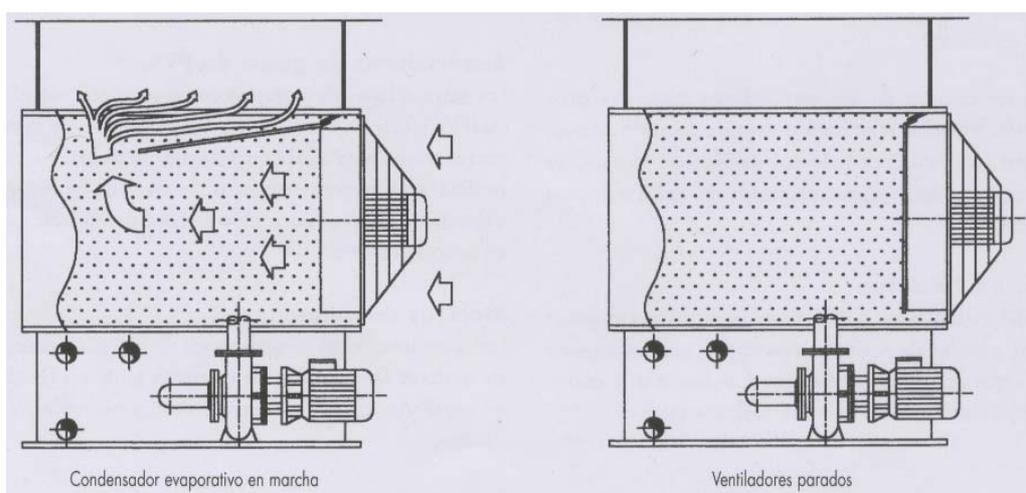


Figura 37. Sistema Tasplash. Condensador evaporativo TEFRINCA modelo CET-AI.



Disponen de los siguientes accesorios :

- Ventiladores de doble velocidad que permiten una mayor regulación de la potencia en función de las necesidades.
- Calentadores sumergidos en la cuba (disponibles bajo pedido con ensamblaje en fábrica).
- Silenciadores.
- Regulador de nivel mecánico mediante flotador que acciona la válvula de entrada de agua.

El diseño compacto y unitario del condensador evaporativo CET-AI permite su transporte completamente montado.

Ubicación de los condensadores:

La instalación se debe realizar sobre una terraza despajada o en el suelo, lejos de cualquier obstáculo.

Si existen obstáculos, para evitar que afecten al rendimiento del condensador, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Mantener la aspiración a la distancia mínima indicada en la **figura 38**.
- Si hay obstáculos próximos más altos que el aparato, se debe elevar para que la descarga del aire alcance al menos la altura del obstáculo.
- Si se instala más de una unidad en paralelo, se debe mantener una distancia entre ellos mínima para que no se interfieran sus caudales de aire.

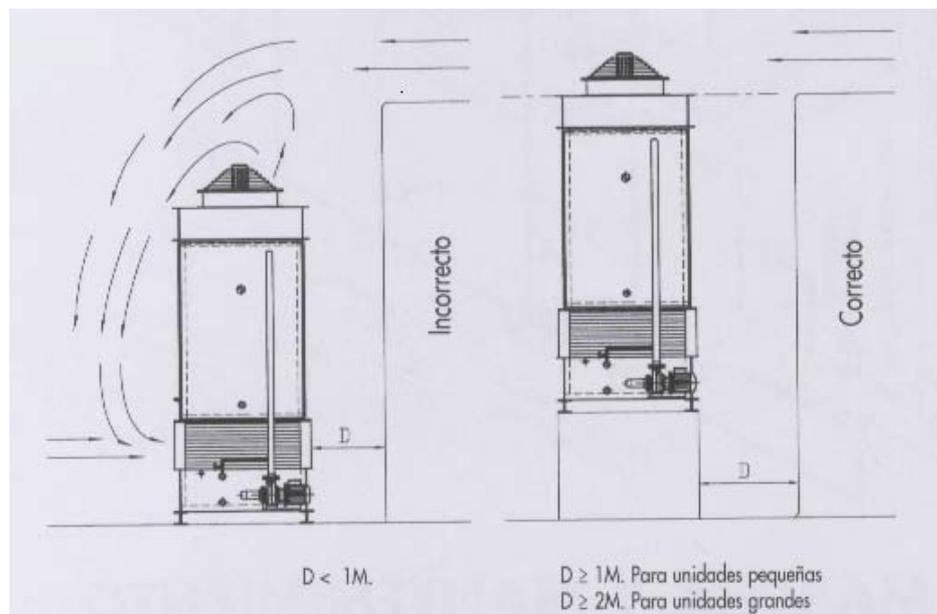


Figura 38. Instalación de un condensador evaporativo.



7.7 Tuberías

7.7.1 Introducción

Las tuberías serán de acero calmado sin soldaduras longitudinales en cumplimiento de la normativa establecida en la instrucción **MI.IF-005** para temperaturas de servicio inferiores a -20 °C.

Las tuberías de la instalación se eligen también siguiendo las pautas definidas en la instalación descentralizada. Dichas pautas se encuentran en **el apartado 6.5 de la memoria. Tuberías.**

7.7.2 Selección de las tuberías de la instalación centralizada

La selección de las tuberías se realiza a partir del programa informático CoolPack.

Se elige la opción del ciclo que se corresponde a la instalación centralizada, un Booster de inyección total con evaporadores sobrealimentados y se introducen los siguientes datos:

- Las capacidades frigoríficas.
- Pérdida de carga equivalente en grados.
- Rendimientos isentrópicos de los compresores.
- Rendimientos los volumétricos de los compresores.

Para la selección de las tuberías principales o colectores de la instalación centralizada se plantean dos situaciones de trabajo diferentes:

En primer lugar introducen los datos para el funcionamiento de la instalación para la máxima demanda de frío para los almacenes de frescos según las presiones de trabajo del **ciclo condicionado**:

$$\dot{Q}_{R-717.MAXIMA}^{DEMANDA.FRESCOS} = 2140 [kW]; \quad \dot{Q}_{R-717.DEMANDA}^{CONGELADOS} = 530 [kW]$$

Con esta situación de trabajo obtenemos las líneas de baja presión con diámetros ideales a las velocidades del fluido deseadas en cada una de las tuberías.

Los datos de entrada y los resultados se encuentran en **el Anexo B, apartado B.3.17.**

En segundo lugar se introducen los datos de funcionamiento de la instalación para la máxima demanda de frío para los almacenes de congelados según las presiones de trabajo del **ciclo de máxima eficiencia**:



$$\dot{Q}_{R-717,MAXIMA}^{DEMANDA.CONGELADOS} = 1.060 [kW]; \quad \dot{m}_{R-717,ALTA,MAXIMO} = 1,15 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Con esta situación de trabajo obtenemos las líneas de alta presión con diámetros ideales a las velocidades del fluido deseadas en cada una de las tuberías.

Los datos de entrada y los resultados se encuentran en **el Anexo B, apartado B.3.17.**

A continuación se muestra la tabla de las tuberías principales que se utilizaran para la instalación centralizada con los diámetros exteriores reales y que cumplen la norma ASTM A53 y las velocidades corregidas.

	DIAMETRO EXTERIOR [mm]	DIAMETRO en PULGADAS ["] y schedule	VELOCIDAD [m/s]
Tubería de aspiración compresores de baja	311	12"S20	11,8
Tubería de aspiración compresores de alta	311	12"S20	11,9
Tubería de descarga de compresores de baja	206,4	8"S20	14,9
Tubería de descarga de compresores de alta	128,2	5"S40	18,5
Tubería de líquido a los evaporadores de baja	154,1	5"S40	0,54
Tubería de líquido a los evaporadores de alta	102,3	4"S40	0,56
Tubería para el retorno húmedo de baja	206,4	8"S20	23,1
Tubería para el retorno húmedo de alta	206,4	8"S20	21,8
Tubería de gas caliente	26,6	2"S20	35,3
Tubería del recipiente de alta al separador intermedio	77,9	3"S40	0,8
Tubería del separador intermedio al separador de baja	40,9	1 1/2"S40	0,9
Tubería del condensador al recipiente de alta	102,3	4"S40	0,41

Tabla 35. Diámetros de las tuberías principales de la instalación centralizada.

Para la selección de las tuberías de entrada y salida a cada uno de los equipos individuales de la instalación centralizada se realizan los cálculos según las presiones de trabajo que corresponden a cada componente.

Los datos de entrada y los resultados se encuentran en **el Anexo B, apartado B.3.17.**



A continuación se muestra la tabla de las tuberías individuales que se utilizarán para la instalación centralizada con los diámetros exteriores reales y que cumplen la norma ASTM A53 y las velocidades corregidas.

	DIAMETRO EXTERIOR [mm]	DIAMETRO en PULGADAS ["] y schedule	VELOCIDAD [m/s]
Tubería de líquido evaporador de baja	21	3/4"S40	0,55
Tubería de líquido evaporador de alta	40,9	1 1/2"S40	0,64
Tubería para el retorno húmedo evaporador de baja	52,5	2"S40	14,7
Tubería para el retorno húmedo evaporador de alta	62,7	2 1/2"S40	19,7
Tubería de entrada condensador (descarga alta)	62,7	2 1/2"S40	19,4
Tubería de salida condensador (líquido alta)	62,7	2 1/2"S40	0,54
Tubería de aspiración del compresor de baja	206,4	8"S40	13,4
Tubería de aspiración del compresor de alta	206,4	8"S40	13,5
Tubería de descarga del compresor de baja	128,2	5"S40	18,6
Tubería de descarga del compresor de alta	77,9	3"S40	25,1

Tabla 36. Diámetros de las tuberías individuales de la instalación centralizada.



7.8 Accesorios del equipo frigorífico

7.8.1 Válvulas de regulación manual

Las válvulas de regulación manual son básicamente un orificio fijo que se calibra en la puesta en marcha de la instalación.

Se utilizan en la instalación centralizada para regular el caudal máximo de entrada a los evaporadores, en esta aplicación reciben el nombre de válvulas de expansión manual. También se utilizan en las entradas de líquido a los separadores de aspiración para crear una caída de presión suficiente para evitar que el líquido entre de golpe.



Figura 39. Válvula frigorífica de regulación manual en acero al carbono de “Le Robinet Frigorifique Français”.

Selección de las válvulas de regulación manual:

Para seleccionar las válvulas de regulación manual se utiliza el software facilitado por el fabricante: “Le Robinet Frigorifique Français”.

Para seleccionar las válvulas de regulación manual se introducen los siguientes datos:

- Temperatura o presión de entrada
- Temperatura o presión de salida
- Potencia frigorífica

Para la selección de las válvulas de expansión manuales se introduce en el programa de selección una potencia frigorífica cuatro veces superior a la del evaporador correspondiente. Esto se realiza para reflejar en la potencia frigorífica todo el caudal que pasa por la válvula en cuestión, ya que al tratarse de evaporadores sobrealimentados el caudal que circula por estos es cuatro veces superior al que se evapora y consecuentemente la potencia del evaporador es cuatro veces inferior. El caudal que pasa por la válvula es el caudal



bombeado por el separador correspondiente dividido por el número total de evaporadores (doce en el caso de los frescos, veinticuatro en el caso de los congelados).

Para la selección de las válvulas de regulación manual en la entrada de líquido de los separadores se introduce en el programa de selección una potencia frigorífica cuatro veces inferior a la potencia del grupo separador.

Esta potencia en el separador de baja refleja el caudal de líquido que no vuelve al separador después de ser bombeado hacia los evaporadores. Del total del caudal de líquido bombeado a los evaporadores de congelados vuelve al separador tres cuartas partes en forma de líquido y una cuarta parte en forma de vapor, esta cuarta parte de líquido refrigerante evaporado es la que debe ser repuesta por el separador intermedio y debe pasar a través de la válvula.

En el separador intermedio la potencia frigorífica introducida en el programa de selección no solo refleja el caudal que debe ser repuesto después de vaporizarse en los evaporadores de frescos sino que también refleja el caudal que se introduce en el separador de baja para reponer el caudal que se evapora en los evaporadores de congelados.

Los cálculos previos y las hojas de selección de las válvulas de regulación manual se encuentran en **el apartado B.3.18 del anexo B**.

La lista de los modelos de los accesorios del equipo frigorífico seleccionados para esta instalación se encuentran en **el apartado B.3.20.2 del Anexo B**.

A continuación se muestran las tablas resumen de los datos de entrada al programa de selección, los modelos de válvula seleccionados y las características más significativas de las válvulas seleccionadas.

	CALCULOS y DATOS PREVIOS				
	POTENCIA EVAPORADOR O SEPARADOR	CAUDAL TOTAL BOMBEADO	CAUDAL VALVULA	DIAMETRO TUBERIA	
	P[kW]	Q[m ³ /h]	Q[m ³ /h]	pulgadas["]	K _v calculado
EVAPORADOR FRESCOS	89	36,46	3,04	1 1/2"	5,02
EVAPORADOR CONGELADOS	44	16,62	0,69	3/4"	1,60
SEPARADOR DE BAJA	1123,45	16,62	4,16	3"	4,76
SEPARADOR INTERMEDIO	2345,6	36,46	13,27	1 1/2"	4,65

Tabla 37. Tabla resumen de los cálculos previos y los datos de entrada para la selección de las válvulas de regulación manual.



	DATOS DE ENTRADA AL PROGRAMA DE SELECCIÓN			RESULTADOS DE LA SELECCIÓN			
	POTENCIA VALVULA	PRESION ENTRADA	PRESION SALIDA	MODELO DE LA VALVULA	CAUDAL DE LA VALVULA	DIAMETRO VALVULA	K _v
	P[kW]	P _e [bar]	P _s [bar]		Q[m ³ /h]	pulgadas["]	
EVAPORADOR FRESCOS	356	3,70	2,90	RVDK20f	5,636	3/4"	4,61
EVAPORADOR CONGELADOS	176	2,00	1,20	RVDK10a	1,349	3/8"	1,35
SEPARADOR DE BAJA	280,86	2,90	1,19	RVDK25f	17,828	1"	4,61
SEPARADOR INTERMEDIO	586,4	13,50	2,90	RVDK25f	6,890	1"	4,61

Tabla 38. Tabla resumen de los de los resultados de la selección de las válvulas de regulación manual



7.8.2 Válvulas seleccionadas para el desescarche

A través del software del fabricante de válvulas Hansen, se seleccionan las válvulas según el esquema **del apartado B.3.19 del anexo B** facilitado por Dicostock s.l. con los resultados de la selección del programa. A continuación se define el funcionamiento de las válvulas.

Regulador de alivio de reasentamiento:

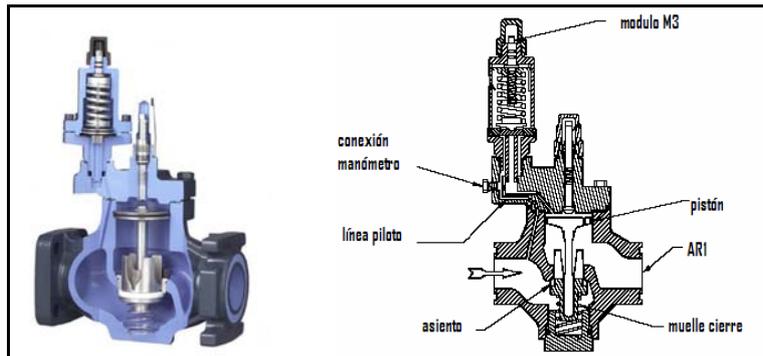


Figura 40. Regulador modular de presión Hansen HAKA

Esta válvula se instala para regular la presión a la entrada del regulador, es decir en el circuito antes del regulador. Se suministra precintada a la presión requerida, abre al subir la presión antes del regulador por encima de la ajustada y cierra al descender la presión. La regulación es muy suave y exacta. El refrigerante pasa por la línea por la línea piloto hasta el módulo. El ajuste de éste permite cortar el paso del fluido hacia el pistón del regulador. Cuando la presión antes de la válvula aumenta, el piloto modula, dejando pasar fluido al pistón del regulador de manera que este se abre. Si la misma presión disminuye, el módulo piloto reduce el paso y el regulador cierra. El regulador consta de un cuerpo AR1 y un módulo de alivio M3K como se aprecia en la **figura 41**.

En la instalación el regulador se usa para presurizar los evaporadores durante el desescarche. Así pues, el ajuste de presión recomendado por el fabricante es el de la presión correspondiente a una temperatura del refrigerante de unos 6 o 8°C, que para el amoníaco, esto se traduce en 4,8 bar.

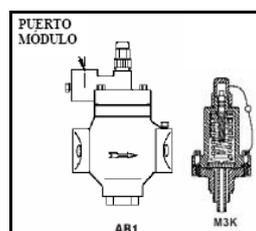
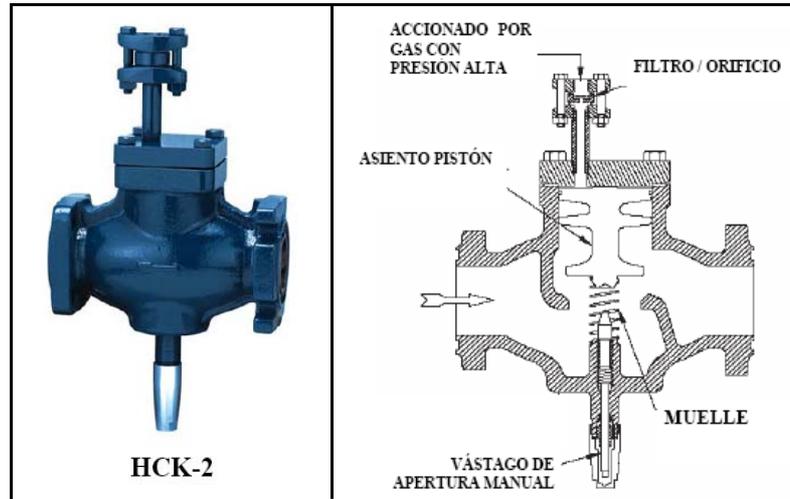


Figura 41. Regulador HA4AK.. (Cuerpo con cabezal de un puerto AR1+ módulo de alivio M3K)

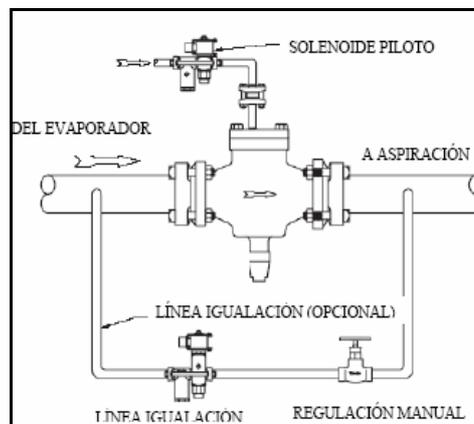


Válvula de cierre de succión accionada por gas:**Figura 42.** Válvula de cierre de succión accionada por gas Hansen HCK2.

La principal aplicación de esta válvula es el cierre automático de líneas en las que se requiere poca pérdida de presión y apertura directa, es decir, con pérdida de presión cero. Por lo tanto es muy apropiada en:

- Cierre de tuberías de aspiración de evaporadores para el desescarche.
- Líneas de líquido y gas en sistemas de circulación por gravedad.
- Líneas de retorno de evaporadores en sistemas sobrealimentados e inundados.

Como se puede apreciar en la **figura 43**, lleva una solenoide en la línea piloto (HS6). La válvula HCK2 no requiere diferencial de presión para abrir, tiene muy baja pérdida de presión y se mantiene abierta mediante un muelle. Cierra al aplicarle gas caliente o líquido de alta en el pistón a través de un conducto adicional que es donde se instala la solenoide piloto y abre al cerrar la solenoide piloto y cortar el flujo de refrigerante al pistón.

**Figura 43.** Instalación de una válvula de cierre de succión accionada por gas Hansen HCK2.

Válvulas solenoide:

Las válvulas solenoide de refrigeración, salvo las pequeñas de acción directa, cierran mediante un muelle y se requiere una presión diferencial mínima y con ello un caudal mínimo de paso, para mantenerlas constantemente abiertas. Si la válvula es excesivamente grande para el caudal en circulación, la pérdida de carga no será suficiente para mantenerla abierta y se producirá clapeteo. La pérdida de carga mínima es de 0,14 bar en todos los modelos y tamaños de cierre por muelle.

Las válvulas solenoide Hansen, con tensión, es decir activadas, abren. Sin tensión cierran.

Válvula solenoide piloto HS6:

Figura 44. Válvula solenoide piloto Hansen HS6.

Solenoide como válvula piloto en general. No requieren diferencia de presión para abrir.

Válvula solenoide HS7:

Figura 45. Válvula solenoide Hansen HS7.

Solenoide para el uso general en líneas de gas caliente, líquido, aspiración y aceite frigorífico. Requieren diferencia de presión mínima para abrir.



Válvula de retención HCK4:**Figura 46.** Válvula de retención Hansen HCK4.

Estas válvulas de retención (no retorno) compactas embridadas en línea se abren completamente para dejar pasar el fluido en dirección a la flecha del cuerpo, las válvulas se cierran cuando se producen inversiones de presión. Los discos y los resortes son de acero inoxidable. Se usan en tuberías de gases calientes, descarga y succión, líquidos y aceite.

7.8.3 Otras válvulas del circuito frigorífico**Válvula de retención HCK1:****Figura 47.** Válvula de retención Hansen HCK1.

Estas válvulas de retención embridadas tipo pistón de servicio pesado controlan el caudal de refrigerante. Se abren completamente para dejar pasar el fluido en dirección a la flecha del cuerpo, las válvulas se cierran cuando se invierte el caudal. Son adecuadas para la descarga de compresores, bombas, tuberías de gas caliente y aplicaciones de presión pulsante.



Válvulas de corte manuales:

Figura 48. Válvula frigorífica de corte manual en acero al carbono de “Le Robinet Frigorifique Français”.

Estas válvulas se instalan antes y después de todos los componentes básicos del equipo frigorífico con la finalidad de poder aislar cuando sea conveniente del resto del equipo; ya sea por cuestiones de mantenimiento, reparación, sustitución; el componente que sea necesario.

Estas válvulas se seleccionan a partir del diámetro de la tubería en la que se instalan.

Válvulas de seguridad:

Figura 49. Válvulas de seguridad y válvula de tres vías Hansen.

Estas válvulas evacúan el exceso de fluido a la atmósfera. Se instalan ya que en un equipo frigorífico se puede dar el caso de sobrepresiones accidentales y peligrosas.

Se requieren dos válvulas de seguridad en paralelo, conectadas a una válvula de cierre de tres vías en los recipientes que contengan gas a presión y tengan una capacidad superior a 280 litros, tal y como se indica en la instrucción MI-IF-009, y se exige en el Reglamento de Seguridad para Plantas y Instalaciones Frigoríficas.



7.9 Control de la instalación

7.9.1 Cuadros eléctricos

AUTRIAL, suministra el cuadro eléctrico de potencia y maniobra, para la gestión y control de la maquinaria frigorífica de la instalación centralizada, así como de los servicios que de ellas dependen, evaporadores, condensadores, nivel de liquido de los separadores, bombas.

Elementos que deben proteger y controlar los cuadros:

Unidades Compresoras:

- 4 Unidades Compresoras AERZENER, cada una:
 - 1 Compresor modelo VMY 336 M.
 - Sistema de arranque descargado (By-pass).
 - Control de capacidad mediante válvula corredera.
 - Control de la relación volumétrica integrada, Vi.
 - Control del nivel de aceite.
 - Resistencias calefactores separador de aceite.
 - Control Bomba de aceite.
 - Presostato de Alta/Baja.
 - Presostato diferencial de aceite.
 - Presostato General de Alta.

Recipiente de liquido de alta:

- Nivostato de nivel mínimo y máximo.

Condensador Evaporativo:

- 4 Condensadores TEFRINCA, modelo CET 20-AI.
 - 4 Ventiladores axiales, III 380V, doble velocidad, 2200W por ventilador conectado en triángulo.
 - Control Bomba de agua, III 380V, 2200W.
 - Presostato de Alta.
 - Control calentadores sumergidos en la cuba de agua.

Servicios Congelados:

- 4 Cámaras de congelados:
 - 3 Evaporadores TEFRINCA, modelo TCI 083604-G.



- 3 Ventiladores, III 380V, doble velocidad, 780W por ventilador conectado en triángulo.
- Solenoide de líquido.
- Desescarche por gas caliente.

Servicios Bitéperas:

- 4 Cámaras bitéperas:
 - 3 Evaporadores TEFRINCA, modelo TCI 083604-G.
 - 3 Ventiladores, III 380V, doble velocidad, 780W por ventilador conectado en triángulo.
 - Solenoide de líquido de frescos.
 - Solenoide de líquido de congelados.
 - Solenoide de retorno húmedo de frescos.
 - Solenoide de retorno húmedo de congelados.
 - Desescarche por gas caliente.

Separador de Baja:

- Control de nivel de líquido.
 - Nivel mínimo.
 - Nivel de trabajo.
 - Nivel máximo.
- Solenoide alimentación de líquido.
- 2 Bombas de líquido.
- Presostato diferencial.

Separador Intermedio:

- Control de nivel de líquido.
 - Nivel mínimo.
 - Nivel de trabajo.
 - Nivel máximo.
- Solenoide alimentación de líquido.
- 2 Bombas de líquido.
- Presostato diferencial.



7.9.2 Controlador electrónico para compresores y condensador

El controlador utilizado se basa en tecnología PLC. El PLC se encarga de recoger todas las señales de los iniciadores, sondas de temperatura y transductores de presión y una vez realizados los algoritmos correspondientes envía las señales pertinentes que permiten actuar sobre los mecanismos de funcionamiento y seguridad.

Las señales a considerar y sus correspondientes respuestas, se resumen en las tablas siguientes:

Tag.	Servicio	Elemento / Situación	Función
	Presión Aspiración Compresores de Baja	Sonda Presión en Colector de Baja	Para mantener la presión deseada en el Separador de Baja, se actúa sobre los compresores de baja de forma continua, a través de las válvulas corredera de control de capacidad, accionadas por pistones hidráulicos de aceite.
	Presión Aspiración Compresores de Alta	Sonda Presión en Colector de Alta	Para mantener la presión deseada en el Separador Intermedio, se actúa sobre los compresores de alta de forma continua, a través de las válvulas corredera de control de capacidad, accionadas por pistones hidráulicos de aceite.

Entradas digitales de Control / Seguridad / Alarma:

Tag.	Servicio	Elemento / Situación	Función
	Temperatura de la cámara de congelados	Termostato dentro de la cámara.	Actúa sobre las solenoides de alimentación de líquido a los evaporadores (SLC). Control flotante. Congelados se mantiene entre -18°C y -22°C.
	Temperatura de la cámara de frescos	Termostato dentro de la cámara.	Actúa sobre las solenoides de alimentación de líquido a los evaporadores (SLF). Control flotante. Frescos se mantiene entre -0.5 y +0.5°C



Tag.	Servicio	Elemento / Situación	Función
	Presión mínima antes Condensador	Presostato de alta.	Actúa sobre los ventiladores del condensador. 4 condensadores evaporativos con 4 ventiladores cada uno, cada ventilador con dos velocidades.
	Alto Nivel Líquido en Recipiente de Alta	Nivostato en deposito de Alta	Paro Compresores. Cierre válvulas solenoides de líquido.
	Bajo Nivel Líquido en Recipiente de Alta	Nivostato en deposito de Alta	Paro Compresores. Necesario Rearme Manual para arranque.
	Alto Nivel Líquido en Separador de Baja	Nivostato en Separador de Baja	Paro / Marcha compresores de baja. Rearranque automático al bajar el nivel del ajuste diferencial.
	Nivel Líquido de Trabajo en Separador de Baja	Nivostato en Separador de Baja	Apertura y Cierre solenoide alimentación líquido desde el Separador Intermedio. Cierre solenoide automático al subir el nivel por encima del ajuste diferencial.
	Bajo Nivel Líquido en Separador de Baja	Nivostato en Separador de Baja	Paro / Marcha bomba alimentación líquido a los evaporadores de congelados. Rearranque automático al subir el nivel del ajuste diferencial.
	Alto Nivel Líquido en Separador Intermedio	Nivostato en Separador Intermedio	Paro / Marcha compresores Intermedio. Rearranque automático al bajar el nivel del ajuste diferencial.
	Nivel Líquido de Trabajo en Separador Intermedio	Nivostato en Separador Intermedio	Apertura y Cierre solenoide alimentación líquido desde el Recipiente de Alta. Cierre solenoide automático al subir el nivel por encima del ajuste diferencial.
	Bajo Nivel Líquido en Separador Intermedio	Nivostato en Separador Intermedio	Paro / Marcha bomba alimentación líquido a los Evaporadores de Frescos. Rearranque automático al subir el nivel del ajuste diferencial.
	Baja Presión Diferencial Aceite Compresor 1, 2, 3 y 4	Presostato diferencial entre aspiración y descarga compresor.	Paro Compresor
	Alta presión Descarga Compresor 1, 2 3 y 4.	Presostato Alta / Baja	Paro compresor



Tag.	Servicio	Elemento / Situación	Función
	Baja presión Aspiración Compresor 1, 2, 3 y 4.	Presostato Alta / Baja	Paro compresor.
	Sonda Temperatura Aceite Compresor 1, 2, 3 y 4		Paro compresor.
	Bajo Nivel en el Separador de Aceite 1, 2, 3 y 4	Nivostato en Separador de Aceite	Paro Compresor.
	Alta Temperatura de Descarga	Termostato en la Línea de Descarga de la Etapa de Alta	Paro Compresores.
	Sonda Temperatura Codos Evaporador (24 sondas)	Termostato (2 puntos de ajuste)	-Fin Desescarche: Cuando la temperatura supera los 15°C, actúa para finalizar el Desescarche (ver apartado 7.3.4 de la Memoria). - Arranque Ventiladores Evaporador: Cuando la temperatura es inferior a 0°C, permite el funcionamiento de los ventiladores del evaporador, evitando la proyección de agua a la cámara.
	Sonda Temperatura Congelación Agua (4 sondas)	Termostato (1 punto de ajuste)	Paro – Marcha calentador sumergido en cuba-balsa condensadores evaporativos.
	Baja Presión Diferencial Bomba Separador de Baja	Presostato Diferencial	Paro Bomba Liquido Presión Baja.
	Baja Presión Diferencial Bomba Separador Intermedio	Presostato Diferencial	Paro Bomba Liquido Presión Intermedia.



Salidas digitales:

Tag.	Servicio	Función
SLC1 á SLC 24	Válvula solenoide Líquido Congelados	Actúa en función de la temperatura de la cámara de congelados, abre con temperatura superior a la de consigna y viceversa. Cierra durante desescarche del evaporador al cual alimenta de líquido.
SLF1 á SLF12	Válvula solenoide Líquido Frescos	Actúa en función de la temperatura de la cámara de frescos, abre con temperatura superior a la de consigna y viceversa. Cierra durante desescarche del evaporador al cual alimenta de líquido.
SC1, 2, 3 y 4.	Válvula solenoide Arranque Descargado	Funcionamiento en vacío durante el proceso de arranque.
SGC1 á SGC24	Solenoide Gas Caliente	Abre el paso de gas caliente, de la desviación en la descarga de los compresores, hacia el evaporador durante su proceso de desescarche.
PM1 á PM24	Regulador de Alivio de Reasentamiento	Durante el desescarche regula la presión a la salida del gas caliente del evaporador, manteniendo una presión de 4,8 bar.
SP1 á SP24	Válvula solenoide piloto Congelados	Abre para el pilotaje de la Válvula de Cierre de Succión, de forma que esta cierre durante el proceso de desescarche del evaporador.
SRC1 á SRC12	Válvula solenoide de retorno al Separador de Baja	Abre la salida del evaporador, hacia el Separador de Baja, cuando este está trabajando como evaporador de congelados.
SRF1 á SRF12	Válvula solenoide de retorno al Separador Intermedio	Abre la salida del evaporador, hacia el Separador Intermedio, cuando este está trabajando como evaporador de congelados.
SLSB	Válvula Solenoide Alimentación Líquido al Separador de Baja	Apertura solenoide alimentación líquido desde el Separador Intermedio al Separador de Baja, cuando el nivel del separador es inferior al nivel de trabajo. Cierre solenoide automático al subir el nivel por encima del ajuste diferencial.
SLSI	Válvula Solenoide Alimentación Líquido al Separador Intermedio	Apertura solenoide alimentación líquido desde el Recipiente de alta al Separador Intermedio, cuando el nivel del separador es inferior al nivel de trabajo. Cierre solenoide automático al subir el nivel por encima del ajuste diferencial.



8 Análisis ambiental

8.1 Fluidos frigoríficos R-404A y Amoníaco (R-717)

8.1.1 Introducción

Un refrigerante es cualquier cuerpo o sustancia que actúa como agente de enfriamiento absorbiendo calor de otro cuerpo o sustancia.

No existe un refrigerante ideal ni que pueda ser universalmente adaptable a todas las aplicaciones.

Entonces, un refrigerante se aproxima al ideal, solo en tanto que sus propiedades satisfagan las condiciones y necesidades de la aplicación para el que va a ser utilizado.

Para que una sustancia pueda ser utilizada como un refrigerante debe cumplir gran parte de las siguientes propiedades:

- Un punto de ebullición por debajo de la temperatura ambiente, a presión atmosférica.
- Elevado calor latente de vaporización, de esta manera el calor absorbido por unidad de masa de refrigerante en circulación es mayor.
- Una temperatura de condensación, a la máxima presión de trabajo, lo menor posible.
- No inflamable, ni explosivo, ni tóxico.
- Químicamente estable.
- No corrosivo.
- Moderadas presiones de trabajo.
- Fácil detección de fugas.
- Inocuo para los aceites lubricantes.
- Bajo punto de congelación.
- Alta temperatura crítica.
- Moderado volumen específico de vapor, de esta manera se reduce al mínimo el tamaño del compresor.
- Bajo costo.



Los efectos de los refrigerantes sobre el medio ambiente se cuantifican a partir de los siguientes coeficientes:

El ODP, Potencial de Destrucción del Ozono: este coeficiente va directamente relacionado con la cantidad de átomos de cloro que contienen las moléculas de las sustancias. Su valor determina la capacidad de destrucción que tiene la sustancia sobre la capa de ozono. Se atribuye al R-11 el ODP =1.

Las sustancias con potencial de destrucción de la capa de ozono, una vez alcanzan esta capa, los rayos ultravioletas son suficientemente intensos para destruir sus moléculas. De esta manera se desprenden los átomos de cloro (Cl) que se combinan con el ozono (O₃) para formar otros compuestos debilitando la capa que hace de filtro contra las radiaciones ultravioletas de onda corta.

El PEI (GWP), Potencial de Efecto Invernadero: este coeficiente determina el efecto invernadero de las sustancias. Se atribuye al CO₂ el PEI = 1.

El TEWI, Total Equivalent Warming Impact: este coeficiente tiene en cuenta el efecto invernadero directo debido a las emisiones de fluido contenido en un sistema, y el efecto invernadero indirecto vinculado a las emisiones de CO₂ de las centrales térmicas que fabrican la electricidad necesaria para el funcionamiento del sistema.

Se decidió a nivel mundial con el Protocolo de Montreal sustituir los CFC (R-11, R-12) de alto contenido en cloro, dos átomos de cloro muy estables en la atmósfera, unos 100 años de vida, (**ODP = 1**). Posteriormente también se sustituyen los HCFC (R-22) que aunque en menor proporción, contienen un átomo de cloro, de vida entre 2 y 28 años, (**ODP = 0,055**).

Véase el resumen del nuevo Reglamento Europeo sobre la utilización de los CFC y los HCFC en **el apartado B.4.1.1 del Anexo B**.

8.1.2 R-404A

El R-404A es el refrigerante utilizado en la instalación descentralizada y pertenece al grupo de los HFC (fluidos halogenados) creados para la sustitución de los CFC y los HCFC.

Es una mezcla no azeotrópica lo que significa que tiene deslizamiento, es decir, que a la misma presión, la temperatura del gas es diferente a la del líquido. Este deslizamiento en el caso del R-404A es muy pequeño (menor a 1°C), así que, para los cálculos realizados en el presente proyecto se ha considerado como una sustancia pura.



Las sustancias que forman esta mezcla no contienen ningún átomo de cloro lo que significa que no destruyen la capa de ozono (**ODP = 0**). Por otro lado el efecto invernadero del R-404A es muy elevado (**GWP = 3.260**).

Los HFC, carecen de olor. Las fugas resultan difícilmente detectables sin equipo específico y no se suelen detectar hasta que se pierde potencia en la instalación.

Además los fluidos halogenados son más pesados que el aire, consecuentemente lo desplazan ocupando su lugar. Esto provoca elevado riesgo de accidentes mortales por asfixia.

Los HFC reaccionan con el agua y forman ácidos que provocan daños múltiples en la instalación como ya se ha comentado anteriormente.

Pertenece al grupo primero: refrigerantes alta seguridad de acuerdo con la clasificación que establece el artículo 11 del Reglamento de Seguridad para Plantas e Instalaciones Frigoríficas que se encuentra en la instrucción MI-IF-002.

8.1.3 R-717

El amoníaco es un fluido inorgánico que tiene propiedades termodinámicas excelentes pero tiene una elevada toxicidad.

Es biodegradable, ya que tiene una vida en la atmósfera de entre siete y catorce días. No ataca la capa de ozono (**ODP = 0**), no contribuye al efecto invernadero (**GWP = 0**) y ofrece un índice **TEWI** mínimo.

Las fugas de amoníaco, incluso pequeñas, son fácilmente detectadas por el olfato, debido a su olor acre penetrante, que es percibido en concentraciones de 5 ppm. Por esta razón, es muy improbable que una fuga pueda durar mucho sin ser detectada.

Además en condiciones atmosféricas normales, el amoníaco es un gas incoloro menos denso que el aire así que éste se eleva y se diluye en el aire formando, gracias a la humedad del aire, una nube visible.

En los sistemas de amoníaco la presencia de una concentración limitada de agua no origina en general, ningún problema.

Pertenece al grupo segundo: refrigerantes de media seguridad de acuerdo con la clasificación que establece el artículo 11 del Reglamento de Seguridad para Plantas e Instalaciones Frigoríficas que se encuentra en la instrucción MI-IF-002.

Véase clasificación en **el apartado B.4.1.2 del Anexo B**.



8.1.4 Comparación de las propiedades principales de ambos refrigerantes

Propiedades	Unidades	R-717	R-404A
Temperatura de ebullición o temperatura de burbuja para las mezclas	°C	-33,33	-46,6
Temperatura crítica	°C	132,25	72,14
Presión crítica	bar	113,3	37,35
Masa molecular	kg/mol	0,017	0,098
Entalpía de vaporización a -10°C	kJ/kg·K	1297	174,5
Densidad del líquido a -10°C	kg/m ³	652	1190
Densidad del vapor a -10°C	kg/m ³	2,39	22,05

Tabla 38. Tabla de las propiedades termodinámicas del R-404 y el R-717.

Ventajas de la utilización del amoníaco:

- Temperatura crítica más elevada.
- Coeficientes de transferencia térmica más elevados.
- Mejor rendimiento en la mayoría de gamas de temperatura.
- Dimensiones más reducidas de las tuberías para una misma potencia frigorífica.
- Carga másica más reducida para una misma aplicación.
- Menor coste del fluido.
- Fugas detectables instantáneamente.
- Bajo coste de bombeo para los sistemas inundados.
- Mayor tolerancia a la contaminación por agua.

Inconvenientes de la utilización del amoníaco:

- Incompatible con el cobre y las aleaciones de cobre. Implica la utilización del acero y con ello el conocimiento de la soldadura autógena por parte del instalador.
- Temperaturas de descarga elevadas que se solucionan utilizando dos etapas de compresión en serie.
- Umbral de toxicidad bajo; se presenta con una débil concentración en la atmósfera. Con consecuencias
- Inmiscible con los aceites habituales.
- Incompatible con la presencia de personas desprevenidas (restricciones específicas para los locales que reciben público).
- Requiere formación apropiada del personal.



8.2 Consumos eléctricos de las instalaciones

El impacto ambiental de este proyecto se reduce al consumo energético de los dos tipos de instalación.

A continuación se presenta en la **tabla 39** la comparativa de consumos energéticos anuales entra ambas instalaciones.

Se aprecia claramente que el consumo de la instalación descentralizada es el doble que el de la instalación centralizada.

		Horas/día	Potencia Absorbida [kW]	kWh / día	Distribución Horas Trabajo
Descentralizada					
100% carga	4 C. Congelados	8	400	12.186	28%
	4 C. Frescos	8	561,6		
	4 C. Frescos	8	561,6		
	8 C. Congelados	8	800	6.400	8%
66% carga	4 C. Congelados	8	278,56	8.320	40,0%
	4 C. Frescos	8	380,8		
	4 C. Frescos	8	380,8		
	8 C. Congelados	8	557,12	4.456	7,5%
33% carga	4 C. Congelados	8	166,88	4.888	4,2%
	4 C. Frescos	8	222,08		
	4 C. Frescos	8	222,08		
	8 C. Congelados	8	333,76	2.670	2,5%
Consumo Electrico Anual			kWh	2.871.018	
Centralizada					
100% carga	4 C. Congelados	4	699,3	5.594	28%
	4 C. Frescos	4	699,3		
	8 C. Congelados	8	522,3	4.178	8%
66% carga	4 C. Congelados	4	515,8	4.126	40,0%
	4 C. Frescos	4	515,8		
	8 C. Congelados	8	382,4	3.059	7,5%
33% carga	4 C. Congelados	4	388,96	3.112	4,2%
	4 C. Frescos	4	388,96		
	8 C. Congelados	8	234,2	1.874	2,5%
Consumo Electrico Anual			kWh	1.443.558	

Tabla 39. Consumos eléctricos anuales de las instalaciones.



9 Comparación de las instalaciones

9.1 Rendimientos y potencias absorbidas

La comparación entre los distintos componentes que constituyen cada una de las instalaciones, se ha realizado en las descripciones de cada material seleccionado.

En este apartado se pretende comparar el rendimiento de cada una de las instalaciones en distintos regímenes de trabajo.

A partir de los cálculos realizados en el Anexo A y los resultados obtenidos de los programas de selección de los compresores que se encuentran en el Anexo B. Tanto para los compresores de pistones Bitzer, como los de tornillo Aerezner; se plantean tres situaciones de trabajo distintas y se compara el rendimiento en cada una de ellas.

Dentro de la cada situación de trabajo se plantea la posibilidad de que todas las cámaras funcionen como almacenes de conservación de producto congelado, y la posibilidad de que solo cuatro de las cámaras funcionen como almacenes de conservación de producto congelado y las otras cuatro lo hagan como almacenes de conservación de producto fresco.

La primera situación de trabajo que se plantea es la que corresponde a la máxima demanda de potencia frigorífica según la que se ha seleccionado todo el material. Los resultados se recogen en la **tabla 40**, que se encuentra a continuación.

Otra situación de trabajo planteada es la que corresponde al 66% de la demanda total de potencia frigorífica. Los resultados se recogen en la **tabla 41**.

Por último se plantea la situación que corresponde al 33% de la demanda total de potencia frigorífica. Los resultados se recogen en la **tabla 42**.

En el funcionamiento de las instalaciones en el que las cámaras bitéperas trabajan como almacenes de frescos y el resto lo hacen como almacenes de congelados, para todas las situaciones de trabajo planteadas, se observa que el equipo de la instalación centralizada que se selecciona para funcionar 8 horas, (es decir que requiere más potencia para contrarrestar las mismas necesidades térmicas que si trabajara más horas), consume menos que la instalación descentralizada en conjunto, en la que los equipos de las cámaras de frescos se seleccionan para funcionar 16 horas.

La comparación se realiza en el **gráfico 7. RENDIMIENTOS DE LAS INSTALACIONES**. Del **gráfico 7** se deduce que la instalación centralizada tiene un COP del orden del doble del



COP de la instalación descentralizada cuando funcionan cuatro cámaras como frescos y cuatro cámaras como congelados. En el caso en el que todas las cámaras funcionen como almacenes de congelados, el COP de la instalación centralizada es del orden del triple del COP de la instalación descentralizada.

DEMANDA MAXIMA DE POTENCIA FRIGORIFICA	POTENCIA FRIGORIFICA [kW]	POTENCIA ABSORBIDA [kW]	COP
INSTALACION DESCENTRALIZADA R-404A			
CAMARA CONGELADOS			
1 COMPRESOR	33,5	25	1,34
1 CENTRAL /4COMPRESORES	134	100	1,34
4 CAMARAS CONGELADOS / 8 horas	536	400	1,34
CAMARAS FRESCOS			
1 COMPRESOR	71,4	35,1	2,03
1 CENTRAL /4COMPRESORES	285,6	140,4	2,03
4 CAMARAS FRESCOS / 16 horas	1142,4	561,6	2,03
4 CAMARAS CONGELADOS 4 CAMARAS DE FRESCOS	1678,4	961,6	1,75
8 CAMARAS DE CONGELADOS	1072	800	1,34
INSTALACION CENTRALIZADA R-717 / 8 horas funcionamiento			
4 CAMARAS CONGELADOS 4 CAMARAS DE FRESCOS			
1 COMPRESOR BAJA 93%	530	90,3	5,87
1 COMPRESOR ALTA 92%	1070	306	3,5
1 COMPRESOR ALTA 92%	1070	306	3,5
	2670	702,3	3,80
4 CAMARAS CONGELADOS 4 CAMARAS DE FRESCOS /B			
1 COMPRESOR BAJA 93%	530	90,3	5,87
1 COMPRESOR ALTA 100%	1161	322	3,61
1 COMPRESOR ALTA 84%	979	287	3,41
RESULTADO	2670	699,3	3,82
8 CAMARAS DE CONGELADOS /A			
1 COMPRESOR BAJA 97%	530	118,3	4,480
1 COMPRESOR BAJA 97%	530	118,3	4,480
1 COMPRESOR ALTA 80%	1272	286	4,450
	2332	522,6	4,462
8 CAMARAS DE CONGELADOS /B			
1 COMPRESOR BAJA 100%	549	120,8	4,540
1 COMPRESOR BAJA 93%	511	115,5	4,430
1 COMPRESOR ALTA 80%	1272	286	4,450
RESULTADO	2332	522,3	4,465

Tabla 40. Tabla de rendimientos de las instalaciones trabajando a plena carga.



DEMANDA FRIGORIFICA DEL 66%		POTENCIA FRIGORIFICA [kW]	POTENCIA ABSORBIDA [kW]	COP
INSTALACION DESCENTRALIZADA R-404A				
CAMARA CONGELADOS 66%				
	1 COMPRESOR	22,1	17,41	1,27
	1 CENTRAL /4COMPRESORES	88,4	69,64	1,27
	4 CAMARAS CONGELADOS / 8 horas funcionamiento	353,6	278,56	1,27
CAMARAS FRESCOS 66%				
	1 COMPRESOR	47,1	23,8	1,98
	1 CENTRAL /4COMPRESORES	188,4	95,2	1,98
	4 CAMARAS FRESCOS / 16 horas de funcionamiento	753,6	380,8	1,98
4 CAMARAS CONGELADOS 4 CAMARAS DE FRESCOS 66%		1107,2	659,36	1,68
8 CAMARAS DE CONGELADOS 66%		707,2	557,12	1,27
INSTALACION CENTRALIZADA R-717 / 8 horas funcionamiento				
4 CAMARAS CONGELADOS 4 CAMARAS DE FRESCOS /A				
	1 COMPRESOR BAJA 62%	349,8	65,8	5,31
	1 COMPRESOR ALTA 61%	706,2	225	3,14
	1 COMPRESOR ALTA 61%	706,2	225	3,14
	RESULTADO	1762,2	515,8	3,42
4 CAMARAS CONGELADOS 4 CAMARAS DE FRESCOS /B				
	1 COMPRESOR BAJA 62%	349,8	65,8	5,31
	1 COMPRESOR ALTA 100%	1161	322	3,61
	1 COMPRESOR ALTA 22%	251,4	152	1,66
	RESULTADO	1762,2	539,8	3,26
8 CAMARAS DE CONGELADOS /A				
	1 COMPRESOR BAJA 64%	349,8	87,2	4,01
	1 COMPRESOR BAJA 64%	349,8	87,2	4,01
	1 COMPRESOR ALTA 53%	840	208	4,04
	RESULTADO	1539,6	382,4	4,03
8 CAMARAS DE CONGELADOS /B				
	1 COMPRESOR BAJA 100%	549	120,8	4,54
	1 COMPRESOR BAJA 27%	150,6	55,1	2,73
	1 COMPRESOR ALTA 53%	840	208	4,04
	RESULTADO	1539,6	383,9	4,01

Tabla 41. Tabla de rendimientos de las instalaciones trabajando bajo una demanda de potencia frigorífica del 66%.



DEMANDA FRIGORIFICA DEL 33%		POTENCIA FRIGORIFICA [kW]	POTENCIA ABSORBIDA [kW]	COP
INSTALACION DESCENTRALIZADA R-404A				
CAMARA CONGELADOS 33%				
	1 COMPRESOR	11,06	10,43	1,06
	1 CENTRAL /4COMPRESORES	44,24	41,72	1,06
	4 CAMARAS CONGELADOS / 8 horas funcionamiento	176,96	166,88	1,06
CAMARAS FRESCOS 33%				
	1 COMPRESOR	23,6	13,88	1,70
	1 CENTRAL /4COMPRESORES	94,4	55,52	1,70
	4 CAMARAS FRESCOS / 16 horas de funcionamiento	377,6	222,08	1,70
4 CAMARAS CONGELADOS 4 CAMARAS DE FRESCOS 33%		554,56	388,96	1,43
8 CAMARAS DE CONGELADOS 33%		353,92	333,76	1,06
INSTALACION CENTRALIZADA R-717 / 8 horas funcionamiento				
4 CAMARAS CONGELADOS 4 CAMARAS DE FRESCOS				
	1 COMPRESOR BAJA 31%	174,9	42,5	4,12
	1 COMPRESOR ALTA 61%	706,2	225	3,14
	RESULTADO	881,1	267,5	3,29
8 CAMARAS DE CONGELADOS				
	1 COMPRESOR BAJA 64%	349,8	87,2	4,01
	1 COMPRESOR ALTA 26%	419,76	147	2,85
	RESULTADO	769,56	234,2	3,29

Tabla 42. Tabla de rendimientos de las instalaciones trabajando bajo una demanda de potencia frigorífica del 33%.



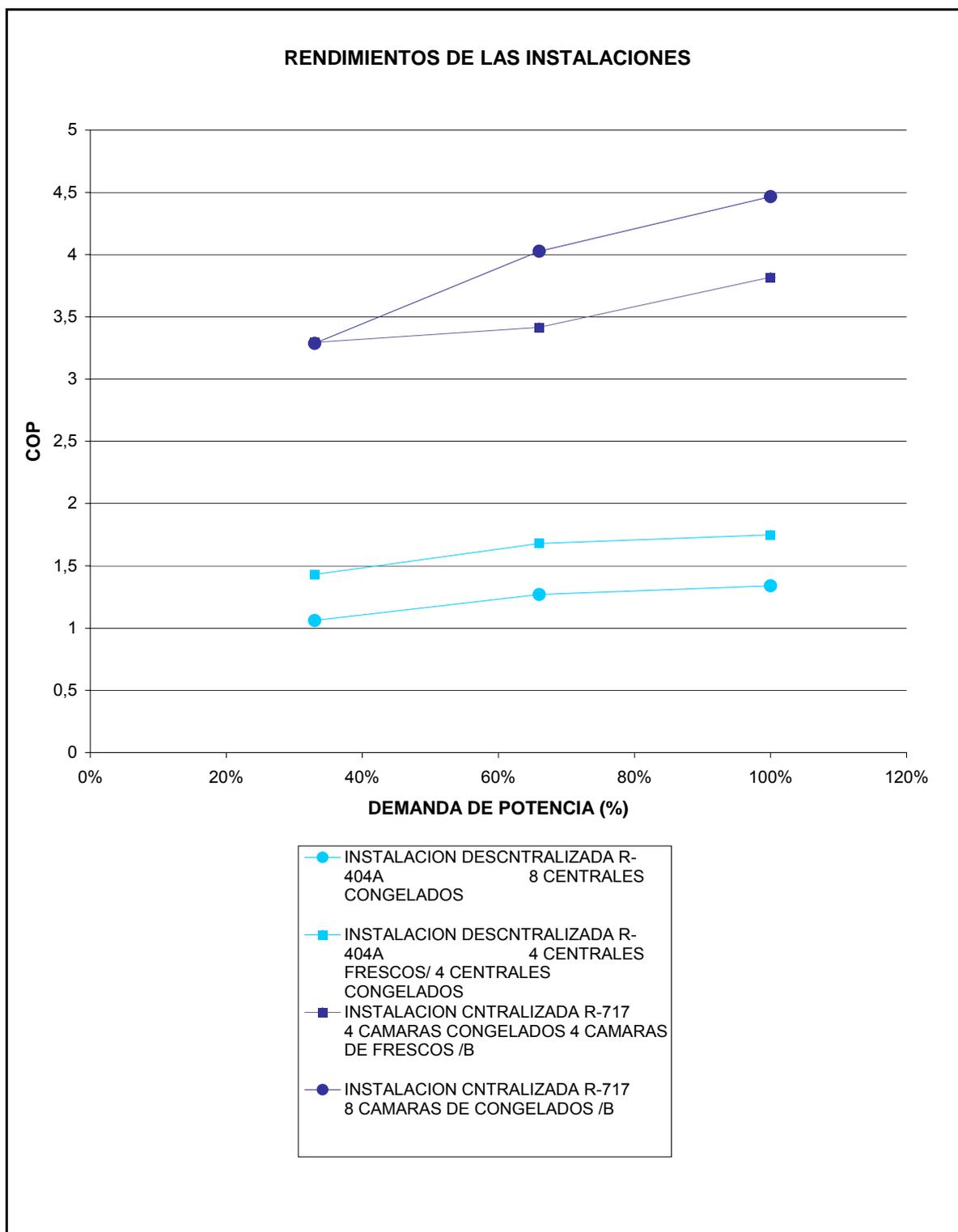


Gráfico 7. Comparación del COP de las instalaciones en modos de trabajo diferentes.



9.2 Comportamiento de los compresores

9.2.1 Instalación descentralizada

Independientemente del funcionamiento global de la **instalación descentralizada**, se representan en la **tabla 43** las posibles variaciones de capacidad de las centrales de congelados y de las frescos.

Se observa que para dar una misma potencia frigorífica se dispone de varias combinaciones de etapas de los compresores. En cada situación se debe intentar elegir la que tiene mejor rendimiento pero hay que tener en cuenta la secuencia de arranque y paro de los compresores en cada caso.

Lo que se representa en el **gráfico 8** es la secuencia elegida de paro y marcha de los compresores. Con las etapas obtenidas se configura parte del algoritmo de control del PLC.

INSTALACION DESCNTRALIZADA R-404A						
CENTRAL CONGELADOS				CENTRAL FRESCOS		
CAPACIDAD	POTENCIA FRIGORIFICA [kW]	POTENCIA ABSORBIDA [kW]	COP	POTENCIA FRIGORIFICA [kW]	POTENCIA ABSORBIDA [kW]	COP
4x100%	134,00	100,00	1,34	285,60	140,40	2,03
3x100%+66%	122,60	92,41	1,33	261,30	129,10	2,02
2x100+2x66%	111,20	84,82	1,31	237,00	117,80	2,01
3x100%+33%	111,56	85,43	1,31	237,80	119,18	2,00
100%+3x66%	99,80	77,23	1,29	212,70	106,50	2,00
3x100%	100,50	75,00	1,34	214,20	105,30	2,03
4x66%	88,40	69,64	1,27	188,40	95,20	1,98
2x100%+66%	89,10	67,41	1,32	189,90	94,00	2,02
3x66%+33 %	77,36	62,66	1,23	164,90	85,28	1,93
2x100%+33%	78,06	60,43	1,29	166,40	84,08	1,98
2x66%+2x33%	66,32	55,68	1,19	141,40	75,36	1,88
3x66%	66,30	52,23	1,27	141,30	71,40	1,98
2x100%	67,00	50,00	1,34	142,80	70,20	2,03
66%+3x33%	55,28	48,70	1,14	117,90	65,44	1,80
2x66%+33%	55,26	45,25	1,22	117,80	61,48	1,92
100%+66%	55,60	42,41	1,31	118,50	58,90	2,01
2x66%	44,20	34,82	1,27	94,20	47,60	1,98
100%+33%	44,22	35,43	1,25	94,30	51,56	1,83
66%+33%	33,16	27,84	1,19	70,70	37,68	1,88
100%	33,50	25,00	1,34	71,40	35,10	2,03
66%	22,10	17,41	1,27	47,10	23,80	1,98
33%	11,06	10,43	1,06	23,60	13,88	1,70

Tabla 43. Etapas de regulación de potencia de las centrales frigoríficas de pistones.



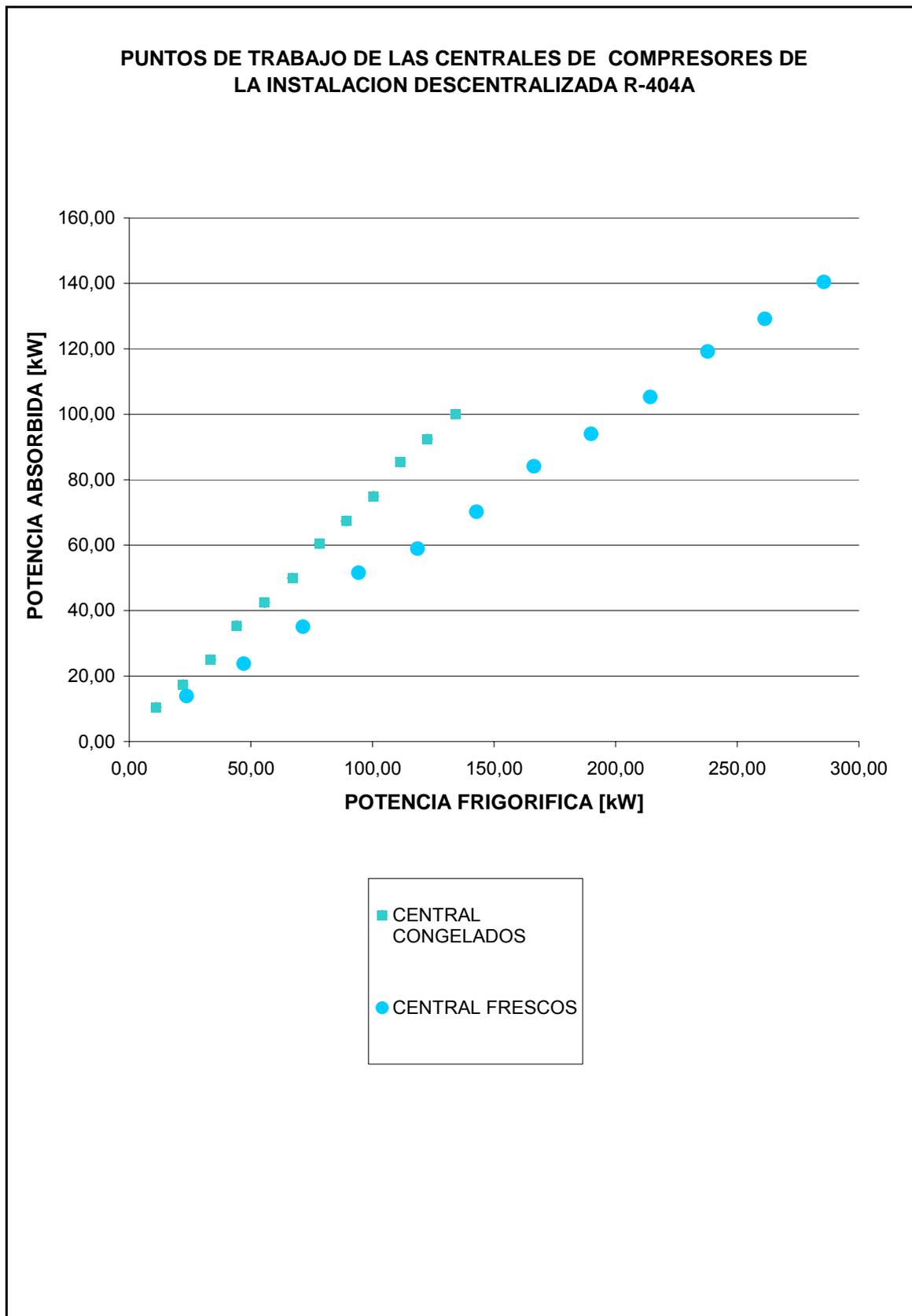


Grafico 8. Etapas de regulación de capacidad de las centrales frigoríficas de pistones.



9.2.2 Instalación centralizada

Independientemente del funcionamiento global de la **instalación centralizada**, se representan en el **gráfico 9** la variación continua de capacidad de sus compresores.

Con las distintas situaciones de trabajo planteadas en las **tablas 40, 41 y 42**, se obtienen los puntos representados en el **gráfico 9**. A partir de éstos se obtienen las curvas que relaciona la potencia frigorífica y la potencia absorbida en las siguientes situaciones:

- Compresor de baja en ciclo condicionado (alguna cámara conserva frescos).
- Compresor de baja en ciclo de máxima eficiencia (todas cámaras conservan congelados).
- Compresor de alta en ciclo condicionado.
- Compresor de alta en ciclo de máxima eficiencia.

Lo que se aprecia en el **gráfico 9** es que la regulación de capacidad de los compresores es lineal ya que se dispone de un control de capacidad continuo. Esto permite ajustar la potencia del equipo frigorífico a la demanda de las cámaras en cada momento.

INSTALACION CENTRALIZADA R-717					
COMPRESOR DE BAJA CICLO			COMPRESOR DE BAJA		
CAPACIDAD	POTENCIA FRIGORIFICA [kW]	POTENCIA ABSORBIDA [kW]	CAPACIDAD	POTENCIA FRIGORIFICA [kW]	POTENCIA ABSORBIDA [kW]
100%	569,0	94,6	100%	549,0	120,8
93%	530,0	90,3	97%	530,0	118,3
87%	495,0	86,0	93%	511,0	115,5
62%	349,8	65,8	64%	349,8	87,2
31%	174,9	42,5	27%	150,6	55,1
21%	117,0	37,0	21%	113,0	51,1
MIN	114,0	36,3	MIN	110,0	49,9
COMPRESOR DE ALTA			COMPRESOR DE ALTA		
CAPACIDAD	POTENCIA FRIGORIFICA [kW]	POTENCIA ABSORBIDA [kW]	CAPACIDAD	POTENCIA FRIGORIFICA [kW]	POTENCIA ABSORBIDA [kW]
100%	1161,0	322,0	100%	1595,0	336,0
92%	1070,0	306,0	80%	1272,0	286,0
84%	972,0	287,0	53%	839,5	208,0
61%	706,2	225,0	44%	700,0	185,0
34%	400,0	169,0	28%	450,0	151,0
22%	251,4	152,0	26%	419,8	147,0
MIN	232,0	150,0	MIN	319,0	137,0

Tabla 44. Puntos de trabajo de los compresores de tornillo de regulación continua en los distintos modos de trabajo de la instalación centralizada.



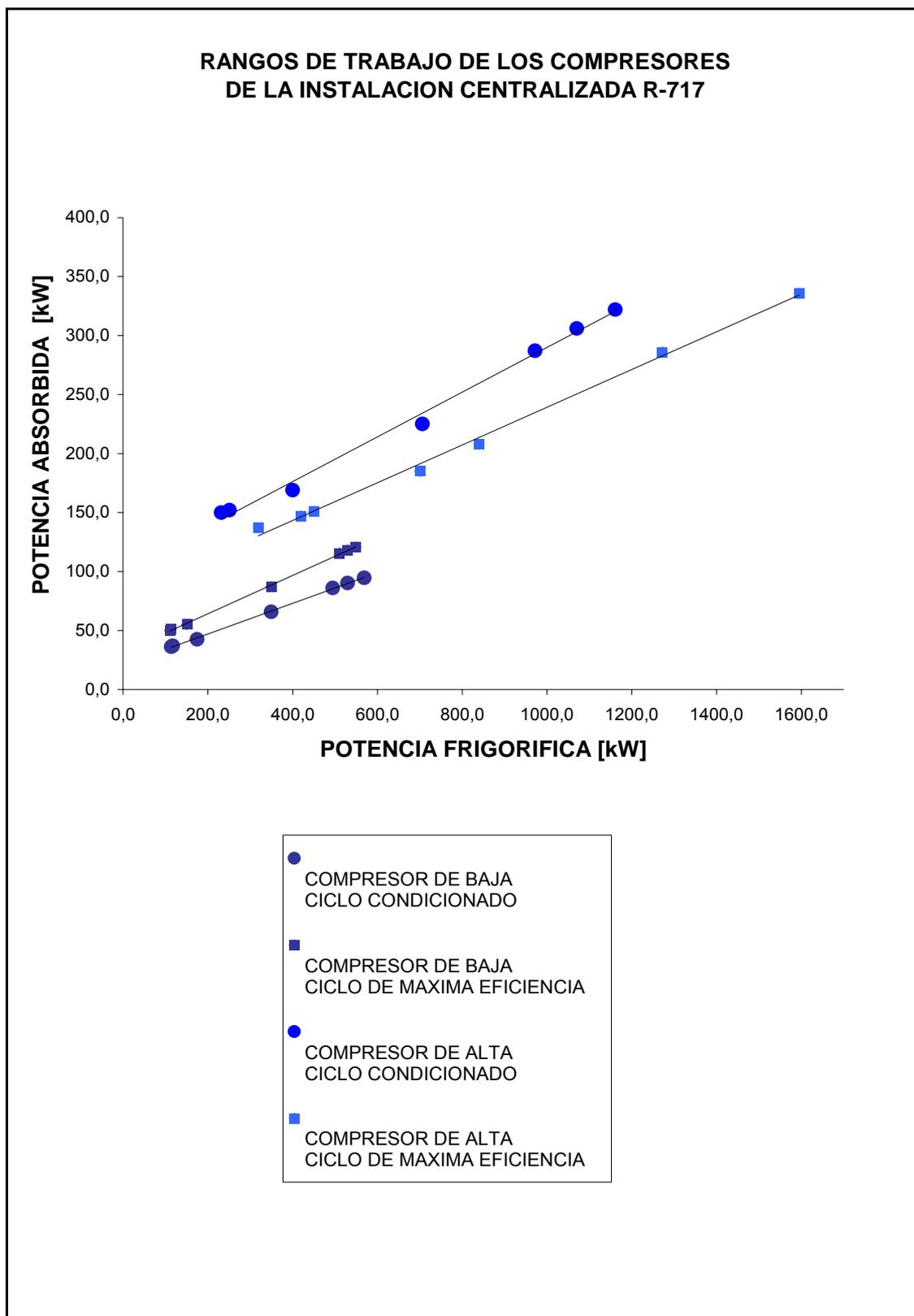


Grafico 9. Potencia frigorífica y absorbida de los compresores de tornillo con regulación de capacidad continua en los distintos modos de trabajo de la instalación centralizada.



9.3 Resumen de los presupuestos de ambas instalaciones

INSTALACIÓN DESCENTRALIZADA		CANTIDAD	PRECIO UNITARIO [€]	PRECIO TOTAL [€]
CAMARAS DE CONGELADOS				
	CENTRAL FRIGORIFICA CBI-4-402	4	36.674,00 €	146.696,00 €
	4 EVAPORADORES ECO ICE 53D10 bv	4	30.232,00 €	120.928,00 €
	CONDENSADOR ECO ACE 83E4-DV	4	16.483,00 €	65.932,00 €
	ACCESORIOS	4	16.834,07 €	67.336,28 €
	TUBERÍA Y ACCESORIO DE COBRE	4	1.366,97 €	5.467,88 €
CAMARAS BITEMPERAS				
	CENTRAL FRIGORIFICA CBI-4-402	4	36.674,00 €	146.696,00 €
	4 EVAPORADORES ECO ICE 53D10	4	30.232,00 €	120.928,00 €
	CONDENSADOR ECO ACE 812E3-DV	4	30.018,00 €	120.072,00 €
	ACCESORIOS	4	21.187,31 €	84.749,24 €
	TUBERÍA Y ACCESORIO DE COBRE	4	1.440,53 €	5.762,12 €
	SCADA VISUALIZACION Y MANDO	1	6.200,00 €	6.200,00 €
	MONTAJE DE LA INSTALACION	1	95.750,00 €	95.750,00 €
PRECIO TOTAL INSTALACIÓN DESCENTRALIZADA				986.517,52 €

Tabla 45. Presupuesto de la instalación descentralizada R-404A.

INSTALACIÓN CENTRALIZADA		CANTIDAD	PRECIO UNITARIO [€]	PRECIO TOTAL [€]
	UNIDADES COMPRESORAS DE BAJA	2	79.250,00 €	158.500,00 €
	UNIDADES COMPRESORAS DE ALTA	2	86.750,00 €	173.500,00 €
	ACCESORIOS UNIDADES COMPRESORAS	1	42.248,12 €	42.248,12 €
	SEPARADOR DE BAJA	1	38.550,00 €	38.550,00 €
	ACCESORIOS	1	6.046,20 €	6.046,20 €
	SEPARADOR INTERMEDIO	1	44.980,00 €	44.980,00 €
	ACCESORIOS	1	6.417,96 €	6.417,96 €
	RECIPIENTE DE LIQUIDO DE ALTA	1	6.850,00 €	6.850,00 €
	ACCESORIOS	1	2.094,00 €	2.094,00 €
	CONDENSADORES	4	25.780,00 €	103.120,00 €
	ACCESORIOS	1	1.792,00 €	1.792,00 €
	EVAPORADORES CONGELADOS	12	8.350,00 €	100.200,00 €
	ACCESORIOS	1	26.062,80 €	26.062,80 €
	EVAPORADORES FRESCOS	12	8.350,00 €	100.200,00 €
	ACCESORIOS	1	35.017,92 €	56.066,40 €
	TUBERÍA Y ACCESORIO DE ACERO	1	86.274,00 €	34.509,60 €
	INSTALACION ELECTRICA	1	205.340,00 €	168.875,00 €
	MONTAJE INSTALACION	1	195.000,00 €	195.000,00 €
PRECIO TOTAL INSTALACIÓN CENTRALIZADA				1.265.012,08 €

Tabla 46. Presupuesto de la instalación centralizada R-717.



9.4 Consumos y costes eléctricos

Tarifa base €/ kWh	0,05426	Descuento Tarifa Nocturna	-43%	Tarifa N	0,0309 € / kWh
		Recarggo Tarifa Diurna	0%	Tarifa D	0,0543 € / kWh

Tabla 47. Resumen de la tarifa contratada.

Instalación Descentralizada							(Útiles max. 90%)
	Modo Trabajo	Horas/ día	Potencia Absobida kW	Tarifa	EUR/día	kWh / día	Distribucion Horas Trabajo
100% carga	4 Cámaras Congelados	8	400	N	99	12.186	28%
	4 Cámaras Frescos	8	561,6	N	139		
	4 Cámaras Frescos	8	561,6	D	244		
	8 Cámaras Congelados	8	800	N	198	6.400	8%
66% carga	4 Cámaras Congelados	8	278,56	N	69	8.321	40%
	4 Cámaras Frescos	8	380,8	N	94		
	4 Cámaras Frescos	8	380,8	D	165		
	8 Cámaras Congelados	8	557,12	N	138	4.457	8%
33% carga	4 Cámaras Congelados	8	166,88	N	41	4.888	4%
	4 Cámaras Frescos	8	222,08	N	55		
	4 Cámaras Frescos	8	222,08	D	96		
	8 Cámaras Congelados	8	333,76	N	83	2.670	3%
Consumo Electrico Anual. kWh						2.856.787	
Coste Energía Eléctrica Anual. €					110.081 €		
Instalación Centralizada							(Útiles max. 90%)
	Modo Trabajo	Horas / día	Potencia Absobida kW	Tarifa	EUR/día	kWh/día	Distribucion Horas Trabajo
100% carga	4 Cámaras Congelados	4	699,3	N	87	5.594	28%
	4 Cámaras Frescos			D			
	8 Cámaras Congelados	8	522,3	N	129		
66% carga	4 Cámaras Congelados	4	515,8	N	64	6.976	40%
	4 Cámaras Frescos			D			
	8 Cámaras Congelados	8	382,4	N	95		
33% carga	4 Cámaras Congelados	4	388,96	N	48	3.112	4%
	4 Cámaras Frescos			D			
	8 Cámaras Congelados	8	234,2	N	58		
Consumo Electrico Anual. kWh						1.437.130	
Coste Energía Eléctrica Anual. €					58.702 €		

Tabla 48. Consumo eléctrico anual y coste de la energía eléctrica de cada instalación.



Modo de Trabajo		Situación Media	Situaciones más Probables					
100% Carga	4 C. Congelados + 4 Frescos	28%	30%	25%	15%	25%	30%	45%
	8 Congelados	7,5%	0%	25%	15%	5%	0%	0%
66% Carga	4 C. Congelados + 4 Frescos	40,0%	60%	15%	25%	45%	50%	45%
	8 Congelados	7,5%	0%	15%	25%	5%	0%	0%
33% Carga	4 C. Congelados + 4 Frescos	4,2%	0%	5%	5%	5%	10%	0%
	8 Congelados	2,5%	0%	5%	5%	5%	0%	0%
Diferencia Consumo Electrico €/año		51.379 €	60.091 €	40.754 €	36.512 €	50.879 €	56.712 €	65.059 €
	Centralizada	58.702 €	64.584 €	51.816 €	48.270 €	58.174 €	63.007 €	68.008 €
	Descentralizada	110.081 €	124.675 €	92.569 €	84.782 €	109.053 €	119.718 €	133.066 €
Diferencia Coste Inicial Instalacion.		267.474 €						
	Coste Instalación Centralizada	1.265.012 €						
	Coste Instalación Descentralizada	986.517 €						
Periodo Amortización de la Diferencia en Años		5,42	4,6	6,8	7,6	5,5	4,9	4,3

Tabla 49. Comparativa del coste inicial de las instalaciones y del consumo eléctrico anual.

En las tablas anteriores, a partir del supuesto de consumos de potencia anuales realizado, y la tarifa eléctrica que se encuentra en **el apartado B.5 del Anexo B**, se deduce que los consumos y costes eléctricos anuales de la instalación centralizada son del orden de la mitad.

La diferencia de coste inicial, que es mayor en el caso de la instalación centralizada, se amortizaría en unos cinco años y medio, solo teniendo en cuenta la diferencia de potencia eléctrica consumida.





Conclusiones

Con el presente proyecto se han hecho patentes las ventajas de un ciclo frigorífico compuesto, basado en un booster de inyección total con sobrealimentación de amoníaco líquido mediante bombeo, con respecto a uno basado en un ciclo simple, de una etapa con expansión seca de R-404A.

Mejorando el ciclo frigorífico y centralizando la producción de potencia se puede ahorrar hasta el 50% de la potencia absorbida.

Con respecto al rendimiento, se puede decir que el consumo energético de la instalación centralizada de amoníaco es del orden de la mitad del consumo de la instalación descentralizada de R-404A; esto se debe a los siguientes factores:

La regulación continua de los compresores de tornillo de la instalación centralizada, permiten adaptar la capacidad del compresor a la demanda frigorífica de las cámaras; en cambio los compresores semi-herméticos de la instalación descentralizada solo disponen de regulación escalonada, consumiendo más en los puntos intermedios.

El uso de condensadores evaporativos en la instalación centralizada hace que la temperatura de condensación sea menor dando una relación de compresión menor y consecuentemente la potencia absorbida por los compresores es más pequeña.

Las dos etapas de compresión utilizadas en el ciclo booster, permiten y enfrían los gases de descarga de los compresores de baja antes de ser aspirados por los compresores de alta, reduciendo así la potencia absorbida por los compresores de tornillo y evitando el problema de las elevadas temperaturas de descarga del amoníaco.

El uso de separadores de aspiración por bombeo en la instalación centralizada, permite alimentar a los evaporadores con el 100% de líquido aumentando la potencia frigorífica. Sobrealimentar los evaporadores aumenta el coeficiente de intercambio térmico y aumenta también la superficie útil de éstos. Esto permite el uso de evaporadores menores con respecto a la instalación descentralizada que emplea la expansión seca.

Con respecto a la disponibilidad de las instalaciones, se ha evitado que en la instalación centralizada sea menor disponiendo dos compresores por etapa y haciendo que cada uno pueda realizar el trabajo sin el otro invirtiendo el doble de horas. Además, uno de ellos tiene la posibilidad de funcionar en ambas etapas de compresión.



El mantenimiento de la instalación centralizada es menos frecuente que el de la descentralizada debido a que los compresores de tornillo disponen de menos partes móviles.

Generalmente se dispone de personal propio de mantenimiento, para el cual se debe realizar una inversión inicial para su formación que en el futuro implica una disponibilidad total de éstos. También el personal encargado de la instalación centralizada debe estar más cualificado. Los operarios para el manejo de una planta de amoníaco deben tener mayor formación.

La potencia instalada es la misma en ambas instalaciones, pero hay que tener en cuenta que en la instalación centralizada, según las previsiones realizadas, uno de los cuatro compresores, uno de alta o uno de baja, no funciona normalmente. Además en la instalación centralizada se ha sobredimensionado el recipiente de líquido para simplificar futuras ampliaciones. Estos extras pueden parecer innecesarios pero solo suponen un 8% del precio total de la inversión inicial y permiten evitar que se estropee el género en caso de avería y ahorros considerables en el caso de la ampliación de la planta.

Con respecto al medioambiente el amoníaco no tiene efecto invernadero y en cambio el R-404A sí, y muy elevado.

Además, aunque en ambas instalaciones los condensadores sean de bajo nivel de ruido, en el caso de la instalación centralizada se dispone de muchos menos ventiladores, así que el nivel de ruido global es menor.

El ahorro energético de una instalación centralizada basada en un booster de inyección total permite amortizar el coste adicional de la inversión inicial con respecto a la instalación descentralizada en un máximo de seis años. Si además se tienen en cuenta los extras aplicados a la instalación centralizada no cabe duda que en una instalación de estas dimensiones es mucho mejor un planteamiento como el realizado para la instalación de amoníaco.



Bibliografía

9.5 Referencias bibliográficas

- [1] ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, *Refrigeration Systems and Applications (S.I. edition.)*. Spanish edition:1990. Capítulo 26.
- [2] ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, *Refrigeration Systems and Applications (S.I. edition.)*. Atlanta: 2002. Capítulo 4.
- [3] W. POHLMANN, *Manual de técnica frigorífica*, Editorial OMEGA.

9.6 Bibliografía complementaria

- [4] INSTITUTO INTERNACIONAL DEL FRÍO PARÍS, *El amoníaco como refrigerante*, AMV Ediciones.
- [5] UNIVERSIDAD DE CORDOBA, *Ingeniería del frío: Teoría y Practica*, AMV Ediciones.
- [6] AENOR, Recopilación de normas UNE. *Calefacción y climatización. Instalación, Diseño y cálculo*. Ingeniería mecánica. Tomo 8.
- [7] AENOR, Recopilación de normas UNE. *Calefacción y climatización. Equipos de Climatización e Intercambiadores de calor*. Ingeniería mecánica. Tomo 9.
- [8] REGLAMENTO DE SEGURIDAD PARA PLANTAS E INSTALACIONES FRIGORIFICAS. Real Decreto 3099/1977, de 8 de septiembre, (Industria y energía).
- [9] Catálogos de TEFRINCA. Condensadores evaporativos. Evaporadores inundados. Calderería varia.
- [10] Catálogo HANSEN. Válvulas para el amoníaco.
- [11] Catálogo RFF. Válvulas para el amoníaco.
- [12] Catálogo AERZENER. Compresores de tornillo.
- [13] Catálogo PECOMARK. Centrales de compresores semi-herméticos.



- [14] www.totaline.es.
- [15] www.dicostock.es
- [16] www.pecomark.es
- [17] www.aerzener.com
- [18] www.bitzer.com

Programas de cálculo utilizados:

Programa de Selección RFF France. Selección de válvulas de la marca “Le Robinet Frigorifique Français”

Programa de Selección AERZENER 2002-2005. Selección de compresores de tornillo.

Programa de Selección BITZER, versión 4.2.2. Selección de compresores.

Programa CoolPack, para propiedades de refrigerantes, y selección de tuberías para el amoníaco.

Programa Solkane, para propiedades de refrigerantes, y selección de tuberías para el R404A.

