

PROYECTO FIN DE CARRERA



# Cálculo y diseño de una instalación de conservación de fruta

DOCUMENTO 1/3 MEMORIA DESCRIPTIVA

**Autor:** Jaume Farré Mòdol

**Director:** Jesús Guallar Paracuellos

CENTRO POLITÉCNICO SUPERIOR

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

Ingeniería Industrial

Departamento de Ingeniería Mecánica

Área de máquinas y motores térmicos

2010/2011

# Cálculo y diseño de una instalación de conservación de fruta

## RESUMEN

El objeto de este proyecto es la implantación de un sistema de producción de frío para una central hortofrutícola dedicada a la conservación de fruta de peras y manzanas.

Se determina y especifica las condiciones de conservación en lo que respecta a: tiempo, temperatura y tolerancia, y las composiciones químicas de la atmósfera de conservación o atmósfera controlada. Para realizar el diseño de los componentes de la instalación, se realiza un análisis de las diferentes alternativas existentes.

Este sistema de producción de frío se basa en un sistema indirecto, que utiliza amoníaco en un sistema de compresión simple y un refrigerante secundario que absorbe el calor del amoníaco cuando se evapora en un intercambiador de calor, para transportarlo a las cámaras frigoríficas donde estará el producto a conservar.

En el proyecto se definen todas las partes y elementos de la instalación, así como el tipo y número de compresores, condensadores, intercambiadores, bombas, tubos, válvulas, etc, realizando la selección de equipos que configuran la instalación en cuestión.

Se analiza finalmente la gestión térmica de las cámaras en función de las diferentes condiciones interiores y exteriores.



## ÍNDICE GENERAL

<b>1</b>	<b>MEMORIA DESCRIPTIVA .....</b>	<b>3</b>
1.1	Introducción .....	4
1.1.1	Instalaciones frigoríficas en las industrias agroalimentarias .....	4
1.1.2	Cámaras frigoríficas.....	5
1.1.3	Atmósfera controlada.....	6
1.2	Antecedentes .....	8
1.3	Objetivos.....	9
1.4	Análisis de requerimientos.....	11
1.5	Descripción de la instalación.....	15
1.5.1	Ingeniería del proceso de producción .....	15
1.5.2	Descripción de la central.....	18
1.5.3	Descripción de producción de frío.....	20
1.6	Conclusiones .....	35
1.7	Bibliografía .....	37
1.8	Nomenclatura.....	41



## **ÍNDICE TABLAS**

Tabla 1-1 Nivel de Oxígeno presente en la cámara según el tipo de atmósfera controlada. ....	7
Tabla 1-2 Volumen de fruta a tratar en la planta. ....	11
Tabla 1-3 Volumen necesario para el almacenamiento de fruta. ....	12
Tabla 1-4 Cantidad de fruta que entra en la central. ....	13
Tabla 1-5 Dimensiones de las cámaras de fruta. ....	14
Tabla 1-6 Volumen de las distintas cámaras de la central hortofrutícola. ....	15
Tabla 1-7 Necesidades de superficie. ....	18
Tabla 1-8 Condiciones de funcionamiento de la instalación. ....	21
Tabla 1-9 Características del reductor de Oxígeno. ....	30

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1-1 Cámara hecha con panel sándwich. ....	6
Figura 1-2 Distribución cámaras frigoríficas. ....	14
Figura 1-3 Diagrama de flujo de la instalación. ....	20



# 1 MEMORIA DESCRIPTIVA



## 1.1 Introducción

### 1.1.1 Instalaciones frigoríficas en las industrias agroalimentarias

Se entiende como industria agro-alimentaria aquella que se dedica a la conservación y/o tratamiento de uno o más productos alimentarios. Dentro de este abanico tan amplio, hay que destacar la conservación de materias primas vegetales que se lleva a cabo en las centrales hortofrutícolas por su gran importancia dentro del sector agroalimentario del estado español.

Estas industrias tienen un gran peso dentro de la provincia de Lleida dada la elevada producción de fruta, especialmente, manzanas y peras, que se destinan mayoritariamente a la larga conservación en almacenes refrigerados.

En la concepción y diseño de una central hortofrutícola deben abordarse dos bloques básicos:

- A. Almacén e instalaciones para la manipulación del producto.
- B. Planta frigorífica para la conservación del producto, que consta de:
  - Cámaras frigoríficas.
  - Instalación frigorífica y otros.

El proyecto en estudio se ha basado principalmente en el bloque B.

En 1991 se realizaron una serie de auditorias energéticas en toda Cataluña, en especial de los 31 establecimientos que pertenecen al sector "almacenes frigoríficos" con consumos eléctricos significativos. Se propusieron varias mejoras energéticas a fin incorporar sistemas de regulación y control en las instalaciones frigoríficas como:

- Automatización y control por ordenador.
- Control del sistema de descarche del evaporador.



- Instalación de condensadores evaporativos.
- Instalación de humidificadores electrónicos.

Cabe mencionar que estas mejoras suponen un ahorro importante y unos periodos de retorno aceptables. Por lo tanto, se ha creído oportuno tenerlas en cuenta en el presente proyecto a fin de utilizar tecnologías avanzadas en ahorro y eficiencia.

### **1.1.2 Cámaras frigoríficas**

Las cámaras frigoríficas son el espacio destinado para la conservación de la fruta. Sus dimensiones suelen adaptarse a las exigencias de las dimensiones de los envases (cajas, palots, etc.), de una buena ventilación, de espacios libres para la circulación del aire y de altura para acopio mediante carretillas. Según ello, las dimensiones en planta suelen variar entre 15 y 25 metros y la altura suele ser de 7, 8 y hasta 9 metros.

Las paredes de las cámaras, así como el suelo y el techo pueden estar compuestos por diversos materiales, según de si las cámaras son de construcción fija o modular. Las cámaras de construcción fija constan de un aislamiento tradicional formado por: un muro exterior, pantalla anti-vapor, aislante y revestimiento interior. Este sistema es cada vez menos frecuente y está siendo sustituido por el aislamiento integrado que esta formado por: un núcleo central que puede ser de poliestireno o poliuretano y un revestimiento metálico a ambos lados.

Este sistema se denomina panel "sándwich" y sustituye en un único elemento las diferentes partes y funciones del aislamiento tradicional.

En la Figura 1.1 se muestra un ejemplo de cámara frigorífica.



**Figura 1-1 Cámara hecha con panel sándwich.**

### **1.1.3 *Atmósfera controlada***

La creación de la atmósfera controlada en una cámara frigorífica consiste principalmente en modificar la composición gaseosa sin modificar la temperatura, a fin de reducir el metabolismo del fruto y mantener el máximo tiempo posible el producto almacenado.

La técnica de la atmósfera controlada junto con la aplicación del frío, ralentizan de manera considerable las reacciones bioquímicas de los frutos, reduciendo las pérdidas por podredumbres y retrasando la maduración, de forma que el fruto queda en forma latente, pero con la posibilidad de una reactivación vegetativa una vez que este entre en contacto con la atmósfera exterior.

Los niveles de  $O_2$  y  $CO_2$  generalmente recomendados para la conservación de manzanas y peras varía según el tipo pero suele estar entre un 3-4% y entre 2 y 5% respectivamente. En los últimos años se ha generalizado la utilización de atmósferas controladas con un nivel muy bajo de oxígeno. En la Tabla 1-1 se pueden ver las diferentes técnicas de conservación en atmósfera controlada según el nivel de oxígeno:





Tipo de técnica	Nivel de Oxígeno
Atmósfera controlada estándar	4.0% > O <sub>2</sub> > 3.0%
Bajo contenido en Oxígeno (Low oxigen, LO)	3.0% > O <sub>2</sub> > 2.0%
Muy bajo contenido en oxígeno (Ultra Low oxigeno, ULO)	1.9% > O <sub>2</sub> > 1.2%
Hyper bajo contenido en oxígeno (Hyper Low oxigeno, HLO)	1.1% > O <sub>2</sub> > 0.8%

**Tabla 1-1 Nivel de Oxígeno presente en la cámara según el tipo de atmósfera controlada.**

A nivel comercial cada vez son más las industrias hortofrutícolas que aplican las nuevas técnicas LO y ULO. La técnica HLO supone un gran riesgo por hipoxia de los frutos. En nuestra instalación utilizaremos la técnica ULO.

Las principales ventajas conseguidas con las atmósferas bajas en oxígeno respecto a la atmósfera controlada normal son:

- Una mayor duración del almacenamiento y posterior vida útil del fruto.
- Una mayor retención de la calidad del fruto a lo largo del almacenamiento ya la salida del almacén.
- Una reducción de ciertas alteraciones fisiológicas de los productos almacenados en frío.

Los equipos y aparatos que forman parte de la instalación de atmósfera controlada son los siguientes:

- Reductor de oxígeno
- Reductor de anhídrido carbónico
- Analizador de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>
- Globos de equilibrado de presión
- Válvula de seguridad



## 1.2 Antecedentes

La central hortofrutícola proyectada nace de la necesidad de espacios para la conservación de fruta en la comarca del Segriá debido a la gran producción de fruta que se genera en la zona y de la creciente necesidad de conservar la calidad del producto y de la producción de frío, sobre todo mediante tecnologías más respetuosas con el medio ambiente, con el mismo producto a conservar y que sigan las directrices del Protocolo de Montreal.

Hasta ahora, la mayoría de empresas dedicadas a esta actividad disponían de un sistema de producción de frío por compresión de algún refrigerante de seguridad media, como el amoníaco. Esto implica tener grandes longitudes de tubo de amoníaco para evaporar éste en el interior del evaporador situado en la cámara lo que supone un gran riesgo en caso de fuga, ya que si ésta se produjera en la cámara todo el producto se estropearía. Por lo tanto, se ha intentado buscar otras alternativas más seguras en este aspecto y que puedan garantizar la demanda de frío, siendo viables económicamente.

Para saber la necesidad total de conservación de fruta se ha partido de datos reales de una central hortofrutícola ubicada en el término municipal de Montoliu de Lleida, en la provincia de Lleida.



### 1.3 Objetivos

El objeto de este proyecto es la implantación de un sistema de producción de frío para una central hortofrutícola dedicada a la conservación de fruta, en especial peras y manzanas.

Teniendo en cuenta que la fruta permanece mucho tiempo fuera del árbol antes de ser comercializada, hay que crear un entorno “ideal” donde conseguir un estado de letargo que ayude a retardar su envejecimiento conservando al máximo sus cualidades tanto físicas como químicas.

Para llegar ha este estado ideal de conservación de la fruta se requiere un sistema de atmósfera controlada. En este sistema se debe controlar principalmente el grado de Oxígeno en el ambiente, la temperatura, el Dióxido de Carbono que se genera, la presión y la humedad.

En este proyecto se analiza y se describe cada uno de los diferentes factores que influyen en la conservación de la fruta, detallados anteriormente, y se escoge el mejor sistema que se adapta a las necesidades dentro de las alternativas que existen hoy en día en el mercado. Debido al buen resultado y al alto coeficiente de conservación que se consigue, se ha escogido el sistema de atmósfera controlada para realizar la conservación de la fruta en la central hortofrutícola.

Este sistema de atmósfera controlada, consigue un alto rendimiento debido a la buena parametrización de los factores que ayudan al deterioro de la fruta en unas condiciones normales.

La instalación de producción de frío, encargada de mantener el interior de las distintas cámaras de almacenamiento de fruta a una temperatura baja, se basará en un sistema indirecto, que utilizará amoníaco en un sistema de compresión simple y un refrigerante secundario que absorberá el calor del



amoníaco cuando se evapora en un intercambiador de calor, para transportarlo a las cámaras frigoríficas donde estará el producto a conservar.

En el proyecto se definen todas las partes y elementos de la instalación lo más exactas posibles, así como el tipo y número de compresores, condensador, intercambiador, bombas, tubos, válvulas, etc.

No son objetivos de este proyecto el diseño de la estructura y obra civil de la central hortofrutícola, el diseño del circuito eléctrico, la iluminación, la red de distribución de agua caliente sanitaria, la red de evacuación de aguas residuales, la climatización y diseño de las oficinas ni almacenes ni vestidores ni el diseño de la cadena de tratamiento y manipulación de la fruta.



## 1.4 Análisis de requerimientos

El principal requerimiento de la central frutícola es poder almacenar una cantidad determinada de peras y manzanas, provenientes de los socios y clientes a que la central hortofrutícola da servicio, a fin de poderlas conservar y vender en el momento idóneo.

Así pues, el primero que se necesita saber es la cantidad aproximada de fruta que se deberá conservar para poder determinar el volumen necesario que se deberá destinar al almacenamiento.

La cantidad de fruta que se deberá almacenar en las cámaras frigoríficas se ha estimado a partir de datos reales del verano de 2005 de una cooperativa del sector dedicada a la conservación y tratamiento de fruta situada a Montoliu de Lleida, provincia de Lleida, y que se muestra a continuación en la Tabla 1-2:

Variedad		Total acumulado en un año (kg)
Pera	Limonera	3.084.081
	Williams	2.709.844
	Barlet	1.767.830
	Blanquilla	500.847
	Conference	1.702.315
	<b>Total peras</b>	<b>9.764.917</b>
Manzana	Golden	515.368
	Granny Smith	157.308
	Starking	25.200
	Top Red	11.856
	Early Red One	58.322
	<b>Total manzanas</b>	<b>768.054</b>
<b>TOTAL</b>		<b>10.532.971</b>

Tabla 1-2 Volumen de fruta a tratar en la planta.



Hay un total de 10.532.971 kg de fruta entre manzanas y peras para almacenar. Con este dato se tiene que encontrar el volumen que se deberá destinar a conservar esta fruta mediante el valor de la densidad de carga (numero de kilos por unidad de volumen), que será de 290 kg/m<sup>3</sup> para las peras y de 265 kg/m<sup>3</sup> para las manzanas. Con estos valores optimizaremos al máximo el espacio disponible. Tabla 1-3.

Fruta	Cantidad (kg)	Densidad de carga (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Pera	9.764.917	290	33.672,127
Manzana	768.054	265	2.898,316
Volumen total			36.570,443

**Tabla 1-3 Volumen necesario para el almacenamiento de fruta.**

Con los datos de kg totales de fruta a almacenar y la densidad de carga, se calcula el volumen total necesario que es de 36.570,443 m<sup>3</sup>.

Cada cámara tiene unas dimensiones estándar:

- Altura: 8 m
- Anchura: 15 m
- Longitud: 19 m

Para determinar el número de cámaras frigoríficas que serán necesarias se divide el volumen total por el volumen de una cámara. De esta forma se obtiene un total estimado de 17 cámaras frigoríficas.

Resumiendo, obtenemos:

Superficie total de cámaras frigoríficas (AC): 4.845 m<sup>2</sup>.

Volumen total de cámaras frigoríficas (AC): 38.760 m<sup>3</sup>.



Debemos tener en cuenta las condiciones de almacenaje de cada clase de manzana y de pera. Este aspecto se tiene que tener muy presente porque hay diferentes tipos de manzanas que pueden aguantar unas condiciones determinadas de temperatura y atmósfera y otras no. Esto nos provoca que en una misma cámara se puedan conservar dos clases del mismo fruto, y optimizar de esta forma el volumen de las cámaras. Deberemos hacer una separación por variedades a la hora de almacenar las peras y las manzanas.

Por otra parte, debemos tener en cuenta que la fruta que llega a la central se encuentra a temperatura ambiente. Para poder conservarla a las cámaras de atmósfera controlada, sin que en ésta se produzca un cambio brusco de las condiciones creadas por lo que temperatura se refiere, deberá pasar por un proceso de refrigeración. Por esta razón se han proyectado las cámaras de prerefrigeración. En las cámaras no se podrán mezclar diferentes clases de producto, por lo que las peras y las manzanas nunca se almacenarán en la misma cámara. Así pues, tenemos que tener en cuenta que la entrada máxima de producto será de 140 toneladas de fruta de las cuales 110 son de pera y las 30 restantes son de manzana. La mitad de la entrada diaria se produce al final de la mañana (hasta la 13:00), y la otra mitad llega a la central al final de la tarde (antes de las 21:00) (Datos de la cooperativa de Montoliu de Lleida).

El dimensionado de las cámaras de prerefrigeración se realiza de la misma forma que las cámaras de atmósfera controlada, se toma la densidad de carga de cada uno de los productos almacenar y la cantidad de fruta que entra en la central según se ha descrito:

Fruta	Cantidad (kg)	Densidad de carga (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Pera	110.000	290	379,31
Manzana	30.000	265	113,20

**Tabla 1-4 Cantidad de fruta que entra en la central.**



1.- MEMORIA DESCRIPTIVA

Cámaras de prerrefrigeración	Altura (m)	Anchura (m)	Longitud (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )
Peras	4	10	10	400
Manzanas	4	5,5	5,5	121

Tabla 1-5 Dimensiones de las cámaras de fruta.

De esta forma se obtiene las dimensiones de las cámaras de atmósfera controlada y de prerrefrigeración, que serán el punto de partida para poder dimensionar los distintos equipos que componen la instalación y cubrir de esta forma el volumen necesario para almacenar la fruta.

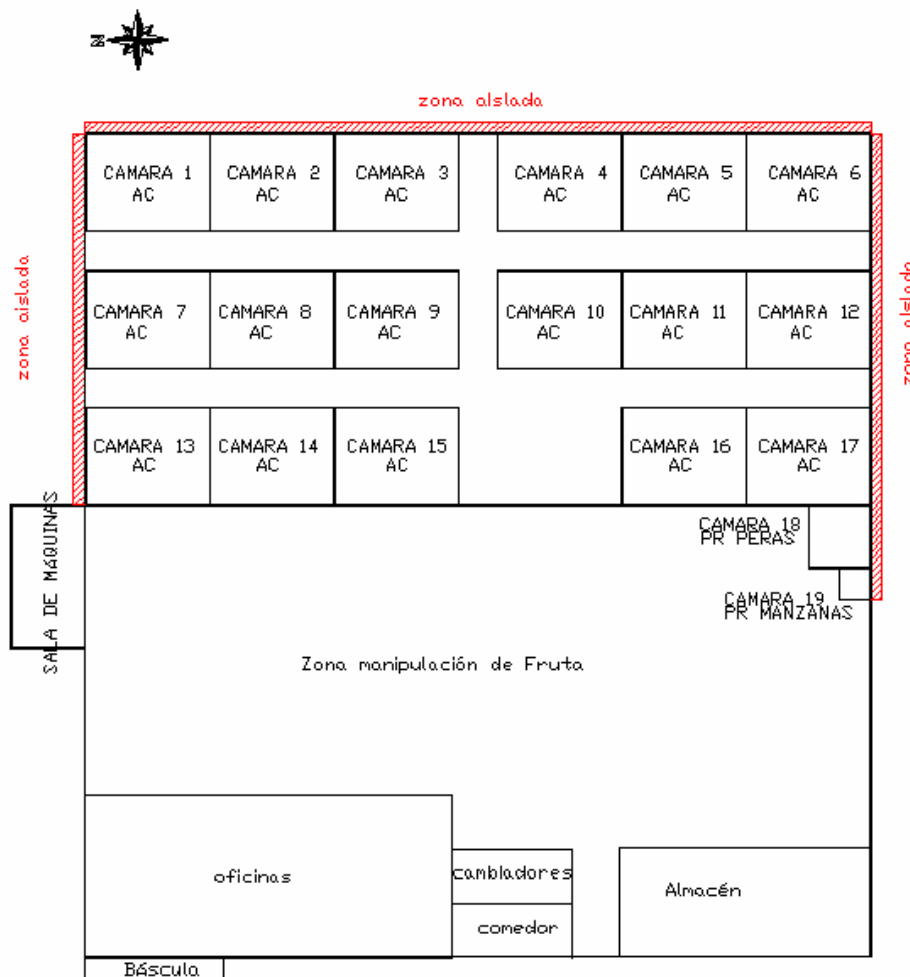


Figura 1-2 Distribución cámaras frigoríficas.





## 1.5 Descripción de la instalación

### 1.5.1 Ingeniería del proceso de producción

El presente proyecto, pretende definir, detallar y especificar las características para poder llevar a cabo los servicios siguientes, dentro de la central hortofrutícola:

Enfriamiento del producto mediante cámaras de prerrefrigeración.

Conservación del producto en cámaras de atmósfera controlada.

El volumen disponible en cada una de las cámaras son las que se pueden ver en la Tabla 1-6.

Tipo de cámara	Volumen (m <sup>3</sup> )
Atmósfera controlada	2.280
Prerrefrigeración	521

**Tabla 1-6 Volumen de las distintas cámaras de la central hortofrutícola.**

Para poder utilizar el volumen de las cámaras frigoríficas, el producto tiene que llegar a la central envasado, con los tratamientos correspondientes de la fruta ya realizados, ya que la central ofrece solamente los servicios de conservación y enfriamiento del producto.

En las cámaras de refrigeración solamente puede entrar el producto cuando estas estén vacías, ya que de otra forma se produciría un salto térmico del producto que estuviese almacenado y sería nocivo. También tenemos que tener en cuenta que dentro de las cámaras no pueden estar dos productos incompatibles.



### ***Recepción del producto***

El producto llega a la central mediante camiones o tractores. Si llega en camiones refrigerados, el producto ya se encuentra a su temperatura de conservación, ya que los camiones llevan incorporado un sistema frigorífico para mantener el producto a la temperatura óptima.

En el caso que llegue en tractores o camiones normales, el producto entra a la cámara a temperatura ambiente, con lo que se tendrá que llevar a las cámaras de prerrefrigeración.

### ***Pesaje***

Una vez se tenga la carga descargada del vehículo, esta será pesada en una báscula de 60.000 kg de capacidad ubicada en la recepción. Una vez esté pesado se registrará y será llevado a la cámara de prerrefrigeración.

### ***Transporte de la fruta por el interior de la nave.***

Para poder cargar, descargar y desplazar la fruta por el interior de la nave se utilizan carretillas elevadoras. Estas carretillas estarán equipadas con un mástil triple que permite llegar a la altura necesaria en las cámaras. Tendrán una capacidad de carga de 2.000 kg y un sistema de ejes especiales para permitir la máxima maniobrabilidad en espacios reducidos.

### ***Prerrefrigeración***

Esta etapa se realizará en las cámaras de prerrefrigeración. El objetivo de esta etapa es conseguir un enfriamiento rápido del producto. Para conseguirlo hará falta una gran circulación y renovación de aire a baja temperatura.



Se tiene que tener en cuenta que cada producto se comportará de una forma diferente frente al salto térmico, esto provoca que tengamos que realizar un almacenaje selectivo del producto según sus características.

### ***Creación de la atmósfera controlada***

Cuando la cámara este llena, se tendrá que condicionar de forma que llegue a las condiciones de conservación óptimas según la fruta que haya dentro y su clase. Así pues, se tendrá que reducir el contenido de  $O_2$  y  $CO_2$  presente en la mezcla gaseosa en el interior de la cámara, así como reducir la temperatura hasta que sea la óptima de conservación.

### ***Almacenaje***

Durante el almacenaje del producto se tendrán que garantizar unas condiciones de temperatura y humedad. Estas condiciones se medirán por medio de sondas termométricas y medidores de humedad.

Las cámaras de atmósfera controlada dispondrán de otros elementos de control como un medidor automático de  $O_2$  y de  $CO_2$ , y un globo de equilibrado de presión.

### ***Expedición***

Esta fase consiste en vaciar las cámaras y cargar el producto en los camiones frigoríficos. Para poder trasladar la fruta, se utilizarán las carretillas elevadoras, tal y como se ha explicado anteriormente.

### ***Espacios complementarios.***

La nave industrial donde se ubican las cámaras de conservación de fruta, estará formada también por más equipamientos, que en conjunto formarán la totalidad de la nave y cubrirán las diferentes necesidades que se requieren en una instalación de este tipo.

A continuación se detallan los equipamientos de la nave:



Servicios. (Servicio para el personal de la empresa).

Comedor. (Servicio para el personal de la empresa)

Zona almacén. (Acopio de material, herramientas y recambios)

Oficinas. (Gestión administrativa de la producción y gestión de la nave)

Laboratorio. (Control de calidades de la fruta y del proceso)

Sala de máquinas. (Ubicación de los equipos para el funcionamiento de las instalaciones que conforman la nave de conservación de fruta)

#### ***Necesidades de superficie. 4***

Las necesidades de superficie para poder desarrollar la actividad de conservación de fruta es la que se muestra a continuación en la Tabla 1-7

<b>Tipo de Estancia</b>	<b>Superficie (m<sup>2</sup>)</b>
Zona atmósfera controlada	9.750
Prerrefrigeración	182.4
Oficinas y servicios	133
Almacén	300
Sala de máquinas	244

**Tabla 1-7 Necesidades de superficie.**

#### ***1.5.2 Descripción de la central***

Como ya se ha mencionado la central dispondrá de 19 cámaras frigoríficas, de las cuales 17 son de atmósfera controlada y 2 son de prerrefrigeración. Las cámaras de atmósfera controlada se encuentran en la parte este de la central y están aisladas de la parte de mantenimiento de la fruta, sala de máquinas, oficinas, almacenes y vestuarios. Las cámaras de prerrefrigeración están dispuestas de manera que la entrada y salida de



producto no se vea obstaculizada y el tiempo de transporte hacia las cámaras de atmósfera controlada sea lo más reducido posible.

Cada cámara dispone de una puerta. A fin de evitar un posible contacto entre el aislamiento de las cámaras y los palots y mejorar la circulación del aire por el interior de la cámara, se dispondrán unas barras de madera paralelas a los paramentos a 15 cm de distancia, ancladas en el suelo, de longitud igual a la de la pared. Se evitará a toda costa la existencia de puentes térmicos entre el interior y el exterior de la cámara, como pueden ser llaves metálicas, etc. En caso de que se tengan que meter clavos, éstos serán de madera o de plástico. La sala de máquinas es el espacio donde se encuentran los compresores, depósitos, y vanos componentes del circuito de producción de frío. En el techo de la sala de máquinas, por parte exterior, han situados los condensadores. La situación de la sala de máquinas se puede observar en el plano de implantación. Los paramentos de la sala de máquinas estarán compuestos por muros de ladrillo macizo.

En el borde noroeste de la central hay dos plantas de oficinas y la balanza. En la parte sur-oeste se encuentran los vestuarios, almacén y comedor (ver plano nº 3). En el almacén se pueden aparcar las carretillas y traspalets, y en caso necesario, pueden aparcar camiones.

Hay que añadir que toda la vertiente este de la central estará dedicada a la expedición de la fruta, mientras que la vertiente sur será la de recepción del producto. En el terreno situado al norte de la central se apilar todos los palots y palets vacíos.

### 1.5.3 Descripción de producción de frío

Diagrama de flujo de la instalación:

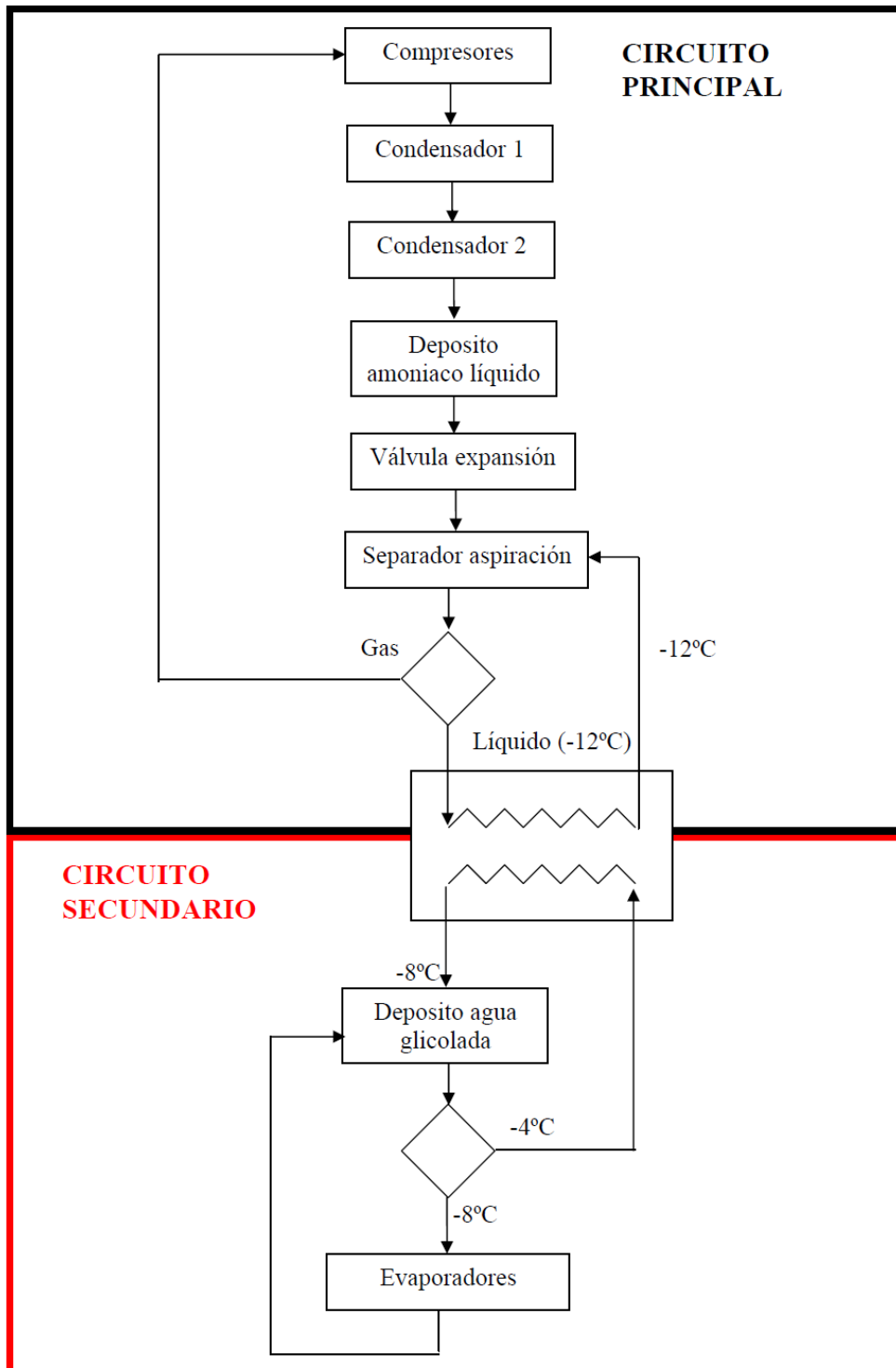


Figura 1-3 Diagrama de flujo de la instalación.



Para describir la instalación de producción de frío de la central hortofrutícola se tienen que distinguir dos circuitos, el principal i el secundario.

### ***Circuito principal***

El circuito primario es el encargado de producir el frío para poder pasar esta energía al circuito secundario. Se trata de un circuito cerrado, es decir, el amoníaco que circula por este circuito no se renueva ni se mezcla con cualquier otro circuito (ver plano 4).

Se trata de un circuito de refrigeración por compresión simple y consta de dos compresores (C-01, C-02), dos condensadores del refrigerante (CO-01, CO-02), un intercambiador, una válvula de expansión (VEM-01), un depósito (DIP-01), un separador de aspiración (SEP-01), así como de las diferentes tuberías por las que circula el amoníaco y los correspondientes elementos de seguridad que requiere el circuito

### ***Compresores (C-01, C-02)***

Compresores	Capacidad frigorífica (W)	Condiciones normales	Condiciones régimen
C-01	564.000		
C-02	433.000		

**Tabla 1-8 Condiciones de funcionamiento de la instalación.**

Este circuito tiene una capacidad frigorífica de 997000 W y cuenta con dos compresores en paralelo. Como se especifica en el apartado 2.2.1 de los cálculos justificativos, un compresor se utilizará cuando la central está en condiciones normales de conservación (564 kW) y el otro comienza cuando sea la época de entrada de fruta y la central esté en régimen (433 kW), que es cuando existe la máxima demanda de frío.



Consta de:

- Separador de aceite.
- Bomba.
- Depósito.
- Refrigerador de aceite.
- Regulador de presión.
- Sistema electrónico de control del compresor.
- Motor eléctrico con acoplamiento.
- Válvula de retención en las líneas de aspiración y descarga (VM 01, VM-02, VM-03, VM-04).
- Presostatos diferenciales de protección, de alta en la descarga (MANA-01, MANA-02), de baja a la aspiración (MANB-01, MANB-02).

Los compresores son de la marca Grasso serie MEDIUM tipo N y M respectivamente con certificación CE-PED.

### **Condensadores (CO-01, CO-02)**

La condensación del refrigerante se realizara mediante dos condensadores del tipo evaporador con una potencia de condensación de 724.400 W cada uno, tomando como temperaturas de condensación 35 °C y de bulbo húmedo 25 °C. Consta de los siguientes elementos auxiliares:

- Envoltorio autoportante.
- Batería de intercambio técnico.
- Bomba centrífuga de recirculación de agua.
- Dispositivo de rocío del agua.
- Separadores de gotas.
- Rejas de entrada de aire.
- Rejas de salida de aire.
- Protección externa.

Los condensadores son de la marca TU modelo CMA 190.





Como elementos de control y regulación de los condensadores, cabe destacar que en la tubería de descarga se encuentra situado un manómetro (MANA-03) que indica la presión a la que circula el amoníaco y transmite la orden de arrancar o parar los ventiladores y las bombas de agua de los condensadores en función de la presión. También se ha instalado un visor de líquido a la salida de la unidad condensadora, que comprobar que la salida de los condensadores amoniaco es líquido saturado.

En la entrada y salida de los condensadores habrá válvulas manuales (VM-05, VM-06, VM-07, VM-08) para poder aislar los condensadores en caso de que fuera necesario, debido a un fallo del equipo, por el mantenimiento periódico o por la sustitución del equipo.

#### ***Depósito de amoníaco (DIP-01)***

El depósito de amoniaco tiene una capacidad de 1800 litros. En este depósito se almacena el amoniaco a presión. El amoníaco pasa del condensador al depósito por el propio peso de este, ya que la unidad condensadora esta situada a una altura superior. En el depósito habrá instalado un manómetro de alta (MANA-04) y un termómetro (TE-01). En la entrada y salida del depósito habrá válvulas manuales (VM-09, VM-11) para poder aislar el depósito en caso de que fuera necesario. En caso de que se tuviera que vaciar el depósito de amoniaco, se instalará un drenaje en la parte inferior de éste. Para cargarlo, se haría hacer la tapa que hay situada en la parte superior.

#### ***Válvula de expansión (VEM-01)***

Se ha escogido una válvula de expansión de tipo manual de la marca CAEN modelo NDE (VR) de acero forjado.



### ***Separador de aspiración (SEP-01)***

El separador de aspiración está puesto justamente después de la válvula de expansión y en su interior hay una mezcla bifásica de amoníaco en fase de evaporación. Este elemento asegura que en los vapores aspirados por el compresor no haya partículas de líquido, que podrían dañar los compresores.

Por la parte inferior, el amoníaco líquido cae por gravedad y hasta el intercambiador de calor (BESC-01) donde se evapora. Por lo tanto, cabe apuntar que en el separador de aspiración hay dos entradas y dos salidas. Una entrada es la del amoníaco proveniente de la válvula de expansión (VEM-01). El caudal está regulado por una válvula de solenoide (VS-01), que actúa según las indicaciones del sensor de nivel que hay en el separador de aspiración, y que indica el nivel de líquido. En caso de que el nivel en el separador sea inferior al óptimo, el sensor envía la señal a la válvula solenoide que deja pasar el amoníaco del depósito hacia la válvula de expansión.

En el separador es necesario mantener siempre un nivel de líquido determinado por el buen funcionamiento del intercambiador y del circuito. La segunda entrada es la de los vapores provenientes del intercambiador de calor. Una salida es la de la tubería de aspiración, y sale de la parte superior del separador con el fin de aspirar sólo vapor, ya que si aspiran líquido hacia el compresor éste se estropearía. La otra salida es la del líquido que cae por la parte inferior del separador de aspiración y pasa hacia el intercambiador de placas a fin de evaporarse.

El separador dispone de un manómetro (MANB-03) y de un termómetro (TE-02) para visualizar la temperatura. En la entrada y la salida del separador habrá válvulas manuales (VM-11, VM-12, VM-13, VM-14).

### ***Intercambiador de calor***

El intercambiador de calor es el encargado de realizar un intercambio de calor entre el circuito primario y el secundario, es decir, entre el amoníaco y el agua glicolada. El amoníaco, a su paso por el intercambiador está



evaporándose, con lo que absorbe el calor del refrigerante secundario, que se enfría.

El intercambiador escogido es un intercambiador de placas, por su gran eficiencia, facilidad de montaje y desmontaje y facilidad para limpiar. Las placas del intercambiador serán de la marca MUELLER modelo AT 129 FF. Estará formado por 121 placas sujetadas y los siguientes elementos accesorios y estructurales:

- Cubierta fija
- Cubierta móvil
- Barra guía placas
- Barra de ensamblado
- Guía placas
- Apoyo final
- Pernos de sujeción
- Conexiones de entrada y salida de los fluidos

En el intercambiador se transfiere un flujo de calor de 1103.5 kW, que corresponde a la demanda térmica de frío cuando la central esta a régimen. El amoníaco entra en el intercambiador a  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  y sale a la misma temperatura, ya que esta evaporándose mientras que el agua glicolada entra a  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  y sale a  $-8^{\circ}\text{C}$ . El caudal másico de amoníaco que circula por el intercambiador de placas es de 1.0124 Kg/s y el de agua glicolada de 60.59 kg/s. En la entrada y la salida del separador habrá válvulas manuales (VM-15, VM-16, VM-17, VM-18) para aislar el intercambiador de placas en caso de que fuera necesario.



### ***Circuito secundario***

El circuito secundario es el que transmite el frío en las cámaras frigoríficas. Por el circuito secundario circula un fluido “frigo transportador” formado por etilenglicol y agua. Este sistema presenta grandes ventajas desde el punto de vista de funcionamiento, ya que nos permite almacenar frío, mantener un régimen de funcionamiento de los compresores estable, una carga de fluido baja y un riesgo de fugas muy bajo. También presenta grandes ventajas en cuanto a la regulación de las condiciones ambientales de la cámara con la temperatura y la humedad, lo que supone menores pérdidas de peso en los productos almacenados lo que al mismo tiempo implica beneficios más elevados frente de una instalación convencional de expansión directa de amoniaco.

El circuito secundario es también un circuito cerrado y consta de un depósito para almacenar y acumular el refrigerante, un tramo de ida y de vuelta del intercambiador y las diferentes tuberías que van hacia las cámaras así como los diferentes evaporadores, válvulas reguladoras y bombas de circulación.

#### ***Depósito de agua glicolada (DIP-02)***

Este depósito tiene una capacidad de 40000 litros y dispone de 2 entradas en la parte superior y dos salidas en los dos extremos inferiores del depósito. En la derecha del depósito hay agua glicolada proveniente de las cámaras que será bombeada hacia el intercambiador de placas, que se encuentra a  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En la parte izquierda del depósito se almacena el agua glicolada proveniente del intercambiador, que debe ser bombeada hacia las cámaras a  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En este depósito hay que garantizar siempre un nivel de líquido, a fin de que las bombas funcionen correctamente. Por esta razón se han instalado sensores de nivel, así como termómetros a fin de visualizar la temperatura.



El depósito dispone de una tapa y un drenaje para cargar o descargar en caso que fuera necesario También dispone de una escalera para acceder al interior en caso de que fuera necesario y de diferentes elementos de sujeción, como las 8 patas soldadas a su respectiva pletina, que al mismo tiempo esta anclada en el depósito.

### ***Bombas de circulación (BC-01, BC-02, BC-03, BC-04)***

En el tramo de agua glicolada se han dispuesto dos grupos de bombeo. El grupo 1 es el que bombea el fluido “frigo transportador” desde el depósito hasta las cámaras frigoríficas y retorna al depósito mientras que el grupo 2 es el que bombea el fluido desde el depósito hasta el intercambiador y retorna al depósito. Cada grupo de bombeo consta de dos bombas, la principal y la segunda de apoyo que se pondrá en funcionamiento en caso de parada de la principal. De esta manera si el control no recibe el estado de la bomba que debería estar funcionando en ese momento arranca su bomba gemela. Además, se realizara un control de selección sobre las bombas, es decir, cada 24 horas arrancará una bomba diferente.

Las bombas BC-04 y BC-03 del grupo 1 son bombas centrífugas de la casa Sterling modelo ZLN 100-400. Esta suministra  $207 \text{ m}^3/\text{h}$  incrementando la presión del fluido en 4.3 bar cuando funciona a un régimen de 1450 rpm. A la entrada ya la salida de cada bomba se han situado válvulas manuales (VM-25, VM-26, VM-27, VM-28) de bola para aislar la bomba en caso de que fuera necesario.

Las bombas BC-01 y BC-02 del grupo 2 son bombas centrífugas, de la casa Sterling modelo ZLN 100-250. Esta suministra  $207 \text{ m}^3/\text{h}$  incrementando la presión del fluido en 8.5 bar cuando funciona a un régimen de 2900 rpm. En la entrada ya la salida de cada bomba se ha situado válvulas manuales (VM-20, VM-21, VM-22, VM-23) de bola para aislar la bomba en caso de que fuera necesario.



### ***Válvula de 3 vías solenoide (VST-01 hasta VST-25)***

Las válvulas de 3 vías están situadas en la entrada del enfriador y regulan el caudal de entrada de refrigerante en el evaporador según las necesidades de frío de la cámara en un determinado instante. Por tanto, en caso de que no sea necesaria la entrada de una determinada cantidad de refrigerante al interior del enfriador, la válvula abre la salida y una parte del refrigerante pasa hacia el retoma. De esta forma se controla la temperatura en el interior de la cámara frigorífica. Son válvulas motorizadas, de forma que abren más o menos en función de la señal del termostato que hay situado en interior de la cámara. Son de la marca Aleo controles, modelo 3031RB 20S 1 L

### ***Evaporadores (EV-01 hasta EV-25)***

Los evaporadores son los elementos que transmiten el frío que transporta el fluido “frigo transportador” al fruto almacenado, mediante un intercambio de calor entre el agua glicolada que circula por el interior del enfriador y el aire, que es recirculado por convección forzada por toda la cámara y al interior del enfriador. En este caso el fluido “frigo transportador” cede el calor por diferencia de temperaturas.

Hay que decir que en las cámaras de atmósfera controlada se ha proyectado un evaporador de la marca KOBOL modelo ECR-572. Está construida con tubos de cobre y aletas corrugadas de aluminio y queda sujeto sobre una pletina que va anclada en unos espárragos que sujetos a la pared evitando al máximo la creación de puentes térmicos entre el interior y el exterior de la cámara. El sistema de deshielo del enfriador será mediante resistencias eléctricas. El mismo enfriador dispondrá de bandejas para recoger el agua resultante del deshielo a fin de poder evacuar y aprovecharla por el sistema de humidificación, o para otros propósitos.

En las cámaras de prerefrigeración se han proyectado 4 evaporadores de la marca KOBOL modelo ECR-468.



En la entrada y salida de los evaporadores habrá válvulas de bola para poder aislarlos en caso que fuera necesario, también se dispondrá una válvula de equilibrado de presión a la entrada de cada evaporador.

### ***Atmósfera Controlada***

La técnica de creación de atmósfera controlada consiste en mantener la composición gaseosa de la cámara a niveles muy bajos tanto de O<sub>2</sub> como de CO<sub>2</sub> mediante la técnica ULO (Ultra Low Oxygen), a fin de retrasar los procesos fisiológicos que favorecen la maduración de la fruta. Para conseguir estas condiciones ( $1.9\% > O_2 > 1.2\%$ ), se necesitan una serie de equipos y elementos que se describen a continuación:

- Estanquidad de las cámaras
- Reductor de O<sub>2</sub>
- Reductor de CO<sub>2</sub>
- Analizador de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>
- Válvula de seguridad
- Controles de temperatura
- Controles de humedad relativa

### ***Estanquidad***

En las cámaras con atmósferas muy bajas en O<sub>2</sub> es especialmente necesaria una adecuada estanquidad o hermeticidad que limite la entrada de aire exterior hacia el interior de la cámara. En este aspecto, los paneles de poliuretano proyectados cumplen las condiciones deseadas de hermeticidad, por bien que habrá que realizar periódicamente pruebas de hermeticidad para diagnosticar y corregir cualquier causa de mala hermeticidad.

El máximo admisible de fuga es de 2 l/h por m<sup>3</sup> sobre una diferencia de presión de 0,05 mbar entre el interior y el exterior. Además de hermética es necesario que la cámara sea estanca, es decir, que no permita el paso de



vapor a través de sus paredes. Para saber el grado de hermeticidad de la cámara se realizarán las siguientes pruebas:

- Prueba de sobrepresión: Si se crea una sobrepresión de 20 mm.ca en la cámara, ésta no debe disminuir de 15 a 0 mm.ca en menos de 30 minutos por considerar que el estanqueidad sea buena.
- Prueba de depresión: Si se crea una depresión de 10 mm.ca en una cámara ésta no debe disminuir hasta 0 en menos de 20 minutos.

### ***Reducción de Oxígeno***

El equipo generador de nitrógeno elegido es de la casa Besseling Agri-technic destinada a la fabricación de equipos para la tecnología ULO (Ultra Low Oxygen). Las principales características del equipo generador de nitrógeno se muestran en la Tabla 1-9:

<b>Tipo de Generador</b>	<b>Potencia (kW)</b>	<b>Fusibles (AMP)</b>	<b>Circuito nitrógeno (pulgadas)</b>	<b>Dimensiones L*I*h (cm)</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>
BAT 40/130	44	92	2	250*100*300	2000	130

**Tabla 1-9 Características del reductor de Oxígeno.**

### ***Absorbedor anhídrido carbónico.***

Se han dimensionado de forma que puedan reducir el CO<sub>2</sub> producido por el producto y su ubicación tendrá que ser al exterior de las cámaras.

Las características de los absorbentes de CO<sub>2</sub> son las siguientes:

- Capacidad de absorción: 620 kg de CO<sub>2</sub>/24h.
- Potencia eléctrica: 2.6 kW.
- Tensión de servicio: 400 V.
- Dimensiones: 120x150x2150 mm.





- Peso: 1150 kg.
- Volumen del pulmón ULO: 10m<sup>3</sup>.

Además este sistema requerirá los diferentes elementos y automatismos:

- Válvulas automáticas.
- Manguitos portabridas.
- Bridas.
- Válvulas de seguridad.
- Pasamuros para paneles.
- Electro válvulas para extracción de muestras.
- Filtro de aspiración.
- Tuberías de PVC y accesorios.
- Tuberías de cobre y accesorios.
- Soportes y bridas.

El equipo reductor de CO<sub>2</sub> elegido es de la marca Besseling Agri-technic dedicada a la fabricación de equipos para tecnologías ULO.

### ***Analizador de oxígeno y anhídrido carbónico***

Para poder controlar en todo momento el nivel de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> presente en las cámaras, éstas dispondrán de unos medidores adecuados. En este caso se han elegido un analizador automático de gases de la marca Besseling Agri-technic basado en celdas infrarrojas para el CO<sub>2</sub> y en celdas paramagnéticas por O<sub>2</sub>, que estarán conectados al computador que registrará los datos y actuara según las necesidades en cada instante.

El control de la composición será diario y la variación admisible de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> no habrá de ser superior al 0.1% por encima o por debajo de la concentración óptima establecida según el tipo de fruto que se esté conservando en la cámara.



### ***Globo de equilibrado de presión***

Este dispositivo es un globo que actúa tanto en sobre presión como en depresión y su función es la de equilibrar la presión entre el exterior y el interior. La variación de presión interna puede deberse a variaciones barométricas, corrientes de aire entre el interior y el exterior o bien circulaciones de aire desde los descarbonatadores.

Estos globos estarán constituidos por un material plástico especial para compensar las variaciones de volumen interior de la cámara. El volumen del globo será el equivalente a un 4% del volumen vacío de la cámara.

### ***Ordenador***

La unidad computerizada de control, se encarga de la toma de datos de todos los parámetros referentes a la instalación frigorífica y de atmósfera controlada, los procesa y actúa sobre el mando de las instalaciones para controlarlas automáticamente. El computador desarrollará las siguientes funciones dentro del esquema general de atmósfera controlada:

- Toma de datos de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.
- Toma de temperaturas.
- Toma de humedades relativas.
- Programación y control de los tiempos de inyección de N<sub>2</sub>.
- Programación y control de los tiempos de admisión de aire en las cámaras.
- Programación y control de los tiempos de funcionamiento de los absorbedores (es necesario que estos funcionen tan solo durante el tiempo justo para lograr el mayor ahorro energético y prorrogar la vida del carbón activo).
- Control y procesamiento de los parámetros de temperatura.
- Programación y procesamiento de los tiempos de frío.
- Programación y procesamiento de los tiempos de ventilación.
- Programación y adecuación de las horas puntas de consumo eléctrico.



- Programación y control de los ciclos de descarche de los evaporadores.
- Programación y control de los tiempos de funcionamiento de los compresores en función del número de cámaras que requieran frío, para conseguir un ahorro energético.
- Proporcionar listados y gráficos de temperaturas, humedades relativas y concentraciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.
- Control y procesamiento de los parámetros del circuito primario.
- Control y procesamiento de los parámetros del circuito secundario.

### ***Sistemas de control de temperatura***

El control de la temperatura es un parámetro vital a la hora de conservar y depende de la composición gaseosa en el interior de la cámara y de la humedad relativa. Se necesitarán los siguientes elementos:

- Conjunto de placas electrónicas para leer las sondas de temperatura y humedad.
- Conjunto de placas electrónicas para gobernarse el frío, ventiladores y deshielo.
- Sondos mixtas de temperatura con precisión 0,1°C y humedad de precisión 0.3 puntos con conversor 4-20 mA.
- Sondos de temperatura con conversor 4-20 mA de precisión 0,1 °C.
- Fuente de alimentación para las sondas.
- Posibilidad de leer hasta 4 sondas para cámara.

### ***Sistema de humidificación***

Se trata de un sistema de humidificación individualizado para cada cámara, patentado por la empresa leridana "Ilerfrío". Tiene una gran capacidad de producción de humedad mediante la nebulización de partículas de agua de diámetro igual a 1 micrómetro, gracias a un sistema de inyección de aire a presión y de absorción de agua por efecto venturi.



Este sistema dispone de:

- Equipo compresor.
- Depósito de poliéster de 60 litros.
- Soporte de depósitos.
- Válvula seccionadora de bola.
- Boya de doble efecto para los depósitos.
- Filtros de impurezas.
- Electro válvulas de impulsión.
- Electro válvulas de aspiración.
- Conjunto de nebulizadores compuestos de caja, boca nebulizador, soporte y resistencia.
- Cuadro eléctrico en forma de armario para el control de humidificación.
- Tubería de nylon y accesorios.
- Tubería de PVC y accesorios.
- Soportes y bridas.



## 1.6 Conclusiones

Este proyecto describe la instalación adoptada para poder dar servicio a unas necesidades concretas de conservación de la fruta. Estas necesidades nacen de poder ofrecer una gama de productos hortofrutícolas durante un período de tiempo que no sea el propio de la variedad. Garantizando en todo momento su calidad.

Los parámetros de diseño, por lo que a volumen de fruta a almacenar y conservar se refiere, es el punto de referencia para calcular la instalación de la planta. A partir de esta finalidad se ha diseñado un circuito de producción de frío con sistema indirecto, que puede proporcionar hasta 997 kW.

También forma parte de este proyecto el diseño de distintos paramentos, máquinas y aparatos que forman las cámaras frigoríficas, así como el diseño de la instalación de atmósfera controlada.

La implantación de este sistema pretende conservar la fruta durante los meses en que no haya entrada, y conservarla y refrigerarla durante el período en que la central esta a régimen, es decir, los meses en que la actividad en la central es mayor dada la entrada de producto, que son los de Junio, Julio, Agosto y Septiembre.

El sistema consta de dos circuitos, el principal y el secundario El circuito principal utiliza el amoníaco como refrigerante. El circuito secundario utiliza una solución de agua y etilenglicol (presente en un 30% de volumen en la mezcla), que hace que la mezcla tenga un punto de congelación mucho inferior a 0°C. El refrigerante se enfría en el intercambiador de placas y va a parar al depósito acumulador. Este depósito esta partido interiormente, de modo que en una parte está el refrigerante secundario proveniente del intercambiador y el otro el que proviene de las cámaras, que se encuentra a una temperatura superior. Así pues, la solución que se encuentra a temperatura inferior porque ha pasado por el intercambiador es el bombeado hacia las cámaras a fin de pasar por los



distintos evaporadores donde el aire presente en la cámara frigorífica circulará por el interior mediante convección forzada y se producirá un intercambio de calor entre el refrigerante secundario y el aire y posteriormente entre el aire y el producto.

Con este sistema de refrigeración se consigue un régimen de compresores estable. También permite tener una reserva de frío en el depósito acumulador y un riesgo de fugas en el circuito de amoníaco muy limitado, dado que no hay grandes longitudes de tubos por los que circule el amoníaco. Este sistema indirecto también ofrece ventajas en cuanto a una mejor regulación de las condiciones ambientales de la cámara, lo que supone unas pérdidas de peso menores de las manzanas y peras.

Este sistema se está implantando cada vez más, principalmente por toda la problemática con los refrigerantes halogenados. Por lo tanto, se considera que la implantación del sistema indirecto de refrigeración es claramente favorable en cuanto a obtener un producto de mayor calidad después del periodo de conservación y en cuanto al respeto con el medio ambiente, ya que no favorece en ningún caso el efecto invernadero, una de las causas del sobrecalentamiento del planeta.

La central en estudio dispone de dos tipos de cámaras frigoríficas. Las de prerrefrigeración que se utilizan cuando la central está a régimen y están destinadas a reducir la temperatura del producto hasta que ésta sea la óptima de conservación dependiendo del tipo y clase. Luego el producto pasa a las cámaras de conservación en atmósfera controlada. Hay que decir que las cámaras de la central hortofrutícola destinadas a conservar y refrigerar estarán formadas por paramentos especiales de gran hermeticidad a fin de evitar intercambios de calor entre el interior y el exterior.

Por medio de la implantación de esta instalación se consigue aumentar notablemente el período de conservación y la calidad del producto. Gracias a la reducción del porcentaje de oxígeno y anhídrido carbónico presentes en la mezcla gaseosa del interior de la cámara, a fin de reducir al máximo el metabolismo de la fruta.



## 1.7 Bibliografía

- López Gómez, Antonio, "Las instalaciones frigoríficas en las industrias agro alimentarias: manual de diseño", Ed. Madrid Vicente, 1994.
- Melgarejo Moreno, Pablo, "Aislamiento, cálculo y construcción de cámaras frigoríficas", Ed. Madrid Vicente, 1995.
- Koelet, P.e., "Frío industrial fundamentos, diseño y aplicaciones P.e. Koelet versión en español por Manuel Lamúa Soldevilla, Francisco I Gutierrez Matías, Ed. Madrid Vicente, 1997.
- ASHRAE, "ASHRAE handbook refrigeration", Atlanta American Society of Heating, Ventilating and Air-Conditioning Engineers, 1998.
- Lluïsa F. Cabeza, "Sistemes de fred EDITORIAL, 2001. climatització", Ed. P APERKITE
- Estanislau Fons Solé, "Calcul de carregues termiques".
- Pita, Edward G., "Principios y sistemas de refrigeración", Ed. Lirnasas, 1991.
- Dossat, Roy I, "Principios de refrigeración", Compañía editorial Continental, 1998.
- Rapin, Pierre, "Formulario del frio", Ed. Marcombo, 1999.
- Illa J. i Cuchí IC, "Problemes de termotecnia", Ed. Eumo, 1990.



- Holman, J.P, "Transferencia de calor", Ed. Mc Graw-Hill, 1998.
- Lamua M., J. Cuesta Francisco, "Guía del almacenamiento frigorífico", Ed. Madrid Vicente, 1995.
- Boast, Michael, "Refrigeración: libro de bolsillo", Ed. Acribia, 1997.
- Institut national de vulgarisation pour les fruits, légumes et champignons, "La Conservation des pommes et des poires en atmosphere controlée", Ed. Invuflec.
- Herrero, Alfonso, " Manual técnico de conservación de frutas", Ed. Mundi-Prensa,1992.
- Agüera Soriano, José, " Mecánica de fluidos incompresibles y turbomáquinas hidráulicas ", Ed. Madrid Ciencia, 1996.





- <http://www.tefrinca.com>
- <http://www.bat-ulo-system.com>
- <http://www.cetill.es>
- <http://www.afrisa.es>
- <http://www.muel.com>
- <http://www.dow.com>
- <http://www.salvadorescoda.com>
- <http://www.ilerfred.com>
- <http://www.evapco.com>
- <http://www.teva.es>
- <http://www.frigorista.com>
- <http://www.gencat.es>
- <http://www.icaen.net>
- <http://www.idae.es>
- <http://docnav.grasso-global.com>



CÁLCULO Y DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN  
DE CONSERVACIÓN DE FRUTA



1.- MEMORIA DESCRIPTIVA

---

- <http://www.grasso.nl>
- <http://ingenegros.com.ar>
- <http://www.engineeringtoolbox.com>



## 1.8 Nomenclatura

Símbolo	Unidades	Definición
$\alpha_e$	°	Ángulo de ensanchamiento.
$(\Delta T)_a$	°C	Caída de la temperatura del aire en el evaporador.
$\Delta T_{prod}$	°C	Diferencia entre la temperatura inicial y la final del producto a refrigerar.
$\Delta P_{100}$	Bar	Es la pérdida de carga en 100m de conducto.
$\lambda_h$	W/m K	Conductividad térmica del gel.
$\lambda_{hl}$	W/m K	Es la conductividad térmica del gel líquido.
$\lambda_l$	W/m K	Es la conductividad térmica del etilenglicol.
$\mu$	Kg/(m·s)	Es la viscosidad dinámica.
$T_{prop}^f$	°C	Temperatura mediana entre las temperaturas de entrada i de salida del fluido frío.
$T_{prop}^c$	°C	Temperatura mediana entre las temperaturas de entrada i de salida del fluido caliente.
$T_s^f$	°C	Temperatura de salida del fluido frío.
$T_e^f$	°C	Temperatura de entrada del fluido frío.
$T_s^c$	°C	Temperatura de salida del fluido caliente.
$T_e^c$	°C	Temperatura de entrada del fluido caliente.
$T_{\infty 2}$	°C	Temperatura interior del tubo.
$T_{\infty 1}$	°C	Temperatura exterior del tubo.
$\bar{v}$	m <sup>3</sup> /kg	Volumen específico.
$\zeta$	--	Coefficiente de pérdida de carga del accesorio.
$\nu$	m <sup>2</sup> /s	Viscosidad cinemática del fluido.
$\rho_h$	Kg/m <sup>3</sup>	Densidad del gel.
$\rho_l$	Kg/m <sup>3</sup>	Densidad del etilenglicol.
$\rho_{hi}$	Kg/m <sup>3</sup>	Densidad del gel líquido.
$\mu_i$	Kg/(m·s)	Viscosidad dinámica del fluido (i) evaluada a la temperatura mediana entre las temperaturas de entrada i de salida de esta ( $T_i^{prop}$ ).
$\mu_{pared}$	Kg/(m·s)	Viscosidad dinámica del fluido (i) evaluada a la temperatura de la pared.
$\rho_i$	Kg/m <sup>3</sup>	Densidad del fluido (i).



$\Delta P_i$	Pa	Pérdida de carga que sufre el fluido (i) en su paso por el vscambiator.
$\Delta T$	°C	Diferencia de temperaturas , entre la interior i la exterior del cerramiento.
$\Delta T_{ml}$	°C	Diferencia de temperaturas medianas logarítmicas.
$A_1$	m <sup>2</sup>	Superficie de aislamiento.
$A_2$	m <sup>2</sup>	Superficie interior del tubo.
$A_e$	m <sup>2</sup>	Superficie de intercambio en el evaporador.
$\lambda_{ni}$	W/m·k	Conductividad térmica del aislante.
$A_p$	m <sup>2</sup>	Área de la placa.
$A_{seccio}$	m <sup>2</sup>	Área de la sección del canal entre placas.
$A_t$	m <sup>2</sup>	Superficie de transferencia entre los dos fluidos en el bescambiator.
B	m	Separación entre placas.
$C_1$	--	Factor de descarga.
$C_2$	--	Factor del diámetro.
$C_a$	m <sup>3</sup> /h	Caudal del aire del evaporador.
$C_b$	--	Constante que depende del tipo de placa.
cdv	Kcal/m <sup>3</sup> dia	Calor liberado por los ventiladores del los evaporadores.
$C_e$	J/kgK	Calor específico del producto.
$C_f$	--	Porcentaje de concentración de oxígeno al cual querer llegar.
$C_{in}$	--	Porcentaje de concentración inicial de oxígeno.
COP	--	Eficiencia frigorífica.
$C_{p,h}$	kJ/kgK	Calor específico del gel.
$C_{r1}$	J/kg	Calor de respiración del producto a la temperatura de entrada a la cámara.
$C_{r2}$	J/kg	Calor respiración del producto a la temperatura de conservación de la cámara.
$C_{res}$	--	Concentración residual de oxígeno dentro del corriente de nitrógeno.
$C_t$	Kcal/h	Capacidad frigorífica total.
$C_T$	Tm	Capacidad de almacenamiento.
D	m	Diámetro interior de la tubería.
D	m	Diámetro de la tubería del circuito de R-717.
$D_g$	m	Diámetro del tubo grande del ensanchamiento.
$D_h$	m	Diámetro hidráulico de los canales de las placas.
$D_i$	J/kg	Diferencia de entalpía entre el aire exterior i el aire de la cámara.
$D_n$	m	Diámetro interior normalizado
$d_p$	m	Diámetro del tubo pequeño de ensanchamiento
e	m	Espesor de la placa
E	W	Carga térmica total que entra por los cerramientos en una cámara



1.- MEMORIA DESCRIPTIVA

$e_1$	m	Espesor del cerramiento exterior
$e_2$	m	Espesor del cerramiento de unión
$e_3$	m	Espesor del cerramiento interior
$e_{aill}$	m	Espesor del aislante
$e_i$	m	Espesor de cada uno de los materiales que componen la pared
F	--	Factor corrector de la diferencia de temperatura de mediana logarítmica
$f_i$	--	Factor de fricción
g	$m/s^2$	Aceleración de la gravedad
G	W	Suma de cargas térmicas producidas al interior de la cámara
$G_i$	$Kg(m^2 \cdot s)$	Densidad del flujo del fluido (i)
$h_e$	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Coefficiente de convección al lado de la pared en contacto con el fluido caliente
$h_f$	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Coefficiente de convección al lado de la pared en contacto con el fluido frío
$h'_f$	m.c.a./ m	Pérdida de carga unitaria por la fricción del fluido
$h_1$	J/kg	Entalpía específica en el punto 1
$h_2$	J/kg	Entalpía específica en el punto 2
$h_3$	J/kg	Entalpía específica en el punto 3
$h_4$	J/kg	Entalpía específica en el punto 4
$h_{c1}$	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Coefficiente de convección interior en el tubo
$h_{c2}$	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Coefficiente global de transmisión de calor por convección y radiación en la cara externa
$h_e$	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Coefficiente de convección exterior en paredes verticales
$h_{ep}$	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Coefficiente de convección exterior en el techo
$h_{et}$	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Coefficiente de convección exterior en el suelo
$h_{ex}$	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Coefficiente de convección exterior
$H_f$	m.c.a.	Pérdidas de carga continuas
$h_i$	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Coefficiente de convección del fluido (i)
$h_l$	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Coefficiente global de transmisión de calor por convección i radiación en la cara interna
$h_{ip}$	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Coefficiente de convección interior en paredes verticales
$h_{is}$	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Coefficiente de convección interior en el techo
$h_{it}$	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Coefficiente de convección interior en el suelo
$H_s$	m.c.a.	Pérdidas de carga singulares
I	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Número de persona que entran en la cámara
k	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Conductividad térmica del material que forma la placa
K		Coefficiente global de calor del cerramiento
$k_l$	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Conductividad del material del tubo
$k_1$	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	Coefficiente de transferencia de calor del cerramiento exterior



$k_2$	W/(m <sup>2</sup> °C)	Conductividad del aislamiento del tubo
$K_{abs}$	m	Rugosidad absoluta de la tubería
$k_{ba}$	W/(m <sup>2</sup> °C)	Conductividad térmica del cerramiento de unión
$k_f$	--	Factor de potencia reactiva
$k_i$	W/(m <sup>2</sup> °C)	Conductividad térmica del fluido (i) evaluada a la temperatura mediana entre las temperaturas de entrada i salida de esta ( $T_i^{prop}$ )
$K_i$	--	Potencia frigorífica específica
L	m	Es la longitud del tubo
M	Kg/día	Cantidad de materia efectiva de entrada a la cámara frigorífica en una día
m	Kg/s	El caudal másico de R-717
$m_{eix}$	--	Coefficiente de ensanchamiento
$m_i$	Kg/s	Caudal másico del fluido
$M_{int}$	kg	Masa del producto que se encuentra en el interior de la cámara
n	s/día	Tiempo medio de estada por persona en la cámara
NI	--	Número de renovaciones del aire en un día
$N_{cannels, i}$	--	Número de canales por el que circula el fluido (i)
$N_i$	W	Potencia indicada
$N_p$	--	Numero de placas
$Nu_i$	--	Numero de Nusselt por fluido (i)
P	g/Tm día	producción mediana de CO <sub>2</sub> a 13% d'O <sub>2</sub> y 1 °C
$P_{el}$	W	Potencia eléctrica instalada
$P_{lam}$		Potencia eléctrica consumida por las lámparas
$Pr_i$	--	Numero de Prandtl por fluido (i)
Q	m <sup>3</sup> /s	Caudal circulante por la tubería
Q	W	Calor transferida entre los dos fluidos
$Q_1$	W	Carga por transmisión de los paramentos
$Q_2$	W	Carga debida al resfriamiento y respiración del producto
$Q_{21}$	J/día	Carga debida al resfriamiento del producto
$Q_{22}$	J/día	Carga debida a la respiración del producto
$Q_3$	W	Carga debida al descambio del aire
$Q_4$	W	Carga debida a la presencia de personas
$Q_5$	W	Carga debida a la iluminación carga debida al resto de elementos
$Q_6$	W	Flujo de calor disipado en el condensador
$q_c$	W	Carga máxima de resfriamiento
$q_e$	J/kg	Producción frigorífica específica
$q_n$	m <sup>3</sup> /h	Caudal de inyección de nitrógeno
$q_{pers}$	W	Potencia calorífica cedida por una persona
R	--	Relación de calor sensible
$r_1$	m	Radio interior del tubo
$r_2$	m	Radio exterior del tubo



1.- MEMORIA DESCRIPTIVA

$r_3$	m	Radio de aislamiento
$Re_i$	--	Número de Reynolds del fluido (i)
S	$m^2$	Superficie de la pared
t	s	Es el tiempo de funcionamiento de los aparatos
$T'_{max}$	$^{\circ}C$	Valor mediano de temperaturas máximas
TEB	$^{\circ}C$	Temperatura exterior de base
$T_{ev}$	$^{\circ}C$	Temperatura de entrada del aire al evaporador
$T_{ex}$	$^{\circ}C$	Temperatura exterior
$t_{lam}$	s/día	Tiempo medio diario de funcionamiento de las lámparas
$T_m$	$^{\circ}C$	Temperatura media de la zona en el periodo mas calido
$T_{max}$	$^{\circ}C$	Temperatura máxima mediana mensual de la zona en el periodo mas calido
$T_{me}$	$^{\circ}C$	Temperatura exterior de las cámaras
$T_{mn}$	$^{\circ}C$	Mediana de las temperaturas mensuales
$t_n$	h	Tiempo que se tarda en llegar a la concentración deseada
$T_{pex}$	$^{\circ}C$	Temperatura exterior de la pared
$T_{pim}$	$^{\circ}C$	Temperatura interior de la pared
$T_{ref}$	$^{\circ}C$	Temperatura del refrigerante
$T_{sv}$	$^{\circ}C$	Temperatura de salida del aire al evaporador
U	$W/m^2^{\circ}C$	Coeficiente de transferencia de calor global en el bescambiador
$U_c$	$W/m^2^{\circ}C$	Coeficiente global de transferencia de calor en el evaporador
VE	$m^3/kg$	Volumen especifico mediana del aire entra las condiciones exteriores y interiores
$V_h$	--	Fracción volumétrica del hielo
$V_{m\grave{a}x}$	m/s	Velocidad máxima que podrá circular el fluido
VOL	$m^3$	Volumen de la cámara
W	m	Ancho de la placa
W	W	Trabajo del compresor
$X_h$	--	Fracción másica del hielo