

Introducción de refrigerantes con bajo o nulo potencial de calentamiento atmosférico en la producción y exportación de alimentos procesados (frutas y hortalizas) en Chile.



PROYECTO DE DISEÑO DE CONVERSIÓN PARA EMPRESA CON CÁMARAS FRIGORÍFICAS DE TEMPERATURA POSITIVA QUE FUNCIONAN CON HCFC O HFC

Albert Albert | Consultor Experto en Refrigeración | Marzo 2018

Contacto: albertalbertsoto@gmail.com

Promovido por:



Proyecto de Diseño de Conversión para empresa con cámaras frigoríficas de temperatura positiva que funcionan con HCFC o HFC.

Índice del documento

0.- Agradecimientos.	4
1.- Objetivo del proyecto.....	5
2.- Información disponible sobre la planta de procesado objeto del proyecto. ..	6
2.1.-Situación de las instalaciones:.....	6
2.2. Datos climáticos.....	7
2.3.- Descripción de la instalación frigorífica actual de la planta de procesado.....	8
3.- Propuesta de conversión de la instalación frigorífica.	14
3.1.- Características deseadas de la nueva instalación.....	14
3.2.- Datos de partida para el diseño de conversión.....	15
3.3.- Alternativas posibles para el diseño de conversión.....	15
3.4.- Descripción de la solución escogida.	18
4.- Especificaciones técnicas de la nueva instalación.....	22
4.1.- Centrales frigoríficas.	22
4.1.1.- Generalidades.....	22
4.1.2.- Descripción de las Centrales frigoríficas	23
4.2. Gas Coolers.....	26
4.2.1. Generalidades.	26
4.2.2. Descripción del Gas cooler para cada central	26
4.2.3. Descripción del sistema de apoyo adiabático.	27
4.3. Evaporadores.	28
4.3.1. Generalidades.	28
4.3.2. Descripción de los evaporadores.....	29
4.4. Valvulería.	31
4.5. Control	31
4.6. Tubería y accesorios. Soldadura.....	32
4.7. Aislamiento térmico.....	33
4.8. Seguridad	33

5.- Evaluación del consumo energético anual de la instalación actual y la instalación de conversión propuesta.	35
5.1.- Metodología de cálculo.	35
5.2.- Resultado de los cálculos.	38
6.- Estimaciones de las emisiones de CO₂-eq directas e indirectas de la instalación actual y la instalación de conversión propuesta.	39
6.1.- Cálculo del TEWI para la instalación actualmente existente.	39
6.2.- Cálculo del TEWI para la instalación de conversión.	40
7.- Estimación del capital y costo de operación de la instalación de conversión.	41
8.- Conclusiones.	42
9.- Fotos.	43

Índice de figuras

Figura 1: Situación geográfica de la planta objeto del proyecto	6
Figura 2: Intervalos de temperatura anual para el observatorio de Santiago-Pudahuel.....	7
Figura 3: Plano de la planta e identificación de los servicios frigoríficos	9
Figura 4: “Ecuador” para los sistemas subcríticos, transcritos avanzados y transcritos estándar	17
Figura 5: Esquema de principio de la solución escogida para la conversión (Sistema transcrítico de CO ₂ con apoyo de enfriamiento adiabático)	18
Figura 6: Repartición de los servicios frigoríficos entre las 4 centrales frigoríficas.....	20
Figura 7: Sectores de la Central transcrítica con distinta presión de servicio	24

Índice de tablas

Tabla 1: Datos generales de la planta objeto del proyecto	7
Tabla 2: Servicios frigoríficos de la planta	8
Tabla 3: Relación entre máquinas actuales y servicios frigoríficos en la planta objeto del proyecto.....	12
Tabla 4: Resumen de necesidades térmicas	12
Tabla 5: Datos disponibles y calculados de los servicios frigoríficos	13

Tabla 6: Resumen de potencias resultantes para el cálculo.....	15
Tabla 7: Datos de los evaporadores seleccionados para cada servicio	29
Tabla 8: Temperaturas medias seca y húmeda por mes	34
Tabla 9: Porcentaje de funcionamiento estimado de la planta por mes.....	35
Tabla 10: Instalación existente. Consumos energéticos por mes (del total de la instalación al 100%	36
Tabla 11: Instalación de conversión. Consumos energéticos por mes (del total de la instalación al 100%	36
Tabla 12: Energía consumida anual por la instalación existente (estimación).....	37
Tabla 13: Energía consumida anual por la instalación de conversión (estimación) ..	37

Índice de fotografías

Foto 1: Central frigorífica booster transcrito para CO ₂	23
Foto 2: Gas Cooler	26
Foto 3: Sistema de apoyo adiabático	26
Foto 4: Evaporador para CO ₂	27
Foto 5: Controlador Danfoss AK-PC-781A	29
Foto 6: Controlador Danfoss AK-CC-550A	29

0.- Agradecimientos.

Ante todo, quisiera agradecer la colaboración de las siguientes personas, sin las cuales no hubiera sido posible la realización de este proyecto:

- Sr. Andrés Celave de ONUDI
- Sr. Germán Fuentes de la Unidad de Ozono del Ministerio del Medio Ambiente de Chile

1.- Objetivo del proyecto.

El presente diseño de conversión se enmarca dentro del Proyecto de “Introducción de refrigerantes con bajo o nulo potencial de calentamiento atmosférico en la producción y exportación de alimentos procesados (frutas y hortalizas)” en Chile, promovido por el CTCN y ONUDI.

El objetivo del presente proyecto, focalizado en el sector de proceso de fruta y hortalizas en Chile, es demostrar la eficacia y la mayor eficiencia energética de los sistemas de refrigeración funcionando con refrigerantes con bajo o nulo potencial de calentamiento global (GWP), e incentivar su uso entre las empresas de este sector.

En concreto, en este diseño de conversión se estudia un caso representativo de empresa chilena de proceso de fruta (en concreto cereza) fresca, donde los sistemas frigoríficos funcionan con HCFC o HFC y dispone de diversas cámaras de temperatura positiva.

La Reglamentación chilena sobre refrigerantes se basa en la Ley 20.096/ 2006 (Ley Ozono), el Decreto Supremo 75/2012 MINSEGPRES y las Normas Chilenas NCh3241:2017 “Sistemas de refrigeración y climatización – Buenas prácticas para el diseño, armado , instalación y mantención” y NCh3301:2017 “Sistemas de refrigeración y climatización – Buenas prácticas para la instalación y mantención de sistemas que utilizan refrigerantes inflamables”, así como en la aplicación de la revisión de 2007 del Protocolo de Montreal.

Como país enmarcado en el Artículo 5 de dicho Protocolo, Chile tiene vigente un calendario de reducción y eliminación del consumo de los HCFC que finaliza en el 2030 (con un 2,5% permitido para mantenimiento hasta 2040) y de reducción de consumo de HFC, que llevará a una disminución de un 80% en 2045 sobre el consumo base de 2020-2022.

El uso de refrigerantes con bajo o nulo potencial de calentamiento global previene un posterior incremento de los sistemas basados en HFC y, por tanto, ayuda al cumplimiento de los compromisos de Chile con el Protocolo de Montreal y, además, reduce el impacto del sector de proceso de fruta y hortalizas en el cambio climático.

Entre dichos refrigerantes con nulo o bajo GWP, que han sido desarrollados en los últimos años y cuya tecnología ya está disponible en el mercado, se identifican refrigerantes naturales, como el amoníaco, los hidrocarburos y el CO₂, y otras soluciones como las hidrofluorolefinas (HFO).

2.- Información disponible sobre la planta de procesamiento objeto del proyecto.

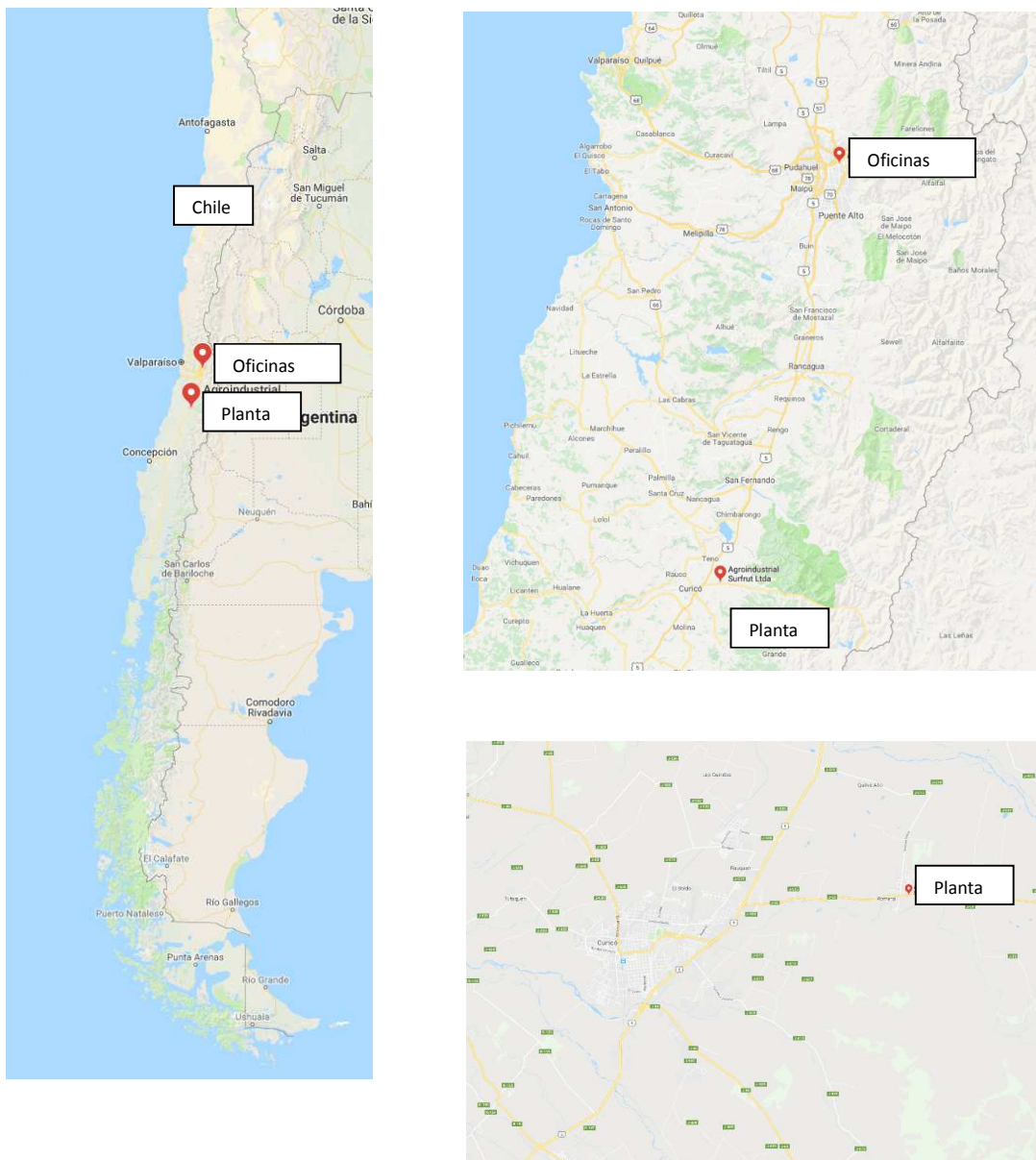
La planta objeto del proyecto está destinada al procesamiento de cerezas para, principalmente, el mercado de la exportación. Produce también cerezas marrasquino, frutas deshidratadas y zumos de fruta.

En fecha 4 de diciembre de 2017 se realizó una visita a dichas instalaciones para recabar la información técnica necesaria para la realización del presente diseño de conversión.

2.1.-Situación de las instalaciones:

La planta está situada en la localidad de Romeral, en la región del Maule, en el valle central de Chile.

Figura 1: Situación geográfica de la planta.



Fuente: Google Maps

Tabla 1: Datos generales de la planta.

Situación de la planta	Romeral-Curicó
Tipo de industria	Procesado de cerezas frescas
Superficie de la planta	10.000 m2 aproximadamente

2.2. Datos climáticos

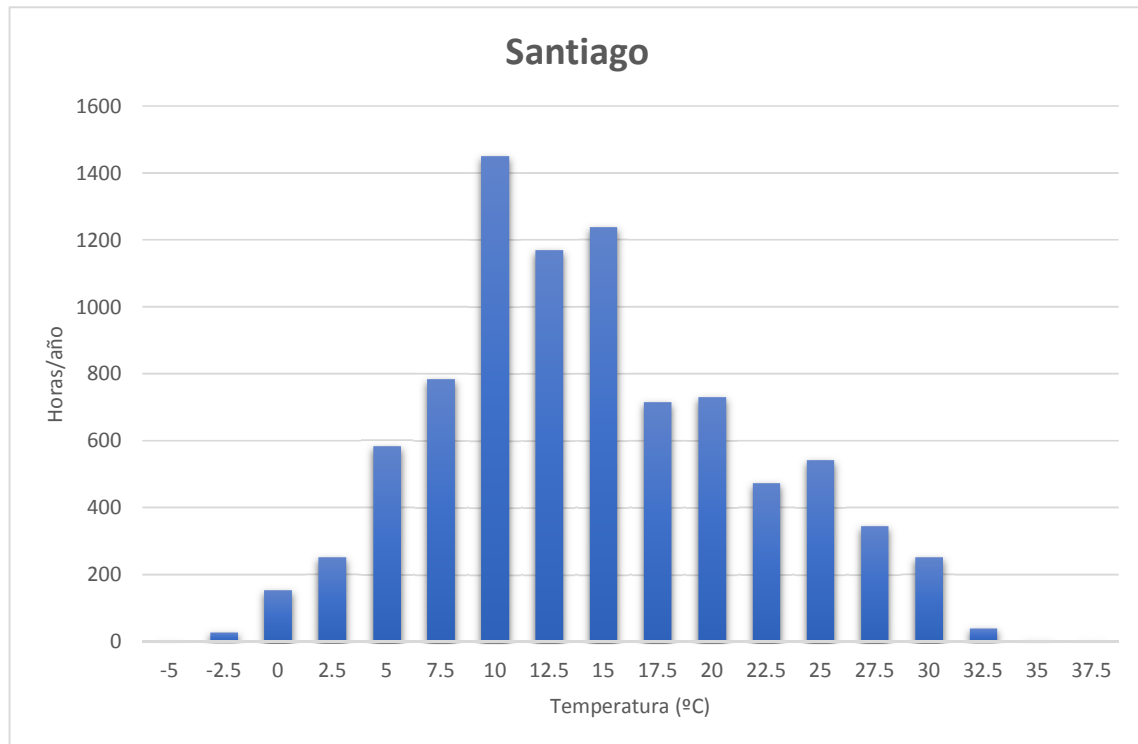
Los datos climáticos que se tienen en cuenta para este proyecto han sido obtenidos de la base de datos del ASHRAE Weather Data Viewer 6.0

En concreto, se han tomado los datos del observatorio meteorológico de Santiago ubicado cerca del aeropuerto en Pudahuel.

La fig. 2 muestra el número de horas anuales para cada intervalo de temperatura en dicho observatorio.

Este observatorio es el más cercano, con clima similar y existente en dicha base de datos, a la población de Romeral, donde se encuentra la planta objeto del proyecto.

Fig .2: Intervalos de temperatura anual para el observatorio de Santiago



Fuente: ASHRAE Weather Data Viewer 6.0

Aunque Romeral se encuentra a 200 km al Sur de Santiago, ambas ciudades se encuentran en un clima de tipo Csb1 según la clasificación de Köppen, de clima

mediterráneo con verano suave-cálido e invierno templado, con tendencia a aumentar la temporada de lluvias hacia el sur.

Esto resulta en una temperatura media inferior para Romeral, tan sólo unas décimas de grado, con un impacto mínimo en los resultados de este proyecto.

2.3.- Descripción de la instalación frigorífica actual de la planta de procesado.

La planta de procesado dispone de unas importantes instalaciones frigoríficas, indispensables para su funcionamiento, que incluyen:

- Cámaras de conservación de producto fresco
- Cámaras de Pre-Frío (Túneles californianos para enfriamiento rápido después del packing)
- Hidrocooler para enfriamiento de la cereza que viene del campo
- Enfriamiento de depósito de 12.000 lts de agua con fungicida para el packing de cereza
- Enfriamiento de depósito de agua de cambio.

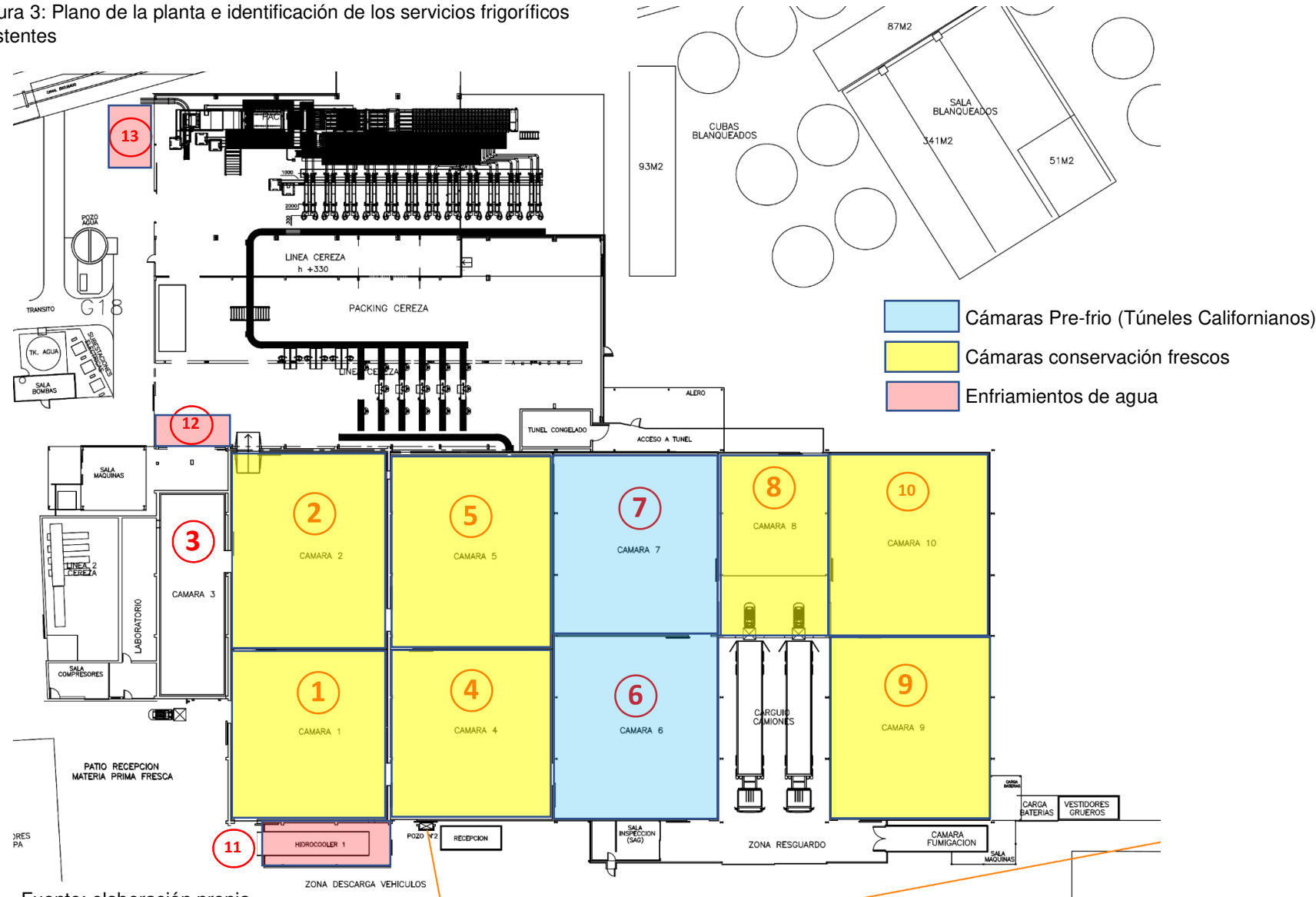
A continuación se detalla la relación de los servicios frigoríficos existentes y su situación en el plano de planta:

Tabla 2: Servicios frigoríficos de la planta.

Nº en plano	Servicio Frigorífico	Uso	Tº cámara (ºC) aprox.
1	Cámara de frescos	Conservación de cereza antes del packing	0
2	Cámara de frescos	Conservación de cereza antes del packing	0
3	Cámara de frescos	Conservación de muestras	0
4	Cámara de frescos	Conservación de cereza fresca	0
5	Cámara de frescos	Conservación de producto paletizado	0
6	Túnel Californiano	Enfriamiento rápido después del packing	0
7	Túnel Californiano	Enfriamiento rápido después del packing	0
8	Cámara de frescos	Conservación y carga	0
9	Cámara de frescos	Conservación de producto acabado	0
10	Cámara de frescos	Conservación de producto acabado	0
11	Hidrocooler	Enfriamiento de cereza del campo	Agua a +1ºC
12	Enfriamiento agua	Agua con fungicida para packing	Agua a +0,1ºC
13	Enfriamiento agua	Agua de cambio packing	Agua a +2ºC

Fuente: elaboración propia

Figura 3: Plano de la planta e identificación de los servicios frigoríficos existentes



Fuente: elaboración propia

Para atender dichos servicios frigoríficos existen hasta 4 salas de máquinas (SADEMA), con distintas centrales frigoríficas.

Esta diversidad de maquinaria ofrece una cierta tranquilidad, ya que el riesgo se presenta diversificado. Es decir, en caso de avería de una máquina frigorífica, dispone de otras máquinas y cámaras que le ofrecen una seguridad de que van a disponer de refrigeración en cualquier caso.

Este aspecto se ha tenido en cuenta para el diseño de conversión propuesto, como se verá más adelante.

A continuación, se indican las características de las máquinas existentes y los servicios relacionados con cada una de ellas (tabla 3):

SADEMA 1

MAQUINA 1: Central Frigorífica Positiva de 6 compresores a tornillo

Compresores						
Marca	Modelo	Pot. Nominal (HP)	Desplazamiento a 50 Hz (m³/h)	Tº evap. (°C)	Pot.Frig. (kW) a -10/+35°C	Refrigerante
Bitzer	HSK 7471-90	90	250	-10	147	R22
Bitzer	HSK 7471-90	90	250	-10	147	R22
Bitzer	HSK 7471-90	90	250	-10	147	R22
Bitzer	HSK 7471-90	90	250	-10	147	R22
Bitzer	HSK 7471-90	90	250	-10	147	R22
Bitzer	HSK 7471-90	90	250	-10	147	R22
Pot. Frig. Total					882	

Condensación	evaporativa
--------------	-------------

Recipiente de líquido	1060 lts
-----------------------	----------

SADEMA 2

MAQUINA 2: Central frigorífica Positiva de 4 compresores a pistón

Compresores Positiva						
Marca	Modelo	Pot. Nominal (HP)	Desplazamiento a 50 Hz (m³/h)	Tº evap. (°C)	Pot.Frig. (kW) a -10/+35°C	Refrigerante
Dorin	H7500CC	75	199	-10	109,6	R507A
Dorin	H7500CC	75	199	-10	109,6	R507A
Dorin	K7500CC	75	199	-10	109,6	R507A
Dorin	K6000CC	60	184,4	-10	101,6	R507A
Pot. Frig. Total					430,4	

Condensación	evaporativa
--------------	-------------

Recipiente de líquido	900 lts
-----------------------	---------

SADEMA 3

MAQUINA 3: Central frigorífica Positiva de 3 compresores

Compresores Negativa						
Marca	Modelo	Pot. Nominal (HP)	Desplazamiento a 50 Hz (m³/h)	Tº evap. (°C)	Pot.Frig. (kW) a -10/+35°C	Refrigerante
Bock	FX-16/2051	60	178,35	-10	105,17	R507A
Bock	FX-16/2051	60	178,35	-10	105,17	R507A
Bock	FX-16/2051	60	178,35	-10	105,17	R507A
Pot. Frig. Total					315,51	

Condensación	Evaporativa
--------------	-------------

Recipiente de líquido	500 lts
-----------------------	---------

SADEMA 4

MAQUINA 4: Central frigorífica Positiva de 5 compresores

Compresores Negativa						
Marca	Modelo	Pot. Nominal (HP)	Desplazamiento a 50 Hz (m³/h)	Tº evap. (°C)	Pot.Frig. (kW) a -10/+35°C	Refrigerante
Frascold	V-35-103Y	35	103	-10	57	R507A
Frascold	V-35-103Y	35	103	-10	57	R507A
Frascold	V-32-93Y	32	93	-10	52	R507A
Frascold	V-32-93Y	35	93	-10	52	R507A
Frascold	V-30-84Y	30	84	-10	48,1	R507A
Pot. Frig. Total					266,1	

Condensación	Evaporativa
--------------	-------------

Recipiente de líquido	700 lts
-----------------------	---------

Tabla 3: Relación entre máquinas actuales y servicios frigoríficos en la planta.

		SERVICIOS FRIGORIFICOS												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	MAQUINA													
SADEMA 1	1													
SADEMA 2	2													
SADEMA 3	3													
SADEMA 4	4													

Las potencias frigoríficas de cada servicio frigorífico se solicitaron a la empresa objeto del proyecto, que no disponía de toda la información individualizada por cámara.

Para poder individualizarla y hacerla compatible con las potencias disponibles de las diversas máquinas existentes, se ha realizado también un cálculo de necesidades térmicas de cada servicio con ayuda del software de cálculo especializado PECOCAM, disponible de forma gratuita en la Web.

En las tablas 4 y 5, se indican las potencias calculadas para los distintos servicios frigoríficos, así como el número de evaporadores existentes y el sistema de desescarche.

El resumen de necesidades térmicas de la instalación es el siguiente:

Tabla 4: Resumen de necesidades térmicas

Nº dado en plano	Servicio Frigorífico	Temperatura cámara	Temperatura evaporación considerada	Potencia frigorífica (kW) calculada PECOCAM
1	Cámara de frescos	0°C	-10°C	108
2	Cámara de frescos	0°C	-10°C	123
3	Cámara de frescos	0°C	-10°C	62,5
4	Cámara de frescos	0°C	-10°C	113
5	Cámara de frescos	0°C	-10°C	128
6	Túnel Californiano	0°C	-10°C	121
7	Túnel Californiano	0°C	-10°C	119
8	Cámara de frescos	0°C	-10°C	93
9	Cámara de frescos	0°C	-10°C	118
10	Cámara de frescos	0°C	-10°C	117
11	Hidrocooler	Agua +1°C	-10°C	430
12	Enfriamiento agua packing	Agua 0,1°C	-10°C	180
13	Enfriamiento agua cambio	Agua 2°C	-10°C	180
Potencia total a -10°C				1893 kW

Fuente:

elaboración

propia

Tabla 5: Datos disponibles y calculados de los servicios frigoríficos.

Nº dado en plano	Servicio Frigorífico	Tº cámara	Pot. Frigorífica (kW) calculada PECOCAM	Nº evaporadores	Desescarche
1	Cámara de frescos	0°C	108	3	Agua
2	Cámara de frescos	0°C	123	3	Agua
3	Cámara de frescos	0°C	62,5	2	Gas caliente
4	Cámara de frescos	0°C	113	3	Gas caliente
5	Cámara de frescos	0°C	128	3	Gas caliente
6	Túnel Californiano	0°C	121	3	Agua
7	Túnel Californiano	0°C	119	3	Agua
8	Cámara de frescos	0°C	93	3	Gas caliente
9	Cámara de frescos	0°C	118	2	Gas caliente
10	Cámara de frescos	0°C	117	3	Agua
11	Hidrocooler	Agua +1°C	430	6	--
12	Enfriamiento agua packing	Agua 0,1°C	180	3	--
13	Enfriamiento agua cambio	Agua 2°C	180	3	--

Fuente: elaboración propia

3.- Propuesta de conversión de la instalación frigorífica.

3.1.- Características deseadas de la nueva instalación.

De la visita a la planta, la conversación con sus responsables y del objeto mismo del actual proyecto se desprenden algunas características que debe poseer la nueva instalación propuesta:

- **Fiabilidad:**

Dado que la refrigeración es fundamental para los procesos productivos de la empresa, la nueva instalación debe prever desde su diseño una probada fiabilidad.

Efectivamente, la tecnología empleada debe estar disponible y consolidada a nivel mundial, y la maquinaria debe ser diseñada de forma que la producción no se vea detenida en caso de eventual fallo de alguno de los componentes.

Por esta razón, en el nuevo diseño se incorporará el concepto de reparto de las cámaras entre varias máquinas frigoríficas distintas.

- **Seguridad:**

La nueva instalación incorporará todas las medidas de seguridad intrínsecas y extrínsecas necesarias para la protección del personal, bienes y producto.

Las medidas de seguridad corresponderán a la mejor y última tecnología disponible en esta materia.

Más adelante, en un apartado específico, se detallarán las medidas de seguridad consideradas para el uso y mantenimiento correcto de la nueva instalación.

- **Ahorro energético:**

Sin perder de vista la fiabilidad, la nueva instalación también deberá incorporar, en el diseño de partida, elementos y características que garanticen un consumo energético reducido.

Efectivamente, la potencia frigorífica necesaria en la actualidad genera un consumo importante de energía, por lo que, una reducción porcentual del consumo, incluso si ésta es moderada, puede representar un ahorro importante en los costes energéticos de funcionamiento.

- **Solución definitiva:**

La nueva instalación deberá funcionar con refrigerantes que no debiliten la capa de ozono y de contribución cuasi nula al calentamiento global. Por tanto, refrigerantes no sujetos a Reglamentaciones presentes o futuras, ya sean nacionales o internacionales, que pudieran limitar su fabricación, puesta en el mercado o uso.

- **Protección del medio ambiente:**

En el mismo objeto del proyecto se encuentra esta característica, representada por el uso de refrigerantes de bajo o nulo potencial de calentamiento atmosférico.

3.2.- Datos de partida para el diseño de conversión.

Las necesidades térmicas recogidas en el apartado 2.3. constituyen los datos de partida necesarios para el diseño de conversión de la instalación.

Para el cálculo de la potencia necesaria en compresores no se ha considerado un factor de simultaneidad. El factor de simultaneidad tiene en cuenta que no todos los servicios frigoríficos estarán en marcha simultáneamente y que, además, los compresores pueden funcionar más horas que las horas de funcionamiento diario previstas para las cámaras

Se ha preferido no minorar la potencia para tener una potencia de reserva que asegure la disponibilidad de las cámaras de conservación bajo todas las circunstancias.

Las potencias resultantes para el cálculo se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6: Resumen de potencias resultantes para el cálculo

Tipo Servicio	Potencia total requerida servicios	Factor de simultaneidad considerado	Potencia de cálculo compresores nueva instalación
Servicios Tº Positiva	1893 kW	1	1893 kW

Fuente: elaboración propia

3.3.- Alternativas posibles para el diseño de conversión.

Inicialmente, los refrigerantes a considerar para este proyecto son el NH₃ y el CO₂.

Ambos son buenos candidatos al diseño de conversión por su condición de gases de nulo o bajo GWP, por su adecuación a las potencias necesarias en este proyecto y los COP que se obtienen.

Es importante indicar que tanto el CO₂ como el NH₃ obligan a sustituir totalmente los elementos existentes en la instalación frigorífica actual. En el caso del NH₃ por su incompatibilidad con el cobre y sus aleaciones, y en el caso del CO₂ por los niveles de presión mayores que necesitan los componentes adaptados a este refrigerante natural.

Tras un análisis más detallado para el caso concreto de este proyecto, la elección se decanta al CO₂, por los siguientes motivos:

- La clasificación de seguridad A1 del CO₂, por B2 del NH₃, lo hace más seguro para este proyecto: por un lado, para las personas que trabajan en la planta y, por otro, para el producto, que podría echarse a perder en caso de fuga de amoníaco. Estos aspectos se recogen en la “Guía de uso y manejo del amoníaco” editada por ASOEX (Asociación de exportadores de frutas de Chile).

Dentro de las tecnologías de CO₂ existentes en el mercado, se escoge la tecnología de CO₂ transcrito, ya que es una tecnología que utiliza sólo CO₂, no necesita de otra instalación frigorífica para condensarlo (que habitualmente funciona con refrigerantes sintéticos), como ocurre con la tecnología de CO₂ subcrítico.

El sistema comercial básico de la tecnología de CO₂ transcrito es el sistema con baipás de flash-gas, que es adecuado para climas fríos.

En la actualidad, la tecnología del CO₂ transcrito presenta una gran posibilidad de variantes, con sistemas avanzados, que permiten aumentar la eficiencia energética en climas cálidos:

- compresores paralelos
- enfriamiento adiabático
- eyectores de gas
- eyectores de líquido
- o combinaciones de los anteriores

Para este proyecto se han considerado y analizado dos sistemas:

- 1.- Sistema booster transcrito con baipás de flash-gas y enfriamiento adiabático
- 2.- Sistema booster transcrito con baipás de flash-gas, compresores paralelos y eyectores de gas.

Se ha realizado un análisis de costes-beneficios para determinar cuál de las 2 variantes era más adecuada.

Por un lado, la opción con compresores paralelos y eyector de gas presenta un coste de adquisición más alto y tecnológicamente es más compleja.

Por tanto, estas diferencias sólo pueden ser compensadas por un consumo energético menor.

Con la frecuencia horaria de intervalos de temperatura para el observatorio de Santiago (fig. 2) se ha realizado una comparativa energética para 3 temperaturas ambiente: 22°C, 27°C y 33°C.

A temperaturas iguales o inferiores a 22°C, los 2 sistemas son prácticamente equivalentes, ya que ni el sistema adiabático por un lado, ni los compresores paralelos y eyectores se activan a dichas temperaturas. Sólo por encima de dicha temperatura los 2 sistemas presentan diferencias.

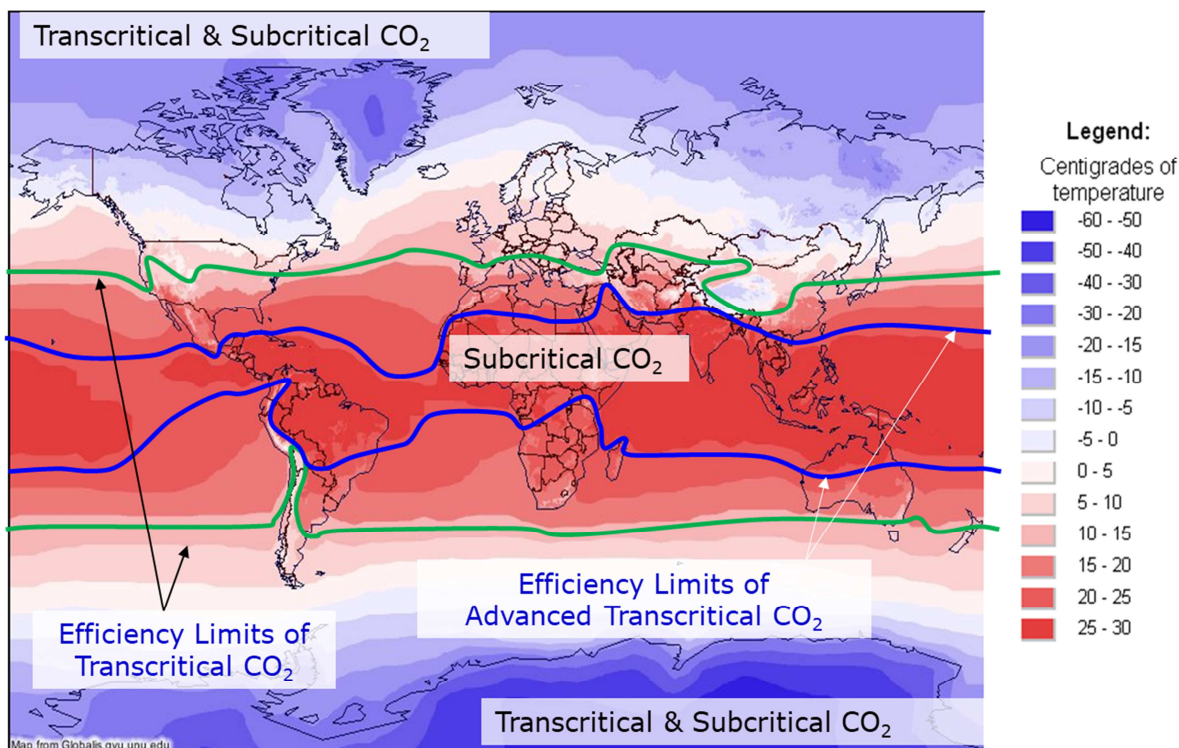
En el caso de la climatología de la región del Maule (muy similar a Santiago, tomado como referencia), las temperaturas por encima de 22°C se dan con una frecuencia baja (menos del 20% del tiempo), por lo que las diferencias, a priori, no pueden ser grandes entre ambos sistemas.

Tº ambiente	COP Total	
	Sistema con adiabático	Sistema con Paralelos+Eyector
22°C	3,34	3,26
27°C	3,06	2,9
33°C	2,74	2,23

Con los datos calculados, se escoge **el sistema transcrito con baipás de flash-gas y apoyo de enfriamiento adiabático.**

Este resultado concuerda con el estudio realizado por la firma Danfoss, que se recoge en el mapa de la fig.4:

Fig. 4.: "Ecuador" para los sistemas subcríticos, transcíticos avanzados y transcíticos estándar.



Fuente: Danfoss.

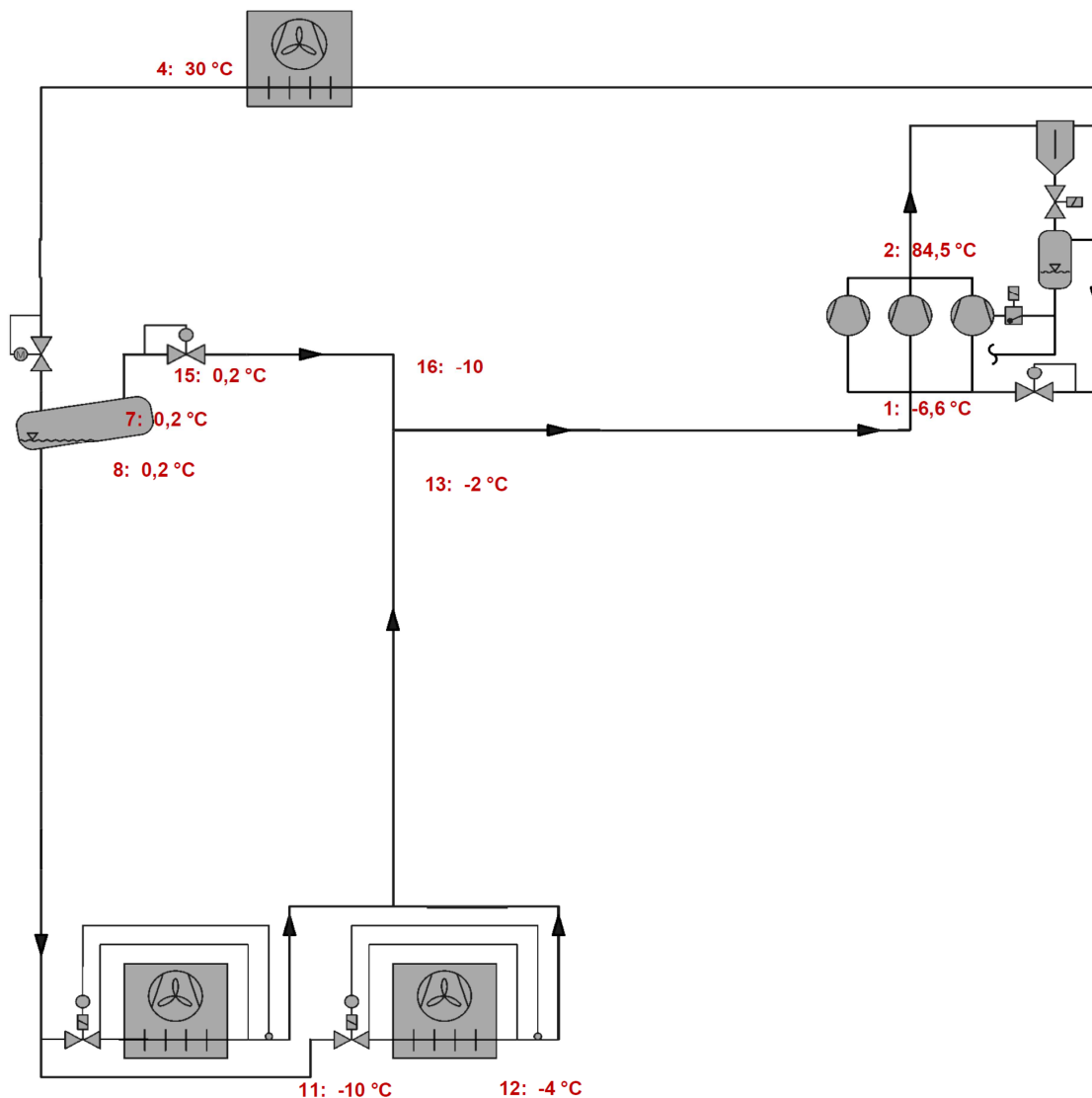
3.4.- Descripción de la solución escogida.

Así pues, el sistema escogido para la conversión de la instalación es un Sistema Transcrítico de CO₂ con baipás de flash-gas y apoyo de enfriamiento adiabático.

En este caso, se necesita 1 sólo nivel de temperatura de evaporación: -10°C.

El esquema de principio de la instalación escogida es el siguiente (fig. 5):

Figura 5: Esquema de principio de la solución escogida para la conversión
(Sistema Transcrítico de CO₂ con apoyo de enfriamiento adiabático).



Fuente: Bitzer

Una de las características deseadas del diseño de conversión es la fiabilidad del funcionamiento, por esta razón, se decide realizar 4 centrales frigoríficas iguales pero independientes para reducir los riesgos. Además, 500 kW es el límite de potencia razonable para una única central frigorífica con CO₂ transcrítico con la gama de compresores existentes actualmente

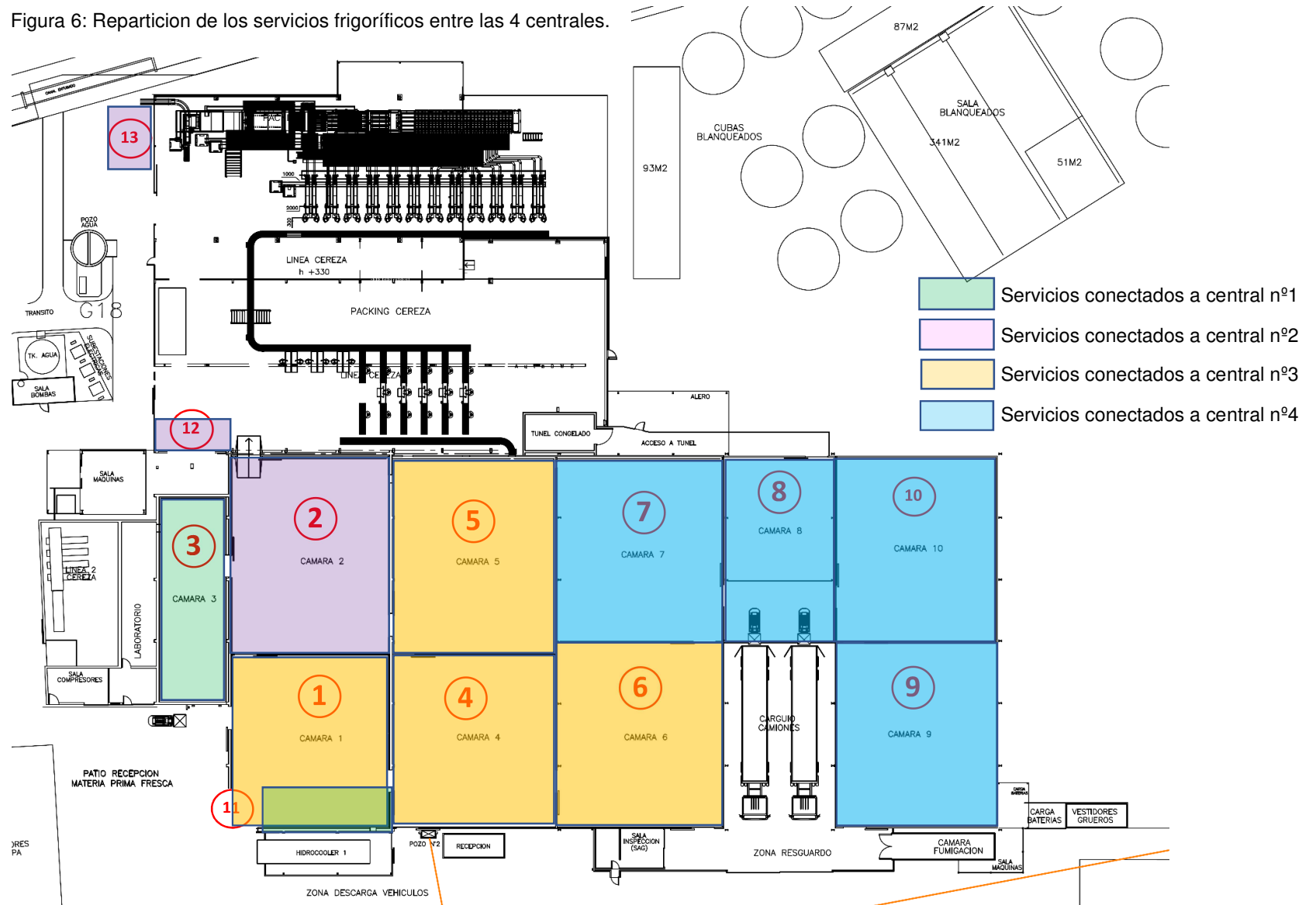
Los servicios positivos se han repartido entre las 4 centrales iguales.

En la fig. 6 se observa la repartición realizada de los servicios entre dichas centrales frigoríficas.

De la fig.6, tabla 4 y tabla 5 se deduce que las 4 centrales frigoríficas tendrán las siguientes potencias frigoríficas disponibles en compresores:

Potencia Frigorífica	Central nº 1	Central nº 2	Central nº 3	Central nº 4	Total instalado
Evaporación -10°C	485 kW	485 kW	485 kW	485 kW	1940 kW

Figura 6: Repartición de los servicios frigoríficos entre las 4 centrales.



Fuente: elaboración propia

4.- Especificaciones técnicas de la nueva instalación.

A continuación, se detallan las especificaciones técnicas de la nueva instalación convertida a CO₂, concretamente de los siguientes elementos:

- Centrales frigoríficas
- Gas coolers
- Evaporadores
- Valvulería
- Control
- Tubería y accesorios. Soldadura.
- Aislamiento
- Seguridad

4.1.- Centrales frigoríficas.

4.1.1.- Generalidades.

Las centrales frigoríficas de transcrito que se plantean son iguales, y tienen 3 zonas con presiones diferenciadas, cada una de ellas se diseña con una presión máxima de servicio (PS) distinta, acorde con las necesidades. La figura 7 indica la situación y alcance de cada una de las zonas de presión.

Presiones de diseño escogidas:

- Presión del sector de alta presión: 120 bar
- Presión del sector recipiente intermedio y líneas de líquido: 90 bar
- Presión del sector aspiración de los compresores de media Tº: 52 bar

Todos los materiales frigoríficos utilizados deberán tener una presión máxima de servicio, declarada por el fabricante, igual o superior a la presión de diseño escogida para el sector en el cual se encuentren instalados.

El material escogido para las tuberías de las centrales es el acero inoxidable AISI 304. En el sector de PS=120 bar será del tipo Schedule 40, mientras que en el resto de sectores será del tipo Schedule 10.

Como alternativa también podrá utilizarse la aleación de cobre de alta resistencia CuFe2P (conocida también como K65, nombre comercial de la marca Wieland).

Los recipientes de líquido, líneas de líquido y aspiración se suministrarán aisladas con espuma elastomérica, tipo Armaflex o similar, de espesor adecuado para las temperaturas de trabajo.

4.1.2.- Descripción de las Centrales frigoríficas

Las 4 centrales frigoríficas iguales dispondrán de los siguientes elementos principales:

- Compresores para Media Temperatura (-10°C):

- 6 compresores marca Bitzer modelo 6DTE-40K o similar, dos de ellos con variador de frecuencia externo (25 a 70 Hz).

- Accesorios para los compresores:

- Presostatos de alta y baja para cada compresor
- Resistencias de cárter para cada compresor

- Sistema de separación de aceite de alta presión con:

- 2 Separadores tipo coalescente marca ESK con control de nivel
- Controles de nivel de aceite electrónicos KRIWAN en cada compresor

- Sistema de expansión transcrítico con:

- Válvula motorizada de expansión transcrítica DANFOSS CCMT
- Válvula motorizada igual a la anterior como back-up.

- Recipiente intermedio:

- 2 Recipientes de líquido de 500 lts cada uno, conectados en paralelo.
- Válvula motorizada de baipás de flash-gas DANFOSS CCMT.
- Válvula motorizada igual a la anterior como back-up.

- Líneas de líquido:

- Intercambiador a placas, marca SWEP, como subenfriador de línea de líquido general.
- Llave de líquido marca DANFOSS para los servicios de media temperatura

- Aspiración de media temperatura:

- Llave de aspiración marca DANFOSS desde servicios de media temperatura
- Inyección de líquido para control de recalentamiento excesivo
- Inyección de vapor para control de recalentamiento insuficiente
- Llave de aspiración marca DANFOSS desde túnel.

- Panel de control:

- Transductores de presión de alta y baja en todos los sectores
- Sondas de temperatura
- Manómetros de presión de alta y baja en todos los sectores.

Foto 1: Central Booster Transcrítico para CO₂



Fuente:

Pecomark

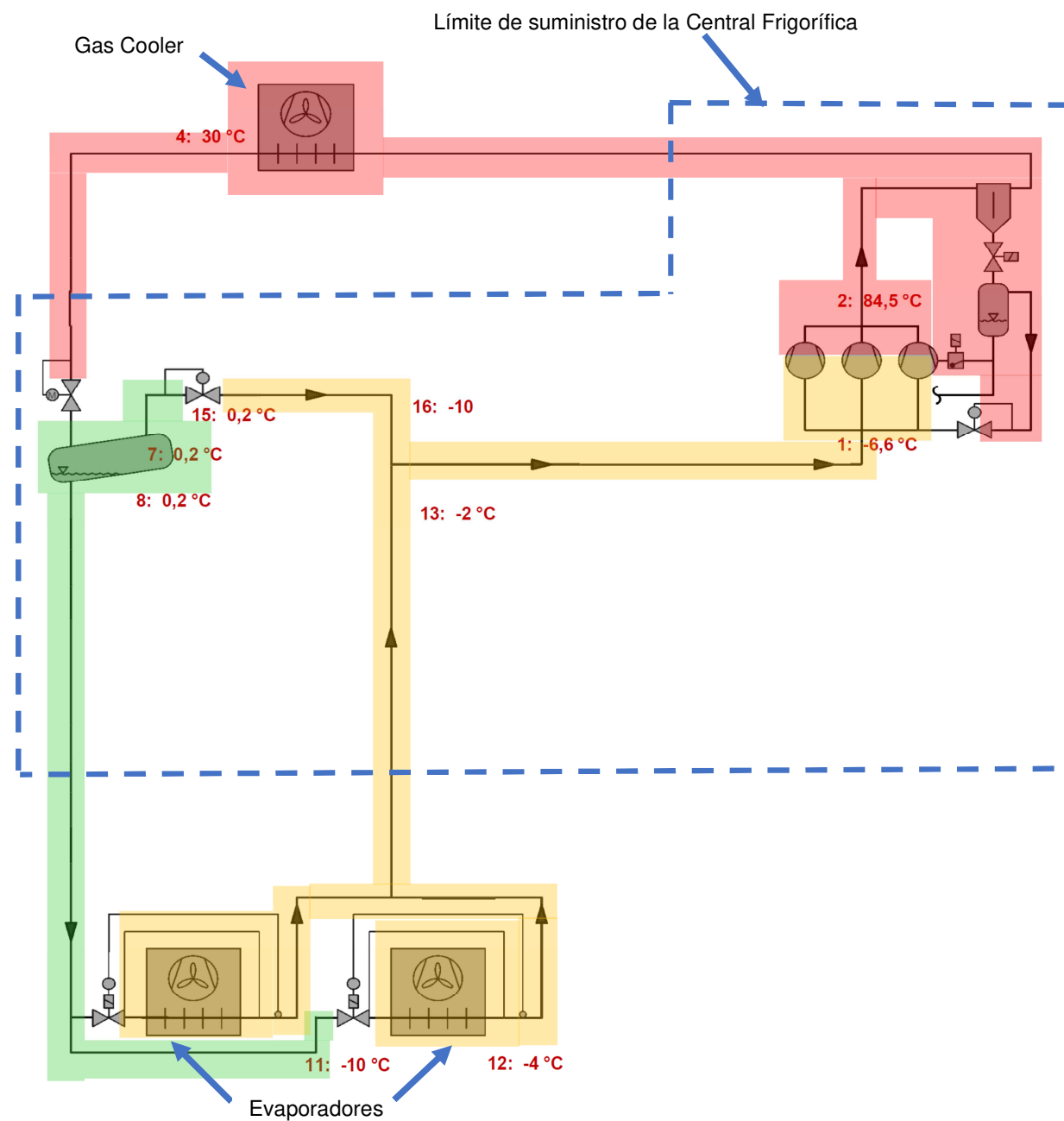


Figura 7: Sectores de la Central Transcrítica con distinta Presión de Servicio.

- Presión de servicio 120 bar
- Presión de servicio 90 bar
- Presión de servicio 52 bar

Fuente: elaboración propia

4.2. Gas Coolers.

4.2.1. Generalidades.

Los Gas coolers para este proyecto dispondrán de una presión máxima de servicio mínima de 120 bar.

Los materiales de construcción podrán ser cobre de alta resistencia, aleación CuFe2P o acero inoxidable AISI 304.

Los ventiladores de los gas coolers serán del tipo EC (electrónicamente conmutados) que permiten la variación de su velocidad de 0-100%.

Los gas coolers dispondrán de un sistema de apoyo para enfriamiento adiabático mediante spray de agua. Dicho sistema de enfriamiento se pondrá en marcha sólo con temperaturas ambientes superiores a 20°C

Para la selección del gas cooler se considerará:

- En funcionamiento transcrito, una diferencia de temperatura entre temperatura de entrada de aire y temperatura de salida de CO₂ del gas cooler máxima de 2K a una temperatura ambiente de 33°C (sin apoyo adiabático)
- Con la selección realizada en las condiciones de transcrito indicadas, se comprobará que, en funcionamiento subcrítico, por tanto, como condensador, se consigue una diferencia de temperatura inferior a 8 K entre la temperatura de entrada de aire y la temperatura de condensación, a temperatura ambiente de 12°C.

4.2.2. Descripción del Gas cooler para cada central

Los 4 gas coolers serán iguales, ya que las 4 centrales frigoríficas también lo son, y tienen las siguientes características:

Potencia de disipar: 705 kW a Tamb=33°C y DT=2 K en transcrito

Marca y modelo: ECO KCE 910G6 G722 o similar

Área de intercambio exterior: 1802 m²

Nº ventiladores: 10 de diámetro 900 mm

Caudal de aire: 240.000 m³/h

Potencia de los ventiladores (total): 26 kW

Dimensiones: 7765 x 2393 x 1386 (H) mm

Foto 2: Gas Cooler



Fuente: ECO Modine

4.2.3. Descripción del sistema de apoyo adiabático.

El sistema de apoyo adiabático, del tipo por nebulización de agua, para ambos gas coolers tiene las siguientes características:

Marca: CAREL CHILLBOOSTER

Estación de bombeo de agua de 1.000 lts/h: con suministro de agua a 10 bar al sistema de distribución, controlador de caudal todo/nada, válvula térmica de protección de alta temperatura, electroválvula de drenaje para parada de máquina.

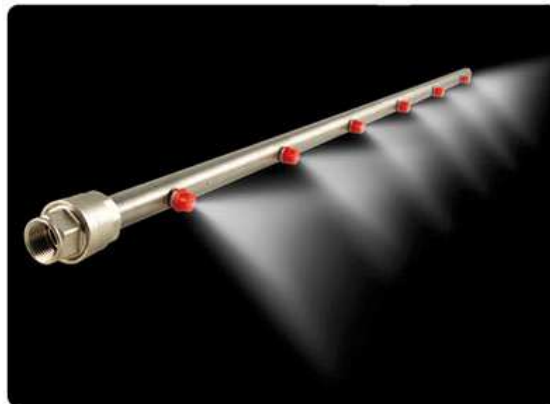
Colectores de distribución de agua: en acero inoxidable

Boquillas nebulizadoras

Electroválvula de drenaje del sistema de distribución

Mangueras de conexión y racores de metal

Foto 3: Sistema de apoyo adiabático



Fuente: CAREL

4.3. Evaporadores.

4.3.1. Generalidades.

Los evaporadores seleccionados para el presente proyecto deberán estar diseñados específicamente para el funcionamiento con CO₂. Serán del tipo de batería de tubos y aletas ventilada.

La presión máxima de funcionamiento (PS) mínima, declarada por el fabricante, deberá ser de 60 bar.

El tipo de evaporador para cámaras será siempre cúbico, para instalar sujeto al techo de las mismas.

Para el hidrocooler y enfriamientos de agua se instalarán nuevas baterías aleteadas diseñadas para CO₂, con PS 60 bar.

El material de fabricación de los tubos de los evaporadores será cobre de alta resistencia o CuFe2P (K65). Las aletas serán de aluminio

El desescarche de los evaporadores será por lluvia de agua. Para ello se aprovechará un depósito de agua existente para desescarche y el sistema de bombeo existente también puede ser aprovechado.

La separación mínima de aletas de los evaporadores será:

- Cámaras de conservación de frescos y túneles californianos: separación 6 mm
- Baterías aleteadas para hidrocooler y enfriamientos de agua: 8 mm

Foto 4: Evaporador para CO₂



Fuente: ECO Modine

4.3.2. Descripción de los evaporadores.

En la tabla 7 se detallan los evaporadores seleccionados para cada servicio frigorífico y sus características.

Inicialmente, se han seleccionado evaporadores de la marca ECO MODINE, de las series específicamente diseñadas para CO₂, las series CDC y CGC, pero pueden ser evaporadores de otras marcas, siempre y cuando cumplan con las mismas especificaciones.

Tabla 7: Datos de los evaporadores seleccionados para cada servicio

Nº servicio	Potencia Frigorífica (kW)	T evap. (°C)	Nº evapor.	Pot. Evap./un (kW)	Modelo	Superficie (m ²)	Caudal aire (m ³ /h)	Sep. Aletas (mm)
1	108	-10	3	36	CDC 504A6 WD	148	26.760	6
2	123	-10	3	41	CDC 504A6 WD	148	26.760	6
3	62,5	-10	2	31,25	CDC 503B6 WD	147	20.250	6
4	113	-10	3	37,66	CDC 504A6 WD	148	26.760	6
5	128	-10	3	42,66	CDC 504A6 WD	148	26.760	6
6	121	-10	3	40,33	CDC 504A6 WD	148	26.760	6
7	119	-10	3	39,66	CDC 504A6 WD	148	26.760	6
8	93	-10	3	31	CDC 503B6 WD	147	20.250	6
9	118	-10	3	39,3	CDC 504A6 WD	148	26.760	6
10	117	-10	3	39	CDC 504A6 WD	148	26.760	6
11	430	-10	6	72	Batería aleteada	59	--	8
12	180	-10	3	60	Batería aleteada	49	--	8
13	180	-10	3	60	Batería aleteada	49	--	8

Fuente: elaboración propia

4.4. Valvulería.

Para cada evaporador, se considera la siguiente valvulería necesaria:

- Una llave de cierre en la línea de líquido.
- Una válvula de expansión electrónica de tipo pulsante, de la serie AKVH de Danfoss o similar
- Una válvula de retención (check valve) en la salida (aspiración) de cada evaporador. Esta válvula está destinada a limitar la cantidad de CO₂ que podría liberarse a cada cámara en caso de fuga de refrigerante en una de ellas.
- Una llave de cierre en la línea de aspiración
- Para el control de la válvula de expansión electrónica se colocará una sonda de temperatura y un transductor de presión.
- También se dispondrán llaves de 1/4" de servicio para vaciado de cada tramo aislable por válvulas, evitando de este modo que pueda quedar CO₂ atrapado en caso de labores de mantenimiento.

Las válvulas utilizadas deberán cumplir con la presión máxima de servicio del tramo en el que están instaladas (ver punto 4.1.1 y figura 7).

4.5. Control

Para el control de cada central de CO₂ transcrítico se dispondrá de los siguientes controladores electrónicos de marca Danfoss:

- 1 controlador AK-PC-781A para control de los compresores de positiva, ventiladores de gas cooler, válvula de expansión transcrítica y válvula de baipás de flash-gas.
- Módulos de ampliación para entradas y salidas tanto analógicas como digitales.
- 1 controlador AK-CC-550A para cada evaporador, controlando temperatura de cámara, desescarche, ventiladores y válvula de expansión electrónica.

Foto 5: Controlador Danfoss AK-PC-781A



Fuente: Danfoss

Foto 6: Controlador Danfoss AK-CC-550A



Fuente: Danfoss

4.6. Tubería y accesorios. Soldadura.

Según se vio en el apartado 4.1.1., las instalaciones frigoríficas de transcrítico de este proyecto tienen 3 zonas con presiones diferenciadas, cada una de ellas se diseña con una presión máxima de servicio (PS) distinta:

Presiones de diseño:

- Tuberías de ida y vuelta al gas cooler: 120 bar
- Tuberías de líquido: 90 bar
- Tuberías de aspiración de los compresores de media Tº: 52 bar

Todas las tuberías y accesorios frigoríficos utilizados deberán tener una presión máxima de servicio, declarada por el fabricante, igual o superior a la presión de diseño escogida para el sector en el cual se encuentren instalados.

Para las tuberías de 120, 90 y 52 bar se utilizará la aleación de cobre de alta resistencia CuFe2P (conocida también como K65, nombre comercial de la marca Wieland).

La soldadura recomendada es la siguiente:

Cu / Cu:	L-Ag 2P / L-Ag 15P
Cu / K65 (CuFe2P):	L-Ag 2P / L-Ag 15P
K65 / K65 (CuFe2P):	L-Ag 2P / L-Ag 15P
Cu / Latón:	L-Ag 20 / L-Ag 45 Sn (con fundente; "borax")
Cu / Acero al carbono:	L-Ag 20 / L-Ag 45 Sn (con fundente; "borax")
Cu / Acero inoxidable:	L-Ag 20 / L-Ag 45 Sn (con fundente; "borax")
K65 / Latón:	L-Ag 20 / L-Ag 45 Sn (con fundente; "borax")
K65 / Acero al carbono:	L-Ag 20 / L-Ag 45 Sn (con fundente; "borax")
K65 / Acero inoxidable:	L-Ag 20 / L-Ag 45 Sn (con fundente; "borax")

Nota: se recomienda preferentemente el tipo de soldadura que está en "negrita".

A continuación se indican los diámetros calculados para las distintas tuberías de refrigerante:

Tuberías generales:

Tubería	Por cada central
Ida gas cooler	2 1/8"
Regreso gas cooler	2 1/8"
Líquido general positiva	2 1/8"
Aspiración general positiva	2 5/8"

Tuberías de cada evaporador:

Nº servicio	Potencia Frigorífica (kW)	T evap. (°C)	Nº evapor.	Pot. Evap./un (kW)	Tubería líquido por evap.	Tubería aspiración por evap.
1	108	-10	3	36	5/8"	3/4"
2	123	-10	3	41	5/8"	3/4"
3	62,5	-10	2	31,25	5/8"	5/8"
4	113	-10	3	37,66	5/8"	3/4"
5	128	-10	3	42,66	5/8"	3/4"
6	121	-10	3	40,33	5/8"	3/4"
7	119	-10	3	39,66	5/8"	3/4"
8	93	-10	3	31	5/8"	5/8"
9	118	-10	3	39,3	5/8"	3/4"
10	117	-10	3	39	5/8"	3/4"
11	430	-10	6	72	7/8"	1 1/8"
12	180	-10	3	60	7/8"	7/8"
13	180	-10	3	60	7/8"	7/8"

4.7. Aislamiento térmico.

Para aislamiento de las tuberías de líquido y aspiración se utilizará aislamiento térmico flexible de estructura celular cerrada y con elevado factor de resistencia a la difusión del vapor de agua y baja conductividad térmica.

El material del aislamiento será espuma elastomérica a base de caucho sintético de color negro, tipo Armaflex AF o similar.

Los espesores utilizados serán crecientes en función del diámetro para garantizar la misma temperatura superficial y que no provoquen condensaciones.

La conductividad térmica será igual o inferior a 0,033 W/mK y el factor mínimo de resistencia a la difusión del vapor de agua será de 10.000.

El espesor recomendado será:

- Para líneas de líquido y aspiración de servicios positivos: Armaflex tipo AF-5 con espesor nominal creciente de 25 a 32 mm.

4.8. Seguridad

Las centrales frigoríficas de este proyecto ya están dotadas de elementos de seguridad intrínsecos como presostatos de seguridad para limitar las presiones y válvulas de seguridad como último elemento que garantiza que las presiones no puedan superar los valores de seguridad admisibles.

No obstante, se instalarán además los siguientes elementos para seguridad de las personas en caso de fuga de CO₂:

En la/s sala/s de máquinas y en cada cámara se instalará un detector fijo de fugas de CO₂, con un nivel de pre-alarma a 5.000 ppm y otro nivel de alarma a 10.000 ppm. Dichos detectores se instalarán a una altura no superior a 1 m desde el suelo, habida cuenta de la mayor densidad del CO₂ respecto del aire.

En las salas de máquinas, el nivel de pre-alarma pondrá en marcha ventilación mecánica de la sala, que extraerá de la parte baja de la sala de máquinas, garantizando una renovación de al menos 30 m³/h por cada 10 m² de sala de máquinas.

Si se activase el nivel de alarma, se prohibirá el acceso a la sala de máquinas a cualquier persona si no es con equipo de respiración autónomo.

En las cámaras frigoríficas, los detectores fijos de fugas, al alcanzar el nivel de pre-alarma, darán orden al control de la cámara de detener la entrada de refrigerante a los evaporadores de dicha cámara. De esta forma, sólo el volumen de CO₂ contenido en los evaporadores podrá escapar a la cámara, ya que los evaporadores, como ya se ha visto en el apartado 4.4, irán dotados de una válvula de retención a su salida que impedirá el retroceso de refrigerante procedente de otras cámaras hacia la cámara que presenta fuga.

5.- Evaluación del consumo energético anual de la instalación actual y la instalación de conversión propuesta.

5.1.- Metodología de cálculo.

Para la evaluación del consumo energético anual de la configuración de instalación actual y la instalación convertida, se ha aplicado la siguiente metodología:

- Se han obtenido los datos de temperaturas medias de bulbo seco y bulbo húmedo para cada mes del año, utilizando la base de datos climatológicos ASHRAE WEATHER DATA VIEWER 6.0, para el observatorio de Santiago, situado en el aeropuerto internacional de Pudahuel. Este observatorio es el más cercano, con clima similar y existente en dicha base de datos, a la población de Romeral, donde se encuentra la planta objeto del proyecto. En la tabla 8 se resumen dichos datos:

Tabla 8: Temperaturas medias seca y húmeda por mes

Mes	Temperatura media bulbo seco (°C)	Temperatura media bulbo húmedo (°C)
Enero	21,23	14,27
Febrero	20,37	14,07
Marzo	18,62	13,03
Abril	14,75	10,67
Mayo	11,20	8,52
Junio	8,84	6,91
Julio	7,98	6,06
Agosto	9,56	7,26
Septiembre	11,92	8,93
Octubre	14,73	10,49
Noviembre	17,51	11,84
Diciembre	19,77	13,22
MEDIA ANUAL	14,74	10,58

Fuente: ASHRAE Data Viewer 6.0

- Se ha considerado un porcentaje de funcionamiento de la instalación para cada mes del año, ya que la instalación es de uso claramente estacional ligado a las cosechas de cerezas. Se ha considerado que la temporada importante se produce entre los meses de Noviembre y Febrero. El resto del año, la instalación continua en funcionamiento pero con menos carga de trabajo para la producción de cerezas marrasquino, frutas deshidratadas y zumos de fruta. Se han estimado unos

porcentajes de uso de la instalación, de manera aproximada, que se recogen en la tabla 9.

Tabla 9: Porcentaje de funcionamiento estimado de la planta por mes

Mes	Horas totales del mes	Porcentaje funcionamiento instalación
Enero	744	0,808
Febrero	672	0,716
Marzo	744	0,353
Abril	720	0,333
Mayo	744	0,353
Junio	720	0,246
Julio	744	0,192
Agosto	744	0,176
Septiembre	720	0,180
Octubre	744	0,236
Noviembre	720	0,787
Diciembre	744	0,850

Fuente: elaboración propia

Nota: el porcentaje máximo de funcionamiento mensual se ha establecido en el 85% (mes de enero).

- Se ha calculado (estimado) el consumo energético para cada mes del año con ayuda de los softwares de cálculo de fabricantes de compresores, considerando que la carga frigorífica es del 100%. Este cálculo se ha realizado para la instalación actual y para la instalación de conversión propuesta.

Para la instalación existente se ha considerado que la temperatura de condensación es constante a 35°C durante todo el año, ya que durante la visita se constató que no existe un control flotante de la condensación, y que éste era el valor existente en media. Por otro lado, la condensación evaporativa, que es la existente en la instalación actual, es más estable a lo largo del año que la condensación por aire.

Para la instalación de conversión propuesta se ha considera una temperatura de condensación flotante, con ayuda de un sistema adiabático cuando la temperatura exterior supera los 20°C y según los datos de la tabla 8.

También se ha considerado en el consumo de la instalación, el consumo de los ventiladores de los condensadores y las bombas de agua de los evaporativos

El consumo de evaporadores y desescarche no se ha considerado en el cálculo, ya que va a permanecer muy similar para las 2 instalaciones, y es reducido respecto del consumo de los compresores.

Se adjuntan, en las siguientes tablas 10 y 11, los resultados de los cálculos realizados:

Tabla 10: Instalación existente. Consumos energéticos por mes (del total de la instalación al 100%)

Mes	Pot. Absorbida Total (kW)
Enero	730,86
Febrero	730,40
Marzo	728,14
Abril	723,74
Mayo	720,39
Junio	718,23
Julio	717,18
Agosto	718,68
Septiembre	720,98
Octubre	723,44
Noviembre	725,81
Diciembre	728,54

Fuente: elaboración propia

Tabla 11: Instalación de conversión. Consumos energéticos por mes (del total de la instalación al 100%)

Mes	Pot. Absorbida Total (kW)
Enero	672,78
Febrero	672,78
Marzo	729,51
Abril	672,78
Mayo	578,97
Junio	526,82
Julio	489,50
Agosto	526,82
Septiembre	578,97
Octubre	672,78
Noviembre	729,51
Diciembre	800,29

Fuente: elaboración propia

- Los consumos energéticos por mes de las tablas 10 y 11 se ponderan por el porcentaje de horas de funcionamiento de cada mes establecido en la tabla 9, para establecer los kWh consumidos anualmente por cada instalación.

5.2.- Resultado de los cálculos.

Tabla 12: Energía consumida anual por la instalación existente (estimación)

Mes	Pot. Abs Total	Horas totales del mes	Porcentaje funcionamiento instalación	Energía consumida (kWh)
Enero	730,86	744	0,808	439.280,2
Febrero	730,40	672	0,716	351.600,3
Marzo	728,14	744	0,353	191.100,9
Abril	723,74	720	0,333	173.360,3
Mayo	720,39	744	0,353	189.066,9
Junio	718,23	720	0,246	127.376,8
Julio	717,18	744	0,192	102.275,9
Agosto	718,68	744	0,176	94.246,8
Septiembre	720,98	720	0,180	93.397,8
Octubre	723,44	744	0,236	126.770,9
Noviembre	725,81	720	0,787	411.160,7
Diciembre	728,54	744	0,850	460.727,9
TOTAL ANUAL				2.760.365,4

Fuente: elaboración propia

Tabla 13: Energía consumida anual por la instalación de conversión (estimación)

Mes	Pot. Abs Total	Horas totales del mes	Porcentaje funcionamiento instalación	Energía consumida (kWh)
Enero	672,78	744	0,808	404.373,5
Febrero	672,78	672	0,716	323.862,9
Marzo	729,51	744	0,353	191.461,1
Abril	672,78	720	0,333	161.154,4
Mayo	578,97	744	0,353	151.951,0
Junio	526,82	720	0,246	93.429,8
Julio	489,50	744	0,192	69.806,0
Agosto	526,82	744	0,176	69.086,4
Septiembre	578,97	720	0,180	75.001,2
Octubre	672,78	744	0,236	117.894,6
Noviembre	729,51	720	0,787	413.258,9
Diciembre	800,29	744	0,850	506.105,1
TOTAL ANUAL				2.577.384,7

Fuente: elaboración propia

Por tanto, la instalación de conversión consigue ahorros de energía anuales de 182.980,7 kWh. Esto supone un 7% anual respecto de la instalación existente.

6.- Estimaciones de las emisiones de CO₂-eq directas e indirectas de la instalación actual y la instalación de conversión propuesta.

Para la estimación de las emisiones de CO₂-eq se utilizará el concepto de TEWI (Total Equivalent Warming Impact), que tiene en cuenta las emisiones directas e indirectas, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{TEWI} = f(\text{fugas}) + f(\text{pérdidas en la recuperación}) + f(\text{consumo de energía})$$

Es decir:

$$\text{TEWI} = (\text{GWP} \times \text{L} \times \text{n}) + (\text{GWP} \times \text{m} \times (1-\text{a})) + (\text{n} \times \text{E}_{\text{anual}} \times \text{b})$$

Donde:

GWP: Potencial de calentamiento global del refrigerante.

L: tasa de fuga (kg/año)

n: Vida útil operativa de la instalación (años)

m: carga total de refrigerante (kg)

a: recuperación de refrigerante final antes de desballestado de la instalación

E_{anual}: Consumo anual de energía (kWh/año)

b: emisiones de CO₂ procedentes del uso de energía (kg CO₂ /kWh)

Los 2 primeros sumandos corresponden a las emisiones directas y el tercero a las indirectas.

6.1.- Cálculo del TEWI para la instalación actualmente existente.

Para dicho cálculo se tienen en cuenta los siguientes datos:

- Carga total de refrigerante estimada de la instalación actual:
 - o R-22: 1.400 kg
 - o R-507A: 2.550 kg
- GWP del R-507: 3.985
- GWP del R-22: 1.810
- Tasa de fugas: 15% anual medio para R-22 y R-507A (dato congruente con los recogidos en la pag. 247 del "IPCC/TEAP Special Report: Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System, 2005")
- Vida útil operativa de la instalación: se consideran 20 años.
- Recuperación final antes de desballestado de la instalación: 90%

- Emisiones de CO₂ procedentes del uso de energía: 0,7668 kg CO₂-eq/kWh (dato procedente de la página web www.energíabierta.cl y correspondiente a la media del año 2016)
- Consumo anual de energía:
 - Instalación R-22: 1.203.519,31 kWh/año
 - Instalaciones R-507A: 1.556.846,09 kWh/año

La suma de estos 2 consumos corresponde con el consumo total de la instalación anualmente (ver punto 5.2.)

Con estos datos el cálculo del TEWI, calculado para cada refrigerante existente en la instalación, resulta:

$$\text{TEWI (R-22)} = (1.810 \times 210 \times 20) + (1.810 \times 1.400 \times (1-0,9)) + (20 \times 1.203.519,31 \times 0,7668)$$

$$\text{TEWI (R-22)} = 7.602.000 + 253.400 + 18.457.172,21 = 26.312.572,2 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$$

$$\text{TEWI(R-507)} = (3.985 \times 382,5 \times 20) + (3.985 \times 2.550 \times (1-0,9)) + (20 \times 1.556.846,1 \times 0,7668)$$

$$\text{TEWI (R-507)} = 30.485.250 + 1.016.175 + 23.875.792 = 55.377.216,5 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$$

$$\text{TEWI (TOTAL)} = 26.312.572,2 \text{ kg CO}_2\text{-eq} + 55.377.216,5 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$$

TEWI = 81.689,8 Tm CO₂-eq

Donde:

Fugas: 46,6% del total

Pérdidas en la recuperación: 1,6% del total

Consumo de energía: 51,8% del total

6.2.- Cálculo del TEWI para la instalación de conversión.

Para dicho cálculo se tienen en cuenta los siguientes datos:

- Carga total de refrigerante estimada de la instalación de conversión: 3.600 kg entre todas las máquinas.
- GWP del CO₂: 1

- Tasa de fugas: 15% anual (540 kgs/año). En este caso, al no encontrar datos publicados contrastados, se asume el mismo valor de tasa de fugas media que para R-22 y R-507A.
- Vida útil operativa de la instalación: se consideran 20 años.
- Recuperación final antes de desballestado de la instalación: NO
- Emisiones de CO₂ procedentes del uso de energía: 0,7668 kg CO₂-eq/kWh (dato procedente de la página web www.energíaabierta.cl y correspondiente a la media del año 2016)
- Consumo anual de energía : 2.577.384,7 kWh/año (ver punto 5.2.)

Con estos datos el cálculo del TEWI arroja el siguiente valor:

$$\text{TEWI} = (1 \times 540 \times 20) + (1 \times 3600 \times (1-0)) + (20 \times 2.577.384,7 \times 0.7668)$$

$$\text{TEWI} = 10.800 + 3.600 + 39.526.771,7 = 39.541.171,8 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$$

TEWI = 39.541,2 Tm CO₂-eq

Donde:

Consumo de energía: 99,96% del total

7.- Estimación del capital y costo de operación de la instalación de conversión.

Los costos estimados para la instalación de conversión descrita en el presente proyecto son:

Costos de adquisición (estimación):

- 4 Centrales frigoríficas.....	555.000 US\$
- 4 Gas coolers.....	122.000 US\$
- Evaporadores.....	400.000 US\$
- Valvulería.....	66.000 US\$
- Cuadro eléctrico de potencia y control.....	266.000 US\$
- Elementos de seguridad.....	110.000 US\$
- Tuberías, aislamiento, soportación.....	223.000 US\$
- Instalación y puesta en marcha.....	445.000 US\$
- Grúas y medios de elevación.....	33.000 US\$

TOTAL COSTO ADQUISICIÓN.....2.220.000 US\$

Costos de operación (estimación):

Según los consumos energéticos estimados para los compresores y condensadores en el apartado 5.2. y el precio de la energía según el Informe “Comparación de Precios de Electricidad en Chile y países de la OCDE y América Latina” disponible en la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile se estiman en:

$$2.577.384,7 \text{ kWh} \times 0,154 \text{ US\$/kWh} = 396.917,24 \text{ US\$ /año}$$

Este valor debe incrementarse con el consumo de los ventiladores de los evaporadores y el desescarche, que se estima en un 20% adicional, por tanto:

Costo de operación estimado: 476.300 US\$/año

8.- Conclusiones.

Este proyecto demuestra que es posible la utilización de tecnología existente para el refrigerante CO₂ en las instalaciones frigoríficas del sector de Proceso de Fruta y Hortalizas en Chile, que utilizan cámaras a temperaturas positivas.

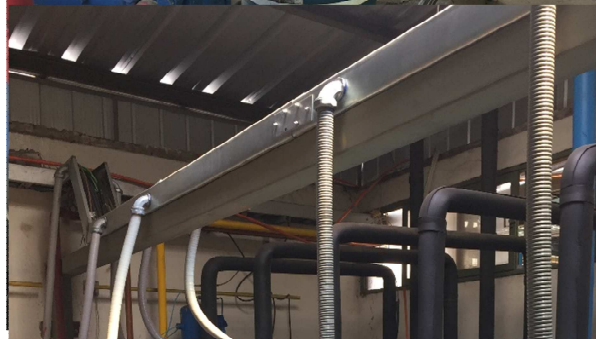
En particular, la tecnología conocida como CO₂ Transcrítico con Baipás de Flash-gas es adecuada.

Además, las favorables condiciones ambientales anuales de la región del Maule posibilitan el uso de esta tecnología en una versión simplificada mediante el apoyo de un sistema adiabático para condensación durante unas pocas horas anuales.

Esta nueva tecnología procura también un ahorro energético comparada con la tecnología actual con freones.

Los ahorros en costos energéticos obtenidos con la nueva tecnología de CO₂ llegan al 7%, en este tipo de aplicaciones.

9.- Fotos.



Central de compresores de SADEMA 3





Central de compresores de SADEMA 4

Túnel californiano de enfriamiento de cereza