

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 NEGATIVA 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 negativa que funcionan con HCFC o HFC.

Índice del documento

0.- Agradecimientos.....	4
1.- Objeto 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.	16
3.1.- Características deseadas de la nueva instalación.....	16
3.2.- Datos de partida para el diseño de conversión.....	17
3.3.- Alternativas posibles para el diseño de conversión.....	18
3.4.- Descripción de la solución escogida.	20
4.- Especificaciones técnicas de la nueva instalación.....	24
4.1.- Centrales frigoríficas.	24
4.1.1.- Generalidades.....	24
4.1.2.- Descripción de la Central frigorífica nº 1.....	25
4.1.3.- Descripción de la Central frigorífica nº 2.....	26
4.2. Gas Coolers.....	30
4.2.1. Generalidades.	30
4.2.2. Descripción del Gas cooler para la Central nº 1.	31
4.2.3. Descripción del Gas cooler para la Central nº 2.	31
4.2.4. Descripción del sistema de apoyo adiabático.	32
4.3. Evaporadores.	32
4.3.1. Generalidades.	32
4.3.2. Descripción de los evaporadores.....	33
4.4. Valvulería.	36
4.5. Control	36
4.6. Tubería y accesorios. Soldadura.....	37

4.7. Aislamiento térmico.....	38
4.8. Seguridad	39
5.- Evaluación del consumo energético anual de la instalación actual y la instalación de conversión propuesta.	40
5.1.- Metodología de cálculo.	40
5.2.- Resultado de los cálculos.	43
6.- Estimaciones de las emisiones de CO ₂ -eq directas e indirectas de la instalación actual y la instalación de conversión propuesta.	44
6.1.- Cálculo del TEWI para la instalación actualmente existente.	44
6.2.- Cálculo del TEWI para la instalación de conversión.	45
7.- Estimación del capital y coste de operación de la instalación de conversión.	46
8.- Conclusiones.....	47
9.- Fotos.	48

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	20
Figura 5: Esquema de principio de la solución escogida para la conversión (Sistema transcrítico de CO ₂ con apoyo de enfriamiento adiabático)	21
Figura 6: Repartición de los servicios frigoríficos entre las 2 centrales frigoríficas.....	23
Figura 7: Sectores de la Central transcrítica con distinta presión de servicio	27

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.....	13

Tabla 4: Resumen de necesidades térmicas	14
Tabla 5: Datos disponibles y calculados de los servicios frigoríficos	15
Tabla 6: Resumen de potencias resultantes para el cálculo.....	17
Tabla 7: Datos de los evaporadores seleccionados para cada servicio	33
Tabla 8: Temperaturas medias seca y húmeda por mes	38
Tabla 9: Porcentaje de funcionamiento de la planta por mes	39
Tabla 10: Instalación existente. Consumos energéticos por mes (del total de la instalación al 100%	40
Tabla 11: Instalación de conversión. Consumos energéticos por mes (del total de la instalación al 100%	40
Tabla 12: Energía consumida anual por la instalación existente (estimación).....	41
Tabla 13: Energía consumida anual por la instalación de conversión (estimación) ..	41

Índice de fotografías

Foto 1: Central frigorífica booster transcrito para CO ₂	29
Foto 2: Gas Cooler	30
Foto 3: Sistema de apoyo adiabático	31
Foto 4: Evaporador para CO ₂	32
Foto 5: Controlador Danfoss AK-PC-781A	34
Foto 6: Controlador Danfoss AK-CC-550A	34

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 berries) congelada, donde los sistemas frigoríficos funcionan con HCFC o HFC y dispone de cámaras de temperatura positiva, pero también de abundantes cámaras de temperatura negativa, así como de túneles de congelación.

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 hidrofluoroolefinas (HFO).

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

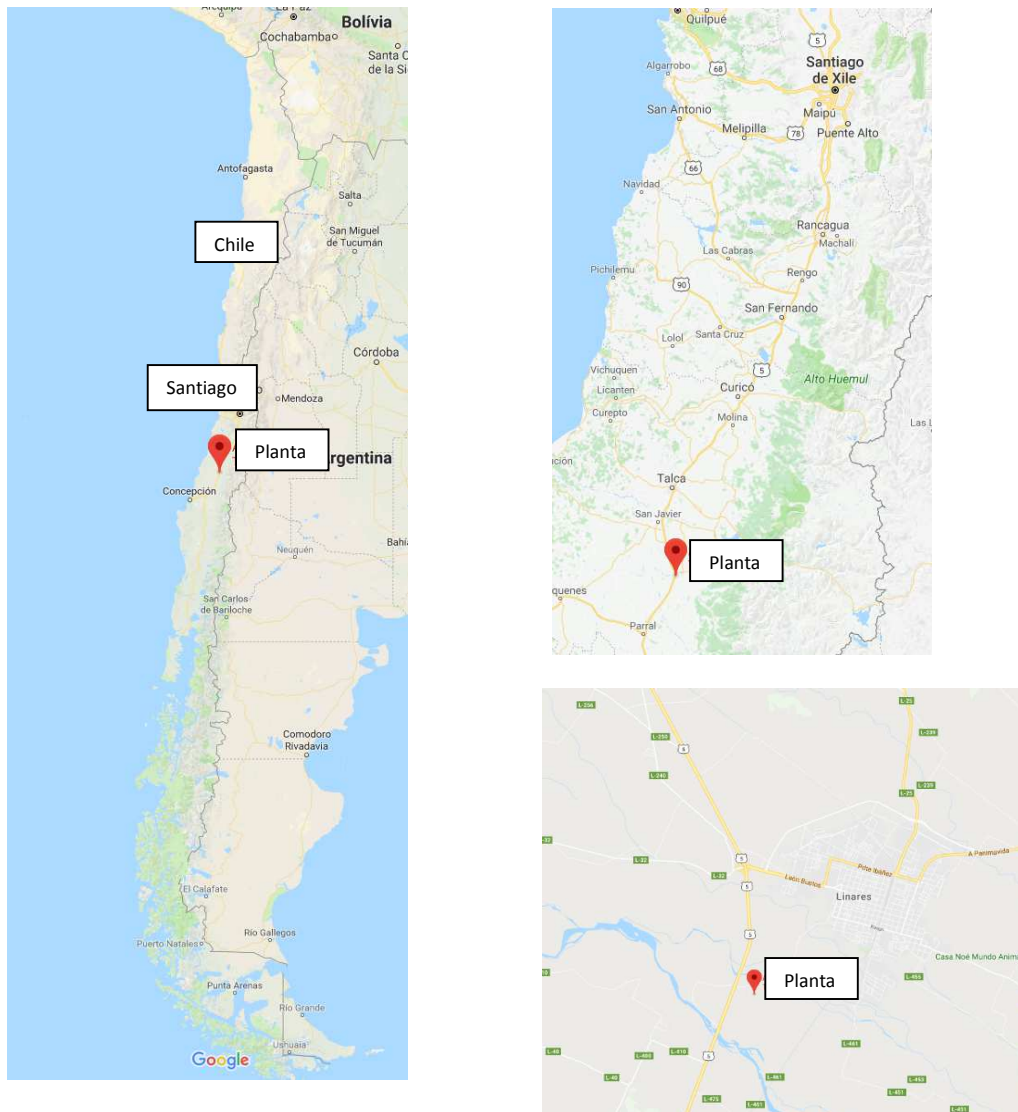
La planta objeto del proyecto está destinada al proceso de frutos del bosque (berries) orgánicos de todo tipo: arándanos (*blueberries*), frambuesas (*raspberries*), moras (*blackberries*) y frutillas (*strawberries*), tanto frescos como congelados para, principalmente, el mercado de la exportación.

En fecha 6 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 cerca de la ciudad de Linares, en la región del Maule, en el valle central de Chile.

Figura 1: Situación geográfica de la planta objeto del proyecto.



Fuente: Google Maps

Tabla 1: Datos generales de la planta

Situación de la planta	Linares
Tipo de industria	Procesado de berries orgánicos frescos y congelados
Superficie de la planta	5.000 m ² aproximadamente

2.2. Datos climáticos

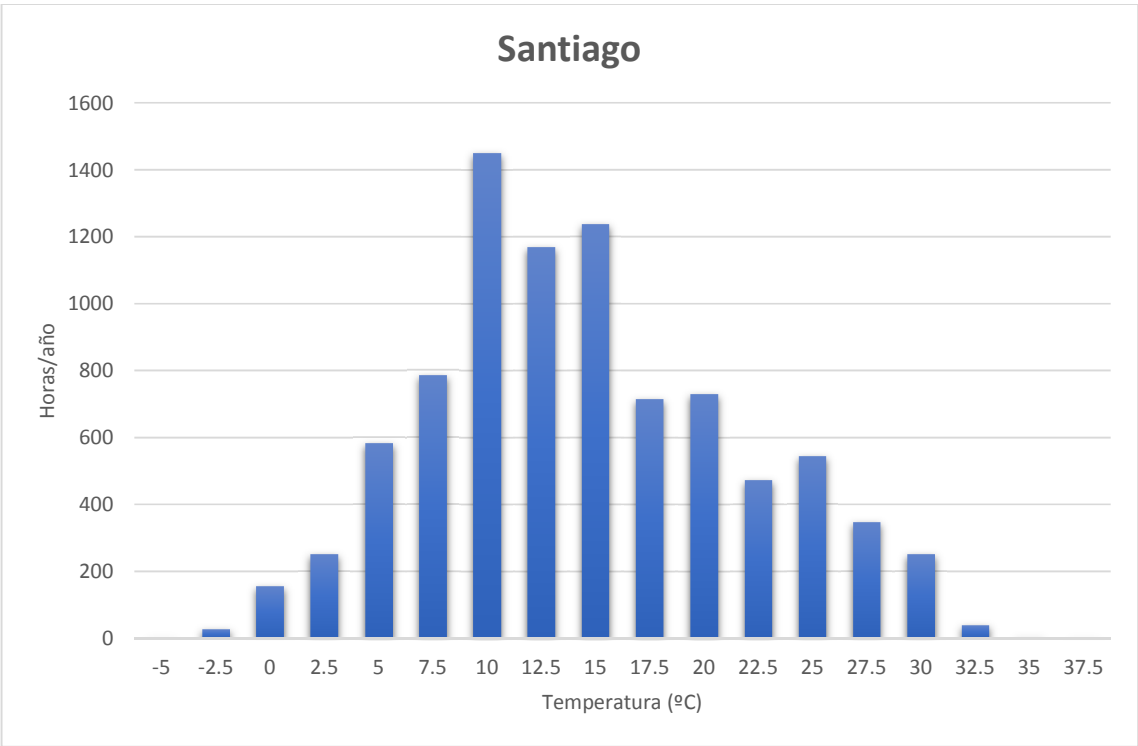
Los datos climáticos que se tienen en cuenta para este proyecto han sido obtenidos de la base de datos del ASHRAE Weather Data Viewer 6.0

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 Linares, 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 Linares se encuentra a 300 km al Sur de Santiago, ambas ciudades se encuentran en un clima de tipo Csb según la clasificación de Köppen, de clima

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

Esto resulta en una temperatura media inferior para Linares, 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:

- Salas refrigeradas para procesado de producto fresco y producto congelado
- Cámaras de conservación de producto fresco
- Cámaras de Pre-Frio (enfriamiento rápido)
- Cámaras de conservación de producto congelado
- Túneles de congelación

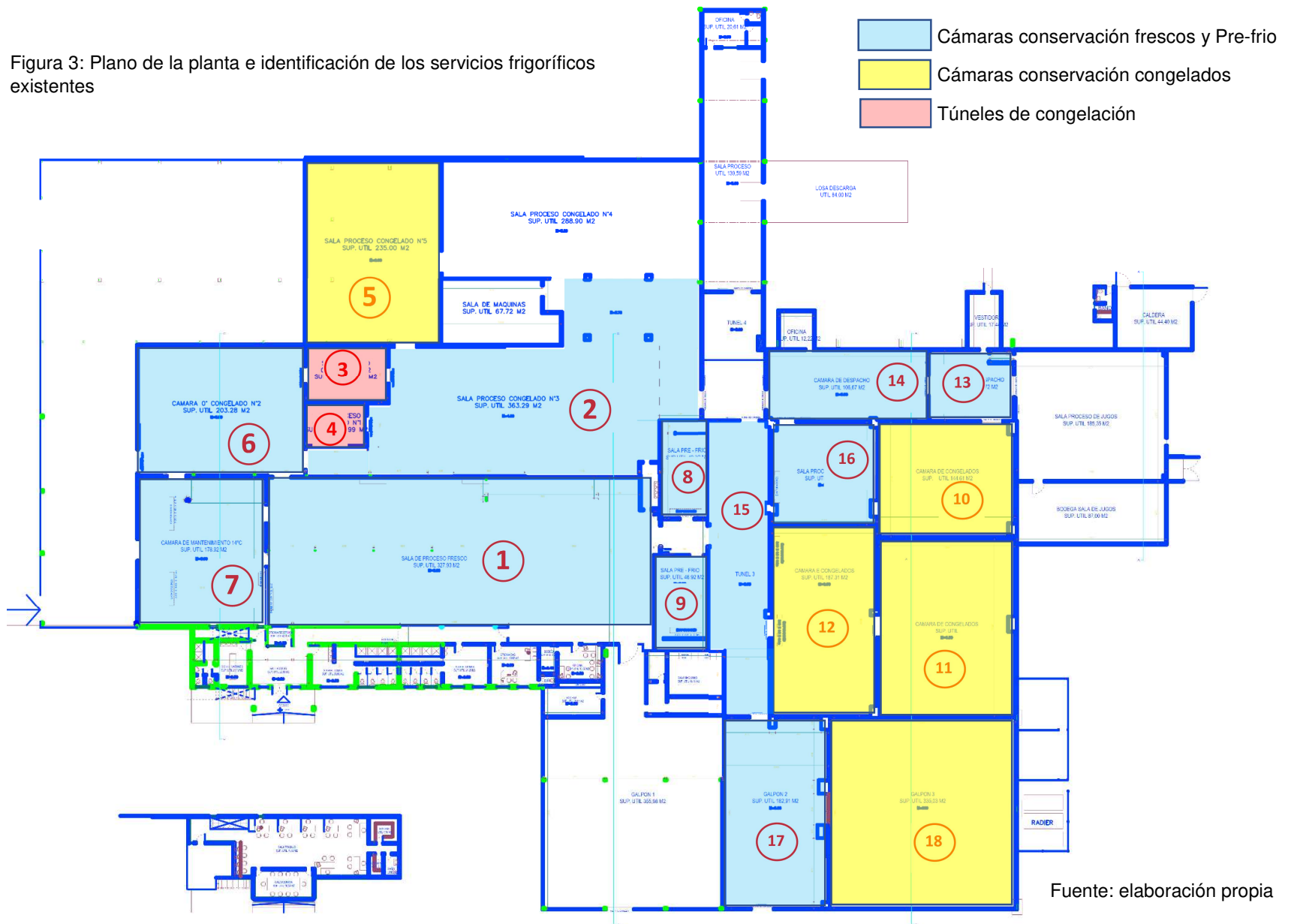
A continuación se detalla la relación de los servicios frigoríficos existentes y su situación en el plano de planta:

Nº en plano	Servicio Frigorífico	Uso	Tº cámara (°C) aprox.
1	Sala de proceso 1 frescos	Procesado de berries frescos	+8
2	Sala de proceso congelado 2	Procesado de berries congelados	+4
3	Túnel congelación grande	Congelación de 12 palets	-30
4	Túnel congelación pequeño	Congelación de 8 palets	-30
5	Cámara congelado	Conservación producto congelado	-20
6	Sala proceso congelado	Sala de Pre-Frio antes de los túneles de congelación	0
7	Cámara recepción frescos	Recepción berries frescos	+8
8	Túnel Pre-Frio nº1	Túnel refrigeración rápida	0
9	Túnel Pre-Frio nº2	Túnel refrigeración rápida	0
10	Cámara congelado 5A	Conservación producto congelado	-20
11	Cámara congelado 5B	Conservación producto congelado	-20
12	Cámara congelado 3	Conservación de congelado actualmente a 0°C (durante 1 mes al año)	-20 (0)
13	Pasillo 1 (o cámara de mantenimiento)	Zona de paso	+4
14	Pasillo 2 (o cámara de despacho)	Zona de paso	+4
15	Pasillo 3 (o cámara de muestreo)	Zona de paso	0
16	Sala de empaquetado	Sala de empaquetado	0
17	Cámara 4	Conservación de producto fresco	0
18	Cámara congelado 6	Conservación producto congelado	-20

Tabla 2: Servicios frigoríficos de la planta.

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 3 salas de máquinas (SADEMA), con distintas centrales frigoríficas y unidades condensadoras.

Se observa que el crecimiento de la instalación frigorífica durante el tiempo ha ido parejo con el crecimiento de la empresa, cosa totalmente lógica y análoga en cualquier parte del mundo. Por esta razón, vista a día de hoy, la instalación tiene un aspecto un poco caótico.

Sin embargo, 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:

SADEMA 1

MAQUINA 1: Central Frigorífica Positiva de 3 compresores

Compresores						
Marca	Modelo	Pot. Nominal (HP)	Desplazamiento a 50 Hz (m³/h)	Tº evap. (°C)	Pot.Frig. (kW) a -10/+45°C	Refrigerante
Bock	HG6/1410	40	122,4	-10	58,9	R507A
Copeland	3DB3A-1000	10	38,22	-10	61,0	R507A
Bitzer	6GE-34	34	126,8	-10	17,7	R507A
Pot. Frig. Total					137,6	

Condensación	aire
--------------	------

Recipiente de líquido	150 lts
-----------------------	---------

SADEMA 2

MAQUINA 2: Central frigorífica multiaspiración (4 compresores positiva + 2 compresores negativa)

Compresores Negativa						
Marca	Modelo	Pot. Nominal (HP)	Desplazamiento a 50 Hz (m³/h)	Tº evap. (°C)	Pot.Frig. (kW) a -30/+45°C	Refrigerante
Copeland	4DL3-1500	15	71,26	-30	12,39	R507A
Copeland	4DL3-1500	15	71,26	-30	12,39	R507A
Pot. Frig. Total					24,78	

Compresores Positiva						
Marca	Modelo	Pot. Nominal (HP)	Desplazamiento a 50 Hz (m³/h)	Tº evap. (°C)	Pot.Frig. (kW) a -10/+45°C	Refrigerante
Bock	HG6/1410	40	122,4	-10	58,9	R507A
Bock	HG6/1410	40	122,4	-10	58,9	R507A
Copeland	3DS3A-1500	15	49,9	-10	22	R507A
Copeland	3DS3A-1500	15	49,9	-10	22	R507A
Pot. Frig. Total					161,8	

Condensación	aire
--------------	------

Recipiente de líquido	150 lts
-----------------------	---------

MAQUINA 3: Unidad condensación negativa con compresor a tornillo

Compresor Negativa						
Marca	Modelo	Pot. Nominal (HP)	Desplazamiento a 50 Hz (m³/h)	Tº evap. (°C)	Pot.Frig. (kW) a -35/+45°C	Refrigerante
Bitzer	OSN-8571	80	410	-35	100,8	R507A
Pot. Frig. Total					100,8	

Condensación	aire
--------------	------

Recipiente de líquido	150 lts
-----------------------	---------

MAQUINA 4: Unidad condensación negativa con compresor a tornillo

Compresor Negativa						
Marca	Modelo	Pot. Nominal (HP)	Desplazamiento a 50 Hz (m³/h)	Tº evap. (°C)	Pot.Frig. (kW) a -35/+45°C	Refrigerante
Bitzer	HSN-7471	75	250	-35	60,7	R507A
Pot. Frig. Total					60,7	

Condensación	aire
--------------	------

Recipiente de líquido	80 lts
-----------------------	--------

MAQUINA 5: Unidad condensación positiva con compresor a pistón

Compresor Positiva						
Marca	Modelo	Pot. Nominal (HP)	Desplazamiento a 50 Hz (m³/h)	Tº evap. (°C)	Pot.Frig. (kW) a -10/+45°C	Refrigerante
Dorin	H1000CC	10	38,65	-10	17,97	R507A
Pot. Frig. Total					17,97	

Condensación	aire
--------------	------

Recipiente de líquido	30 lts
-----------------------	--------

MAQUINA 6: Unidad condensación positiva con compresor a pistón

Compresor Positiva						
Marca	Modelo	Pot. Nominal (HP)	Desplazamiento a 50 Hz (m³/h)	Tº evap. (°C)	Pot.Frig. (kW) a -5/+45°C	Refrigerante
Dorin	H1000CC	10	38,65	-5	22,6	R507A
Pot. Frig. Total					22,6	

Condensación	aire
--------------	------

Recipiente de líquido	30 lts
-----------------------	--------

MAQUINA 7: Unidad condensación positiva con compresor a pistón

Compresor Positiva						
Marca	Modelo	Pot. Nominal (HP)	Desplazamiento a 50 Hz (m³/h)	Tº evap. (°C)	Pot.Frig. (kW) a -5/+45°C	Refrigerante
Dorin	H750CS	7,5	31,8	-5	18,6	R507A
Pot. Frig. Total					18,6	

Condensación	aire
--------------	------

Recipiente de líquido	30 lts
-----------------------	--------

SADEMA 3

MAQUINA 8: Central frigorífica Negativa de 4 compresores

Compresores Negativa						
Marca	Modelo	Pot. Nominal (HP)	Desplazamiento a 50 Hz (m³/h)	Tº evap. (°C)	Pot.Frig. (kW) a -30/+45°C	Refrigerante
Bitzer	6FE-44Y	44	150	-30	26,6	R507A
Bitzer	6FE-44Y	44	150	-30	26,6	R507A
Copeland	3DS3A-1500	22	84,5	-30	14,78	R507A
Copeland	3DS3A-1500	22	84,5	-30	14,78	R507A
Pot. Frig. Total					82,76	

Condensación	aire
--------------	------

Recipiente de líquido	200 lts
-----------------------	---------

MAQUINA 9: Central frigorífica Negativa de 2 compresores

Compresor Negativa						
Marca	Modelo	Pot. Nominal (HP)	Desplazamiento a 50 Hz (m³/h)	Tº evap. (°C)	Pot.Frig. (kW) a -30/+45°C	Refrigerante
Bock	HGX 8/3220	80	279,8	-30	49	R404A
Bock	HGX 8/3220	80	279,8	-30	49	R404A
Pot. Frig. Total					98	
Condensación	aire					
Recipiente de líquido	100 lts	estimación				

EN OTRO EMPLAZAMIENTO

MAQUINA 10: Unidad condensación positiva con compresor a pistón

Compresor Positiva						
Marca	Modelo	Pot. Nominal (HP)	Desplazamiento a 50 Hz (m³/h)	Tº evap. (°C)	Pot.Frig. (kW) a -5/+45°C	Refrigerante
Copeland	3DS3R17MO	15	49,9	-5	29,2	R22
Pot. Frig. Total					29,2	
Condensación	aire					
Recipiente de líquido	¿?					

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

		SERVICIOS FRIGORIFICOS																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SADEMA 1	MAQUINA																		
	1																		
SADEMA 2	2																		
	3																		
	4																		
	5																		
	6																		
	7																		
	8																		
SADEMA 3	9																		
	10																		

 Servicios Tº positiva

 Servicios Tº negativa

Las potencias frigoríficas de cada servicio frigorífico (cámaras y túneles) se solicitaron a la empresa objeto del proyecto, pero no disponían 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 la tabla 4, se indican las potencias suministradas y 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 agrupadas por niveles de temperatura 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
------------------	----------------------	--------------------	-------------------------------------	---

**SERVICIOS TEMPERATURA POSITIVA:
CAMARAS y PRE-FRIO**

1	Sala de proceso 1 frescos	+8°C	-10°C	41
2	Sala de proceso congelado 2	+4°C	-10°C	61
6	Sala proceso congelado	0°C	-10°C	53
7	Cámara recepción frescos	8°C	-10°C	23
8	Túnel Pre-Frio nº1	0°C	-10°C	33
9	Túnel Pre-Frio nº2	0°C	-10°C	37
13	Pasillo 1 (o cámara de mantenimiento)	4°C	-10°C	19
14	Pasillo 2 (o cámara de despacho)	4°C	-10°C	37
15	Pasillo 3 (o cámara de muestreo)	0°C	-10°C	21
16	Sala empaquetado	0°C	-10°C	25
17	Cámara 4	0°C	-10°C	54
			Potencia total a -10°C	404 kW

CAMARAS CONSERVACION CONGELADOS

5	Cámara congelados	-20°C	-30°C	22
10	Cámara congelados 5ª	-20°C	-30°C	25
11	Cámara congelados 5B	-20°C	-30°C	31
12	Cámara congelados 3	-20°C (0°C)	-30°C	29
18	Cámara congelados 6	-20°C	-30°C	48
			Potencia total a -30°C	155 kW

TUNELES CONGELACION

3	Túnel congelación grande	-30°C	-35°C	121
4	Túnel congelación pequeño	-30°C	-35°C	65
			Potencia total a -35°C	186 kW

Fuente: elaboración propia

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

Nº dado en plano	Servicio Frigorífico	Tº cámara	Pot. Frigorífica (kcal/h) dada por la empresa	Pot. Frigorífica (kW) dada por la empresa	Pot. Frigorífica (kW) calculada PECOCAM	Nº evaporadores	Desescarche
1	Sala de proceso 1 frescos	+8°C	8.000	9,30	41	6	Resistencias
2	Sala de proceso congelado 2	+4°C	119.000	138,37	61	4	Resistencias
3	Túnel congelación grande	-30°C	104.000	120,93	121	4	Agua
4	Túnel congelación pequeño	-30°C	56.000	65,12	65	2	Resistencias
5	Cámara congelados	-20°C	16.000	18,60	22	2	Resistencias
6	Sala proceso congelado	0°C	119.000	138,37	53	2	Resistencias
7	Cámara recepción frescos	8°C	N/T	N/T	23	2	Resistencias
8	Túnel Pre-Frio nº1	0°C	98.000	113,95	33	1	Resistencias
9	Túnel Pre-Frio nº2	0°C	98.000	113,95	37	1	Resistencias
10	Cámara congelados 5ª	-20°C	77.000	89,53	25	2	Resistencias
11	Cámara congelados 5B	-20°C	77.000	89,53	31	2	Resistencias
12	Cámara congelados 3	-20°C (0°C)	77.000	89,53	29	2	Resistencias
13	Pasillo 1 (o cámara de mantenimiento)	4°C	119.000	138,37	19	1	Resistencias
14	Pasillo 2 (o cámara de despacho)	4°C	119.000	138,37	37	1	Resistencias
15	Pasillo 3 (o cámara de muestreo)	0°C	98.000	113,95	21	2	Resistencias
16	Sala empaquetado	0°C	119.000	138,37	25	1	Resistencias
17	Cámara 4	0°C	98.000	113,95	54	2	Resistencias
18	Cámara congelados 6	-20°C	42.000	48,84	48	2	Resistencias

N/T

No se dispone de información



Una central, no se dispone en forma individual



Una central, no se dispone en forma individual



Una central, no se dispone en forma individual

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 **redundancia**, especialmente en las cámaras de conservación de congelados.

- **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 y los proyectos de ampliación futuros generan 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 costos energéticos de funcionamiento. Este objetivo cobra mayor relevancia si se tiene en cuenta el proyecto de ampliación que maneja la empresa objeto del proyecto.

- **Solución definitiva:**

La nueva instalación deberá funcionar con refrigerantes que no ataquen 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 global.

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

Las necesidades térmicas agrupadas por niveles de temperatura, 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 se ha considerado un factor de simultaneidad, diferente para cada nivel de temperatura. 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.

Para los servicios de temperatura positiva (cámaras y pre-frio) se ha considerado un factor de simultaneidad del 85%, adecuado para 11 servicios y 18 horas/día de funcionamiento estimado de los mismos.

En el caso de las cámaras de conservación de congelados, el factor de simultaneidad es del 100%, ya que, como se verá más adelante, se ha preferido no minorar la potencia para tener una potencia de reserva que asegure la disponibilidad de las cámaras de congelados bajo todas las circunstancias.

En el caso de los túneles de congelación no procede aplicar factor de simultaneidad.

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 Tª Positiva: Cámaras y Pre-Frio	404 kW	0,85	343 kW
Cámaras conservación Congelados	155 kW	1	155 kW
Túneles congelación	186 kW	1	186 kW

Fuente: elaboración propia

3.3.- Alternativas posibles para el diseño de conversión.

Inicialmente, los refrigerantes a considerar para este proyecto son el NH_3 y el CO_2 .

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 CO_2 como el NH_3 obligan a sustituir totalmente los elementos existentes en la instalación frigorífica actual. En el caso del NH_3 por su incompatibilidad con el cobre y sus aleaciones, y en el caso del CO_2 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 CO_2 , por los siguientes motivos:

- La importancia relativa de las potencias en baja temperatura para este proyecto que benefician a las características del CO_2 .
- Los niveles de potencia totales requeridos se adaptan mejor al CO_2 , ya que el NH_3 se adapta mejor a potencias frigoríficas mayores a la de este proyecto.
- La clasificación de seguridad A1 del CO_2 , por B2 del NH_3 , 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).
- La seguridad de funcionamiento de la instalación, ya que los compresores de NH_3 disponibles en el mercado son de mayor tamaño que los de CO_2 , lo que conduce a pocos compresores con NH_3 , que en caso de avería comprometen el funcionamiento de la planta.

Dentro de las tecnologías de CO_2 existentes en el mercado, se escoge la tecnología de CO_2 transcrito, ya que es una tecnología que utiliza sólo CO_2 , no necesita de otra instalación frigorífica para condensarlo (que habitualmente funciona con refrigerantes sintéticos), como ocurre con la tecnología de CO_2 subcrítico.

El sistema comercial básico de la tecnología de CO_2 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.

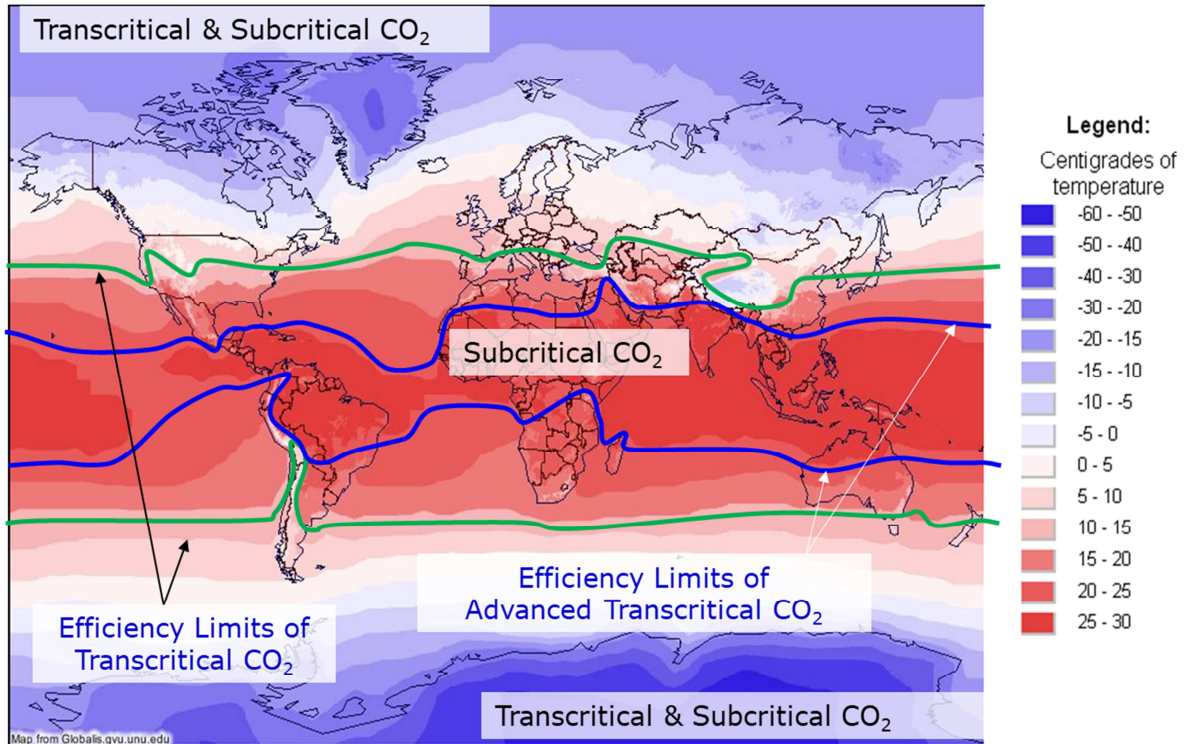
En el caso de la climatología de la región del Maule (muy similar a Santiago, tomado como referencia), las temperaturas por encima de 22°C se dan con una frecuencia baja (menos del 20% del tiempo), por lo que las diferencias, a priori, no pueden ser grandes entre ambos sistemas.

COP Total		
Tº ambiente	Sistema con adiabático	Sistema con Paralelos+Eyector
22°C	2,24	2,22
27°C	1,99	2,02
33°C	1,75	1,60

Con los datos calculados, se escoge **el sistema booster 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.

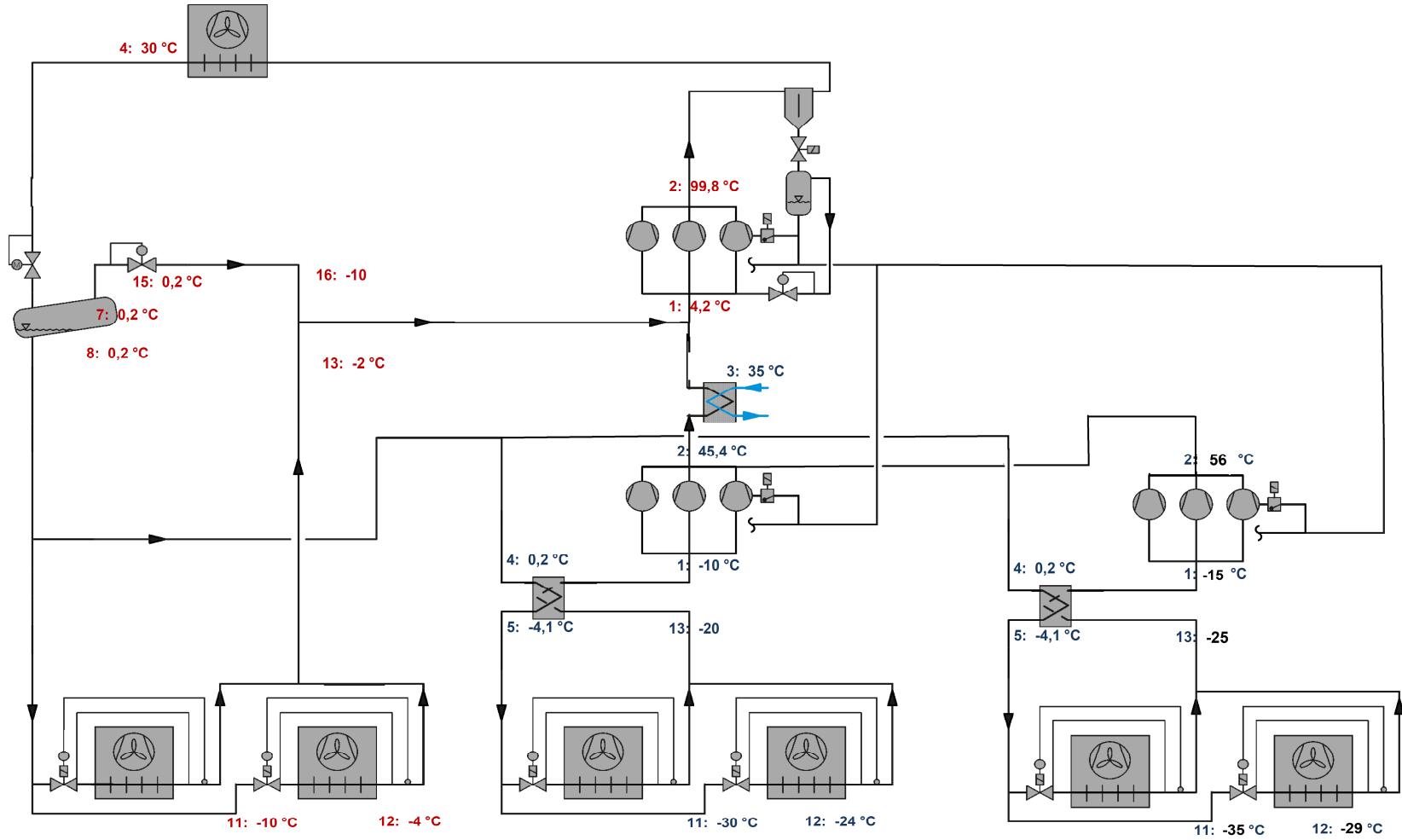
3.4.- Descripción de la solución escogida.

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

En este caso, se necesitan 3 niveles de temperatura de evaporación: -10°C, -30°C y -35°C, por tanto, en la parte baja del booster, se dispondrán 2 aspiraciones diferenciadas para los servicios a -30°C y a -35°C, para obtener un mejor COP global.

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 Booster 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 2 centrales frigoríficas separadas para reducir los riesgos.

Las cámaras de conservación de producto congelado son las más críticas para el proceso productivo, por lo que se instalarán en cada una de ellas 2 evaporadores, de tal forma que 1 evaporador depende de la Central frigorífica nº1 y el 2º evaporadores depende de la Central frigorífica nº2. De esta forma se tiene redundancia de sistemas.

El diseño escogido de las potencias, sin factor de simultaneidad, posibilita que en caso de avería de una de las centrales, la otra central puede suministrar a cada cámara de congelados un 66% de la potencia frigorífica de proyecto, lo que en la práctica permite su funcionamiento dentro de límites de temperatura adecuados, con la sola precaución de la limitación de la apertura de puertas.

En cuanto a los 2 túneles, uno de ellos dependerá de la Central nº1 y el otro de la nº2.

Los servicios positivos se han repartido entre las 2 centrales, pero sin redundancia.

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

De la fig.6, tabla 4 y tabla 5 se deduce que las 2 centrales frigoríficas tendrán las siguientes potencias frigoríficas disponibles en compresores:

Potencia Frigorífica	Central nº 1	Central nº 2	Total instalado
Evaporación -10°C	175 kW	175 kW	350 kW
Evaporación -30°C	80 kW	80 kW	160 kW
Evaporación -35°C	121 kW	65 kW	186 kW

Figura 6: Repartición de los servicios entre las 2 centrales frigoríficas de CO₂

Legenda:

- Servicios conectados a Central frigorífica nº 1
- Servicios conectados a Central frigorífica nº 2

Fuente: elaboración propia

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 tienen 4 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 baja Tº: 28 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 la Central frigorífica nº 1.

La central frigorífica nº1 dispondrá de los siguientes elementos principales:

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

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

- Compresores para Baja Temperatura (-30°C):

- 3 compresores marca Bitzer modelo 4FSL-7K o similar, uno de ellos con variador de frecuencia externo (25-70 Hz)

- Compresores para Túnel de congelados (-35°C):

- 1 compresor marca Bitzer modelo 4TSL-20K o similar + 1 compresor marca Bitzer modelo 4PSL-25K o similar.

- 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 400 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:

- Intercambiadores a placas, marca SWEP, como subenfriadores de línea de líquido general y recalentadores de gases para las 2 aspiraciones de baja temperatura (cámaras y túnel)
- Llave de líquido marca DANFOSS para los servicios de media temperatura
- Llave de líquido marca DANFOSS para los servicios de baja temperatura

- Llave de líquido marca DANFOSS para el túnel de congelación

- 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

- Aspiraciones de baja temperatura y túnel:

- Recalentadores de gases de aspiración (ya descritos en líneas de líquido)
- Llave de aspiración marca DANFOSS desde servicios de baja temperatura
- 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.

4.1.3.- Descripción de la Central frigorífica nº 2.

La central frigorífica nº2 dispondrá de los siguientes elementos principales:

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

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

- Compresores para Baja Temperatura (-30°C):

- 3 compresores marca Bitzer modelo 4FSL-7K o similar, uno de ellos con variador de frecuencia externo (25-70 Hz)

- Compresores para Túnel de congelados (-35°C):

- 1 compresor marca Bitzer modelo 4PSL-25K o similar.

- 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

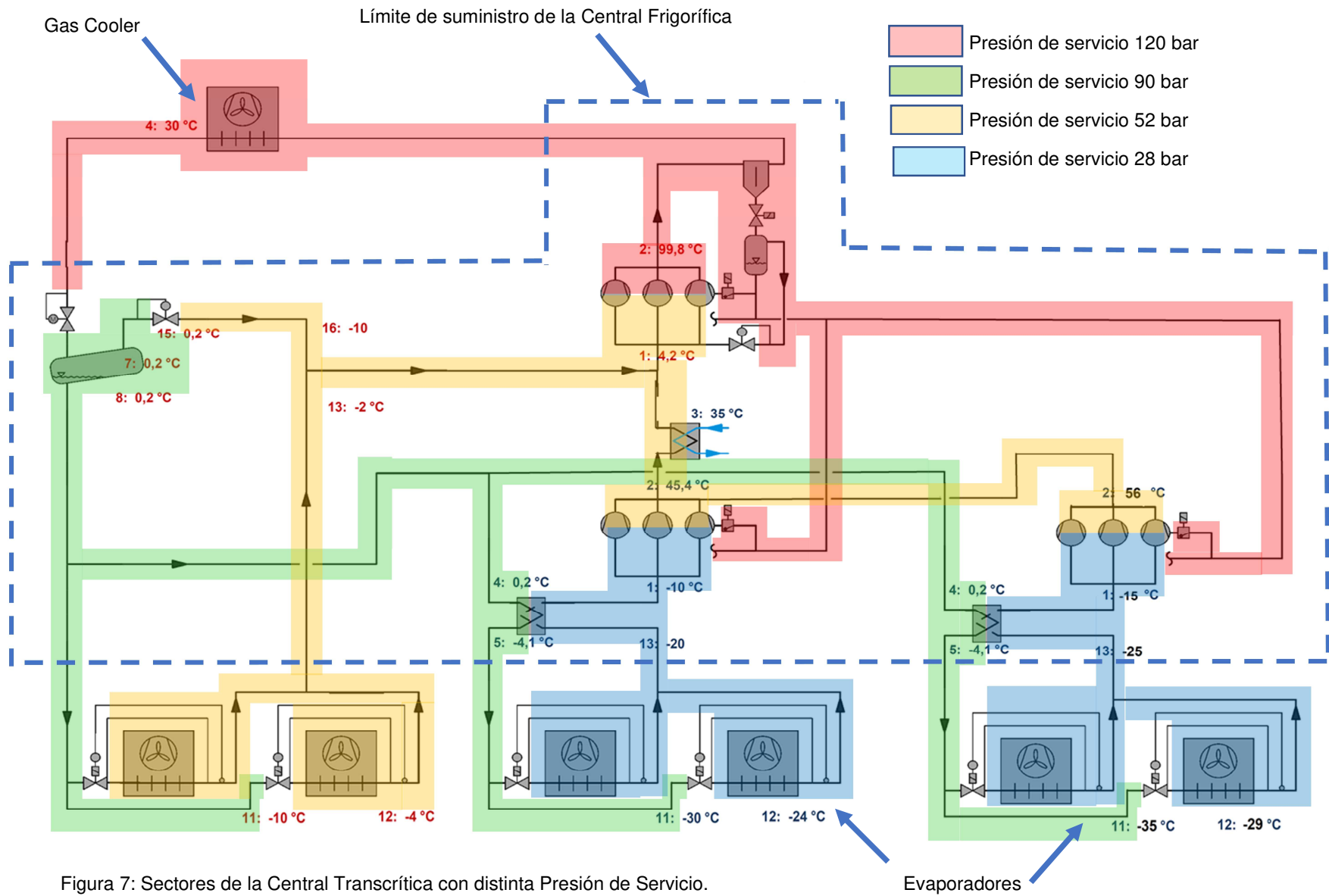


Figura 7: Sectores de la Central Transcrítica con distinta Presión de Servicio.

Fuente: elaboración propia

- 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 300 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:

- Intercambiadores a placas, marca SWEP, como subenfriadores de línea de líquido general y recalentadores de gases para las 2 aspiraciones de baja temperatura (cámaras y túnel)
- Llave de líquido marca DANFOSS para los servicios de media temperatura
- Llave de líquido marca DANFOSS para los servicios de baja temperatura
- Llave de líquido marca DANFOSS para el túnel de congelación

- 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

- Aspiraciones de baja temperatura y túnel:

- Recalentadores de gases de aspiración (ya descritos en líneas de líquido)
- Llave de aspiración marca DANFOSS desde servicios de baja temperatura
- 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

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 transcritical, 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 transcritical indicadas, se comprobará que, en funcionamiento subcritical, 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 la Central nº 1.

El gas cooler para la central nº1 tiene las siguientes características:

Potencia de disipar: 650 kW a $T_{amb}=33^{\circ}\text{C}$ y $\Delta T=2\text{ K}$ en transcrito

Marca y modelo: ECO KCE 98G6 G722 o similar

Área de intercambio exterior: 1490 m²

Nº ventiladores: 8 de diámetro 900 mm

Caudal de aire: 192.000 m³/h

Potencia de los ventiladores (total): 20,8 kW

Dimensiones: 6290 x 2393 x 1386 (H) mm

4.2.3. Descripción del Gas cooler para la Central nº 2.

El gas cooler para la central nº2 tiene las siguientes características:

Potencia de disipar: 550 kW a $T_{amb}=33^{\circ}\text{C}$ y $\Delta T=2\text{ K}$ en transcrito

Marca y modelo: ECO KCE 96G6 G722 o similar

Área de intercambio exterior: 1178 m²

Nº ventiladores: 6 de diámetro 900 mm

Caudal de aire: 144.600 m³/h

Potencia de los ventiladores (total): 15,6 kW

Dimensiones: 4815 x 2393 x 1386 (H) mm

Foto 2: Gas Cooler



Fuente: ECO Modine

4.2.4. 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.

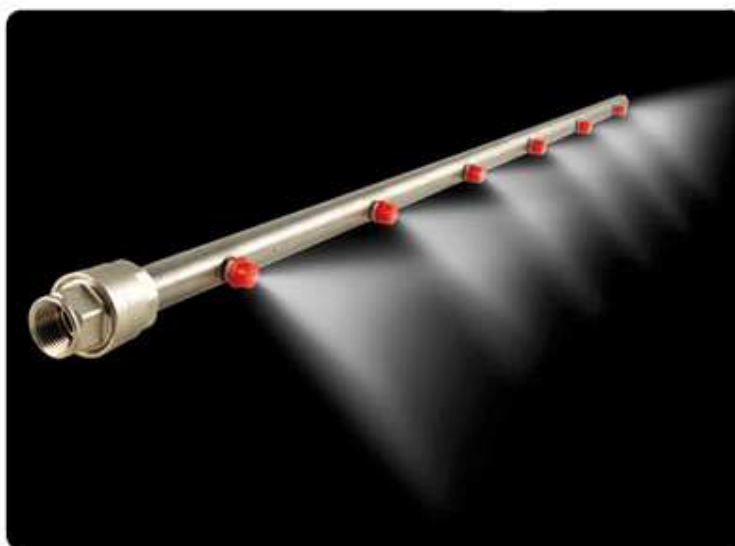
Colectores de distribución de agua: en acero inoxidable

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 los túneles de congelación y cámaras de pre-frío se instalarán nuevas baterías aleteadas diseñadas para CO₂, con PS 60 bar. Los trenes de ventilación existentes en los actuales túneles y pre-frío pueden ser aprovechados.

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 resistencias eléctricas.

La separación mínima de aletas de los evaporadores será:

- Cámaras de conservación de frescos y pre-frío: separación 6 mm
- Cámaras de conservación de congelados: separación 8 mm
- Túneles de congelación: separación 10 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 (m²)	Caudal aire (m³/h)	Sep. Aletas (mm)
1	41	-10	6	6,8	CDC 253A6 ED	20	2.250	6
2	61	-10	4	15,3	CDC 353E6 ED	32	7.530	6
3	121	-35	4	30,3	Batería aleteada	126	existente	10
4	65	-35	2	32,5	Batería aleteada	136	existente	10
5	22	-30	2	11,0	CGC 354A8 ED	50	10.000	8
6	53	-10	2	26,5	CDC 503A6 ED	111	21.360	6
7	23	-10	2	11,5	CGC 354F6 ED	54	10.012	6
8	33	-10	1	33,0	Batería aleteada	148	26.760	6
9	37	-10	1	37,0	Batería aleteada	148	26.760	6
10	25	-30	2	12,5	CGC 355A8 ED	62	12.500	8
11	31	-30	2	15,5	CGC 355A8 ED	62	12.500	8
12	29	-30	2	14,5	CGC 355A8 ED	62	12.500	8
13	19	-10	1	19,0	CDC 502A6 ED	74	14.240	6
14	37	-10	1	37,0	CDC 504A6 ED	148	26.760	6
15	21	-10	2	10,5	CDC 353A6 ED	47	6.960	6
16	25	-10	1	25,0	CDC 503A6 ED	111	21.360	6
17	54	-10	2	27,0	CDC 503A6 ED	111	21.360	6
18	48	-30	2	24,0	CDC 503A8 ED	81	22.230	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 Booster de CO₂ transcrito 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.
- 1 controlador AK-PC-781A para control de los compresores de negativa de la central Booster.
- 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

Foto 5: Controlador Danfoss AK-PC-781A



Foto 6: Controlador Danfoss AK-CC-550A

exp



4.6. Tubería y accesorios. Soldadura.

Según se vio en el apartado 4.1.1., las instalaciones frigoríficas de transcrítico tienen 4 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 baja Tº: 28 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).

Para las tuberías de 28 bar puede utilizarse el cobre frigorífico estándar, que soporta perfectamente dicha presión. De todas formas, y para evitar equivocaciones con el material, se recomienda utilizar también K65.

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	Máquina 1	Máquina 2
Ida gas cooler	2 1/8"	2 1/8"
Regreso gas cooler	2 1/8"	1 5/8"
Líquido total	1 5/8"	1 3/8"
Líquido general positiva	1 3/8"	1 3/8"
Líquido general negativa	1 5/8"	1 3/8"
Aspiración general positiva	1 5/8"	1 5/8"
Aspiración general negativa	2 1/8"	2 1/8"

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	41	-10	6	6,8	3/8"	3/8"
2	61	-10	4	15,3	1/2"	1/2"
3	121	-35	4	30,3	5/8"	1 1/8"
4	65	-35	2	32,5	5/8"	1 1/8"
5	22	-30	2	11,0	3/8"	5/8"
6	53	-10	2	26,5	5/8"	5/8"
7	23	-10	2	11,5	3/8"	1/2"
8	33	-10	1	33,0	5/8"	3/4"
9	37	-10	1	37,0	5/8"	3/4"
10	25	-30	2	12,5	3/8"	5/8"
11	31	-30	2	15,5	1/2"	3/4"
12	29	-30	2	14,5	1/2"	3/4"
13	19	-10	1	19,0	1/2"	5/8"
14	37	-10	1	37,0	3/4"	3/4"
15	21	-10	2	10,5	3/8"	1/2"
16	25	-10	1	25,0	5/8"	5/8"
17	54	-10	2	27,0	5/8"	3/4"
18	48	-30	2	24,0	1/2"	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.
- Para líneas de aspiración de servicios negativos: Armaflex tipo AF-6 con espesor nominal creciente de 32 a 45 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 Linares, 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 berries. La empresa objeto del proyecto ha facilitado unos datos de consumo que han permitido

establecer estos porcentajes de manera aproximada, que se recogen en la tabla 9.

Tabla 9: Porcentaje de funcionamiento de la planta por mes

Mes	Datos KWh enviados por la empresa	Horas totales del mes	Porcentaje funcionamiento instalación
Enero	296.874,60	744	0,850
Febrero	282156,00	672	0,808
Marzo	250.190,85	744	0,716
Abril	123.205,13	720	0,353
Mayo	116.195,48	744	0,333
Junio	123.205,13	720	0,353
Julio	86.029,13	744	0,246
Agosto	66.946,05	744	0,192
Septiembre	61.561,88	720	0,176
Octubre	62.839,65	744	0,180
Noviembre	82.262,25	720	0,236
Diciembre	274.796,33	744	0,787

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 40°C durante todo el año, ya que durante la visita se constató que no existe un control flotante de la condensación y que los ventiladores de los condensadores funcionan mediante presostatos, de forma todo/nada.

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.

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 Positiva (kW)	Pot. Absorbida Negativa (kW)	Pot. Absorbida Total (kW)
Enero	157,01	288,97	445,97
Febrero	156,37	287,91	444,28
Marzo	155,25	286,04	441,29
Abril	153,31	282,81	436,13
Mayo	152,00	280,62	432,61
Junio	151,28	279,43	430,72
Julio	151,05	279,04	430,09
Agosto	151,49	279,77	431,26
Septiembre	152,24	281,02	433,25
Octubre	153,30	282,80	436,10
Noviembre	154,63	285,00	439,63
Diciembre	155,97	287,24	443,20

Fuente: elaboración propia

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

Mes	Pot. Absorbida Máquina 1 (kW)	Pot. Absorbida Máquina 2 (kW)	Pot. Absorbida Total (kW)
Enero	194,23	158,51	352,74
Febrero	194,23	158,51	352,74
Marzo	223,60	186,54	410,15
Abril	194,23	158,51	352,74
Mayo	172,89	138,32	311,20
Junio	163,39	129,45	292,84
Julio	152,24	119,07	271,31
Agosto	163,39	129,45	292,84
Septiembre	172,89	138,32	311,20
Octubre	194,23	158,51	352,74
Noviembre	206,76	170,39	377,15
Diciembre	223,60	186,54	410,15

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 (kW)	Horas totales del mes	Porcentaje funcionamiento instalación	Energía consumida (kWh)
Enero	445,97	744	0,850	282.032,2
Febrero	444,28	672	0,808	241.191,2
Marzo	441,29	744	0,716	235.188,7
Abril	436,13	720	0,353	110.769,7
Mayo	432,61	744	0,333	107.079,7
Junio	430,72	720	0,353	109.395,0
Julio	430,09	744	0,246	788.18,3
Agosto	431,26	744	0,192	61.501,7
Septiembre	433,25	720	0,176	54.983,4
Octubre	436,10	744	0,180	58.376,6
Noviembre	439,63	720	0,236	74.552,5
Diciembre	443,20	744	0,787	259.437,4
TOTAL ANUAL				1.673.326,2

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	352,74	744	0,850	223.072,2
Febrero	352,74	672	0,808	191.495,3
Marzo	410,15	744	0,716	218.588,9
Abril	352,74	720	0,353	89.590,3
Mayo	311,20	744	0,333	77.028,9
Junio	292,84	720	0,353	74.378,0
Julio	271,31	744	0,246	49.719,7
Agosto	292,84	744	0,192	41.762,0
Septiembre	311,20	720	0,176	39.494,4
Octubre	352,74	744	0,180	47.217,9
Noviembre	377,15	720	0,236	63.958,6

Diciembre	410,15	744	0,787	240.086,4
TOTAL ANUAL				1.356.392,5

Fuente: elaboración propia

Por tanto, la instalación de conversión consigue ahorros de energía anuales de 326.933,7 kWh. Esto supone un 19,5% anual inferior a 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: 1.230 kg entre todas las máquinas.
- GWP del R507: 3.985
- Tasa de fugas: 15% anual (184,5 kg/año) (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.energíaabierta.cl y correspondiente a la media del año 2016)
- Consumo anual de energía: 1.673.326,2 kWh/año (ver punto 5.2.)

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

$$\text{TEWI} = (3.985 \times 184,5 \times 20) + (3.985 \times 1.230 \times (1-0,9)) + (20 \times 1.673.326,2 \times 0,7668)$$

$$\text{TEWI} = 14.704.650 + 490.155 + 25.662.130 = 40.856.935 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$$

$\text{TEWI} = 40.856,9 \text{ Tm CO}_2\text{-eq}$
--

Donde:

Fugas: 36% del total

Pérdidas en la recuperación: 1,2% del total

Consumo de energía: 62,8% 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: 1.200 kgs entre todas las máquinas.
- GWP del CO₂: 1
- Tasa de fugas: 15% anual (180 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: 1.356.392,5 kWh/año (ver punto 5.2.)

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

$$\text{TEWI} = (1 \times 180 \times 20) + (1 \times 1.200 \times (1-0)) + (20 \times 1.356.392,5 \times 0,7668)$$

$$\text{TEWI} = 3.600 + 1.200 + 20.801.635 = 20.806.435 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$$

$\text{TEWI} = 20.806,4 \text{ Tm CO}_2\text{-eq}$
--

Donde:

Consumo de energía: 99,97% 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):

- Central frigorífica 1.....	184.000 US\$
- Central frigorífica 2.....	170.000 US\$
- Gas cooler 1.....	46.000 US\$
- Gas cooler 2.....	33.000 US\$
- Evaporadores.....	256.000 US\$
- Valvulería.....	43.000 US\$
- Cuadro eléctrico de potencia y control.....	170.000 US\$
- Elementos de seguridad.....	70.000 US\$
- Tuberías, aislamiento, soportes.....	141.000 US\$
- Instalación y puesta en marcha.....	283.000 US\$
- Grúas y medios de elevación.....	21.000 US\$

TOTAL COSTO ADQUISICIÓN.....1.417.000 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:

$$1.356.392,5 \text{ kWh} \times 0,154 \text{ US\$/kWh} = 208.884,44 \text{ US\$ /año}$$

Este valor debe incrementarse con el consumo de los ventiladores de los evaporadores y el desescarche, que se estima en un 25% adicional, por tanto:

Costo de operación estimado: 261.105 US\$/año

8.- Conclusiones.

Este proyecto demuestra 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 y negativas.

En particular, la tecnología conocida como Booster 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 casi llegan al 20%.

9.- Fotos.



Máquina 2 en SADEMA 2



Máquina 8 en SADEMA 3

