

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 OPTIMIZACIÓN PARA EMPRESA CON CÁMARAS FRIGORÍFICAS DE TEMPERATURA POSITIVA QUE FUNCIONAN CON REFRIGERANTES DE BAJO O NULO GWP.

Albert Albert | Consultor Experto en Refrigeración | Marzo 2018

Contacto: albertalbertsoto@gmail.com

Promovido por:



Proyecto de Diseño de Optimización para empresa con cámaras frigoríficas de temperatura positiva que funcionan con NH₃.

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.- Propuestas de mejora de eficiencia energética.	15
3.1.- Posibilidades de mejora energética en la instalación existente.....	15
3.1.1. Utilización de variadores de frecuencia en compresor:.....	15
3.1.2. Instalación de compresores de tornillo (al menos uno) en las 2 instalaciones con compresores de pistón (SADEMA 1 y 2).....	16
3.1.3. Instalación de control de condensación evaporativa flotante.....	17
3.1.4. Instalación de ventiladores eficientes para los evaporadores.	20
4. Especificaciones técnicas para cada propuesta de mejora energética.....	21
4.1. Variadores de frecuencia (Inverters).	21
4.2. Unidades de compresión con compresor de tornillo.....	22
4.3. Control de condensación evaporativa flotante	22
4.4. Ventiladores eficientes para los evaporadores	23
5. Evaluación del ahorro energético anual de cada mejora energética propuesta.	24
5.1. Estimación del consumo energético de la instalación actual	24
5.2. Evaluación del ahorro energético anual de las mejoras propuestas	27
5.2.1. Variadores de frecuencia.	27
5.2.2. Unidades de compresión con compresor de tornillo	27
5.2.3. Control de condensación evaporativa flotante	28
5.2.4. Ventiladores eficientes para los evaporadores.....	29
6.- Estimación de la disminución de emisiones de CO₂-eq para cada mejora propuesta.	31

6.1.- Reducción de CO ₂ -eq debido a la instalación de variadores de frecuencia.	31
6.2.- Reducción de CO ₂ -eq debido a la instalación de compresores de tornillo.	31
6.3.- Reducción de CO ₂ -eq debido a la instalación de control de condensación evaporativa flotante.	31
6.4.- Reducción de CO ₂ -eq debido a la instalación de ventiladores eficientes en evaporadores.	32
7.- Estimación del costo de las mejoras de eficiencia.	32
7.1.- Estimación de costo de la instalación de variadores de frecuencia.	32
7.2.- Estimación de costo de la instalación de compresores a tornillo.....	32
7.3.- Estimación de costo de la instalación de control de condensación flotante.	32
7.4.- Estimación de costo de ventiladores eficientes en evaporadores.....	32
8.- Conclusiones.....	33
9.- Fotos	34

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: Relación entre máquinas actuales y servicios frigoríficos en la planta objeto del proyecto.....	12
Figura 5: Frecuencias anuales para las diferentes temperaturas de bulbo húmedo	18
Figura 6: Media de temperaturas húmedas coincidentes con las temperaturas secas.....	18

Índice de tablas

Tabla 1: Datos generales de la planta objeto del proyecto	7
Tabla 2: Servicios frigoríficos de la planta	8
Tabla 3: Datos suministrados de potencia frigorífica por cada servicio	13
Tabla 4: Datos disponibles de los servicios frigoríficos.....	14

Tabla 5: Temperaturas medias seca y húmeda por mes	24
Tabla 6: Porcentaje de funcionamiento estimado de la planta por mes.....	25
Tabla 7: Energía consumida anual por la instalación existente (estimación).....	26
Tabla 8: Energía consumida anual por la instalación con variadores de frecuencia.	27
Tabla 9: Energía consumida anual por la instalación con 2 compresores a tornillo..	28
Tabla 10: Energía consumida anual por la instalación con condensación flotante ...	29
Tabla 11: Ahorro anual por la instalación de ventiladores eficientes en evaporadores	30

Índice de fotografías

Foto 1: Variador de frecuencia (Inverter)	16
Foto 2: Unidad de compresión de NH ₃ con compresor a tornillo	17
Foto 3: Ventilador de última generación con palas tipo FE2OWLET y motor EC	20
Foto 4: Controlador Danfoss AK-PC-781	21
Foto 5: Ventilador de última generación con palas tipo HyBlade y motor EC.....	23

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 optimización 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 GWP, e incentivar su uso entre las empresas de este sector.

En concreto, en este diseño de optimización se considera un caso representativo de empresa chilena de procesamiento de fruta (manzana y pera) fresca, donde los sistemas frigoríficos funcionan con refrigerante de bajo o nulo GWP y dispone de diversas cámaras de temperatura positiva.

En este proyecto, se requiere una mejora de los ratios de eficiencia energética del sistema de refrigeración que funciona con amoníaco (NH_3).

El amoníaco es un conocido refrigerante de nulo GWP y cuya tecnología es bien conocida y disponible en el mercado. No obstante, existen amplios márgenes de mejora en eficiencia energética en instalaciones que ya funcionan con dicho refrigerante, sobre todo, empleando sistemas de control electrónico.

La mejora de la eficiencia energética de los sistemas de refrigeración reduce el impacto del sector de proceso de fruta y verdura en el cambio climático.

Además, el amoníaco se considera un refrigerante natural, como los hidrocarburos y el CO_2 .

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

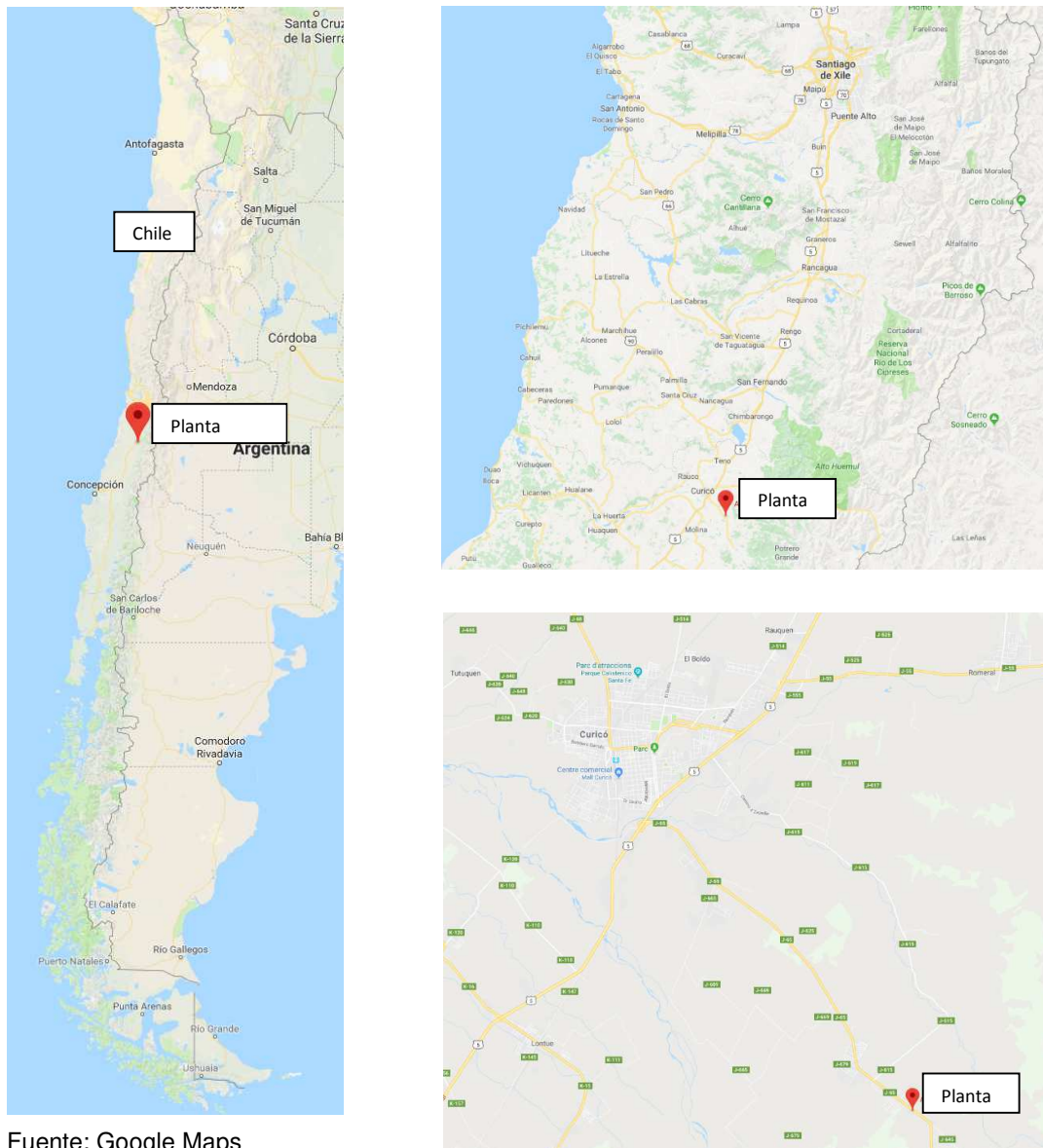
La planta objeto del proyecto está destinada al procesamiento de, principalmente, manzanas y peras para el mercado de exportación.

En fecha 5 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 Los Niches, 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.

Dirección de la planta	Km 11 Camino Los Niches S/N Curicó
Coordenadas GPS	Latitud -35.0745519 Longitud -71.153063
Tipo de industria	Procesado de manzana y peras frescas
Superficie de la planta	44.000 m ² aproximadamente

2.2. Datos climáticos

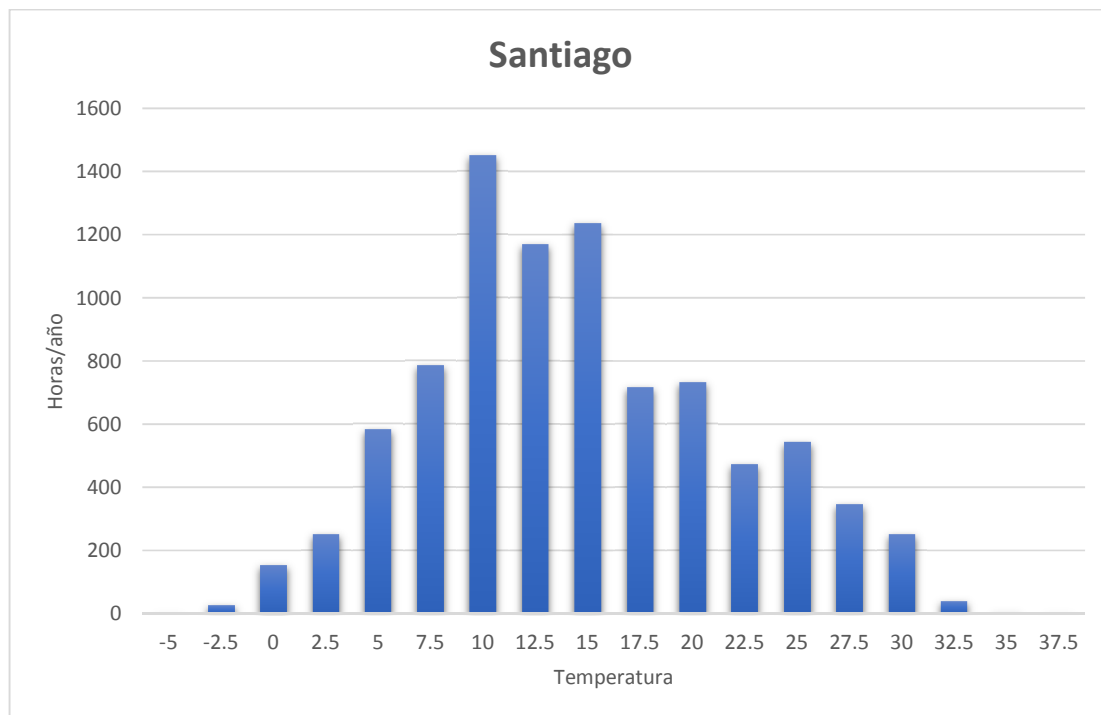
Los datos climáticos que se tienen en cuenta para este proyecto han sido obtenidos de la base de datos del ASHRAE Weather Data Viewer 6.0

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 Curicó, 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 Curicó 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 Curicó, 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:

-27 Cámaras de conservación de producto fresco, de las cuales 17 son también cámaras de atmósfera controlada

-3 Pasillos refrigerados de entrada a las cámaras

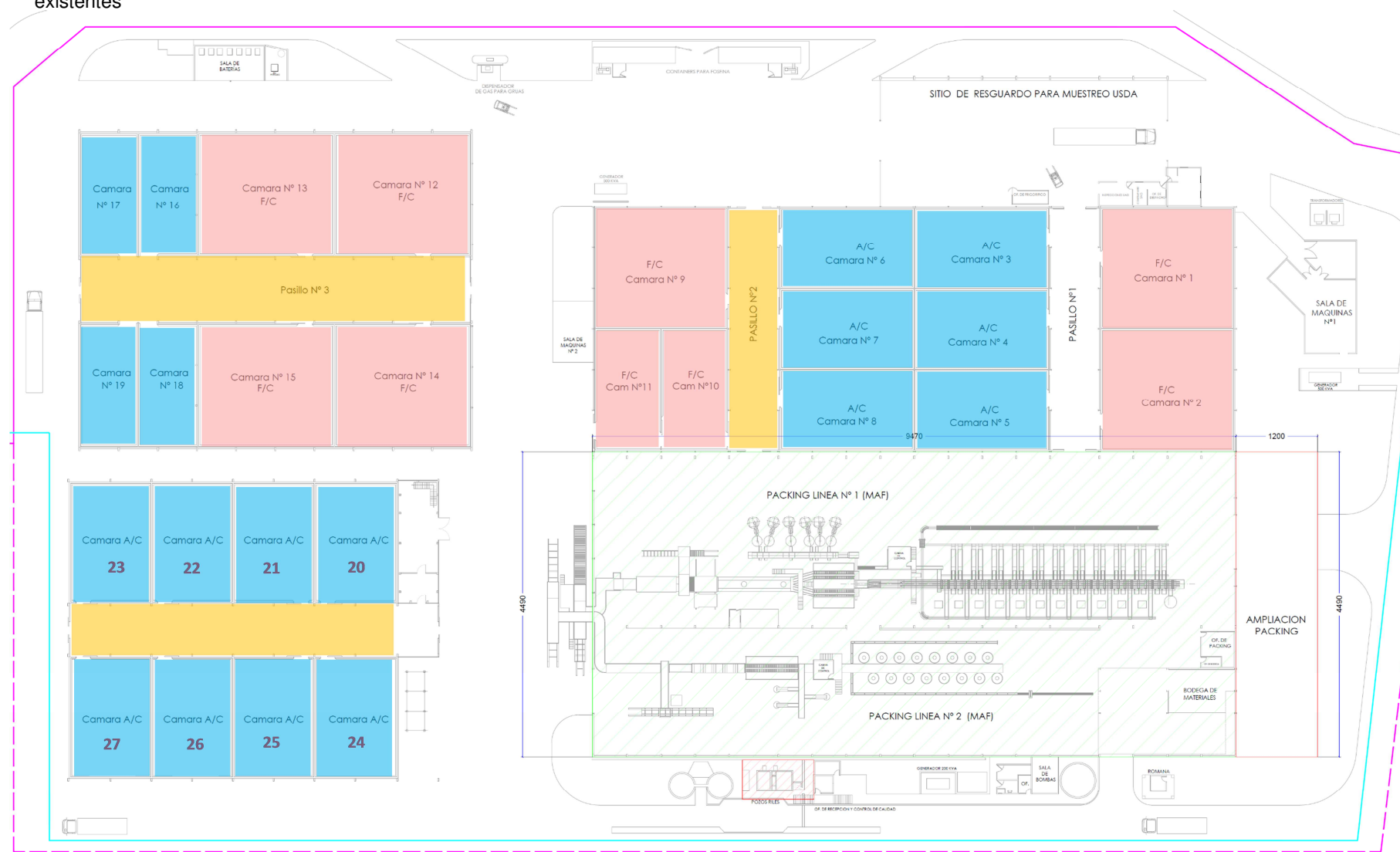
A continuación, se detalla la relación de los servicios frigoríficos existentes:

Tabla 2: Servicios frigoríficos de la planta.

Servicio Frigorífico	Uso	Tª cámara
Cámara 1	Conservación manzana y pera. No atmosfera	0°C
Cámara 2	Conservación manzana y pera. No atmosfera	0°C
Cámara 3	Conservación manzana y pera. Atmosfera controlada	0°C
Cámara 4	Conservación manzana y pera. Atmosfera controlada	0°C
Cámara 5	Conservación manzana y pera. Atmosfera controlada	0°C
Cámara 6	Conservación manzana y pera. Atmosfera controlada	0°C
Cámara 7	Conservación manzana y pera. Atmosfera controlada	0°C
Cámara 8	Conservación manzana y pera. Atmosfera controlada	0°C
Cámara 9	Conservación manzana y pera. No atmosfera	0°C
Cámara 10	Conservación manzana y pera. No atmosfera	0°C
Cámara 11	Conservación manzana y pera. No atmósfera	0°C
Pasillo Cámaras 6 a 10	Pasillo	0°C
Cámara 12	Conservación manzana y pera. No atmosfera	0°C
Cámara 13	Conservación manzana y pera. No atmosfera	0°C
Cámara 14	Conservación manzana y pera. No atmosfera	0°C
Cámara 15	Conservación manzana y pera. No atmosfera	0°C
Cámara 16	Conservación manzana y pera. Atmosfera controlada	0°C
Cámara 17	Conservación manzana y pera. Atmosfera controlada	0°C
Cámara 18	Conservación manzana y pera. Atmosfera controlada	0°C
Cámara 19	Conservación manzana y pera. Atmosfera controlada	0°C
Pasillo Cámaras 11 a 19	Pasillo	0°C
Cámara 20	Conservación manzana y pera. Atmosfera controlada	0°C
Cámara 21	Conservación manzana y pera. Atmosfera controlada	0°C
Cámara 22	Conservación manzana y pera. Atmosfera controlada	0°C
Cámara 23	Conservación manzana y pera. Atmosfera controlada	0°C
Cámara 24	Conservación manzana y pera. Atmosfera controlada	0°C
Cámara 25	Conservación manzana y pera. Atmosfera controlada	0°C
Cámara 26	Conservación manzana y pera. Atmosfera controlada	0°C
Cámara 27	Conservación manzana y pera. Atmosfera controlada	0°C
Pasillo cámaras 20 a 27	Pasillo	0°C

Fuente: elaboración propia

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



Fuente: elaboración propia

- Cámaras Atmósfera controlada
- Cámaras sin atmósfera controlada
- Pasillos refrigerados

Para atender dichos servicios frigoríficos existen hasta 3 salas de máquinas (SADEMA), con distintas instalaciones frigoríficas, todas ellas funcionando con NH₃ como refrigerante.

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

SADEMA 1

Instalación frigorífica con 5 Unidades compresoras con compresores a pistón abiertos

Compresores						
Marca	Modelo	Pot. Motor (kW)	Desplazamiento a 50 Hz (m ³ /h)	Tª evap. (°C)	Pot.Frig. (kW) a -10/+35°C	Refrigerante
Gram	HC 6100	75	365	-10	240	R717
Gram	HC 6100	75	365	-10	240	R717
Gram	HC 6100	75	365	-10	240	R717
Gram	HC 8100	75	412	-10	279	R717
Gram	HC 8100	75	412	-10	279	R717
Pot. Frig. Total					1278	

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

Arranque motores compresores	Soft-starter
------------------------------	--------------

Recipiente de líquido	4000 lts (estimado)
-----------------------	---------------------

SADEMA 2

Instalación frigorífica con 3 Unidades compresoras con compresores a pistón abiertos

Compresores Positiva						
Marca	Modelo	Pot. Motor (kW)	Desplazamiento a 50 Hz (m ³ /h)	Tª evap. (°C)	Pot.Frig. (kW) a -10/+35°C	Refrigerante
York (Sabroe)	SMC 108E	110	588	-10	364	R717
York (Sabroe)	SMC 108E	110	588	-10	364	R717
York (Sabroe)	SMC 108E	110	588	-10	364	R717
Pot. Frig. Total					1092	

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

Arranque motores compresores	Star-Delta
------------------------------	------------

Recipiente de líquido	3400 lts
-----------------------	----------

SADEMA 3

Enfriadora 1: Enfriadora de glicol con 2 compresores a tornillo

Compresores Negativa						
Marca	Modelo	Pot. Motor (kW)	Desplazamiento a 50 Hz (m³/h)	Tª evap. (°C)	Pot.Frig. (kW) a -10/+35°C	Refrigerante
Bitzer	OSKA 7471	55	250	-10	166,4	R717
Bitzer	OSKA 7471	55	250	-10	166,4	R717
Pot. Frig. Total					332,8	

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

Arranque motores compresores	Star-Delta
------------------------------	------------

Recipiente de líquido	355 lts
-----------------------	---------

Enfriadora 2: Enfriadora de glicol con 2 compresores a tornillo

Compresores Negativa						
Marca	Modelo	Pot. Motor (kW)	Desplazamiento a 50 Hz (m³/h)	Tª evap. (°C)	Pot.Frig. (kW) a -10/+35°C	Refrigerante
Bitzer	OSKA 7471	55	250	-10	166,4	R717
Bitzer	OSKA 7471	55	250	-10	166,4	R717
Pot. Frig. Total					332,8	

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

Arranque motores compresores	Star-Delta
------------------------------	------------

Recipiente de líquido	355 lts
-----------------------	---------

[illegible]

Fuente: elaboración propia

Las potencias frigoríficas de cada servicio frigorífico se solicitaron a la empresa propietaria de la planta, que suministró los siguientes datos, recogidos en la Tabla 3

En la tabla 4, se indican las potencias de cada servicio frigorífico, el número de evaporadores existentes y el sistema de desescarche.

El resumen de necesidades térmicas de la instalación se indica en la tabla 3:

Tabla 3: Datos suministrados de potencia frigorífica por cada servicio.

Servicio Frigorífico	Tª cámara	Tª evaporacion	Potencia Frigorífica (W)
Cámara 1	0°C	-10°C	240.000
Cámara 2	0°C	-10°C	240.000
Cámara 3	0°C	-10°C	160.000
Cámara 4	0°C	-10°C	160.000
Cámara 5	0°C	-10°C	160.000
Cámara 6	0°C	-10°C	160.000
Cámara 7	0°C	-10°C	160.000
Cámara 8	0°C	-10°C	160.000
Cámara 9	0°C	-10°C	240.000
Cámara 10	0°C	-10°C	120.000
Cámara 11	0°C	-10°C	120.000
Pasillo Cámaras 6 a 10	0°C	-10°C	53.333
Cámara 12	0°C	-10°C	171.987
Cámara 13	0°C	-10°C	171.987
Cámara 14	0°C	-10°C	171.987
Cámara 15	0°C	-10°C	171.987
Cámara 16	0°C	-10°C	114.658
Cámara 17	0°C	-10°C	114.658
Cámara 18	0°C	-10°C	114.658
Cámara 19	0°C	-10°C	114.658
Pasillo Cámaras 11 a 19	0°C	-10°C	57.329
Cámara 20	0°C	-10°C	165.120
Cámara 21	0°C	-10°C	165.120
Cámara 22	0°C	-10°C	165.120
Cámara 23	0°C	-10°C	165.120
Cámara 24	0°C	-10°C	165.120
Cámara 25	0°C	-10°C	165.120
Cámara 26	0°C	-10°C	165.120
Cámara 27	0°C	-10°C	165.120
Pasillo cámaras 20 a 27	0°C	-10°C	165.120

Fuente: La empresa propietaria de la planta

Tabla 4: Datos disponibles de los servicios frigoríficos.

Servicio Frigorífico	Tª cámara	Potencia Frigorífica (W)	Nº evaporadores	Desescarche
Cámara 1	0°C	240.000	4	Agua
Cámara 2	0°C	240.000	4	Agua
Cámara 3	0°C	160.000	3	Agua
Cámara 4	0°C	160.000	3	Agua
Cámara 5	0°C	160.000	3	Agua
Cámara 6	0°C	160.000	3	Agua
Cámara 7	0°C	160.000	3	Agua
Cámara 8	0°C	160.000	3	Agua
Cámara 9	0°C	240.000	4	Agua
Cámara 10	0°C	120.000	2	Agua
Cámara 11	0°C	120.000	2	Agua
Pasillo Cámaras 6 a 10	0°C	53.333	2	Agua
Cámara 12	0°C	171.987	3	Gas caliente
Cámara 13	0°C	171.987	3	Gas caliente
Cámara 14	0°C	171.987	3	Gas caliente
Cámara 15	0°C	171.987	3	Gas caliente
Cámara 16	0°C	114.658	2	Agua
Cámara 17	0°C	114.658	2	Agua
Cámara 18	0°C	114.658	2	Agua
Cámara 19	0°C	114.658	2	Agua
Pasillo Cámaras 11 a 19	0°C	57.329	2	1 Gas caliente y 1 agua
Cámara 20	0°C	165.120	2	Agua
Cámara 21	0°C	165.120	2	Agua
Cámara 22	0°C	165.120	2	Agua
Cámara 23	0°C	165.120	2	Agua
Cámara 24	0°C	165.120	2	Agua
Cámara 25	0°C	165.120	2	Agua
Cámara 26	0°C	165.120	2	Agua
Cámara 27	0°C	165.120	2	Agua
Pasillo cámaras 20 a 27	0°C	165.120	2	Agua

Fuente: la empresa propietaria de la planta

3.- Propuestas de mejora de eficiencia energética.

3.1.- Posibilidades de mejora energética en la instalación existente.

Tras la visita a la planta y la recogida de datos, resumidos en el punto 2 de este proyecto, se proponen una serie de posibilidades de mejora energética para la instalación actual.

Hay que indicar que la instalación frigorífica actual está bien mantenida y que ya ha sufrido algunas mejoras, como la compra de Arrancadores Suaves (Soft-starter) para arrancar los compresores de SADEMA 1.

No obstante, existe la posibilidad de mejorar el consumo energético, sobre todo, utilizando Controles Electrónicos Avanzados y mejorando el Control a Carga Parcial de la instalación.

Los métodos de mejora energética propuestos son:

3.1.1. Utilización de variadores de frecuencia en compresor:

Los variadores de frecuencia (también conocidos por Inverters) utilizados en compresor, permiten regular la velocidad del mismo dentro de un amplio intervalo, lo que en la práctica posibilita el control de la potencia frigorífica entregada por el compresor en cada instante.

En particular, la implantación de un variador de frecuencia en uno de los compresores de cada instalación frigorífica del presente proyecto existente permitiría:

- **Disminuir el pico de corriente de arranque del compresor** equipado con dicho variador: El ahorro anual estimado por este motivo se cifra en un 1-2% anual de la potencia absorbida por el compresor
- **Aumentar la temperatura media de evaporación** de cada instalación: Efectivamente, la existencia de un variador de frecuencia permite un control de la presión de aspiración de cada instalación de tipo PI (Proporcional-Integral) en lugar del sistema existente mediante una zona neutra de presión. En la práctica, esto supone un aumento medio de 1-2 K (grados) de la presión de aspiración, permitiendo, como se observará, ahorros del 5 al 10% del consumo anual de los compresores.
- **Mejorar la adaptación de la instalación a carga parcial:** Efectivamente, el variador permite modular la potencia del compresor equipado con el mismo de forma continua. Dicho compresor es el encargado de adecuar la demanda de los servicios a la potencia entregada por el conjunto de compresores.

El ahorro alcanzado por este efecto es real, pero es difícil establecer a priori un valor de ahorro por este motivo. Para ser conservadores, este efecto no se tendrá en cuenta en el cálculo de ahorro alcanzado por este método.



Foto 1: Variador de frecuencia (Inverter)

3.1.2. Instalación de compresores de tornillo (al menos uno) en las 2 instalaciones con compresores de pistón (SADEMA 1 y 2).

Se propone ir sustituyendo los compresores de pistón movidos mediante poleas y correas por compresores de tornillo abiertos con accionamiento directo. Un solo compresor de tornillo por cada instalación (SADEMA 1 y 2) ya dejaría notar la mejora de prestaciones. Evidentemente, si se van sustituyendo un número mayor de compresores, mayor será la mejora.

La instalación de compresores de tornillo en las 2 instalaciones con compresores de pistón permitiría:

- **Mejora del control a carga parcial:** Los compresores de tornillo disponen de un sistema de control de capacidad integrado por corredera, lo que permite adaptar la potencia frigorífica del compresor a la demanda de los servicios. Un solo compresor, que haría el papel de compresor modulante, ya permitiría una mejora importante.
La mejor de control a carga parcial se traduce en un aumento de la presión de aspiración efectiva, que puede cifrarse en 1 K.
- **Aumentar el COP (Coefficient of Performance):** Efectivamente, el compresor de tornillo instalado dispone de un mejor COP que los compresores de pistón existentes. Además, el compresor de tornillo instalado, con variación de capacidad con corredera, permite, como ya se ha comentado, mejorar también el control a carga parcial, lo que produce un aumento de COP también a carga parcial. Los compresores de pistón existentes no disponen

de ningún sistema de reducción de capacidad, ya que son todo/nada.

- **Reducción del mantenimiento:** Los compresores de tornillo tienen menos piezas que sufren desgaste, por lo que su mantenimiento es reducido. Por contra, a las 30.000 horas aproximadamente, requieren la sustitución de rodamientos, operación que se recomienda que sea realizada en taller especializado, aunque también puede ser realizada en la misma instalación si se dispone de las herramientas y el personal entrenado para ello.



Foto 2: Unidad de compresión para NH₃ con compresor de tornillo.

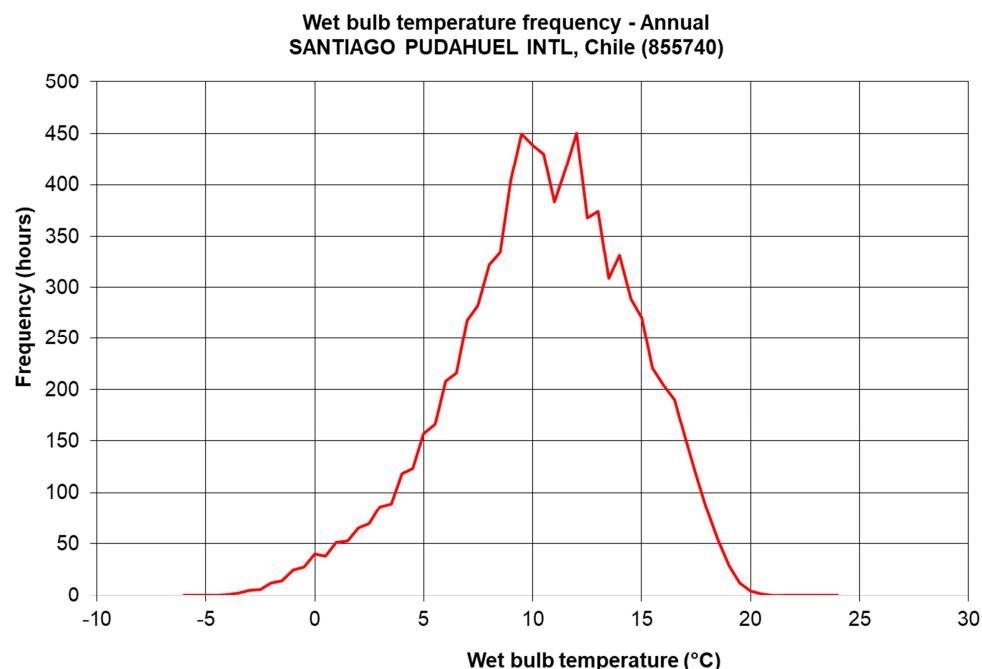
3.1.3. Instalación de control de condensación evaporativa flotante.

Las 3 instalaciones frigoríficas existentes en la planta condensan mediante condensadores evaporativos. Este sistema permite aprovechar la temperatura húmeda en lugar de la temperatura seca para condensar a más baja temperatura, mediante un proceso de humidificación adiabática del aire que pasa a través del condensador.

Las temperaturas húmedas de la región del Maule son muy favorables a lo largo de todo el año, lo que lo convierte en un clima ideal para la condensación evaporativa.

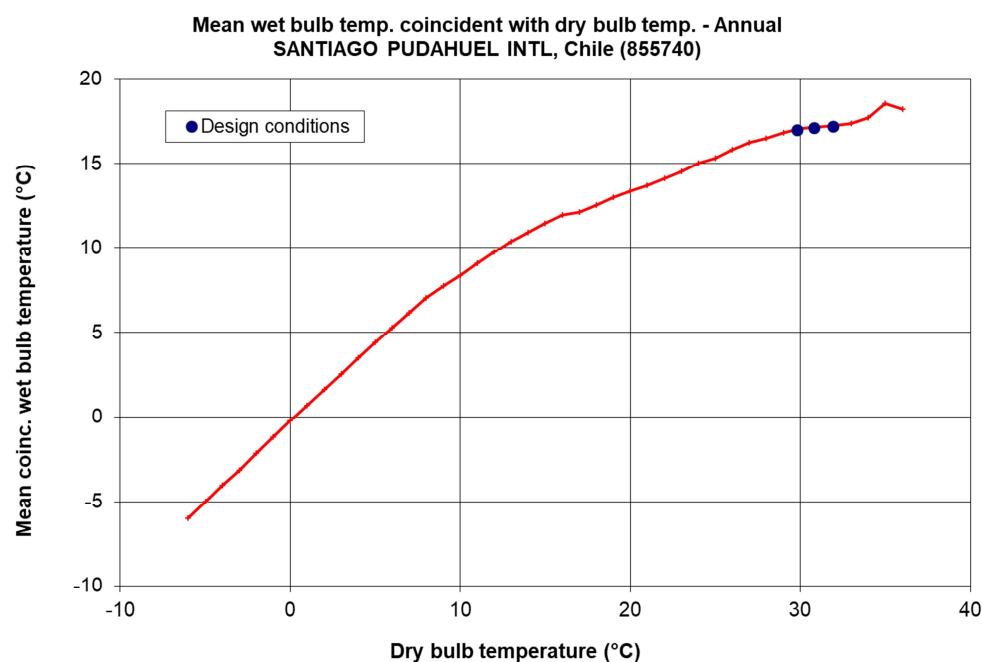
En la figura 5 se observan las frecuencias anuales para las temperaturas húmedas y en la figura 6 se observan las temperaturas húmedas y secas coincidentes en el observatorio meteorológico de Santiago.

Figura 5: Frecuencias anuales para las diferentes temperaturas de bulbo húmedo.



Fuente: ASHRAE Weather Data Viewer 6.0

Figura 6: Media de temperaturas húmedas coincidentes con las temperaturas secas.



Fuente: ASHRAE Weather Data Viewer 6.0

Las instalaciones existentes en la planta no disponen de un control avanzado para el control de la condensación evaporativa. El control es para mantener una presión constante de evaporación durante todo el año, que típicamente es +35°C.

Mediante el uso de una sonda de temperatura húmeda y un microprocesador de control avanzado, se podría condensar a la temperatura más baja posible, en función de la temperatura húmeda existente. Este control se llama control flotante de la condensación evaporativa.

Para realizar la condensación evaporativa flotante también es conveniente, aunque no imperativo, que los ventiladores de los condensadores evaporativos dispongan de variación de velocidad, bien mediante la aplicación de variador de frecuencia (Inverter) o aplicación de ventiladores con tecnología EC (Electrónicamente Conmutados)

Las ventajas de este sistema son:

- **Reducción del consumo energético:**
El consumo de los compresores se reduce cuando se reduce la presión de condensación. La reducción del consumo con esta estrategia de control se puede estimar entre el 10-15% anual.
- **Menor desgaste de los compresores:**
La reducción de la presión de condensación, y por tanto, de la relación de compresión, disminuye el desgaste de los compresores, ya que el esfuerzo mecánico es menor.
- **Disminución de la probabilidad de fugas:**
La reducción de la presión de condensación reduce la probabilidad de fugas en dicho sector, y en caso de producirse, la cantidad fugada disminuye.

3.1.4. Instalación de ventiladores eficientes para los evaporadores.

Los ventiladores existentes en los evaporadores de las cámaras dependientes de SADEMA 1 y 2 son de una tecnología anticuada, que no presenta la mejor de las eficiencias.

Si se sustituyen por ventiladores de última generación, en particular que cumplan con la normativa europea ErP 2015, se pueden obtener ahorros del 20% en el consumo de dichos ventiladores.

No obstante, la sustitución de dichos ventiladores puede suponer la sustitución del evaporador, ya que, por ejemplo, en las cámaras dependientes de SADEMA 1, no se podrían adaptar a los evaporadores existentes.

Foto 3: Ventilador de última generación con palas tipo FE2OWLET y motor EC.



Fuente: Ziehl-Abegg.

4. Especificaciones técnicas para cada propuesta de mejora energética.

4.1. Variadores de frecuencia (Inverters).

Previo a la instalación de los variadores de frecuencia se comprobará con los fabricantes de los motores eléctricos que éstos son compatibles para su funcionamiento con variador de frecuencia. En general, será necesario sustituir los rodamientos estándar por rodamientos cerámicos en el motor.

Los variadores de frecuencia que se aplicarán a los motores de los compresores deberán cumplir con las siguientes especificaciones:

- Variador de frecuencia compatible con máquinas de par (torque) constante
- El variador deberá soportar un 160% de la intensidad nominal del motor durante un máximo de 60 segundos.
- Incluirá filtro RFI para ambiente industrial.
- Índice de protección mínimo: IP 20
- Modelos recomendados:
 - Motores de 75 kW (SADEMA 1):
 - Danfoss FC103 P90K (o similar)
 - Motores de 110 kW (SADEMA 2) :
 - Danfoss FC103 N132K (o similar)
 - Motores de 55 kW:
 - Danfoss FC103 P75K (o similar)
- Los variadores de frecuencia se instalarán con sus protecciones necesarias:
 - Fusibles ultra-rápidos
 - Contactor de protección para la maniobra
- Se instalará también un control para centrales frigoríficas para gestión del compresor con variador y el resto de compresores todo/nada:
 - Modelo recomendado: Danfoss AK-PC-781 (o similar)

Foto 4: Controlador Danfoss AK-PC-781.



4.2. Unidades de compresión con compresor de tornillo.

Las unidades de compresión de tornillo a instalar en SADEMA 1 y 2 deberán cumplir con las siguientes especificaciones:

- Compresor a tornillo con sistema de control de capacidad por corredera:
 - Marca:** Bitzer (o similar)
 - Modelo:** OSKA 8591K
 - Potencia frigorífica:** 352 kW a -10/+35°C
 - Velocidad:** 2900 rpm
 - Motor:** 110 kW
 - Brida y acoplamiento:** para autoalineado y acoplamiento directo al eje del motor.
- Separador de aceite de alta eficiencia con 3 etapas de separación: laberíntica, demister y filtros coalescentes, con una eficiencia de separación no inferior a 7 ppm. Equipado de:
 - Control de nivel de aceite máximo y mínimo
 - Visores de nivel de aceite
 - Resistencias de calentamiento de aceite
 - Termostato para las resistencias de calentamiento de aceite
 - Retorno de aceite primario a la entrada de aceite del compresor
 - Retorno de aceite secundario a la llave de aspiración del compresor
 - Válvula de seguridad doble
- Enfriador de aceite tipo “Shell&Tube” mediante agua de la balsa del evaporativo.
- Panel de control con manómetros, presostatos y transductores de presión y temperatura necesarios.
- Válvula pilotada de control de la presión en el separador de aceite.

4.3. Control de condensación evaporativa flotante

Para el control de la condensación evaporativa flotante son necesarios, para cada instalación:

- Sonda de temperatura y humedad con salida 4-20 mA configurable para señal de salida “temperatura de bulbo húmedo”
 - Modelo recomendado: Vaisala HMT 120 (o similar)
- Control para centrales frigoríficas para gestión de la condensación flotante:
 - Modelo recomendado: Danfoss AK-PC-781 (o similar)

4.4. Ventiladores eficientes para los evaporadores

Los ventiladores eficientes deberán cumplir con las siguientes especificaciones:

- Ventiladores con motor de rotor externo.
- Certificados ErP 2015 (embocadura incluida)
- Marca: ZIEHL-ABBEGG o EBM
- Palas de alta eficiencia: FE2Owlet o Hy-Blade
- Opcional: motor EC

Foto 5: Ventilador de última generación con palas tipo HyBlade y motor EC



Fuente:

EBM

5. Evaluación del ahorro energético anual de cada mejora energética propuesta.

5.1. Estimación del consumo energético de la instalación actual

Para la evaluación del consumo energético anual de la configuración de instalación, 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 Curicó, donde se encuentra la planta objeto del proyecto. En la tabla 5 se resumen dichos datos:

Tabla 5: 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. En función de los meses de cosecha y de conservación en atmósfera controlada indicados en la página web de la empresa propietaria de la planta para las diversas variedades de manzana, pera y kiwi, se han estimado unos porcentajes de uso de la instalación, de manera aproximada, que se recogen en la tabla 6.

Tabla 6: Porcentaje de funcionamiento mensual estimado de la planta por mes

Mes	Horas totales del mes	Porcentaje funcionamiento instalación
Enero	744	0,000
Febrero	672	0,378
Marzo	744	0,567
Abril	720	0,850
Mayo	744	0,750
Junio	720	0,567
Julio	744	0,472
Agosto	744	0,283
Septiembre	720	0,189
Octubre	744	0,189
Noviembre	720	0,000
Diciembre	744	0,000

Fuente: elaboración propia

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

- 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.

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.

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.

Los consumos energéticos por mes se ponderan por el porcentaje de horas de funcionamiento de cada mes establecido en la tabla 8, para establecer los kWh consumidos anualmente por la instalación existente.

En la tabla 7 se adjunta el resultado de los cálculos realizados:

Tabla 7: Energía consumida anual por la instalación existente (estimación)

Mes	Pot. Abs Total	Horas totales del mes	Porcentaje funcionamiento instalación	Energía consumida (kWh)
Enero	939,30	744	0,000	0,0
Febrero	938,66	672	0,378	238.246,1
Marzo	935,49	744	0,567	394.358,2
Abril	929,33	720	0,850	568.751,5
Mayo	924,64	744	0,750	515.951,6
Junio	921,63	720	0,567	375.979,6
Julio	920,15	744	0,472	323.265,3
Agosto	922,25	744	0,283	194.387,7
Septiembre	925,47	720	0,189	125.805,0
Octubre	928,91	744	0,189	130.481,1
Noviembre	932,23	720	0,000	0,0
Diciembre	936,05	744	0,000	0,0
TOTAL ANUAL				2.867.226,1

Fuente: elaboración propia

5.2. Evaluación del ahorro energético anual de las mejoras propuestas

5.2.1. Variadores de frecuencia.

El ahorro generado por el uso de un variador de frecuencia para, al menos, un compresor de cada instalación existente, proviene del aumento de 2 K de la presión de aspiración de cada central frigorífica. Este aumento genera una mejora del COP y una disminución del consumo de los compresores.

Se considera la instalación de 4 variadores, uno para cada maquinaria existente.

Los resultados se recogen en la tabla 8:

Tabla 8: Energía consumida anual por la instalación con variadores de frecuencia

Mes	Pot. Abs Total	Horas totales del mes	Porcentaje funcionamiento instalación	Energía consumida (kWh)
Enero	877,22	744	0,000	0,0
Febrero	876,58	672	0,378	222.489,3
Marzo	873,41	744	0,567	368.188,3
Abril	867,25	720	0,850	530.758,6
Mayo	862,56	744	0,750	481.311,0
Junio	859,55	720	0,567	350.653,9
Julio	858,07	744	0,472	301.455,5
Agosto	860,17	744	0,283	181.302,7
Septiembre	863,39	720	0,189	117.366,1
Octubre	866,83	744	0,189	121.760,9
Noviembre	870,15	720	0,000	0,0
Diciembre	873,97	744	0,000	0,0
TOTAL ANUAL				2.675.286,4

Fuente: elaboración propia

Por tanto, el ahorro energético anual resulta:

Ahorro energético = 2.867.226,1 - 2.675.286,4 = 191.939,7 kWh/año
--

Lo que supone un 6,7 % de ahorro anual.

5.2.2. Unidades de compresión con compresor de tornillo

El ahorro generado por el compresor de tornillo procede el mejor COP que presenta respecto de los compresores existentes. Además, la reducción de capacidad con corredera, permite aumentar la presión de evaporación en 1 K de media. Se considera que se instalan 2 compresores de tornillo, una para la

instalación de SADEMA 1 y otro para SADEMA 2. La instalación de SADEMA 3 es ya de compresores de este tipo.

Los resultados del consumo de la instalación con esta mejora se recogen en la tabla 9:

Tabla 9: Energía consumida anual por la instalación con 2 compresores a tornillo

Mes	Pot. Abs Total	Horas totales del mes	Porcentaje funcionamiento instalación	Energía consumida (kWh)
Enero	883,34	744	0,000	0,0
Febrero	882,70	672	0,378	224.042,6
Marzo	879,53	744	0,567	370.768,2
Abril	873,37	720	0,850	534.504,0
Mayo	868,68	744	0,750	484.725,9
Junio	865,67	720	0,567	353.150,6
Julio	864,19	744	0,472	303.605,6
Agosto	866,29	744	0,283	182.592,7
Septiembre	869,51	720	0,189	118.198,1
Octubre	872,95	744	0,189	122.620,6
Noviembre	876,27	720	0,000	0,0
Diciembre	880,09	744	0,000	0,0
TOTAL ANUAL				2.694.208,3

Fuente: elaboración propia

Por tanto, el ahorro energético anual resulta:

Ahorro energético = 2.867.226,1 - 2.694.208,3 = 173.017,8 kWh/año
--

Lo que supone un 6 % de ahorro anual.

5.2.3. Control de condensación evaporativa flotante

El ahorro generado por la condensación evaporativa flotante proviene del menor consumo provocado por la bajada de la temperatura de condensación que se produce cuando disminuye la temperatura húmeda.

La temperatura húmeda media mensual de la tabla 8 se ha tomado como referencia para el cálculo de dicho ahorro.

Se considera que se instala un control de este tipo para cada una de las 4 instalaciones existentes.

Los resultados del consumo de la instalación con esta mejora se recogen en la tabla 10:

Tabla 10: Energía consumida anual por la instalación con condensación flotante

Mes	Pot. Abs Total	Horas totales del mes	Porcentaje funcionamiento instalación	Energía consumida (kWh)
Enero	940,03	744	0,000	0,0
Febrero	922,92	672	0,378	234.250,7
Marzo	901,89	744	0,567	380.192,3
Abril	860,73	720	0,850	526.766,3
Mayo	817,88	744	0,750	456.378,0
Junio	776,14	720	0,567	316.627,7
Julio	755,42	744	0,472	265.390,9
Agosto	796,41	744	0,283	167.863,8
Septiembre	817,88	720	0,189	111.179,6
Octubre	860,73	744	0,189	120.904,2
Noviembre	881,87	720	0,000	0,0
Diciembre	922,92	744	0,000	0,0
TOTAL ANUAL				2.579.553,4

Fuente: elaboración propia

Por tanto, el ahorro energético anual resulta:

Ahorro energético = 2.867.226,1 - 2.579.553,4 = 287.672,6 kWh/año
--

Lo que supone un 10 % de ahorro anual.

5.2.4. Ventiladores eficientes para los evaporadores

Para la estimación del ahorro generado por la sustitución de los ventiladores de los evaporadores por otros más eficientes se han tenido en cuenta que:

- La potencia de los ventiladores representa aproximadamente un 8% de la potencia frigorífica.
- La mejora de eficiencia de los nuevos ventiladores es un 20%.
- Se sustituyen todos los ventiladores de los evaporadores de cámara dependiendo de SADEMA 1 y SADEMA2.

Notas adicionales:

- SADEMA 3 dispone de ventiladores centrífugos de eficiencia actualizada)
- Para la sustitución de los ventiladores en los evaporadores dependientes de SADEMA 1 puede ser necesario cambiar también los

evaporadores, ya que los nuevos ventiladores pueden no adaptarse a los evaporadores existentes.

Tabla 11: Ahorro anual por la instalación de ventiladores eficientes en evaporadores

Mes	Ahorro Potencia Absorb.	Horas totales del mes	Porcentaje funcionamiento instalación	Energía ahorrada (kWh)
Enero	48,58	744	0,000	0,0
Febrero	48,58	672	0,378	12.330,3
Marzo	48,58	744	0,567	20.478,9
Abril	48,58	720	0,850	29.731,0
Mayo	48,58	744	0,750	27.107,6
Junio	48,58	720	0,567	19.818,3
Julio	48,58	744	0,472	17.067,0
Agosto	48,58	744	0,283	10.239,5
Septiembre	48,58	720	0,189	6.603,8
Octubre	48,58	744	0,189	6.823,9
Noviembre	48,58	720	0,000	0,0
Diciembre	48,58	744	0,000	0,0
AHORRO ANUAL				150.200,2

Fuente: elaboración propia

Ahorro energético = 150.200,2 kWh/año

6.- Estimación de la disminución de emisiones de CO₂-eq para cada mejora propuesta.

Para la estimación de la disminución de las emisiones de CO₂-eq se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Reducción CO}_2\text{-eq} = \text{Ahorro energía anual} \times b$$

Donde:

Ahorro energía anual: Ahorro anual de energía (kWh/año)

b: emisiones de CO₂ procedentes del uso de energía (kg CO₂ /kWh). Para Chile se ha tomado el valor 0,7668 kg CO₂-eq/kWh (dato procedente de la página web www.energíaabierta.cl y correspondiente a la media del año 2016).

6.1.- Reducción de CO₂-eq debido a la instalación de variadores de frecuencia.

Con el ahorro energético anual calculado en 5.2.1., se tiene:

$$\text{Reducción CO}_2\text{-eq} = 191.939,7 \text{ kWh/año} \times 0,7668 = 147.179,4 \text{ kg CO}_2\text{-eq/año}$$

6.2.- Reducción de CO₂-eq debido a la instalación de compresores de tornillo.

Con el ahorro energético anual calculado en 5.2.2., se tiene:

$$\text{Reducción CO}_2\text{-eq} = 173.017,8 \text{ kWh/año} \times 0,7668 = 132.670 \text{ kg CO}_2\text{-eq/año}$$

6.3.- Reducción de CO₂-eq debido a la instalación de control de condensación evaporativa flotante.

Con el ahorro energético anual calculado en 5.2.3., se tiene:

$$\text{Reducción CO}_2\text{-eq} = 287.672,6 \text{ kWh/año} \times 0,7668 = 220.587,3 \text{ kg CO}_2\text{-eq/año}$$

6.4.- Reducción de CO₂-eq debido a la instalación de ventiladores eficientes en evaporadores.

Con el ahorro energético anual calculado en 5.2.4., se tiene:

$\text{Reducción CO}_2\text{-eq} = 150.200,2 \text{ kWh/año} * 0,7668 = 115.173,5 \text{ kg CO}_2\text{-eq/año}$
--

7.- Estimación del costo de las mejoras de eficiencia.

7.1.- Estimación de costo de la instalación de variadores de frecuencia.

El costo estimado de la instalación de 4 variadores de frecuencia, incluyendo:

- 4 Variadores de frecuencia Danfoss FC 103
- Protecciones adecuadas para cada variador
- 4 Subcuadros eléctricos donde se instalarán los variadores
- 4 Microprocesadores Danfoss para el control de los variadores y resto de compresores
- Instalación y puesta en marcha.

COSTE ESTIMADO: 71.100 US \$

7.2.- Estimación de costo de la instalación de compresores a tornillo.

El costo estimado de la instalación de 2 unidades compresoras a tornillo (SADEMA 1 y SADEMA 2), incluyendo:

- 2 unidades compresoras OSKA 8591
- 2 Cuadros eléctricos de potencia y control de las unidades
- Instalación, conexión y puesta en marcha

COSTE ESTIMADO: 182.000 US \$

7.3.- Estimación de costo de la instalación de control de condensación flotante.

El costo estimado de la instalación de 4 controles para condensación evaporativa flotante, incluyendo:

- 4 Sondas Vaisala HMT 120
- 4 Subcuadros eléctricos donde se instalarán los equipos de control
- 4 Microprocesadores Danfoss para el control de los condensadores
- Instalación y puesta en marcha.

COSTE ESTIMADO: 47.000 US \$

7.4.- Estimación de costo de ventiladores eficientes en evaporadores.

En este caso, no se realiza estimación, ya que dependerá de si hay que sustituir también el evaporador para instalar los nuevos ventiladores. En todo caso, la estrategia a seguir puede ser sustituir los ventiladores averiados por ventiladores eficientes durante las tareas de mantención de la instalación, siempre que sea posible.

8.- Conclusiones

Este proyecto demuestra que existen posibilidades de mejora energética en las instalaciones que funcionan con NH_3 en el sector de Proceso de Fruta y Hortalizas en Chile.

En particular, el uso de controles electrónicos de última generación, mejoras del control a carga parcial y el aprovechamiento del favorable clima del Maule son fuentes de ahorros energéticos significativos.

Las medidas de mejora energética que resultan más atractivas en función de su costo/beneficio son:

- Implementación de controles de condensación evaporativa flotante
- Instalación de variadores de frecuencia en compresores
- Sustitución de compresores antiguos por modernos compresores de tornillo.

Esta última medida tiene sentido en el marco de la sustitución de equipos antiguos ya amortizados, puesto que no se justifica únicamente por el ahorro energético obtenido.

Los ahorros obtenidos se sitúan entre el 6 y 10%.

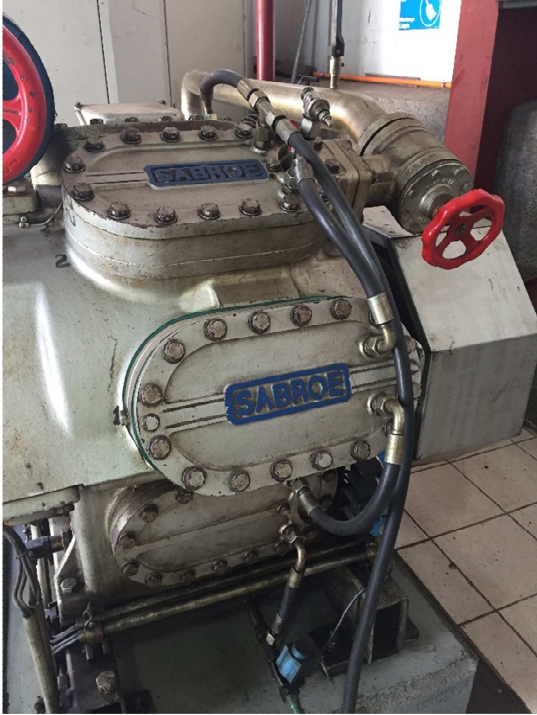
9.- Fotos



SADEMA 1



SADEMA 1



Compresor de SADEMA 2



Enfriadora 2 de SADEMA 3