



TERCER INFORME - FINAL

Project CTCN/UNIDO 120444

“Introducción de refrigerantes con nulo o bajo potencial de calentamiento global en la industria de alimentos procesados”.

Consultoría para el desarrollo del
Primer componente: campaña de sensibilización.

Santiago, noviembre 2017



PRODUCCIÓN LIMPIA 

Índice

ANTECEDENTES DEL PROYECTO CTCN	7
1. OBJETIVO GENERAL Y ALCANCE	7
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA CAMPAÑA DE SENSIBILIZACIÓN	8
3. OBJETIVO DEL TERCER INFORME Y FINAL	8
I. TRABAJO DE ESCRITORIO EN ALTERNATIVAS	8
1. CARACTERIZACIÓN DE LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS PROCESADOS	8
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE USO DE REFRIGERANTES	12
3. IMPACTO AMBIENTAL GLOBAL	13
4. SEGURIDAD EN EL MANEJO DE LOS REFRIGERANTES	15
5. CUERPOS NORMATIVOS CHILENOS APLICABLES A LA SEGURIDAD EN EL MANEJO DE GASES	20
5.1. REGULACIÓN GENERAL PARA LOS GASES	20
5.2. REGLAMENTO SOBRE CONDICIONES DE SEGURIDAD EN LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN CON AMONIACO	20
5.3. BUENAS PRÁCTICAS RECONOCIDAS POR ASHRAE PARA EL USO SEGURO DEL AMONIACO	23
6. DISPONIBILIDAD COMERCIAL DE LOS REFRIGERANTES	24
7. REFRIGERANTES ALTERNATIVOS	25
8. LÍNEAS DE ACCIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DEBIDAS AL USO DE REFRIGERANTES Y AUMENTO DEL DESEMPEÑO ENERGÉTICO.	26
9. OPCIONES TECNOLÓGICAS DISPONIBLES PARA EL USO DE REFRIGERANTES NATURALES	29
10. DESEMPEÑO ENERGÉTICO DE LAS OPCIONES TECNOLÓGICAS	37

10.1.	SITUACIÓN PROYECTADA	39
10.2.	TECNOLOGÍAS DE NH₃, NH₃/GLICOLES Y NH₃/CO₂	41
10.3.	OPORTUNIDADES EN EFICIENCIA ENERGÉTICA	45
11.	COMPETENCIAS TÉCNICAS GENÉRICAS	53
12.	PREVENCIÓN DE FUGAS DE REFRIGERANTE	54
II.	RESULTADOS ENCUESTAS	56
1.	METODOLOGÍA Y ACTIVIDADES REALIZADAS	56
1.1.	ELABORACIÓN DE INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	56
1.2.	CONSTRUCCIÓN DE BASES DE DATOS	56
1.3.	APLICACIÓN DE ENCUESTA Y SEGUIMIENTO	56
1.4.	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN EN TERRENO	57
1.5.	SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN	66
2.	RESULTADOS	66
2.1.	ANTECEDENTES GENERALES	66
2.2.	PRODUCCIÓN	72
2.3.	EQUIPAMIENTO	72
2.4.	CENTRALES O UNIDADES DE FRIO Y REFRIGERANTES	75
2.5.	POTENCIA	79
2.6.	CALIFICACIÓN DEL PERSONAL	81
2.7.	EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	83
2.8.	POTENCIAL DE AGOTAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO	84

2.9. CONCLUSIONES DE LAS ENCUESTAS	85
IV. ACTIVIDADES REALIZADAS	86
1. TALLERES Y ACTIVIDADES DE INICIO	86
2. TALLERES DE TÉRMINO	87
3. PLAN DE TRABAJO	89
V. CONCLUSIONES	90
VI. FUENTES DE INFORMACIÓN UTILIZADAS	91

Índice de tablas

Capítulo II Tabla 1. Características de los refrigerantes de uso industrial en Chile	14
Capítulo II Tabla 2. Medidas de seguridad para las personas en el uso de los refrigerantes.	16
Capítulo II Tabla 3. Sistematización de los datos recopilados referente a comercialización de refrigerantes industriales en Chile.	24
Capítulo II Tabla 4. Líneas de acción para la reducción de emisiones de Gases de efecto invernadero debido a la fuga de refrigerantes HCFC y HFC.	28
Capítulo II Tabla 5. Opciones tecnológicas y sus aplicaciones.	29
Capítulo II Tabla 6. Cuadro comparativo de equipos y desempeño energético.....	37
Capítulo II Tabla 7. Uso de refrigerantes en una muestra de 51 instalaciones	40
Capítulo II Tabla 8. Estimación de costos Sistema DX (Freón)	42
Capítulo II Tabla 9. Estimación de costos Sistema NH ₃ Recirculado.....	43
Capítulo II Tabla 10. Estimación de costos Sistema NH ₃ /PPG	44
Capítulo II Tabla 11. Ahorros referenciales por concepto de energía para tecnologías específicas	46
Capítulo II Tabla 12. Eficiencia energética - Control variable de la presión de descarga	49
Capítulo II Tabla 13. Eficiencia energética - Automatización de etapas de compresión y control de	50
Capítulo II Tabla 14. Eficiencia energética - Revisión del diseño de una planta de amoníaco	50
Capítulo II Tabla 15. Eficiencia energética - Mejoramiento del control de alimentación de aceite	51
Capítulo II Tabla 16. Eficiencia energética - Procedimiento para medir la pérdida de capacidad de un compresor	51
Capítulo III Tabla 1. Instalaciones con respuesta.	57
Capítulo III Tabla 2. Superficie de las cámaras y túneles.....	74
Capítulo III Tabla 3. Distribución de equipamiento por rubro (m2)	74
Capítulo III Tabla 4. Distribución de equipamiento por tamaño de instalación	75
Capítulo III Tabla 5. Cantidad de unidades frigoríficas por tipo de refrigerante	76
Capítulo III Tabla 6. Cantidad de unidades frigoríficas por tipo de refrigerante y rango de temperatura	76

(°C).....	76
Capítulo III Tabla 7. Cantidad de refrigerante (kg) contenido en el sistema por tipo y rango de temperatura (°C).....	76
Capítulo III Tabla 8. Volumen de refrigerantes.....	77
Capítulo III Tabla 9. Volumen de refrigerantes contenido en el sistema (kg) por rubro	77
Capítulo III Tabla 10. Recarga de refrigerantes (kg) por rubro	77
Capítulo III Tabla 11. Volumen de refrigerantes (kg) almacenado en bodega por rubro	78
Capítulo III Tabla 12. Unidades de refrigeración y capacidad de refrigeración por refrigerante	78
Capítulo III Tabla 13. Unidades de refrigeración por tamaño en Kg y por refrigerante.....	79
Capítulo III Tabla 14. Potencia asociada a las unidades frigoríficas.....	79
Capítulo III Tabla 15. Potencia asociada a las unidades frigoríficas por rubro	80
Capítulo III Tabla 16. Potencia de las unidades frigoríficas según capacidad del sistema de refrigeración	80
Capítulo III Tabla 17. Potencia de las unidades frigoríficas según tamaño.....	81
Capítulo III Tabla 18. Cálculo de emisiones por pérdidas de refrigerantes	83
Capítulo III Tabla 19. Potencial de agotamiento de la capa de ozono (PAO).....	84

Índice de gráficos

Capítulo II Gráfico 1. Distribución geográfica de instalaciones muestreadas	39
Capítulo II Gráfico 2. Curva de capacidad anual proyectada en uso de la planta de refrigeración	48
Capítulo III Gráfico 1. Distribución territorial de las instalaciones	66
Capítulo III Gráfico 2. Rubros de las instalaciones de la base de datos	67
Capítulo III Gráfico 3. Tipo de sociedades	68
Capítulo III Gráfico 4. Tamaño de las instalaciones evaluadas.....	69
Capítulo III Gráfico 5. Procesos identificados en las instalaciones evaluadas.....	70
Capítulo III Gráfico 6. Distribución geográfica de las 176 instalaciones con información.....	71
Capítulo III Gráfico 7. Distribución geográfica de las 174 instalaciones sin información	71
Capítulo III Gráfico 8. Distribución por rubro de las instalaciones sin información	71
Capítulo III Gráfico 9. Materias primas procesadas - Toneladas anuales.....	72
Capítulo III Gráfico 10. Equipamiento de las empresas.....	73
Capítulo III Gráfico 11. Unidades frigoríficas.....	75
Capítulo III Gráfico 12. Cargos asignados a los sistemas de refrigeración	81
Capítulo III Gráfico 13. Formación del personal a cargo de los sistemas de refrigeración	82
Capítulo III Gráfico 14. Distribución de las especialidades técnicas.....	82
Capítulo III Gráfico 15. Emisiones de CO ₂ e por reposición de gases refrigerantes	84

Índice de figuras

Capítulo II Figura 1. Diagrama general de proceso del sector.....	12
Capítulo II Figura 2. Diagrama de sistema de amoniaco (R-717) Directo o Expansión seca.....	30
Capítulo II Figura 3. Diagrama de sistema Amoniaco (R-717) Inundado.....	31
Capítulo II Figura 4. Diagrama de sistema Amoniaco (R-717) Bombeado.....	32
Capítulo II Figura 5. Diagrama de Sistemas Cascada Amoniaco/CO ₂ como refrigerante secundario.	34
Capítulo II Figura 6. Diagrama de Sistemas Brine Amoniaco/CO ₂ como refrigerante.	36

Índice de Anexos

Anexo 1 Encuesta	93
Anexo 2. Fotografía reunión en Chilealimentos.....	101
Anexo 3. Visitas a terreno	102
Anexo 4. Invitación Taller Buin.....	103
Anexo 5. Programa Taller Buin.....	104
Anexo 6. Listas de Asistencia Taller Buin.....	105
Anexo 7. Fotografías Taller Buin.....	106
Anexo 8. Invitación Taller Talca.....	107
Anexo 9. Programa Taller Talca.....	108
Anexo 10. Listas de Asistencia Taller Talca.	109
Anexo 11. Fotografías Taller Talca.	111
Anexo 12. Invitación Taller San Felipe.	112
Anexo 13. Programa Taller San Felipe.....	113
Anexo 14. Lista de Asistencia Taller San Felipe.....	114
Anexo 15. Fotografías Taller San Felipe.	115
Anexo 16. Invitación Taller Final - Modelo Difusión Agrocap	116
Anexo 17. Programa Taller Final.	117
Anexo 18. Listas de asistencia Talca.....	118
Anexo 19. Fotografías Talca.	120
Anexo 20. Listas de asistencia Buin.....	121
Anexo 21. Fotografías Buin.	122
Anexo 22. Listas de asistencia Chillán.	123
Anexo 23. Fotografías Chillán.....	125
Anexo 24. Seminario Santiago.....	126
Anexo 25. Plan de Trabajo.....	127
Anexo 26. Metodología para la pre-selección de instalaciones participantes en el tercer componente del proyecto CTCN.....	128

Antecedentes del Proyecto CTCN

El Sector Procesador de Frutas y Hortalizas utiliza, junto con el amoníaco, gases refrigerantes hidroclorofluorocarbonos (HCFC) e hidrofurocarbonos (HFC), ambos gases de efecto invernadero de gran impacto, siendo los primeros potentes sustancias agotadores de la capa de ozono. Su uso se da en cámaras de refrigeración, de mantención congelado, túneles de congelación, salas de proceso, entre otros.

Los HFC son gases refrigerantes utilizados principalmente en los sectores de refrigeración y aire acondicionado y han venido a sustituir a los clorofluorocarbonos (CFC) y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), ambas sustancias que se han venido eliminando acorde a lo establecido por el Protocolo de Montreal.

A su vez, una reducción gradual de HFC podría prevenir el calentamiento de hasta 0,1 °C en 2050 y el calentamiento de hasta 0,5 °C para el año 2100, ofreciendo una de las estrategias de mitigación más rentables disponibles para el mundo de hoy debido a que presenta oportunidades de mejorar la eficiencia energética de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado que los utilizan, reduciendo así el consumo de electricidad y las emisiones de CO₂ corporativas¹.

Según el Plan de Gestión Para la Eliminación de HCFC en Chile al 2020 (HPMP fase II) desarrollado por la Unidad Ozono del Ministerio del Medioambiente-PNUD-ONUDI-PNUMA y actualizado a Junio de 2016, los refrigerantes HCFC y HFC que se encuentran disponibles para el sector de alimentos procesados chileno y que son utilizados comúnmente por los frigoríficos, son el R -22 (HCFC), y los HFC R-404A y R-507A, los que junto al R-717 (Amoníaco) cubren las necesidades de la industria.

En este contexto, surge el Proyecto CTCN, enfocado al sector de procesamiento de frutas y hortalizas en Chile, que pretende demostrar la efectividad y mayor eficiencia energética en el desempeño de enfriamiento, por parte de refrigerantes que no dañen la capa de ozono (PAO=0) y que tengan nulo o bajo potencial de calentamiento global (PCG) e incentivar su uso entre las instalaciones que utilizan sistemas de refrigeración en Chile en este sector.

1. Objetivo general y alcance

La presente consultoría se refiere al desarrollo del primer componente del proyecto, “Campaña de Sensibilización”, donde este informe corresponde al tercer producto entregable de dicho componente y tiene por objetivo reportar un avance de los resultados del levantamiento de información mediante encuestas y de la información recopilada respecto a tecnologías de gases refrigerantes para la industria.

¹ <http://newsroom.unfccc.int/lpaa-es/contaminantes-climaticos-de-corta-vida/iniciativa-hfc-coalicion-para-reducir-contaminantes-climaticos-de-corta-vida>

Para fines de este informe, se denominará “Proyecto CTCN”, al proyecto global donde se enmarcan los tres componentes y “Proyecto” o “Componente” a la presente consultoría que desarrolla el primer componente de “Campaña de sensibilización”.

2. Objetivos específicos de la campaña de sensibilización

Se espera lograr tres objetivos principales en este componente:

- a) Aplicar una encuesta que cubra las instalaciones de procesamiento de frutas y hortalizas a nivel nacional, con el objetivo de recopilar información actualizada sobre el perfil de uso de refrigerantes en el sector.
- b) Evaluar las opciones tecnológicas, que permitan identificar alternativas disponibles en el mercado.
- c) Realizar talleres de información para los usuarios finales y otras partes interesadas relevantes del sector, para difundir los resultados de la encuesta y de la evaluación, y proporcionar una primera orientación sobre la introducción de refrigerantes de nulo o de bajo potencial de calentamiento atmosférico (PCG).

3. Objetivo del Tercer Informe y Final

El presente informe tiene por objetivo, consolidar la información sobre las opciones técnica y económicamente viables para reducir el impacto del uso de refrigerantes HCFC y HFC en el sector procesador de frutas y hortalizas, presentar el resultado de las encuestas sistematizadas, la evidencia de los talleres de información realizados para los usuarios finales y partes interesadas y una preselección de instalaciones con potencial de implementar diseños de conversión/optimización que se llevarían a cabo. .

I. Trabajo de Escritorio en Alternativas

El presente capítulo se divide en dos secciones, la primera se refiere a los refrigerantes usados en la industria de alimentos procesados y sus características, y luego una segunda parte, dedicada a estrategias de reducción de emisiones de Gases de efecto invernadero debidas al uso de refrigerantes HCFC y HFC.

1. Caracterización de la industria de alimentos procesados

Las empresas que pertenecen al sector de industria procesadora de frutas y hortalizas presentan una

importante y variada oferta. Según información recopilada en una muestra de 35 plantas productivas se identifican más de 774 productos, asociados a más de 165 líneas de procesos. Los principales rubros representados en el presente diagnóstico corresponden a:

- Conservas: Conservas de Frutas, Hortalizas, Pulpas de Frutas y Mermeladas
- Deshidratados: Frutas Secas y Deshidratadas / Hortalizas Deshidratadas
- Congelados: Frutas y Hortalizas Congeladas
- Jugos: Jugos concentrados de Frutas y Hortalizas
- Fruta fresca: Almacenaje, clasificación y envasado de frutas y hortalizas frescas, y centrales frutícolas

La agricultura es el pilar fundamental de esta industria, es así como la fruticultura aporta manzanas, berries, duraznos, peras y otras frutas para la industria de jugos, deshidratados, congelados y conservas, y la hortalicultura aporta zanahorias, alcachofas, maíz, arvejas, espárragos, tomate y otros.

Según estudio de oportunidades de eficiencia energética, realizado por la empresa Schwager, en plantas productivas de Chilealimentos, las etapas y procesos comunes para los distintos rubros son los siguientes:

Recepción y Descarga: La materia prima, frutas y hortalizas, traídas directamente desde los campos o desde centros de almacenamiento, es transportada por camiones a la planta. El formato del transporte puede realizarse a granel o en bins de plástico o madera.

Las plantas cuentan con una zona habilitada para que los camiones sean pesados a la entrada y salida. Los productos son descargados en una zona diseñada especialmente de manera de hacer una preselección de estos.

Acopio: Según las necesidades de producción, las materias primas recibidos suelen acopiarse en un patio para su proceso durante el día. A veces estos se ingresan a bodega para su pronta utilización, sino son derivados a preservación en frigoríficos.

Lavado y Distribución: En esta etapa del proceso las materias primas son inspeccionados y seleccionados por personal especializado, quienes en caso de frutas y hortalizas que se encuentren en mal tienen la responsabilidad de separadas como subproducto o residuo.

Luego, las materias primas son lavadas y distribuidas según la línea de producción. Este proceso puede ocurrir a través de cintas transportadoras, o en piscinas. El agua utilizada suele ser potable o potabilizada y recirculada para sacar hojas, arena, tierra y material orgánico.

En muchas plantas se utiliza un segundo lavado de agua con ozono para desinfectar. En el caso de frutas

se procede a cortarlas y extraer su jugo para luego proceder a la evaporación de agua (pasan a la etapa de Evaporación). La Distribución se hace a través de una cinta transportadora previo a una selección manual. Aquí se generan RILes producto del lavado producto del uso de agua y desinfectantes.

Las materias primas que son descartadas para continuar en el proceso, o sus partes descartadas, son almacenadas como biomasa la que puede ser posteriormente utilizada también como combustible o para generar biogás. Esta biomasa viene de pelar la materia prima seleccionada así como del deshuesado, según corresponda. Otra fuente de biomasa es el picado de la materia prima, donde esta es cortada de acuerdo al requerimiento del producto final.

Limpieza: La materia prima seleccionada ingresa al sistema de pelado y/o deshuesado, o es cortada de acuerdo al requerimiento del producto final.

En este punto, y dependiendo de los productos a elaborar, la materia prima ya preparada puede seguir en general, uno de los siguientes procesos:

CONSERVAS

Cocción: a los productos que serán puestos en envases, se les agrega algunos ingredientes y preservantes y son sometidos a un proceso de cocción, cuyos parámetros de temperatura y uso de agua caliente y/o vapor son determinados a priori según el insumo y producto final deseado (concentrado o envasado directo, por ejemplo).

Enfriamiento: El producto es sometido a condiciones térmicas de enfriamiento con agua.

DESHIDRATADOS

Secado: Después de las operaciones preliminares ya descritas, gajos y cubitos son deshidratados en túneles de secado con control de temperatura y humedad para cada producto.

CONGELADOS

Blanqueo: Esta operación expone el producto a una temperatura determinada por un breve período. El principal propósito de este proceso, es inactivar o retardar la acción de bacterias y enzimas que provocan una rápida pérdida de calidad. Efectos secundarios positivos del blanqueo son la eliminación de aire y gases del producto.

Congelado de frutas y hortalizas: Después del blanqueo, el producto se enfría rápidamente para prevenir el deterioro del sabor y del color.

JUGOS CONCENTRADOS

Maceración: Dependiendo de la materia prima se transfiere se muele y se agrega agua. La mezcla de materia prima molida y agua se envía a los estanques de maceración, en donde se agregan enzimas y se mantiene la mezcla por un cierto tiempo a una temperatura determinada.

Separación Sólido-Líquido: Se realiza la separación sólido-líquido en equipos como decantadores y

centrífugas.

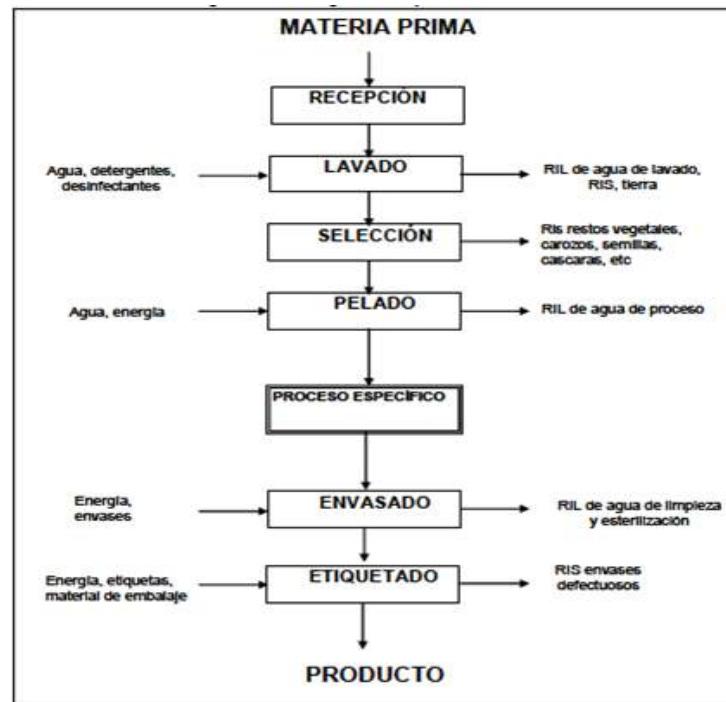
Evaporación (Preconcentración): La corriente líquida pasa a un preconcentrador donde se evapora agua hasta alcanzar una mayor concentración. En esta parte del proceso se procede a extraer una cantidad de agua del producto predeterminada. En el caso de la fabricación de jugos concentrados, esto se realiza a través de Evaporadores, donde el grado de secado viene dado por el tipo de producto (concentrado en polvo por ejemplo).

Clarificación: El jugo se lleva hasta los estanques de clarificación, donde se agregan enzimas y agentes clarificantes.

Concentración: El jugo se concentra en un evaporador y luego se enfría, las condiciones térmicas del tratamiento de los productos involucra mayor o menor tiempo de residencia en el proceso, o variable de temperatura, vapor o agua caliente distintas. Es el caso, por ejemplo, de la fabricación de pastas y mermeladas.

Envasado y Etiquetado: En esta etapa final del proceso, los productos son puestos en envases preseleccionados que van desde envases de hojalatas, envases de plástico, vidrio, bolsas, cajas, etc.

Distribución o Bodega: Finalmente los productos envasados y etiquetados, después de pasar por un proceso de control de calidad interno, son llevados directamente a través del uso de cintas transportadoras o montacargas, al centro de despacho en camiones de reparto a los clientes de la planta, o enviados a centros de distribución. Suele ser el caso en que los productos van directamente a las bodegas de la planta y de allí son enviados a los clientes, o sino ciertas cantidades de productos son llevados a bodega directamente. Muchas veces con el fin de mantener un stock de productos, pero con un tiempo de residencia bien determinado, que puede ser en frigoríficos para evitar deterioro de productos.



Capítulo II Figura 1. Diagrama general de proceso del sector.

En estos rubros es posible tener diferentes requerimientos de frío, dados por los rangos de temperatura en que se debe mantener la materia prima, producto en proceso o producto final, según sea el caso. Es así como se pueden encontrar los siguientes tipos de instalaciones frigoríficas:

Cámaras o túneles de prefrío de materia prima, es decir, un sistema de refrigeración (0 a 5°C) donde se recibe y baja rápidamente la temperatura a la materia prima para conservarla.

Cámaras mantención de materia prima refrigerada, sistema de mantención refrigerado (0 a 5°C) donde se almacena la materia prima para conservarla previo al proceso.

Cámaras de materia prima congelada, producto semi procesado (PSP) congelado o producto totalmente terminado (PTT) congelado: Sistema de mantención congelado (a -18°C o menos) donde se almacena la materia prima o los productos para conservarlos previo a su destino (proceso o despacho).

Cámara de mantención de producto refrigerado: Sistema de mantención de refrigerado (0 a 5°C) donde se almacena producto en proceso o terminado.

Salas de proceso climatizadas: áreas de producción que requieren estar a temperaturas determinadas y controladas en un rango por ejemplo menores a 15°C y mayor a 5°C.

Túneles de congelación: De acuerdo al tipo de producto y a los tiempos de producción, pueden funcionar en diferentes rangos entre -12°C y -36°C.

2. Descripción general de uso de refrigerantes

Según las características propias de las instalaciones frigoríficas mencionadas y sus requerimientos, el sector presenta necesidades que pueden ser resueltas por el uso de los siguientes refrigerantes:

El **R-22**, perteneciente a la familia de los Hidroclorofluorocarbonos (HCFC), es un refrigerante puro, que se usa como refrigerante primario en los sistemas y su temperatura de ebullición es de $-40,8^{\circ}\text{C}$ a 0 psig. Tiene una densidad tres veces la del aire; en estado líquido 1,2 veces la del agua.

El **R-404A**, pertenece a la familia de los Hidrofluorocarbonos (HFC), es una mezcla de R-125, R-143a y R-134a, con una composición en peso de 44%, 52% y 4% respectivamente. Se usa como refrigerante primario en los sistemas y su temperatura de ebullición es de $-46,2^{\circ}\text{C}$ a 0 psig. Es comúnmente utilizado en las instalaciones de refrigeración a compresión simple, de congelación y otras aplicaciones a temperatura de evaporación comprendidas entre -45°C y 10°C . Sus aplicaciones son: Refrigeración en baja temperatura, refrigeración de media temperatura (alternativa al R-22), refrigeración de alta temperatura (hasta 7°C de evaporación).

El **R-507A**, también pertenece a la familia de los Hidrofluorocarbonos (HFC), es una mezcla de R-125 y R-143a con una composición en peso de 50% y 50%. Se usa también como refrigerante primario en los sistemas y su temperatura de ebullición es de $-46,7^{\circ}\text{C}$ a 0 psig. Es un refrigerante desarrollado para satisfacer las necesidades en los sistemas de refrigeración para supermercados o sistemas de media y baja temperatura.

El **R-717-Amoníaco anhidro (NH_3 grado frigorífico)** por su parte, pertenece a la familia de los refrigerantes naturales, es un refrigerante puro, se usa como refrigerante primario y su temperatura de ebullición es de $-33,3^{\circ}\text{C}$ a 0 psig. Con propiedades termodinámicas excelentes y bajos requerimientos energéticos, sus aplicaciones corresponden a sistemas de media y baja temperatura, hasta las aplicaciones de baja temperatura. A nivel mundial, es el más importante de los refrigerantes naturales debido a su uso prolongado y generalizado en el procesamiento y conservación de alimentos y bebidas. Desde mediados del siglo XIX ha habido muchos cambios en los tipos de refrigerantes, pero el amoníaco es único porque ha visto el uso continuado durante este período de 150 años.

El **R-744-Dióxido de Carbono (CO_2)** pertenece a la familia de los refrigerantes naturales, es un refrigerante puro, se usa como refrigerante primario y secundario (por ejemplo, junto con el amoníaco), y su temperatura de ebullición es de $-78,4^{\circ}\text{C}$ a 0 psig. Sus aplicaciones son en sistemas de media y baja temperatura. Ha sido utilizado como un refrigerante entre mediados y finales del siglo XIX, sin embargo, con la introducción de los fluorocarbonos en la década del 1930, el CO_2 cayó en desuso. Con propiedades termodinámicas excelentes y bajos requerimientos energéticos, se ha iniciado su uso en los últimos años y ya se encuentra disponible en el mercado para ser usado en aplicaciones que incluyen sistemas de aires acondicionados estáticos y móviles, almacenamiento refrigerado, extracción de calor industrial, refrigeración de procesos y aplicaciones de temperatura baja y ultra baja (Linde, 2017).

3. Impacto ambiental global

Para caracterizar los refrigerantes desde el punto de vista del impacto ambiental, se utilizaron los

criterios PAO y PCG. A continuación, se señala a qué se refiere cada uno:

Potencial de agotamiento del ozono (PAO): El PAO indica la capacidad relativa de refrigerantes para destruir el ozono estratosférico y relaciona el impacto de las emisiones de un gas con el de la emisión de una masa equivalente de CFC-11 (NCh 3241 - 2011. Buenas Prácticas de Refrigeración).

Potencial de Calentamiento Global (PCG): Índice basado en las propiedades radiativas de los gases de efecto invernadero, que mide el forzamiento radiativo² obtenido de los impulsos de emisión en la atmósfera actual, de una unidad de masa de cierto gas de efecto invernadero, integrado a lo largo de un plazo de tiempo dado, en comparación con el causado por el CO₂.

El PCG representa el efecto conjunto del período de permanencia de un gas y de su eficacia relativa como causante de un forzamiento radiativo. El Protocolo de Kyoto está basado en el PCG asociado a los impulsos de emisión en un período de 100 años (IPCC, 2013).

Por ejemplo, el R-404A tiene un Potencial de Calentamiento Global para 100 años (PCG) de 3.900, es decir, 3.900 veces el efecto que el CO₂.

Las características de impacto ambiental de los refrigerantes que se aplican en el sector industrial junto con sus características físicas ya descritas, se presentan en la Tabla 1.

Capítulo II Tabla 1. Características de los refrigerantes de uso industrial en Chile

Refrigerante Designación ASHRAE ³	Familia	Composición (% peso)	Uso	Temperatura de ebullición °C a 0 psig.	PAO	PCG 100 años ⁴
R-22	Hidroclorofluorocarbonos HCFC	Puro	Refrigerante primario	-40,8	0,055	1810
R-404A	Hidrofluorocarbonos HFC	R-125/143A/134a (44/52/4)	Refrigerante primario	-46,2	0	3900
R-507A	Hidrofluorocarbonos	R-125/143A (50/50)	Refrigerante primario	-46,7	0	4000

² Variación, expresada en W m⁻², del flujo radiativo (la descendente menos la ascendente) en la tropopausa o en la parte superior de la atmósfera, debida a una variación del causante externo del cambio climático; por ejemplo, una variación de la concentración de CO₂ o de la radiación solar (IPCC, 2013).

³ Número de refrigerante, si se ha asignado, de acuerdo con la Norma ASHRAE 34 / ASH04a, ASH06a, ASH06b y ASH06c /: Existe una norma internacional en preparación, pero no definitiva, como documento principal para la designación y los criterios de seguridad / ISO06 / Los sistemas de designación propuestos son esencialmente consistentes.

⁴ El PCG considera la integración del forzamiento radiativo sobre un horizonte de tiempo que incluye el cambio climático acumulativo y la decadencia de la perturbación.

Refrigerante Designación ASHRAE ³	Familia	Composición (% peso)	Uso	Temperatura de ebullición °C a 0 psig.	PAO	PCG 100 años ⁴
	HFC					
R-717 Amoniaco	Natural	Puro	Refrigerante primario	-33,3	0	<1
R-744 CO2	Natural	Puro	Refrigerante primario y secundario	-78,4	0	1

Fuente: NCh 3241 – 2011

Cabe mencionar que el período de vida (años) de estos HFC (R-507A y R-404A) es muy corto, por lo que son considerados contaminantes climáticos de vida corta (CCVC) o forzadores climáticos de corto plazo cuyo efecto se percibe poco tiempo después de su emisión (menos de una década)⁵, no así el CO₂ que dura más de 50 años una vez emitido y el R-22 que dura aproximadamente 12 años (NCh 3242-2011).

Otro elemento a considerar es que el CO₂ utilizado como refrigerante puede ser obtenido mediante recuperación desde las corrientes de desechos de procesos industriales. Se estima que la energía necesaria para recuperar, limpiar, licuar y transportar CO₂ tiene un equivalente en carbono de 1 kg CO₂eq por kg. En contraste, el proceso de producción de amoniaco tiene un equivalente en carbono de 2 kg CO₂eq por kg y para los fluorocarbonos esto es típicamente de 9 kg CO₂eq por kg (ASHRAE, 2009).

4. Seguridad en el manejo de los refrigerantes

Desde el punto de vista de seguridad, se utilizaron los grupos del Standard 34 de ASHRAE-2013, que se identifican por la combinación de dos caracteres que señalan las características de toxicidad e inflamabilidad. Los criterios de clasificación se describen a continuación:

Según su toxicidad, los refrigerantes se clasifican en dos categorías, A o B, basadas en el grado de exposición permisible:

⁵ Indica compuestos cuyo impacto en el clima ocurre en primer lugar en el primer decenio tras su emisión. Este conjunto de compuestos está integrado principalmente por los de períodos de vida cortos de la atmósfera, a diferencia de los gases de efecto invernadero homogéneamente mezclados, y a veces se han denominado forzadores climáticos de vida corta o contaminantes climáticos de vida corta. Sin embargo, la propiedad común que tiene mayor interés para las evaluaciones climáticas es la escala de tiempo a la que se siente su impacto en el clima. Entre este conjunto de compuestos cabe destacar el metano, también un gas de efecto invernadero homogéneamente mezclado, así como el ozono y los aerosoles, o sus precursores, y algunas sustancias halogenadas que no son gases de efecto invernadero homogéneamente mezclados. Estos compuestos no se acumulan en la atmósfera a escalas temporales de entre decenas y cientos de años y, por tanto, su efecto en el clima se siente predominantemente poco después de su emisión.

Clase A: Agrupa los refrigerantes cuyo TLV/TWA⁶ es de 400 ppm o más. Baja toxicidad.

Clase B: Agrupa los refrigerantes para los cuales el TLV/TWA es 399 ppm o menor. Altamente tóxico.

Según su inflamabilidad, los refrigerantes se pueden clasificar en tres categorías, 1, 2 ó 3, según:

Clase 1: no propaga la flama

Clase 2: baja propagación de flama

Clase 3: alta propagación de flama

De los refrigerantes de la Tabla 1, todos, salvo el amoniaco, corresponden a categoría A1, es decir TLV/TWA es de 400 ppm o más y no propaga la flama, es decir no son inflamables ni explosivos.

El amoniaco corresponde al tipo B2, es decir, TLV/TWA es 399 ppm o menor (tóxico) y baja propagación de flama. Esto se constituye como su principal desventaja, sin embargo, este riesgo es algo mitigado por su olor, alertando a los seres humanos a concentraciones más bajas (5 ppm) (ASHRAE, 2009).

En la Tabla 2 se muestran las medidas de seguridad típicas para las personas ante el uso de estos refrigerantes, información recopilada de diferentes fuentes disponibles indicadas a continuación.

Capítulo II Tabla 2. Medidas de seguridad para las personas en el uso de los refrigerantes.

Gas	Medidas de seguridad	Fuente
R-22	<p>Efectos por Sobreexposición Simple (Aguda):</p> <p>El contacto excesivo puede causar irritación (debido a su acción desengrasante) y posiblemente congelación (debido al efecto de refrigeración de la evaporación).</p> <p>Controles de ingeniería: use extracción local para impedir la acumulación de concentraciones altas que puedan reducir el nivel de oxígeno en el aire a menos de 19.5.</p> <p>Protección a los ojos/facial: gafas o anteojos de seguridad, como sea apropiado para el trabajo.</p> <p>Protección a la piel: guantes protectores hechos de látex o caucho.</p> <p>Protección respiratoria: Equipos de respiración autónoma o línea de aire comprimido para situaciones de emergencia en lugares confinados.</p>	<p>Hoja De Datos De Seguridad</p> <p>Indura</p> <p>20.08.2009</p>

⁶ "TLV" (Threshold Limit Value).- Concentración máxima permisible, expresada en la exposición al gas en el orden de 8 a 12 hrs. por día, cinco días a la semana, durante 40 años, y el TWA (Time-Weighted Average).- Concentración ponderada en el tiempo, expresada en horas por día. Los gases refrigerantes están clasificados en dos clases, dependiendo del tiempo máximo permisible en que una persona puede estar expuesta a éstos. Fuente: <https://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2008/01/el-standard-34-de-ashrae-nomenclatura-de-los-gases-refrigerantes>.

Gas	Medidas de seguridad	Fuente
	<p>En caso de un escape está indicado despejar el área afectada, evacuando hacia un lugar contrario a la dirección del viento que cubra por lo menos 100 metros a la redonda. Proteger a la gente y responder con personal entrenado. Si es posible, cerrar la válvula del cilindro para detener el escape. Si no se logra detener (o si no es posible llegar a la válvula), permitir que el gas se escape en su lugar o mover el cilindro a un sitio seguro, alejado de fuentes de ignición.</p>	
R-404A	<p>Efectos por Sobreexposición Simple (Aguda):</p> <p>La rápida evaporación del líquido puede producir congelación. Los vapores son más pesados que el aire y pueden producir asfixia al reducir el oxígeno en el aire respirado. Puede causar arritmia cardíaca.</p> <p>Controles de ingeniería: asegurarse de una ventilación adecuada, especialmente en locales cerrados.</p> <p>Protección personal Protección respiratoria: para rescatar y para trabajo de mantenimiento en tanques, utilice equipo respiratorio autónomo. Los vapores son más pesados que el aire y pueden producir asfixia al reducir el oxígeno en el aire respirado.</p> <p>Protección de las manos: guantes resistentes al calor. Protección de los ojos: gafas de seguridad Medidas de higiene: manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad.</p>	Hoja De Datos De Seguridad Proquiel Ltda.
R-507A	<p>Efectos por Sobreexposición Simple (Aguda):</p> <p>El contacto excesivo puede causar irritación (debido a su acción desengrasante) y posiblemente congelación (debido al efecto de refrigeración de la evaporación).</p> <p>Medidas de orden técnico:</p> <p>Aireación de los locales. La ventilación debe ser adecuada para satisfacer los requerimientos de TLV⁷ y minimizar la exposición. Se debe instalar equipo de extracción local en zonas para llenado y donde sea posible que ocurran derrames.</p> <p>Protección respiratoria.</p> <p>No se requiere de ninguna protección respiratoria en condiciones de trabajo con ventilación normal.</p>	Hoja De Datos De Seguridad Proquiel Ltda.

⁷ "TLV" (Threshold Limit Value): Concentración máxima permisible, expresada en la exposición al gas en el orden de 8 a 12 hrs. por día, cinco días a la semana, durante 40 años.

Gas	Medidas de seguridad	Fuente
	<p>Protección de la piel (contacto y absorción)</p> <p>Utilice guantes de protección impermeables (preferentemente con una cubierta exterior de acetato de polivinilo o de caucho sintético) si hay contacto repetido o prolongado con el líquido.</p> <p>Protección de los ojos</p> <p>Utilice lentes de protección contra productos químicos si existe cualquier posibilidad de contacto con el líquido. No utilice lentes de contacto. Añada una careta facial si existe el peligro de que el producto salpique mientras se le maneja.</p>	
R-744 CO ₂	<p>Efectos por Sobreexposición Simple (Aguda):</p> <p>Inhalación. El CO₂ gas es un asfixiante. También es fisiológicamente activo, y afecta la circulación y la respiración. En concentraciones moderadas, puede ocasionar dolores de cabeza, mareo, somnolencia, ardor en nariz y garganta, excitación, incremento de la frecuencia cardíaca y respiración, salivación excesiva, vómito y pérdida del conocimiento. La falta de oxígeno puede ser mortal.</p> <p>Concentraciones de CO₂ en el aire y sus efectos</p> <p>8-10% Dolor de cabeza después de 10 o 15 minutos. Mareos, vértigo, zumbido de oídos y aumento de la tensión, pulso, excitación, vómitos.</p> <p>10-18% Después de una exposición corta aparecen ataques epilépticos, pérdida de conciencia, y shock. (as víctimas se recuperan rápidamente en aire fresco)</p> <p>18-20% Síntomas similares a los de una trombosis.</p> <p>Contacto con la Piel. No se esperan lesiones debido al vapor. El gas o líquido frío pueden ocasionar severas quemaduras por congelamiento.</p> <p>Contacto Ocular. No se esperan lesiones debido al vapor. El gas o líquido frío puede ocasionar severas quemaduras por congelamiento.</p> <p>Otros Efectos por Sobreexposición. El producto puede ocasionar lesiones a las células de la retina o ganglios así como al sistema nervioso central.</p> <p>Controles de Ingeniería</p> <p>Ventilación Local. Utilice un sistema de ventilación local, si es necesario, para mantener las concentraciones de CO₂ por debajo de los límites de exposición en la zona de respiración de los trabajadores.</p>	Hoja De Datos De Seguridad Praxair Chile Ltda.

Gas	Medidas de seguridad	Fuente
	<p>Ventilación Mecánica (General). Bajo ciertas condiciones, la ventilación mecánica (general) podría ser aceptable si puede mantener el CO₂ por debajo de los límites de exposición aplicables.</p> <p>Protección Cutánea: Se deben utilizar guantes criogénicos que no queden apretados y zapatos con protección metatarsiana así como ropa protectora para el manejo de contenedores, según se requiera. Se deberán utilizar pantalones sin pliegues. Los guantes no deberán contener aceite ni grasa.</p> <p>Protección Ocular/Rostro: Se deben utilizar lentes de seguridad al manejar los cilindros. Para operaciones de soldado, se deberán utilizar antiparras con lentes de filtro.</p> <p>Protección Respiratoria: No se requiere bajo utilización normal. Sin embargo, se podría requerir la utilización de un sistema de respiración alimentado con aire mientras se trabaje en espacios confinados con este producto.</p>	
R-717 NH ₃	<p>Algunas características a considerar para tomar medidas a la hora de instalar y operar sistema con amoniaco:</p> <p>Con plata, oro y mercurio reacciona formando compuestos explosivos, no usar manómetros con mercurio.</p> <p>El amoniaco húmedo corroe al cobre, zinc y sus aleaciones.</p> <p>No se debe usar cobre latón o galvanizado en accesorios o tuberías.</p> <p>No son convenientes en servicio con amoníaco las uniones, válvulas, manómetros, reguladores y dispositivos de alivio con elementos en cobre, latón o bronce.</p> <p>Se acostumbra utilizar acero o hierro dúctil para tuberías y accesorios. Toda la tubería o accesorio para NH₃ debe ser en acero extra pesada (Sch 80), cuando se usan juntas roscadas. Se usa acero peso estándar (Sch 40), cuando las juntas son tanto soldadas o unidas por bridas soldadas. Preferible usar tubería soldada, particularmente para diámetros grandes. Toda la tubería debe ser chequeada contra fugas después del ensamble, a una presión no menor a la presión normal de operación del sistema.</p> <p>Cualquier fuga que se advierta, debe ser eliminada. Se emplea dióxido de azufre (SO₂) para localizar fugas de NH₃, si se forma una nube blanca, es advertencia que se tiene una fuga. Se recomienda tener equipos detectores de amoniaco con alarma cuando concentración de NH₃ en el ambiente sea mayor a 20 ppm.</p> <p>Las mangueras deben ser especiales para NH₃, tener un límite de ruptura de 750 psig y acoples en acero. Tienen vida útil de 5 años.</p>	Hoja De Datos De Seguridad Indura 05.04.2017.

Gas	Medidas de seguridad	Fuente
	Los ensambles de manguera deben ser probados hidrostáticamente a su máxima presión de trabajo para garantizar estar libres de fuga.	

A continuación, se complementa la información anterior referida al manejo seguro del amoniaco, con la reglamentación chilena existente a la fecha y aquella que se encuentra en proceso de tramitación, desde lo general a lo particular.

5. Cuerpos normativos chilenos aplicables a la seguridad en el manejo de gases

5.1. Regulación general para los gases

En general los gases tóxicos están regulados como sustancia peligrosa para efectos de transporte, su rotulación y almacenamiento, según el Decreto N°43 del 29-03-2016, que Aprueba Reglamento de Almacenamiento de Sustancias Peligrosas que establece en su Artículo 1° las “condiciones de seguridad de las instalaciones de almacenamiento de sustancias peligrosas”, el D.S. 298 “Reglamenta el Transporte de Cargas Peligrosas por Calles y Caminos” y la NCh 2190 Of. 2003 “Sustancias Peligrosas - Marcas para información de Riesgos NCh 382. Of. 2004 “Terminología y Clasificación General” de materiales peligrosos.

El Decreto N°43 establece las condiciones en las cuales deben ser almacenadas las sustancias peligrosas de acuerdo con su cantidad, clase y división de peligrosidad indicada en la Norma Chilena NCh 382 Of2004, entendiéndose por sustancias peligrosas, o productos peligrosos, las listadas en la Norma Oficial, de la Norma Chilena Oficial N° 382 de 2004 o la que la sustituya, donde se identifica la clase 2 y las subclases donde se encuentran los gases refrigerantes: 2.1 Gases Inflamables; 2.2 Gases no inflamables y no tóxicos, y , 2.3 Gases tóxicos, donde se incluye el amoniaco.

5.2. Reglamento sobre condiciones de seguridad en los sistemas de refrigeración con amoniaco

Debido a la alta toxicidad e inflamabilidad del Amoniaco y su uso extendido a nivel de grandes instalaciones frigoríficas, es que el Ministerio de Salud ha impulsado el reglamento sobre condiciones de seguridad en los sistemas de refrigeración con amoniaco, que se encuentra en su fase final de consulta pública (Minsal, 2016). El documento indica que toda empresa que utilice amoniaco en su sistema de refrigeración deberá contar en sus dependencias con información actualizada respecto de:

- Proyecto del sistema de refrigeración, una matriz de riesgo con sus medidas de control y mitigación. Un programa escrito de mantenimiento preventivo para todos los equipos de refrigeración conforme a las recomendaciones de los fabricantes. Se debe llevar un control escrito de la ejecución de dichas mantenciones.
- Un manual de operación del sistema de refrigeración y de cada uno de los equipos principales que lo conforman.
- Plan de Emergencia que debe ser conocido por todos los funcionarios de la planta
- Un programa de capacitación de dicho plan
- Registro detallado con hoja de vida de todas las válvulas de seguridad instalada en cada sistema de refrigeración. Se debe registrar, al menos, marca, modelo, medida, presión de ajuste, año de fabricación y ubicación. Se debe llevar un registro escrito de las mantenciones y calibraciones realizadas a estas válvulas.
- Registro detallado con hoja de vida de todos los detectores de amoníaco instalados en cada sistema de refrigeración. Se debe registrar, al menos, marca, modelo, tipo de sensor, rango de operación, año de fabricación y ubicación. Se debe llevar un registro escrito de las mantenciones y calibraciones realizadas a estos detectores.

Además medidas generales de seguridad como:

- Todos los estanques del sistema de refrigeración deben contar con una hoja de vida que detalle: a) Nombre del fabricante b) Año de fabricación c) Número de serie d) Material de construcción e) Espesores de manto y cabezales f) Presión de diseño g) Prueba de presión
- Todos los estanques del sistema de refrigeración que sean fabricados después la entrada en vigencia de este reglamento deben contar, además, con un certificado del fabricante que detalle la norma según la cual se fabricó, las pruebas a las que fue sometido e indicando la prueba de presión a que fue sometido.
- Las labores de operación, mantención o reparación en un sistema de refrigeración con amoníaco deberán ser realizadas por un técnico frigorista.
- Los sistemas de refrigeración deberán contar, con a lo menos un operador en forma permanente, el cual solo realizará actividades de operación, vigilancia, supervisión y mantención.
- Toda persona que trabaje en instalaciones que cuenten con un sistema de refrigeración con amoníaco deberá estar capacitada y entrenada de acuerdo a su función. Así mismo, debe conocer las instalaciones y sus riesgos asociados.
- Está prohibido fumar y hacer cualquier tipo de fuego en la planta de refrigeración. Se exceptúan de la prohibición de hacer fuego sólo en aquellos trabajos que eventualmente puedan generar una fuente de calor, como soldadura, chispas y otros similares, y que deberán estar debidamente programados y controlados, con elementos de contención de fuego en caso necesario, con un procedimiento de trabajo seguro y un plan de contingencias para el trabajo específico con su respectivo registro de capacitación.

- No se debe instalar equipos que operen con chispa o llama (motores de combustión interna, calderas, etc.) ni de inyección de aire tales como los compresores de aire, en sectores que contengan equipos de refrigeración con amoníaco.
- Para los trabajos de corte y soldadura se debe poner especial atención en su planificación y realización, contando con un plan de contingencias y procedimiento de trabajo seguro.
- Todo trabajo de soldadura que afecte a piezas y partes en contacto con amoníaco deberá ser realizado por un soldador calificado.
- La empresa deberá elaborar un programa de elementos de protección personal escrito donde se establezcan los procedimientos técnicos y administrativos para una adecuada selección, compra, uso, ajuste, limpieza, desinfección, revisión, mantención, almacenamiento, sustitución y disposición final de los elementos de protección personal. Se deben utilizar las Guías de selección elaboradas por el Instituto de Salud Pública existentes.

Respecto del diseño e instalación del Sistema de Refrigeración con Amoníaco, establece que:

- Cada proyecto o ampliación tiene condiciones particulares a cumplir y deberá considerar el sistema en su totalidad, por lo cual para el diseño e instalación se deberá contar un proyectista, responsable del diseño y la puesta en marcha del sistema; un instalador, responsable de ejecutar la instalación de acuerdo a las especificaciones del proyecto y un inspector técnico que será responsable de la supervisión del montaje, verificando que la instalación cumple con lo especificado en el proyecto.
- El diseño de un nuevo sistema de refrigeración, o la modificación de uno existente deberá ser realizado por un proyectista competente.
- Toda implementación de un nuevo sistema de refrigeración, o la modificación de uno existente, deberá ser ejecutada y puesta en funcionamiento por un instalador de acuerdo a las especificaciones del proyectista. Todo cambio en el proyecto, deberá contar con la aprobación formal del proyectista.
- La planta debe considerar a lo menos 2 zonas de seguridad que permitan evacuar a todo el personal. Dichas zonas deben ubicarse en lados opuesto de la planta a fin de poder utilizarlas dependiendo de la dirección del viento, para lo cual se dispondrá de veletas en zonas visibles por todos los trabajadores.
- Toda instalación que tenga un sistema de refrigeración con amoníaco debe contar con, a lo menos, dos equipos de respiración autónoma.
- Los operadores deben contar con capacitación vigente en el uso correcto de estos equipos, a lo menos una vez al año.
- Los equipos de respiración autónoma, deberán estar con su carga al día y mantención vigente según lo señalado por el fabricante, así como contar con sistemas que permitan mantener la comunicación entre el trabajador que lo usa y personal externo.
- Toda instalación que tenga algún sistema de refrigeración con amoníaco debe contar con un sistema de detección de amoníaco. El sistema de detección deberá ser calibrado y mantenido según

las recomendaciones del fabricante. Dicho sistema debe contar con los 2 niveles de acción.

- Todos los equipos del sistema de refrigeración (compresores, condensadores, evaporadores, estanques, etc.) deben contar con condiciones de tránsito e iluminación para su correcta inspección y operación, de acuerdo a lo indicado por el fabricante y lo establecido en D.S. N° 594 de 1999 Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los lugares de Trabajo.
- Cuando existan equipos y/o elementos del sistema de refrigeración expuestos al tráfico de vehículos en general, deben ser protegidos contra los daños mecánicos inherentes de esta situación de riesgo.
- Todos los cruces de cañerías del sistema de refrigeración a través de muros, pisos y techos deben ser sellados.
- No se debe utilizar termómetros de mercurio en instalaciones con sistemas de refrigeración por amoníaco, ya que existe peligro de explosión si el amoníaco entra en contacto con el mercurio.
- Las válvulas de seguridad se deben instalar directamente al sistema, principalmente estanques. Nunca se deben poderse aislar del sistema. Solo se aceptan válvulas de tres vías para aislarlas del sistema.
- La sala de máquinas debe contar con señales de advertencia y barreras físicas con el objeto de impedir el acceso a personal no autorizado
- La sala de máquinas será exclusiva y no podrá ser utilizada para otros fines.
- Las salas de máquinas deben contar con dos o más vías de escape, ubicadas en diferentes direcciones, las que se mantendrán libres de obstáculos en todo momento y deberán abrirse hacia fuera.
- Debe existir, a lo menos, una ducha de emergencia y lava ojos en el exterior de cada puerta o vía de escape de sala de máquinas, que será ubicada a no más de 10 metros de esta, la cual debe contar con un sistema de accionamiento rápido o automático.
- Estos equipos deben estar permanentemente operativos, alimentados con agua potable en caudal suficiente de acuerdo a la recomendación del fabricante y que asegure una operación continua de 30 minutos como mínimo.
- Ninguna abertura desde la sala de máquinas podrá comunicarse con las vías de escape de la planta, salvo las puertas de ingreso/salida del personal.
- Toda sala de máquinas de refrigeración debe contar con un sistema de ventilación natural o forzada para asegurar que la temperatura ambiental de la sala no exceda los 40 °C.
- Toda sala de máquinas de refrigeración debe contar con un sistema de ventilación forzada que opere de forma automática en caso de fuga, con opción de activación manual.

5.3. Buenas prácticas reconocidas por ASHRAE para el uso seguro del amoníaco

Con el fin de reducir el potencial de fugas de amoníaco, se construyen unidades frigoríficas compactas, totalmente selladas y probadas en fábricas, y se pueden suministrar con una carga de menos de 50 kg de amoníaco para una capacidad de refrigeración de 1000 kW.

En los grandes sistemas industriales donde se necesitan temperaturas bajas (30 a -50 °C) se ha utilizado amoníaco en sistemas de refrigeración en cascada con CO₂. Los enfriadores de absorción con mezcla de amoníaco y agua son adecuados y rentables para algunas aplicaciones específicas, especialmente utilizando un calor residual, en sistemas de refrigeración combinada, calor y energía (CCHP) y refrigeración de distrito (ASHRAE, 2009).

6. Disponibilidad comercial de los refrigerantes

En la Tabla 3, se presenta información respecto de la comercialización de refrigerantes industriales en Chile, disponibilidad, formatos y precios. Los formatos fueron obtenidos de las páginas web de los distribuidores y los precios corresponden a cotizaciones realizadas para el estudio.

Capítulo II Tabla 3. Sistematización de los datos recopilados referente a comercialización de refrigerantes industriales en Chile.

Gas	Disponibilidad comercial	Importadores/ Formatos de venta	Precio referencial (pesos chilenos)
R-22	Sí, todo Chile.	Unión Química Rodolfo Palma EIRL ⁸ : 13,6 kg. Proquiel Ltda.: 10,9, 11,3, 13,6, 22,7 y 62,0 kg. Reno Chile S.A. (Dupont): 13,6 kg. Productos Químicos Chile: 1, 5, 10, 20, 100 y 200 L. Oxiquim S.A.: 13,6 Kg.	Unión Química: 4 mil/kg Química Reno: 4,4 mil/kg
R-404A	Sí, todo Chile.	Unión química Rodolfo Palma EIRL: 404A 10,9 kgs Proquiel Ltda.: 10,9, 11,3, 13,6, 22,7 y 62,0 kg. Reno Chile S.A. (Dupont): 10,9 kgs. Oxiquim S.A.: Bombona de 13,6 Kg, cilindro de 57 Kg, Contenedor de 794 Kg	Unión Química: 3,8 mil/kg Química Reno: 3,5 mil/kg
R-507A	Sí, todo Chile.	Unión química Rodolfo Palma EIRL: 11,3 kgs. Proquiel Ltda. : 10,9, 11,3, 13,6, 22,7 y 62,0 kg. Oxiquim S.A.: Bombona de 11,3 Kg. Reno Chile S.A. (Honeywell): 11,3 Kg.	Unión Química: 3,6 mil/kg Química Reno 3,3 mil/kg
R-717 NH ₃	Sí, todo Chile.	Indura: 55 y 64kg (99,5 % pureza, fabricante: Nitra.) Oxiquim S.A.	Indura: 2,8mil/kg ⁹
R-744 CO ₂	Sí, todo Chile.	Indura (CO ₂ grado alimenticio): 29, 32 y 35 kg. Praxair Chile Ltda., 29, 32 y 35 kg.	Indura: 3,6 mil/kg

Fuente: Cotizaciones con fecha 27 de abril de 2017.

⁸ Este importador representa el 44% de participación para el período 2012-2014 (% TM), según el plan de gestión para la eliminación de HCFC en Chile al 2020 (HPMP Fase II).

⁹ Fluidos refrigerantes con certificación en la norma N340 de pureza, pudiendo encontrarse valores cuatro veces más bajos en otras calidades de pureza.

Uno de los factores que puede influir en la disponibilidad comercial de los refrigerantes HCFC y HFC corresponde a los calendarios de reducción del Protocolo de Montreal.

El Protocolo de Montreal establece, para los países Artículo 5, en la Etapa I del Plan de Manejo de Eliminación de HCFC (PMHP), que al 2020 se logre una reducción del 35%; al 2025, el 67,5%; al 2030; el 97,5% y al 2040, un 100% de reducción. Es por eso que los sistemas de refrigeración que usan HCFC tendrán que reemplazarlo próximamente, dado su impacto en la capa de ozono.

Por otra parte, respecto de los HFC, debido al éxito del Protocolo de Montreal en la implementación de reducciones graduales de los CFC y HCFC que se utilizaban previamente en los sectores que ahora utilizan HFC, es que se realizó una enmienda en el Acuerdo de Kigali que incluyó los HFC para reducir paulatinamente su producción y consumo. Este acuerdo estableció dos grupos, uno con las partes A5 y otro compuesto por 10 países: Bahrein, India, Irán, Iraq, Kuwait, Omán, Pakistán, Qatar, Arabia Saudita y los Emiratos Árabes Unidos. La mayoría de las partes A5 congelarán el crecimiento de HFC en 2024 en base a los niveles 2020-22 y lograrán una reducción del 10 por ciento en 2029, otra del 30% al 2035; 50% al 2040 y un plateau de 80% al 2045. El segundo grupo de A5 congelará el crecimiento de HFC en 2028, 2024-26, y lograr el primer paso de reducción en 2032. (EIA, 2016). A la fecha Chile no ha ratificado este acuerdo.

Como se puede ver en la Tabla 3, el R-22 tiene un precio superior a los demás refrigerantes y, por otro lado, el amoníaco está fácilmente disponible a un precio relativamente bajo. Menos del 2% del amoníaco producido comercialmente en el mundo se utiliza como refrigerante (ASHRAE, 2009); sin embargo, el amoníaco goza de bajo costo debido al gran volumen de producción para su uso como fertilizante. (ASHRAE, 2009). Además, cualquier fuga de amoníaco se detecta muy rápidamente gracias a su olor, reduciendo de este modo cualquier posible pérdida de refrigerante (Danfoss, 2009).

7. Refrigerantes alternativos

Otras alternativas a los HFC, son el hidrocarburo **R-290** (natural) y las hidrofluoroolefinas (**HFO**), ambas consideradas válidas por el marco jurídico multilateral para reducir el impacto de este sector en el cambio climático.

En el caso del hidrocarburo R-290 posee una temperatura de ebullición de -42,1°C (a 0 psig), no daña la capa de ozono y posee un bajo potencial de calentamiento atmosférico (>20) (NCh 3241 - 2011. Buenas Prácticas de Refrigeración). No obstante, es altamente inflamable, posee una muy limitada disponibilidad comercial y aún no se identifican registros de ingreso al país de equipos de aire acondicionado cargados con estos refrigerantes. Sus aplicaciones más probables son la refrigeración

comercial de baja capacidad y aire acondicionado doméstico (hasta 12.000 BTU/h)¹⁰.

Una mención aparte merecen las mezclas recientemente desarrolladas para aire acondicionado automotriz denominadas **hidrofluoroolefinas (HFO)** como alternativa con menor potencial de calentamiento atmosférico y mejor desempeño que los HFC, no obstante a la fecha no se conocen alternativas que puedan ser aplicables a las instalaciones frigoríficas del sector industrial.

Otra alternativa de menor PCG que no se aleja completamente de los HFC corresponde al R-448A, mezcla de HFO y HFC, conocido comercialmente como Solstice N40 (R-448A) producido por Honeywell que actualmente se ofrece como una alternativa al R-404A por haber demostrado mejor eficiencia energética (5%) y poseer un potencial de calentamiento atmosférico 66% menor que R-404A (PCG= 1273). Su aplicación se encuentra en el ámbito de refrigeración de baja y media temperatura, específicamente en supermercados, presentando un desempeño similar al R-22 para temperaturas medias y bajas. Tampoco se encuentra evidencia de uso en industria.

Algunas desventajas de R-448A son el precio y un deslizamiento térmico¹¹ muy alto (diferencias de 3 a 7 °C), a diferencia del R-404A que es una mezcla considerada azeotrópica (se comporta como puro, menor de 1°C de deslizamiento). Por esta razón se aconseja rediseñar los sistemas que funcionan con R-404A (o considerar otras tecnologías) para adaptar las mezclas no azeotrópicas como R-448A para obtener mayores eficiencias energéticas (Joaquín Navarro-Esbrí et al.,).

A pesar de ser una opción con impacto ambiental global levemente menor a los HFC (PCG= 1273), la autoridad local no está promoviendo este tipo de refrigerantes por ser consideradas mezclas de transición que no aseguran su disponibilidad comercial en Chile¹².

8. Líneas de acción para la reducción de emisiones debidas al uso de refrigerantes y aumento del desempeño energético.

Para la reducción del impacto ambiental del uso de refrigerantes en el sector de frutas y hortalizas procesadas, y obtener un mejor desempeño energético, se identifican 3 escenarios iniciales posibles en que se puede encontrar la instalación industrial, como son:

¹⁰ Germán Fuentes, 2017. Entrevista con experto Germán Fuentes, Consultor Unidad Ozono Ministerio Medioambiente, 10 de febrero de 2017.

¹¹ La característica denominada deslizamiento térmico se refiere al rango de temperatura sobre el cual los componentes en un refrigerante se evaporan o se condensan a una presión dada. Una sustancia pura o azeotrópica (que se comporta como pura) a presión constante pasará por un completo cambio de fase a temperatura constante. De forma inversa, un refrigerante zeotrópico debe proceder a través de un rango de temperatura que varía, con el fin de completar el proceso de cambio de fase.

¹² Germán Fuentes, 2017. Entrevista con experto Germán Fuentes, Consultor Unidad Ozono Ministerio Medioambiente, 10 de febrero de 2017.

- a) Proyectos de instalación de nuevos frigoríficos o sistemas de frío,
- b) Instalaciones frigoríficas existentes que usan HCFC (R-22), o
- c) Instalaciones frigoríficas existentes que usan HFC (R-404A, R-507A).

Para estos escenarios se identifican 3 líneas de acción que aplican en uno o más de uno de ellos:

1. Evitar el uso de gases fluorados (HCFC y HFC), implementando sistemas con refrigerantes naturales NH_3 o NH_3 con CO_2 como refrigerante secundario (salmuera).
2. Reemplazo por refrigerantes naturales NH_3 , NH_3 /glicoles o NH_3/CO_2 y reconversión tecnológica correspondiente.
3. Implementar buenas prácticas y sistemas de control para evitar fugas de refrigerante¹³.

La razón por la cual se selecciona el amoníaco, es debido a que presenta mejores propiedades de transferencia de calor que la mayor parte de los refrigerantes químicos, lo que permite utilizar equipos con una menor área de transferencia. Para una planta con un mismo diseño y selección de materiales, los costos serán menores. Estas propiedades contribuyen también a aumentar la eficiencia termodinámica del sistema, reduciendo los costos de funcionamiento (Danfoss, 2009). A esto se suman las ventajas ya mencionadas en la sección 3.1.2, es decir, que tiene PCG nulo, no daña la capa de ozono, permite obtener tuberías más pequeñas, es menos contaminable por impurezas y aceite, debido a su densidad e inmiscibilidad con el aceite y que nada sugiere una futura prohibición como sí es el caso de los HFC.

Cabe mencionar que el amoníaco es compatible con todos los materiales comunes excepto el cobre, bronce y el latón. Aunque esto impone algunas limitaciones en el diseño de los sistemas, estas son bien conocidas y ya han sido resueltas (Danfoss, 2009).

No se incluyó como línea de acción el reemplazo de R-404A por HFO o mezclas HFO-HFC con menor potencial de calentamiento global (PCG), por la razones discutidas en la sección anterior, es decir, deslizamiento térmico alto, baja disponibilidad de compresores ni válvulas específicas para este gas y mezclas de transición que no aseguran su disponibilidad comercial en Chile.

Respecto del CO_2 , este posee una alta eficiencia, debido a su alto coeficiente de transferencia de calor, menor área de transferencia y por lo tanto, se puede utilizar en evaporadores y condensadores más pequeños. Además posee una baja viscosidad por lo que se requiere menor potencia de bombeo.

Por otra parte, al comparar el CO_2 como fluido secundario, con otros refrigerantes como los glicoles o la salmuera común, presenta altos desempeños térmicos debido a que en los rangos de temperatura de

¹³ Según el plan de gestión para la eliminación de HCFC en Chile al 2020 (HPMP Fase II) documento elaborado por la Unidad Ozono del Ministerio del Medio Ambiente, el 88% de la compra se refrigerantes en Chile se realiza para mantención (recargas) del sistema debido a fugas de refrigerante.

operación se aprovecha su calor latente, 30 veces superior al calor sensible de los otros refrigerantes secundario que presentan, además de baja transferencia de calor, altas pérdidas de presión a bajas temperaturas y COP¹⁴ bajo.

El CO₂ de alta pureza posee una humedad de menos de 10 partes por millón. El bajo contenido de humedad permite que el refrigerante trabaje con más eficacia y, sobretodo, que tenga un menor impacto corrosivo en los sistemas de refrigeración, debido a la formación de ácidos corrosivos (ácido fluorhídrico) que se da cuando el refrigerante húmedo entra en contacto con el aceite.

Una diferencia importante entre el dióxido de carbono y otros refrigerantes está en su característica de presión/temperatura porque las presiones experimentadas son aproximadamente diez veces más altas que las de los sistemas de amoníaco o R-404A, sin embargo, a temperaturas ambiente superiores a los 20-25°C o cuando la presión se eleva por encima del punto crítico (7.3773 MPa) no puede ser condensado. Bajo estas condiciones, el rechazo de calor se consigue enfriando el gas muy denso que da como resultado un efecto de deslizamiento de temperatura. Esto implica que para muchas aplicaciones el circuito frigorífico debe ser modificado para trabajar en condiciones muy críticas, dotándolo de componentes resistentes a las altas presiones y sistemas de control de las propias presiones.

También produce reducciones muy pequeñas en la temperatura de saturación para una caída de presión dada, permitiendo un mayor flujo de masa en los evaporadores y tuberías de succión sin pérdidas de eficiencia, sobretodo a bajas temperaturas (-30 a -50 °C) (ASHRAE, 2009).

Capítulo II Tabla 4. Líneas de acción para la reducción de emisiones de Gases de efecto invernadero debido a la fuga de refrigerantes HCFC y HFC.

Acción	Instalaciones frigoríficas nuevas	Instalaciones frigoríficas existentes que usan HCFC (R-22)	Instalaciones frigoríficas existentes que usan HFC (R-404A, R-507A)
1. Evitar el uso de gases fluorados (HCFC y HFC), usando diseños para usar refrigerantes naturales (NH ₃ o NH ₃ /CO ₂).	☑		
2. Reemplazo por refrigerantes naturales (NH ₃ o NH ₃ /CO ₂) y reconversión tecnológica.		☑	☑
3. Implementar buenas prácticas y sistemas de control para evitar fugas de refrigerante.	☑	☑	☑

En la sección siguiente se desarrollan las opciones tecnológicas disponibles para el uso de refrigerantes

¹⁴ Coefficient of Performance o desempeño energético, correspondiente al ratio entre el calor extraído y la energía eléctrica consumida por el sistema. A mayor COP, mejor la eficiencia energética.

naturales en las líneas 1 y 2, y finalmente, se incluye una reseña respecto de buenas prácticas y sistemas de control para evitar fugas de refrigerante aplicables a todos los escenarios identificados (línea 3).

9. Opciones tecnológicas disponibles para el uso de refrigerantes naturales

Para identificar las opciones tecnológicas que tienen mayor potencial de aplicación en la industria procesadora de frutas y hortalizas, es que se realizó una revisión bibliográfica y se llevó a cabo una serie de entrevistas con expertos en procesos de refrigeración con sustancias naturales. A partir de esto se identificaron las siguientes opciones de sistemas y configuraciones posibles:

- A. Amoniaco (R-717), Expansión seca
- B. Amoniaco (R-717), Inundado
- C. Amoniaco (R-717), Bombeado
- D. Sistema Cascada para amoniaco como refrigerante primario y CO₂ como secundario.
- E. Sistema Brine para Amoniaco como refrigerante primario y CO₂ como secundario.

En la Tabla 5 se muestran las aplicaciones, rangos de capacidades y temperatura para cada opción.

Capítulo II Tabla 5. Opciones tecnológicas y sus aplicaciones.

Opciones	Aplicaciones	Rango de capacidades	Aplicación específica (AT;MT,BT) ¹⁵
A. Amoniaco Directo, Expansión seca	Cámaras para fresco y congelado. Enfriamiento de Agua (Chiller)	Sistemas con baja y media capacidad y reducida carga de amoniaco	MT BT
B. Amoniaco, Inundado	Cámaras fresco y congelado Enfriamiento de Agua (Chiller) Túneles de prefrío y de congelados	Sistemas con baja y media capacidad y mayor carga de amoniaco que expansión seca.	MT
C. Amoniaco Bombeado	Cámaras fresco y congelado Enfriamiento de Agua (Chiller) Túneles de prefrío y de congelados.	Sistemas baja, media y alta capacidad. Sistemas con mayor carga de amoniaco.	BT
D. Sistemas Cascada para Amoniaco/CO ₂ como	Cámaras fresco y congelado	Sistemas de muy baja, baja, media y alta capacidad.	BT

¹⁵ Alta, media y baja temperatura.

Opciones	Aplicaciones	Rango de capacidades	Aplicación específica (AT;MT,BT) ¹⁵
refrigerante secundario	Túneles de prefrío y de congelados		
E. Sistemas Brine Amoniaco/CO ₂ como refrigerante secundario	Cámaras fresco y congelado Túneles de prefrío y de congelados	Sistemas baja, media y alta capacidad.	MT BT

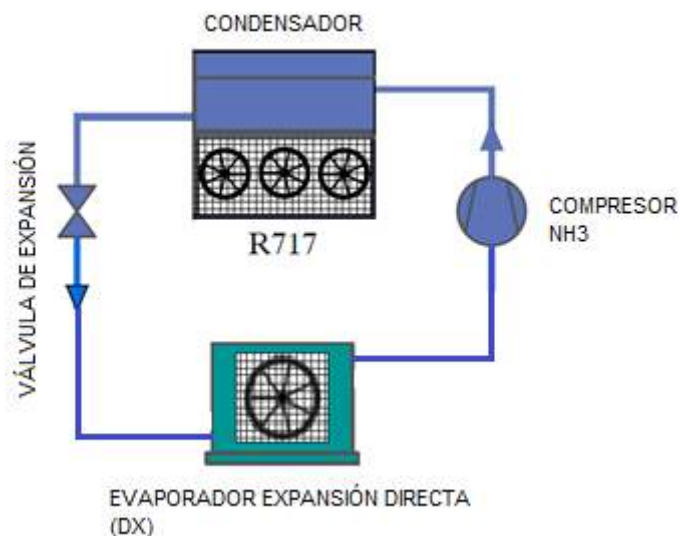
Fuente: elaboración propia, hecha a partir de información recopilada en entrevistas con expertos de Mayekawa. Entrevista Viviana Pérez, experta Mycom, 1 de febrero de 2017.

A. Amoniaco (R-717) Directo o Expansión seca

Se les denomina sistemas de expansión seca, -o directa- a los sistemas frigoríficos en los cuales el compresor aspira el gas seco, normalmente recalentado entre unos 7 y 10 grados sobre la temperatura de evaporación, del evaporador a la presión de evaporación, lo comprime hasta la temperatura de condensación y lo suministra al condensador. El condensador licua el refrigerante a la vez que disipa el calor del gas refrigerante mediante el sistema de enfriamiento. Desde el condensador, el refrigerante líquido pasa al recipiente de líquido a la presión de condensación y en condiciones de subenfriamiento.

En la válvula de expansión termostática, el refrigerante líquido se expande hasta la temperatura de evaporación. La válvula solamente carga el evaporador, por lo que la temperatura de salida medida está recalentada con respecto a la presión de evaporación. De este modo se cierra el circuito (Danfoss, 2017).

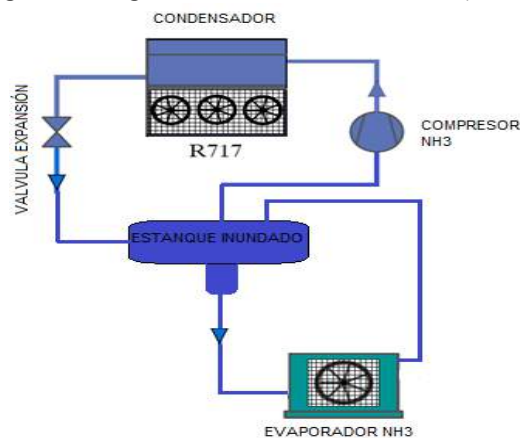
Capítulo II Figura 2. Diagrama de sistema de amoniaco (R-717) Directo o Expansión seca.



B. Amoniaco (R-717) Inundado

Los evaporadores inundados trabajan con refrigerante líquido con lo cual se llenan por completo a fin de tener humedecida toda la superficie interior del intercambiador y, en consecuencia, la mayor razón posible de transferencia de calor. El evaporador inundado está equipado con un acumulador o colector de vapor el que sirve, a la vez, como receptor de líquido, desde el cual el refrigerante líquido es circulado por gravedad a través de los circuitos del evaporador. Preferentemente son utilizados en aplicaciones industriales, con un número considerable de evaporadores, operando a baja temperatura y utilizando amoníaco (R-717) como refrigerante.

Capítulo II Figura 3. Diagrama de sistema Amoniaco (R-717) Inundado



C. Amoniaco (R-717) Bombeado

El compresor aspira el gas seco (resultante del evaporador y el flash gas) del separador a la temperatura de evaporación, lo comprime hasta la temperatura de condensación y lleva el gas de descarga recalentado hasta el condensador. El condensador licúa el refrigerante a la vez que disipa el calor del gas refrigerante mediante el sistema de enfriamiento. Desde el condensador, el líquido refrigerante llega hasta el dispositivo de expansión a la presión de condensación, y próximo a la temperatura de esta. En el dispositivo de expansión, el amoníaco se expande hasta la temperatura de evaporación y, a continuación, pasa al separador. En el separador se separa el gas líquido del flash gas.

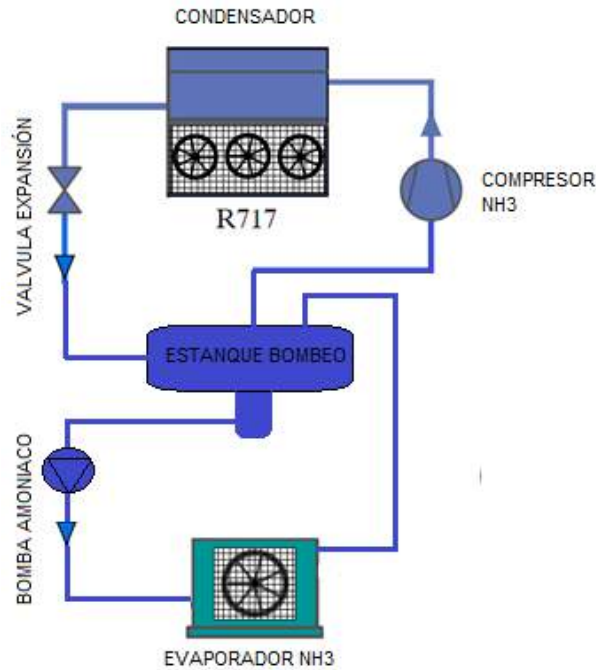
El líquido refrigerante, a la temperatura y presión de evaporación, es aspirado por la bomba y enviado hasta el evaporador. La tasa de circulación es, generalmente, de 1:3; es decir, un tercio del flujo másico se evapora en el evaporador, absorbiendo la capacidad calorífica.

En el evaporador se produce el intercambio de calor. Hasta el separador retorna una mezcla de gas y líquido, el líquido se separa del gas y el compresor puede aspirar el gas seco. De este modo se cierra el circuito (Danfoss, 2017).

En caso de reconversión desde HCFC o HFC, el aceite del compresor no suele ser soluble en amoníaco,

por lo que permanece en el sistema y es recogido en el evaporador. Ello limita la capacidad y origina averías que se pueden evitar mediante un dispositivo de drenaje de aceite en el colector de aceite del separador.

Capítulo II Figura 4. Diagrama de sistema Amoniaco (R-717) Bombeado



D. Sistemas Cascada Amoniaco/CO₂ como refrigerante secundario

La tecnología de CO₂ se está convirtiendo cada vez más en una solución óptima para los sistemas de refrigeración industrial de tamaño pequeño y mediano, especialmente porque estos sistemas liberan el exceso de calor que se puede utilizar simultáneamente para calentar el agua y proporcionar aire acondicionado a una instalación¹⁶.

Se componen de dos circuitos, uno de media temperatura (NH₃) y uno de baja temperatura (CO₂ como refrigerante secundario), interconectados por uno o más intercambiadores de calor, normalmente de placas, que por un lado condensan el CO₂ y por otro se presentan como evaporadores normales para el circuito de media temperatura.

En los sistemas cascada se trabaja con el CO₂ subcrítico, donde la parte de alta presión de circuito se sitúa por debajo del punto crítico. El CO₂ en el lado de alta presión se condensa y las presiones del lado de alta se sitúan del orden de 30 bar (-5°C). El calor resultante de la condensación del CO₂ se absorbe por el refrigerante en la fase de temperatura media. Este proceso tiene lugar a través de un intercambiador de calor en cascada entre los dos refrigerantes.

¹⁶ <https://eia-global.org/initiatives/hfc-free-technologies>

Se identifican las siguientes ventajas en este sistema:

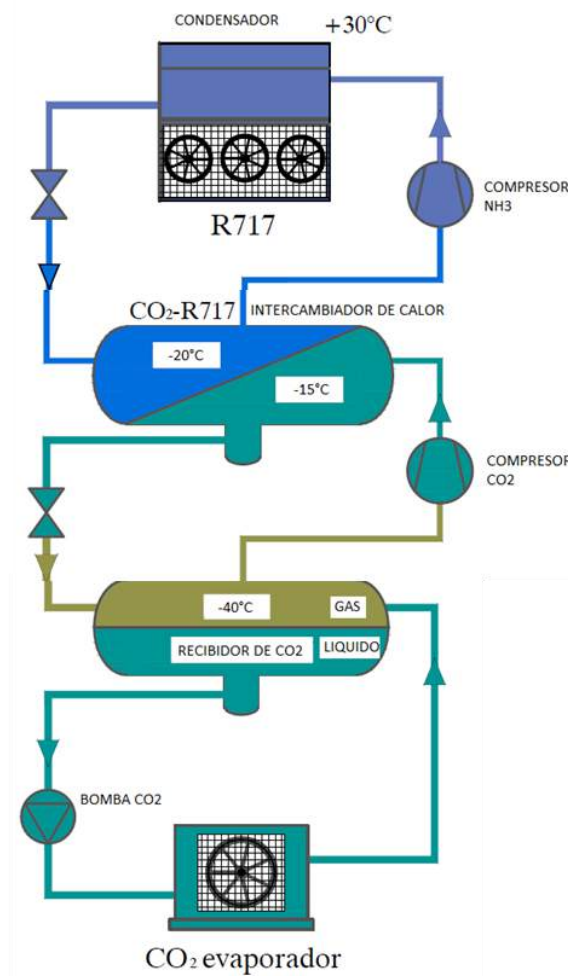
- Amoniac (NH₃) limitado a la sala de máquinas, con una reducción de NH₃ considerable, lo que disminuye de forma importante el riesgo de afectar la integridad de las personas y el producto. El amoniac está confinado en el cuarto de máquinas.
- No hay NH₃ en evaporador por lo que no hay riesgo de contaminación de producto en una fuga
- Usado en sistemas de muy baja temperatura (-40 ~ -55°C)
- Sistema relativamente similar a una instalación tradicional (R-404A);
- Mayor eficiencia del sistema (mejor COP) y aplicable en todos los climas.
- El CO₂ puede ser aplicado en climas tropicales sin afectar su desempeño termodinámico y energético, principalmente en la condición subcrítica en cascada.¹⁷

¹⁷ Hay instalaciones frigoríficas con CO₂ en el Nordeste Brasileño, tales como: supermercado Cometa y Compremax en Fortaleza; supermercado Nordesteão en Natal; Matadero Frigamar en Salvador y el Centro de Distribución de Extra Bom en Vitoria. Tales sistemas están configurados en cascada y utilizan el CO₂ como fluido refrigerante en el estado de baja presión con expansión directa, para atender los equipamientos de baja temperatura (cámaras e islas de congelados) (Brasil).

Por el contrario, las desventajas son:

- Muy sensible al dimensionamiento de las tuberías del sistema de bombeado;
- Consumo energético adicional de las bombas;
- Más atención a la presión de trabajo en el circuito secundario.
- Presión de diseño alta
- Altas presiones cuando el equipo está parado
- Al existir compresor de CO₂, el aceite puede contaminar el CO₂ (va perdiendo la calidad), aceites son combustibles.
- Requiere compresor de CO₂
- Sistema debe contar con filtro deshidratadores, mayor inversión inicial (más equipos).

Capítulo II Figura 5. Diagrama de Sistemas Cascada Amoniaco/CO₂ como refrigerante secundario.



E. Sistemas Brine, Amoniaco/CO₂ como refrigerante secundario

Una variante del sistema cascada es eliminar el compresor de CO₂ y usar el sistema de alta temperatura para regular el CO₂ a una o varios niveles de temperatura. Este sistema, al igual que el cascada, se compone de dos circuitos, uno de alta temperatura (NH₃) y uno de baja temperatura (CO₂ como refrigerante secundario), no obstante, el CO₂ líquido es hecho circular por gravedad hasta el evaporador y el vapor que retorna es condensado por el NH₃ y llevado de vuelta al sistema de recirculación por gravedad.

Este tipo de diseño representa la forma más sencilla de aplicación del CO₂ con la tecnología actual puesto que en este tipo de diseño el CO₂ es sólo bombeado y no comprimido (ver figura 5).

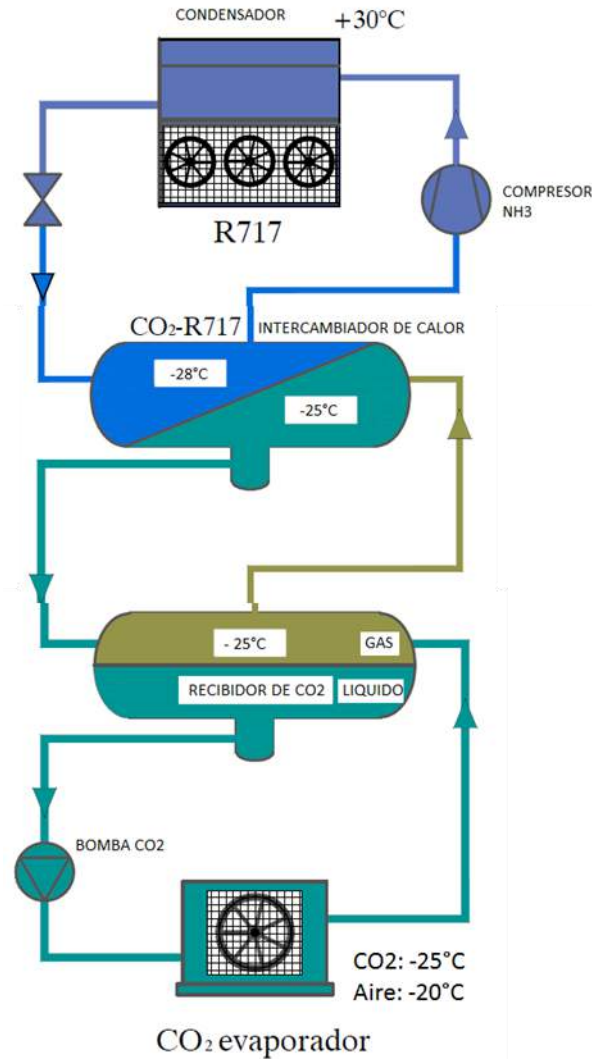
El sistema consta de los siguientes elementos principales:

- (1) Estación de bombeo de CO₂.
- (2) Sistema de Enfriamiento/condensación de CO₂.
- (3) Depósito de acumulación de CO₂
- (4) Evaporadores de CO₂.

Como ventajas de la configuración se identifica lo siguiente:

- No requiere compresor de CO₂, menos mantención requerida (solo bomba de CO₂)
- NH₃ en el sistema de alta temperatura está confinado en el cuarto de máquinas por lo que no hay amoniaco en los evaporadores como en los sistemas que sólo usan NH₃, por lo que no hay riesgo de contaminación del producto y el personal.
- Menor cantidad de amoniaco en el sistema que en uno tradicional de NH₃. La reducción de NH₃ es considerable, lo que disminuye de forma importante el riesgo de afectar la integridad de las personas y el producto. El amoniaco está confinado en el cuarto de máquinas.
- La estabilidad y eficiencia del sistema CO₂ Brine a lo largo del tiempo se conserva, debido a la ausencia de aceite.
- Los costos de instalación del CO₂ Brine son más bajos, debido a que las tuberías son de menor diámetro.
- Evaporadores con menor área de transferencia.
- No requiere compresor de CO₂, solamente bomba de CO₂ (menos mantención requerida)
- No existe contaminación del CO₂ con aceite.

Capítulo II Figura 6. Diagrama de Sistemas Brine Amoniaco/CO2 como refrigerante.



Como desventajas se puede mencionar:

- Altas presiones cuando está detenido, por lo tanto se recomienda tener un sistema de refrigeración de respaldo para bajar estas altas de presión.
- Presión de diseño alta
- Mayor inversión inicial (más equipos) que sistemas que usan otros refrigerantes secundarios como los glicoles.
- Altas presiones cuando el equipo está detenido.
- La inversión inicial es más alta en un sistema CO₂ Brine que en uno tradicional de NH₃. La diferencia se hace más pequeña en sistemas grandes.
- Aunque un sistema con amoníaco directo es más eficiente que el CO₂ Brine, la diferencia va disminuyendo a medida que la distancia entre la sala de máquinas y los evaporadores aumenta.¹⁸

¹⁸ Entrevista Viviana Pérez, experta Mycom, 1 de febrero de 2017.

10. Desempeño energético de las opciones tecnológicas

A modo de reseña respecto del costo y desempeño energético de cada una de estas soluciones, en la Tabla 6 se presenta, para cada una, las características económicas de los equipos principales y el COP, referido a una capacidad de 300 kW.

Capítulo II Tabla 6. Cuadro comparativo de equipos y desempeño energético.

Opción	Características técnicas y económicas de los equipos principales	COP Referido a: 300 kW
Amoniaco (R-717) Directo: Expansión seca	Compresor Condensador Estanques (recibidor de líquido (RL) y trampa de succión (TS)) Válvula expansión Evaporador Accesorios	Sistema -10°C: COP : 3,5 a 4 Sistema -35°C: COP : 1,5 a 1,9
Amoniaco (R-717) Inundado	Compresor Condensador Estanques (recibidor de líquido (RL) y estanque (s) inundado (s) (TI) Válvula expansión Evaporador (es) Accesorios Un poco más caro que expansión seca, porque necesita un estanque para cada evaporador.	Sistema -10°C: COP : 3,5 a 4 Sistema -35°C: COP : 1,5 a 1,9
Amoniaco (R-717) Bombeado	Compresor Condensador Estanques (recibidor de líquido (RL) y estanque (s) de bombeo (s) Bombas recirculadoras de amoníaco Válvula expansión	Sistema -10°C: COP : 3,5 a 4 Sistema -35°C: COP : 1,5 a 1,9

Opción	Características técnicas y económicas de los equipos principales	COP Referido a: 300 kW
	Evaporador (es) Accesorios Un poco más caro que expansión seca, porque necesita un estanque para cada evaporador.	
Amoniaco/CO₂ como refrigerante secundario Sistemas Brine	Compresor de NH ₃ , Condensador NH ₃ Válvulas expansión NH ₃ Intercambiador NH ₃ -CO ₂ Estanque separador de partículas CO ₂ Bomba CO ₂ Evaporador de CO ₂	Sistema -35°C: COP : 1,3 a 1,7
Amoniaco/CO₂ como refrigerante secundario Sistemas Cascada	Compresor de NH ₃ , Condensador NH ₃ Válvulas expansión NH ₃ Intercambiador NH ₃ -CO ₂ Compresor CO ₂ Válvulas expansión CO ₂ Estanque separador de partículas de CO ₂ Bomba de CO ₂ Evaporador de CO ₂ Mayor inversión inicial comparado con Brine, debido a la mayor cantidad de equipos	Sistema -35°C: COP : 1,3 a 1,7

Fuente: Información proporcionada por expertos de la empresa Mayekawa.

Considerando que el COP de los refrigerantes sintéticos R-404A y R-507 es del orden de 1,8¹⁹ la información contenida en la Tabla 7 respecto de desempeños energéticos, se puede decir que el amoníaco es uno de los refrigerantes más eficientes, apto para aplicaciones de alta y baja temperatura. Dada la importancia cada vez mayor del consumo energético, los sistemas de amoníaco son una opción sostenible con vistas al futuro.

Por una parte, un sistema de amoníaco inundado sería, por lo general, entre un 15 y un 20 % más eficiente que su homólogo de expansión directa (DX) con R-404A. Por otra, Los sistemas de NH₃/CO₂ en cascada resultan extremadamente eficientes para aplicaciones a bajas y muy bajas temperaturas (por debajo de -40 °C), mientras que los sistemas de NH₃/CO₂ Brine (como salmuera) son alrededor de un 20 % más eficiente que las salmueras tradicionales con glicoles. Finalmente, los recientes avances con combinaciones de NH₃ y CO₂ contribuyen a aumentar aún más su eficiencia (Danfoss, 2017).

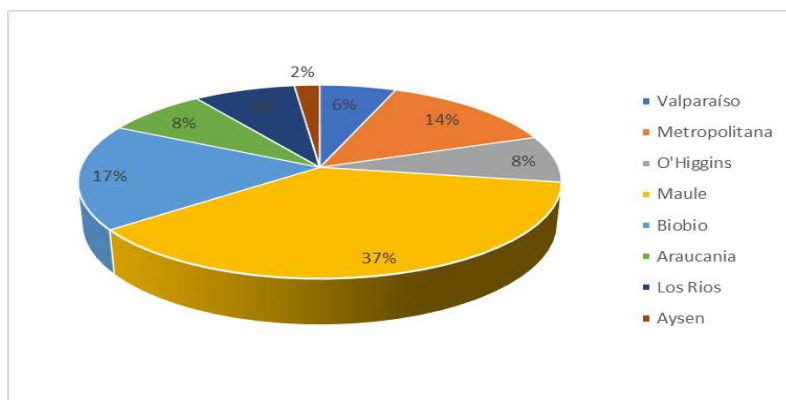
10.1. Situación proyectada

Al momento de analizar el desempeño energético, se contaba con encuestas procesadas de 51 instalaciones. En base a esto, se proyectan algunos resultados que permiten estimar cual es la situación actual del uso de refrigerantes en el sector procesador de frutas y hortalizas en Chile.

En lo relativo a la ubicación de las plantas se tiene:

- I y IV Región : 0 (0,0 %)
- V y VII Región : 33 (64,7 %)
- VIII y X Región : 17 (33,3 %)
- XI y XII Región : 1 (2,0 %)

Este resultado indicaría que el gran consumo de refrigerantes se efectúa en las zonas centro centro-sur, siendo la Región del Maule la que cuenta con más instalaciones.



Capítulo II Gráfico 1. Distribución geográfica de instalaciones muestreadas

¹⁹ http://www.simagas.es/pdf/gases_refrigernates/Ficha-tecnica-R507.pdf

En lo relativo a las cantidades de refrigerantes en uso, la encuesta aportó el siguiente resultado:

Capítulo II Tabla 7. Uso de refrigerantes en una muestra de 51 instalaciones

REFRIGERANTE		PCG	PAO	Cargado kg	Recarga kg/año	Stock kg
R22	HCFC	1.810	0,06	15.177	4.434	2.580
R134A	HFC	1.430	-	165	-	12
R404A	HFC	3.922	-	358	67	116
R410A	HFC	2.088	-	53	-	-
R507	HFC	3.985	-	4.567	1.037	482
R717	Natural	-	-	207.539	32.736	25.580
				227.859		

Nota: No incluye 8.000 kg de glicol.

Como se aprecia en la Tabla un porcentaje en carga del 91 % de los refrigerantes en uso corresponden a amoníaco, y por lo tanto solo el 9 % restante son del tipo que dañan la capa de ozono (PAO) y/o tienen potencial de calentamiento global (PCG). Entre estos, 6,6 % del total corresponde a R22 y el 2 % a R507.

Este porcentaje extrapolado a nivel país indicaría que la cantidad de refrigerantes a sustituir sería menor a un 10 % del actualmente en uso, condición que permitiría proyectar la sustitución de todos aquellos refrigerantes que no son naturales en un plazo acotado.

Siguiendo las líneas de acción definidas en el punto 8 de este informe, Líneas de Acción para la reducción de emisiones y mejoramiento del desempeño energético, lo recomendable es sustituir los refrigerantes que dañan la capa de ozono y/o causan efecto invernadero, así como proyectar las nuevas instalaciones con refrigerantes naturales disponibles (Amoníaco y/o Dióxido de Carbono).

Con relación a los refrigerantes tipo HCFC y HFC en uso, el R22 tiene un PAO de 0,06 lo que clasifica en un rango medio en la banda ODP (Ozone Depletion Potencial) según el protocolo de Montreal²⁰, y se estaría retirando por no haber disponibilidad en el mercado para reposición.

En lo que respecta al potencial de calentamiento global (PCG), los refrigerantes con PCG entre 150-2500 estarían en una banda de rango medio, con algunas restricciones de abastecimiento y prohibición de uso en equipos nuevos, y los con PCG sobre 2500 quedarían con fuertes restricciones de uso y prohibición de ocupar en equipos nuevos²¹. Según lo anterior, en el corto o mediano plazo la totalidad

20 LINDE Guide to updated EU f-gas regulation (517/2014).

21 Tratados Internacionales para la protección de capa de ozono:

-01 de Enero del 2015, reducción de uso de los HCFC en un 90 % por debajo de los niveles base

de los refrigerantes no naturales de la Tabla 7 (R 22, R 134A, R 404A, R 410 A, y R 507) serán sustituidos, siendo los casos más críticos los del R 22, R 404A y R 507²².

Se analiza a continuación las tecnologías y costos asociados a la implementación de instalaciones que reemplazan gases refrigerantes que dañan la capa de ozono y/o contribuyen al calentamiento global.

Es importante tener presente que las tecnologías que se mencionan están hoy día disponibles, pero que la industria de la refrigeración está desarrollando permanentemente nuevas y mejores tecnologías desde el punto de vista ambiental y energético, lo que exige antes de efectuar inversiones, ya sea en nuevas instalaciones y/o racionalizaciones, revisar con técnicos especialistas y proveedores calificados las alternativas vigentes.

10.2. Tecnologías de NH₃, NH₃/glicoles y NH₃/CO₂

Para el modelo comparativo se asume una planta de capacidad requerida de 1.000.000 kcal/h y temperatura de cámaras a 0°C, similar a una de las plantas encuestadas que opera en la región del Maule.

Los costos de inversión y equipamiento estimados según tecnología se muestran a continuación.

-01 de Enero del 2020, reducción de uso de los HCFC en un 99,5% por debajo de los niveles base
-01 de Enero del 2030, eliminación total uso de los HCFC

22 De acuerdo a la última reunión en Kijali, se acordó que los HFC con alto PCG, pasaría a tener un plan regulatorio dentro del protocolo de Montreal, el cual dará fechas de fin de fabricación y uso de estos refrigerantes.

Capítulo II Tabla 8. Estimación de costos Sistema DX (Freón)

Estimación costo inversión	Sistema DX		
	T° Evaporación		-10°C
Origen información	T° Condensación		+35°C
	Cantidad	Descripción	Valor total USD
Compresor	2	F200 VMD-LI // 560.000 Kcal/hr	138.000
Motor	2	350 HP // IP 23 // 50 hz	21.616
Condensador	1	SCD-815 // 3511 kw //TBH 24°C	91.300
Estanque Recibidor	1	Estanque Recibidor // 600 x 2900	3.000
Estanque de Succión	1	Trampa de Succión + Coil // 1000 x 2900	11.100
Drop Tank	x	x	-
Purga de Aceite	x	x	-
Estanque de PPG	x	x	-
Válvulas de refrigerante	GL	Válvulas Danfoss	54.700
Válvulas PPG	x	x	-
Bombas	x	x	-
Evaporadores	36	Evaporador Cubico //cobre //27,000 Kcal/h// Resistencia	166.100
Tablero	GL	Tablero sala de Maquina	77.000
Montaje Eléctrico y Mecánico	GL	Montaje Eléctrico y Mecánico	450.000
	Total, USD		1.012.816

Fuente: Información proporcionada por expertos de la empresa Mayekawa.

Capítulo II Tabla 9. Estimación de costos Sistema NH₃ Recirculado

Estimación costo inversión	Sistema NH ₃ Recirculado		
	T° Evaporación		-10°C
	T° Condensación		+35°C
	Cantidad	Descripción	Valor total USD
Compresor	2	N160VLD-TS// 505.300 Kcal /hr	122.000
Motor	2	250 HP // IP 23 // 50 hz	14.000
Condensador	1	SCD-578 // 2490 kw //TBH 24°C	71.500
Estanque Recibidor	1	Estanque Recibidor // 1100 x 5000	9.200
Estanque de Succión	1	Estanque de Bombeo // 1500 x 3900	14.900
Drop Tank	1	Droptank Horizontal// 510 x 1830	2.600
Purga de Aceite	1	Oil Point // 400 x 750	1.800
Estanque de PPG	x	x	-
Válvulas de refrigerante	GL	Válvulas Danfoss	181.400
Válvulas PPG	x	x	-
Bombas	2	Bomba Witt // GP 52 // 5,5 Kw	10.000
Evaporadores	36	Evaporador Cubico // Inox.//27,000 Kcal/h// Gas Caliente	299.400
Tablero	GL	Tablero sala de Maquina	116.000
Montaje Eléctrico y Mecánico	GL	Montaje Eléctrico y Mecánico	580.000
	Total, USD		1.422.800

Fuente: Información proporcionada por expertos de la empresa Mayekawa.

Capítulo II Tabla 10. Estimación de costos Sistema NH₃/PPG

Estimación costo inversión	Sistema NH ₃ /PPG		
	T° Evaporación (NH ₃ /PPG)		-10°C / -6°C
		T° Condensación	
		+35°C	
	Cantidad	Descripción	Valor total USD
Compresor	2	N160VLD-TS// 505.300 Kcal /hr	122.000
Motor	2	250 HP // IP 23 // 50 hz	14.000
Condensador	1	SCD-578 // 2490 kw //TBH 24°C	71.500
Estanque Recibidor	1	Estanque Recibidor // 1100 x 5000	9.200
Estanque de Succión	1	Estanque de Gravedad // 1200 x 3000// Intercambiador de placa	34.000
Drop Tank	1	Droptank Horizontal// 510 x 1830	2.600
Purga de Aceite	1	Oil Point // 400 x 750	1.800
Estanque de PPG	1	Estanque inox // 2700 x 4000	29.300
Válvulas de refrigerante	GL	Válvulas Danfoss	77.400
Válvulas PPG	GL	Válvulas KSB // Danfoss	233.400
Bombas	5	Bomba KSB // 15 Kw	22.700
Evaporadores	36	Evaporador Cubico // Cobre//27,000 Kcal/hr// Air	307.600
Tablero	GL	Tablero sala de Maquina	140.000
Montaje Eléctrico y Mecánico	GL	Montaje Eléctrico y Mecánico	630.000
Total, USD			1.695.500

Fuente: Información proporcionada por expertos de la empresa Mayekawa.

De acuerdo a la potencia de los motores incluidos en cada alternativa, y considerando un período de operación de 3.600 h/año (6 meses x 30 d x 20 h/d) y un precio de la energía de US\$ 0,12/kWh, se estima el siguiente consumo de energía eléctrica (máximo) y costos asociados para cada uno de los sistemas:

-Sistema DX (Freon)	:	1.904 x 10 ³	kWh /año, 231.000 US\$/año
-Sistema NH ₃ recirculado	:	1.399 x 10 ³	kWh /año, 170.000 US\$/año
-Sistema NH ₃ / PPG	:	1.562 x 10 ³	kWh /año, 189.000 US\$/año

Según estas cifras, la mayor inversión de US\$ 410 mil al instalar amoníaco en lugar de freón permite proyectar un ahorro anual de US\$ 61 mil por menor consumo de energía eléctrica.

En el caso del sistema NH₃/PPG comparado con el sistema freón, la mayor inversión se estima en US\$ 683 mil y el ahorro anual por menor consumo de energía en US\$ 42 mil.

Si se opta por un sistema BRINE cascada NH₃/CO₂, el que presenta la importante ventaja de confinar el amoníaco en la sala de máquinas previniéndose por lo tanto la contaminación del producto y

accidentes, el costo de inversión se estima en US\$ 1,9 millones y el costo de energía eléctrica sería similar al del sistema con amoníaco recirculado.

10.3. Oportunidades en eficiencia energética

Así como el cambio climático plantea a la industria del sector productivo de frutas y hortalizas el desafío de reemplazar los refrigerantes HCFC y HFC por refrigerantes naturales, también la revisión de tecnologías permite identificar alternativas para contar con instalaciones de refrigeración industrial más eficientes en el uso de la energía. Esto es válido no solo para plantas que deberán cambiar sus refrigerantes o para tener presente en los nuevos proyectos, sino también para plantas que hoy día operan con refrigerantes naturales que no han sido optimizadas ó se encuentran parcialmente optimizadas.

Considerando las encuestas ya evaluadas de 51 establecimientos productivos, se tiene que la potencia eléctrica instalada en refrigeración es de 34.300 kW, de los cuales 28.000 kW (82 %) corresponden a plantas que usan refrigerantes naturales. Si estas plantas funcionan 3.600 horas anuales a 70 % de capacidad nominal, se tendría un consumo de energía eléctrica estimado en 71 millones de kWh a un costo de US\$ 8,5 millones de dólares. El potencial de ahorro con buenas prácticas e inversiones acotadas se presenta atractivo.

Se debe tener presente que el uso eficiente de recursos energéticos (eficiencia energética), entre sus múltiples beneficios - disminución de fallas, mayor confiabilidad operacional, mayor productividad y reducción de costos de producción, entre otros - tiene el beneficio de disminuir las emisiones atmosféricas de gases contaminantes y gases de efecto invernadero²³.

Entre las alternativas técnicas probadas para ahorrar energía en la refrigeración industrial se tienen²⁴:

1. Control variable de la presión de descarga y control variable de la presión entre etapas
2. Etapas de compresión automatizadas y control de capacidad
3. Purgas de agua y aire en sistemas con amoníaco
4. Recuperación de calor desde gases de descarga y aceite de enfriamiento
5. Tiempo variable para descongelamiento y terminación
6. Temperatura variable en cámaras de frío
7. Variador de velocidad en ventiladores de evaporadores
8. Sub enfriamiento del condensado de la planta de refrigeración
9. Revisión del diseño de procesos de una planta con amoníaco (en operación)

²³ Guía para la Calificación de Consultores en Eficiencia Energética, Agencia Chilena de Eficiencia Energética AChEE, www.acee.cl

²⁴ Guía "i am your industrial refrigeration guide", publicada por Office of Environment and Heritage, Sydney, Australia, Junio 2017, www.environment.nsw.gov.au

10. Mejoramiento del control de flujo del aceite de compresores de tornillo y del enfriamiento del aceite

11. Chequeo periódico del desgaste de piezas del compresor

En la Tabla que se muestra a continuación se presentan los potenciales de mejoramiento en consumo de energía al aplicar cada una de las tecnologías mencionadas.

Capítulo II Tabla 11. Ahorros referenciales por concepto de energía para tecnologías específicas

Tecnología aplicada	Planta parcialmente optimizada en EE	Plantas sin optimización en EE	Equipos afectados al aplicar esta tecnología
	% ahorro energía	% ahorro energía	
1. Control variable de la presión de descarga y control variable de la presión entre etapas	3%	12%	Consumo de energía de compresores y condensadores
2. Etapas de compresión automatizadas y control de capacidad	5%	15%	Consumo de energía de compresores
3. Purgas de agua y aire en sistemas con amoníaco	0%	2%	Afecta el consumo de energía del sistema completo de refrigeración.
4. Recuperación de calor desde gases de descarga y aceite de enfriamiento	0%	2%	Depende del diagrama del sistema de agua caliente de cada instalación
5. Tiempo variable para descongelamiento y terminación	2%	3%	Afecta el consumo de energía del sistema completo de refrigeración.
6. Temperatura variable en cámaras de frío	0%	2%	Afecta el consumo de energía del sistema completo de refrigeración.
7. Variador de velocidad en ventiladores de evaporadores	0%	2%	Afecta el consumo de energía del sistema completo de refrigeración.
8. Sub enfriamiento del condensado de la planta de refrigeración	2%	4%	Afecta a compresores de alta.
9. Revisión del diseño de procesos de una planta con amoníaco (en operación)	2%	10%	Afecta el consumo de energía del sistema completo de refrigeración.
10. Mejoramiento del control de flujo del aceite de compresores de tornillo y del enfriamiento del aceite	5%	10%	Consumo de energía de compresores
11. Chequeo periódico del desgaste de piezas del compresor	5%	15%	Consumo de energía de compresores
Consumo de potencia de la planta de refrigeración (% de línea base)	78%	44%	
Ahorro potencial de energía %	22%	56%	

Las proyecciones de ahorro de energía presentadas en la Tabla corresponden a datos reales medidos en

plantas de refrigeración de Australia. La magnitud de ahorro de energía tiene que ver con el tamaño y las características técnicas y ambientales de las plantas optimizadas, sin embargo, la tendencia y magnitud de los índices de ahorro energético logrados, son útiles para que cada planta evalúe la factibilidad y conveniencia de aplicar estas tecnologías en sus propias instalaciones.

Entre las tecnologías identificadas en la Tabla se destacan, de acuerdo con el potencial porcentual de ahorro energético proyectado, las siguientes tecnologías:

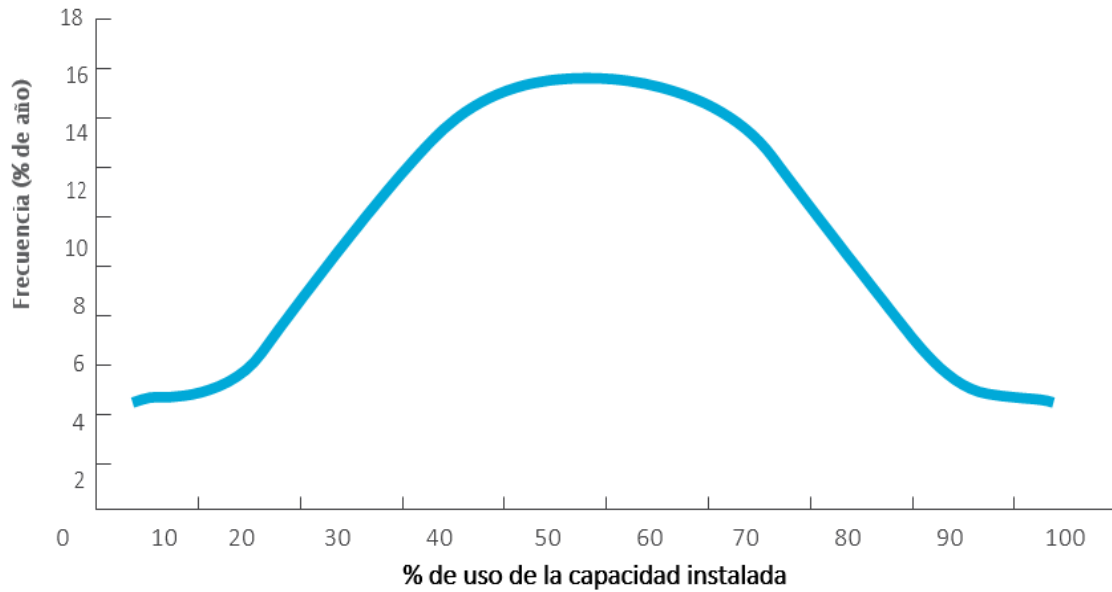
- 1. Control variable de la presión de descarga y control variable de la presión entre etapas
- 2. Etapas de compresión automatizadas y control de capacidad
- 8. Sub enfriamiento del condensado de la planta de refrigeración
- 9. Revisión del diseño de procesos de una planta con amoníaco
- 10. Mejoramiento del control de flujo de aceite de compresores de tornillo y del enfriamiento del aceite
- 11. Chequeo periódico del desgaste de piezas del compresor

Antes de revisar los casos de cada una de estas tecnologías, es importante tener presente que la mayoría de las plantas procesadoras de frutas y hortalizas funcionan con un factor de uso de la capacidad diaria variable, condición que hay que tener presente cuando se hacen los análisis comparativos de consumo de energía entre una condición base y una racionalizada.

La recomendación en este caso es preparar un modelo empírico con la frecuencia de uso de cada nivel de capacidad durante el período anual de operación.

El ahorro de energía típico para cada una de las tecnologías que se presentan se ha obtenido utilizando un modelo que ha mostrado resultados consistentes en las pruebas²⁵. Mediante la aplicación de la herramienta de modelado, se puede estimar el consumo energético horario de la planta y el ahorro energético porcentual anual con relación a la línea base. La curva asumida (ver Gráfico 2), es la típica de las instalaciones de refrigeración industrial. El perfil empleado considera la cantidad de tiempo (%) del año que la planta opera a una capacidad parcial específica, con incrementos de carga del 10%.

25 Guía "i am your industrial refrigeration guide", publicada por Office of Environment and Heritage, Sydney, Australia, Junio 2017, www.environment.nsw.gov.au



Capítulo II Gráfico 2. Curva de la capacidad anual proyectada en uso de la planta de refrigeración

A continuación, se resumen cada uno de los 5 casos con mayor rentabilidad proyectada. En la Guía de Refrigeración se presentan, además de los 11 casos de la Tabla 11, otros 4 casos de eficiencia energética asociados a tecnologías específicas para procesos de enfriamiento con usos de chiller²⁶.

26 i am your industrial refrigeration guide, Process Cooling Savings Opportunities.

Capítulo II Tabla 12. Eficiencia energética - Control variable de la presión de descarga

CASOS DE TECNOLOGÍAS ESPECÍFICAS APLICADAS PARA LOGRAR EL USO EFICIENTE DE RECURSOS ENERGÉTICO EN PLANTAS INDUSTRIALES CON SISTEMAS DE REFRIGERACION.			
TECNOLOGÍA 1	Control variable de la presión de descarga		
DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS	La presión de descarga en la etapa de alta o entre etapas se puede ajustar de acuerdo a condiciones ambientales y carga de la planta, en lugar de usar valores específicos fijos		
	Se disminuye consumo de energía y se estabiliza presiones de operación		
	Se proyectan ahorros de hasta 12 %, con periodos menores a un año para recuperar la inversión		
	Implica cambios en la lógica de control de la planta para los sistemas equipados con impulsores de velocidad variable del ventilador del condensador		
PARAMETROS	Tipo de aplicación	camara de frío	
	Capacidad	1.000	kWh
	Potencia compresor de alta	250	kWh
	Temperatura diseño condensacion	35,0	°C
	Temperatura diseño ambiente de bulbo humedo	24,0	kW
	Numero evaporadores	2,0	
	Potencia motorventilador	15,0	kW
	Precio promedio energía	0,12	US\$/kWh
INVERSION	Equipos, Mano de Obra, Ingeniería y Software	34.000	US\$
CONSUMO ENERGÍA y AHORRO	SET- POINT TEMPERATURA CONDENSACION	25	°C
	Energía consumidada con presión de descarga fija	1.382.000	kWh/año
	Energía consumidada con presión de descarga variable	1.250.000	kWh/año
	Menor consumo energía	132.000	kWh/año
	Ahorro	15.840	kWh/año
	Período recuperación inversión	2,15	años
CONSUMO ENERGÍA y AHORRO	SET- POINT TEMPERATURA CONDENSACION	30	°C
	Energía consumidada con presión de descarga fija	1.584.000	kWh/año
	Energía consumidada con presión de descarga variable	1.250.000	kWh/año
	Menor consumo energía	334.000	kWh/año
	Ahorro	40.080	kWh/año
	Período recuperación inversión	0,85	años
CONSUMO ENERGÍA y AHORRO	SET- POINT TEMPERATURA CONDENSACION	35	°C
	Energía consumidada con presión de descarga fija	1.820.000	kWh/año
	Energía consumidada con presión de descarga variable	1.250.000	kWh/año
	Menor consumo energía	570.000	kWh/año
	Ahorro	68.400	kWh/año
	Período recuperación inversión	0,50	años

Capítulo II Tabla 13. Eficiencia energética - Automatización de etapas de compresión y control de capacidad de compresores

CASOS DE TECNOLOGIAS ESPECIFICAS APLICADAS PARA LOGRAR EL USO EFICIENTE DE RECURSOS ENERGETICO EN PLANTAS INDUSTRIALES CON SISTEMAS DE REFRIGERACION.			
TECNOLOGÍA 2	Automatización de etapas de compresión y control de capacidad de compresores de tornillo		
DESCRIPCION Y OBJETIVOS	La ineficiente operación del compresor de tornillo con la valvula reguladora en la descarga se minimiza optimizando las etapas de compresión e implementando el control de velocidad.		
	Se potencia la eficiencia del sistema, mejora los ciclos de vida del compresor y estabiliza las presiones de succión.		
	Se proyectan ahorros de hasta 15 %, con periodos de 2 años para recuperar la inversión		
	Considera la instalacion de variadores de frecuencia y cambios en el PLC.		
INVERSION	Equipos, Mano de Obra, Ingeniería y Software La inversión depende del numero de compresores de la planta y de la necesidad de compresores a equipar con variadores de frecuencia.	30.000 a 90.000	US\$
CONSUMO ENERGÍA y AHORRO	Energía consumidada sistema convencional	2.135.000	kWh/año
	Energía consumidada sistema optimizado	1.628.000	kWh/año
	Menor consumo energía	507.000	kWh/año
	Ahorro	61.000	US\$/año
	Período recuperación inversión	0,5 a 1,5	años

Capítulo II Tabla 14. Eficiencia energética - Revisión del diseño de una planta de amoníaco

CASOS DE TECNOLOGIAS ESPECIFICAS APLICADAS PARA LOGRAR EL USO EFICIENTE DE RECURSOS ENERGETICO EN PLANTAS INDUSTRIALES CON SISTEMAS DE REFRIGERACION.			
TECNOLOGÍA 9	Revisión del diseño de una planta de amoníaco.		
DESCRIPCION Y OBJETIVOS	La ineficiencias operacionales son identificadas y evaluadas con un riguroso plan de revisión de la eficiencia de la planta		
	Se optimiza las presiones de operación y mejora la eficiencia.		
	Se proyectan ahorros de hasta 15 %.		
	La facilidad de implementación dependerá del tipo de diseño y de las ineficiencias identificadas		
INVERSION	Es variable. Va depender del diseño de la planta, sus ineficiencias y del tipo de soluciones a implementar.		
Soluciones frecuentes	Eliminar "Cuellos de botellas" Separación de puntos de succión según necesidad de temperatura Incorporar circuito de alivio de deshielo a un enfriador o economizador		

Capítulo II Tabla 15. Eficiencia energética - Mejoramiento del control de alimentación de aceite

CASOS DE TECNOLOGIAS ESPECIFICAS APLICADAS PARA LOGRAR EL USO EFICIENTE DE RECURSOS ENERGETICO EN PLANTAS INDUSTRIALES CON SISTEMAS DE REFRIGERACION.			
TECNOLOGÍA 10	Mejoramiento del control de alimentación de aceite y de su enfriamiento en un compresor de tornillo		
DESCRIPCION Y OBJETIVOS	Considerando el objetivo de lubricar y sellar que cumple el aceite en un compresor de tornillo, su caudal debe ser preciso para lograr su óptimo funcionamiento		
	Se mejora la eficiencia del sistema, la capacidad y el potencial de recuperación de calor.		
	Los ahorros en una planta convencional pueden llegar a 10%.		
	Se deb ajustar valvulas de control y eventualmente incorporar un sistema de enfriamiento de aceite.		
INVERSION	Equipos, Mano de Obra, Ingeniería y Software	15.000 a 27.000	US\$
CONSUMO ENERGÍA y AHORRO	Energía consumidada sistema convencional	665.000	kWh/año
	Energía consumidada sistema optimizado	595.000	kWh/año
	Menor consumo energía	70.000	kWh/año
	Ahorro	8.500	US\$/año
	Período recuperación inversión	1,8 a 3,2	años

Capítulo II Tabla 16. Eficiencia energética - Procedimiento para medir la pérdida de capacidad de un compresor

CASOS DE TECNOLOGIAS ESPECIFICAS APLICADAS PARA LOGRAR EL USO EFICIENTE DE RECURSOS ENERGETICO EN PLANTAS INDUSTRIALES CON SISTEMAS DE REFRIGERACION.			
TECNOLOGÍA 11	Procedimiento para medir la pérdida de capacidad por uso y deterioro de un compresor de tornillo.		
DESCRIPCION Y OBJETIVOS	Identificar oportunamente la pérdida de capacidad de una máquina crítica		
	Con la información de respaldo confiable se puede evaluar su remplazo ó overhaul.		
	Los ahorros en una planta convencional pueden llegar a 15%.		
	Se debe instalar un medidor de flujo de gas en línea de succión		
INVERSION	Nuevo compresor en servicio	200.000	US\$
CONSUMO ENERGÍA Y AHORRO (en un caso que se instalo un nuevo compresor despues del chequeo de la instalación antigua)	Menor consumo energía	950.000	kWh/año
	Ahorro	45.000	US\$/año
	Menor costo mantenimiento	4.000	US\$/año
	Ahorro total	49.000	US\$/año
	Período recuperación inversión	4,08	años

Junto al objetivo de no contribuir al daño de la capa de ozono y al calentamiento global, la industria nacional procesadora de frutas y hortalizas tiene la oportunidad de optimizar y racionalizar sus instalaciones de refrigeración.

La ventaja de hacerlo es que las instalaciones funcionando con gases refrigerantes naturales, al reducir las emisiones y optimizar su desempeño energético, mejorarán también en temas de inocuidad, calidad, control de riesgos, disminuirán sus costos variables de operación.

La información presentada tiene como objetivo mostrar las diferentes soluciones y oportunidades que presenta el desafío de la eficiencia energética, teniendo presente que cada planta productiva debe buscar sus propias soluciones de acuerdo con sus prácticas de operación, a su capacidad, tecnología y estado de sus propias instalaciones.

Con estudios confiables se debe determinar la línea base (situación actual) y proyectar los índices técnicos y económicos factibles de lograr (situación futura). Este es un trabajo a efectuar por el equipo técnico de la planta con el apoyo de especialistas y proveedores. Las alternativas que ofrece el mercado hoy día en tecnologías, equipos y accesorios son diversas, y por lo mismo se precisa ser riguroso al evaluar las soluciones factibles.

11. Competencias técnicas genéricas

Estudios anteriores señalan que la oferta educativa en el sector de refrigeración en Chile es limitada comparada con otros sectores, existen un total de 16 liceos industriales, tres centros de formación técnica, un instituto profesional, una universidad y una academia politécnica (perteneciente a una rama de las Fuerzas Armadas de Chile), en su mayoría concentrados geográficamente en la Región Metropolitana y Biobío. De lo anterior se deduce que una cantidad significativa de técnicos con estudios en otros sectores o definitivamente sin entrenamiento formal, se encuentran instalando o realizando las mantenciones sin mayor preparación que la que les pueda dar la experiencia (MMA, 2015).

Para ayudar a resolver este problema, el año 2011, la Norma Chilena NCh 3241-Buenas prácticas en sistemas de refrigeración y climatización, define los requisitos técnicos mínimos para los operadores, instaladores y mantenedores de sistemas de refrigeración y climatización, que son:

- Tener una capacitación formal básica de parte del instalador y mantenedor del equipo que va a operar.
- Tener conocimientos técnicos de sistemas y equipos de refrigeración y climatización.
- Tener la experticia técnica y práctica que les permita reconocer la forma, funcionamiento, características de todos los componentes de una instalación y las fallas asociadas.
- Tener conocimientos de normas de almacenamiento, manipulación, transporte de refrigerantes y de seguridad.
- Tener dominio de funcionamiento o ajuste de controles automáticos de operación y seguridad, y de manejo de equipos de medición.
- Tener conocimientos de primeros auxilios.

Respecto de la Certificación, la norma tiene un alcance limitado a la hora de establecer los tipos de competencias aplicables al sector procesador de frutas y hortalizas, es así como se ha definido sólo para instaladores y mantenedores de sistemas y equipos de refrigeración y climatización, respecto de los cuales puedan certificarse y obtener una calificación válida para desempeñar estas labores, estos son:

- Instaladores y/o mantenedores en sistemas y equipos de refrigeración industrial mayores que 50 kW (43 000 kcal/h - aprox. 14,2 TR).
- Instaladores y/o mantenedores en sistemas y equipos de climatización industrial mayores que 100 kW (86 000 kcal/h - aprox. 28,4 TR).

Conocidos estos requisitos mínimos y tipos de calificación que deben tener los instaladores y mantenedores de sistemas, para poder ser certificados, el Sistema Nacional de Certificación de Competencias Laborales (ChileValora) ha definido los siguientes perfiles aplicables a los trabajadores del sector:

- Perfil_competencia_instalador_y_mantenedor_de_sistemas_de_refrigeracion_industrial

- Perfil_competencia_instalador_y_mantenedor_de_sistemas_de_climatizacion_industrial

A partir de los perfiles nacionales mencionados, el Centro de Evaluación y Certificación de Competencias Laborales (CECCL) de la Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización A.G. se encuentra certificando competencias de instaladores y mantenedores de sistemas de refrigeración y climatización industrial que demuestren ser competentes en los perfiles definidos. El proceso consiste en que un evaluador experto habilitado por ChileValora, evalúa al trabajador en su lugar de trabajo o en condiciones de simulación autorizadas, evalúa sus conocimientos y experiencia, lo que permite certificar sus competencias y dejarlo en un registro nacional de trabajadores acreditados por el Estado para desempeñarse en dichas labores.

No obstante lo anterior, es importante aclarar que los perfiles indicados no corresponden a operarios de sistemas y los perfiles de instaladores y mantenedores no incluyen competencias relacionadas con el amoníaco como refrigerante. Además, los requisitos de la NCh-3241 corresponden a lineamientos de aplicación voluntaria en la industria, en ningún caso obligatoria.

Barreras a la implementación de opciones tecnológicas basadas en NH₃ o NH₃/CO₂

Las barreras que se identifican en general para la implementación de soluciones NH₃ y NH₃/CO₂, son:

- La baja capacidad técnica de los profesionales locales, los programas educacionales actuales y el entrenamiento práctico.
- La falta de información técnica adecuada.
- En la mayoría de los países en desarrollo hay una economía débil con un bajo potencial de compra.
- Los fabricantes y usuarios de tecnologías CO₂ se encuentran en países desarrollados.
- La prioridad de las empresas en los países en desarrollo es cómo sobrevivir, el tipo de refrigerante no es tan importante.
- Sistemas de cascada de amoníaco y NH₃ / CO₂, de muy alto costo (IIAR, 2013).

A esto se suma la falta de fuentes de financiamiento local e internacional y otros incentivos para invertir en el reemplazo de refrigerantes de alto rendimiento como estos.

12. Prevención de fugas de refrigerante

El Informe Final Elaboración de Inventario Nacional de Cámaras Frigoríficas y Grandes Superficies Refrigeradas y/o Climatizadas Con SAO y HFC. ATS Energía para Unidad Ozono del Ministerio del Medioambiente (MMA, 2014) sugiere que en Chile es necesario establecer normativas con protocolos que apunten a la revisión y control de instalaciones, de manera de identificar y solucionar de manera temprana, las fugas que tienen las instalaciones. Por ejemplo, en Estados Unidos, la verificación del correcto funcionamiento de instalaciones de refrigeración y de las competencias del personal que las

manipula, está a cargo de la Agencia de Protección Ambiental. En Europa las responsabilidades son establecidas a entidades competentes, según la estructura administrativa de cada Estado miembro (MMA, 2014).

En la línea de lo voluntario, la Norma Chilena NCh 3241-Buenas prácticas en sistemas de refrigeración y climatización también realiza sus recomendaciones y establece requisitos a cumplirse de manera voluntaria por las empresas y técnicos del sector para la correcta prevención de fugas de refrigerante, como:

- Establecer un calendario de mantenimiento preventivo y de verificación sistemática de fugas, que asegure la regularidad del examen y el servicio del sistema. Establecer un examen frecuente para evitar interrupciones inesperadas del funcionamiento habitual.
- Seguir las instrucciones del fabricante sobre mantenimiento preventivo y consultarle directamente, si es posible y necesario.
- Verificar los parámetros operativos y el rendimiento del sistema en uso, antes de comenzar el mantenimiento y una vez terminado, verificando al menos, temperaturas, presiones de evaporación y condensación, y consumos eléctricos.
- Inspeccionar siempre fugas potenciales y otros daños frecuentes (carga de aceite y refrigerante, parámetros de operatividad, fallas mecánicas, deterioro por el tiempo, restos de aceite, otros).
- Observar posibles vibraciones anormales del sistema (fricción entre tuberías y soportes).
- Comprobar regularmente las condiciones de funcionamiento y el rendimiento del sistema.
- Conectar una vez por semana las bombas de aceite auxiliares para mantener lubricado el interior de los retenes mecánicos, los cojinetes y las prensaestopas, de modo que estén preparadas para una emergencia. En caso contrario, inspeccionar y lubricar cada elemento antes de conectar el sistema.
- Después del servicio, reponer y ajustar las tapas protectoras de todas las válvulas, incluidas las de los filtros y secadores, de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
- Seguir el procedimiento estipulado de detección de fugas, tales como una prueba de succión corriente, sirviéndose siempre de herramientas y equipos diseñados para tal fin.
- Utilizar el método de las burbujas con nitrógeno seco para las pruebas de fuga.
- Instalar sistemas de detección permanente de fugas, situando los sensores en las zonas pertinentes.
- Recopilar los resultados de las inspecciones, de manera que sirvan para tomar medidas preventivas, tal como programar las operaciones de mantenimiento más importantes.
- Mantener un registro actualizado con los resultados de las inspecciones.

Pero como se dijo anteriormente, estos requisitos de la norma NCh-3241 no son de cumplimiento obligatorio ni fiscalizado por alguna entidad competente, por lo que hoy las fugas de refrigerantes obedecen a criterios económicos.

II. Resultados Encuestas

1. Metodología y actividades realizadas

En el presente capítulo se entregan los resultados de la aplicación de encuestas y la recopilación de información al 14 de julio de 2017.

Para llevar a cabo este proceso de seguimiento y sistematización de información se aplicó la siguiente metodología.

1.1. Elaboración de instrumento de medición

Durante noviembre de 2016, Chilealimentos elaboró un formato de encuesta para el levantamiento de información de gases refrigerantes en la industria de alimentos procesados. La propuesta fue socializada con la Unidad de Ozono del Ministerio del Medio Ambiente, quienes aportaron formatos e información que complementó el formato original, permitiendo consensuar la encuesta de uso de refrigerantes que finalmente fue aplicada a las empresas del sector.

1.2. Construcción de bases de datos

La base de datos de instalaciones fue construida a partir de los catastros de la agroindustria de los años 2002 (FIA), 2007 (ODEPA) y 2011 (ODEPA), y la base de datos de Chilealimentos. Estas bases de datos fueron revisadas por profesionales de Chilealimentos, actualizando la información de contactos y eliminando las empresas que durante el período han cambiado de dueños, razón social o han terminado giro.

La base de datos se constituyó con 520 instalaciones²⁷, de las cuales 482 fueron identificadas con su respectiva información de región y contacto. Para las 38 instalaciones restantes no fue posible actualizar su información de ubicación y contacto. Luego, al depurar la base de datos, se eliminaron rubros que no utilizan gases refrigerantes, como por ejemplo, aceite de oliva y comercializadoras, constituyendo la base de datos final objeto de este proyecto, con 350 instalaciones.

1.3. Aplicación de encuesta y seguimiento

Para la realización de esta actividad, el equipo profesional de Chilealimentos aplicó la encuesta a las 350 instalaciones. Para esto, se envió un correo electrónico a cada uno de los contactos individualizados en la base de datos, correspondiendo estos a Gerentes, Jefes de Planta, Encargados de Sistemas de Gestión principalmente, identificándose instalaciones en las cuales el correo fue enviado desde un contacto a cinco contactos.

²⁷ Instalación: corresponde a una unidad productiva asociada a una dirección. Una empresa puede tener varias instalaciones. Por ejemplo: la empresa Alifrut, evaluada en este proyecto, tiene instalaciones en Quilicura, San Fernando, Rengo, Chillán y San Carlos.

1.4. Levantamiento de información en terreno

Se presenta la información obtenida de 176 instalaciones. Para el levantamiento de información primaria se estableció la validación de información en terreno, con una meta de 50 instalaciones, lográndose visitar 68 instalaciones con sus respectivas encuestas. En estas reuniones se revisaron los datos aportados por las empresas en las encuestas, estableciéndose la oportunidad de corregir errores de interpretación o unidades.

Capítulo III Tabla 1. Instalaciones con respuesta.

Nombre instalación	Región	Tamaño de empresa ²⁸	Rubro	Respuesta	Refrigerante	Capacidad de refrigeración Kcal/hr	Consumo promedio anual período 2013 – 2015 kg
1893 Gourmet Spa	Metropolitana	Mediana	Deshidratados	No usa			
Acofrut S.A.	Maule	Mediana	Fruta fresca	No entrega información			
Aconcagua Foods S.A.	Metropolitana	Grande	Conservas	Encuesta	R717	7.700	200
Afrupal S.A.	O'Higgins	Mediana	Aceite	No usa			
Agracom International Comercial Ltda.	Maule	Grande	Fruta fresca	No usa			
Agricamex Ltda.	Maule	Grande	Comercializadora	No usa			
Agrícola Bellavita	Coquimbo	Grande	Fruta fresca	No entrega información			
Agrícola Cran Chile Ltda. (Congelado)	Los Ríos	Mediana	Congelados	No entrega información			
Agrícola Cran Chile Ltda. (Deshidratado)	Los Ríos	Mediana	Deshidratados	No entrega información			
Agrícola Ditzler Ltda.	Metropolitana	Grande	Congelados	No entrega información			
Agrícola El Calvario S.A.	Coquimbo	Pequeña	Fruta fresca	No usa			
Agrícola Industrial El Boldo (Yugay)	Biobio	Grande	Congelados	No entrega información			
Agrícola Juan Esteban Valenzuela EIRL	O'Higgins	Pequeña	Deshidratados	No usa			
Agrícola La Campana SPA	Maule	Mediana	Deshidratados	No usa			
Agrícola Manuel Santa María	Maule	Mediana	Congelados	Encuesta	R717	Sin Información	Sin Información
Agrícola Prodalmen Ltda.	Metropolitana	Mediana	Deshidratados	No usa			

²⁸ Corresponde al tamaño de la empresa a la cual pertenece la instalación, según clasificación CORFO.

Nombre instalación	Región	Tamaño de empresa ²⁸	Rubro	Respuesta	Refrigerante	Capacidad de refrigeración Kcal/hr	Consumo promedio anual período 2013 – 2015 kg
Agrícola Santa Isabel De Cato Ltda.	Biobío	Mediana	Fruta fresca	No usa			
Agro Entre Ríos Spa.	Maule	Mediana	Congelados	Encuesta	R507 R404	860 140	Sin Información
Agrocomercial Fruchac S.A.	Valparaíso	Mediana	Fruta Fresca	No entrega información			
Agrofoods Central Valley Chile S.A.	O'Higgins	Grande	Conservas	Encuesta	R717	760.000	0
Agroindustria Pinochet Fuenzalida Ltda (APFRUT)	Maule	Grande	Congelados	Encuesta	R507 R717	Sin Información Sin Información	Sin Información Sin Información
Agroindustria Ranch O Frut Chile Ltda	Metropolitana	Mediana	Mermeladas	No usa			
Agroindustrial Frutasol S.A.	Maule	Mediana	Fruta fresca	Encuesta	R717 R717/Glicol	1.180.498	192 0
Agroindustrial Chimbarongo	O'Higgins	Mediana	Fruta fresca	No usa			
Agroindustrial Montero Ltda.	Maule	Grande	Conservas	No usa			
Agroindustrial Surfrut Ltda.	Maule	Grande	Deshidratados	Encuesta	R22 R507	546.000 588.994	500 0
Agroindustrial Valle Frío S. A.	Maule	Grande	Congelados	Encuesta	R507 R22	Sin Información Sin Información	507 886
Agroindustrial Victor Patricio Martinez ex Huertos del Maule	Maule	Micro	Deshidratados	No usa			
Agroindustrias Cepia S.A.	Maule	Grande	Deshidratados	Encuesta	R507	Sin Información	
Empresas Carozzi S.A. (Agrozzi)	Maule	Grande	Jugos y/o pulpas	Encuesta	R717	693.895	
Alimentos y Frutos S.A. Chillán	Biobío	Grande	Congelados	Encuesta	R717	3.838.300	7.600
Alimentos y Frutos S.A. Parral	Maule	Grande	Congelados	Encuesta	R717 R22 R404	Sin información 35.000 220.000	50 5 30
Alimentos y Frutos S.A. Rengo	O'Higgins	Grande	Congelados	Encuesta	R717	600.000	
Alimentos y Frutos S.A. Romeral	Maule	Grande	Congelados	Encuesta	R404A R507 R22	47.900 61.000 69.000	25 50 50
Alimentos y Frutos S.A. San Carlos	Biobío	Grande	Congelados	Encuesta	R717	3.388.548	4.150

Nombre instalación	Región	Tamaño de empresa ²⁸	Rubro	Respuesta	Refrigerante	Capacidad de refrigeración Kcal/hr	Consumo promedio anual período 2013 – 2015 kg
Alimentos y Frutos S.A. San Fernando	O'Higgins	Grande	Congelados	Encuesta	R717	4.109.900	56
Alimentos y Frutos S.A. Santiago	Metropolitana	Grande	Congelados	Encuesta	R717	1.490.000	1.000
Almazara del Pacifico SA	Maule	Grande	Aceite	No usa			
Almeval S. A.	Metropolitana	Grande	Deshidratados	No usa			
Amatime SpA	Valparaíso	Grande	Jugos y/o pulpas	Encuesta	R717	410.000	50
Andinexia S.A. Curicó	Maule	Grande	Fruta fresca	Encuesta	R507 R22	Sin Información Sin Información	Sin Información Sin Información
Andifungui Exportadora S. A.	Maule	Mediana	Deshidratados	No usa			
Araucaria Exportaciones S.A.	O'Higgins	Mediana	Fruta fresca	No usa			
Bauza Export Ltda.	Coquimbo	Grande	Fruta fresca	No usa			
Bayas Del Sur S.A. Cholchol	Araucanía	Grande	Jugos y/o pulpas	Encuesta	R134a	Sin información	0
Bayas Del Sur S.A. Choroy	Araucanía	Grande	Jugos y/o pulpas	Encuesta	R134a	Sin información	0
Bayas Del Sur S.A. Lanco	Los Ríos	Grande	Jugos y/o pulpas	Encuesta	R134a	Sin información	0
Bayas Del Sur S.A. Lautaro	Araucanía	Grande	Jugos y/o pulpas	Encuesta	R134a	Sin información	0
Bayas Del Sur S.A. Mañihuales	Aysen	Grande	Jugos y/o pulpas	Encuesta	R134a	Sin información	0
Bayas Del Sur S.A. Purranque	Los Ríos	Grande	Jugos y/o pulpas	Encuesta	R717 R22 R134a	Sin información	50 0
Berries Chile S. A.	Maule	Grande	Congelados	Encuesta	R22 R507	220.000 35.000	608 170
Buenalimento Ltda.	O'Higgins	Pequeña	Deshidratados	No usa			
Bozzolo Hnos.	Valparaíso	Mediana	Conservas	No usa			
Cabrini Hnos. Ltda.	Valparaíso	Mediana	Fruta fresca	Encuesta	R717 R22 R404	1.100.000 150.000 130.000	250 0 0
Carsol Servicios Ltda. Coihueco	Biobío	Grande	Fruta fresca	Encuesta	R22 R507	930.174 Sin información	65 104
Carsol Servicios Ltda. Tenó	Maule	Grande	Fruta fresca	Encuesta	R717	750.000	0

Nombre instalación	Región	Tamaño de empresa ²⁸	Rubro	Respuesta	Refrigerante	Capacidad de refrigeración Kcal/hr	Consumo promedio anual período 2013 – 2015 kg
Central Frutícola San Clemente S.A.	Maule	Pequeña	Fruta fresca	Encuesta	R22 R717 Glicol	1.000.000 1.000.000 650.000	1.000 400 500
Charney Folkman Daniel	Metropolitana	Mediana	Deshidratados	No usa			
Chilexpo Frut Ltda., Soc. Agr.	Maule	Grande	Fruta fresca	No usa			
Com. Alfonso Eyzaguirre y Cia. Ltda.	Maule	Grande	Fruta fresca	No entrega información			
Com. Monte Rosa S.A.	Metropolitana	Grande	Fruta Fresca	No usa			
Agro Frutillas San Pedro S.A.	Metropolitana	Mediana	Fruta fresca	Encuesta	R22 R404 R134A R507	Sin información Sin información Sin información Sin información	0 0 0 0
Frutas y Hortalizas del Sur Longaví	Maule	Grande	Congelados	Encuesta	R507	90.000	80
Frutas y Hortalizas del Sur Yerbos Buenas	Maule	Grande	Congelados	Encuesta	R507	90.000	80
Frutas y Hortalizas del Sur San Carlos	Biobío	Grande	Congelados	Encuesta	R717	1.540.880	12.500
Compañía Frutera del Norte	Coquimbo	Mediana	Fruta fresca	No usa			
Conservas Los Ángeles Ltda.	Biobío	Mediana	Conservas	No usa			
Conservera Pentzke S.A. Planta 1	Valparaíso	Grande	Conservas	Encuesta	No usa		
Conservera Pentzke S.A. Planta 2	Valparaíso	Grande	Conservas	Encuesta	No usa		
Conservera Pentzke S.A. Planta 3	Valparaíso	Grande	Conservas	Encuesta	No usa		
COOPEUMO	O'Higgins	Grande	Deshidratados	No usa			
Cooperativa Agrícola Pisquera Elqui CAPEL Sotaquí	Coquimbo	Mediana	Jugos y/o pulpas	Encuesta	R22	Sin Información	52
Cooperativa Agrícola Pisquera Elqui CAPEL Punitaqui	Coquimbo	Mediana	Jugos y/o pulpas	Encuesta	R507 R407 R22	Sin Información Sin Información Sin Información	26 26 26
Cooperativa Agrícola Pisquera Elqui CAPEL Río Hurtado	Coquimbo	Mediana	Jugos y/o pulpas	Encuesta	R22	Sin Información	26
Copefrut	Maule	Grande	Fruta Fresca	Sin Encuesta	R717	Sin Información	
Daily Black Garlic	O'Higgins	Micro	Deshidratado	No usa			

Nombre instalación	Región	Tamaño de empresa ²⁸	Rubro	Respuesta	Refrigerante	Capacidad de refrigeración Kcal/hr	Consumo promedio anual período 2013 – 2015 kg
David Del Curto S.A Linares	Maule	Grande	Fruta fresca	Encuesta	R717 R22	1.354.000 Sin Información	0 13,6
Deshidratados Kadosh	Maule	Mediana	Deshidratados	No usa			
Diana Naturals Chile SpA	Metropolitana	Grande	Jugos y/o pulpas	Encuesta	R410A R22	Sin Información Sin Información	s/i s/i
Doña Nancy	O'Higgins	Micro	Fruta fresca	No usa			
Dote y Vera Ltda. Los Niches	Maule	Mediana	Congelados	Encuesta	R507	Sin Información	Sin Información
Dote y Vera Ltda. San Clemente	Maule	Mediana	Congelados	Encuesta	R507	Sin Información	Sin Información
DSM Nutritional Products Chile S.A.	Los Ríos	Grande	Nutrientes	No usa			
Easter Island Chilean Fruit S.A.	Metropolitana	Mediana	Fruta fresca	No usa			
Ecoberry S.A.	Biobio	Mediana	Congelados	Encuesta	R22 R507	68.040 144.910	26 160
Sociedad Comercial Ekofrut de Romeral SPA	Maule	Mediana	Congelados	Encuesta	R22	Sin Información	80
Empacadora De Pasas De Exportación S.A.	Valparaíso	Mediana	Deshidratados	No usa			
Empresa Agrícola HC Ltda	Coquimbo	Mediana	Congelados	Encuesta	R507	60.000	1
Empresas Lourdes S.A.	Metropolitana	Grande	Jugos y/o pulpas	Encuesta	R22 R134A	310.000 489.000	52 52
Exportadora Anakena Ltda.	Metropolitana	Grande	Deshidratados	Encuesta	R404A	Sin Información	1
Exportadora Andinexia S.A. Teno	Maule	Grande	Fruta fresca	Encuesta	R717 R22	990 140	2.800 40
Exportadora Agro Aurora Ltda. Longaví	Maule	Pequeña	Congelados	Encuesta	R507	22.000	33
Exportadora Agua Santa S.A.	Metropolitana	Grande	Comercializadora	No usa			
Exportadora Atlasfresh S.A. (Peralillo)	O'Higgins	Grande	Comercializadora	No usa			
Exportadora Atlasfresh S.A. (Rancagua)	O'Higgins	Grande	Comercializadora	No usa			
Exportadora Gonzagri Chile S.A	Maule	Grande	Fruta fresca	Encuesta	R717 R507 R22	Sin Información Sin Información Sin Información	Sin Información Sin Información Sin Información
Exportadora Unifrutti Traders SPA	Maule	Grande	Fruta fresca	Encuesta	R22	1.656.000	1600

Nombre instalación	Región	Tamaño de empresa ²⁸	Rubro	Respuesta	Refrigerante	Capacidad de refrigeración Kcal/hr	Consumo promedio anual período 2013 – 2015 kg
					R717	3.000.000	500
FMC Corporation Chile Ltda.	Metropolitana	Grande	Comercializadora	No usa			
Frigorífico Andino S.A.-Icestar	Metropolitana	Mediana	Servicio frío	Encuesta	R717	6.020.000	1.000
Frigorífico José Soler S.A. (SolFrut)	Maule	Grande	Fruta fresca	Encuesta	R507 R717	Sin Información Sin Información	Sin Información Sin Información
Frigorífico Ñuble Orgánico SpA.	Biobío	Mediana	Servicio frío	Encuesta	R507	Sin Información	0
Friofort S.A.	Metropolitana	Grande	Servicio frío	Encuesta	R717	1.747.274	3.214
Frucentro S.A.	Metropolitana	Grande	Fruta fresca	No entrega información			
Frutam S.A.	Metropolitana	Grande	Comercializadora	No usa			
Frutas de Exportación S. A. (Frutexsa) Buin	Metropolitana	Grande	Deshidratados	No usa			
Frutas de Exportación S. A. (Frutexsa) Los Andes	Metropolitana	Grande	Deshidratados	No usa			
Frutas de Exportación S.A. (Frutexsa) Graneros	Metropolitana	Grande	Deshidratados	No usa			
Frutera San Fernando S.A.	O'Higgins	Grande	Fruta fresca	Encuesta	R717	5.141.000	2.000
Frutícola Olmué SPA Chillán	Biobío	Grande	Congelados	Encuesta	R717	2.732.909	500
Frutícola Olmué SPA Alborada	Biobío	Grande	Congelados	Encuesta	R717	440.000	3.600
Frutícola Olmué SPA Loncoche	Los Ríos	Grande	Congelados	Encuesta	R717 R22	1.220.638 225.487	600 68
Frutícola Olmué SPA Parral	Maule	Grande	Congelados	Encuesta	R717	440.000	500
Frutizano S.A.	Maule	Grande	Fruta fresca	Encuesta	R507 R22	Sin Información Sin Información	80 50
Granotec Chile S.A.	Metropolitana	Mediana	Nutrientes	Encuesta	No usa		
Huerto San Luis	O'Higgins	Micro	Congelados	No entrega información			
Ideal S.A.	Metropolitana	Grande	Panadería	Encuesta	R717	Sin Información	Sin Información
Invertec Foods S.A.	O'Higgins	Grande	Congelados	Encuesta	R404A R717 R22	Sin Información Sin Información Sin Información	40 300 60
Invertec Natural Juice	O'Higgins	Grande	Jugos y/o pulpas	Encuesta	R404A	Sin Información	35

Nombre instalación	Región	Tamaño de empresa ²⁸	Rubro	Respuesta	Refrigerante	Capacidad de refrigeración Kcal/hr	Consumo promedio anual período 2013 – 2015 kg
					R717 R22	Sin Información Sin Información	333 40
Johnson Fruit (Agr. San Luis de Yaquil S.A.)	O'Higgins	Grande	Fruta fresca	No entrega información			
Juhinej Ltda.	Maule	Grande	Congelados	Encuesta	R507 R717	Sin Información Sin Información	Sin Información Sin Información
Lafrut Exportaciones Agropecuarias Ltda.	Metropolitana	Grande	Fruta fresca	No usa			
MEYBE AGROINDUSTRIAL LTDA.	Maule	Grande	Fruta fresca	Encuesta	R717	1.934.600	2.500
Maria Paz Fuentes Pavez (Enripaz)	O'Higgins	Pequeña	Deshidratado	No usa			
Mickelsen Agroindustrial E.I.R.L.	Metropolitana	Pequeña	Mermeladas	No usa			
Mostos del Pacífico	Maule	Grande	Jugos y/o pulpas	Sin Encuesta	R22 R404A	Sin Información Sin Información	0
Multifrigo Valparaíso S.A.	Metropolitana	Mediana	Congelado	Sin Encuesta	R717	Sin Información	Sin Información
Natural Chile S.A.	Metropolitana	Grande	Deshidratados	No usa			
Nutramore SpA	O'Higgins	Pequeña	Deshidratados	No usa			
Ocean Spray SpA	Los Ríos	Grande	Deshidratados	Encuesta	R717	4.434.879	1.000
Olivícola Díaz Guerrero	O'Higgins	Mediana	Aceite	No usa			
Ominuts & Fruits S.A.	Metropolitana	Grande	Deshidratados	Encuesta	R507	Sin Información	99
Parmex S.A.	O'Higgins	Grande	Deshidratados	No usa			
Patagoniafresh S.A. Molina	Maule	Grande	Jugos y/o pulpas	Encuesta	R22	250.00	450
Patagoniafresh S.A. San Fernando	O'Higgins	Grande	Jugos y/o pulpas	Encuesta	R717 R22	1.105.324 914.000	1.500 800
Patricia Martini Tiznado Huerto Azul			Comercializadora	No usa			
Petroval Ltda.	Maule	Mediana	Congelados	Encuesta	R22 R507	180.000 Sin información	23 12
Pravia SPA	Maule	Grande	Servicio frío	Encuesta	R22	Sin Información	Sin Información
Propal S.A.	Valparaíso	Grande	Fruta Fresca	Encuesta	R717	Sin Información	2.400
Procesos Naturales Vilcún S.A.	Araucanía	Grande	Deshidratados	Encuesta	R507	323.000	0

Nombre instalación	Región	Tamaño de empresa ²⁸	Rubro	Respuesta	Refrigerante	Capacidad de refrigeración Kcal/hr	Consumo promedio anual período 2013 – 2015 kg
Proveagro Servicios Ltda.	Maule	Grande	Fruta fresca	Encuesta	R717	Sin Información	Sin Información
Prunesco	Metropolitana	Grande	Deshidratados	Encuesta	R134A R22	32.800 3.850	
Puelche S.A.	Biobío	Grande	Fruta fresca	Encuesta	R22 R507	Sin Información Sin Información	217 45
Rafael Prohens y Cia. Ltda.	Coquimbo	Mediana	Fruta fresca	Encuesta	No usa		
Exportadora Rancagua S.A.	O'Higgins	Grande	Congelados	Encuesta	R22	753.845	239
Rucaray S.A. (Planta Cachapoal)	O'Higgins	Grande	Fruta fresca	No entrega información			
Rucaray S.A. (Planta Los Lirios)	O'Higgins	Grande	Fruta fresca	No entrega información			
Rucaray S.A. (Planta Río Claro)	O'Higgins	Grande	Fruta fresca	No entrega información			
Rucaray S.A. (Planta Las Cabras)	O'Higgins	Grande	Fruta fresca	No entrega información			
San Clemente Foods S.A.	Maule	Grande	Jugos y/o pulpas	Encuesta	R717	180.000	0
San Clemente Frozen Growers Ltda	Maule	Pequeña	Congelados	Encuesta	R507	Sin Información	
Santa Teresa S. A. (De Martino)	Metropolitana	Mediana	Jugos y/o pulpas	Encuesta	R22 R407	220.000 240.000	27 0
SAVIRA SPA	O'Higgins	Micro	Mermeladas	No usa			
Servicios Agrícolas Oppenheimer Chile Ltda.	Metropolitana	Grande	Fruta fresca	No usa			
Servicios Agroindustriales SubSole S.A.(planta Hijuelas)	Valparaíso	Grande	Fruta fresca	Encuesta	R22	1.180.000	190
Servicios Chilfresh Ltda.	Maule	Grande	Fruta fresca	Encuesta	Sin Información		
Soc. Com. Exp Frutas del Huerto S.A.	Metropolitana	Grande	Fruta fresca	No usa			
Soc. Com. Y de Inversiones La Purísima Ltda.	Maule	Mediana	Fruta fresca	Encuesta	R717 R22 R507	730.000 520.000 690.000	500 200 400
Soc. Exp. Patricio Negrete Ltda.	Maule	Grande	Fruta fresca	No usa			
Sociedad Agrícola Altamira Ltda.	Valparaíso	Grande	Deshidratado	No usa			
Sociedad Agrícola San Jorge Ltda.	Metropolitana	Mediana	Aceite	No usa			

Nombre instalación	Región	Tamaño de empresa ²⁸	Rubro	Respuesta	Refrigerante	Capacidad de refrigeración Kcal/hr	Consumo promedio anual período 2013 – 2015 kg
Sociedad Agrícola y Frutícola León Ltda.	Maule	Grande	Congelados	Encuesta	R717	Sin Información	Sin Información
Sociedad Comercial Sunagro Ltda.	O'Higgins	Grande	Deshidratados	No usa			
Sociedad Huertos Collipulli S.A.	Araucanía	Grande	Fruta fresca	Encuesta	R22 R507	Sin Información Sin Información	177 163
Sofruco Alimentos Ltda.	O'Higgins	Grande	Jugos y/o pulpas	No entrega información			
South Am Freeze Dry S. A.	Metropolitana	Grande	Conservas	No entrega información			
South Pacific Berries Trading	Metropolitana	Grande	Comercializadora	No entrega información			
Southern Group S. A.	Metropolitana	Grande	Deshidratados	No usa			
Sugal Chile Ltda. Quinta de Tilcoco	O'Higgins	Grande	Conservas	Encuesta	No usa		
Sugal Chile Ltda. Talca	Maule	Grande	Conservas	Encuesta	No usa		
Terrafrut S.A.				No entrega información			
Tresmontes Luchetti (Casablanca)	Valparaíso	Grande	Jugos y/o pulpas	Sin Encuesta	Nitrógeno		
Trio S. A.	Metropolitana	Grande	Aceite	No usa			
Watts S.A. Buin	Metropolitana	Grande	Congelados	Encuesta	R717 R404A	3.675.368 Sin información	0 12
Watts S.A: Linares	Maule	Grande	Congelados	Encuesta	R717 R507	8.754.595 Sin información	2.155
Valbifrut S.A.	Metropolitana	Grande	Deshidratados	No usa			
Viña Francisco de Aguirre Ltda.	Coquimbo	Mediana	Jugos y/o pulpas	Encuesta	R22	Sin Información	26

1.5. Sistematización de información

La información obtenida de 176 instalaciones, se desglosa como sigue:

- 99 instalaciones facilitaron información sobre uso de refrigerantes
- 19 instalaciones no entregaron información
- 58 instalaciones declararon no utilizar refrigerantes

La información de las encuestas se registró en una planilla Excel, clasificando la información en antecedentes generales, producción, instalaciones, centrales frigoríficas, compresores y refrigerantes. A partir de la información consolidada se realizó un proceso de homogenización de etiquetas, para la posterior generación de gráficos y tablas con la información agregada.

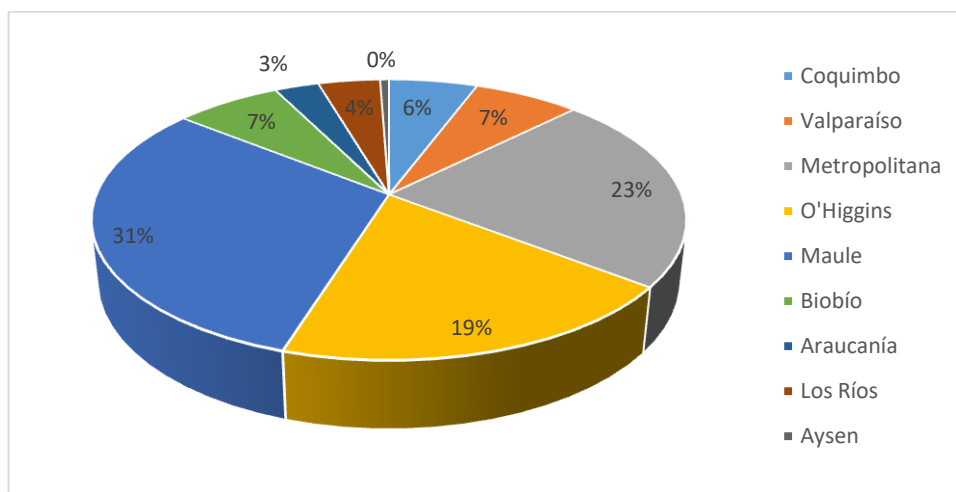
19 instalaciones no entregaron información por considerarla confidencial o por desconocer las especificaciones de sus sistemas y no cuentan con personal especializado que pueda responder la encuesta. Este último caso se repite principalmente en el segmento de empresas pequeñas y medianas empresas.

2. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las encuestas procesadas.

2.1. Antecedentes generales

Las 176 instalaciones se distribuyen territorialmente de la siguiente forma:

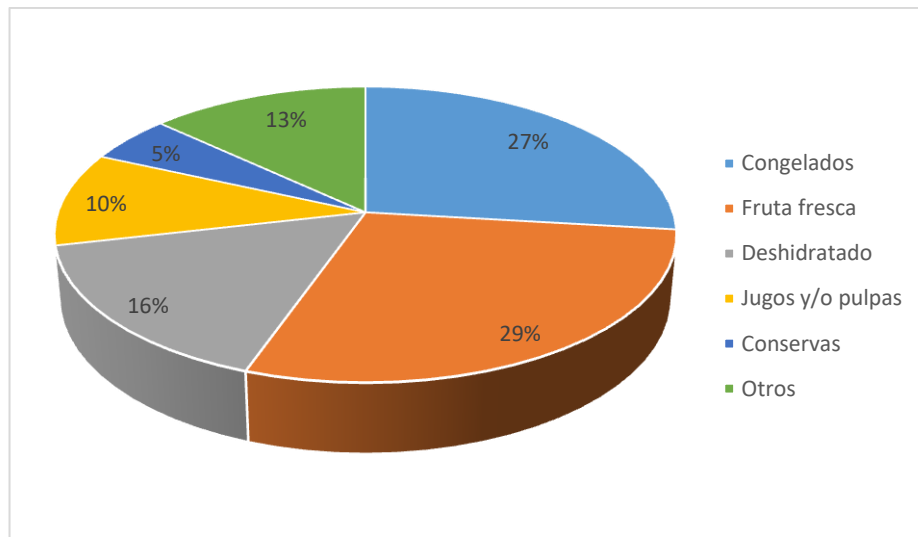


Capítulo III Gráfico 1. Distribución territorial de las instalaciones

La distribución geográfica de las instalaciones indica que mayoritariamente estas se encuentran en la región del Maule, con un 31%, luego se encuentran las regiones Metropolitana y O'Higgins, con un 23%

y 19%, respectivamente. En menor proporción se identifican instalaciones en: 7% Valparaíso, 7% Biobío, 6% Coquimbo, 4% Los Ríos, 3% Araucanía y 1% Aysén.

Respecto a los rubros, las 176 instalaciones se distribuyen, según se indica en el gráfico adjunto, de la siguiente manera: 29% a instalaciones de fruta fresca, 27% de instalaciones de congelado, 16% deshidratado, 10% jugos y/o pulpas, 5% conservas y 13% otros (aceite de oliva, mermeladas, nutrientes y comercializadoras).

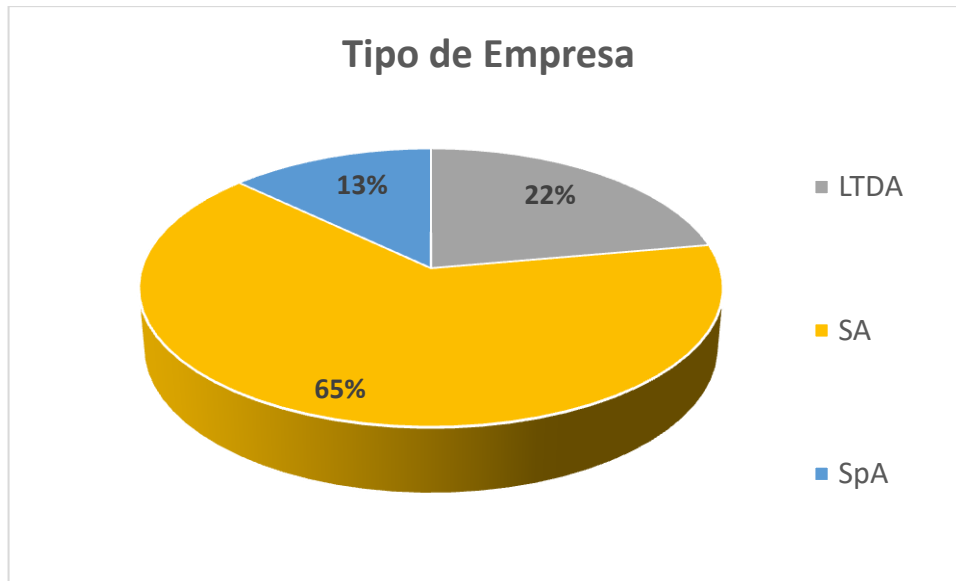


Capítulo III Gráfico 2. Rubros de las instalaciones de la base de datos

Para los rubros correspondientes a la agroindustria, el uso de refrigerantes corresponde a:

- Congelados, cámaras o túneles de prefrío de materia prima, cámaras mantención materia prima refrigerada, cámaras de materia prima congelada, salas de proceso climatizadas, túneles de congelación, cámaras de producto semi procesado (PSP) congelado, cámaras de producto totalmente terminado (PTT) congelado.
- Deshidratado²⁹, cámaras o túneles de prefrío de materia prima, cámaras mantención materia prima refrigerada, cámaras de materia prima congelada, salas de proceso climatizadas, túneles de congelación.
- Jugos y/o pulpas: cámaras mantención materia prima refrigerada, cámaras de materia prima congelada, cámara para producto refrigerado y salas de proceso climatizadas.
- Conservas, cámaras o túneles de prefrío de materia prima cámaras mantención materia prima refrigerada cámaras de producto totalmente terminado (PTT) congelado salas de proceso climatizadas túneles de congelación

²⁹ Se identifican instalaciones deshidratadoras que realizan procesos de deshidratado, congelado e infusión.



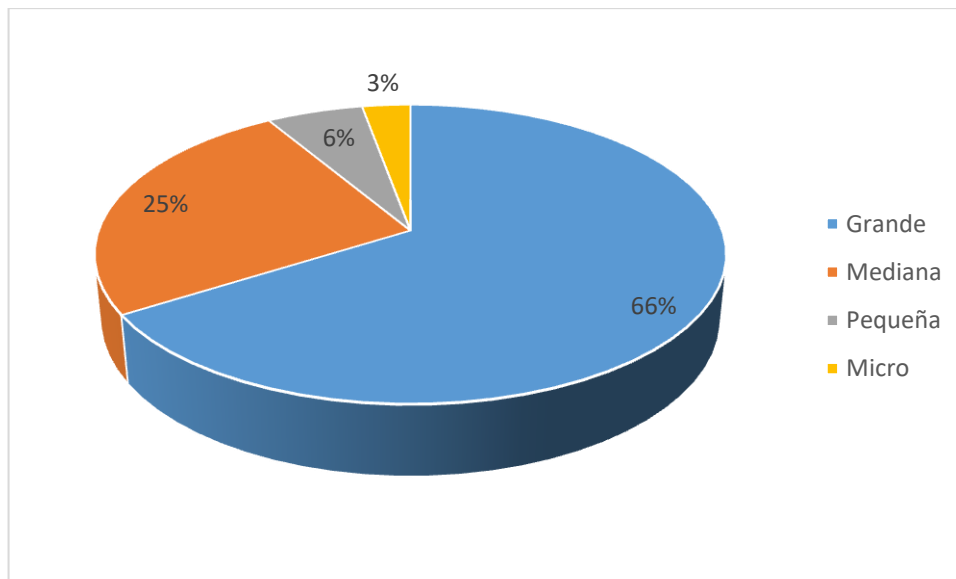
Capítulo III Gráfico 3. Tipo de sociedades

En relación con el tamaño de las empresas, se utilizó el criterio de tamaño del Ministerio de Economía que clasifica las empresas de acuerdo su nivel de ventas, considerando como Empresas Pequeñas aquellas con ventas netas entre UF³⁰2.400 (US\$ 103.036) y UF25.000 (US\$ 1.073.299) al año, como Empresas Medianas las que venden más de UF25.000 (US\$ 1.073.299) al año, pero menos de UF100.000 (US\$ 4.293.197). Esto implica que en términos de ventas anuales se define como PYMES a las empresas que se encuentran en el rango de UF2.400 (US\$ 103.036) a UF100.000 (US\$ 4.293.197), correspondiendo a grandes empresas, aquellas con ventas netas anuales superiores a UF100.000 (US\$ 4.293.197).

El criterio corresponde específicamente a ventas, por lo que, dadas las características del negocio y su gran intensidad en compra de materias primas e insumos, esto no asegura que las empresas en categoría de gran empresa cuenten con una estructura organizacional de profesionales y técnicos propia de una gran empresa.

Con lo anterior, según su nivel de facturación, del total de 176 instalaciones se obtuvo el siguiente resultado por tamaño según clasificación CORFO: un 3% es microempresa, 6% pequeña empresa, 25% mediana y un 66% corresponde a grande, por tanto, podríamos clasificar como PYMES a un 34% de las empresas evaluadas.

³⁰ 1 UF = \$ 26.617,82; US\$ 1 = \$ 620 (07.09.17.).



Capítulo III Gráfico 4. Tamaño de las instalaciones evaluadas

Como información adicional, se menciona que el criterio de clasificación utilizado por la Unión Europea, dista enormemente del chileno. Según criterio de la UE, no más de un 5% de las empresas estarían clasificadas como grandes.

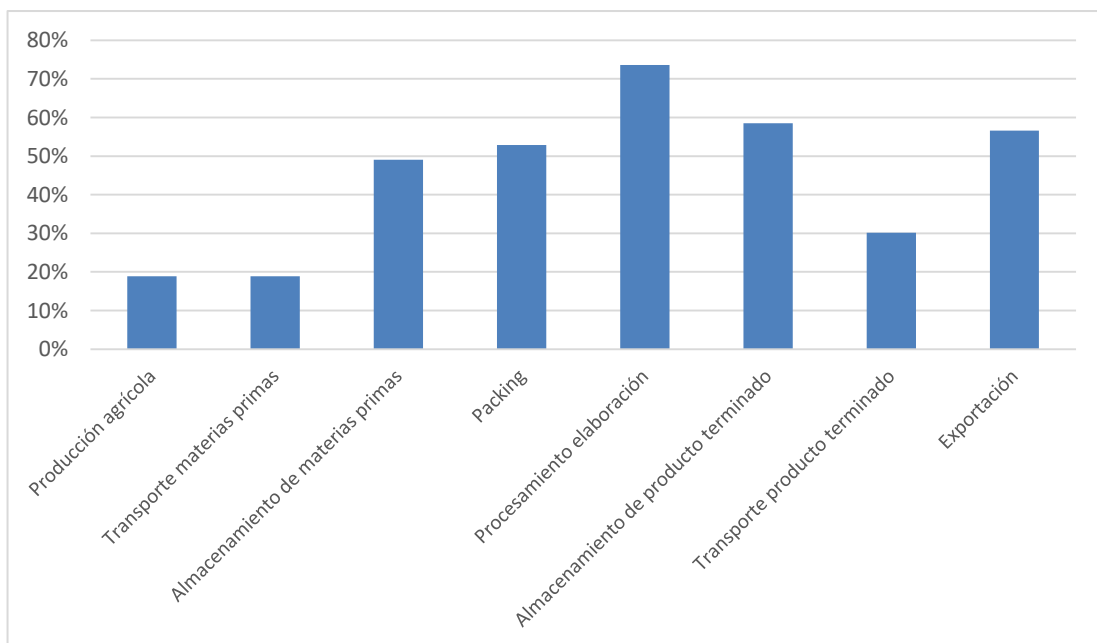
El 51,4% de las 176 instalaciones que entregan información, utilizan refrigerantes.

Se indican las fases del proceso productivo de las instalaciones correspondientes a la agroindustria, en los cuales se utilizan refrigerantes:

- Congelados: de las 176 instalaciones registradas, 46 pertenecen al rubro de congelados, el 100% usa refrigerante. De estas, 4 no entregan información de cuál es ese refrigerante. El 42,5% utiliza R717 y el resto se distribuye en distintos refrigerantes sintéticos. Los principales usos corresponden a:
 - almacenamiento de materia prima refrigerada
 - almacenamiento de materia prima congelada
 - salas de proceso climatizadas
 - proceso de congelación en túneles
 - almacenamiento de producto semi procesado congelado
 - almacenamiento de producto totalmente terminado congelado.
- Deshidratado: de las 176 instalaciones registradas, 32 corresponden al rubro de deshidratados, de las cuales el 20% utiliza refrigerantes, predominando los sintéticos con el 83%. Los principales usos corresponden a:
 - almacenamiento de materia prima refrigerada
 - túneles de prefrío de materia primas
 - almacenamiento de materia prima congelada
 - salas de proceso climatizadas

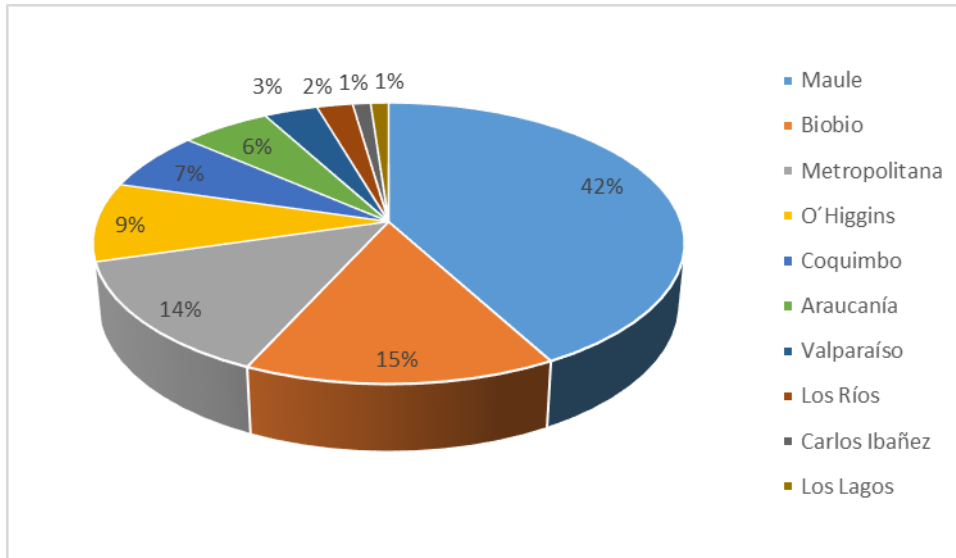
- proceso de congelación en túneles
- Jugos y/o pulpas: de las 176 instalaciones registradas, 16 corresponden a jugos y/o pulpas, el 100% utiliza refrigerantes, 1 no entrega información de cuál es el refrigerante. El 47% corresponde a R22 y 27% R717. Los principales usos corresponden a:
 - almacenamiento de materia prima refrigerada
 - almacenamiento de materia prima congelada
 - salas de proceso climatizadas
 - almacenamiento de producto terminado refrigerado
- Conservas: de las 176 instalaciones registradas, 11 corresponden a conservas, de las cuales el 18% utiliza refrigerante, correspondiendo este a R717. Los principales usos corresponden a:
 - almacenamiento de materia prima refrigerada
 - túneles de prefrío de materia primas
 - salas de proceso climatizadas
 - proceso de congelación en túneles
 - almacenamiento de producto totalmente terminado

En relación a las actividades o macro procesos desarrollados internamente por las empresas evaluadas se identifica que: el 19% de las empresas se encuentra integrada a la actividad agrícola, ya sea a través de campos propios o arrendados, y realiza el transporte de las materias primas desde el campo a la planta productiva; 49% cuenta con almacenamiento de materias primas, el cual se realiza principalmente en cámaras refrigeradas; el 53% lleva a cabo un proceso de clasificación de frutas y/o hortalizas; el 74% de las empresas declara realizar un proceso de transformación; el 58% ha integrado el almacenamiento de producto terminado; un 30% mantiene transporte propio de producto terminado; y, un 57% realiza exportación directamente.



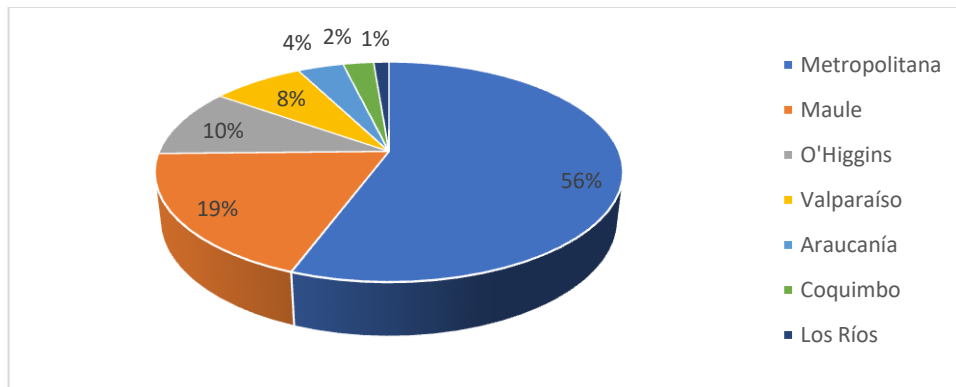
Capítulo III Gráfico 5. Procesos identificados en las instalaciones evaluadas

Se indica en el siguiente gráfico la distribución geográfica de estas 176 instalaciones:

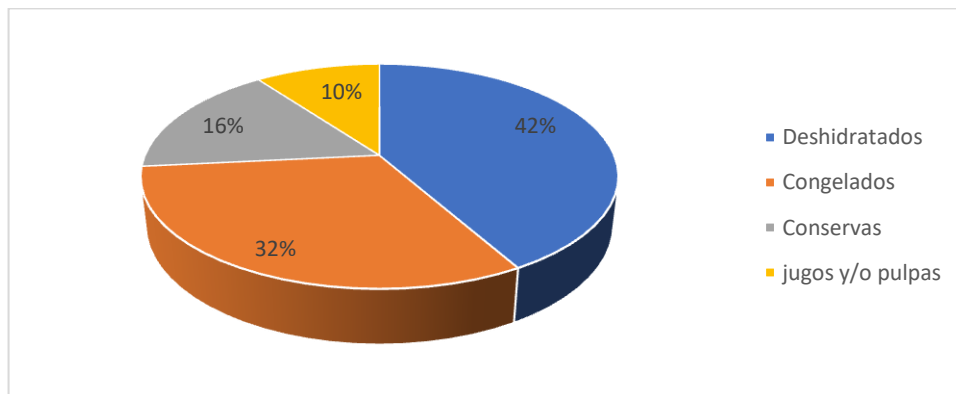


Capítulo III Gráfico 6. Distribución geográfica de las 176 instalaciones con información

Por otra parte, de la muestra de 350 instalaciones, no se cuenta con información de 174. Su distribución geográfica y por rubro se presentan en los siguientes gráficos.



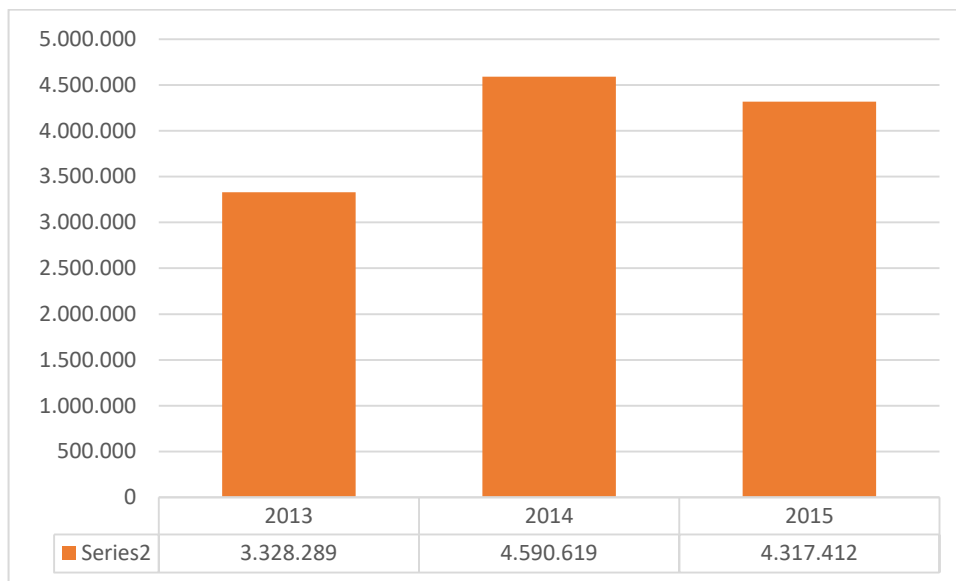
Capítulo III Gráfico 7. Distribución geográfica de las 174 instalaciones sin información



Capítulo III Gráfico 8. Distribución por rubro de las instalaciones sin información

2.2. Producción

Los datos de producción entregados por las empresas, se presentan en el gráfico 7, durante los últimos 3 años, presentan una tendencia positiva de crecimiento desde 3,3 millones de toneladas al año en 2013 a 4,5 millones de toneladas de materias primas procesadas en 2014 y 4,3 millones de toneladas en 2015, lo que representa un 30% de crecimiento. Con lo anterior, el volumen de producto terminado al año 2015 es de 1,76 millones de toneladas, del total el 60% es producto de exportación y el 40% mercado interno. Con base en el año 2015, el 37% de la producción utiliza refrigerante, esto equivale a 1,6 millones de toneladas de materia prima procesada y 650 mil toneladas de producto terminado, con un promedio por instalación de 9.285 toneladas.



Capítulo III Gráfico 9. Materias primas procesadas - Toneladas anuales

2.3. Equipamiento

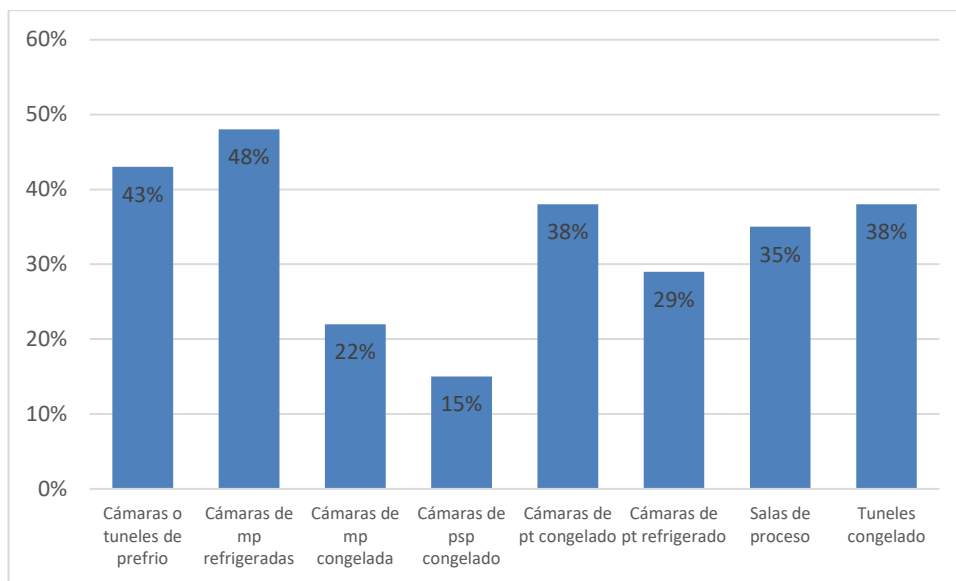
Con el fin de tener claridad en cuanto al tipo de equipos que se utilizan en el sector de frutas y hortalizas procesadas, se presenta a continuación una descripción para cada uno.

- Cámaras o túneles de prefrío de materia prima: Sistema de refrigeración (0 a 5°C) donde se recibe y baja rápidamente la temperatura a la materia prima para conservarla.
- Cámaras mantención de materia prima refrigerada: Sistema de mantención refrigerado (0 a 5°C) donde se almacena la materia prima para conservarla previo al proceso.
- Cámaras de materia prima congelada, producto semi procesado (PSP) congelado o producto totalmente terminado (PTT) congelado: Sistema de mantención congelado (a-18°C o menos) donde se almacena la materia prima o los productos para conservarlos previo a su destino (proceso o despacho).

- Cámara de mantención de producto refrigerado: Sistema de mantención de refrigerado (0 a 5°C) donde se almacena producto en proceso o terminado.
- Salas de proceso climatizadas: áreas de producción que requieren estar a temperaturas determinadas y controladas en un rango por ejemplo menores a 15°C y mayor a 5°C.
- Túneles de congelación: De acuerdo al tipo de producto y a los tiempos de producción requeridos, pueden funcionar en diferentes rangos entre -12°C y -36°C.

El equipamiento de las instalaciones que entregan información es el siguiente:

- el 43% cuenta con cámaras o túneles de prefrió
- el 48% mantiene cámaras de mantención de materias primas refrigeradas
- el 22% tienen cámaras de materia prima congelada
- el 15% dispone de cámaras de producto semi procesado congelado
- 38% posee cámaras de producto terminado congelado
- 29% cuenta con cámaras de producto terminado refrigerado
- 35% mantiene salas de proceso refrigeradas
- y 38% dispone de túneles de congelación



Capítulo III Gráfico 10. Equipamiento de las empresas

Lo anterior es equivalente a:

- 119 cámaras o túneles de prefrió, 12.307 m²
- 244 cámaras de mantención de materias primas refrigeradas; 96.275 m²
- 49 cámaras de materia prima congelada; 29.568 m²
- 49 cámaras de producto semi procesado congelado; 17.213 m²
- 83 cámaras de producto terminado congelado; 43.367 m²
- 121 cámaras de producto terminado refrigerado; 41.263 m²
- 59 mantiene salas de proceso refrigeradas; 41.662 m²
- 96 dispone de túneles de congelación; 2.949 m²

Capítulo III Tabla 2. Superficie de las cámaras y túneles

Cámara túneles	Metros Cuadrados	%
Túneles de Prefrió	12.307	4,32
Cámaras de Materia prima refrigeradas	96.274	33,83
Cámaras Materia prima congelada	29.568	10,39
Cámaras Producto semi procesado congelado	17.213	6,05
Cámaras Producto terminado congelado	43.366	15,24
Cámaras Producto terminado refrigerado	41.263	14,50
Sala de proceso refrigeradas	41.661	14,64
Túnel congelado	2.949	1,04
Total	284.601	100,00

El rubro de congelados concentra el mayor uso de equipamiento con un 70% de la superficie. La distribución de la superficie del equipamiento por rubro se muestra en la siguiente tabla.

Capítulo III Tabla 3. Distribución de equipamiento por rubro (m²)

	Congelados	Jugos y/o pulpas	Deshidratados	Conservas	Total
Cámaras o túneles de prefrió de materia prima	2.377	814	190	378	3.759
Cámaras mantención materia prima refrigerada	6.200	5.964	3.035	1.163	16.362
Cámaras de materia prima congelada	18.980	1.128	8.499	-	28.607
Cámaras de producto semi procesado (PSP) congelado	14.274	1.229	-	-	15.503
Cámaras de producto totalmente terminado (PTT) congelado	19.626	5.298	1.011	147	26.082
Cámara para producto refrigerado	1.913	3.320	731	-	5.964
Salas de proceso climatizadas	20.462	1.634	585	636	23.317
Túneles de congelación	1.956	505	20	-	2.481
Total	85.788	19.892	14.071	2.324	122.075
Total %	70	16	12	2	100

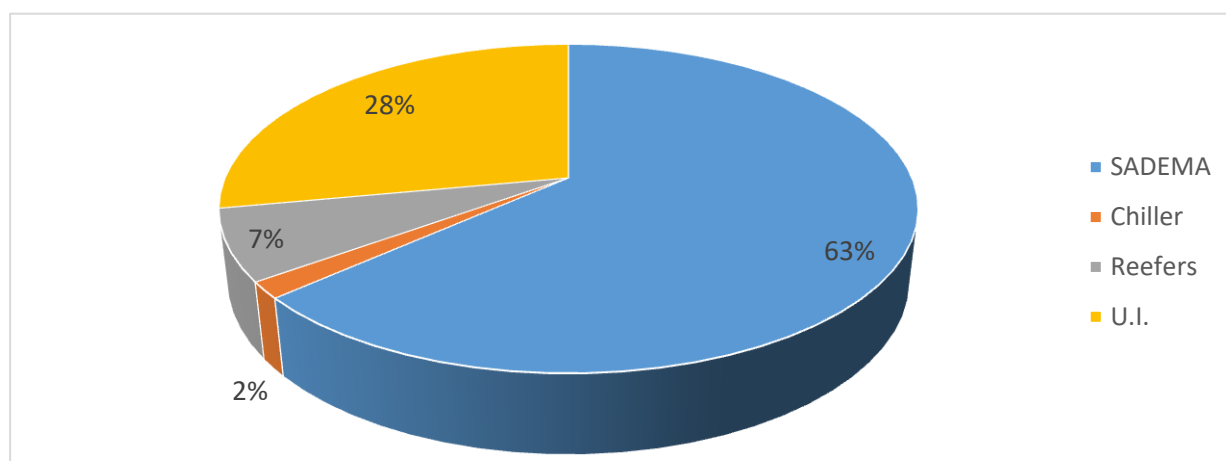
Las grandes empresas concentran el mayor uso de equipamiento con un 92% de la superficie. La distribución de la superficie del equipamiento por tamaño de instalaciones se muestra en la siguiente tabla.

Capítulo III Tabla 4. Distribución de equipamiento por tamaño de instalación

	Grande	Mediana	Pequeña	Total
Cámaras o túneles de prefrío de materia prima	3.167	592	-	3.759
Cámaras mantención materia prima refrigerada	13.968	1.794	600	16.362
Cámaras de materia prima congelada	27.987	620	-	28.607
Cámaras de producto semi procesado (PSP) congelado	15.303	200	-	15.503
Cámaras de producto totalmente terminado (PTT) congelado	23.435	2.347	300	26.082
Cámara para producto refrigerado	5.314	650	-	5.964
Salas de proceso climatizadas	21.377	1.940	-	23.317
Túneles de congelación	1.854	612	15	2.481
Total	112.405	8.755	915	122.075
Total %	92	7	1	100

2.4. Centrales o unidades de frío y refrigerantes

Del grupo de instalaciones que responden, 79 entregan información sobre unidades frigoríficas, las cuales se clasifican principalmente en: 63% salas de máquinas³¹, 28% unidades independientes³² (cámaras, equipos), 7% reefers³³ y 2% chiller³⁴.



Capítulo III Gráfico 11. Unidades frigoríficas

La distribución del uso de refrigerantes por unidad frigorífica se presenta en la siguiente tabla.

³¹ Sala de máquinas, unidades de frío que abastecen a distintos equipamientos al mismo tiempo. Elaboración propia.

³² Hace referencia a equipos o cámaras que se refrigeran de forma autónoma. Elaboración propia.

³³ Es un contenedor refrigerado que mantiene la temperatura controlada www.merzcargo.com

³⁴ Es un equipo que enfría un fluido a una temperatura inferior a la que se obtendría, si sólo se utilizara agua como medio enfriador. Estos equipos usan refrigerantes tales como el amoníaco o freón. Chemical Engineers' Handbook, John Perry

Capítulo III Tabla 5. Cantidad de unidades frigoríficas por tipo de refrigerante

	R22	R134A	R404A	R507	R717	Total
SADEMA	35	2	6	21	53	117
Chiller	1	1	1			3
Reefers		11	1	1		13
U.I.	23	2	2	18	7	52
Total	59	16	10	40	60	185

Por otra parte, en las siguientes tablas se presenta la distribución del uso de unidades frigoríficas por refrigerante y por rango de temperatura.

Capítulo III Tabla 6. Cantidad de unidades frigoríficas por tipo de refrigerante y rango de temperatura (°C)

Refrigerante	R22	R134A	R404	R507	R717	R410A	Glicol	R407
> 0	9	1	1	1	5	2	---	---
0 y -15	37	13	2	21	27	---	1	2
< -15	14	4	5	20	34	---	---	---
Total	60	18	8	42	66	2	1	2

Capítulo III Tabla 7. Cantidad de refrigerante (kg) contenido en el sistema por tipo y rango de temperatura (°C)

Refrigerante	R22	R134A	R404	R507	R717	R410A	Glicol	R407
> 0	643	110	13	7	---	103	---	---
0 y -15	19.609	239	126	4.334	123.244	---	8.000	167
< -15	8.508	15	425	3.638	170.925	---	---	---
Total	28.760	364	564	7.979	294.169	103	8.000	167

Los resultados indican: para temperaturas sobre 0 °C el refrigerante más usado corresponde a R22; para temperaturas entre 0 °C y -15 °C los más usados son, en orden, el R717, R22 y R507; y para el rango menor a -15 °C, los más utilizados son R717 y R507.

Uso de refrigerantes

Procesadas las respuestas, las empresas indican, 294.169 kilogramos de refrigerantes R717, equivalente al 86% del total declarado y 28.750 kilogramos de R22, 8%. Las proporciones en recarga son 84% de R717 y 12% de R22, y en almacenamiento 87% de R717 y 9% de R22. La recarga corresponde al promedio anual en el período 2013 al 2015 y el almacenamiento en bodega al volumen con el cual contaba la instalación al momento de ser encuestada.

Capítulo III Tabla 8. Volumen de refrigerantes

Refrigerante	Contenido	%	Recarga anual	%	Bodega	%
R22	28.760	8%	8.386	12%	3.690	9%
R134A	424	0%	52	0%	12	0%
R404A	564	0%	167	0%	176	0%
R507	7.979	2%	1.626	2%	904	2%
R717	294.169	86%	57.815	84%	34.480	87%
R410A	103	0%	1	0%	11	0%
Glicol	8.000	2%	500	1%	200	1%
R407	167	0%	26	0%	104	0%
Total	340.166	100%	68.573	100%	39.576	100%

A continuación, se presenta la distribución de refrigerantes por rubro, siendo el R717 el de mayor volumen en todos los rubros.

Capítulo III Tabla 9. Volumen de refrigerantes contenido en el sistema (kg) por rubro

Refrigerante en el sistema	Congelados	Conservas	Jugos y/o pulpas	Fruta fresca	Deshidratados	Otros	Total
R22	11.446		3.348	13.916	50		28.760
R134A			409		15		424
R404A	485		13	66			564
R507	5.984		234	1.665	96		7.979
R717	129.517	7.200	22.852	91.100	20.000	23.500	294.169
R410A					50		103
Glicol				8.000			8.000
R407			167				167
Total	147.432	7.200	27.076	114.747	20.211	23.500	340.166

Capítulo III Tabla 10. Recarga de refrigerantes (kg) por rubro

Recarga de refrigerante	Congelados	Conservas	Jugos y/o pulpas	Fruta fresca	Deshidratados	Otros	Total
R22	3.230		1.499	3.657	-		8.386
R134A			52		-		52
R404A	132		35				167
R507	813		26	688	99		1.626
R717	37.925	200	5.147	11.542	1.000	2.000	57.814
R410A			-		1		1
Glicol				500			500
R407			26				26
Total	42.100	200	6.785	16.387	1.100	2.000	68.573

Capítulo III Tabla 11. Volumen de refrigerantes (kg) almacenado en bodega por rubro

Refrigerante en bodega	Congelados	Conservas	Jugos y/o pulpas	Fruta fresca	Deshidratados	Otros	Total
R22	2.365		458	867	-		3.690
R134A			-	12	-		12
R404A	132		-	44			176
R507	618		104	152	30		904
R717	25.480	100	-	8.900	-	-	34.480
R410A			-		11		11
Glicol				200			200
R407			104				104
Total	28.594	100	666	10.175	41	-	39.576

Por otra parte, a continuación se presenta la distribución de refrigerantes según la capacidad de refrigeración expresada en kcal/h. Según la tabla, en sistemas de baja capacidad, <42.992 kcal/h predomina el R507, de igual manera ocurre en sistemas de mediana capacidad, >42.992 - <85.985 kcal/h. Por otra parte, en sistema de alta capacidad de refrigeración, >85.985 kcal/h, el R717 es el refrigerante de mayor uso.

Capítulo III Tabla 12. Unidades de refrigeración y capacidad de refrigeración por refrigerante

Refrigerante	<42.992 kcal/h			>42.992 - <85.985 kcal/h			>85.985 kcal/h		
	U.F. ³⁵	Kg	kcal/h	U.F.	Kg	kcal/h	U.F.	Kg	kcal/h
R22	6	472	142.030	3	330	174.000	22	19.155	8.915.506
R134A	4	15,2	32.800				2	244	489.000
R404A	1	140	42.000	1	100	47.900	2	251	350.000
R507	11	436	266.670	7	827	425.240	10	3.951	1.874.730
R717	2	600	990				54	276.869	65.183.488
R410A				1	50	50.000	-		-
Glicol							1	8.000	650.000
R407							1	50	240.000
Total	24	1.663	484.490	12	1.307	697.140	92	308.520	77.702.724

Por otra parte, al analizar el tamaño de las unidades de refrigeración según la cantidad de refrigerante contenido en el sistema, se identifica que: en unidades pequeñas, menores a 500 kg de refrigerante, predominan el R22 y R507; en unidades medianas, mayores a 500 y menores a 3.500 kg de refrigerantes, el R507 es el refrigerante utilizado con mayor frecuencia; mientras que en unidades grandes, mayores a 3.500 kg de refrigerante, el R717 es el refrigerante más utilizado.

³⁵ Unidades Frigoríficas

Capítulo III Tabla 13. Unidades de refrigeración por tamaño en Kg y por refrigerante

Refrigerante	<500 Kg		>500 - <3.500 kg		>3.500 kg	
	U.F.	Kg	U.F.	Kg	U.F.	Kg
R22	33	3.646	15	15.614	2	9.500
R134A	18	424				
R404A	6	564				
R507	29	3.489	5	4.490		
R717	5	1.660	22	43.346	32	249.163
R410A	2	103				
Glicol					1	8.000
R407	10	167				
Total	103	10.053	42	63.450	35	266.663

2.5. Potencia

Las empresas declaran la potencia eléctrica de las centrales y unidades frigoríficas. En la tabla siguiente, se consolidan los datos por cada uno de los refrigerantes declarados. Los resultados indican que el 70% de la potencia eléctrica está asociado a unidades que utilizan R717 como gas refrigerante, seguido por R22 que representa el 19%. En la tabla se identifica también el promedio de potencia eléctrica por central o unidad frigorífica.

Capítulo III Tabla 14. Potencia asociada a las unidades frigoríficas

Refrigerante	Potencia en kW	%	Número de unidades	Promedio por central o unidad frigorífica (kW/unidad frigorífica)
Glicol	280	0,54%	1	280
R717	36.307	70,30%	70	519
R507	4.400	8,52%	42	105
R410A	25	0,05%	2	13
R404A	445	0,86%	10	44
R134A	189	0,37%	20	9
R22	10.000	19,36%	62	161
Total	51.647	100%	207	

Al analizar la potencia instalada por rubro, tal como se presenta en la siguiente tabla, se evidencia que el sector congelado concentra el 56%, fruta fresca el 26% y un 10% jugos y/o pulpas.

Capítulo III Tabla 15. Potencia asociada a las unidades frigoríficas por rubro

Refrigerante	Congelados		Conservas		Jugos y/o pulpas		Fruta fresca		Deshidratados		Otros	
	U.F.	kW	U.F.	kW	U.F.	kW	U.F.	kW	U.F.	kW	U.F.	kW
Glicol							1	280				
R717	30	19.307	9	1.122	8	2.790	17	7.519	2	1.720	3	1.920
R507	23	2.444			1	225	6	443	8	767		
R410A									1	25		
R404A	5	213					2	82				
R134A					14	121			4	38		
R22	22	5.154			16	1.321	17	2.271	1	4,5		
R407					2	237						
Total	80	27.118	9	1.122	41	4.694	43	10.595	16	2.555	3	1.920
%		56%		2%		10%		23%		5%		4%

Por otra parte, en la siguiente tabla se presenta la potencia asociada a cada uno de los refrigerantes según la capacidad de refrigeración, evidenciándose que, en sistemas de baja capacidad de refrigeración, menor a 42.992 kcal/h, la mayor potencia se encuentra asociada a R507. Para sistemas de mediana capacidad de refrigeración, entre 42.992 y 85.985 kcal/h, la mayor potencia también corresponde a R507, mientras que, en sistemas de alta capacidad de refrigeración, mayor a 85.985 kcal/h, la mayor potencia corresponde al refrigerante R717. La potencia asociada a los refrigerantes según tamaño de las unidades de refrigeración en kilogramos se distribuye de igual forma, siendo el R507 el refrigerante que acumula la mayor potencia en unidades pequeñas, menores a 500 kg por unidad de refrigeración, y en unidades medianas, mayores a 500 y menores a 3.500 kg, mientras que en unidades grandes, mayores a 3.500 kg, la mayor potencia se asocia a R717.

Capítulo III Tabla 16. Potencia de las unidades frigoríficas según capacidad del sistema de refrigeración

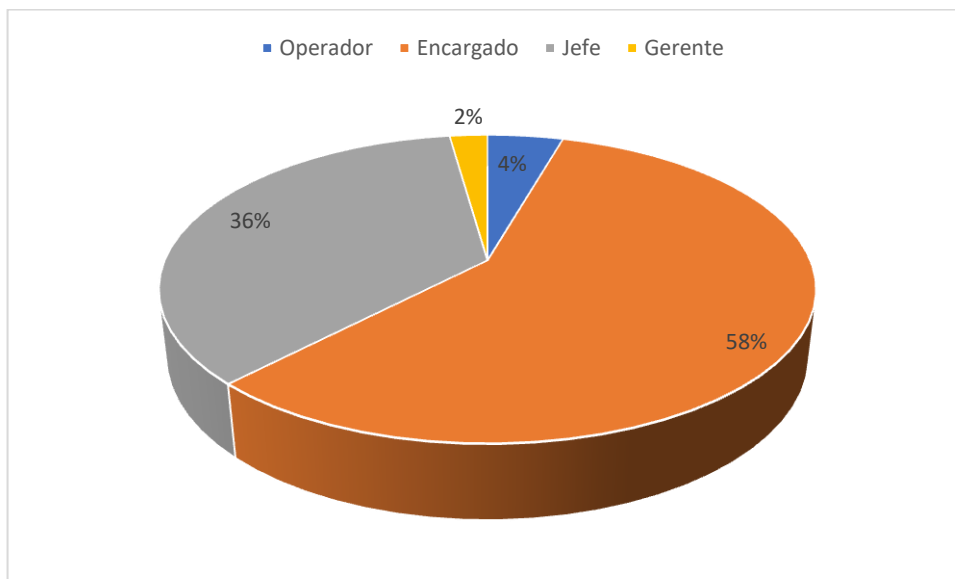
Refrigerante	<42992 kcal/h		>42.992 - <85.985 kcal/h		>85.985 kcal/h	
	U.F.	kW	U.F.	kW	U.F.	kW
Glicol					1	280
R717	2	331	1	1	54	34.638
R507	11	675	7	421	10	1.684
R410A			1	25		
R404A	1	134	1	56	2	202
R134A	4	38			2	30
R22	6	204	3	171	22	5.021
R407					1	125
Total	24	1.382	13	674	92	41.980

Capítulo III Tabla 17. Potencia de las unidades frigoríficas según tamaño

Refrigerante	<500 kg		>500 - <3.500 kg		>3.500 kg	
	U.F.	kW	U.F.	kW	U.F.	kW
Glicol					1	280
R717	5	1.094	21	1	32	27.754
R507	29	2.911	5	421		
R410A	1	25		25		
R404A	5	414		56		
R134A	17	189				
R22	30	4.313	15	171	2	595
R407	2	237				
Total	89	9.183	41	674	35	28.629

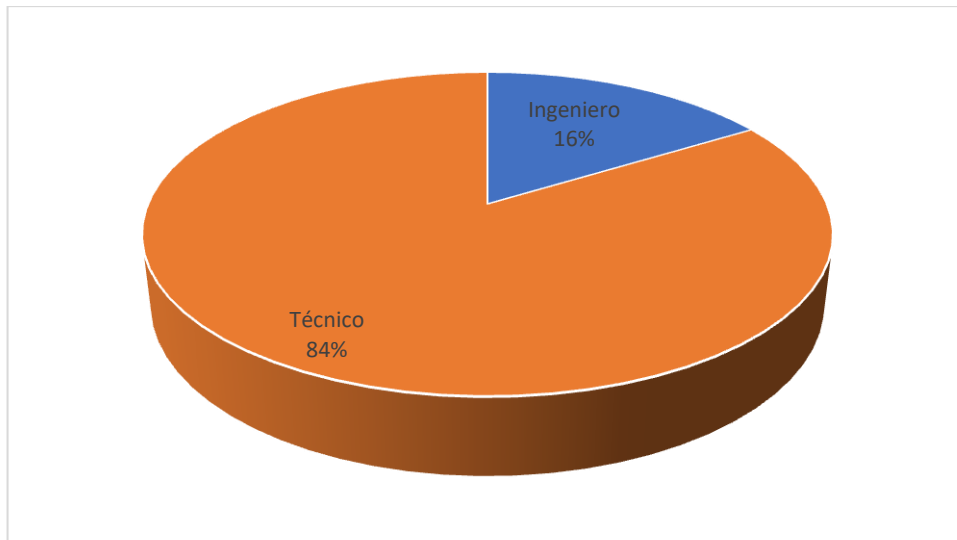
2.6. Calificación del personal

A nivel de la primera línea de responsabilidad de los sistemas de refrigeración, las empresas han definido los siguientes cargos, a los cuales se asigna la responsabilidad. Ante esto, en el 58% de las empresas se ha designado un encargado, el 36% de las empresas ha definido la responsabilidad interna en una jefatura, y en menor proporción se identifican gerentes y operadores, como responsables de las unidades o centrales frigoríficas.



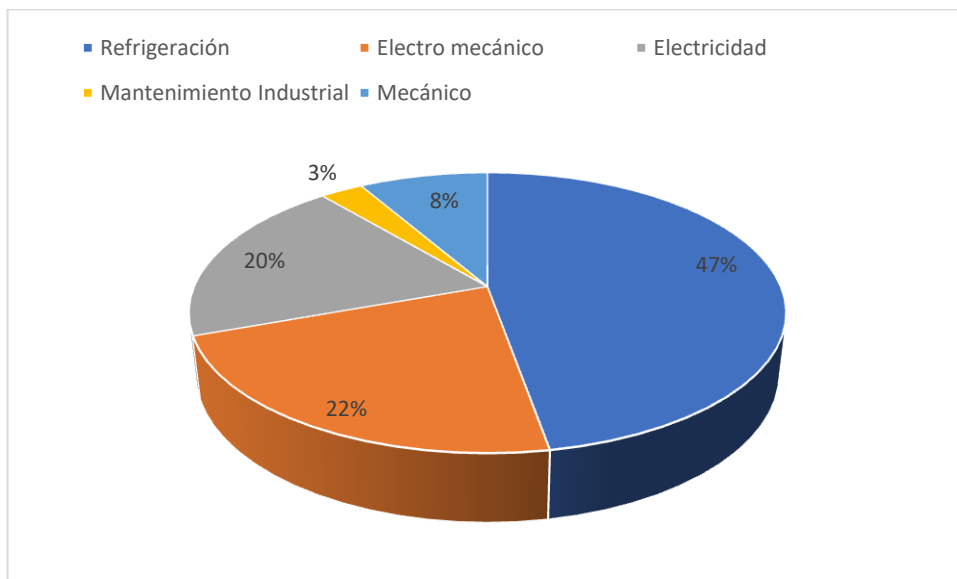
Capítulo III Gráfico 12. Cargos asignados a los sistemas de refrigeración

Tal como se evidencia en el siguiente gráfico, en el 84% de los casos los responsables de los sistemas de refrigeración corresponden a personas de nivel técnico, mientras que en el 16% son profesionales de las áreas de la ingeniería mecánica, eléctrica e industrial.



Capítulo III Gráfico 13. Formación del personal a cargo de los sistemas de refrigeración

A nivel técnico, en 47% de los casos estos cuentan con la especialidad de refrigeración, luego, con un 22% de representación se encuentra la especialidad electro mecánica, en 20% de los casos electricidad y en una menor proporción las especialidades mecánicas y de mantenimiento industrial.



Capítulo III Gráfico 14. Distribución de las especialidades técnicas

2.7. Emisiones de gases de efecto invernadero

Las emisiones de gases de efecto invernadero son la principal causa del cambio climático y están siendo reguladas en todo el mundo, por lo que resulta muy importante cuantificarlas, y tomar medidas para disminuirlas. Las emisiones son clasificadas como indirectas o directas.

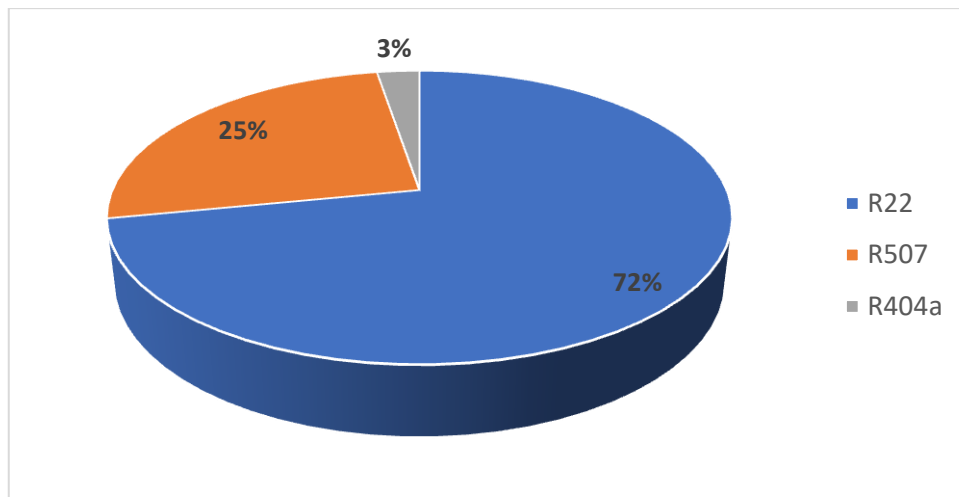
Las emisiones indirectas son emisiones que ocurren desde fuentes cuya propiedad o control corresponde a otra organización, como por ejemplo las procedentes del consumo de electricidad, consumo de papel, transporte público, etc.

Las emisiones directas son aquellas emisiones procedentes de fuentes donde se tiene propiedad o control como por ejemplo las procedentes del consumo de combustible, transporte privado y especialmente para el presente proyecto, el uso de gases refrigerante con potencial de calentamiento global, como son los: R22, R507, R404A y R134A, identificados como los más utilizados.

En este caso, las emisiones se producen por las pérdidas de gases refrigerantes, lo cual se contabiliza en las empresas con las recargas anuales. Las empresas reportan en la encuesta los volúmenes de recarga anual, estos son presentados en la siguiente tabla como CO₂e. Los resultados indican 21.184 toneladas de CO₂e con la información del último año, de los cuales el 72% corresponde a R22 y 25% corresponde a R507.

Capítulo III Tabla 18. Cálculo de emisiones por pérdidas de refrigerantes

Gases Refrigerantes	Ton/año	Unidad	Factor de emisión/Unidad	Toneladas de CO ₂ e	Porcentaje
R717	57,82	t CO ₂ /t NH ₃	0	-	0%
R22	8,39	t CO ₂ e/t Freón22	1.810	15.186	72%
R134a	0,05	t CO ₂ e/t HFC-134a	1.300	65	0%
R507	1,63	t CO ₂ e/t R507	3.300	5.379	25%
R404a	0,17	t CO ₂ e/t R404a	3.260	554	3%
Total				21.184	100%



Capítulo III Gráfico 15. Emisiones de CO₂e por reposición de gases refrigerantes

2.8. Potencial de agotamiento de la capa de ozono

Las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) son sustancias químicas que tienen el potencial de reaccionar con las moléculas de ozono de la estratosfera. El poder destructivo de estas sustancias es enorme porque reaccionan con las moléculas de ozono en una reacción fotoquímica en cadena. Una vez destruida una molécula de ozono, la SAO está disponible para destruir otras más.

La duración de la vida destructiva de una SAO puede extenderse entre los 100 y 400 años, dependiendo del tipo de SAO. Por consiguiente, una molécula de SAO puede destruir cientos de miles de moléculas de ozono.

Del levantamiento de información de las encuestas se identificó sólo al refrigerante R22 como gas con potencial de agotamiento de la capa de ozono (PAO). El resto de los gases declarados para el proceso industrial no presentan PAO.

Capítulo III Tabla 19. Potencial de agotamiento de la capa de ozono (PAO)

Gases Refrigerantes	Ton/año	PAO	Ton Oz ³⁶
R717	57,82	0	0
R22	8,39	0,055	0,46
R134a	0,05	0	0
R507	1,63	0	0
R404a	0,17	0	0

³⁶ Toneladas de potencial de agotamiento del ozono

2.9. Conclusiones de las encuestas

Respecto a los refrigerantes más utilizados se concluye que: el de mayor presencia es el R717 con 294.169 kg, equivalente al 86% del total declarado; luego, se encuentra el R22 con 28.750 kg, equivalente al 8% del total. En recarga el refrigerante de mayor presencia es el R717 con 57.815 kg, equivalente al 84% del total recargado y en segundo lugar, el R22 con 8.386 kg, equivalente al 12%. En almacenamiento el 87% corresponde a R717 y 9% a R22.

Por rubro, en congelados, el refrigerante de mayor uso es el R717 con 129.517 kg, lo que representa el 88%, luego se encuentra el R22 con 11.446 kg y 8% del total; conservas, exclusivamente utiliza R717 con 7.200 kg; jugos y/o pulpas, el principal es el R717 con 22.856 kg, equivalente al 84%, luego se encuentra el R22 con 3.348 kg, con un 12% del total; fruta fresca, el R717 es el más usado con 91.100 kg, con un 79% del total, y R22 con 13.916 kg, con un 12% del total; y en deshidratados, el más utilizado es el R717 con 20.000 kilogramos, que corresponde al 99%.

Según capacidad de refrigeración, establecida en “NCh 3241 - 2011 Buenas Prácticas de Refrigeración”, en sistemas de baja capacidad de refrigeración, menor a 42.992 kcal/h, la mayor potencia se encuentra asociada a R507. Para sistemas de mediana capacidad de refrigeración, entre 42.992 y 85.985 kcal/h, la mayor potencia también corresponde a R507, mientras que, en sistemas de alta capacidad de refrigeración, mayor a 85.985 kcal/h, la mayor potencia corresponde al refrigerante R717.

La potencia asociada a los refrigerantes según tamaño de las unidades de refrigeración en kilogramos se distribuye de igual forma, siendo el R507 el refrigerante que acumula la mayor potencia en unidades pequeñas, menores a 500 kg por unidad de refrigeración, y en unidades medianas, mayores a 500 kg y menores a 3.500 kg, mientras que en unidades grandes, mayores a 3.500 kg, la mayor potencia se asocia a R717.

Las unidades frigoríficas predominantes corresponden a salas de máquinas (SADEMA), con una presencia del 63% y en segundo lugar se encuentran las unidades independientes con un 28%.

Respecto a la calificación del personal encargado de las unidades de refrigeración, el 84% de los casos los responsables corresponden a personas de nivel técnico, mientras que el 16% corresponde a profesionales de las áreas de la ingeniería mecánica, eléctrica e industrial. A nivel técnico, en el 47% de los casos estos cuentan con la especialidad de refrigeración, en el 22% se encuentra la especialidad electro mecánica, en el 20% de los casos electricidad y en una menor proporción las especialidades mecánicas y de mantenimiento industrial.

Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, se producen por las pérdidas o fugas de gases refrigerantes, lo cual se contabiliza en las empresas con las recargas anuales. Las empresas reportan en la encuesta los volúmenes de recarga anual, equivalentes a 21.184 toneladas de CO₂e, de los cuales el 72% corresponde a R22 y 25% corresponde a R507.

IV. Actividades Realizadas

Aparte de las actividades correspondientes a la confección, seguimiento y procesamiento de encuestas, confección de reportes, confección de informes referidos al avance de encuestas, se realizaron 3 talleres de inicio y 3 talleres de término del proyecto, se confeccionó y modificó un Plan de Trabajo y el Jefe de Proyecto de Chilealimentos participó como expositor en un seminario organizado por ONUDI.

A continuación, se presentan las actividades realizadas:

1. Talleres y actividades de inicio

Se realizaron 3 talleres de inicio, en los que se presentó el proyecto y su alcance y se contó con la activa participación de los organismos públicos e internacionales que apoyan y patrocinan la iniciativa, representantes de la ONUDI, la Unidad de Ozono del Ministerio de Medio Ambiente y de la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático. Cada actividad fue conducida por el Jefe de Proyecto de Chilealimentos con el apoyo del equipo de proyecto en la presentación de la encuesta y en las rondas de preguntas.

Previo al Taller realizado en Buin, el 25 de Octubre de 2016, se realizó una reunión de coordinación con la participación del Sr. Andrés Celave de ONUDI, de los profesionales Sras. Claudia Paratori y Lorena Alarcón y Sr. Germán Fuentes de la Unidad de Ozono del Ministerio de Medio Ambiente; el Sr. Guillermo González, Gerente General de Chilealimentos; Sra. Carolina Chávez, profesional del proyecto y Sr. Carlos Descourviers, Jefe de Proyecto. Ver Anexo 2.

Luego, el 26 de Octubre de 2016, se realizaron 2 visitas a terreno con la participación de Andrés Celave, Lorena Alarcón, Germán Fuentes y Carlos Descourviers, a las plantas de Alimentos y Frutos S.A. (Alifrut) y Frutícola San Fernando (Frusan), ambas en San Fernando. Para ello se contó con el apoyo del Gerente de Operaciones, Sr. Rodrigo Fernández y personal técnico, de Alifrut, y de los Sres. Manuel Anativia, Jefe de Planta y Luis Villanueva Jefe SADEMA, de Frusan. Ver Anexo 3.

Se describen los tres talleres a continuación:

Taller Región Metropolitana - Buin

Lugar: Auditorio ACHS, Carlos Condell 755, Buin

Fecha: 27 de octubre de 2016.

Para este taller se elaboró una invitación, se desarrolló un programa, confeccionó una lista de asistencia y se tomaron fotografías. Ver Anexos 4, 5, 6 y 7, respectivamente.

En el taller de Buin, ONUDI fue representada por el Sr. Andrés Celave, quien presentó el proyecto; la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático fue representada por la Sra. Johanna Guzmán, quien presentó las metas y objetivos del APL III y la Unidad de Ozono del Ministerio de Medio Ambiente, por su consultor técnico Sr. Germán Fuentes, quien presentó el “Estudio de Mercado y posibles alternativas de refrigerantes”

Taller Región del Maule - Talca

Lugar: Centro de Eventos Lircay, 19 Norte 1665, Talca.

Fecha: 14 de diciembre de 2016.

Para este taller se elaboró una invitación, se desarrolló un programa, confeccionó una lista de asistencia y se tomaron fotografías. Ver Anexos 8, 9, 10 y 11, respectivamente.

En el taller de Talca, ONUDI fue representada por el Sr. Guillermo Castellá, quien presentó el proyecto; la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático fue representada por la Sra. Johanna Guzmán, quien presentó las metas y objetivos del APL III y la Unidad de Ozono del Ministerio de Medio Ambiente, por su consultor técnico Sr. Germán Fuentes, quien presentó el “Estudio de Mercado y posibles alternativas de refrigerantes”

Taller Región de Valparaíso - San Felipe

Lugar: La Trattoria Restaurant, Calle Arturo Prat 1091 esquina Toro Mazote, San Felipe.

Fecha: 17 de enero de 2017.

Para este taller se elaboró una invitación, se desarrolló un programa, confeccionó una lista de asistencia y se tomaron fotografías. Ver Anexos 12, 13, 14 y 15, respectivamente.

En el taller de San Felipe, el Proyecto fue presentado por la señorita Lorena Alarcón; la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático fue representada por el Sr. Ambrosio Yobánolo, quien presentó las metas y objetivos del APL III y la Unidad de Ozono del Ministerio de Medio Ambiente, por su consultor técnico Sr. Germán Fuentes, quien presentó el “Estudio de Mercado y posibles alternativas de refrigerantes”

2. Talleres de término

Se realizaron 3 talleres de término, en los que se presentó, entre otros:

- Objetivos del proyecto
- Resultados de las encuestas aplicadas a las instalaciones
- Uso de gases refrigerantes

- Propuestas de líneas de acción
- Sistemas CO2 brine, CO2 subcrítico y transcrito
- Eficiencia Energética
- Regeneración de gases refrigerantes

Se contó con la activa participación de representantes de la Unidad de Ozono del Ministerio de Medio Ambiente y de expertos en tecnologías de refrigeración y regeneración de gases refrigerantes. Cada actividad fue conducida por el Jefe de Proyecto de Chilealimentos con el apoyo del equipo de proyecto. Para estos talleres se confeccionó una invitación (Anexo 16), un programa (Anexo 17), registros de asistencia (Anexos 18, 20 y 22) y fotográfico (Anexos 19, 21 y 23).

A continuación se describen los tres talleres de término:

Taller Región del Maule - Talca

Lugar: Planta Sugal Chile, Camino San Clemente, Km 3, Talca.

Fecha: 23 de Agosto de 2017.

En el taller de Talca, Chilealimentos fue representado por el Sr. Carlos Descourvières G., quien expuso los resultados del proyecto; la empresa proveedora de tecnología Portán, fue representada por el Sr. Pier Zecchetto, quien expuso el tema relacionado con CO2 subcrítico y transcrito; la empresa proveedora de tecnología Mayekawa, fue representada por el Sr. Mauricio Sánchez, quien expuso el tema relacionado con Sistema CO2 brine y Eficiencia Energética; la empresa Regener Chile, fue representada por el Sr. José Luis Rojas, quien expuso acerca de la regeneración de gases refrigerantes. Además, se contó con la activa participación de la Unidad de Ozono del Ministerio de Medio Ambiente, representada por su consultor técnico Sr. Germán Fuentes, especialmente en la aclaración de los temas relacionados con el calendario de reducción de HCFC y pilotos que se realizarían, ya sea para la reconversión de gases refrigerantes, como para mejorar la eficiencia de sistemas de refrigeración en uso.

Taller Región Metropolitana - Buin

Lugar: Carlos Condell 755, Buin

Fecha: 25 de Agosto de 2017.

En el taller de Buin, Chilealimentos fue representado por el Sr. Carlos Descourvières G., quien expuso los resultados del proyecto; la empresa proveedora de tecnología Portán, fue representada por el Sr. Pier Zecchetto, quien expuso el tema relacionado con CO2 subcrítico y transcrito; la empresa proveedora de tecnología Mayekawa, fue representada por el Sr. Mauricio Sánchez, quien expuso el tema relacionado con Sistema CO2 brine y Eficiencia Energética; la empresa Regener Chile, fue representada por el Sr. José Luis Rojas, quien expuso acerca de la regeneración de gases refrigerantes. Además, se contó con la activa participación de la Unidad de Ozono del Ministerio de Medio Ambiente,

representada por su Coordinadora, Sra. Claudia Paratori, especialmente en la aclaración de los temas relacionados con el calendario de reducción de HCFC y pilotos que se realizarían, ya sea para la reconversión de gases refrigerantes, como para mejorar la eficiencia de sistemas de refrigeración en uso.

Taller Región del Bío Bío - Chillán

Lugar: Hotel Isabel Riquelme, Constitución 576, Chillán.

Fecha: 30 de Agosto de 2017.

En el taller de Chillán, Chilealimentos fue representado por el Sr. Carlos Descourvières G., quien expuso los resultados del proyecto; la empresa proveedora de tecnología Portán, fue representada por el Sr. Pier Zecchetto, quien expuso el tema relacionado con CO2 subcrítico y transcrito; la empresa proveedora de tecnología Mayekawa, fue representada por el Sr. Mauricio Sánchez, quien expuso el tema relacionado con Sistema CO2 brine y Eficiencia Energética; la empresa Regener Chile, cuya presentación acerca de la regeneración de gases refrigerantes la realizó la Unidad de Ozono del Ministerio de Medio Ambiente, representada por su consultor técnico Sr. Germán Fuentes, quien además tuvo una activa participación, especialmente en la aclaración de los temas relacionados con el calendario de reducción de HCFC y pilotos que se realizarían, ya sea para la reconversión de gases refrigerantes, como para mejorar la eficiencia de sistemas de refrigeración en uso.

Seminario Santiago

Lugar: Salón Corfo.

Fecha: 25 de julio de 2017.

En seminario organizado por Onudi y con el apoyo de la Unidad de Ozono del Ministerio de Medio Ambiente y de la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático, correspondió a Chilealimentos, representado por el Sr. Carlos Descourvières G., exponer acerca de los resultados parciales de las encuestas procesadas. Ver fotos en Anexo 24.

3. Plan de trabajo

El proyecto contempla cuatro informes, el primero de ellos correspondió al plan de trabajo, documento mediante el cual se realizó una descripción de las actividades para lograr los objetivos y entregables, se establecieron los plazos para su ejecución y se confirmó el equipo del proyecto. Esta actividad estuvo a cargo del Jefe de Proyecto de Chilealimentos con la revisión ONUDI, la Unidad Ozono del Ministerio del Medio Ambiente y la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático.

Fue necesario modificar los plazos del proyecto, considerando que uno de los principales componentes consistía en el levantamiento de información en instalaciones de la industria de frutas y hortalizas procesadas, dado que a pesar de haber contactado al menos a 350 instalaciones vía correo electrónico,

seguimiento telefónico y visitas personalizadas, percibimos que el tema en cuestión no es prioritario de responder por parte de los respectivos encargados de las empresas, ya sea por desconocimiento del tema, por no visualizar una ventaja desde el punto de vista económico o técnico o por la extensión de la misma encuesta, lo cual se traduce en la no respuesta a ella o en lentitud en hacerlo. También el período en que se solicitó la información coincidió con la época peak de producción del sector, siendo esto último la prioridad del personal a cargo de responder. Además, con feriados de Pascua y Año Nuevo y época de vacaciones en Chile.

Se adjunta Plan de Trabajo modificado como Anexo 25

V. Conclusiones

Hoy en día existen diversas opciones de refrigerantes para reemplazar los HFC en el sector chileno de frutas y verduras procesadas, estos son el amoníaco solo o en combinación con CO₂ como refrigerante secundario, con un PCG nulo y unitario, respectivamente. Los requisitos impuestos al refrigerante son numerosos: no inflamable, no tóxico, respetuoso con el medio ambiente, buenas propiedades termodinámicas, bajo costo de adquisición, etc., sin embargo, no existe ninguna alternativa que cumpla todos ellos a la vez, por lo que debe analizarse caso a caso la configuración de sistema más apropiada para lograr los mejores niveles de desempeño en cada ámbito mencionado.

Las actuales opciones tecnológicas disponibles para implementarse en el sector chileno de frutas y hortalizas procesadas, que presentan mejores resultados en desempeño energético y PCG nulo, corresponden a aquellos sistemas que usan amoníaco, uno de los refrigerantes más eficientes que habitualmente se usan para aplicaciones de alta y baja temperatura, no obstante, debido a sus características de peligrosidad a la salud, se puede considerar opciones que lo dejen confinado a la sala de máquinas y hagan circular por la zona de baja temperatura CO₂, otro refrigerante natural con propiedades termodinámicas de buen nivel. Estas opciones son los sistemas de NH₃/CO₂ en cascada, muy eficientes para aplicaciones para bajas y muy bajas temperaturas, y los sistemas de NH₃/CO₂ Brine (como salmuera) más eficientes que los que usan glicoles como refrigerante secundario.

Luego, dado lo anterior, se proponen las siguientes líneas de acción para la reducción de emisiones:

- Evitar el uso de gases fluorados (HCFC y HFC), implementando sistemas con refrigerantes naturales NH₃ o NH₃ con CO₂ como refrigerante secundario (salmuera).
- Reemplazo por refrigerantes naturales NH₃, NH₃/glicoles o NH₃/CO₂ y reconversión tecnológica correspondiente.
- Implementar buenas prácticas y sistemas de control para evitar fugas de refrigerante.

VI. Fuentes de información utilizadas

- Agencia Chilena de Eficiencia Energética, Guía para la Calificación de Consultores en Eficiencia Energética, AChEE, www.acee.cl
- ASHRAE, 2009. Natural refrigerants, approved by American society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) Board of Directors January 28, 2009. Reaffirmed by ASHRAE Board of Directors July 21, 2011.
- Alessandro da Silva São Paulo et al., 2014. Una visión general de la experiencia obtenida en la aplicación de CO₂ en refrigeración de supermercados en Brasil. Alessandro da Silva São Paulo, Marcos Euzebio Bitzer Compressores São Paulo, Brasil. Technical Papers 36th Annual Meeting International Institute of Ammonia Refrigeration March 23–26, 2014.
- Danfoss, 2017. De los HFC/HCFC al amoníaco en la refrigeración industrial. Una guía breve sobre el cambio al amoníaco. www.danfoss.com/IR-tools.
- EIA 2016. Environmental Investigation Agency, Briefing to the 22nd Conference of the Parties (CoP22) to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) November 7-18, 2016, Marrakech, Morocc.
- IIAR, 2013. Natural refrigerants in developing countries. Risto Ciconkov University “Ss. Cyril and Methodius”, Faculty of Mechanical Engineering, Skopje, Macedoni. Viena, 2013.
- Indura, 2016. HDS 1160000-AMONIACO_ANHIDRO (NH3). Indura
- IPCC, 2013, Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.)
- Joaquín Navarro-Esbrí et al., 2014. Análisis basado en el reglamento (UE) No 517/2014. Del R448 A como fluido de bajo PCG alternativo al R-404A. Adrián Mota-Babiloni, Joaquín Navarro-Esbrí, Ángel Barragán-Cervera, Francisco Molés, Bernardo Peris, y Gumersindo Verdúa (pertenecientes al Grupo de Investigación ISTENER. Departamento de Ingeniería y Construcción Mecánica de la Universidad Jaime I de Castellón). D. Adrián Mota-Babiloni. Esta ponencia fue presentada durante las Jornadas Técnicas de CIAR 2015
- Linde, 2017. R744 Un refrigerante natural de alta calidad, Linde Group. Abelló Linde, S.A. Bailén 105, 08009 Barcelona, España Teléfono +34.902.426.462, Fax+34.902.181.078, www.linde-gas.es, ccenternordeste@es.linde-gas.com
- MINSAL, 2016. Reglamento Sobre Condiciones De Seguridad En Los Sistemas De Refrigeración Con Amoniaco. Documento para consulta pública-105 09 16. Ministerio de Salud.
- MMA, 2014. Informe Final Elaboración de Inventario Nacional de Cámaras Frigoríficas y Grandes Superficies Refrigeradas y/o Climatizadas Con SAO y HFC. ATS Energía para Ministerio del Medioambiente, 2014.
- MMA, 2015. Proyecto HPMP – ONUDI / Preparación Fase II” ONUDI – MMA. Informe: “Centros Educativos que Imparten Carreras Relacionadas con los Sectores de Refrigeración y

Climatización” División de Calidad del Aire y Cambio Climático, Noviembre, 2015.

- MMA, 2016. Plan de gestión para la eliminación de HCFC en Chile al 2020 (HPMP fase II) Santiago, Chile, Enero 2016. Unidad Ozono del Ministerio del Medioambiente-PNUD-ONUDI-PNUMA (Actualizado a Junio de 2016)
- Office of Environment and Heritage. Guía “i am your industrial refrigeration guide”, Sydney, Australia, Junio 2017, www.environment.nsw.gov.au
- <https://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2008/01/el-standard-34-de-ashrae-nomenclatura-de-los-gases-refrigerantes>.
- UNEP, 2010. Manual for refrigeration servicing technicians - Copyright © United Nations Environment Programme 2010.