

2019

PROPUESTA DE DISEÑO DE EQUIPO DE RECUPERACION DE AGUA DE LA HUMEDAD AMBIENTAL

ESPEJO DURÁN, FELIPE ALFONSO

<https://hdl.handle.net/11673/47840>

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**PROPUESTA DE DISEÑO DE EQUIPO DE RECUPERACION DE AGUA DE
LA HUMEDAD AMBIENTAL**

Trabajo de Titulación para optar al
Título Profesional de Ingeniero de
Ejecución Mecánica de Procesos y
Mantenimiento Industrial

Alumno:

Felipe Espejo Durán

Profesor:

Alejandro Badilla Bello

RESUMEN

KEYWORDS: PRODUCCION DE AGUA, CRISIS HIDRICA EN LA PROVINCIA DE PETORCA, DESHUMIDIFICACION.

Este trabajo de título es una propuesta de diseño de un equipo de recuperación de agua de la humedad ambiental, en la en la comuna de La Ligua, región de Valparaíso. Su finalidad es entregar una alternativa de solución a la crisis hídrica que sufre la provincia.

El capítulo1 *El agua*, contiene información sobre la comuna de La Ligua y la propuesta de solución

El capítulo 2 *Marco teórico*, contiene información general sobre psicrometría, la refrigeración y el software EES.

El capítulo 3 *Cálculos y selección de componentes*, contiene las justificaciones teóricas para la selección de los componentes principales del equipo.

El capítulo 4 *Estimación de los costos de generación de agua*, presenta las comparaciones pertinentes para seleccionar un método de obtención de la energía para el equipo y las comparaciones de precio entre el agua generada y algunas alternativas presentes en la zona.

ÍNDICE

RESUMEN	
Índice	
SIGLAS Y SIMBOLOGÍA	
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
CAPÍTULO 1: EL AGUA	3
1. EL AGUA	4
1.1. Cambio climático	5
1.2. El agua en Chile	5
1.2.1. Consumo de agua en Chile	6
1.2.1.1. Recomendaciones de consumo	6
1.2.2. El agua en la provincia de Petorca	7
1.3. Datos climatológicos de la comuna de la Ligua	8
1.3.1. Temperatura	8
1.3.2. Humedad relativa del aire	12
1.4. Agua de condensación	12
1.5. Propuesta de solución	13
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	15
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1. Propiedades de sustancias puras	16
2.2. Psicrometría	17
2.2.1. Humedad específica y humedad relativa del aire	17
2.2.2. Temperatura del punto de rocío	18
2.2.3. Carta psicrométrica	18
2.2.4. Acondicionamiento de aire	19
2.2.4.1. Enfriamiento con deshumidificación	20
2.3. Refrigeración	21
2.3.1. Ciclo de refrigeración por compresión de vapor	22
2.3.1.1. Ciclo ideal	22
2.3.1.2. Ciclo real	22
2.3.1.3. Diferencia entre ciclo real e ideal, en cuanto a la compresión.	23
2.3.1.4. Esquema de un ciclo de refrigeración	23
2.3.1.5. Fórmulas y consideraciones	24
2.3.1.6. Sobrecalentamiento y subenfriamiento	27
2.3.2. COP	27
2.3.3. Refrigerante	27
2.3.3.1. Refrigeración comercial y aire acondicionado.	28
2.3.3.2. Regulaciones de los refrigerantes en el mundo	29
2.3.3.3. El R407c	30
2.3.3.4. Alternativas de refrigerantes.	31
2.3.3.5. Regulaciones de los refrigerantes en Chile	32
2.3.4. Normas para los refrigerantes	33
2.3.5. Compresores	33
2.3.6. Proceso de estrangulamiento	35
2.3.6.1. Dispositivos de expansión	36

2.4.	Transferencia de calor	37
2.4.1.	Calor	37
2.4.2.	Tipos de transferencia	37
2.4.3.	Convección	38
2.4.3.1.	Tipos de convección	38
2.4.4.	Intercambiadores de calor	39
2.5.	EES (Engineering Equation Solver)	40
CAPÍTULO 3: CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE COMPONENTES		47
3.	CÁLCULOS	48
3.1.	Condiciones iniciales	48
3.1.1.	Cálculos iniciales	48
3.1.2.	Propiedades de la mezcla de aire-vapor de agua, en la entrada del evaporador.	48
3.1.3.	Propiedades de la mezcla de aire-vapor de agua, en la salida del evaporador.	49
3.1.4.	Cálculos a partir de los litros agua seleccionados.	50
3.1.5.	Esquema del proceso de enfriamiento del aire.	51
3.1.6.	Cálculo ciclo de refrigeración por compresión de vapor.	52
3.1.7.	Propiedades del fluido refrigerante dentro del evaporador.	52
3.1.8.	Compresor	53
3.1.9.	Propiedades del fluido refrigerante dentro del condensador.	54
3.1.10.	Comparaciones de los refrigerantes	54
3.2.	Selección de componentes	55
3.2.1.	Compresor	55
3.2.2.	Evaporador	58
3.2.3.	Ventilador	59
3.2.4.	Condensador	59
3.2.5.	Válvula de expansión	60
3.2.6.	Refrigerante	62
3.3.	Diseño	64
CAPITULO 4: ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE GENERACIÓN DE AGUA		69
4.	COSTOS DE ENERGÍA PARA EL PROYECTO	70
4.1.	Costos y características del equipo	70
4.1.1.	Alimentación con generación a partir gasolina	71
4.1.2.	Alimentación con generación a partir de diésel	74
4.1.3.	Alimentación con generación solar	75
4.1.4.	Alimentación con la red eléctrica	77
4.2.	Comparación de los costes calculados	77
4.3.	Costos del agua en la comuna de la ligua	79
4.4.	Vida útil del equipo y de los sistemas de generaciÓn	80
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		82
BIBLIOGRAFÍA		83
ANEXOS		84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Jerarquía de las necesidades de agua.	7
Figura 2-1. Diagrama psicrométrico con los diferentes procesos de acondicionamiento de aire	20
Figura 2-2. Diagrama psicrométrico de un proceso de enfriamiento con deshumidificación.	20
Figura 2-3. Diagrama T-S de un ciclo real de refrigeración.	23
Figura 2-4. Diagrama de presión-entalpía de un ciclo de refrigeración	24
Figura 3-1. Esquema del equipo evaporador.	51

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1-1. Pronósticos por hora, durante los meses del año 2018, para La Liga.	11
Imagen 2-1. Esquema de un compresor alternativo	34
Imagen 2-2. Funcionamiento de un compresor scroll.	35
Imagen 2-3. Ventana de trabajo del software EES, con 3 variables expresadas.	41
Imagen 2-4. Botones para la verificación y resolución de ecuaciones.	41
Imagen 2-5. Variables en la ventana de trabajo.	42
Imagen 2-6. Ventana de chequeo de ecuaciones y variables.	42
Imagen 2-7. Ventana de resultados del proceso de cálculo.	43
Imagen 2-8. Ventana de información de variables.	43
Imagen 2-9. Ejemplo de generación de puntos para la creación de planos y gráficos.	44
Imagen 2-10. Tabla con los puntos calculados.	44
Imagen 2-11. Tabla las propiedades del plano.	45
Imagen 2-12. Ventana de propiedades de trazado.	45
Imagen 2-13. Ventana de propiedades de trazado.	46
Imagen 3-1. Ventana de selección de compresores con coolselector2.	56
Imagen 3-2. Ventana de selección de compresores con coolselector2.	56
Imagen 3-3. Selección de un compresor con el software select 8, de la empresa Emerson	57
Imagen 3-4. Selección de un compresor con el software select 8, de la empresa Emerson	57
Imagen 3-5. Datos de los posibles ventiladores que utiliza el equipo evaporador.	59
Imagen 3-6. Parámetros de selección de una válvula VET	61
Imagen 3-7. Parámetros de selección de una válvula VET y los resultados de la selección	61
Imagen 3-8. Vista en perspectiva del exterior del equipo.	64
Imagen 3-9. Vista Lateral y frontal del exterior del equipo	65
Imagen 3-10. Vistas del interior del equipo	66
Imagen 3-11. Vista explosiva del equipo, en perspectiva	67

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Resumen de los requisitos del nivel del servicio de agua para promover la salud.	6
Tabla 1-2. Datos de la estación meteorología.	8
Tabla 1-3. Compendio de pronóstico de temperaturas mínimas y máximas mensuales, de 30 años	9
Tabla 1-4. Pronósticos de temperaturas máximas y mínimas promedio del año 2018.	9
Tabla 1-5. Promedios de temperaturas obtenidos de la estación meteorológica durante el año 2018.	10
Tabla 1-6. Promedio de humedades relativas del año 2018.	12
Tabla 1-7. Datos iniciales	14
Tabla 2-1. Características de los refrigerantes.	30
Tabla 3-1: Valores calculados para las propiedades del compresor.	53
Tabla 3-2. Valores calculados para las propiedades del condensador.	54
Tabla 3-3. Tabla comparativa de refrigerantes R134a Y R407c.	54
Tabla 3-4. Especificaciones de los compresores seleccionados.	58
Tabla 3-5. Especificaciones del evaporador seleccionado	58
Tabla 3-6. Datos del condensador seleccionado	60
Tabla 4-1. Compresores seleccionados con el catálogo de Salvador Escoda.	70
Tabla 4-2. Datos del generador eléctrico cuya potencia es 2800 [W].	71
Tabla 4-3. Rectificación del consumo de gasolina con el generador de 2800 [W].	72
Tabla 4-4. Datos del generador eléctrico cuya potencia es 5500 [W].	72
Tabla 4-5. Rectificación del consumo de gasolina con el generador de 5500 [W].	73
Tabla 4-6. Costos asociados a la generación eléctrica a partir de bencina.	73
Tabla 4-7. Comparación entre valores de agua obtenida con la generación eléctrica a partir de bencina.	74
Tabla 4-8. Datos de generador diésel de 5500 [W].	74
Tabla 4-9. Rectificación del consumo de diésel con el generador de 5500 [W].	74
Tabla 4-10. Costos asociados a la generación eléctrica con diésel.	75
Tabla 4-11. Costos de los equipos de generación eléctrica con energía solar.	76
Tabla 4-12. Tarifas de la empresa CGE, cargo por energía	77
Tabla 4-13. Comparación de los costos por litro de agua y del coste inicial.	78
Tabla 4-14. Comparación de los costes de generación de cada método mencionado.	78
Tabla 4-15. Comparación de espacio y ruido del equipo más el método de generación de electricidad.	79
Tabla 4-16. Algunos cargos del agua potable en la comuna de la ligua	79
Tabla 4-17. Precios bidones de agua purificada, en Chile. Distribuidos por dos empresas de supermercados.	80

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIMBOLOGÍA

kPa	:	kilopascal
bar	:	bar
PSI	:	libra por pulgada cuadrada.
h	:	hora
min	:	minuto
s	:	segundo
W	:	watt
kW	:	kilowatts
kWh	:	kilowatt hora
A	:	ampere
Ah	:	ampere hora
m	:	metro
mm	:	milímetro
m ²	:	metro cuadrado
m ³	:	metro cúbico
l	:	litro
kg	:	kilogramo
mg	:	miligramo
meq	:	miliequivalentes
°C	:	Grados Celsius
K	:	kelvin
Kj	:	kilo joule

SIGLAS

ISO	:	International Organization for Standardization
NCH	:	Norma Chilena

ONU	:	Organización de las naciones unidas
OMS	:	Organización mundial de la salud
COP	:	Coefficient of performance
CFC	:	Clorofluorocarbonos
HCFC	:	Hidrocloro fluorocarburos
HFC	:	Hidrofluorocarburos
HFO	:	Hidrofluorolefinas
ODP	:	Ozone depletion potencial
PCA	:	Potencial de calentamiento atmosférico
VET	:	Válvula de expansión termostática
EES	:	Engineering equation solver
HSP	:	Hora solar pico
%	:	Porcentaje
\$:	Peso chileno
€	:	Euro
π	:	Pi

INTRODUCCIÓN

La crisis hídrica en la provincia de Petorca, es una realidad que afecta a la población y a la industria agrícola. La sequía en la zona, la sobre explotación del recurso, los derechos del agua y el cambio climático están causando problemas para abastecer del consumo óptimo a la población.

Como solución a esta problemática, se presenta una propuesta de diseño sobre un equipo que condensa la humedad ambiental. Este equipo debe producir 120 litros de agua al día como mínimo, para que una persona pueda tener un nivel óptimo del recurso. Para llevar a cabo esto, se seleccionan los componentes necesarios para construir un sistema de refrigeración en el cual se efectúa la condensación del vapor de agua contenida en la humedad ambiental. El fluido necesario para el proceso de refrigeración debe ser amigable con el medio ambiente, cumpliendo los estándares internacionales.

Se estiman los costos de producción de agua con el equipo, en base a varios métodos de generación eléctrica, con el fin de encontrar aquel que permita producir agua al más bajo costo.

OBJETIVOS

OBJETIVO PRINCIPAL

Proponer un equipo que permita suministrar el agua necesaria para que una persona pueda tener un nivel óptimo de consumo diario.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer la cantidad de agua necesaria para satisfacer el consumo óptimo diario de una persona.
- Seleccionar un refrigerante que este dentro de las regulaciones del país y que tenga mejores prestaciones para el equipo.
- Desarrollar los cálculos necesarios para seleccionar los componentes del equipo.
- Determinar el costo del agua generada por el equipo.

CAPÍTULO 1: EL AGUA

1. EL AGUA

En el universo y más específicamente en nuestro sistema solar, el agua se encuentra en forma de gas o hielo, pero en nuestro planeta el agua es comúnmente una sustancia líquida que recubre el 71% de la superficie. El 97% de ésta se encuentra en los mares y es salada. El 3% restante es agua dulce que se encuentra distribuida de la siguiente forma:

- Hielos y glaciares: 2%
- Otros: 0,5%
- Agua subterránea: 0,496%
- Lagos y ríos: 0,003%
- Atmósfera: 0,001%

Solo un tercio del agua dulce se encuentra en estado líquido. En relación al uso que se le da al agua dulce, se estima que un 70% se destina a la agricultura, un 20% a la industria y solo un 10% al consumo humano.

El agua es un líquido incoloro, inodoro e insípido, que en grandes masas adquiere un color azul. Está compuesta por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno, a través de un enlace covalente. Presenta gran estabilidad y se utiliza como solvente universal.

En el ciclo hidrológico, también llamado ciclo del agua, la energía proveniente del sol calienta el agua de los océanos, una porción se evapora y asciende lo que provoca una condensación que genera las nubes. El 90% del agua que participa del ciclo hidrológico proviene de los océanos, pero solo un 10% llega a tierra producto de los flujos de aire, el resto vuelve al océano. La transpiración de los seres vivos aporta el 10% restante del agua del ciclo. Del vapor de agua que llega a tierra, una parte se transforma en precipitaciones y otra porción llega a convertirse en hielo, que en el verano se transforma en líquido y se desplaza hacia las napas subterráneas y afluentes.

Este ciclo se puede explicar a través de la segunda ley de la termodinámica, ya que la masa de vapor de agua se desplaza hacia las zonas más frías o con menor calidad de energía. Todo esto para generar un equilibrio de energías.

1.1. CAMBIO CLIMÁTICO

Actualmente se pueden observar fenómenos extremos como inundaciones y sequías, que son atribuidas al aumento de la temperatura en el planeta, es decir, a un desequilibrio que ha sido generado directa o indirectamente por el ser humano. Dicho desequilibrio está provocando que se altere el ciclo del agua, por lo cual se alteran las precipitaciones en algunas regiones del planeta. Si se agrega que mucha del agua dulce que se encontraba en glaciares se está perdiendo por el deshielo de estos, se prevé una escasez de agua dulce a futuro.

Otro aspecto relacionado con el cambio climático es el aumento de población. Actualmente existen más de 7.000 millones de humanos, y se estima que en el año 2050 esa cifra alcance los 9.600 millones según estudios de la ONU. Esto agravará la crisis de un recurso que ya está siendo escaso en algunas regiones de nuestro país.

1.2. EL AGUA EN CHILE

Chile siendo un país extenso, cuenta con diferentes realidades en cuanto a la disponibilidad de agua. En el norte del país las precipitaciones son escasas, salvo fenómenos aislados que han sucedido en los últimos años. En el centro del país existen zonas que cuentan con el recurso y otras que se encuentran en sequía. En tanto en la zona sur, el recurso se encuentra en abundancia.

Otro problema que genera la escasez de agua, es producido por las políticas nacionales, *el Código de Aguas define el recurso como “bien nacional de uso público” y “bien económico” al mismo tiempo; y autoriza la privatización del agua a través de la concesión de derechos de uso gratuitamente y a perpetuidad. El derecho de uso se otorga a los particulares según las disposiciones establecidas en el Artículo 5 del mismo Código. En la legislación chilena, dicho derecho es un bien jurídico definido como un derecho real; es decir, un derecho que recae sobre las aguas y consiste en el uso y goce de ellas por parte del titular, con los requisitos y en conformidad a las reglas que prescribe el Código de Aguas (Art. 6) [7].*

1.2.1. Consumo de agua en Chile

Según el gobierno de Chile el consumo promedio en el país varía de 120 a 200 litros de agua al día por persona, y este se incrementa a 600 litros diarios en la zona oriente de la capital. [6]

1.2.1.1. Recomendaciones de consumo

La organización mundial de la salud (OMS), lista una cantidad de litros de agua que requiere una persona para cubrir sus necesidades e higiene, la cual está determinada por el acceso al suministro con el que la persona cuenta. A continuación, se muestra la tabla 1-1. que resume los requisitos en cuanto al consumo.

Nivel del servicio	Medición del acceso	Necesidades atendidas	Nivel del efecto en la salud
Sin acceso (cantidad recolectada generalmente menor de 5 l/r/d)	Más de 1.000 m ó 30 minutos de tiempo total de recolección	Consumo – no se puede garantizar Higiene – no es posible (a no ser que se practique en la fuente)	Muy alto
Acceso básico (la cantidad promedio no puede superar 20l/r/d)	Entre 100 y 1.000 m ó de 5 a 20 minutos de tiempo total de recolección	Consumo – se debe asegurar Higiene – el lavado de manos y la higiene básica de la alimentación es posible; es difícil garantizar la lavandería y el baño a no ser que se practique en la fuente	Alto
Acceso intermedio (cantidad promedio de aproximadamente 50 l/r/d)	Agua abastecida a través de un grifo público (o dentro de 100 m ó 5 minutos del tiempo total de recolección)	Consumo – asegurado Higiene – la higiene básica personal y de los alimentos está asegurada; se debe asegurar también la lavandería y el baño	Bajo
Acceso óptimo (cantidad promedio de 100 l/r/d y más)	Agua abastecida de manera continua a través de varios grifos	Consumo – se atienden todas las necesidades Higiene – se deben atender todas las necesidades	Muy bajo

Fuente: Guidelines for Drinking-water. pág. 91

Tabla 1-1. Resumen de los requisitos del nivel del servicio de agua para promover la salud.

En la figura 1-1 se muestran los usos que se le dan al agua, ordenándolos por la prioridad del recurso.



Fuente: <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/9-Usodomestico.pdf>

Figura 1-1. Jerarquía de las necesidades de agua.

1.2.2. El agua en la provincia de Petorca

La provincia de Petorca se encuentra en la zona central de Chile, más específicamente en la parte norte de la región de Valparaíso. Está constituida por las comunas de La Ligua, Cabildo, Zapallar, Papudo y Petorca.

En la última década la provincia se ha visto afectada por una prolongada sequía, causando una crisis hídrica en los valles interiores. En el último año algunas comunidades no han tenido un acceso regular al suministro, debiendo ser abastecidas por camiones aljibe.

Las lluvias que se presentan durante el año y el agua de deshielo no son suficientes para que las cuencas hidrográficas presenten agua superficial.

Otro problema lo generan aquellas personas y/o empresas que tienen derechos de agua. Debido a que estos la extraen desde las napas subterráneas, que por lo general utilizan para el riego de plantaciones de paltos y cítricos, afectan directamente a los demás consumidores y pequeños agricultores.

1.3. DATOS CLIMATOLÓGICOS DE LA COMUNA DE LA LIGUA

Las variables que se estudiarán en esta sección son relevantes para el diseño del equipo. Para la propuesta de éste, es importante conocer la temperatura del aire seco y su humedad relativa.

Los datos mostrados en las tablas e imágenes siguientes corresponden a dos sitios web de pronóstico del clima y una estación meteorológica ubicada en la localidad de Catapilco, comuna de Zapallar.

La información de la estación meteorológica, obtenida de la dirección general de aeronáutica civil, se muestra en la tabla 1-2:

Estación	Zapallar, Catapilco
Latitud	-32.56139°
Longitud	-71.29778°
Altura	81 mts.
Código	320063

Fuente: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/>

Tabla 1-2. Datos de la estación meteorológica.

1.3.1. Temperatura

La temperatura es una de las responsables de la cantidad de agua que se encuentra en el aire. A más temperatura, más vapor de agua puede existir en una masa de aire.

La tabla 1-3 muestra datos de temperaturas máximas y mínimas mensuales de 30 años a contar del año 2018 pronosticados por Meteoblue.

Los datos pronosticados por sí solos no sirven para realizar un estudio, es por esto que se necesitan otras fuentes para corroborarlos.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Temperatura máxima diaria promedio	29	29	28	25	22	20	19	20	22	24	26	28
Temperatura mínima diaria promedio	14	14	13	12	10	8	7	7	9	11	12	14
Temperatura diaria promedio	21,5	21,5	20,5	18,5	16	14	13	13,5	15,5	17,5	19	21
Temperatura promedio anual	17,625											

Fuente: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/la-ligua_chile_3885456

Tabla 1-3. Compendio de pronóstico de temperaturas mínimas y máximas mensuales, de 30 años

La tabla 1-4 fue elaborada con datos obtenidos del sitio web de Accuweather, para la ciudad de La Ligua. Estos corresponden a las temperaturas máximas y mínimas promedio del año 2018.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Temperatura máxima diaria promedio	21,5	20,4	21,4	17,8	16,2	14,8	14,0	14,6	16,9	16,1	21,1	17,3
Temperatura mínima diaria promedio	12,5	12,6	11,5	10,1	9,3	7,1	6,6	7,6	9,5	10,7	11,7	15,1
Temperatura diaria promedio	17,0	16,5	16,4	13,9	12,8	10,9	10,3	11,1	13,2	13,4	16,4	16,2
Temperatura promedio anual	14,0											

Fuente: <https://www.accuweather.com/es/cl/la-ligua/61304/may-weather/61304>

Tabla 1-4. Pronósticos de temperaturas máximas y mínimas promedio del año 2018.

La tabla 1-5 mostrada a continuación, se generó con los datos diarios mostrados en el anexo C, para las temperaturas máximas y mínimas diarias. Estas cifras fueron recopiladas de una estación meteorológica que está situada a 10 km aproximadamente de la ciudad de La Ligua.

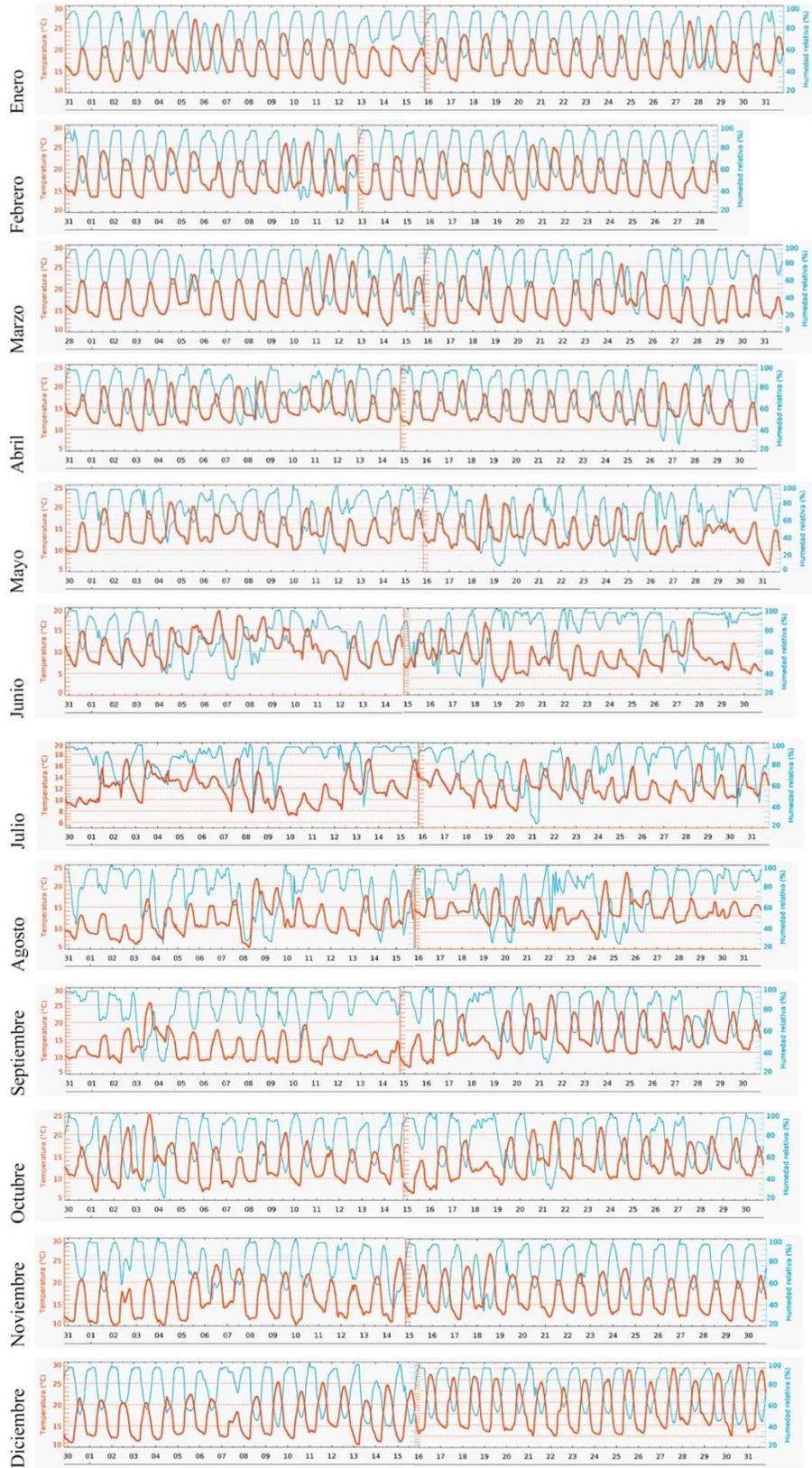
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Temperatura máxima diaria promedio	24,3	24,7	24,4	21,6	20,6	16,8	15,9	16,9	19,3	20,1	24,0	23,6
Temperatura mínima diaria promedio	11,2	11,8	7,0	7,2	4,6	2,3	3,7	4,0	5,9	5,9	6,5	9,2
Temperatura diaria promedio	17,7	18,2	15,7	14,4	12,6	9,6	9,8	10,5	12,6	13,0	15,2	16,4
Temperatura anual promedio	13,8											

Fuente: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/>

Tabla 1-5. Promedios de temperaturas obtenidos de la estación meteorológica durante el año 2018.

En la imagen 1-1, las líneas de color anaranjado muestran las variaciones de la temperatura del aire seco diarias, registrada cada mes del año 2018. A su vez, las líneas celestes son la variación de la humedad relativa del aire.

Se observa que en los meses de invierno (finales de abril hasta mediados de septiembre) la temperatura y humedad relativa se comportan de forma errática. Presentando cambios abruptos durante el ciclo día-noche.



Fuente: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/archive/la-ligua_chile_3885456

Imagen1-1. Pronósticos por hora, durante los meses del año 2018, para La Ligua.

1.3.2. Humedad relativa del aire

Este dato relevante da cuenta entre otras cosas, la cantidad de calor que debe ser removida para generar la condensación. A menor porcentaje de humedad le corresponde una mayor cantidad de energía en el proceso. Al relacionarlo con la temperatura del aire seco, se obtiene como resultado la cantidad de vapor de agua. Las cifras de la tabla 1-6 son promedios de datos que se encuentran en el anexo E.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Media Climatológica	74.5	76.0	76.1	83.1	84.1	87.1	89.1	88.1	87.7	81.4	71.2	71.4
Mínimo Mensual	56.5	62.5	64.2	73.9	74.2	75.8	80.5	78.0	78.2	73.2	60.5	57.2
Máximo Mensual	84.5	85.8	85.8	89.3	93.9	98.3	98.7	93.8	95.3	88.8	84.1	81.6
Promedio anual	80,8											

Fuente: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/>

Tabla 1-6. Promedio de humedades relativas del año 2018.

1.4. AGUA DE CONDENSACIÓN

El agua de condensación tiene las mismas características del agua de lluvia, salvo que se contamine en el depósito de almacenamiento o en los tubos del condensador (evaporador en el ciclo de refrigeración) se podría decir que es pura.

La diferencia entre el agua potable y el agua de condensación está en la concentración de minerales. En el agua de condensación no existen minerales. El agua potable tiene diferentes concentraciones dependiendo de su procedencia. La que se encuentra embotellada puede contener menos minerales de los requeridos para la salud del ser humano, según la OMS.

Existen formas de purificar el agua de consumo que consisten en filtrar y añadir minerales. La OMS dice lo siguiente en relación al agua desmineralizada y al agua de consumo humano:

“El agua desmineralizada (destilada) no solo tiene propiedades organolépticas insatisfactorias, sino que también tiene una influencia adversa definida en el organismo animal y humano”. Después de evaluar la información disponible sobre

salud, organolépticos y otra información, se recomendó que el agua desmineralizada contenga:

Un nivel mínimo para sales disueltas (100 mg / L), ion bicarbonato (30 mg / L) y calcio (30 mg / L);

Un nivel óptimo para las sales disueltas totales 250-500 (mg / L) para agua de sulfato de cloruro y 250-500 (mg / L) para agua de bicarbonato;

Un nivel máximo de alcalinidad 6,5 (meq / l), sodio (200 mg / l), boro (0,5 mg / l) y bromo (0,01 mg / l). [8, pág. 149]

Dentro de los métodos de purificación de agua, se encuentra la osmosis inversa, que consiste en eliminar todos los iones del agua y dejarla en un estado desmineralizado. Luego se reconstituye el agua al suministrar minerales en las concentraciones adecuadas. Este método es costoso.

También existen filtros que actúan sobre una determinada sustancia, como el cloro o el flúor. Estos filtros añaden también otras sustancias más beneficiosas.

Si bien el tratamiento del agua para consumo de forma individual es costoso, supone una mejora considerable de la calidad de vida y la salud de quienes la consumen. Es importante mencionar que el agua que se debe tratar es la de consumo, pues no es necesario purificar el agua para la higiene, menos cuando está en un estado prácticamente puro.

1.5. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Se partirá asumiendo que no existe agua dulce líquida en el territorio y es necesario encontrar una forma alternativa de obtener un suministro para la población. Con los datos climatológicos se dio a conocer que existe una humedad relativa considerable. Es esta la razón por la que se utilizará un sistema de condensación de dicha humedad.

Algunos puntos importantes de mencionar son los siguientes:

- El agua que se espera obtener pretende servir de apoyo a la población y no como fuente única de obtención del recurso.
- El equipo debe suministrar el agua que consume una persona en promedio al día, que en este caso son 120 litros.

- Es importante que el equipo funcione a un costo reducido, para ser una real alternativa. Esto significa que el valor del agua obtenida debe tener un precio competitivo, y para ello el costo de la energía empleada debe ser el mínimo posible, así como el consumo del equipo.
- Se utilizará la temperatura promedio anual para el diseño, esto quiere decir que el equipo puede producir más o menos agua. Esto se realiza para simplificar los cálculos.

Por lo tanto, las condiciones iniciales del equipo son las expuestas en la tabla 1-7:

Cantidad de agua a obtener	120 [l]
Temperatura inicial	14°C
Humedad relativa inicial	80,8 %
Presión de trabajo	101,325 [kPa]

Fuente: Creación propia, datos climatológicos y consumo de agua en Chile.

Tabla 1-7. Datos iniciales

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

La transformación física del agua de un estado gaseoso a líquido se llama condensación. Para que se produzca, el vapor de agua que se encuentra en el aire atmosférico se somete a un cambio de temperatura y/o presión, provocando en la masa de aire que contiene al vapor de agua, que su temperatura descienda hasta llegar a la temperatura del punto de rocío. En dicho punto de rocío el agua que estaba primeramente como vapor sobrecalentado pasa a líquido saturado. Si la temperatura disminuye aún más, se encontrará como líquido comprimido o subenfriado.

2.1. PROPIEDADES DE SUSTANCIAS PURAS

Una sustancia pura es aquella que presenta una composición química fija. Puede estar compuesta de un solo elemento químico o de mezclas homogéneas de varios elementos en una misma fase o en fases diferentes. Las fases principales son sólido, líquido o gas. Las uniones moleculares son más fuertes en los sólidos y más débiles en los gases.

En el ciclo de refrigeración que se verá más adelante es muy importante tener en consideración lo siguiente:

- El líquido subenfriado o comprimido es el aquel que no está a punto de vaporizarse.
- El líquido saturado es aquel que a cualquier adición de calor se vaporizará una porción de éste.
- El vapor saturado es aquel que está a punto de condensarse, cualquier pérdida de calor provocará que se condense una parte del vapor.
- La mezcla de líquido-vapor es aquella en que coexisten los estados gaseosos y líquidos. Esta se encuentra entre los estados de líquido saturado y vapor saturado.
- El vapor sobrecalentado es aquel que no está a punto de condensarse.

También es importante conocer el significado de temperatura y presión de saturación (T_{sat} , P_{sat}) que se mostrarán a continuación:

- La temperatura de saturación es aquella que ante una presión dada, una sustancia pura cambia de fase.
- La presión de saturación es aquella que ante una determinada temperatura, una sustancia pura cambia de fase.

2.2. PSICROMETRÍA

El aire está compuesto por una mezcla de nitrógeno, oxígeno y otros gases en pequeñas porciones. El aire que contiene vapor de agua se llama aire atmosférico y el aire que no contiene dicho vapor de agua se llama aire seco. El aire atmosférico es una mezcla de gas-vapor, donde el aire seco permanece prácticamente constante, mientras que el vapor de agua varía su concentración en función de la evaporación y condensación de los cuerpos de agua y de los seres vivos.

Se puede tratar el vapor de agua como un gas ideal con un error muy pequeño (0,2%), cuando la presión de saturación del agua se encuentra por debajo de 12.3 kPa (50 [°C]) [3,pag 738]. En esta condición el aire atmosférico se puede tratar como una mezcla de gases ideales. Su presión total es la suma de las presiones parciales del vapor de agua y del aire seco, su unidad de medida es [kPa].

$$P = P_a + P_v$$

Donde los subíndices a y v indican aire seco y vapor de agua respectivamente.

2.2.1. Humedad específica y humedad relativa del aire

La masa de vapor de agua presente en una masa de aire seco se denomina humedad específica o absoluta (ω). Su fórmula es:

$$\omega = \frac{m_v}{m_a}$$

Se mide en kg de vapor de agua sobre kg de aire seco

El aire seco tiene humedad específica igual a cero. Al agregar vapor de agua, dicha humedad aumentará hasta alcanzar un punto de saturación donde el aire ya no podrá contener más humedad y cualquier adición de ésta se condensará. A este se le llama aire saturado, y se puede determinar al sustituir el valor de presión del vapor de agua (P_v) por el valor de la presión de saturación (P_g) a una temperatura específica.

$$P_g = P_{sat \ a \ T}$$

La proporción que existe entre la cantidad de humedad que el aire tiene en relación con la máxima que este puede contener, a una misma temperatura, se denomina humedad relativa. Se puede expresar de la siguiente forma:

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{P_v}{P_g}$$

Esta varía de 0 para aire seco a 1 para aire saturado. La cantidad de humedad que el aire puede contener cambia dependiendo de su temperatura, aunque su humedad específica permanezca constante.

2.2.2. Temperatura del punto de rocío

Durante el día se evapora agua y se almacena en la capacidad que le brinda el aire seco a una temperatura determinada, al anochecer dicha temperatura disminuye y puede alcanzar la temperatura de saturación del agua, es decir el 100% de humedad relativa. Si se disminuye aún más dicha temperatura, se comienza a producir la condensación de la humedad, que es lo que genera el rocío. La temperatura del punto de rocío es en la que se inicia la condensación si el aire se enfría a presión constante. Se expresa de la siguiente manera:

$$T_{pr} = T_{sat \text{ a } P_v}$$

2.2.3. Carta psicrométrica

Es un diagrama que contiene diversas propiedades del aire húmedo, su utilidad es determinar cómo afecta el contenido de humedad en el aire a sus demás propiedades. Existen gran cantidad de estas, aplicándose a diferentes condiciones de temperatura y presión.

Las propiedades que más se utilizan son las siguientes:

- Temperatura de bulbo seco: Esta expresa la temperatura que se puede obtener con un termómetro ordinario. Se representa en la carta con líneas horizontales. La temperatura se incrementa hacia la derecha de la carta. Cualquier punto de una línea tiene el mismo valor de temperatura.
- Humedad relativa: Se representa con líneas curvas, que van subiendo de izquierda a derecha. La primera de ellas representa el 100% de humedad y van decreciendo de un 10% las siguientes. La curva de 100% se conoce como curva de saturación.

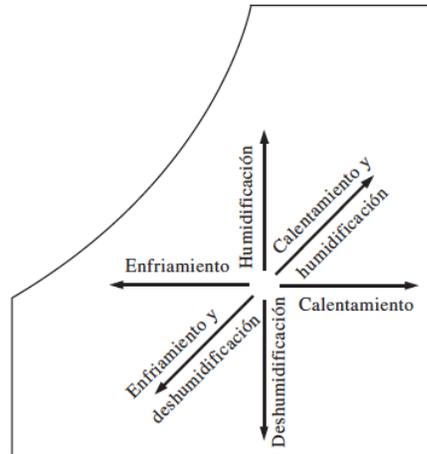
- Humedad absoluta o específica: Corresponde a la masa de vapor de agua en el aire. Se representa con líneas horizontales partiendo desde la línea de eje hacia arriba, en igual sentido va aumentando el valor desde 0 hasta el que indique la carta. Se mide en kilogramos de agua sobre kilogramos de aire seco.
- Entalpía: Corresponde a la energía que tiene el aire en forma de calor. Se representa con líneas diagonales aproximadamente a 30°. Estas sobrepasan la línea de saturación hacia la izquierda y llegan a la línea de humedad absoluta en la derecha de la carta. El valor se incrementa al subir en el diagrama.
- Temperatura del punto de rocío: Es la temperatura en que se condensa el vapor de agua, esto sucede al saturarse el vapor de humedad. Para poder encontrar esta temperatura se parte primero por definir una humedad relativa, luego se crea una línea horizontal hacia la izquierda. Cuando se alcanza la curva de saturación, se genera otra línea que esta vez es vertical y se desciende hasta el eje horizontal. La temperatura que se expresa en el eje viene siendo para este caso la misma que para el punto de rocío.

2.2.4. Acondicionamiento de aire

Como su nombre lo indica, consiste en tratar el aire con ciertos procesos de refrigeración o calefacción, para que éste adquiera condiciones de confort o trabajo. En el acondicionamiento de aire se pueden encontrar los siguientes procesos:

- Calentamiento o enfriamiento simple del aire, que es agregar o quitar calor.
- Humidificación o deshumidificación simple, estos consisten en agregar o quitar humedad al aire.

También se pueden combinar estos procesos para mejorar las condiciones y permiten tener un control más específico de las condiciones del aire. Estos procesos se pueden ver en la figura siguiente, donde se observa que los procesos que extraen calor y humedad van desde el centro hacia la izquierda y los que adicionan van hacia la derecha. Hoy en día es muy común que se utilice el acondicionamiento de aire comercial y domiciliario.



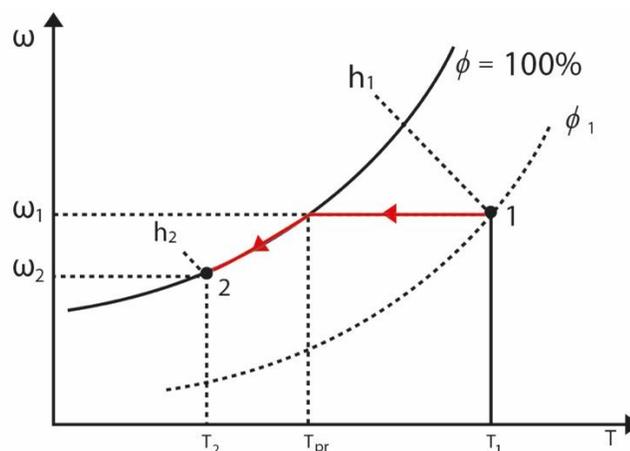
Fuente: Termodinámica 7ª ed. capítulo 14, Cengel

Figura 2-1. Diagrama psicrométrico con los diferentes procesos de acondicionamiento de aire

2.2.4.1. Enfriamiento con deshumidificación

Este proceso consiste simplemente en quitar humedad del aire al eliminar calor del mismo. Para lograr esto, se enfría el aire por debajo de la temperatura del punto de rocío. Mientras más se disminuya la temperatura del aire, más humedad se puede quitar.

En la figura 2-2 se muestra un esquema de un proceso de deshumidificación y enfriamiento.



Fuente: Creación propia

Figura 2-2. Diagrama psicrométrico de un proceso de enfriamiento con deshumidificación.

En el punto 1 se encuentran las condiciones iniciales de temperatura y humedad específica. Se disminuye la temperatura hasta alcanzar el punto de rocío en la curva de saturación y se baja por la curva hasta alcanzar el punto 2 a una menor temperatura y saturado. En cada uno de los puntos se puede obtener los valores de entalpia y humedad específica. La presión es la misma en ambos puntos.

Dos fórmulas son de relevancia en este proceso:

Balance de masas:

$$\dot{m}_W = \dot{m}_a(\omega_1 - \omega_2)$$

Donde

\dot{m}_W : Flujo masico del agua

\dot{m}_a : Flujo másico del aire seco

ω_1 : Humedad absoluta en el punto 1

ω_2 : Humedad absoluta en el punto 2

Balance de energía

$$\dot{Q} = \dot{m}_a [(h_1 - h_2) - (W_1 - W_2)h_f]$$

Donde

\dot{Q} : Flujo de calor

h_1 : Entalpia del punto 1

h_2 : Entalpia del punto 2

h_f : Entalpia del agua saturada a la temperatura del punto de rocío

2.3. REFRIGERACIÓN

La transferencia de calor se da entre un medio a alta temperatura hacia otro a temperatura más baja de forma natural. No puede existir el proceso inverso de la misma forma. Para lograr que un medio a baja temperatura le ceda calor a un medio de mayor temperatura, se requiere de un equipo llamado refrigerador. En estos equipos se trabaja con un ciclo de refrigeración, el más común de ellos es el de compresión de vapor. En este ciclo se utilizan cuatro componentes, los que son: evaporador, condensador, compresor y válvula de expansión. A través de ellos fluye un refrigerante, este tiene la característica de evaporarse a temperaturas por debajo de los 0 [°C]. Por ejemplo, el refrigerante R134-a tiene una temperatura de vaporización de -27 [°C] a una presión de una atmósfera.

2.3.1. Ciclo de refrigeración por compresión de vapor

Este ciclo consta de cuatro procesos, y se deben diferenciar entre un ciclo real de refrigeración y uno ideal.

2.3.1.1. Ciclo ideal

En este ciclo se obtiene la máxima eficiencia al calcular un sistema de refrigeración, de esta forma, se obtiene un modelo base con el cual comparar el ciclo real.

Compresión: Aquí el refrigerante entra como líquido saturado. Se comprime de forma reversible y adiabática (no existe intercambio de calor), por ende, es un proceso isentrópico. Aumenta su presión hasta la del condensador y al comprimirse el refrigerante, este gana temperatura de forma que sobrepasa la del medio que lo rodea.

Condensación: El refrigerante entra como vapor sobrecalentado, como su temperatura es mayor a la del medio circundante, este cede energía en forma de calor hacia dicho medio. Al perder energía el refrigerante sale del condensador como líquido saturado.

Estrangulamiento: El refrigerante pasa a través de una válvula de expansión o tubo capilar, en el cual se estrangula hasta llegar a la presión del evaporador. La temperatura y presión descienden bruscamente sin intercambio de calor, es decir, de forma isoentálpica o adiabática. La temperatura en este proceso llega a estar por debajo del medio que rodea al evaporador.

Evaporación: El refrigerante entra como vapor húmedo, es decir una mezcla de baja calidad de vapor y líquido. Durante este proceso el medio tiene mayor temperatura, por ende, le cede calor al refrigerante. Es por esta razón que al salir del evaporador dicho fluido se encuentra como vapor saturado, entrando al compresor y completando el ciclo.

Tanto en la condensación como en la evaporación la presión se mantiene constante.

Como es un ciclo ideal se desprecia cualquier pérdida o ganancia de calor en las tuberías, considerando que los únicos intercambios de calor que se producen en el sistema, ocurren en el evaporador y en el condensador.

2.3.1.2. Ciclo real

En este ciclo se mantienen la mayoría de las características vistas en el ciclo ideal, las diferencias radican en que la compresión no es isentrópica, por ende, se gana

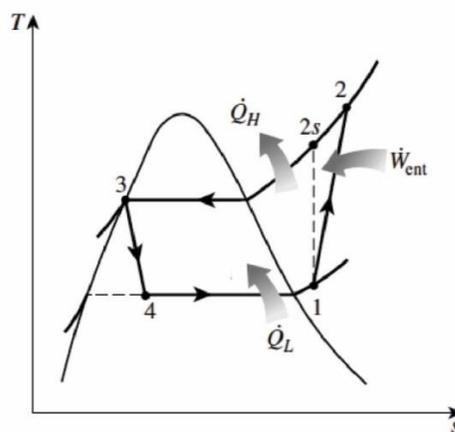
energía en esta. Otra diferencia radica en que en la condensación es difícil mantener el refrigerante como líquido saturado, y por esta razón se subenfía, para que éste se encuentre como líquido, en la entrada del estrangulamiento. Este subenfriamiento se logra al sobredimensionar el proceso ideal. Lo mismo se realiza en el evaporador para evitar que entre líquido al compresor, se “alarga” el evaporador para que gane más calor y de esta forma el refrigerante se encuentre como gas sobrecalentado antes de entrar al compresor. Esto significa que se evapora todo el refrigerante al terminar el proceso en el evaporador.

También a diferencia del ciclo ideal, se gana temperatura por la fricción del refrigerante con las tuberías en el evaporador y condensador que provoca una caída de presión que puede ser leve o importante dependiendo del largo de estos.

2.3.1.3. Diferencia entre ciclo real e ideal, en cuanto a la compresión.

En un ciclo real existen pérdidas de carga producidas por la fricción del fluido a lo largo del sistema.

En la figura 2-3 se puede apreciar la diferencia entre un ciclo real y uno ideal en relación a la compresión, cuando es isoentrópica, punto 2s y cuando no lo es, punto 2. En el ciclo real existe una ganancia de entropía en la compresión y por esto se tiene una mayor temperatura de salida del mismo.



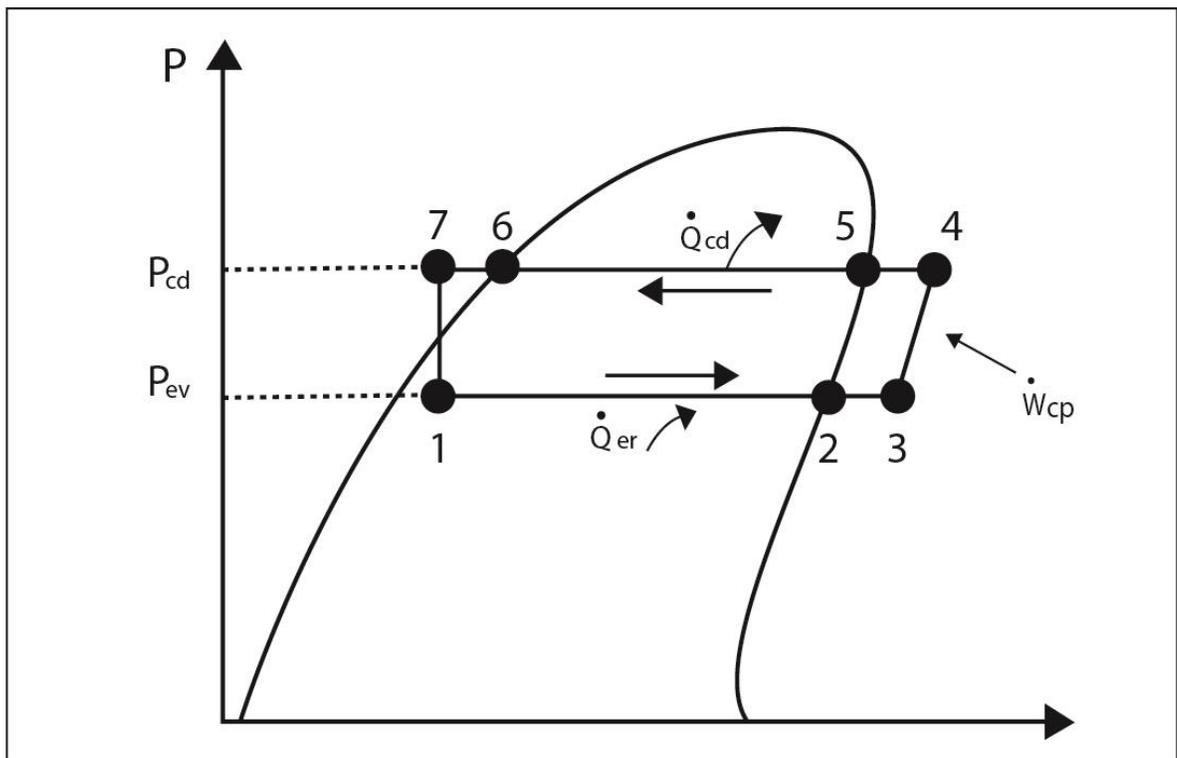
Fuente: Termodinámica 7ª ed. Cengel.

Figura 2-3. Diagrama T-S de un ciclo real de refrigeración.

2.3.1.4. Esquema de un ciclo de refrigeración

El ciclo de la figura 2-4 se compone de los procesos siguientes

- 1-2 Se absorbe el calor del medio donde se encuentra el evaporador a presión constante.
- 2-3 Sobrecalentamiento a la salida del evaporador
- 3-4 Compresión isentrópica en el compresor
- 4-5 Gas sobrecalentado a la salida del compresor
- 5-6 Rechazo a presión constante, del calor al medio circundante del condensador
- 6-7 Subenfriamiento a la salida del condensador
- 7-1 Estrangulamiento isoentálpico del gas refrigerante en el dispositivo de estrangulamiento o expansión



Fuente: Creación propia. Termodinámica 7a ed, Cengel

Figura 2-4. Diagrama de presión-entalpía de un ciclo de refrigeración

2.3.1.5. Formulas y consideraciones

Se pueden obtener las siguientes formulas y consideraciones de un proceso de refrigeración por compresión de vapor.

- **Presiones**

La presión del refrigerante en la entrada del compresor es diferente a la de salida del mismo.

$$P_{in,cp} \neq P_{out,cp}$$

La presión del refrigerante en la entrada del compresor es igual a la de salida del evaporador.

$$P_{in,cp} = P_{out,ev}$$

La presión del refrigerante en la salida del compresor es igual a la de entrada del condensador.

$$P_{out,cp} = P_{in,cd}$$

La presión del refrigerante en el evaporador es la misma en todo el proceso

$$P_{in,ev} = P_{out,ev}$$

La presión del refrigerante en el condensador es la misma en todo el proceso

$$P_{in,cd} = P_{out,cd}$$

- **Temperaturas**

La temperatura del refrigerante en la entrada en el compresor es diferente a la de salida

$$T_{in,cp} \neq T_{out,cp}$$

La temperatura del refrigerante, en la entrada del compresor es igual a la de salida del evaporador más el delta de sobrecalentamiento del refrigerante.

$$T_{in,cp} = T_{out,ev} + T_{sobrecalentamiento}$$

La temperatura del refrigerante, en la salida del compresor es igual a la de entrada del condensador.

$$T_{out,cp} = T_{in,cd}$$

La temperatura del refrigerante en la entrada del evaporador es diferente a la de salida del mismo.

$$T_{in,ev} \neq T_{out,ev}$$

La temperatura del refrigerante en la entrada del condensador es diferente a la de salida del mismo.

$$T_{in,cd} \neq T_{out,cd}$$

La temperatura del refrigerante a la salida del evaporador es igual a la temperatura de saturación a la presión de éste.

$$T_{out,ev} = T_{refrigerante\ saturado\ a\ P_{ev}}$$

La temperatura del refrigerante la salida del condensador es igual a la temperatura de saturación de este, menos la temperatura de subenfriamiento del refrigerante.

$$T_{out,cd} = T_{out,cd.\ saturado} - T_{subenfriamiento}$$

- **Entropía**

Como se dio a conocer con anterioridad la compresión ideal es un proceso isentrópico, lo que quiere decir que tanto en la entrada como en la salida del compresor se mantiene constante la entropía del proceso.

$$S_{in,cp} = S_{out,cp}$$

La entropía de entrada del compresor será la entropía de vapor sobrecalentado del refrigerante a la presión y temperatura de salida del evaporador.

$$S_{in,cp} = S_{g,a\ P_{out,ev}\ y\ T_{out,ev}}$$

- **Entalpía**

La entalpía de entrada del compresor es la entalpía del refrigerante como vapor sobrecalentado a la presión y temperatura de salida del evaporador.

$$h_{in,cp} = h_{g,a\ P_{out,ev}\ y\ T_{out,ev}}$$

La entalpía de salida del compresor es la entalpía del refrigerante como vapor sobrecalentado a la presión y temperatura de salida del compresor.

$$h_{out,cp} = h_{g,a\ P_{out,cp}\ y\ T_{out,cp}}$$

La entalpía de entrada y salida del dispositivo de estrangulamiento es la misma.

$$h_{out,cd} = h_{in,ev}$$

La entalpía de salida del condensador es la entalpía del refrigerante como líquido saturado a la presión y temperatura de salida del condensador

$$h_{out,cd} = h_{f,a\ P_{out,cd}\ y\ T_{out,cd}}$$

2.3.1.6. Sobrecalentamiento y subenfriamiento

Estos corresponden a una diferencia de temperatura que se aplica al evaporador y condensador, para que el gas refrigerante se encuentre completamente como gas (sobrecalentamiento) o como líquido (subenfriamiento).

En el subenfriamiento se logra aprovechar al máximo las capacidades del refrigerante cuando éste, entra como líquido saturado en el dispositivo de estrangulamiento, pero como se dijo anteriormente es muy difícil mantener el refrigerante en el punto de saturación, así que se aplica dicho subenfriamiento para mantener el refrigerante como líquido subenfriado, que es más fácil. El refrigerante al recorrer el condensador cediendo calor al medio circundante pasa de gas sobrecalentado a líquido saturado, y si se adiciona más tubería al condensador se provoca el subenfriamiento.

En el sobrecalentamiento se aplica algo similar a lo antes mostrado, se alarga la tubería del evaporador para que gane más calor del medio y así se evapore completamente. Esto se realiza para evitar que el líquido entre al compresor y genere daños en este.

Los equipos presentan valores de referencia asociados a las pruebas a las que fueron sometidos. Por ejemplo, en el anexo 3-1 se aprecia que para determinar la eficiencia de un evaporador es requerido elegir un delta de temperatura, en este caso sería de 10°C, 8°C o 6°C.

2.3.2. COP

Coficiente de desempeño (coefficient of performance), es la expresión numérica de la eficiencia de un sistema de refrigeración (COP_r) o de calefacción (COP_c). Se calcula al dividir el calor que absorbe (QL: refrigeración) o cede el equipo (QC: bomba de calor), por la energía que consume.

$$COP = \frac{Q}{W}$$

Los valores más altos de COP representan mayores eficiencias de los equipos.

2.3.3. Refrigerante

Un refrigerante es cualquier cuerpo o sustancia que actúe como agente de enfriamiento, absorbiendo calor de otro cuerpo o sustancia. Desde el punto de vista de la refrigeración mecánica por evaporación de un líquido y la compresión de vapor, se puede definir al refrigerante como el medio para transportar calor desde donde lo

absorbe por ebullición, a baja temperatura y presión, hasta donde lo rechaza al condensarse a alta temperatura y presión.

Los refrigerantes son los fluidos vitales en cualquier sistema de refrigeración mecánica. Cualquier sustancia que cambie de líquido a vapor y viceversa, puede funcionar como refrigerante, y dependiendo del rango de presiones y temperaturas a que haga estos cambios, va a tener una aplicación útil comercialmente.

El refrigerante es un fluido que tiene características especiales. A continuación, se dan a conocer tanto las propiedades termodinámicas como las propiedades de seguridad. Un refrigerante ideal debería tener todas las propiedades que se muestran a continuación, pero en la realidad se utiliza el que tenga más propiedades beneficiosas para el sistema.

Propiedades Termodinámicas

- Presión: Debe operar con presiones positivas.
- Temperatura: Debe tener una temperatura crítica por arriba de la temperatura de condensación. Debe tener una temperatura de congelación por debajo de la temperatura del evaporador. Debe tener una temperatura de ebullición baja.
- Volumen: Debe tener un valor bajo de volumen específico en fase vapor, y un valor alto de volumen en fase líquida.
- Entalpía: Debe tener un valor alto de calor latente de vaporización.
- Densidad: Debe ser elevada para requerir pequeñas dimensiones en las líneas líquido.

Propiedades de seguridad (físicas y químicas)

- No debe ser tóxico ni venenoso.
- No debe ser explosivo ni inflamable.
- No debe tener efecto sobre otros materiales.
- Fácil de detectar cuando se fuga.
- Debe ser miscible con el aceite.
- No debe reaccionar con la humedad.
- Debe ser un compuesto estable.

2.3.3.1. Refrigeración comercial y aire acondicionado.

La refrigeración comercial es aquella que se encarga comúnmente de la conservación de alimentos perecederos (cadena de frío). En tanto el aire acondicionado es un sistema que permite el acondicionamiento del aire para la comodidad de las personas. Para ello se emplean comúnmente los refrigerantes R-134a, R-22, R-407c, R-404A, R-507 y R-410A.

2.3.3.2. Regulaciones de los refrigerantes en el mundo

Antes de pasar de lleno a este tema es preferible hacer un pequeño repaso a los antecedentes históricos entorno a los refrigerantes.

- En el siglo XIX se emplearon el amoníaco y el bióxido de carbono como refrigerantes, pero se necesitaban altas presiones y por ende se trataba de fluidos muy inseguros para la época.
- En 1930 se desarrollan refrigerantes sintéticos CFC como el R-12
- En 1950 se desarrollan refrigerantes sintéticos HCFC como el R-22
- En 1987 en el protocolo de Montreal se acuerda reducir el uso de los refrigerantes HCFC, ya que estos causan un deterioro en la capa de ozono, ODP (ozone depletion potencial o potencial de agotamiento de ozono).
- En 1990 se comienza a utilizar refrigerantes con un ODP=0, pero que afectan al efecto invernadero, PCA (Potencial de calentamiento atmosférico, en inglés GWP)
- En 1997 en el protocolo de Kioto se acuerda reducir el uso de gases de efecto de invernadero
- 2014 normativa europea F-gas 517/2014. Se propone reducir en el año 2030 un 74% el uso de refrigerantes fluorados.

Se ha prohibido el refrigerante R22 desde el año 2010, y todos los refrigerantes que dañen la capa de ozono.

La normativa europea F-gas, a partir del 2020 prohíbe, para refrigeración comercial, los refrigerantes HFC con un PCA superior a 2500, por ende, el refrigerante R404a y el R507a ya no se podrán utilizar (PCA= 3922 y 3985 respectivamente). Se prohíbe desde el año 2022, en equipos nuevos, refrigerantes HFC con un PCA igual o superior a 1500, por ende, no podrán contener los refrigerantes R410a y R134a entre otros. Desde el año 2025 tampoco se podrá utilizar refrigerantes HFC con un PCA iguales o superior a 750, impactando al R407C.

En la tabla 2-1 se muestran algunas características de los refrigerantes naturales y sintéticos, que fueron y son una alternativa para las sustancias que agotaban la capa de ozono (SAO).

Refrigerante	Refrigerantes Naturales			HFC sintéticos			
	HC	Amoníaco	CO ₂	HFC	HFO		
PCA (100 años)	++	++	++	--	++		
Inflamabilidad	--	-	++	++	-		
Toxicidad	++	--	+	++	++		
Presión	+	+	--	+	+		
Disponibilidad	+	+	+	++	--		
Familiaridad	+	+	-	++	-		
--	Muy negativo	-	Negativo	+	Positivo	++	Muy positivo

Fuente: <http://www.unep.fr/ozonaction/information/mmcfiles/7739-s-StandardsBooklet2015.pdf>

Tabla 2-1. Características de los refrigerantes.

2.3.3.3. El R407c

El R22 fue un gas refrigerante muy utilizado en la refrigeración comercial y doméstica, pero debido a las regulaciones de sustancias que dañan la capa de ozono, fue sacado de circulación. Debido a esto se generaron algunas alternativas, entre ellas el R407c. Sus características se muestran a continuación.

- No daña la capa de ozono, ODP = 0.
- Utiliza aceite sintético POE.
- En caso de fuga, vaciar y realizar una carga completa nueva.
- Temperaturas de descargas inferiores al R-22, lo que prolonga la vida del compresor.
- Alcanza una capacidad frigorífica y eficiencia energética similar a la del R-22 en la mayoría de sistemas.
- Potencial de calentamiento atmosférico PCA (GWP) = 1774
- Punto ebullición a 1,013 bar: -43,5[°C]
- Clasificación seguridad: A1. Baja toxicidad y no inflamable.
- Cargar siempre en fase líquida.

2.3.3.4. Alternativas de refrigerantes.

Para el R134a y el R407c, existen las siguientes alternativas de refrigerantes [5], que tienen características similares, lo que permite el cambio de refrigerante sin tener que realizar cambios sustanciales en los equipos.

- **HFC**

R32

Es un gas refrigerante HFC puro, con cero agotamientos en la capa de ozono y bajo potencial de calentamiento atmosférico, utilizado en estado puro en pequeños equipos nuevos de aire acondicionado y también como componente en mezclas HFC. Sus características de refrigeración, son similares a los refrigerantes R-22 y R-502

- **CARACTERÍSTICAS**

- No daña la capa de ozono, ODP = 0.
- Pueden rellenarse los equipos en caso de fuga.
- Potencial de calentamiento atmosférico PCA= 675.
- Punto ebullición a 1,013 bar (°C): -51,6
- Clasificación seguridad: A2L. Baja toxicidad y baja inflamabilidad.

- **HFOs**

1234yf

Presenta prestaciones similares de funcionamiento en comparación con el HFC-134a y tiene la virtud de reemplazarlo en todas las aplicaciones donde se acepte una inflamabilidad leve.

- **CARACTERÍSTICAS**

- No daña la capa de ozono, ODP = 0.
- Presiones de trabajo similares a las del R-134a.
- Capacidad frigorífica equivalente a la del R-134a.
- Eficiente energética superior o equivalente a la del R-134a.
- Potencial de calentamiento atmosférico PCA = 4
- Punto ebullición a 1,013 bar (°C): -29,55
- Clasificación seguridad: A2L. Baja toxicidad y ligeramente inflamable.

1234ZE

Es ligeramente inflamable y requiere pequeños cambios en el diseño de los equipos para ser utilizado en equipos nuevos. Según expertos en compresores, el rendimiento de los HFO puede mejorarse aún más si se optimiza el diseño de los compresores. Pueden utilizarse compresores alternativos, scroll, de tornillo y centrífugos.

- **CARACTERÍSTICAS**

- No daña la capa de ozono, ODP = 0.
- Presiones de trabajo similares a las del R-134a.
- Capacidad frigorífica ligeramente inferior a la del R-134a.
- Eficiencia energética superior o equivalente a la del R-134a.
- Potencial de calentamiento atmosférico PCA = 6
- Punto ebullición a 1,013 bar (°C): -19,00
- Clasificación seguridad: A2L. Baja toxicidad y ligeramente inflamable.

2.3.3.5. Regulaciones de los refrigerantes en Chile

Chile está suscrito al protocolo de Montreal, con el que se espera reducir el consumo de HCFC en un 45% para el año 2020 y en un 65% para el 2021[4]. El trabajo se concentra en la eliminación del R22 que es mayoritariamente utilizado en las cadenas de supermercados para mantener los productos alimenticios dentro de la cadena de frío.

En octubre de 2016, las partes en el protocolo de Montreal adoptaron la enmienda de Kigali. Esta entró en vigencia el 1 de enero de este año en Chile y tendrá tres fases de implementación:

- Para 2019, un grupo de países desarrollados iniciará la eliminación gradual de HFC.
- Para 2024, los países en desarrollo alcanzarán una congelación de los niveles de consumo de HFC.
- Para 2028, un grupo menor de países congelará el consumo.

La Enmienda contribuirá al cumplimiento de los Acuerdos de París y reducir los efectos del cambio climático [1].

La razón de buscar un refrigerante alternativo a los comúnmente usados, es poder seguir utilizando los mismos equipos de refrigeración. El tener que cambiar a un refrigerante totalmente diferente en características y prestaciones, significa un rediseño en todos los componentes, por ende si se utiliza en este momento un tipo de refrigerante

que se debe sustituir en el futuro, lo mejor será utilizar otro que tenga prestaciones similares y que cumpla las normas para poder mantener el equipo original y solo realizarle los cambios pertinentes, que como se ha visto, están relacionados a la inflamabilidad que presentan los refrigerantes alternativos.

2.3.4. Normas para los refrigerantes

Iso 817-2015: Refrigerants. Designation and safety classification

NCH 3241-2017: Sistemas de refrigeración y climatización - Buenas prácticas para el diseño, armado, instalación y mantención

NCH 3301:2017: Sistemas de refrigeración y climatización que utilizan refrigerantes inflamables. Buenas prácticas para la instalación y mantención

2.3.5. Compresores

Son máquinas cuya función es desplazar un volumen de gas comprimiéndolo, y debido a esto se produce un aumento en la presión del sistema. Existen compresores de desplazamiento positivo y dinámico. Algunos tipos de compresores son los siguientes:

De desplazamiento positivo

- Compresor de pistón, alternativo o reciprocante.
- Compresor de tornillo
- Compresor de paletas
- Compresor de lóbulos
- Compresores scroll
- Bombas de vacío

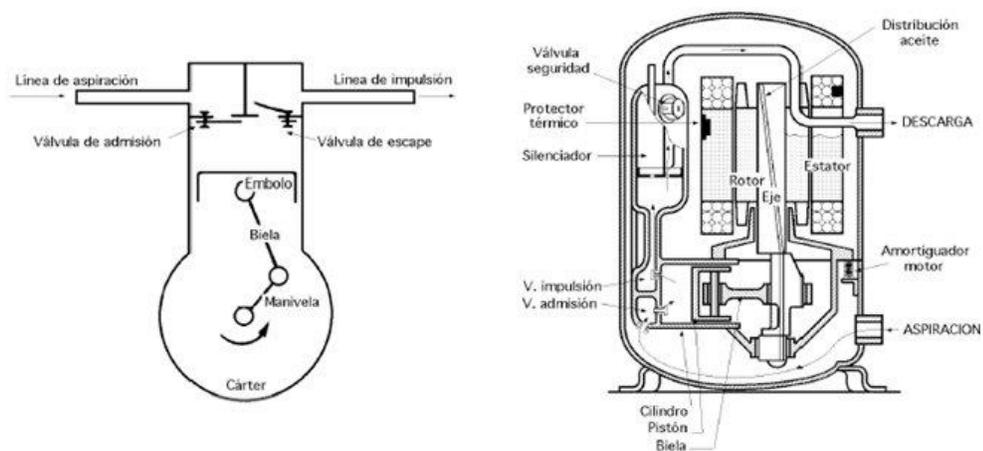
Dinámicos:

- Compresores centrífugos radiales
- Compresores centrífugos axiales

En la refrigeración comercial y doméstica el más común es el de pistón, aunque últimamente se ha empezado a utilizar el scroll. A continuación, se detallarán ambos compresores.

- Compresor alternativo o de pistón

Los equipos para refrigeración comercial y doméstica funcionan con un embolo o pistón que se desplaza dentro de un cilindro. Al avanzar el pistón, este comprime el gas; esto se llama “de efecto simple”. Cuando al retroceder, también comprime el gas, se le llama “de doble efecto”. El desplazamiento se produce por la combinación de un motor eléctrico que hace girar un eje, que a su vez hace girar una biela a la que está unida el pistón. Eje y biela se encuentran posicionados a 90° respectivamente. Como el pistón tiene que realizar un ciclo, el volumen desplazado por estos equipos no es continuo, es decir que se realiza por pulsos.



Fuente: <http://tecnologia-compresores.blogspot.com/2010/04/compresor-alternativo-continuacion.html>

Imagen 2-1. Esquema de un compresor alternativo

Algunas de sus ventajas son:

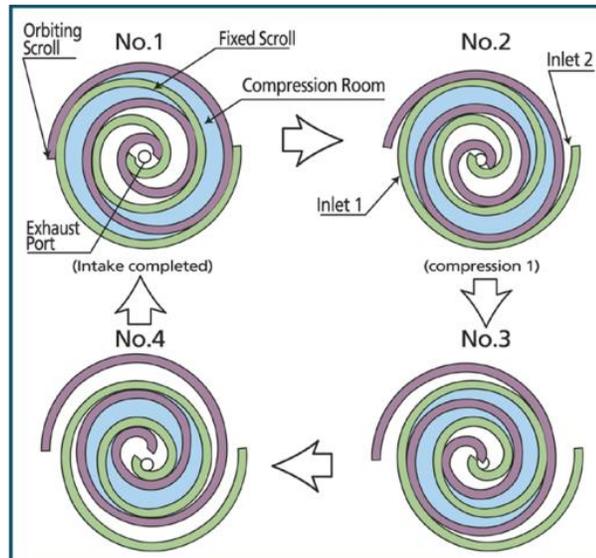
- Es el más barato de los compresores.
- Tiene una fácil mantención.
- Buena relación de COP.

Una de sus desventajas es el frecuente mantenimiento. Lo que implica quitarlo del equipo y por lo tanto se requiere un medio de preservar el refrigerante.

- Compresor Scroll o rotativo de espiral

Un compresor scroll está formado por dos espirales, una fija y otra móvil, posicionadas con un desfase y accionada por un motor eléctrico. Como se puede apreciar en la imagen 2-3, el desfase produce que se generen cámaras entre las espirales. En

estas, se comprime el fluido y se desplaza desde la succión hacia la descarga. Se produce una descarga continua de fluido y las pocas partes móviles del equipo disminuyen la vibración interna. Todo este proceso requiere de una buena lubricación.



Fuente: <http://tecnologia-compresores.blogspot.com/2010/04/compresor-scroll.html>

Imagen 2-2. Funcionamiento de un compresor scroll.

Una de las desventajas más significativas del compresor scroll, es que requiere de una válvula anti retorno en la descarga, para así evitar que el fluido al ganar presión en el condensador ejerza una mayor carga en la dirección contraria y entre al compresor. Cabe destacar que es importante prestar atención al nivel de aceite para así evitar daños en el equipo.

Dentro de las ventajas se encuentra su poca mantención, bajo nivel de ruido, gran eficiencia energética y muy buena fiabilidad de funcionamiento.

2.3.6. Proceso de estrangulamiento

Este se produce cuando el fluido al pasar por dispositivos como válvulas o capilares, sufre una caída de presión. En refrigeración la región de alta presión es el condensador y la de baja es el evaporador. Este proceso suele ser acompañado por una disminución en la temperatura del fluido.

El proceso de estrangulamiento obedece a la ecuación denominada expansión de Joule - Thomson ($h_1 = h_2$). En esta se desprecian las energías cinética y potencial. Sin embargo, existe un cambio de presión que no es despreciable; esto genera una

diferencia de la energía contenida en el trabajo de flujo. Este proceso es adiabático y no existe cambio en la energía interna, así que la única forma de explicar la disminución de las temperaturas es por una distribución entre la energía interna y el trabajo del flujo.

La función principal de un dispositivo de estrangulamiento es entregar el refrigerante al evaporador en condiciones ideales, las cuales favorecen la absorción del calor. Esto se realiza al transformar el refrigerante en pequeñas gotas en la entrada del evaporador, facilitando de esa forma la evaporación.

2.3.6.1. Dispositivos de expansión

- Tubo capilar

El tubo capilar presenta una gran longitud en comparación al diámetro, este último tiene medidas entre 0,5 a 3mm, mientras que su largo suele ser superior a un metro.

La mayor desventaja que presenta este dispositivo es que no posee medidas de control y regulación sobre el refrigerante que entra y el que sale del evaporador. Por lo cual no se puede regular el estado final del refrigerante y esto provoca que, al presentarse variaciones de temperatura sobre el evaporador, el refrigerante no se evapore completamente antes de llegar al compresor o que se evapore completamente mucho antes de salir del evaporador, disminuyendo su eficiencia.

En tanto su principal ventaja es el costo, el cual, al ser un tubo sin partes móviles, es más barato que los demás dispositivos.

- Válvulas de expansión termostáticas (VET)

Es una válvula de control, que permite la regulación del refrigerante de tal forma que, a la salida del evaporador, el refrigerante solo se encuentre en estado gaseoso. Esto mejora la eficiencia en gran medida, sobre todo al presentarse variaciones en el medio en el que se encuentra el equipo evaporador.

La regulación se logra por medio de un bulbo sensor, el cual se comunica a la válvula, a través de un tubo capilar. Dentro de este se encuentra el mismo refrigerante que circula por el circuito de refrigeración. El bulbo se posiciona en la salida del evaporador y las variaciones en la temperatura modifican el volumen del fluido dentro del bulbo, provocando un aumento de presión que se absorbe por el movimiento de una membrana en la válvula, que tiene un orificio por el cual se restringe la entrada del refrigerante. Dicha restricción se realiza con un dispositivo cónico, y un resorte que lo obliga a cerrar el paso del fluido. Cuando se mueve la membrana esta empuja hacia el lado opuesto el

dispositivo cónico. Cuando se requiere más refrigerante en la salida del evaporador, la membrana obliga a abrir más la válvula y viceversa.

Las válvulas de expansión deben ser seleccionadas en base al refrigerante del sistema.

2.4. TRANSFERENCIA DE CALOR

Es una rama de la termodinámica que estudia los fenómenos de intercambio de calor.

2.4.1. Calor

Se define como la energía que se transfiere entre dos sistemas debido a un delta de temperatura. Si se tienen dos sustancias que están en contacto entre sí, y sus temperaturas son diferentes, es decir que una tiene más energía que la otra, la mayor de ellas cederá energía en forma de calor a la otra de menor energía, hasta alcanzar el equilibrio térmico.

La dirección de la transferencia de calor es siempre del cuerpo con mayor temperatura al de menor temperatura. Una vez establecida la igualdad de temperatura, termina la transferencia de calor.

Para fundir un sólido o vaporizar un líquido se requiere una gran cantidad de energía. La cantidad de esta que es absorbida o liberada durante el proceso de cambio de fase se llama calor latente. La cantidad de energía cedida durante la condensación se llama calor latente de condensación y es igual al calor absorbido durante la evaporación.

Las magnitudes de los calores latentes dependen de la temperatura o presión en la que sucede el cambio de fase.

2.4.2. Tipos de transferencia

Existen tres mecanismos básicos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación.

- Conducción

La conducción es el proceso en el cual dos cuerpos (o dos puntos dentro de un mismo cuerpo) a diferente temperatura, interactúan para alcanzar un equilibrio térmico. No existe intercambio de masa, solo se produce un intercambio de calor.

- Convección

La convección es el mecanismo de transferencia de calor entre una superficie sólida y los fluidos que la circundan. En estado estacionario se trata como si fuera conducción pura. El cambio ocurre cuando existe un movimiento en los fluidos, ya sea de forma natural o forzada.

- Radiación

Se trata de la transferencia en forma de ondas electromagnéticas que emite un cuerpo a alta temperatura. Un ejemplo de esto es la energía que transmite el sol. A diferencia de los dos métodos anteriores, no requiere de un medio material para su transferencia.

2.4.3. Convección

Esta se produce por un movimiento de fluidos que están en contacto, por lo general, con un sólido a diferente temperatura como un tubo o una superficie plana.

El flujo en movimiento debe estar en un régimen de flujo, los que son laminar, turbulento y el flujo intermedio llamado flujo de transición. En el flujo laminar el calor asciende o desciende en forma ordenada por el fluido, a medida que este tiene contacto con una superficie a diferente temperatura. En el régimen turbulento el fluido se mueve de forma desordenada, por lo cual el calor se distribuye en el fluido de forma más rápida.

Los regímenes están en función de la velocidad que tiene el flujo, el área por la que circulan y la viscosidad del fluido. Todos estos se agrupan en un número adimensional llamado número de Reynolds. Los flujos bajo 3.000 Reynolds suelen ser laminares y los superiores son primero una mezcla de laminar y turbulento, y luego solo turbulento. En resumen, existirá mayor transferencia de calor en un régimen turbulento, es decir que a mayor velocidad del flujo existe una mejora en la convección.

2.4.3.1. Tipos de convección

Existe la convección natural, que es el movimiento de un fluido producido por una diferencia de temperatura (segunda ley de la termodinámica). También se puede encontrar la convección forzada, que como su nombre indica, fuerza al fluido a tener un movimiento, ejemplo de esto es un ventilador. La convección forzada se utiliza para mejorar la transferencia de calor al obligar a circular un fluido por fuera de un sistema o

por dentro de él. Ejemplo de la convección interna forzada es el proceso de refrigeración, en la cual el fluido refrigerante es obligado a moverse dentro de los tubos del condensador y evaporador cediendo o tomando calor respectivamente de sus alrededores. Un ejemplo de la convección externa forzada, es el flujo de aire que se obliga a pasar por el exterior de los tubos del condensador, para que exista una mayor transferencia de calor y así mantener una menor temperatura superficial en los tubos.

2.4.4. Intercambiadores de calor

Se trata de equipos que permiten que el intercambio de calor entre. Existen varios tipos de intercambiadores, cada uno diseñado para una función específica, las que pueden ser:

- Elevar la temperatura de un fluido, usando otro más caliente.
- Refrigerar un fluido usando otro que se encuentra a menos temperatura.
- Condensar gases.
- Evaporar líquidos.

Se pueden clasificar a partir del tipo de contacto, que puede ser directo o indirecto entre los fluidos.

Algunos de los intercambiadores de flujo indirecto son:

- De tubos concéntricos: se trata de dos tubos de diferente diámetro, uno dentro del otro, por los cuales se desplazan los fluidos.
- De tubo y coraza: Se compone por una coraza y muchos tubos en el interior de ella. Se pueden clasificar por los pasos que realizan los fluidos por la coraza y los tubos. Uno de sus usos es el enfriamiento de aceite en gran cantidad de equipos.
- De placas: Está compuesto por una gran cantidad de placas y empaquetaduras, que forman cámaras interiores por las que se desplazan los dos fluidos. Las placas están ordenadas de forma alternada, es decir que entre dos placas circula un fluido y en las siguientes circula otro.
- Compactos: Permiten lograr razones elevadas de transferencia de calor entre dos fluidos en un volumen pequeño.

También se pueden clasificar por el sentido de los fluidos:

- Flujo paralelo: Ambos fluidos se desplazan en el mismo sentido.

- Contraflujo: los fluidos se desplazan en sentidos contrarios, esta disposición mejora mucho el intercambio de calor.
- Flujo cruzado: los fluidos se desplazan formando un ángulo recto. Se pueden clasificar a su vez como mezclado y no mezclado. La diferencia es que en el primero, el flujo tiene libertad para desplazarse por sobre el intercambiador y en el segundo se hace pasar el flujo entre placas por sobre el intercambiador.

Los evaporadores y condensadores pueden ser del tipo compactos y de flujo cruzado, por lo general no mezclado al colocarles aletas que mejoran la transferencia de calor.

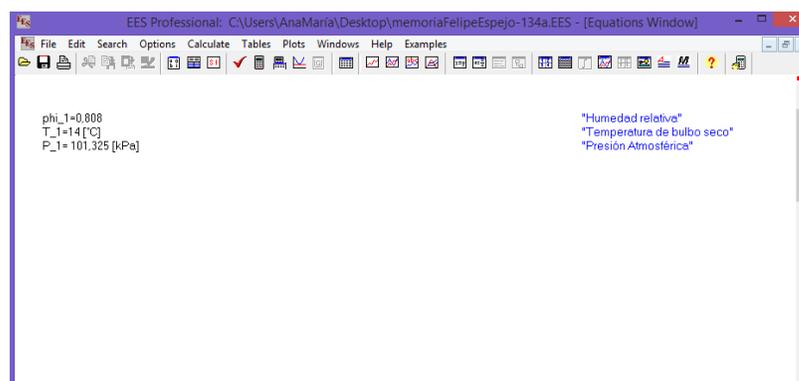
2.5. EES (ENGINEERING EQUATION SOLVER)

Es un software que permite la resolución de diversos tipos de ecuaciones, entre las que se encuentran algebraicas, lineales e integrales.

Para termodinámica es una herramienta muy útil, que sirve para la modelación de sistemas y también permite la creación de gráficos, a partir de variables seleccionadas, con una relativa simpleza. En cuanto a sus características se puede mencionar lo siguiente:

- Contiene casi todas las propiedades termodinámicas y termofísicas para la mayoría de las sustancias industriales.
- Permite colocar ecuaciones con variables desconocidas en cualquier orden. El software ordena las ecuaciones para obtener una solución eficiente.
- Es un programa intuitivo, lo que lo hace fácil de utilizar.

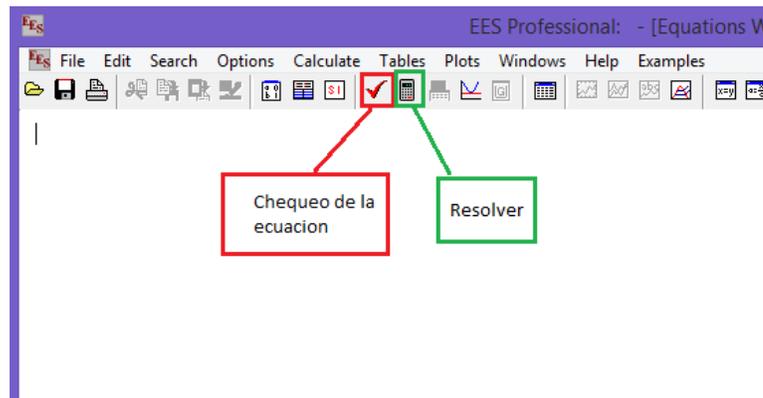
El software funciona con una ventana de ecuaciones, en la imagen 2-4 se muestran expresiones que representan las propiedades iniciales de esta propuesta. Se puede colocar cualquier expresión para nombrar una propiedad, pero la unidad de medida es la que dicta de que propiedad se trata.



Fuente: Cálculos de la propuesta con el software EES

Imagen 2-3. Ventana de trabajo del software EES, con 3 variables expresadas.

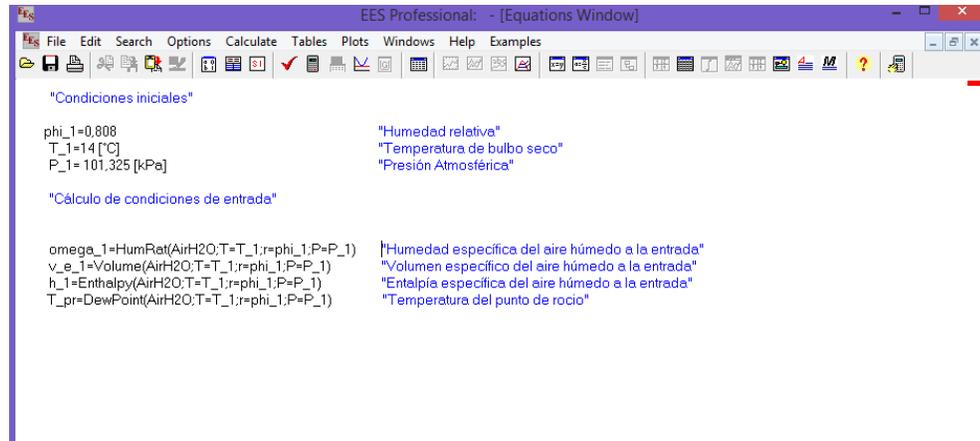
En la pantalla del programa aparecen varios menús y botones. Para el cálculo los que se utilizan siempre son el chequeo de ecuaciones y el botón de resolver ecuaciones, en la imagen 2-5 se remarcan dichos botones en rojo y verde respectivamente.



Fuente: Software EES

Imagen 2-4. Botones para la verificación y resolución de ecuaciones.

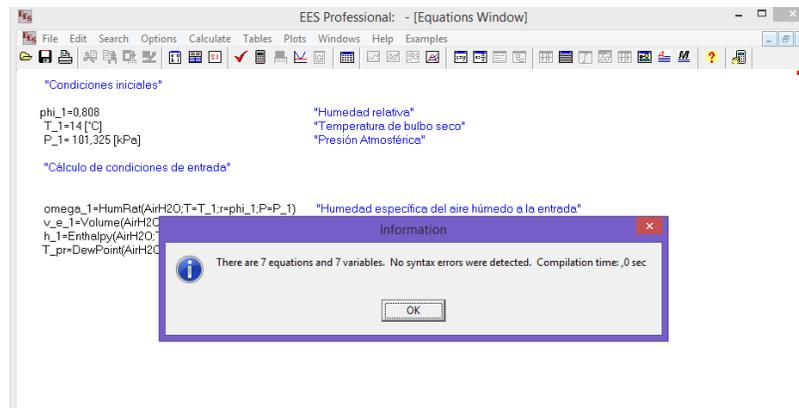
En la imagen 2-5 aparece la ventana de trabajo con una serie de variables y propiedades. Las variables se encuentran en función de dos propiedades y de un fluido. Es importante seleccionar correctamente las propiedades dentro de las variables, para que no se produzca un error de verificación. Si existe un error se acusa de él y no se obtienen resultados.



Fuente: Cálculos de la propuesta con el software EES

Imagen 2-5. Variables en la ventana de trabajo.

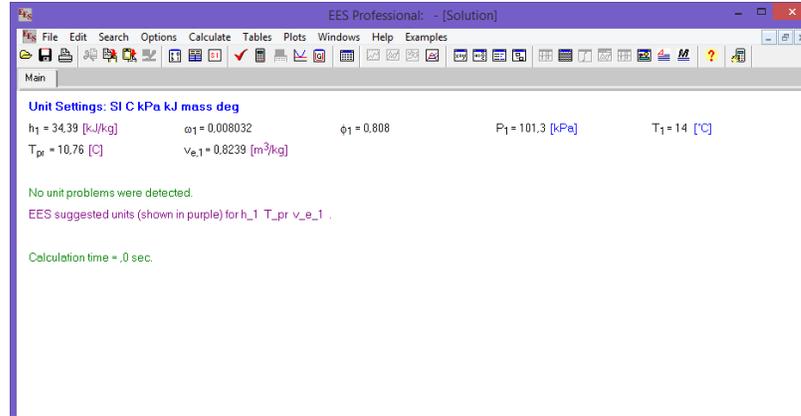
Cuando las expresiones escritas están correctas, al chequearlas aparece la ventana mostrada en la imagen 2-6. En ella se entrega información de la cantidad de variables y ecuaciones.



Fuente: Software EES

Imagen 2-6. Ventana de chequeo de ecuaciones y variables.

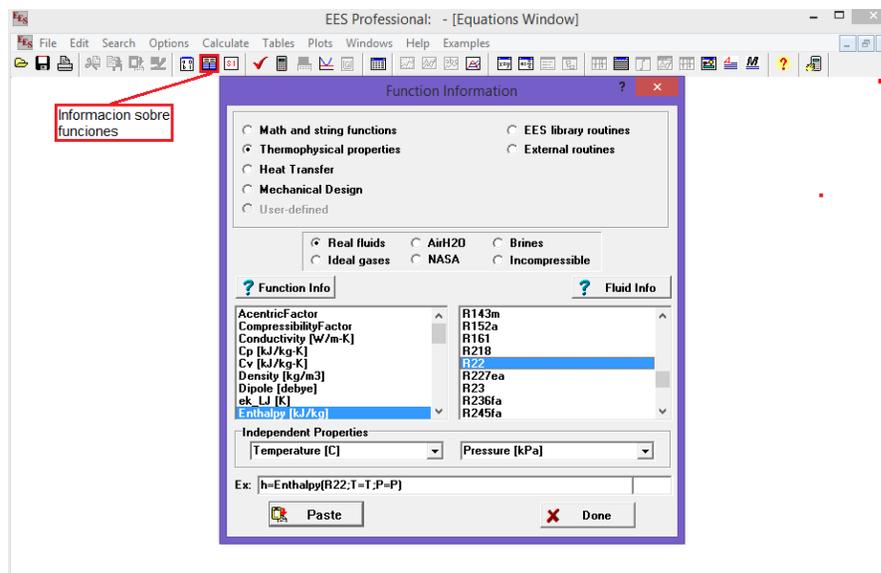
Para poder resolver las ecuaciones se presiona el botón de resolución y aparece la ventana mostrada en la imagen 2-7. En esta se muestran las propiedades resueltas. La unidad de medida en color violeta es sugerida, y la que se encuentra en color azul es ingresada por el usuario o confirmada por el mismo.



Fuente: Cálculos de la propuesta con el software EES

Imagen 2-7. Ventana de resultados del proceso de cálculo.

Para conocer la información de las diferentes variables es necesario presionar el botón de información de variable. En este se entrega una gama de datos referidos a las propiedades de fluidos. Al seleccionar una de ellas al final de la ventana se puede seleccionar la propiedades con las que se desea resolver y se muestra un ejemplo de ello.

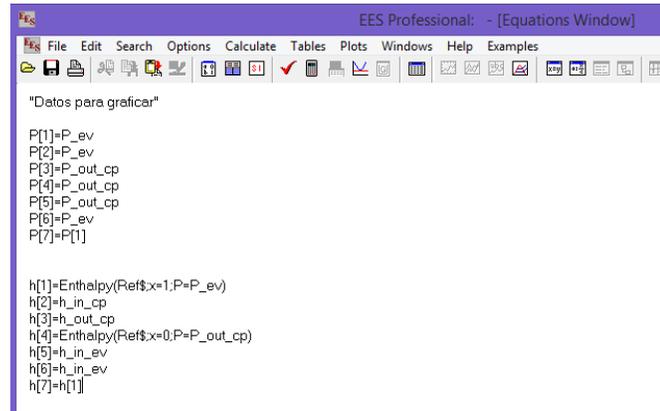


Fuente: Software EES

Imagen 2-8. Ventana de información de variables.

Para poder crear un plano es necesario primero determinar los puntos de la gráfica. En la imagen 2-9 se muestran los puntos generados para la creación de los

planos mostrados en el anexo Z. Las propiedades similares se deben agrupar bajo un mismo signo o patrón, seguido de un número entre corchetes que indica el punto. Al realizar esto con 2 tipos de propiedades se generan los puntos necesarios para la confección de un plano o gráfica.



```

EES Professional: - [Equations Window]
File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples
"Datos para graficar"
P[1]=P_ev
P[2]=P_ev
P[3]=P_out_cp
P[4]=P_out_cp
P[5]=P_out_cp
P[6]=P_ev
P[7]=P[1]

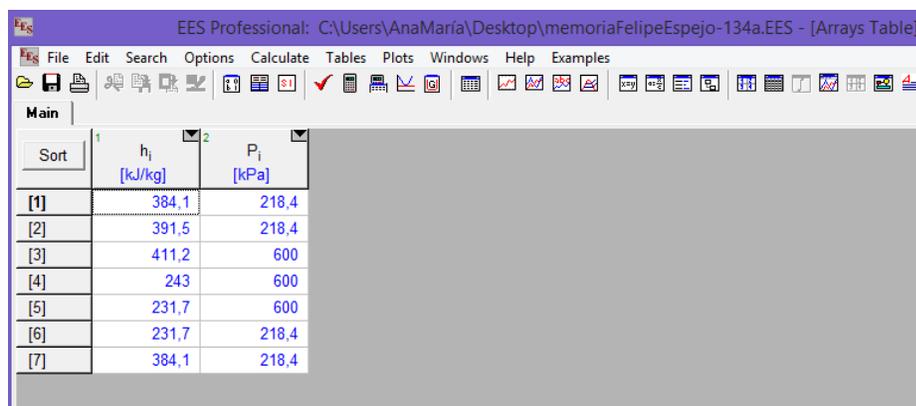
h[1]=Enthalpy(Ref$,x=1,P=P_ev)
h[2]=h_in_cp
h[3]=h_out_cp
h[4]=Enthalpy(Ref$,x=0,P=P_out_cp)
h[5]=h_in_ev
h[6]=h_in_ev
h[7]=h[1]

```

Fuente: Cálculos de la propuesta con el software EES

Imagen 2-9. Ejemplo de generación de puntos para la creación de planos y gráficos.

El paso siguiente es resolver la ecuación, al realizar esta acción se genera una tabla con los puntos antes determinados. Esta tabla se muestra en la imagen 2-10.



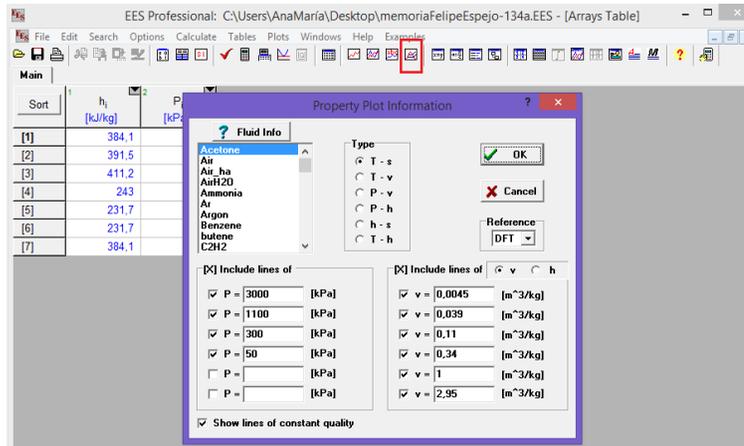
Sort	1	2
	h_i [kJ/kg]	P_i [kPa]
[1]	384,1	218,4
[2]	391,5	218,4
[3]	411,2	600
[4]	243	600
[5]	231,7	600
[6]	231,7	218,4
[7]	384,1	218,4

Fuente: Cálculos de la propuesta con el software EES

Imagen 2-10. Tabla con los puntos calculados.

El paso siguiente es determinar el tipo de fluido a graficar y el tipo de gráfico. Esto se realiza al presionar el botón de propiedades de plano demarcado por un

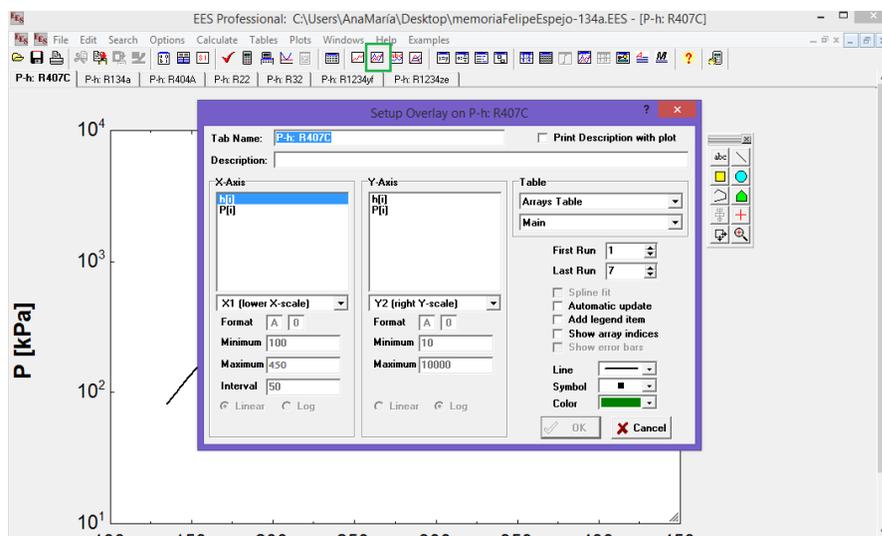
rectángulo rojo en la imagen 2-11. Esta ventana permite incluir o quitar las líneas auxiliares.



Fuente: Cálculos de la propuesta con el software EES

Imagen 2-11. Tabla las propiedades del plano.

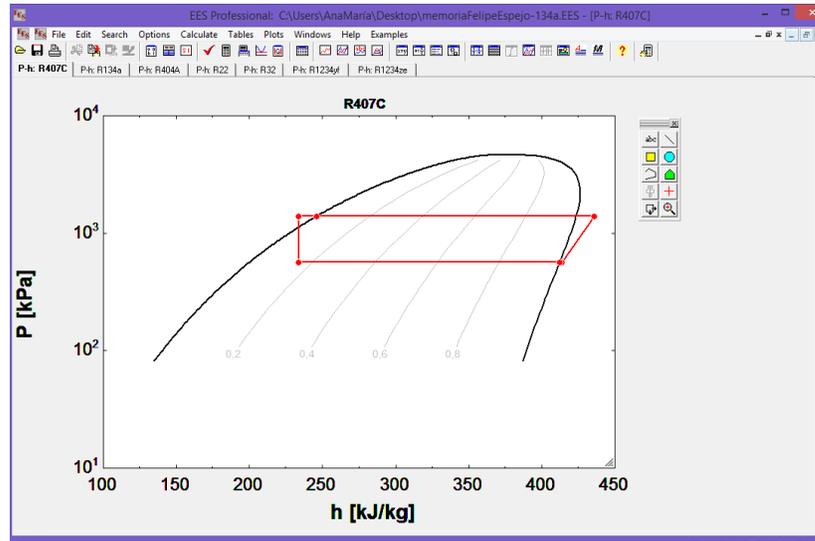
El último paso es modificar las propiedades de las líneas del gráfico con el botón llamado *Overlay Plot*, demarcado con un cuadrado verde en la imagen 2-12. En esta ventana se puede cambiar el color y grosor de la línea, modificar el eje referido a cada propiedad. Para trabajar con las propiedades seleccionadas, se debe marcar en tipo de tabla la opción *arrays table*.



Fuente: Cálculos de la propuesta con el software EES

Imagen 2-12. Ventana de propiedades de trazado.

Al realizar los pasos anteriores se puede obtener un gráfico como el mostrado en la imagen 2-13.



Fuente: Cálculos de la propuesta con el software EES

Imagen 2-13. Ventana de propiedades de trazado.

CAPÍTULO 3: CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

3. CÁLCULOS

La propuesta del equipo consiste en condensar una determinada cantidad de agua, la cual es de 120 [l]. Luego con los datos obtenidos a partir de las condiciones iniciales y las propiedades de los diferentes fluidos del proceso, se procede a desarrollar los cálculos del ciclo de refrigeración y la posterior selección de los equipos.

-Se trabaja el cálculo en condiciones estacionarias.

-Se utiliza una temperatura límite de enfriamiento igual a 0°C, la cual es el punto de congelación del agua.

-El compresor del ciclo de refrigeración se trabaja como ideal.

-Se utiliza el flujo de salida del evaporador para enfriar el condensador, de esta forma se trabaja con una menor presión en este último, lo que favorece en disminuir el consumo de energía del compresor.

-Se utiliza el software EES para realizar los cálculos de diseño básicos del equipo. Las expresiones utilizadas se encuentran en el anexo Y

3.1. CONDICIONES INICIALES

Como se dieron a conocer en el capítulo 1, las condiciones climáticas corresponden a 14 [°C] de temperatura del bulbo seco, una humedad relativa de 80,8 % y una presión atmosférica, que es para el cálculo y no corresponde a la real, de 101,325 [kPa].

3.1.1. Cálculos iniciales

A continuación, se especificará la forma de trabajar con cada propiedad en el software EES, se darán a conocer los alcances pertinentes y se mostrará el resultado obtenido.

3.1.2. Propiedades de la mezcla de aire-vapor de agua, en la entrada del evaporador.

Con las condiciones iniciales se pueden obtener algunas propiedades necesarias para el desarrollo de los cálculos. Para este desarrollo inicial se utilizan las propiedades de la mezcla de gases para aire y vapor de agua.

Temperatura del punto de rocío

Para poder obtener esta temperatura se requiere conocer la presión inicial, temperatura de bulbo seco inicial y humedad relativa del aire seco inicial.

El resultado obtenido es:

$$T_{pr} = 10,76 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Humedad específica de entrada

$$\omega_1 = 0,008032 \text{ [kg de agua/kg de aire seco]}$$

Entalpía de entrada

$$h_1 = 34,39 \text{ [kJ/kg]}$$

3.1.3. Propiedades de la mezcla de aire-vapor de agua, en la salida del evaporador.

Se conserva la mezcla de fluidos, se deben seleccionar la temperatura de salida y la humedad relativa de salida. La presión de salida es la misma que la de entrada para este cálculo.

Temperatura de salida

Se escoge una temperatura en la cual se pueda obtener la mayor productividad del equipo. Se sabe que una capa de hielo en la superficie de un tubo disminuye la transferencia de calor por convección, es por esta razón principalmente que se trabaja en el límite de la temperatura de congelación del agua, es decir a 0 [°C].

Humedad relativa de salida

Como el proceso es de enfriamiento con deshumidificación el punto 2 se encuentra en la línea de saturación, así que la humedad específica es del 100%.

Humedad específica de salida.

$$\omega_2 = 0,003771 \text{ [kg de agua/kg de aire seco]}$$

Entalpía de salida

$$h_2 = 9,44 \text{ [kj/kg]}$$

3.1.4. Cálculos a partir de los litros agua seleccionados.

Volúmen de agua

Se empieza por establecer el volúmen en m³ de 120 [l] de agua. 1[l]= 1/1000 m³. El volúmen de 120 [l] corresponde a:

$$V_{agua} = 0,12 \text{ [m}^3\text{]}$$

Densidad

$$\rho_{agua} = 999,7 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Intervalo de tiempo de trabajo

$$\tau = 1 \text{ dia} = 24[h] * 60[min] * 60[s]=86400 \text{ [s]}$$

Flujo volumétrico del agua

$$\dot{V} = \frac{V_{agua}}{\tau} = 0,000001389 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Flujo másico del agua

$$\rho = \frac{\dot{m}}{\dot{V}}$$

$$\dot{m}_w = \rho * \dot{V} = 0,001388 \text{ [kg/s]}$$

Flujo másico del aire seco

Se calcula a partir del balance de masas, cuya fórmula es la siguiente:

$$\dot{m}_w = \dot{m}_{as}(\omega_1 - \omega_2)$$

$$\dot{m}_{as} = 0,3259 \text{ [kg/s]}$$

Entalpía del agua saturada

$$h_f = 45,26 \text{ [kJ/kg]}$$

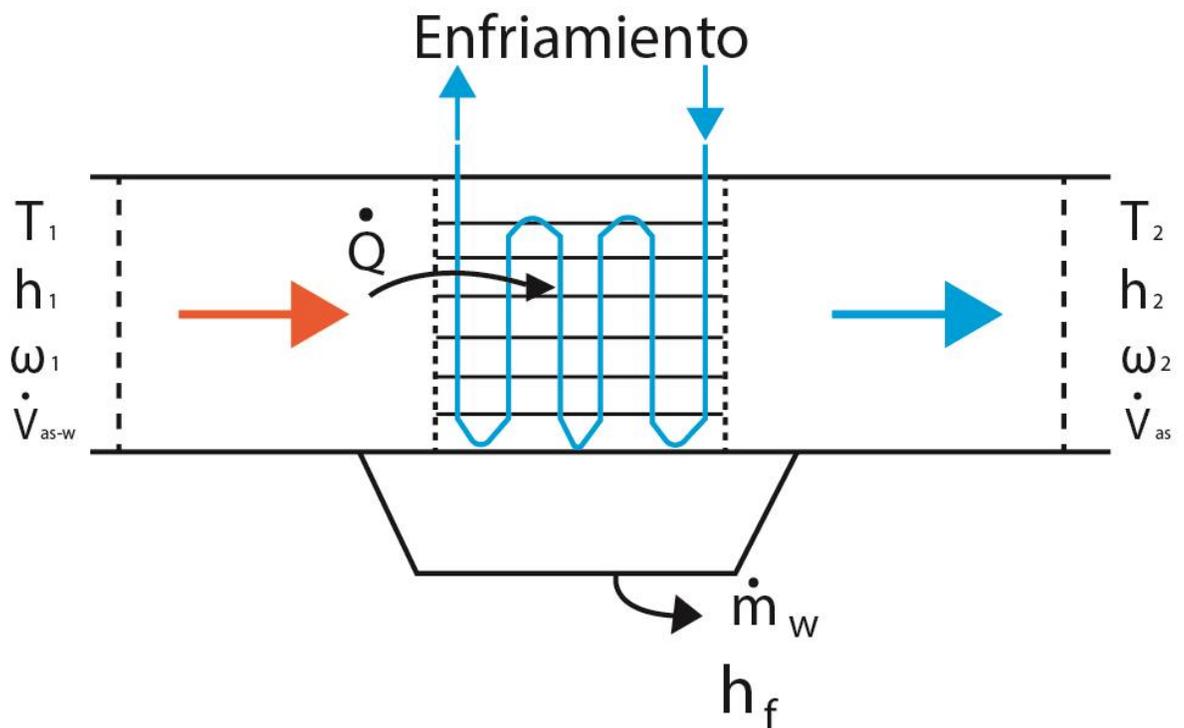
Razón de transferencia de calor

$$\dot{Q}_{evaporador} = \dot{m}_{as} * [(h_1 - h_2) - (\omega_1 - \omega_2) * h_f]$$

$$\dot{Q}_{evaporador} = 8,066 \text{ [kW]}$$

3.1.5. Esquema del proceso de enfriamiento del aire.

En la imagen 3-1 se muestra el esquema de un evaporador. En color celeste ejemplifica la baja temperatura y el anaranjado es la temperatura ambiente.



Fuente: Creación propia

Figura 3-1. Esquema del equipo evaporador.

En este equipo ingresa aire como flujo mezclado y sale como aire seco, la masa de agua se condensa y se acumula en la parte inferior del equipo. Las condiciones de entrada tienen el sub índice 1 y las de salida el 2.

3.1.6. Cálculo ciclo de refrigeración por compresión de vapor.

Se utiliza una diferencia de temperatura entre evaporador y compresor de al menos 30[°C], aunque 20[°C] es lo recomendado. Al utilizar el flujo de salida del evaporador para enfriar el condensador se deja un sobredimensionado de 10[°C].

Se evalúan, los siguientes refrigerantes: R407c, R134a, R404A, R32, R1234yf, R1234ze los cálculos que se realizan a continuación son para el R407c. Al final se muestra la comparación entre estos refrigerantes en una tabla.

3.1.7. Propiedades del fluido refrigerante dentro del evaporador.

Temperatura de entrada

Esta corresponde a la temperatura mínima de trabajo, que como se mostró anteriormente es 0 [°C]. Por lo tanto, la temperatura de entrada del evaporador es igual a la temperatura de salida del aire en el evaporador.

$$T_{evaporador} = T_2 = 0 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Temperatura de sobrecalentamiento

Esta temperatura es un sobredimensionamiento intencional, con el fin de que todo el fluido refrigerante en la salida del evaporador esté en fase gaseosa. Esto se hace para evitar posibles daños producidos en el compresor por el ingreso de líquido. En los catálogos de selección de evaporadores se trabaja con un delta de 8°C como valor nominal, aunque también se entregan datos a 6°C y 10°C.

$$\Delta T_{sobrecalentamiento} = 8 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Temperatura de salida

Esta es la suma de la temperatura de entrada y el delta de temperatura de sobrecalentamiento.

$$T_{out,evaporador} = T_{in,evaporador} + \Delta T_{sobrecalentamiento}$$

$$T_{out,evaporador} = 0 + 8 = 8 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Presión de entrada

Esta es la presión se tiene a la temperatura de entrada del refrigerante. Al ser un ciclo de refrigeración es la misma en la entrada y en la salida.

El valor de la presión es:

$$P_{evaporador} = 567.9 \text{ [kPa]} = 5,6 \text{ [atm]}$$

Entalpia entrada

$$h_{in, evaporador} = 233,9 \text{ [kJ/kg]}$$

Entalpia de salida

$$h_{out, evaporador} = 414,1 \text{ [kJ/kg]}$$

Flujo másico del refrigerante

$$Q_{evaporador} = (h_{out, evaporador} - h_{in, evaporador}) * \dot{m}_{refrigerante}$$

$$\dot{m}_{refrigerante} = 0,044 \left[\frac{kg}{s} \right] = 2,64 \left[\frac{kg}{min} \right] = 158,4 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

3.1.8. **Compresor**

Temperatura de entrada	$\Delta T_{in, compresor} = 8 \text{ [}^\circ\text{C]}$
Temperatura de salida	$T_{out, compresor} = 46,84 \text{ [}^\circ\text{C]}$
Presión de entrada	$P_{in, compresor} = 567.9 \text{ [kPa]} = 5,6 \text{ [atm]}$
Presión de salida	$P_{out, compresor} = 1400 \text{ [kPa]} = 13,81 \text{ [atm]}$
Entalpia de entrada	$h_{in, compresor} = 414,1 \text{ [kJ/kg]}$
Entalpia de salida	$h_{out, compresor} = 436,1 \text{ [kJ/kg]}$
Entropía	$S_{compresor} = 1,775 \text{ [kJ/kg * K]}$
Potencia del compresor	$W_{compresor} = (h_{out, compresor} - h_{in, compresor}) * \dot{m}_{refrigerante}$ $W_{compresor} = 0,9824 \text{ [kW]}$

Fuente: Cálculos obtenidos con software EES.

Tabla 3-1: Valores calculados para las propiedades del compresor.

3.1.9. Propiedades del fluido refrigerante dentro del condensador.

Entalpia de entrada	$h_{in,condensador} = 436,1 [kJ/kg]$
Entalpia de salida	$h_{out,condensador} = 233,9 [kJ/kg]$
Presión de entrada	$P_{condensador} = 1400 [kPa]$
Temperatura de entrada	$T_{in,condensador} = 46,85 [^{\circ}C]$
Temperatura de saturación	$T_{saturacion a P_{condensador}} = 31,15 [^{\circ}C]$
Temperatura de subenfriamiento	$\Delta T_{subenfriamiento} = 8 [^{\circ}C]$
Temperatura de salida	$T_{out,condensador} = T_{saturacion} - \Delta T_{subenfriamiento}$ $T_{out,condensador} = 23,15 [^{\circ}C]$
Razón de transferencia de calor	$\dot{Q}_{Condensador} = (h_{out,condensador} - h_{in,condensador}) * \dot{m}_{refrigerante}$ $\dot{Q}_{Condensador} = 9,048 [kW]$

Fuente: Cálculos obtenidos con software EES.

Tabla 3-2. Valores calculados para las propiedades del condensador.

3.1.10. Comparaciones de los refrigerantes

Se evalúan los refrigerantes mostrados en la tabla 3-1 con deltas de subenfriamiento y sobrecalentamiento de $8[^{\circ}C]$. se crea la tabla en base a la temperatura de saturación del refrigerante en el condensador, la que debe estar entre 31 y 32 $[^{\circ}C]$.

Refrigerante	134a	R407c	R404A	R22	R32	R1234yf	R1234ze	
$\dot{Q}_{evaporador}$	8,066	8,066	8,066	8,066	8,066	8,066	8,066	kW
$\dot{Q}_{Condensador}$	9,076	9,048	9,147	9,092	9,14	9,102	9,059	kW
$\dot{W}_{Compresor}$	1,01	0,9824	1,081	1,026	1,074	1,036	0,9931	kW
$P_{evaporador}$	293	567,9	610,2	498,1	813,2	315,8	218,4	kPa
$P_{condensador}$	800	1400	1500	1230	2000	820	600	kPa
$T_{evaporador}$	0	0	0	0	0	0	0	$^{\circ}C$
$T_{condensador,saturada}$	31,31	31,14	31,93	31,2	31,43	31,69	31,19	$^{\circ}C$
$T_{out,compresor}$	42,79	46,85	42,88	53,75	64,88	37,06	37,2	$^{\circ}C$
$\dot{V}_{aire seco}$	954,3	954,3	954,3	954,3	954,3	954,3	954,3	m^3/h

Fuente: Creación propia, cálculos obtenidos con software EES.

Tabla 3-3. Tabla comparativa de refrigerantes R134a Y R407c.

Las diferencias más significativas apreciadas en los refrigerantes tabulados, son las presiones de trabajo de los equipos y la temperatura de salida del compresor. Dentro de los refrigerantes que están dentro de las normas, el R407c es el que trabaja a menor presión y tiene una diferencia considerable entre la y temperatura de salida del compresor y la temperatura de saturación del refrigerante en el condensador

En la imagen 3-1 se tabulan datos de algunos de los refrigerantes mostrados anteriormente. En la imagen una de las características de selección es el precio del fluido. El refrigerante R407c es el más barato y el R1234yf es el más costoso de todos.

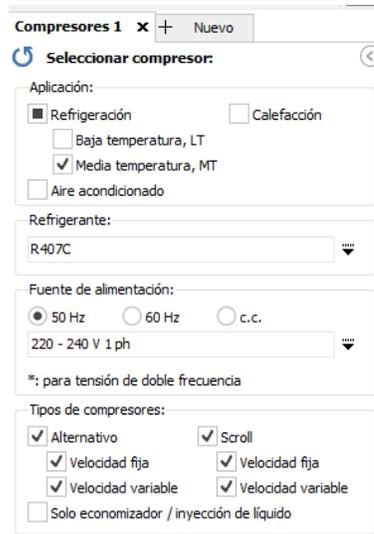
3.2. SELECCIÓN DE COMPONENTES

El paso posterior a los cálculos es seleccionar los componentes necesarios a partir de los valores obtenidos. Las selecciones que se muestran a continuación son algunos de los métodos posibles, y se han elegido por su facilidad y versatilidad.

3.2.1. Compresor

Una forma de seleccionar el compresor es utilizarán softwares que algunas empresas entregan como alternativa a sus catálogos. El fin de estos es permitir una rápida selección de componentes. Los softwares que se utilizan a continuación son: “Coolselector 2” de la empresa Danfoss y “Select 8” de la empresa Emerson. El refrigerante seleccionado para la selección es el R407c. Se utiliza una temperatura de entrada de 0 [°C] para el evaporador y una presión de 1400 [kPa] para el condensador. También se utiliza una capacidad de refrigeración de 8,066 [kW].

En la imagen 3- y 3- se observan los datos ingresados, estos corresponden a las temperaturas de entrada del evaporador y la presión del condensador. Se añaden las temperaturas de sobrecalentamiento y sub enfriamiento. También se selecciona el refrigerante, la aplicación y la fuente de alimentación.



Fuente: coolselector 2, Danfoss.

Imagen 3-1. Ventana de selección de compresores con coolselector2.

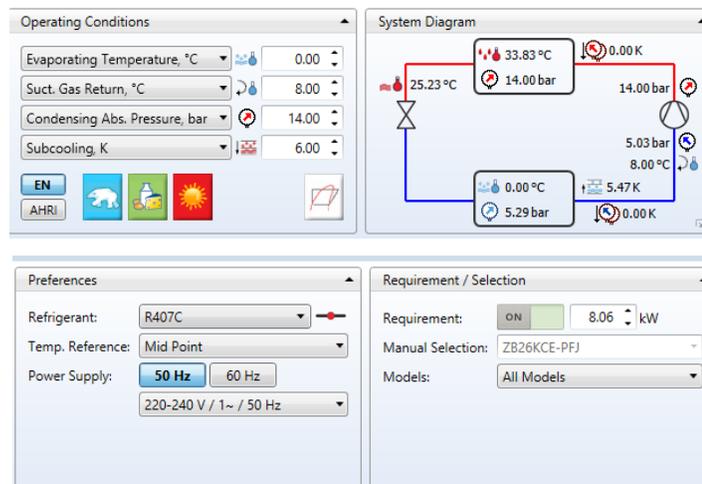
En la imagen 3-2, los datos en negro son los compresores que cumplen con las especificaciones ingresadas. Los que se encuentran en rojo en la parte superior de la imagen están por debajo de las especificaciones y los que están en la parte inferior son los que superan las especificaciones. Se obtienen resultados tanto de compresores alternativos como de scroll.

Condiciones de funcionamiento:									
Capacidad requerida:									
Capacidad de refrigeración:		8,066 kW							
<input type="radio"/> Mostrar todos los m <input checked="" type="radio"/> Mostrar: 11 modelos									
Condiciones nominales: Personalizar									
Evaporación:									
Temperatura de punto de rocío:		0,0 °C							
Recalentamiento útil:		8,0 K							
Recalentamiento adicional:		0 K							
<input type="checkbox"/> Temperatura del gas de retorno: 8,0 °C									
Condensación:									
Presión (a):		14,00 bar							
Subenfriamiento:		8,0 K							
Subenfriamiento adicional:		0 K							
Subenfriamiento total:		8,0 K							
Temperatura del líquido:		23,2 °C							
Selección: MTZ036-5, R407C									
Seleccionado	Modelo	Tecnología	Refrigerante	Refrigeración [kW]	Potencia [kW]	Caudal másico [kg/h]	Alimentación	COP refrigeración [W/W]	Velocidad [rpm]
<input type="radio"/>	MTZ022-5	Alternativo	R407C	4,977	1,374	98,26	220 - 240 V 1 ph	3,62	290
<input type="radio"/>	MTZ028-5	Alternativo	R407C	6,318	1,724	124,7	220 - 240 V 1 ph	3,66	290
<input type="radio"/>	MTZ032-5	Alternativo	R407C	7,309	1,973	144,3	220 - 240 V 1 ph	3,70	290
<input type="radio"/>	MLZ021T5	Scroll	R407C	7,592	1,815	149,9	220 - 240 V 1 ph	4,18	290
<input type="radio"/>	MLZ021T5A	Scroll	R407C	7,592	1,815	149,9	220 - 240 V 1 ph	4,18	290
<input checked="" type="radio"/>	MTZ036-5	Alternativo	R407C	8,274	2,297	163,3	220 - 240 V 1 ph	3,60	290
<input type="radio"/>	MLZ026T5	Scroll	R407C	9,113	2,127	179,9	220 - 240 V 1 ph	4,29	290
<input type="radio"/>	MLZ026T5A	Scroll	R407C	9,113	2,127	179,9	220 - 240 V 1 ph	4,29	290
<input type="radio"/>	MLZ030T5	Scroll	R407C	10,63	2,625	209,8	220 - 240 V 1 ph	4,05	290
<input type="radio"/>	MLZ030T5A	Scroll	R407C	10,63	2,625	209,8	220 - 240 V 1 ph	4,05	290
<input type="radio"/>	MLZ038T5	Scroll	R407C	13,12	2,930	259,1	220 - 240 V 1 ph	4,48	290

Fuente: coolselector 2, Danfoss.

Imagen 3-2. Ventana de selección de compresores con coolselector2.

En las imágenes 3- se observan los datos ingresados en el software *select 8*, su uso es muy similar al coolselector 2.



Fuente: select 8, Emerson

Imagen 3-3. Selección de un compresor con el software select 8, de la empresa Emerson

En la imagen 3- se entregan los compresores resultantes del ingreso de los datos. Todos ellos son del tipo scroll

R407C		ZB26KCE-PFJ				
Compressor	Cooling Capacity kW	Power kW	COP	Current A	Mass Flow g/s	Displacement m ³ /h
⚠ ZR18K3E-PFJ	4.35	0.92	4.71	4.29	24.40	4.40
⚠ ZR22K3E-PFJ	5.21	1.13	4.61	5.76	29.20	5.30
⚠ ZB19KCE-PFJ	6.72	1.46	4.62	6.96	37.70	6.80
⚠ ZR28K3E-PFJ	6.72	1.46	4.61	6.96	37.70	6.80
⚠ ZR34K3E-PFJ	8.03	1.72	4.67	8.22	45.10	8.00
⚠ ZB21KCE-PFJ	8.01	1.72	4.66	8.22	45.00	8.60
⚠ ZR40K3E-PFJ	9.44	2.02	4.67	9.69	53.00	9.40
⚠ ZB26KCE-PFJ	9.43	2.02	4.66	9.67	52.90	9.90
⚠ ZR48K3E-PFJ	11.50	2.45	4.71	12.51	64.60	11.40
⚠ ZR61KCE-PFZ	14.25	2.93	4.86	14.19	79.90	14.40
⚠ ZB42KCE-PFJ	16.25	3.00	5.42	18.39	91.20	16.20

Fuente: select 8, Emerson

Imagen 3-4. Selección de un compresor con el software select 8, de la empresa Emerson

También se pueden utilizar catálogos como los mostrados en los anexos K al N, para ello se requiere conocer el valor de la carga frigorífica y el valor de sobrecalentamiento, este último se utiliza para determinar las condiciones de trabajo. Los compresores seleccionados, con el fin de generar la estimación de costos, se obtienen de dichos anexos, y son los siguientes:

Marca	Modelo	Tipo	Capacidad Frigorífica [kW]	Potencia [kW]
Chiller	YH89T2-100	Scroll	8,54	2,237
L' unite Hermetique	FH5540C	Alternativo	8,19	2,023
Maneurop	MTZ - 40	Alternativo	8,23	2,61
DWM Coplend	ZR-40-K3E- PFJ	Scroll	8,2	2,574

Fuente: <https://www.salvadorescoda.com/productos/refrigeracion-y-gases/>

Tabla 3-4. Especificaciones de los compresores seleccionados.

3.2.2. Evaporador

Para el presente trabajo se utiliza el catálogo de la empresa Intercal, referido a evaporadores comerciales cúbicos (ECC) de expansión directa con HFCs, que cuentan con una geometría de tubos de cobre triangular y aletas de aluminio.

- El diámetro nominal de los tubos es 5/8".
- El catalogo esta realizado en base a pruebas realizadas al refrigerante R404a y se utiliza un factor de corrección de 1,014 para el R407c.

Se utiliza el valor de la razón de transferencia de calor calculada para el refrigerante R407c, la cual tiene un valor de 8,066 [kW]. También se determina que para la selección se debe contar con la menor cantidad de ventiladores posibles. El resultado obtenido para las condiciones establecidas es el siguiente:

Modelo	Capacidad	As	Caudal aire	Ventiladores	Conexiones	Vol. In.	Peso
	$T_{ev} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{sc} = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$	m ²	m ³ /h	N°xD (mm)	Pulgadas	m ³	kg
ECC 6A- 402/28	8,006 (kW)	27,5	7480	2x 400	In=5/8" Out=1 3/8"	0,068	47

Fuente: Catalogo evaporadores ECC, Intercal.

Tabla 3-5. Especificaciones del evaporador seleccionado

Los valores de referencia se encuentran en el anexo 3-1.

3.2.3. Ventilador

El ventilador es parte del equipo evaporador, es el encargado de forzar el ingreso del flujo de aire a una cierta velocidad por el banco de tubos. Se utilizan los valores del aire seco, pues es el mayor constituyente de la mezcla de aire húmedo.

Para el refrigerante R407c, el flujo volumétrico necesario es de 954,3 (m³/h).

En el catalogo los dos ventiladores del evaporador entregan un flujo de 7480 m³/h. Para regular este flujo se puede utilizar un regulador de voltaje, el cual disminuye la velocidad del motor eléctrico hasta un valor cercano al requerido. Esto se realiza para mantener las condiciones de trabajo establecidas, ya que un mayor flujo causa que el aire no se enfríe lo suficiente y no se consigue condensar lo necesario para cumplir con la demanda del equipo. En la imagen 3- se muestran algunas características de los ventiladores que se pueden utilizar en el equipo evaporador.

OPCIONES DE CONEXIÓN ELÉCTRICA PARA VENTILADORES			
DIAMETRO / RPM	POTENCIA	CONSUMO	CONEXION
400 mm / 1380 rpm	150 W	0,7 A	220V / 1f / 50 Hz
400 mm / 1600 rpm	190 W	0,88 A	220V / 1f / 60 Hz
400 mm / 1400 rpm	190 W	0,48 A	380V / 3f / 50 Hz
400 mm / 1750 rpm	235 W	0,49 A	440V / 3f / 60 Hz
400 mm / 1770 rpm	440 W	1,00 A	220V / 3f / 60 Hz

Fuente: Catalogo evaporadores ECC, Intercal.

Imagen 3-5. Datos de los posibles ventiladores que utiliza el equipo evaporador.

3.2.4. Condensador

La tasa de remoción de calor del condensador es de 9,064 kW. Para su selección se utilizará el catálogo de condensadores de la empresa Antartic, el cual se muestra en detalle en el anexo 3-2. Se selecciona un condensador con las siguientes características:

Modelo	Conexiones		Entradas de aire	As	Rendimiento R-22
	Entrada	Salida	NºxD (mm)	m ²	W
C08-M	7/8"	5/8"	2x400	34,17	9571

Fuente: Fuente: <https://www.antartic.cl/condensadores.html>

Tabla 3-6. Datos del condensador seleccionado

3.2.5. Válvula de expansión

Para su selección se requiere conocerla caída de presión por los accesorios. La caída de presión se calcula de acuerdo a las formulas siguientes.

$$\Delta P_{VET} = \Delta P_{sistema} - \Delta P_{liquido} \text{ (PSI) o (bar)}$$

$$\Delta P_{sistema} = P_{condensador} - P_{evaporador}$$

$$\Delta P_{liquido} = 2,5 * accesorio$$

Si se considera utilizar un compresor tipo scroll se requieren los siguientes accesorios en el condensador:

- Filtro deshidratador, para quitar la humedad
- Mirilla de líquido. Se recomienda posicionarlo antes de la VET y luego del filtro desecador.
- Una válvula anti retorno a la salida del compresor
- Dos válvulas de bola en los extremos del filtro desecador
- Un acumulador para el refrigerante líquido.

Aunque no cuenta como accesorio por su utilidad, se debe colocar una válvula de seguridad de forma paralela al filtro deshidratador para evitar una falla por altas presiones, causada por una saturación en el interior del filtro.

Se utiliza la caída de presión en el líquido, los datos de las tablas y el software "coolselector 2". También se elige que la válvula sea de la familia T2/TE2.

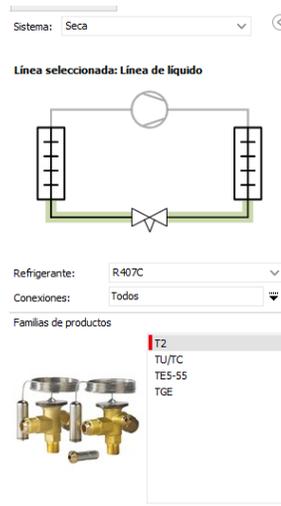
La caída de presión en la válvula se calcula con software. Para el refrigerante R407c se tiene lo siguiente:

$$\Delta P_{liquido} = 2,5 * 6 = 15 \text{ (PSI)} = 1,034 \text{ (bar)}$$

$$\Delta P_{sistema} = 14 - 5,68 = 8,32 \text{ (bar)}$$

$$\Delta P_{VET} = 5,6 - 1,034 = 4,566 \text{ (bar)}$$

En la imagen 3- se ven los parámetros de selección, los que son el tipo de sistema, el refrigerante, y el tipo de válvula.



Fuente: coolselector 2, Danfoss.

Imagen 3-6. Parámetros de selección de una válvula VET

En la imagen 3- se observan los resultados obtenidos de la selección. Se recomienda que la carga de refrigerante sea inferior a 90%.

Condiciones de funcionamiento:			Evaporación:			Condensación:			
Capacidad:			Temperatura de punto de:			Temperatura de punto de rocío:			
Capacidad de refrigerar:	8,066 kW		Temperatura de punto de:	0,0 °C		Temperatura de punto de rocío:	36,4 °C		
Caudal máxico en la línea:	159,2 kg/h		Recalentamiento útil:	8,0 K		Subenfriamiento:	8,0 K		
Capacidad de calefacción:	9,791 kW		Recalentamiento adicional:	0 K		Subenfriamiento adicional:	0 K		
Criterios de selección:									
Carga:	80 %								
Caída de presión en el distribuidor:	1,034 bar								
Línea de líquido (Sistema de expansión seca, R407C, Válvula de expansión termostática).									
Selección: T2 - 4 Ningun código seleccionado									
Seleccionado	Tipo	NS	Rango	Capacidad nominal [kW]	Capacidad mínima [kW]	Carga [%]	DP [bar]	Velocidad, entrada [m/s]	Resultado
<input type="radio"/>	T2 - X	10	N	0,914	0,229	882	8,355	0,77	⚠
<input type="radio"/>	T2 - 0	10	N	1,751	0,438	461	8,355	0,77	⚠
<input type="radio"/>	T2 - 1	10	N	3,311	0,828	244	8,355	0,77	⚠
<input type="radio"/>	T2 - 2	10	N	4,329	1,082	186	8,355	0,77	⚠
<input type="radio"/>	T2 - 3	10	N	7,346	1,837	110	8,355	0,77	⚠
<input checked="" type="radio"/>	T2 - 4	10	N	11,03	2,756	73	8,355	0,77	✓
<input type="radio"/>	T2 - 5	10	N	14,58	3,644	55	8,355	0,77	✓
<input type="radio"/>	T2 - 6	10	N	17,47	4,368	46	8,355	0,77	✓

Fuente: coolselector 2, Danfoss.

Imagen 3-7. Parámetros de selección de una válvula VET y los resultados de la selección

3.2.6. Refrigerante

Debido a las limitaciones que supone utilizar a día de hoy refrigerantes como el R134a y R404a, que comenzaran el proceso de eliminación, se utilizara el refrigerante R407c, lo que supone utilizar un refrigerante HFC barato y con buenas prestaciones a media temperatura.

Para calcular la masa del refrigerante necesario para el equipo, se necesita establecer lo siguiente:

- En el evaporador se utiliza el volumen específico del refrigerante como gas
- En el condensador 1/3 del volumen del fluido es líquido y 2/3 son gas. Por ende, se deben calcular los volúmenes específicos de las dos fases.

Se requiere conocer el valor de la densidad a del fluido a la presión de cada equipo y la calidad, que indica si esta como gas o líquido. También es necesario conocer el volumen interior del evaporador y condensador.

El volumen específico se calcula de la siguiente manera:

$$V_e = \frac{1}{\rho_{refrigerante, a P equipo}}$$

$$m = \frac{V}{V_e}$$

Los resultados de los volúmenes específicos son los siguientes

$$V_{e, ev, gas} = 0,04138 [m^3/kg]$$

$$V_{e, cd, gas} = 0,01631 [m^3/kg]$$

$$V_{e, cd, liquido} = 0,00090 [m^3/kg]$$

Los volúmenes del evaporador y condensador seleccionados se muestran a continuación.

Para el evaporador el valor de volumen esta dado en el catálogo, y es:

$$V_{ev} = 0,068 [m^3]$$

Mientras que para el condensador se entrega un valor de área superficial:

$$A_{s, cd} = 34,17 [m^2]$$

El valor nominal de los tubos del condensador es de 9,5 [mm], en el anexo 3-3 se puede encontrar el valor del diámetro interior del tubo nombrado, este es de 11,430 [mm] y el diámetro exterior es de 12,7 [mm]. Se conoce el área entre los tubos 25[mm] x 25[mm] y la separación de aletas 3,2 [mm], se asumirá un espesor de aleta de 1[mm]. Un tubo tiene un largo de 990 [mm]

Con estos datos se obtiene el área de cada aleta.

$$A_{\text{aleta unitaria,por tubo}} = A_{\text{Total aleta,por tubo}} - A_{\text{ext,tubo}}$$

$$A_{\text{aleta unitaria,por tubo}} = 0,025^2 - [\pi * (6,35 * 10^{-3})^2] = 4,98 * 10^{-4} [m^2]$$

La cantidad de aletas en un tubo:

$$N^{\circ}_{\text{aletas por tubo}} = \frac{\text{Largo del tubo}}{\text{Separacion aletas} + \text{espesor}}$$

$$N^{\circ}_{\text{aletas por tubo}} = \frac{0,99}{3,2 * 10^{-3} + 1 * 10^{-3}} = 235,7 = 235$$

Área del tubo sin aleta

$$A_{\text{sin aleta}} = \pi * D * (L_{\text{tubo}} - L_{\text{aletas}})$$

$$A_{\text{sin aleta}} = \pi * 0,012 * (0,99 - 0,235) = 0,285 [m^2]$$

Área superficial de un tubo con aletas

$$A_{\text{tubo aleteado}} = A_{\text{aleta unitaria,por tubo}} * N^{\circ}_{\text{aletas por tubo}} + A_{\text{sin aleta}}$$

$$A_{\text{tubo aleteado}} = 4,98 * 10^{-4} * 235 + 0,285 = 0,402 [m^2]$$

Si el área superficial del evaporador es de 34,17 al dividirla por el área de un tubo aleteado se obtiene:

$$N^{\circ}_{\text{tubos}} = \frac{34,17}{0,402} = 85 \text{ tubos en el evaporador}$$

Entonces el volumen interior del condensador es de:

$$V_{\text{interior,cd}} = \pi * r^2 * L$$

$$V_{\text{interior,cd}} = \pi * (5,715 * 10^{-3})^2 * (85 * 0,99) = 0,0086 (m^3)$$

Finalmente se calcula la masa de refrigerante necesaria en el evaporador y condensador. Para ello se especifica que en el condensador 1/3 del volumen pertenece a líquido y 2/3 a gas. Por lo tanto:

$$m_{e,ev,gas} = \frac{0,068}{0,04138} = 1,643 [kg]$$

$$m_{e,cd,gas} = \frac{\frac{2}{3} * 0,0086}{0,01631} = 0,352 [kg]$$

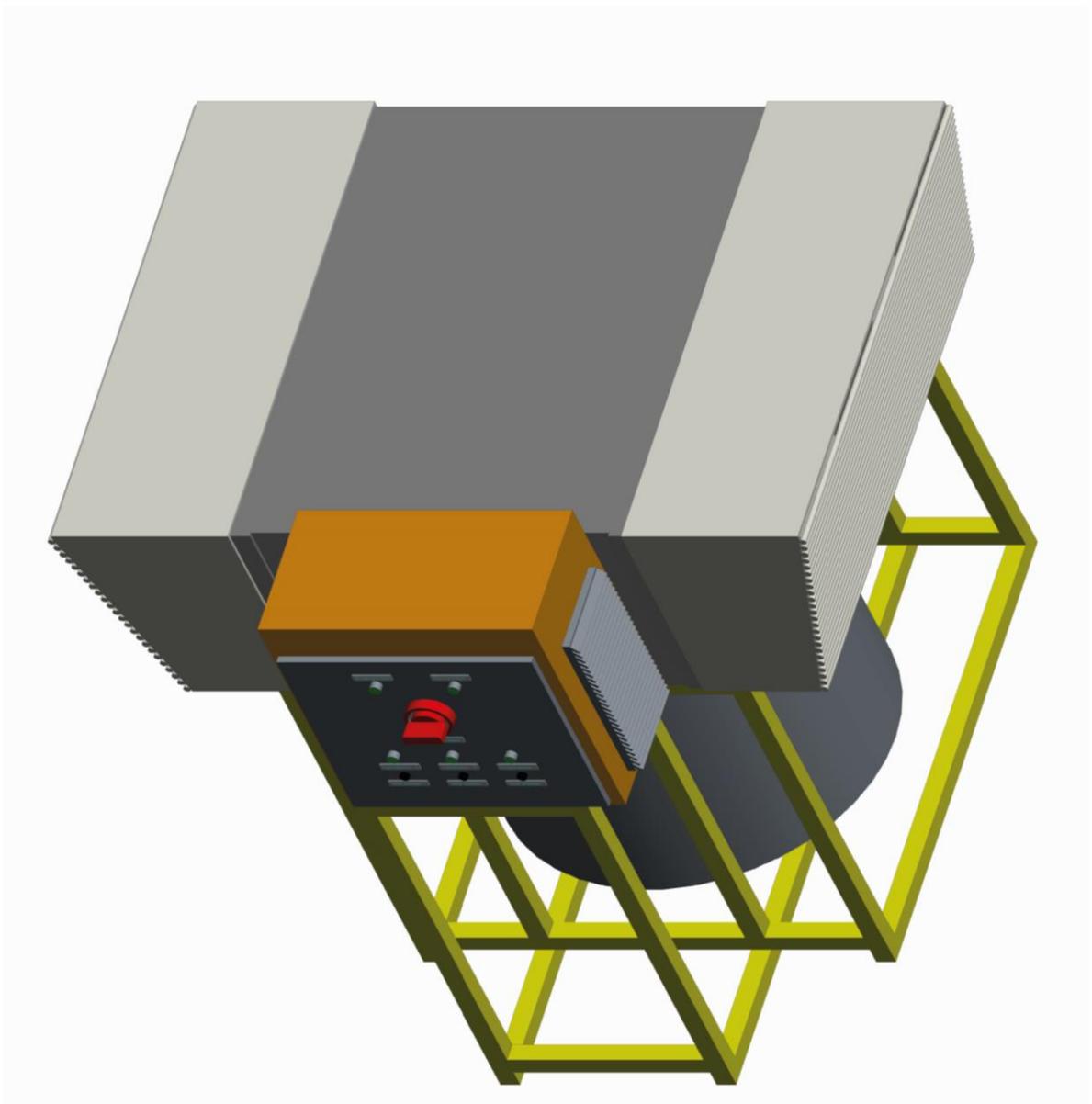
$$m_{e,cd,liquido} = \frac{\frac{1}{3} * 0,0086}{0,0009} = 3,186 [kg]$$

La masa mínima de refrigerante que requiere el equipo es de 5,2 (kg).

3.3. DISEÑO

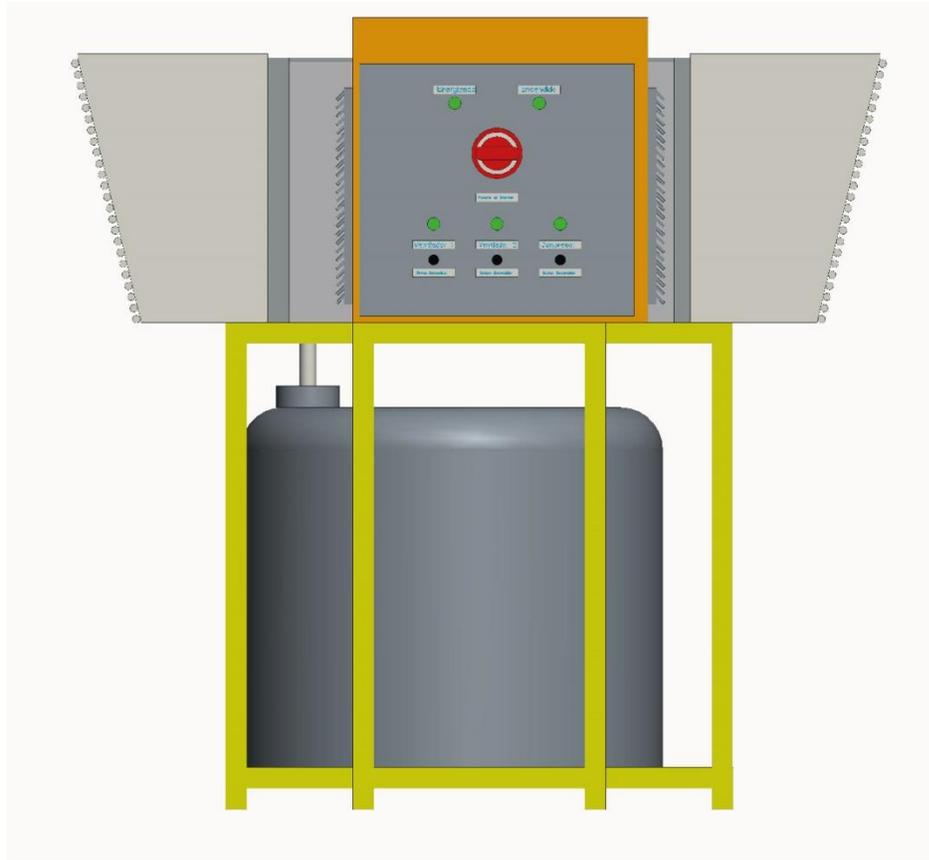
El diseño que se presenta a continuación, es un prototipo. En él se ha colocado un estanque en la parte inferior para almacenar el agua. Tiene un panel eléctrico de energizado y encendido. Presenta protecciones para los componentes interiores. Se colocaron rejillas de ventilación para la caja que contiene al compresor.

Muchos de los componentes mostrados no serán los mismos del prototipo real y solo son utilizados como referencia. También se han omitido algunos detalles como tornillos, remaches y soldaduras.



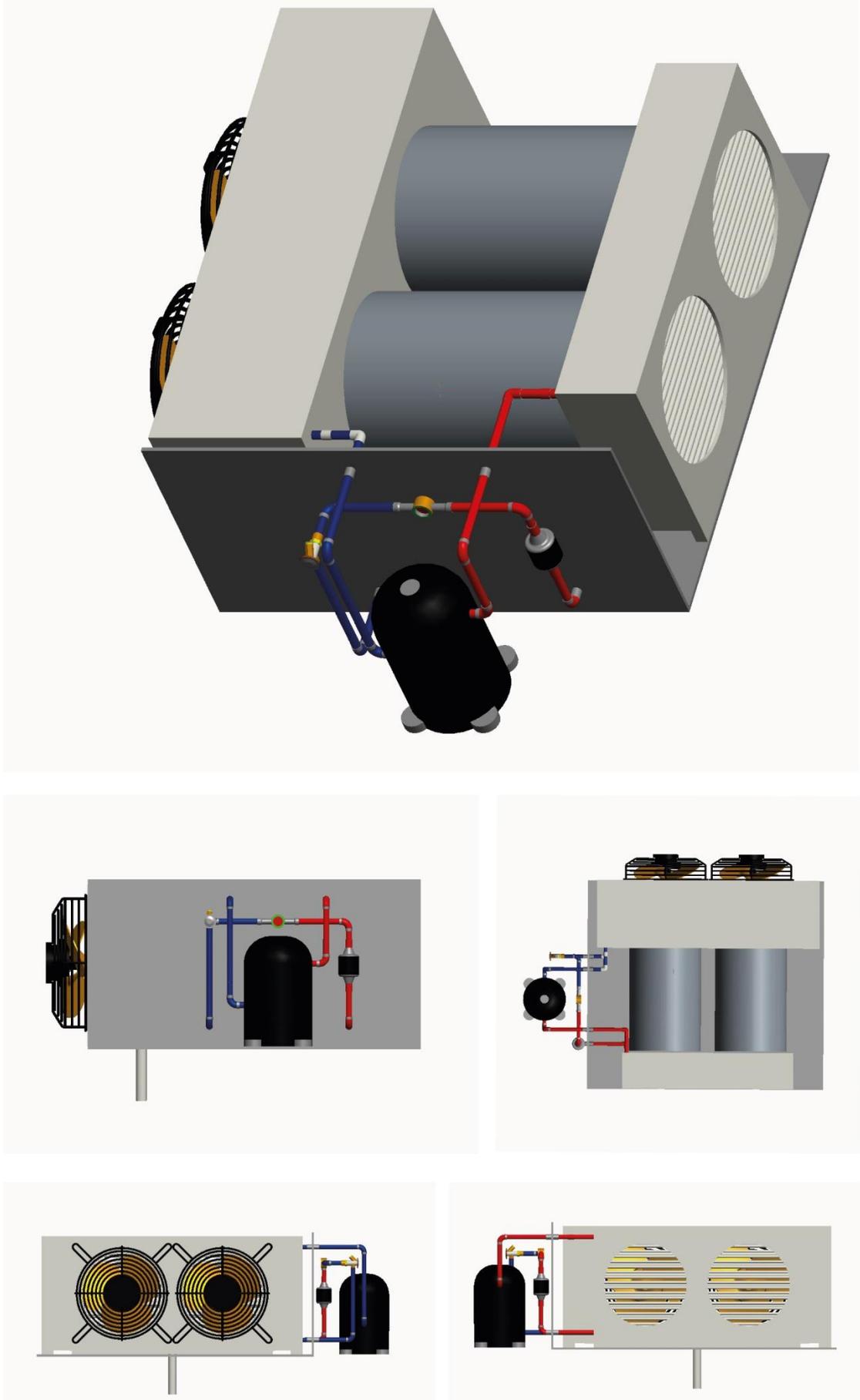
Fuente: Creación propia

Imagen 3-8. Vista en perspectiva del exterior del equipo.



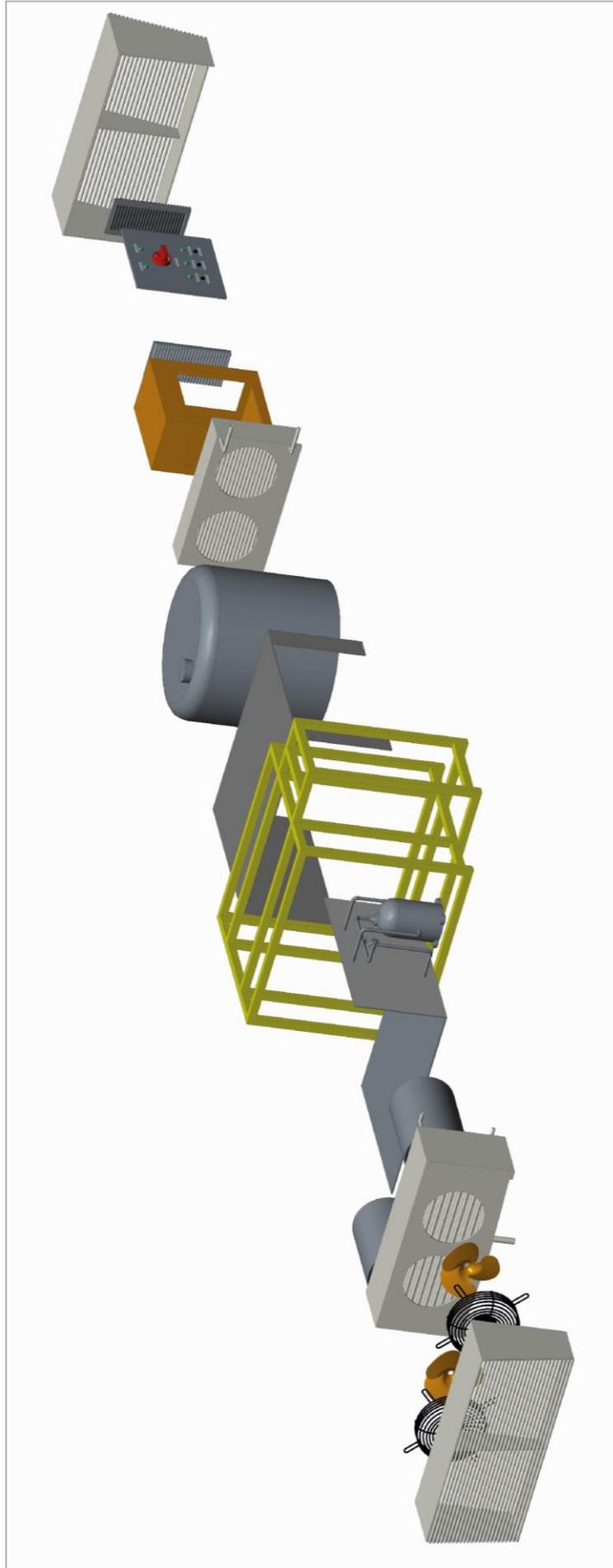
Fuente: Creación propia

Imagen 3-9. Vistra Lateral y frontal del exterior del equipo



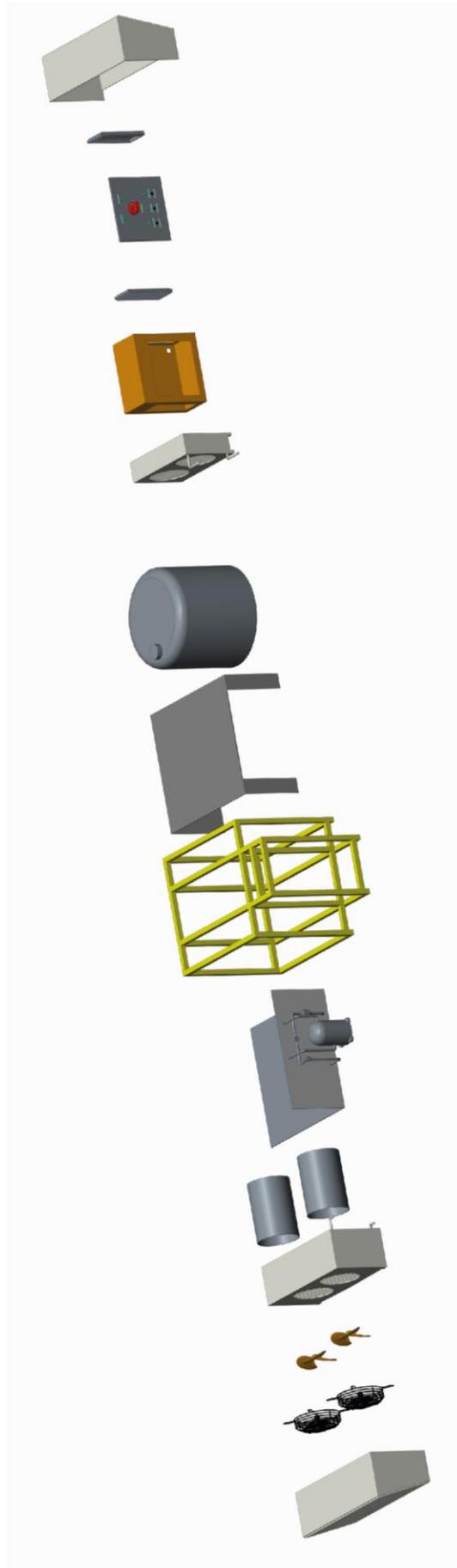
Fuente: Creación propia

Imagen 3-10. Vistas del interior del equipo



Fuente: Creación propia

Imagen 3-11. Vista explosiva del equipo, en perspectiva



Fuente: Creación Propia

Imagen 3-12. Vista explosiva del equipo

CAPITULO 4: ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE GENERACIÓN DE AGUA

4. COSTOS DE ENERGÍA PARA EL PROYECTO

Es importante conocer cuánto cuesta la energía que se emplea para que el equipo condensador de agua funcione. No se pretende realizar un análisis de costos de un proyecto, sino más bien, el fin de este capítulo es determinar cuál de todos los posibles métodos de alimentación eléctrica que requiere el equipo, es el más adecuado y permite que el agua generada sea menos costosa dentro de un periodo de 5 años.

Los métodos a analizar son los siguientes:

- Alimentación con generación con gasolina
- Alimentación con generación con diésel
- Alimentación con generación solar
- Alimentación con la red eléctrica.

Todas las alternativas son estudiadas con la adquisición del equipo o equipos generador/es a excepción de la última, que no utiliza ninguno. También se le deben añadir los costos del combustible, si lo consume.

4.1. COSTOS Y CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO

Para mejorar los cálculos se cotizaron el condensador, el evaporador y la válvula de expansión termostática en la empresa Antartic. El valor para los tres equipos, con el IVA incluido, es de \$1.301.955. En tanto para el compresor se seleccionaron algunos posibles equipos (refrigerante R407c y monofásicos), a partir de un catálogo de la empresa *Salvador Escoda*.

Marca	Modelo	Tipo	Costo
Chiller	YH89T2-100	Scroll	€799,56
L'unite Hermetique	FH5540C	Alternativo	€763
Maneurop	MTZ - 40	Alternativo	€1066,7
DWM Coplenand	ZR-40-K3E- PFJ	Scroll	€1510

Fuente: <https://www.salvadorescoda.com/productos/refrigeracion-y-gases/>

Tabla 4-1. Compresores seleccionados con el catálogo de Salvador Escoda.

Por prestaciones costo y tipo de compresor, pensando en un funcionamiento muy extenso (jornadas de 24/7), se selecciona el primero de la tabla. Si el euro tiene un valor de 772 pesos chilenos, el costo del compresor con IVA incluido será de \$734.540. Por lo tanto, el equipo condensador de agua, solo contando con los principales componentes tiene un valor de \$2036495. Se selecciona un costo total de \$2.500.000 para el equipo final, incluyendo todos los componentes necesarios que no se han mencionado, la fabricación del equipo, el llenado del refrigerante que tiene un valor de \$69.020, el depósito de 11,3 [kg]. También se incluye la mano de obra en dicho valor

Con el compresor y el evaporador ya seleccionados, se calcula el valor de la potencia requerida por el equipo final. El evaporador tiene 2 ventiladores de 150 [W] cada uno y el compresor requiere 2237 [W] de potencia.

El valor de potencia requerida es de 2537 [W] aproximadamente funcionando a la máxima capacidad. Para esta estimación se utiliza un valor de 2600 [W]. El valor real cambia al disminuir la velocidad de los ventiladores.

4.1.1. Alimentación con generación a partir gasolina

Se seleccionan dos equipos de la página web de la empresa SODIMAC, la diferencia entre ambos es la potencia de salida y su precio de compra. Se debe seleccionar un generador a gasolina que tenga como mínimo una potencia de salida de 2,6 [kW].

El primero es un equipo generador (anexo O) de 2,8 [kW]. Sus características principales se muestran en la tabla siguiente.

Marca	Modelo	Potencia	Autonomía	Estanque	Fase	Precio
Hyundai	HYG4050	2800 [W]	8-14 [h]	15[l]	Monofásico	\$248.690

Fuente: <https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/3582914/Generador-electrico-a-gasolina-2800->

W/3582914

Tabla 4-2. Datos del generador eléctrico cuya potencia es 2800 [W].

Se requiere que el equipo trabaje 24 horas. Al calcular el total de litros que se necesita para que el sistema de condensación este operativo las 24 horas, hay que establecer que el generador entrega 200 [W] más de lo requerido por el equipo condensador. El generador posee un sistema de regulación automático de voltaje. Al

disminuir el requerimiento de potencia también disminuye el consumo de combustible. Asumiendo que la autonomía es de 8 horas con 15 litros de gasolina de 93 octanos, se genera la tabla siguiente:

Potencia	Combustible	Autonomía
2800 [W]	15 [l]	8 [h]
2600 [W]	13,93[l]	8 [h]

Fuente: Creación propia, datos estimados.

Tabla 4-3. Rectificación del consumo de gasolina con el generador de 2800 [W].

Si bien no es un gran cambio, cualquier disminución significa abaratar los costos. Al calcular el consumo de combustible diario, se obtiene un total de 41,79 [l] de gasolina para que el equipo funcione las 24 horas. En 5 años el combustible que se utiliza es:

Combustible utilizado en 5 años

$$= \text{Gasolina}_{24 \text{ horas}} * 30 \text{ dias} * 12 \text{ meses} * 5 \text{ años}$$

$$\text{Combustible utilizado en 5 años} = 75222 \text{ [l]}$$

Si se utiliza el valor de la gasolina de 93 octanos del anexo P, el costo total en 5 años, sin variaciones en su precio, es de:

$$\text{Costo combustible} = 822 * 75222 = \$61.832.484$$

El segundo generador se muestra en el anexo 4-, tiene una mayor capacidad y sus características se ven en la tabla 4-4

Marca	Modelo	Potencia	Autonomía	Estanque	Voltaje	Precio
Loncin	LC 6500 DDC	5500 [W]	9 [h]	25[l]	220	\$792.990

Fuente: <https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/1280341/Generador-electrico-a-gasolina-5500->

W/1280341

Tabla 4-4. Datos del generador eléctrico cuya potencia es 5500 [W].

Al realizar los mismos cálculos anteriores se obtiene que el costo de combustible con este equipo se muestra en la tabla 4-5:

Equipo	Potencia	Combustible	Autonomía
Generador	5500 [W]	25 [l]	9 [h]
Equipo condensador	2600 [W]	11,82[l]	9 [h]

Fuente: Datos estimados

Tabla 4-5. Rectificación del consumo de gasolina con el generador de 5500 [W].

En este caso se requieren 31,52 litros diarios. El combustible que se consume en un periodo de 5 años es de

$$\text{Combustible utilizado en 5 años} = 56736 \text{ [l]}$$

El costo del combustible para este caso es de:

$$\text{Costo combustible} = 822 * 75222 = \$46.636.992$$

Por último, se calcula el costo total, con la suma de los precios de cada equipo y del combustible empleado para la generación. Esto se muestra en la tabla 4-6.

Marca	Hyundai	Loncin
Generador	\$248.690	\$792.990
Equipo condensador	\$2.500.000	\$2.500.000
Combustible	\$61.832.484	\$46.636.992
Coste a en 5 años	\$64.581.174	\$49.929.892

Fuente: Datos estimados

Tabla 4-6. Costos asociados a la generación eléctrica a partir de bencina.

Si se obtienen 216000 [l] de agua, en 5 años, produciendo 120 [l] diarios de agua. El valor de un litro de agua generada con los equipos anteriores se puede ver en la tabla 4-7.

Marca	Hyundai	Loncin
Coste de 1 litro de agua	\$299	\$231

Fuente: Datos estimados

Tabla 4-7. Comparación entre valores de agua obtenida con la generación eléctrica a partir de bencina.

Quedó fuera de este cálculo el costo de mantención de equipos generadores y del equipo condensador.

4.1.2. Alimentación con generación a partir de diésel

Al igual que el método anterior es necesario encontrar un generador eléctrico, esta vez que funcione con diésel y que tenga una salida de potencia igual o superior al equipo diseñado. En la tabla 4-8 se muestran los datos del equipo seleccionado (anexo R).

Marca	Modelo	Potencia	Autonomía	Estanque	Fase	Precio
Loncin	KRD5500EA-M	5500 [W]	6 [h]	12,5[l]	Monofásico	\$698690

Fuente: <https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/3842754/Generador-electrico-a-diesel-5500-W/3842754>

Tabla 4-8. Datos de generador diésel de 5500 [W].

También este equipo cuenta con un regulador de voltaje, así que calcula el consumo de combustible a partir de la potencia consumida, este valor se muestra en la tabla 4-9.

Equipo	Potencia	Combustible	Autonomía
Generador	5500 [W]	12,5 [l]	6 [h]
Equipo condensador	2600 [W]	5,91 [l]	6 [h]

Fuente: Datos estimados

Tabla 4-9. Rectificación del consumo de diésel con el generador de 5500 [W].

Se consume un total de 23,64 litros de diésel al día. En 5 años se consume un total de 42552 [l] de diésel. Si su costo es de 592 (anexo S), el precio del combustible consumido en 5 años es de:

$$\text{Costo combustible} = 592 * 42552 = \$25.190.784$$

El valor proyectado en 5 años, sumando los precios de todos los componentes, se muestra en la tabla 4-10.

Generador	\$698.690
Equipo condensador	\$2.500.000
Combustible	\$25.190.784
Coste en 5 años	\$28.389.474

Fuente: Datos estimados

Tabla 4-10. Costos asociados a la generación eléctrica con diésel.

Con esta combinación se obtiene un precio de \$132 por litro de agua. Quedó fuera de este cálculo la mantención de ambos equipos.

4.1.3. Alimentación con generación solar

Este sistema requiere que se seleccione una serie de paneles solares para llegar a la generación de potencia requerida, también necesita de baterías de almacenamiento de ciclo profundo, para el período en que no se genera electricidad. Otro requisito es un equipo inversor para modificar el voltaje que entra al equipo diseñado. Existen otros costes que no se tratan, por lo cual se deja un valor adicional para cubrirlos.

- Paneles solares

Se seleccionan, a partir de los datos mostrados en el anexo T (a), un panel de 320 [W]. Se requiere una potencia de 2600 [W]. Los paneles solares se calculan de la forma siguiente:

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{\text{Potencia} * 1,3}{\text{HSP} * \text{Potencia panel} * \text{eficiencia}}$$

Donde HSP es la cantidad de horas de mayor generación.

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{2600 * 1,3}{2,48 * 320 * 0,85} = 5 \text{ paneles}$$

Para almacenar la misma energía necesaria para abastecer el equipo en un día, se requiere el mismo número de paneles. Entonces se utilizarán 10 paneles. Los datos para el cálculo se encuentran en el anexo U.

- Baterías de ciclo profundo

El banco de baterías debe suministrar 2600 [W] en un periodo sin luz solar. Para ello se debe calcular el amperaje de una batería.

Si se necesitan 2600 [W] y los paneles tienen una tensión de 24 [V], se requiere una batería de 108,3 [Ah] y 24 [V]. Pero las baterías de ciclo profundo, no entregan toda la energía que almacenan, solo suministran cerca de la mitad de su carga. Las baterías seleccionadas (anexo 4-) son de 12 [V], así que deben ser conectadas dos baterías en serie de alrededor de 200 [Ah]. Los valores se muestran en el anexo T(b).

- Inversor

Otro de los equipos necesarios es un inversor. Para su selección es necesario saber que durante la partida del equipo se consumen por lo menos 3 veces el valor de la potencia nominal, es decir que para accionar el motor del compresor de 2[kW] se necesita un inversor de onda pura de 6000 [kW]. Los ventiladores parten después del compresor. Los valores se muestran en el anexo T(c).

Los costos de los equipos seleccionados se muestran en la tabla 4-11.

Equipo	Coste
Paneles solares 320 [W] 24[V] x 16	\$958.900 (Unidad: \$95890)
Batería 200 [A] 12[V] x2	\$534.072 (Unidad: \$267036)
Inversor] onda pura 6000[W] 24 [V]	\$556.224
Total	\$2.049.196

Fuente: <https://www.insumosolares.cl/>

Tabla 4-11. Costos de los equipos de generación eléctrica con energía solar.

Se añade un coste extra de \$ 2.000.000 por transporte, instalación, componentes adicionales y emparejamiento del terreno. Entonces el valor total será de \$4.049.196.

El valor de esta combinación de generación es de \$6.549.196. Obteniéndose un precio de \$31 por litro de agua. En este cálculo no se agregaron los costos por mantenimiento de los equipos.

4.1.4. Alimentación con la red eléctrica

Para este desarrollo se utilizan los valores que la empresa CGE entrega para la comuna de La Ligua. Se analizará la tarifa BT1 para los meses de enero y junio del año 2019. Para saber cuánto cuesta la energía consumida se requiere calcular el cargo por energía (\$/kWh)

Período	Cargo por energía (\$/kWh)	
	2018	2019
Enero	90,15	75,782
Junio	88,759	88,413

Fuente: <http://www.cge.cl/informacion-comercial/tarifas-y-procesos-tarifarios/tarifa-de-suministro/>

Tabla 4-12. Tarifas de la empresa CGE, cargo por energía

Para el cálculo se utilizan los valores más altos. Los precios no son fijos, así que en 5 años el coste puede variar disminuyendo o aumentando.

Si se obtiene el promedio entre los dos periodos del año 2018, el cargo es de \$89,46 [\$/kWh]. Como se consumen 2,6 [kWh], en los 5 años el coste de la energía sera:

Coste energia

$$= Potencia * cargo energia * 24[h] * 30[dias] * 12[meses] \\ * 5[años]$$

$$Coste energia = \$10.048.148$$

Sumando el coste del equipo se obtiene un valor total de \$12.548.148. Sin contar los demás cargos que se le añaden al valor de la electricidad. También se desprecian los costes por mantención del equipo condensador de agua. El valor de un litro de agua obtenido con la energía de la red eléctrica nacional es de \$58.

4.2. COMPARACIÓN DE LOS COSTES CALCULADOS

Se compara lo que cuesta producir cada litro de agua con los diferentes métodos de generación y el costo inicial que tendría cada uno de ellos. Luego se compara el coste

de generación, esto es el combustible, o el valor de la electricidad que emplea cada método. También se comparan en términos de espacio y ruido generado.

En la tabla 4-13, que se muestra a continuación, se pueden ver las comparaciones de los métodos de generación expuestos en este capítulo. El más caro es el de generación solar en este caso, pues requiere de todos los componentes para su puesta en marcha, a diferencia de los generadores eléctricos, los cuales no contemplan el precio del combustible como costo inicial. El más barato de los métodos es el que consume energía eléctrica de la red nacional, pues solo requiere del equipo condensador.

Método de generación	Coste de un litro de agua	Coste inicial
Alimentación con generación a gasolina	\$299	\$2.748.690
	\$231	\$3.292.990
Alimentación con generación a diésel	\$132	\$3.198.690
Alimentación con generación solar	\$31	\$6.549.196
Alimentación con la red eléctrica.	\$58	\$2.500.000

Fuente: Creación propia, datos estimados.

Tabla 4-13. Comparación de los costos por litro de agua y del coste inicial.

El costo de generación de cada uno de los métodos se muestra en la tabla 4-14, en ella es claro que el mejor de los métodos es el de energía solar, pues el “Combustible” empleado es gratis y su coste es nulo, en cambio los demás necesitan consumir combustible o energía para funcionar.

Método de generación	Coste de generación
Alimentación con generación a gasolina	\$61.832.484
	\$46.636.992
Alimentación con generación diésel	\$25.140.784
Alimentación con generación solar	\$0
Alimentación con la red eléctrica.	\$10.048148

Fuente: Creación propia

Tabla 4-14. Comparación de los costes de generación de cada método mencionado.

En la tabla 4-15 se comparan el nivel de ruido del equipo, más el de la generación. También se compara el espacio que se debe utilizar para situar el equipo condensador y el equipo de generación.

Método de generación	Ruido	Espacio
Alimentación con generación con gasolina	Alto	Medio
Alimentación con generación con diésel	Alto	Medio
Alimentación con generación solar	Bajo	Muy Alto
Alimentación con la red eléctrica.	Bajo	Bajo

Fuente: Creación propia

Tabla 4-15. Comparación de espacio y ruido del equipo más el método de generación de electricidad.

4.3. COSTOS DEL AGUA EN LA COMUNA DE LA LIGUA

La generación del agua líquida no tiene coste para las empresas de distribución, ya que dicho proceso lo realiza la naturaleza. Estas solo se encargan que el agua extraída sea potable para la población. Los demás costos asociados al agua potable son por su recolección domiciliaria y posterior tratamiento.

La empresa de distribución de agua en la comuna de la ligua es ESVAL. Esta confiere un costo de suministro para el periodo de Julio del año 2019, que se muestra en la tabla 4-16, esta es un extracto del anexo V. El valor del cargo variable del agua potable está referenciado al coste de un metro cúbico de agua.

Detalles del cargo	Valores \$
Cargo fijo cliente	1174
Cargo variable Agua Potable	710,53

Fuente: <https://portal.esval.cl/oficina-virtual/tarifas/petorca/>

Tabla 4-16. Algunos cargos del agua potable en la comuna de la ligua

Se calcula el valor de un litro de agua al suponer que 1 [m³] corresponde a 1000 [l] de agua. Para lo cual se utiliza el siguiente formato:

$$\text{Coste [$/l]} = \frac{710,53}{1000} = \$0,71 \text{ cada litro de agua}$$

Al comparar el coste del agua generada con el equipo y el coste del agua potable, la diferencia es sustancial. Esto cambia al compararse con el precio del agua embotellada.

En La tabla 4-17 se observan los precios de algunos bidones de agua de marcas comercializadas en territorio nacional. Los valores se obtuvieron de los anexos W y X.

Marca	Lider	Tottus
Cachantún 6 [l]	\$1.550	\$1.569
Benedictino 6 [l]	\$1.490	\$1.529
Nestle 6 [l]	\$1.350	\$1.399

Fuente: www.tottus.cl y www.lider.cl

Tabla 4-17. Precios bidones de agua purificada, en Chile. Distribuidos por dos empresas de supermercados.

Al calcular el promedio entre el más barato y el más caro se obtiene un precio de \$1.460, como se trata de bidones de 6 litros el precio por litro sería de \$244.

4.4. VIDA ÚTIL DEL EQUIPO Y DE LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN

El equipo se proyecta para un funcionamiento de 5 años, durante los que se deben realizar mantenencias y revisiones periódicas, para evitar fugas de refrigerante o daños en el compresor.

El compresor por su uso continuado y trabajo a plena carga debiese cumplir el período de trabajo, siempre y cuando se mantenga el nivel de aceite y el mantenimiento del circuito eléctrico. Para evitar daños internos es importante estar revisando el flujo de salida de los filtros para detectar obstrucciones, esto se puede realizar al colocar un visor de líquido o accesos para medidores de presión. La vida útil depende del tipo de

compresor y las horas de trabajo. Un compresor de pistón suele durar alrededor de 12 a 15 años, uno rotativo dura alrededor de 7 años.

Las aletas de aluminio y los tubos de cobre no deben presentar desgaste o corrosión, a menos que en el vapor de agua se encuentren contaminantes que provoquen reacciones químicas adversas.

Los ventiladores deben tener una mantención periódica para detectar los fallos producidos por el uso continuo. También se debe realizar una mantención a las partes móviles y de desgaste, así como al circuito eléctrico.

Se debe diseñar el equipo con protectores para los motores eléctricos del compresor y los ventiladores, ya que un daño en estos significa un gran aumento del coste de generación de agua.

En cuanto a los equipos de generación, los motores de los generadores a combustión requieren mantención programada, para el cambio de aceite y cambio de filtros de combustible, aire y aceite. También es necesario realizar una constante revisión para detectar fallas ya que el equipo trabaja de forma continua. Su vida útil depende de los datos del fabricante, pero por lo general son de 10 a 12 años, si se realizan una correcta mantención y detección de fallas.

Los paneles solares tienen una vida útil de 20 a 25 años, luego de los cuales el panel comienza a disminuir su producción. La ficha técnica de la batería seleccionada dice que tiene una vida útil de 15 años a 20 [°C]. En cuanto al mantenimiento de los paneles es recomendable limpiar una vez al mes los paneles con un trapo y agua solamente, evitando al máximo rayar la superficie de estos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se presentó una propuesta de un equipo que permite suministrar el agua necesaria para el consumo óptimo diario de una persona. Al compararse el costo del agua suministrada por la empresa ESVAL y el equipo alimentándose con energía fotovoltaica, que entrega el precio más bajo por litro de agua (\$31 /litro), el equipo queda en una posición desfavorable. Pero cuando este se compara con los valores de agua embotellada queda mucho mejor posicionado.

Se mencionó que el equipo tenía como fin ser una alternativa cuando no existe suministro de agua. Bajo dicha condición el equipo es rentable, siempre que el compresor y ventiladores alcancen la vida útil de 5 años. Posterior al periodo mencionado, si se reutilizan los intercambiadores de calor y se mantiene el sistema solar como fuente de alimentación, el costo del agua sería solamente calculado con el precio del compresor, del refrigerante y las mantenciones.

Si se mejora el sistema de alimentación eléctrica y se utilizan varios equipos para generación, la condensación de agua puede ser una respuesta sustentable a la crisis hídrica que presenta la provincia de Petorca.

Algunas de las recomendaciones para el funcionamiento del equipo son:

- Situar los equipos fuera de zonas donde el aire se encuentre contaminado.
- Realizar las mantenciones recomendadas

BIBLIOGRAFÍA

- 1 CDS, Chile desarrollo sustentable [en línea]. Todo lo que debes saber de la Enmienda Kigali. 16 de enero del 2019. [citado: 15 julio 2019]. Disponible en:<<http://www.chiledesarrollosustentable.cl/noticias/noticia-pais/todo-lo-que-debes-saber-de-la-enmienda-kigali/>>

- 2 CENGEL, Yunus A. y GHAJAR, Afshin J. Transferencia de calor y masa, 4^a ed. México, D.F. McGraw-Hill, 2011. 945 p. ISBN: 978-607-15-0540-8.

- 3 CENGEL, Yunus A. y BOLES, Michael A. Termodinámica. 7^a ed. México, D.F. McGraw-Hill, 2012. 1005 p. ISBN 978-607-15-0743-3.

- 4 DINAMO, El [en línea]. Chile firma importante acuerdo mundial para la protección ambiental. 20 de Septiembre de 2017. [citado: 10 de julio 2019]. Disponible en:<<https://www.eldinamo.cl/ambiente/2017/09/20/enmienda-de-kigali-protocolo-de-montreal-chile/>>

- 5 GAS, servei. [en línea]. [citado: julio 2019]. Disponible en:<<https://www.gas-servei.com/es/fluidos/refrigerantes-hfo/1234yf>>

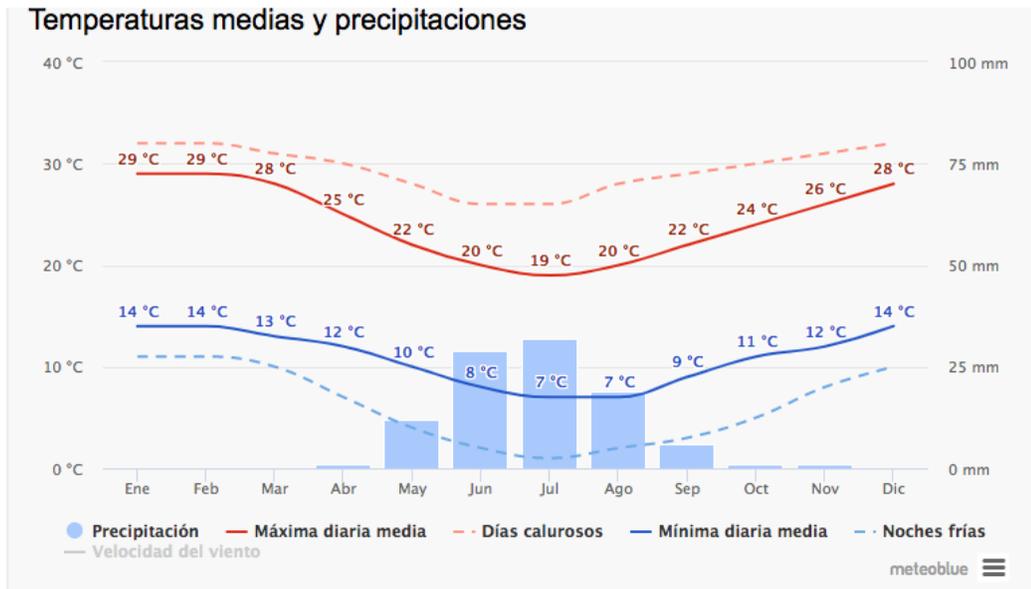
- 6 GOB, Gobierno de Chile. Cuidemos el agua: Cifras y recomendaciones [en línea]. 14 de Enero de 2015. [citado: 20 junio 2019]. Disponible en : <<https://www.gob.cl/noticias/cuidemos-el-agua-cifras-y-recomendaciones/>>

- 7 LARRAÍN, Sara. El agua en Chile: entre los derechos humanos y las reglas del mercado. [En línea]. Revista Polis. 11 agosto 2012. V.14, 2006. [citado el 15 mayo 2019]. Disponible en: <<http://journals.openedition.org/polis/5091>> ISSN 0718-6568.

- 8 WHO, World Health Organization. [en línea]. Guidelines for Drinking water Quality. 3^a ed. Geneva, 2008. [citado junio 2019] <https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf>. ISBN 978 92 4 154761 1.

ANEXOS

Anexo A: Temperaturas medias máxima y mínima, medidas entre 1984-2019



https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/la-ligua_chile_3885456

Anexo B: Temperaturas máximas y mínimas 2018

Dia	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
1	18	12	18	9	21	12	16	11	17	7	14	3	12	10	12	3	20	6	14	14	20	8	14	14
2	20	10	20	14	20	14	15	12	22	7	15	3	18	10	10	5	24	7	11	11	19	10	19	15
3	23	9	21	14	21	8	20	10	22	7	16	6	14	9	19	5	29	10	28	9	19	8	18	16
4	25	12	20	13	25	10	17	9	12	9	16	3	13	13	15	7	17	10	15	12	20	8	16	16
5	29	15	21	16	21	11	19	11	14	8	14	5	13	11	15	7	12	12	12	12	29	10	20	20
6	25	12	21	15	19	10	14	14	14	12	12	12	16	10	13	7	20	6	10	10	22	10	19	16
7	20	14	20	13	20	13	18	17	18	13	22	10	9	9	18	9	15	6	13	10	21	9	18	16
8	21	12	20	13	20	12	13	13	16	14	21	8	17	7	11	11	16	16	19	10	19	11	16	15
9	22	12	28	0	19	19	18	9	16	12	13	9	11	7	18	7	14	6	16	12	21	8	15	15
10	20	14	29	14	20	20	15	15	21	11	13	9	10	10	16	8	18	7	13	13	21	9	21	16
11	19	14	23	11	24	22	16	16	23	9	13	5	15	6	13	8	17	7	10	10	21	12	20	14
12	18	14	19	10	29	12	21	9	14	8	16	4	17	6	11	7	10	10	17	8	19	12	20	16
13	19	15	20	11	21	10	19	8	16	10	15	4	19	8	20	7	13	7	14	12	22	10	14	14
14	18	15	21	11	25	6	18	7	12	14	17	3	16	9	19	7	11	10	14	14	28	10	16	16
15	20	15	18	14	12	12	16	9	16	11	16	9	18	9	19	6	14	9	14	6	28	9	14	14
16	22	14	19	14	16	16	17	17	19	10	18	7	14	6	13	8	17	6	11	11	23	10	18	14
17	25	11	18	14	21	10	23	10	19	6	10	6	12	7	13	9	16	8	18	8	24	10	19	14
18	20	12	22	11	27	13	18	8	14	12	12	5	14	3	19	10	15	7	21	8	31	11	14	14
19	20	15	21	13	21	9	20	8	23	11	11	9	13	0	15	5	18	7	16	12	23	10	18	16
20	19	15	24	12	19	8	16	7	11	11	13	8	20	3	13	5	20	9	14	14	20	20	21	10
21	20	12	20	14	19	8	17	8	17	6	18	7	14	5	10	7	22	11	12	12	19	15	16	14
22	22	12	20	12	23	8	22	10	15	6	15	5	15	6	10	7	11	11	19	8	14	14	15	15
23	21	12	20	12	24	12	16	9	15	6	11	4	14	3	10	10	22	10	14	8	22	13	18	18
24	19	11	15	15	29	12	17	8	17	5	14	8	12	2	20	3	23	8	18	12	21	13	19	13
25	20	12	19	19	23	10	19	7	15	5	14	14	13	1	24	9	18	18	17	9	19	19	15	15
26	23	10	18	11	19	9	23	8	12	12	15	15	10	7	13	7	13	13	25	7	16	15	19	19
27	29	10	16	16	19	8	23	10	10	10	24	9	12	6	12	11	12	12	22	12	20	18	18	15
28	28	11	20	12	20	8	18	9	15	9	11	7	16	5	14	10	17	10	21	8	17	13	17	14
29	19	12			21	11	14	7	15	12	11	6	8	6	14	10	17	11	15	15	15	14	20	15
30	20	11			29	11	15	7	17	10	13	9	16	5	13	10	16	16	22	11	20	13	16	16
31	21	11			15	11			16	6		13	5	11	11				13	13			14	14
Prom	21,45	12,45	20,39	12,61	21,35	11,45	17,77	10,10	16,23	9,32	14,77	7,07	14,00	6,58	14,61	7,61	16,90	9,53	16,06	10,68	21,10	11,73	17,32	15,13
	Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun		Jul		Ago		Sept		Oct		Nov		Dic	

Fuente: <https://www.accuweather.com/es/cl/la-ligua/61304/may-weather/61304>

Anexo C temperaturas máximas y mínimas diarias 2018

Días	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
1	22	14,4	24,4	6,8	24,2	11,5	21,3	13	20,2	1,7	16,7	-1,9	15,8	3	11,1	0,6	18,7	3,9	18,3	1	23,4	5,9	23,6	12,9
2	23	7,1	24,4	12	22,8	15,5	18,3	5,7	21,8	7,3	14,5	-1,3	18,3	4	11,9	8,5	20,7	3,8	20,5	1,9	22,8	4,7	21,7	14
3	26	6	24,9	16,1	22,3	14,7	24,1	9,4	23,9	5,2	15,9	0,3	18,2	8,8	18,5	-0,4	29,8	2,4	25,2	-0,7	20,6	3,5	19,3	9,7
4	25,2	12,9	24	10,2	25	8,7	21,4	12	26,1	6,8	17,7	-3,8	17,1	7,2	19	-0,8	18,9	0,7	18,1	2,4	20,9	8,5	26	14,9
5	25,7	10,6	25,4	16,2	25,7	9,4	23,4	6,8	20,6	4,5	12,6	-4,9	15	10	17,6	1,4	16,6	11,1	19,6	7,4	25,8	4,4	23,5	5,7
6	29	7,5	25,1	16,4	23,3	6,5	18	13,6	21,4	8,6	22,7	0,2	17,6	11,7	15,1	4,6	19,4	2,9	19	5,3	26,8	5	23,9	9,7
7	25	9,7	24	12,9	24,4	12,8	22,1	8,4	21,5	9,4	24,3	-1,8	19,4	5,5	17,1	8,9	17,5	3	16,7	10	29,2	4,6	22	11,1
8	25,6	8,5	24,4	12,6	24	13,2	21,2	12,9	19,7	10,1	23,6	-1,1	19,7	5,2	28,4	-1	19,9	1,6	18,4	9	24,2	10,3	24,2	6,1
9	25,4	8,4	26,3	8,4	25,1	6,5	19,7	5,3	18,4	9,5	16,1	6,6	11,8	4	23	3	18,3	2	18,1	4,9	26,1	4	25,4	5,4
10	24,6	14,1	28,3	4,8	23,5	10,2	23,6	6,8	20,9	4,2	16,4	8,1	11,5	9,6	21,4	9,1	22,4	3,9	18,8	2,7	25,4	3,2	24,1	6,2
11	22,1	14,6	26,8	4,8	27,1	4,8	25	6,5	26,5	0,3	12,9	5,8	15,8	9,4	16,8	5,4	18,7	3,7	18,8	7,2	23,1	10,6	25,6	5,1
12	21,9	14,2	25,9	4,3	25,4	3,9	23,2	3,1	18,9	1	15,7	-2,1	20,5	1,7	13,2	8,4	16,4	3,9	17,7	10,7	20,8	14,7	25,1	5,8
13	22,8	15,2	24	7,8	26,3	4,2	19,9	3,9	17,7	12,6	16,3	-2,5	22,6	1,7	18,3	3	13,8	10,4	18	10,1	22,5	5,4	22	8,8
14	20,8	13,3	24,6	7,9	23,5	1,4	20,6	5,6	19,6	2,9	17,9	-0,7	15,5	9,2	21	-1,7	13,1	10,3	19,1	7,2	25,2	3,3	23,3	3,2
15	23,8	14,9	23,9	15,2	25	2,2	21,5	13,2	17,4	4,7	17	2,7	16,6	11,8	22,5	0,2	14,8	9,5	16,4	7,4	25,5	3,9	23,9	4
16	24	16	24,6	14,9	23,7	2,5	22,3	9,4	20,4	9,2	22,1	-0,6	11,3	4,5	15,2	4,2	18,1	0,8	18,3	10,3	23	5,4	24,8	5,3
17	24,9	6,4	24,6	14,9	24,9	6,3	22,6	4,3	20,6	3,4	17,1	2,3	12	9,9	12,8	9,6	20	3	20,3	5,4	22,9	5,6	23,8	8
18	25,7	8,6	25,4	16	23,2	11,3	21,8	2,3	23	-1,1	16,4	6,4	13,8	3,7	15,6	7,7	16	10,2	20,5	1,5	27,5	4,4	24,3	12
19	24,8	13	24,5	17	23,3	4,9	21,5	6,8	24,9	-2,1	12,6	9,3	12,9	-3	17,2	-2,3	19,4	3,3	19,3	2,9	25,6	5,8	23,3	14,9
20	23,8	16,2	27,1	6,4	24,6	2,8	21,4	4,8	25,9	-2,5	14,3	8,7	20,1	-4,3	16,4	-0,8	21,3	6,9	20,2	1,9	24,3	5,7	25,4	7,9
21	22,7	16,3	26,3	13,9	21,2	4,3	21,8	11,9	18,7	5,1	19,2	2,9	16,7	-2,4	11,8	2,5	25,9	1,9	20,9	0,4	22,4	5,2	23,8	5,7
22	24,9	7,8	25,4	9,6	24	3,9	22,2	5,9	19,6	4,1	16,2	0,6	15,7	-1,2	13,1	8,4	21,2	9,8	22,9	3,8	24,5	7,3	21,8	14,9
23	24,7	15,8	24,6	11,8	24,2	6,6	20,1	5,2	20,4	1,7	11,9	1,2	17	-4,6	15,8	4,4	19,5	11,4	19,8	2,9	24,6	9,2	23,2	14,9
24	24,6	7	22,7	15	27	7,7	20,7	3,8	23,4	-1,6	16,8	7,2	14,2	-2,1	19,2	-3,7	21,3	2,4	21,1	2,1	25,7	5,7	24,6	14,2
25	22,2	14,9	22,8	14,9	28	3,5	24,9	9,2	21,2	-2,1	16,9	1,8	15,4	-1,6	22,3	-1,9	21,9	3,6	20,6	7,4	23,5	5,3	24,3	15,3
26	22,3	13	23,1	7,7	23,5	4,4	25	1,2	16,2	9,7	18,6	3,1	10,5	6,5	17,6	0,1	18,9	9,4	23,9	3,9	21,9	5,8	22,6	12,1
27	26,6	5,3	20,4	15	23,6	2,9	23	5,2	23,4	-2,6	23,5	1,8	13,2	8	14	10,6	19,1	10,4	23,6	10,2	22,9	5,5	23,1	11,3
28	27	6,4	23,2	16,1	22,7	9,7	23,3	7,2	19,1	5,8	12,8	4,6	16,4	-0,7	14,1	11	22,2	7,4	25,3	8,9	22,5	8,8	22,4	7,7
29	24,4	7,9			25,5	7,8	15,7	7,9	17,1	10,3	12,8	5,5	16,7	0,5	15,7	10,2	19,7	11,8	21,2	10,8	22,1	12,9	21,6	9,1
30	23,2	13,7			27,5	6,2	17,4	6	15,4	11,7	13,7	8,8	17,3	-0,9	13,9	8,5	16,1	10,1	22	13,7	23,7	10,8	25,5	4,8
31	25	6,7			20,8	7,8			14,7	4,3			14,3	0,6	15,5	6,9			21,9	10,2			24,6	5,9
Prom	24,3	11,2	24,7	11,8	24,4	7,0	21,6	7,2	20,6	4,6	16,8	2,3	15,9	3,7	16,9	4,0	19,3	5,9	20,1	5,9	24,0	6,5	23,6	9,2
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic												

Fuente: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/>

Anexo D temperatura promedio diaria 2018

Día	Meses											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	16.9	15.2	16.8	15.0	8.6	4.6	.	6.6	9.0	9.1	13.2	16.6
2	15.5	17.4	17.6	14.2	12.3	4.8	9.4	9.2	9.7	9.6	.	16.4
3	15.8	18.9	16.9	13.1	11.6	5.7	12.3	6.2	11.8	10.5	12.9	14.9
4	17.6	17.1	16.0	13.9	12.9	3.3	11.8	6.7	9.3	10.9	14.1	18.6
5	17.4	19.4	15.7	15.2	10.5	3.2	12.2	7.3	12.4	11.8	15.0	15.9
6	18.0	19.0	14.9	13.2	14.0	7.9	13.0	9.0	8.7	11.0	15.5	16.3
7	17.5	17.5	17.4	15.6	13.9	7.3	10.1	11.1	9.2	12.3	16.0	16.4
8	17.6	17.5	17.5	13.9	12.7	9.1	9.7	8.9	8.6	12.3	15.4	16.1
9	16.9	16.9	15.0	14.4	12.6	10.8	8.8	10.8	8.7	10.4	14.6	16.3
10	18.1	15.6	16.4	13.2	10.0	11.2	10.4	12.2	10.7	9.7	14.9	15.8
11	17.6	14.7	14.1	14.2	9.8	7.8	10.5	10.5	9.9	12.2	16.8	16.3
12	16.9	15.1	14.1	12.3	9.1	4.3	8.5	10.3	10.1	12.8	17.0	.
13	18.1	16.0	13.3	10.2	13.6	4.7	9.4	8.4	11.5	12.6	15.0	15.1
14	17.0	15.8	11.6	11.9	9.1	6.0	11.9	6.7	11.2	12.0	14.9	14.6
15	17.9	17.7	11.9	13.3	10.5	8.0	12.1	8.7	11.5	11.5	15.2	14.9
16	18.4	17.8	12.0	15.7	13.1	7.4	8.3	9.7	8.3	13.1	14.9	15.5
17	16.0	17.9	14.0	13.5	9.5	8.0	10.5	10.8	10.3	12.2	15.0	15.8
18	16.8	19.3	15.9	11.0	7.8	9.9	6.8	9.6	11.7	10.5	16.5	17.1

19	17.8	19.1	13.3	9.9	7.3	10.6	2.9	5.0	9.7	11.0	15.9	17.5
20	18.6	17.0	12.4	11.9	7.7	9.7	4.6	5.6	11.9	10.6	15.4	15.7
21	18.5	18.2	12.6	11.6	9.8	7.9	4.7	8.0	11.9	11.0	14.8	15.4
22	16.7	16.7	12.9	14.7	8.6	6.1	4.8	10.0	13.4	12.4	16.1	17.0
23	18.4	17.3	14.5	11.7	7.5	6.2	3.0	9.5	13.8	11.9	16.3	17.3
24	15.4	17.2	15.3	11.0	6.9	9.9	4.0	5.6	10.5	11.4	15.6	17.5
25	17.0	17.4	13.2	11.5	7.4	7.4	5.1	7.4	11.4	13.8	14.6	18.1
26	16.3	15.6	12.9	14.7	10.0	8.6	8.5	8.1	13.4	13.1	13.8	16.8
27	16.2	17.0	11.7	9.4	7.0	8.9	9.1	11.8	13.1	15.2	13.6	16.5
28	16.4	18.0	14.7	11.5	11.5	9.9	5.4	11.9	13.6	15.1	15.4	14.8
29	15.7		14.7	12.0	13.7	8.5	6.0	12.0	14.4	.	15.6	15.4
30	17.0		14.1	11.1	12.2	10.7	5.6	11.1	12.4	16.2	15.9	15.6
31	15.7		13.4		8.3		6.1	10.0		14.6		15.9

Fuente: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/>

Anexo E humedad relativa diaria 2018

Día	Meses											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	76.5	71.8	79.8	81.2	86.2	84.0	.	93.6	91.1	77.8	84.1	78.9
2	71.0	74.5	81.2	86.2	85.1	88.4	90.9	83.1	88.7	82.8	.	78.5
3	71.0	74.0	83.8	84.5	84.4	82.6	91.1	86.0	78.2	79.4	76.3	80.9
4	79.2	74.8	75.5	83.2	80.1	80.6	88.7	86.8	86.2	84.0	78.2	62.4
5	72.2	75.8	78.8	82.0	86.7	86.6	.	88.0	85.5	85.3	71.6	67.5
6	56.5	80.2	74.8	80.0	79.7	82.1	.	92.1	89.1	88.8	66.0	78.8
7	68.5	79.2	78.5	75.2	83.1	79.2	90.5	89.4	91.0	87.0	72.3	74.6
8	65.5	77.2	72.8	80.8	90.2	75.8	89.8	78.0	88.4	84.1	82.4	60.7
9	72.2	67.5	72.2	83.2	86.2	91.9	96.2	89.2	89.2	88.0	71.2	64.8
10	79.0	62.5	72.2	74.2	84.5	76.0	90.3	89.1	87.0	87.5	69.6	72.0
11	81.5	66.0	68.5	82.5	82.1	87.9	87.8	93.8	89.7	80.9	69.9	67.4
12	84.5	66.5	64.2	84.5	88.5	86.5	87.5	93.6	89.7	73.9	67.9	.
13	75.8	77.5	67.8	83.5	82.2	83.5	87.1	87.8	88.3	76.6	62.9	63.5
14	80.5	75.0	67.2	77.8	85.4	86.1	94.8	85.0	89.5	77.9	63.3	57.2
15	77.8	77.2	70.5	82.5	87.3	86.2	90.6	86.1	84.0	86.2	68.7	59.4
16	69.8	76.8	71.8	80.8	81.5	85.0	98.7	93.2	86.2	82.5	69.3	68.3
17	71.0	80.8	84.0	86.0	79.8	91.9	82.8	93.4	86.9	75.2	65.2	75.8
18	77.2	74.0	76.2	85.5	80.7	90.1	84.3	90.3	95.3	84.7	60.5	76.0
19	79.5	80.8	79.2	81.5	76.2	87.7	84.2	87.4	90.7	85.0	65.5	75.2
20	76.8	67.0	71.2	86.4	74.2	88.5	80.5	91.3	87.1	80.4	68.3	73.6
21	75.5	85.8	81.2	86.7	89.0	88.6	85.2	90.8	85.4	73.9	73.6	72.0
22	75.8	78.8	78.2	86.6	87.0	89.9	86.2	85.2	89.7	77.1	72.1	81.6
23	82.5	85.8	83.2	89.3	85.4	95.1	84.6	81.5	82.7	79.0	69.5	76.6
24	78.2	85.5	75.8	85.5	81.0	88.4	92.1	83.5	88.2	80.8	63.0	78.8

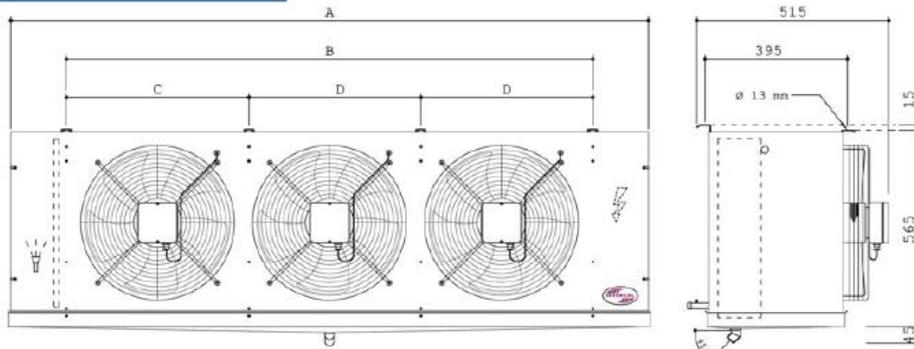
25	84.0	77.0	69.5	84.5	84.4	91.1	92.4	82.2	84.8	73.2	69.0	74.2
26	75.0	77.0	79.2	73.9	85.8	89.1	88.8	87.9	87.8	76.7	75.6	75.1
27	67.8	83.5	75.5	83.8	82.9	85.1	93.5	92.0	89.6	79.7	79.5	75.0
28	66.5	75.2	78.5	86.9	82.2	98.3	88.8	86.1	88.3	88.1	72.2	78.5
29	75.5		83.2	87.1	87.3	97.1	87.2	86.1	86.3	.	81.7	71.7
30	71.8		77.2	86.3	93.9	89.1	87.6	88.9	86.4	83.8	75.1	60.7
31	71.2		85.8		85.9		91.6	89.2		80.5		62.4

Fuente: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/>

Anexo F: Extracto del catálogo de la empresa Intercal, para evaporadores ECC.

FICHAS TECNICAS Y TABLAS DE CAPACIDAD

ECC 6 400



MODELOS PARA MEDIA Y BAJA TEMPERATURA (SEPARACIÓN DE ALETAS 6 mm. / TIRO DE AIRE 12 m)

MODELO	CAPACIDAD			SUPERFICIE INTERC.	CAUDAL DE AIRE	VENTILADORES	CALEFACTORES	DIMENSIONES				CONEXIONES			VOL.	PESO	
	Tav/8°C DT*8	Tev*-8°C DT*8	Tev*-28°C DT*8					A	B	C	D	ENT.	SAL.	DES.			INT.
	Kcal/Hr	Kcal/Hr	Kcal/Hr					mm	mm	mm	mm	PULG.	PULG.				dm3
ECC 6A - 401 / 9	2.464	2.411	1.985	9,2	3.740	1 x 400	4 x 643 W / 2,9A	820	510	510	-	5/8"	5/8"	HE 1"	2,2	21	
ECC 6A - 401 / 14	3.443	3.369	2.772	13,8	3.740	1 x 400	4 x 643 W / 2,9A	820	510	510	-	5/8"	7/8"	HE 1"	3,5	26	
ECC 6A - 402 / 18	4.929	4.823	3.969	18,4	7.480	2 x 400	4 x 1264 W / 5,7A	1.300	990	510	480	5/8"	7/8"	HE 1"	4,3	39	
ECC 6A - 402 / 28	6.885	6.737	5.544	27,5	7.480	2 x 400	4 x 1264 W / 5,7A	1.300	990	510	480	5/8"	1 3/8"	HE 1"	6,8	47	
ECC 6A - 403 / 28	7.393	7.234	5.954	27,5	11.220	3 x 400	4 x 1886 W / 8,6A	1.780	1.470	510	480	5/8"	1 1/8"	HE 1"	6,4	56	
ECC 6A - 404 / 37	9.858	9.646	7.938	36,7	14.960	4 x 400	4 x 2507 W / 11,4A	2.260	1.950	510	960/480	5/8"	1 3/8"	HE 1"	8,5	74	
ECC 6A - 403 / 41	10.328	10.106	8.317	41,3	11.220	3 x 400	4 x 1886 W / 8,6A	1.780	1.470	510	480	5/8"	1 5/8"	HE 1"	9,9	69	
ECC 6A - 405 / 44	12.322	12.057	9.923	45,9	18.700	5 x 400	4 x 3129 W / 14,2A	2.740	2.430	990	480/960	5/8"	1 5/8"	HE 1"	10,7	92	
ECC 6A - 404 / 55	13.770	13.474	11.089	55,1	14.960	4 x 400	4 x 2507 W / 11,4A	2.260	1.950	510	960/480	5/8"	1 5/8"	HE 1"	12,8	90	
ECC 6A - 405 / 69	17.213	16.843	13.861	68,9	18.700	5 x 400	4 x 3129 W / 14,2A	2.740	2.430	990	480/960	5/8"	1 5/8"	HE 1"	15,8	112	

La capacidad de los evaporadores indicadas en estos cuadros corresponden a un diferencial térmico DT° 8 °C. para R-404a Para determinar el rendimiento de cada modelo en otras condiciones de trabajo revisar las tablas de selección de evaporadores.

OPCIONES DE CONEXIÓN ELÉCTRICA PARA VENTILADORES				
DIAMETRO / RPM	POTENCIA	CONSUMO	CONEXION	SUMINISTRO
400 mm / 1380 rpm	150 W	0,7 A	220V / 11 / 50 Hz	Estándar
400 mm / 1600 rpm	190 W	0,88 A	220V / 11 / 60 Hz	Estándar
400 mm / 1400 rpm	190 W	0,48 A	380V / 31 / 50 Hz	A pedido
400 mm / 1750 rpm	235 W	0,49 A	440V / 31 / 60 Hz	A pedido
400 mm / 1770 rpm	440 W	1,00 A	220V / 31 / 60 Hz	A pedido

(a)

RENDIMIENTOS PARA DISTINTAS CONDICIONES DE TRABAJO (Watts)															
T° EVAPORACIÓN (°F) T° EVAPORACIÓN (°C) DT1 (°K)	50			32			14			-4			-22		
	10			0			-10			-20			-30		
	6	8	10	6	8	10	6	8	10	6	8	10	6	8	10
ECC 6A - 401 / 9	2.216	2.955	3.694	2.149	2.866	3.582	2.084	2.779	3.474	1.931	2.574	3.218	1.668	2.225	2.781
ECC 6A - 401 / 14	3.096	4.128	5.160	3.002	4.003	5.004	2.911	3.882	4.852	2.697	3.596	4.495	2.331	3.108	3.884
ECC 6A - 402 / 18	4.432	5.910	7.387	4.298	5.731	7.164	4.168	5.558	6.947	3.861	5.148	6.435	3.337	4.449	5.562
ECC 6A - 402 / 28	6.191	8.255	10.319	6.004	8.006	10.007	5.823	7.764	9.705	5.393	7.191	8.989	4.661	6.215	7.769
ECC 6A - 403 / 28	6.648	8.865	11.081	6.448	8.597	10.746	6.252	8.337	10.421	5.792	7.722	9.653	5.005	6.674	8.342
ECC 6A - 404 / 37	8.865	11.819	14.774	8.597	11.462	14.328	8.337	11.116	13.894	7.722	10.296	12.870	6.674	8.898	11.123
ECC 6A - 403 / 41	9.287	12.383	15.479	9.007	12.009	15.011	8.734	11.646	14.557	8.090	10.787	13.484	6.992	9.323	11.653
ECC 6A - 405 / 46	11.081	14.774	18.468	10.746	14.328	17.910	10.421	13.894	17.368	9.653	12.870	16.088	8.342	11.123	13.904
ECC 6A - 404 / 55	12.383	16.511	20.638	12.009	16.012	20.015	11.646	15.527	19.409	10.787	14.383	17.978	9.323	12.430	15.538
ECC 6A - 405 / 69	15.479	20.638	25.798	15.011	20.015	25.019	14.557	19.409	24.262	13.484	17.978	22.473	11.653	15.538	19.422

(b)

Fuente: <http://www.intercal.cl/wp-content/uploads/sites/1899/2015/05/117893-ECC.pdf>

Anexo G: Datos técnicos de equipos condensadores

Manuel Antonio Tocornal 454, Santiago - Chile
Tel: 635 1706 - Fax: 635 1072
ventas@antartic.cl
www.antartic.cl

Condensadores Frascold
Características

Características y capacidades

Condensadores para acoplamiento a los equipos de compresores herméticos y semi-herméticos. Construidos en tubos de cobre de 9.5 mm de diámetro y aletas de aluminio con paso de 3.2 mm. Los collarines de las aletas son auto-distanciantes, cubriendo totalmente el tubo, lo que proporciona un perfecto contacto con el mismo. Tanto la geometría de los tubos (25 x 25 mm), como el paso entre las aletas (3.2 mm) hacen que estos condensadores sean compactos y de reducido tamaño, lo que es importante en el diseño, especialmente en donde el espacio es limitante. El bastidor es de chapa de acero galvanizado y los soportes presentan ranuras para fijación rápida del condensador a la bancada o base.

Modelo	Conexiones		Área m ²	Toberas N° / Diámetro	Rendimiento (Watts) DT= 10°C			Dimensiones A x B x C (mm)	Código Antartic
	Entrada	Salida			R-22	R-134a	R-404a R-507		
C01-M	1/2"	3/8"	2,41	1 x 300	2.120	2.100	1.950	390 x 337 x 134	1500FR-001
C03-M	1/2"	3/8"	7,5	1 x 350	2.426	3.210	3.030	500 x 420 x 192	1500FR-003
C06-M	5/8"	1/2"	23,64	1 x 400	5.360	5.301	5.051	700 x 475 x 210	1500FR-006
C07-M	5/8"	1/2"	28,48	2 x 350	7.651	7.491	7.221	925 x 453 x 210	1500FR-007
C08-M	7/8"	5/8"	34,17	2 x 400	9.571	9.371	9.071	1000 x 522 x 210	1500FR-008
C14-M	1-1/8"	7/8"	105,43	4 x 450	33.826	33.535	31.615	1358 x 1260 x 190	1500FR-014
C16-M	1-1/8"	3/4"	49,8	2 x 450	14.942	14.662	14.003	1358 x 635 x 210	1500FR-016
C17-M	1-1/8"	3/4"	62,05	2 x 450	16.943	16.693	15.862	1375 x 635 x 210	1500FR-017
C18-M	1-1/8"	7/8"	89,45	2 x 500	26.305	25.764	24.304	1510 x 810 x 210	1500FR-018
C19-M	1-1/8"	7/8"	113,01	2 x 500	28.915	28.238	27.025	1510 x 810 x 225	1500FR-019
C16T	5/8"	1/2"	13,38	1 x 400	3.786	4.139	3.929	600 x 420 x 200	1500FR-000

Observaciones

Observaciones:

- Ventiladores no incluidos.
- Envoltorio de acero galvanizado.
- Batería de tubos de cobre y aletas de aluminio.
- Turbulenciadores en aletas y entre los tubos.
- Colectores protegidos contra corrosión.

Equivalencias:

1 Watt = 0.8598 Kcal/h
= 3.4121 BTU/h

Fuente: <https://www.antartic.cl/condensadores.html>

Anexo H: Tubos comerciales tipo M

Tubería de cobre de temple rígido Tipo "M"									
Medida Nominal		Diámetro Exterior	Diámetro Interior	Espesor de Pared	Peso	Peso por tramo	Presión Máxima	Presión Constante	Flujo
Pulgadas	mm	mm	mm	mm	kg/m	kg	kg/cm2	kg/cm2	l/min
¼"	6,35	9,525	8,255	0,635	0,159	0,968	431,15	86,18	-
3/8"	9,5	12,700	11,430	0,635	0,216	1,318	316,35	63,27	8,507
½"	12,7	15,875	14,453	0,711	0,304	1,854	283,45	56,66	15,382
¾"	19	22,225	20,599	0,812	0,488	2,981	231,35	46,25	40,333
1"	25	28,575	26,767	0,889	0,693	4,227	196,84	39,36	83,180

Fuente: https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut208/manual_tecnico_cobre.pdf

Anexo I: Cotización de Evaporador y válvula VET.

ANTARTIC REFRIGERACION LTDA.
Rut: 78.220.990-6
Manuel A. Tocornal 454, Santiago
Tel: 2635 1706 - Fax: 2635 1072
E-mail: ventas@antartic.cl
Web: www.antartic.cl

COTIZACION VENTA
0000122791

25 de Julio de 2019

RAZON SOCIAL : ANTARTIC SEA FOOD S.A. R.U.T. : 76.014.281-6
DIRECCION : GERONIMO MENDEZ 1610 TELEFONO : 2230671-51
GIRO : Pesca Artesanal, Industrial .Prod,del Mar FAX : 5852429
COMUNA : COQUIMBO REGION : IV REGION
OBSERVACION : ATENDIDO POR: CARLOS ULLOA G.
COND. DE PAGO :

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	P. UNITARIO	DESC. (\$)			TOTAL
				1	2	3	
3100DA-035	Orificio 05 Danfoss, Cuerpo 2, 068-2008	1	11.614	0	0	0	11.614
5500AN-425	Evaporador Intercal ECC6A-402/28	1	601.370	0	0	10	541.233

SON : SEISCIENTOS CINCUENTA Y SIETE MIL OCHOCIENTOS OCHENTA Y OCHO Pesos----- NETO : 552.847
I.V.A. : 105.041
TOTAL : 657.888

* VALIDEZ: 7 DIAS
* DOLAR REFERENCIAL \$ 685
* Variaciones del tipo de cambio observado mayores a un 4% respecto al tipo de cambio
* referencial anulan la presente cotización.
* SUJETA A DISPONIBILIDAD DE STOCK
* Banco Santander, Cuenta Cte. N°: 331769-2

Fuente: cotización Antartic

Anexo J: Cotización de condensador

ANTARTIC REFRIGERACION LTDA.		COTIZACION VENTA	
Rut: 78.220.990-6		0000122791	
Manuel A. Tocornal 454, Santiago			
Tel: 2635 1706 - Fax: 2635 1072			
E-mail: ventas@antartic.cl			
Web: www.antartic.cl			
25 de Julio de 2019			
RAZON SOCIAL :	ANTARTIC SEA FOOD S.A.	R.U.T. :	76.014.281-6
DIRECCION :	GERONIMO MENDEZ 1610	TELEFONO :	2230671-51
GIRO :	Pesca Artesanal, Industrial .Prod,del Mar	FAX :	5852429
COMUNA :	COQUIMBO	REGION :	IV REGION
OBSERVACION :		ATENDIDO POR:	CARLOS ULLOA G.
COND. DE PAGO :			

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	P. UNITARIO	DESC. (%)			TOTAL
				1	2	3	
310DA-435	Onificio 05 Danfoss, Cuerpo 2, 068-2008	1	11.614	0	0	0	11.614
5500AN-425	Evaporador Intercool ECCA-40228	1	601.370	0	0	10	541.233

SON :	SEISCIENTOS CINCUENTA Y SIETE MIL OCHOCIENTOS	NETO :	552.847
	OCHENTA Y OCHO Pesos-----	I.V.A. :	105.041
		T O T A L :	657.888

- * VALIDEZ: 7 DIAS
- * DOLAR REFERENCIAL \$ 685
- * Variaciones del tipo de cambio observado mayores a un 4% respecto al tipo de cambio referencial anulan la presente cotización.
- * SUJETA A DISPONIBILIDAD DE STOCK
- * Banco Santander, Cuenta Cte. N°: 331769-2

Fuente: cotización Antartic

Anexo K: Costo y datos técnicos de compresores scroll para refrigerante R407 de la marca Chiller

• Compresor Scroll R407C - Aplicación clima - enfriadoras - Chiller

Código	Modelo	HP	Cilind. (cm³)	kW	€	COPELAND	DANFOSS
MOTOR MONOFÁSICO 230V - 50Hz (Incluido visor de aceite, kit de arranque monofásico y calentador)							
MF 61 600	YH69T2-100	2,00	38,10	6,53	792,09	ZR28K3E-PFJ	-
MF 61 601	YH89T2-100	3,00	49,00	8,54	799,56	ZR36K3E-PFJ	HRP034T5
MF 61 602	YH104T2-100	3,50	59,00	10,17	817,00	ZR42K3E-PFJ	HRP042T5
MF 61 603	YH119T2-100	3,75	65,70	11,42	821,98	ZR48K3E-PFJ	HRP047T5
MF 61 604	YH128T2-100	4,00	71,00	12,40	828,21	ZR52K3E-PFJ	-

Fuente: https://www.salvadorescoda.com/tarifas/Compresion_Tarifa_PVP_SalvadorEscoda.pdf

Anexo L: Costos y datos técnicos de compresores herméticos para refrigerante R407c, de la empresa L' unite Hermetique

10 COMPRESORES HERMÉTICOS «R-407C»



Rendimientos indicados con T³ de condensación +55°C.
 Líquido +46,1°C. Ambiente +35°C y aspiración con recalentamiento 11K.
 Enfriamiento con ventilador.
 Gama de temperatura:
 Mods. AE, AJ, AH, TAH y TFH = -10/+10°C.
 Mods. TAG, R-407C = -10/+15°C
 Aplicación:
 Monofásicos = Sólo Capilar
 Trifásicos = Capilar y Válvula

• Aire acondicionado y Bomba de Calor

Código	Modelo	Potencia CV	Cil. cm³	Conexiones (ODF)		Rendimientos (W)			€
				Asp.	Desc.	+7,2°C	0°C	-5°C	
MONOFÁSICOS 230V - 50Hz									
MF 10 753	AJ5510C	7/8	18,60	3/8"	1/4"	1.900	1.175	770	431,90
MF 10 754	AJ5512C	1	21,75	3/8"	1/4"	2.430	1.620	1.170	447,20
MF 10 755	AJ5515C	1-1/4	25,95	1/2"	5/16"	3.170	2.180	1.620	480,70
MF 10 756	AJ5518C	1-1/2	32,70	1/2"	5/16"	4.065	2.940	2.290	499,00
MF 10 757	AJ5519C	1-5/8	34,45	1/2"	5/16"	4.260	3.040	2.240	593,70
MF 10 758	FH5522C	1-3/4	39,95	5/8"	3/8"	4.440	3.010	2.200	698,10
MF 10 759	FH5524C	2	43,50	5/8"	3/8"	4.770	3.250	2.460	701,60
MF 10 760	FH5527C	2-1/4	49,10	5/8"	3/8"	5.520	3.770	2.850	712,70
MF 10 761	FH5531C	2-1/2	56,65	3/4"	3/8"	6.240	4.330	3.260	724,00
MF 10 762	FH5540C	2-3/4	74,25	3/4"	3/8"	8.190	5.730	4.340	763,00

Fuente: https://www.salvadorescoda.com/tarifas/Compresion_Tarifa_PVP_SalvadorEscoda.pdf

Anexo M: Valores y datos de compresores herméticos para refrigerante R407c de la marca Maneurop

14 COMPRESORES HERMÉTICOS



• Compresores MTZ-VI para R-404A/R-507/R-134a y R-407C



- Gama de temperatura R134a de -15°C a +20°C, R404a de -25°C a +10°C
- Rendimiento indicado: temperatura de condensación +55°C
- Sobrecalentamiento: 11K
- Subenfriamiento: 8,3 K

Código	Modelo	HP	Cil. cm³	Tensión V	Refrigerante	CAPACIDAD EN WATIOS				€
						+5°C	0°C	-5°C	-10°C	
MF 14 212	MTZ - 18	1-1/2	30,23	400 T	R134A R407C	2.250 3.290	1.720 2.540	1.270 1.930	890 -	658,20
MF 14 214	MTZ - 22	1-3/4	38,12	400 T	R134A R407C R404A	2.960 4.290 5.720	2.250 3.290 4.670	1.670 2.500 3.770	1.190 - 3.000	1.152,00
MF 14 217	MTZ - 28	2	48,06	400 T	R134A R407C R404A	3.720 5.470 7.210	2.830 4.260 6.010	2.130 3.230 4.940	1.570 - 4.010	1.323,00
MF 14 220	MTZ - 32	2-1/4	53,86	400 T	R134A R407C R404A	4.370 6.190 8.220	3.320 4.830 6.800	2.470 3.660 5.550	1.790 - 4.460	1.245,00
MF 14 222	MTZ - 36	3	60,47	400 T	R134A R407C R404A	5.380 7.170 9.020	4.250 5.690 7.530	3.300 4.400 6.200	2.510 - 5.030	1.350,00
MF 14 224 MF 14 225	MTZ - 40	3-1/2	67,89	400 T 230 T	R134A R407C R404A	5.810 8.230 10.090	4.720 6.600 8.450	3.770 5.180 6.990	2.960 - 5.710	1.066,70
MF 14 226	MTZ - 50	4	85,64	400 T 230 T	R134A R404A R407C	7.140 11.340 10.010	5.470 8.930 7.750	4.100 6.930 5.840	2.990 5.290 -	1.192,10

Fuente: https://www.salvadorescoda.com/tarifas/Compresion_Tarifa_PVP_SalvadorEscoda.pdf

Anexo N: Costos y datos técnicos de compresores scroll, de la marca Dwm Copeland

**19 COMPRESORES «SCROLL»
AIRE ACONDICIONADO**

DWM COPELAND

• Gas R-407C



TENSIÓN:

Compresor	Volt. ±Hz
PFJ	220-240/1/50
TFD/TWD	380-420/3/50
TF5	200-220/3/50
TWR	220-240/3/50
TFD/TWD	480/3/60
PFJ	265/1/60

- Temperatura condensación: +50°C
- Temperatura gas aspiración: +25°C
- Recalentamiento: 10K

Código	Modelo	CV	Cil. m ³ /h	Tipo motor	CAPACIDAD EN WATIOS				€
					+5°C	0°C	-5°C	-10°C	
SOLDAR									
MF 19 551	ZR-18-K4E	1,5	4,35	PFJ	3.750	3.050	2.450	1.930	1.160,00
MF 19 552	ZR-22-K3E	1,8	5,34	PFJ	4.550	3.650	2.900	2.270	1.270,00
MF 19 553				TFD					
MF 19 554	ZR-28-K3E	2,5	6,83	PFJ	5.900	4.750	3.800	2.950	1.350,00
MF 19 555				TFD					
MF 19 556	ZR-34-K3E	3	8,03	PFJ	7.000	5.650	4.500	3.500	1.410,00
MF 19 557				TFD					
MF 19 558	ZR-40-K3E	3,5	9,44	PFJ	8.200	6.650	5.300	4.150	1.510,00
MF 19 559				TFD					
MF 19 560	ZR-48-K3E	4	11,93	PFJ	10.200	8.300	6.750	5.350	1.650,00
MF 19 561				TFD					
MF 19 562	ZR-61-KSE	5	14,4	TFM	12.450	10.000	7.950	6.200	1.940,00
MF 19 564	ZR-72-KCE	6	17,0	TFD	14.750	12.100	9.700	7.550	2.140,00
MF 19 566	ZR-81-KCE	6,5	19,2	TFD	16.700	13.600	10.900	8.550	2.410,00
MF 19 568	ZR-90-K3E	8	20,9	TWD	18.700	15.200	12.150	9.550	4.200,00
MF 19 572	ZR-12-M3E	10	28,8	TWD	26.300	21.600	17.600	14.100	5.630,00
MF 19 578	ZR-250-KCE	20	55,3	TWD	52.000	42.500	34.500	27.500	8.290,00
ACCESORIOS									
• Equipo monofásico (condensador de marcha)									
MF 19 521	Mod. ZR 18/22 K3								72,00
MF 19 523	Mod. ZR 28 K3								72,00
MF 19 522	Mod. ZR 34 K3								80,30
MF 19 524	Mod. ZR 40 K3								81,90
MF 19 533	Mod. ZR 48 K3								90,10
• Resistencia de cárter									
MF 19 526	Mod. ZR 18 (40 W) a 240V II								71,50
MF 19 534	Mod. ZR-22/81 (59/70 W) a 240V II								71,50
MF 19 525	Mod. ZR 94/190 (90 W) a 240V II								79,10
MF 19 535	Mod. ZR-250 (120 W) a 240V II								117,00
MF 19 536	Mod. ZR-310/380 a 240V II								127,00

Fuente: https://www.salvadorescoda.com/tarifas/Compresion_Tarifa_PVP_SalvadorEscoda.pdf

Anexo O: Costo y datos técnicos de generador a gasolina 2800[W]

Generador eléctrico a gasolina 2800 W Hyundai

MODELO: HYG4050 | SKU: 358291-4 | ★★★★★ Compartir



1. Precio corresponde a tienda: Sedimac Homecenter Cerrillos. El precio puede cambiar al modificar la ciudad de despacho o retiro.

\$248.690 C/U

Acumulas: 1.657 CMR Puntos

Cantidad: 1

Calcula el valor de tu cuota CMR
Costo Total Crédito: \$248.690
CAE: 0,00%

N° de cuotas: 1 Valor cuotas: \$248.690

Garantía extendida
Leer más

1 año \$19.990
2 años \$31.990
3 años \$41.990

Disponibilidad y métodos de entrega

FICHA TÉCNICA

Atributo	Detalle
Marca	Hyundai
Modelo	HYG4050
Alto	62,5 cm
Ancho	48 cm
Largo	48,5 cm
Garantía	1 año
Color	Azul
Procedencia	China
Alimentación	Gasolina
Fase	Monofásico
Regulador automático de voltaje	Sí
Regulador de voltaje	AVR
Voltaje	220 V
Potencia	2800 W
Motor	4 tiempos
Nivel de ruido	96 dB
Partida	Manual
Ruedas	No
Cantidad de salidas	2
Combustible	Gasolina
Capacidad estanque	15 l
Autonomía	8-14 hora(s)
Peso	45,4 kg
Uso	Profesional
Requiere puesta en marcha	Sí, coordinar con servicio técnico autorizado, sin costo adicional en sstt.

Fuente: <https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/3582914/Generador-electrico-a-gasolina-2800-W/3582914>

Anexo P: Costos de la gasolina de 93 octanos, en la ciudad de La Ligua [citado el 20 de julio del 2019]

Listado de precios

Región: Combustible: Orden Precios:

Servicentro:

Comuna:

Algarrobo Cabildo Calera Calle Larga Cartagena Casablanca Catemu Concón El Quisco
 El Tabo Hijuelas Isla de Pascua Juan Fernández La Cruz La Ligua Limache Lillay Los Andes
 Nogales Omué Panquehue Papudo Petorca Puchuncaví Putaendo Quilota Quilpué
 Quintero Rinconada San Antonio San Esteban San Felipe Santa María Santo Domingo Valparaíso Villa Alemana
 Viña del Mar Zapallar

[Ver reporte](#)

Precio mínimo: \$822		Precio máximo: \$828		Promedio: \$826	
Servicentro	Autoservicio	Precio	Última modificación		
PETROBRAS Portales esq. Manuel Gaste 1120, La Ligua	-	822,0	2019-07-25 11:33:02		
COPEC Portales 1131, La Ligua	-	828,0	2019-07-25 08:58:41		
SHELL Avda. Portales 1500, La Ligua	-	828,0	2019-07-25 16:11:01		

Fuente: <http://www.bencinaenlinea.cl/web2/buscador.php?region=6>

Anexo Q: Costo y datos técnicos de generador a gasolina 5500[W]

Generador eléctrico a gasolina 5500 W Loncin
 MODELO: LC 6500 DDC | SKU: 128034-1 | [Compartir](#)



Precio corresponde a tienda: Sodimac Homecenter Cerrillos.
 El precio puede cambiar al modificar la ciudad de despacho o retiro.

\$ 792.990 C/U
 Normal: \$899.990 C/U
 Acumulas: 5.266 CMR Puntos

Cantidad: 1

Calcula el valor de tu cuota CMR
 Costo Total Crédito: \$792.990
 CAE: 0,00%

N° de cuotas	Valor cuotas
1	\$ 792.990

Garantía extendida
 Leer más

1 año	2 años	3 años
<input type="checkbox"/> \$49.990	<input type="checkbox"/> \$79.990	<input type="checkbox"/> \$104.990

Disponibilidad y métodos de entrega

- Disponible para despacho a domicilio [Simular costo de despacho](#)
- Disponible para retiro en tu tienda seleccionada [Ver tiendas disponibles](#)
- Stock disponible en tiendas [Ver stock](#)

FICHA TÉCNICA

[VOLVER ARRIBA](#)

Atributo	Detalle
Marca	Loncin
Modelo	LC 6500 DDC
Alto	54 cm
Ancho	55 cm
Largo	68 cm
Potencia	5.500 W
Combustible	Gasolina
Color	Negro
Procedencia	Chile
Alimentación	Gasolina
Regulador de voltaje	Sí
Voltaje	220 V
Indicador de batería	No
Motor	Monocilíndrico
Nivel de ruido	78 dB
Ruedas	No
Cantidad de salidas	4
Capacidad estanque	25 l
Peso	78 kg
Características	Gran autonomía de uso. Panel de nivel de voltaje. Sistema de amortiguación de vibración
Requiere puesta en marcha	No

Fuente: <https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/1280341/Generador-electrico-a-gasolina-5500-W/1280341>

Anexo R: Costo y datos técnicos de equipo generador diesel de 5500 [W]

Generador eléctrico a diesel 5500 W Loncin
 MODELO: KRD5500EA-M | SKU: 384275-4 | [Compartir](#)



Precio corresponde a tienda: Sodimac Homecenter Cerrillos.
 El precio puede cambiar al modificar la ciudad de despacho o retiro.

\$ 698.690 C/U
 Acumulas: 4.837 CMR Puntos

Cantidad: 1

Calcula el valor de tu cuota CMR
 Costo Total Crédito: \$698.690
 CAE: 0,00%

N° de cuotas	Valor cuotas
1	\$ 698.690

Garantía extendida
 Leer más

1 año	2 años	3 años
<input type="checkbox"/> \$49.990	<input type="checkbox"/> \$79.990	<input type="checkbox"/> \$104.990

Disponibilidad y métodos de entrega

FICHA TÉCNICA

Atributo	Detalle
Marca	Loncin
Modelo	KRD5500EA-M
Alto	55 cm
Ancho	54 cm
Largo	68 cm
Garantía	1 año
Combustible	Diesel
Color	Negro
Procedencia	China
Alimentación	Eléctrica
Fase	Monofásico
Regulador automático de voltaje	AVR
Voltaje	220 V
Motor	9,4 HP
Nivel de ruido	85 db
Partida	Eléctrica
Ruedas	No
Capacidad estanque	12,5 l
Autonomía	6 hr
Peso	102 kg
Uso	Profesional
Características	Regulador automático de voltaje, alarma de aceite, cargador de batería
Requiere puesta en marcha	No

Fuente: <https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/3842754/Generador-electrico-a-diesel-5500-W/3842754>

Anexo S: Costos del petróleo Diesel, en la ciudad de La Ligua [citado el 20 de julio del 2019]

Listado de precios

Región: Combustible: Orden Precios:

Servicentro:

Comuna:

Algarrobo Cabido Calera Calle Larga Cartagena Casablanca Catemu Concón El Quisco
 El Tabo Hijuelas Isla de Pascua Juan Fernández La Cruz La Ligua Limache Lillay Los Andes
 Nogales Odmúe Panquehue Papudo Petorca Puchuncaví Putaendo Quilota Quilpué
 Quintero Rinconada San Antonio San Esteban San Felipe Santa María Santo Domingo Valparaíso Villa Alemana
 Viña del Mar Zapallar

[Ver reporte](#)

Servicentro	Autoservicio	Precio	Última modificación
Precio mínimo: \$592 Precio máximo: \$592 Promedio: \$592			
COPEC Portales 1131, La Ligua	-	592,0	2019-07-25 08:56:41
PETROBRAS Portales esq. Manuel Gaeo 1120, La Ligua	-	592,0	2019-07-25 11:32:47
SHELL Avda. Portales 1500, La Ligua	-	592,0	2019-07-25 16:11:01

Fuente: <http://www.bencinaenlinea.cl/web2/buscador.php?region=6>

Anexo T: Valores de equipos necesario para la generación d energía fotovoltaica

			
Panel solar policristalino 140w 24v 72 celdas	Panel solar monocristalino 335w 72 celdas	Panel solar policristalino 330w 24v 72 celdas	Panel solar policristalino 100w 12v x 2 unidades
\$-190,000	\$-140,000	\$-147,000	\$-120,000
\$ 121,380 (+ iva)	\$ 101,959 (+ iva)	\$ 99,532 (+ iva)	\$ 97,394 (+ iva)
AÑADIR AL CARRITO			
			
Panel solar monocristalino 200w 24v	Panel solar policristalino 320w 24v 72 celdas	Panel solar monocristalino 280w 24v	Panel solar monocristalino 150w 24v
\$-119,000	\$-135,000	\$-123,000	\$-107,000
\$ 97,104 (+ iva)	\$ 95,890 (+ iva)	\$ 84,966 (+ iva)	\$ 81,507 (+ iva)
AÑADIR AL CARRITO			

(a)

			
Bateria 250 amp 12v ultracell	Bateria 200 amp 12v ultracell	Bateria 230 amp 12v vision	Bateria 200 amp 12v vision
\$-380,000	\$-310,000	\$-379,000	\$-310,000
\$ 325,298 (+ iva)	\$ 267,036 (+ iva)	\$ 254,898 (+ iva)	\$ 247,615 (+ iva)
AÑADIR AL CARRITO	AÑADIR AL CARRITO	AÑADIR AL CARRITO	AÑADIR AL CARRITO
			
Bateria 150 amp 12v ultracell	Bateria 200 amp 12v nimac	Bateria 55 amp 12v nimac	Bateria 55 amp 12v vision
\$-250,000	\$-290,000	\$-98,000	\$-97,000
\$ 199,063 (+ iva)	\$ 190,010 (+ iva)	\$ 67,973 (+ iva)	\$ 65,545 (+ iva)
AÑADIR AL CARRITO	AÑADIR AL CARRITO	AÑADIR AL CARRITO	AÑADIR AL CARRITO

(b)

 inversor onda pura alta carga 12000w 96v \$1,500,000 \$ 1,221,589 (+ iva)	 inversor onda pura alta carga 8000w 48v \$1,300,000 \$ 1,023,031 (+ iva)	 inversor hibrido mk 5000w 48v mppt \$1,050,000 \$ 736,372 (+ iva)	 inversor hibrido mk 4000w 48v mppt \$ 800,000 \$ 691,664 (+ iva)
 inversor hibrido 5000w 48v mppt \$ 750,000 \$ 604,877 (+ iva)	 inversor onda pura alta carga 4000w 48v \$ 790,000 \$ 565,429 (+ iva)	 inversor onda pura alta carga 6000w 48v \$ 800,000 \$ 556,224 (+ iva)	 inversor onda pura alta carga 5000w 48v \$ 750,000 \$ 508,886 (+ iva)

(c)

Fuente: www.insumossolares.cl

Anexo U: Datos sobre la radiación solar en la ciudad de La Ligua



Fuente: <http://www.minenergia.cl/exploradorsolar/>

Anexo V: Costos del agua potable en la ciudad de La Ligua

La Ligua

Tarifas Actuales

Las tarifas vigentes a julio del año 2019 para la localidad de La Ligua son las siguientes:

Detalle de Cargos	Valores \$
Cargo Fijo Cliente	1174,00
Cargo Variable Agua Potable	710,53
Cargo Variable Recolección	263,94
Cargo Variable Tratamiento	565,90

Fuente: portal.esval.cl/oficina-virtual/tarifas/petorca/

Anexo W: Valores de bidones de agua, en supermercado Lider

Bidones(3productos)

Relevancia Mayor Ahorro Más Vendido Más Votado Precio A - Z Nuevos

 <p>(Ref: 512197)</p> <p>Nestlé</p> <p>Agua Purificada Sin Gas Pure Life</p> <p>Bidón 6 L</p> <p>\$1.350</p>	 <p>(Ref: 673853)</p> <p>Benedictino</p> <p>Agua Purificada Bidón</p> <p>6.5 L</p> <p>\$1.490</p>	 <p>(Ref: 418368)</p> <p>Cachantun</p> <p>Agua Mineral Sin Gas</p> <p>Bidón 6 L</p> <p>\$1.550</p>
---	--	---

Fuente: www.Lider.cl

Anexo X: Valores de bidones de agua, en supermercado Tottus.

 <p>Agua Mineral sin gas</p> <p>CACHANTUN</p> <p>6 L</p> <p>\$1.569</p>	 <p>Agua Mineral Sin Gas</p> <p>BENEDICTINO</p> <p>6 L</p> <p>\$1.529</p>	 <p>Agua Purificada Pure Life</p> <p>NESTLE</p> <p>6 L</p> <p>\$1.399</p> <p>\$4.469</p>	 <p>Bidon De Agua Purificada 6 Lt Tottus</p> <p>TOTTUS</p> <p>6 L</p> <p>\$1.090</p>
--	--	---	---

Fuente: www.tottus.c

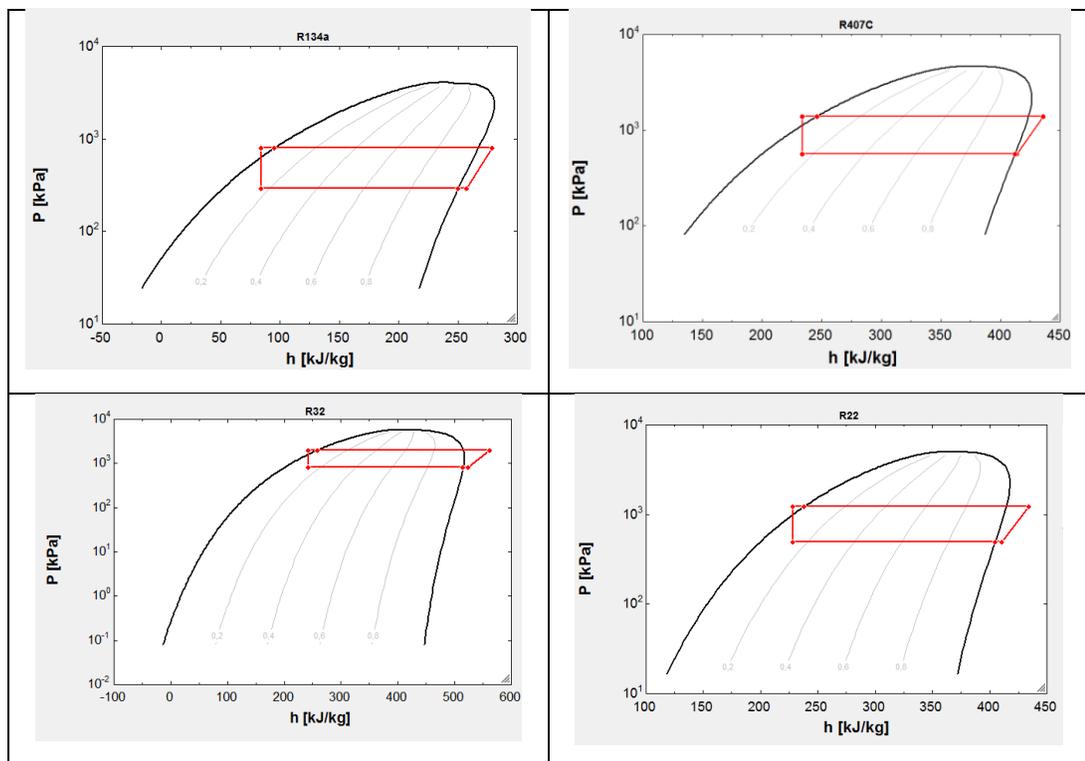
Anexo Y: Expresiones utilizadas para los cálculos en el software EES.

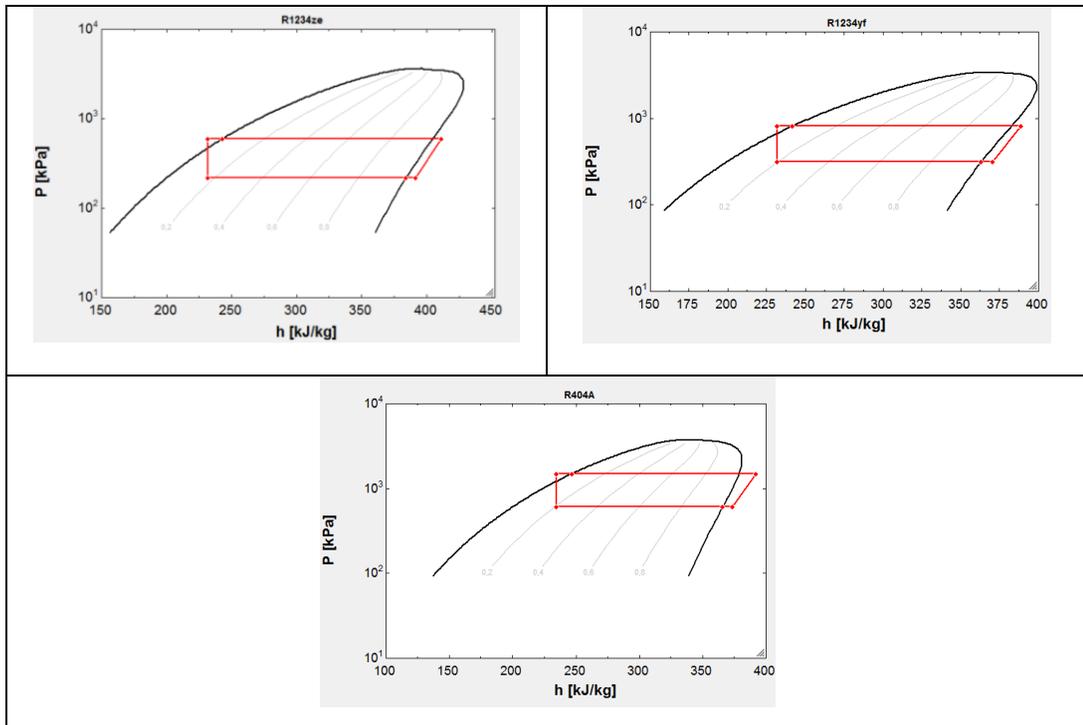
Propiedades iniciales	
Temperatura inicial	$T_1=14$ [°C]
Humedad relativa inicial	$\phi_1=0,808$
Presión inicial	$P_1=101,325$ [kPa]
Propiedades en la entrada del evaporador	
Temperatura del punto de rocío	$T_{pr}=\text{DewPoint}(\text{AirH}_2\text{O};T=T_1;r=\phi_1;P=P_1)$
Humedad específica de entrada	$\omega_1=\text{HumRat}(\text{AirH}_2\text{O};T=T_1;r=\phi_1;P=P_1)$
Entalpia de entrada	$h_1=\text{Enthalpy}(\text{AirH}_2\text{O};T=T_1;r=\phi_1;P=P_1)$
Propiedades en la salida del evaporador	
Temperatura de salida	$T_2=0$ [°C]
Humedad relativa de salida	$\phi_2=1$
Humedad específica de salida.	$\omega_2=\text{HumRat}(\text{AirH}_2\text{O};T=T_2;r=\phi_2;P=P_2)$
Entalpia de salida	$h_2=\text{Enthalpy}(\text{AirH}_2\text{O};T=T_2;r=\phi_2;P=P_2)$
Cálculos a partir de los litros agua seleccionados	
Volumen de agua	$V_{h20_objetivo}=0,120$
Densidad	$\rho_{h20}=\text{Density}(\text{Water};T=T_{pr};P=P_1)$
Intervalo de tiempo de trabajo	$Tau_objetivo=24*60*60$
Flujo volumétrico del agua	$V_dot_h20_objetivo=V_{h20_objetivo}/Tau_objetivo$
Flujo másico del agua	$m_dot_h20_objetivo=V_dot_h20_objetivo*\rho_{h20}$
Flujo másico del aire seco	$m_dot_h20_objetivo = m_dot_as*(\omega_1-\omega_2)$
Entalpia del agua saturada	$h_f=\text{Enthalpy}(\text{Water};T=T_{pr};P=P_1)$
Razón de transferencia de calor	$Q_dot_ev=m_dot_as*((h_1-h_2)-(\omega_1-\omega_2)*h_f)$
Refrigerantes	
Cosntante de refrigerantes	$\text{Ref}\$='R407c'$ $\text{Ref}\$='R134a'$ $\text{Ref}\$='R-22'$ $\text{Ref}\$='R-404A'$ $\text{Ref}\$='R-507'$ $\text{Ref}\$='R-410A'$ $\text{Ref}\$='R32'$ $\text{Ref}\$='R1234yf'$ $\text{Ref}\$='R1234ze'$
Propiedades del fluido refrigerante dentro del evaporador	
Temperatura de entrada	$T_{ev}=T_2$
Temperatura de sobrecalentamiento	$\Delta T_{sc}=8$ [°C]
Temperatura de salida	$T_{in_cp}=T_{ev}+\Delta T_{sc}$
Presión de entrada	$P_{ev}=\text{Pressure}(\text{Ref}\$;T=T_{ev};x=0)$
Entalpia de salida	$h_{in_ev}=h_{out_cd}$
Entalpia de salida	$h_{in_cp}=h_{out_ev}$
Flujo másico del refrigerante	$Q_dot_ev=(h_{out_ev}-h_{in_ev})*m_dot_r$
Compresor	
Temperatura de entrada	$T_{in_cp}=T_{ev}+\Delta T_{sc}$
Temperatura de salida	$T_{out_cp}=\text{Temperature}(\text{Ref}\$;s=s_{out_cp};P=P_{out_cp})$
Presión de entrada	$P_{in_cp}=P_{ev}$
Presión de salida	$P_{out_cp}=\text{Valor}$

	$P_{out_cp}=Pressure(Ref\$,T=T_{out_cp};s=s_{out_cp})$
Entalpia de entrada	$h_{in_cp}=Enthalpy(Ref\$,T=T_{in_cp};P=P_{in_cp})$
Entalpia de salida	$h_{out_cp}=Enthalpy(Ref\$,T=T_{out_cp};s=s_{out_cp})$
Entropía	$s_{in_cp}=s_{out_cp}$ $s_{in_cp}=Entropy(Ref\$,T=T_{in_cp};P=P_{in_cp})$
Potencia del compresor	$W_{dot_cp}=(h_{out_cp}-h_{in_cp})\cdot m_{dot_r}$
Propiedades del fluido refrigerante dentro del condensador	
Entalpia de entrada	$h_{in_cd}=h_{out_cp}$
Entalpia de salida	$h_{out_cd}=Enthalpy(Ref\$,T=T_{out_cd};P=P_{out_cd})$
Presión de entrada	$P_{in_cd}=P_{out_cp}$
Temperatura de entrada	$T_{in_cd}=T_{out_cp}$
Temperatura de saturación	$T_{out_cd_sat}=Temperature(Ref\$,x=0;P=P_{out_cd})$
Temperatura de subenfriamiento	$DELTA T_{se}=8 [^{\circ}C]$
Temperatura de salida	$T_{out_cd}=T_{out_cd_sat}-DELTA T_{se}$
Razón de transferencia de calor	$Q_{dot_cd}=(h_{in_cd}-h_{out_cd})\cdot m_{dot_r}$
Masa del refrigerante	
volumen especifico del refrigerante en fase gas, en el evaporador	$\rho_{r_gas_ev}=Density(Ref\$,x=1;P=P_{ev})$ "x=0=>Liquido; x=1=>Gas" $V_{e_r_gas_ev}=1/\rho_{r_gas_ev}$
volumen especifico del refrigerante en fase gas, en el condensador	$\rho_{r_gas_cd}=Density(Ref\$,x=1;P=P_{in_cd})$ "x=0=>Liquido; x=1=>Gas" $V_{e_r_gas_cd}=1/\rho_{r_gas_cd}$
volumen especifico del refrigerante en fase líquido, en el condensador	$\rho_{r_liq_cd}=Density(Ref\$,x=0;P=P_{in_cd})$ "x=0=>Liquido; x=1=>Gas" $V_{e_r_liq_cd}=1/\rho_{r_liq_cd}$
Ventilador	
Flujo nimal del equipo	$\rho_{as}=Density(Air;T=T_1;P=P_1)$ $V_{dot_as}=(m_{dot_as}/\rho_{as})\cdot 3600$

Fuente: expresiones utilizadas en el software para la realización de los cálculos, EES.

Anexo Z: Gráficos de los refrigerantes tabulados, realizados con el software EES





Fuente: Software EES