



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

**FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE CLIMATIZACIÓN EN EL
NORTE GRANDE MEDIANTE CICLO DE ABSORCIÓN Y ENERGÍA
SOLAR TÉRMICA.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

CAMILO SEBASTIÁN JARA JOPIA

PROFESOR GUÍA:
RAMÓN FREDERICK GONZALEZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
WILLIAMS CALDERÓN MUÑOZ
LEONEL NUÑEZ LAZO

SANTIAGO DE CHILE
2015

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL

TÍTULO DE: Ingeniero Civil Mecánico.

POR: Camilo Jara Jopia

FECHA: 13 de octubre de 2015.

PROFESOR GUÍA: Ramón Frederick G.

FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE CLIMATIZACIÓN EN EL NORTE GRANDE MEDIANTE CICLO DE ABSORCIÓN Y ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.

Un ciclo de refrigeración por absorción aprovecha la capacidad que presentan ciertas sustancias, de absorber a otra en fase de vapor, así el refrigerante evaporado es absorbido por otra sustancia que permanece en estado líquido, con lo cual para pasar a la etapa de alta presión se requiere bombear la mezcla y no comprimir el refrigerante en forma de vapor, lo cual conlleva un considerable ahorro de energía. Para desabsorber el refrigerante se requiere de un flujo de calor, el cual en este caso está dado por energía solar térmica.

Para determinar la factibilidad técnica y económica, se considera un caso de estudio, el cual consiste en un galpón ubicado en la comuna de Antofagasta. A dicha construcción se le determina la carga de enfriamiento, sujeta a diferentes condiciones de uso, además de estudiar cómo influye la geometría y la orientación espacial del galpón en su carga de enfriamiento. El caso de estudio presenta una carga de enfriamiento de diseño de 25,6 [KW].

En cuanto a los ciclos termodinámicos por absorción, se estudian las parejas de fluido de agua-bromuro de litio y amoniaco-agua, en ciclos termodinámicos por absorción que satisfacen los requerimientos de la carga de enfriamiento del galpón. Se determina cómo influyen las diferentes combinaciones de fracciones másicas en ambas parejas de fluidos.

Una vez determinados los ciclos termodinámicos, se tiene que para las temperaturas y cargas de enfriamientos del galpón, la pareja de fluidos que mejor se adapta a la situación corresponde a bromuro de litio-agua. De esta manera, se busca un chiller que sirve para dichas pareja de sustancia, encontrándose en el mercado dicho equipo. Los demás equipos requeridos para el sistema de climatización del caso de estudio, se encuentran en el mercado, con lo cual el proyecto es factible desde el punto de vista técnico.

En cuanto a la evaluación económica, se determina que el ahorro de energía eléctrica que trae como beneficio la implementación de un sistema basado en absorción, no compensa la inversión inicial de los equipos adicionales que se requieren, así tampoco compensan los gastos asociados a la mantención y operación del sistema que provee energía solar térmica. Así, el caso de estudio no es factible desde el punto de vista económico, puesto que se obtiene un VPN de -\$ 55.522.718.

Tabla de contenido

1. Introducción	1
2. Objetivos	2
2.1. Objetivo General	2
2.2. Objetivos Específicos	2
2.3. Alcances	2
3. Antecedentes	3
3.1. Radiación Solar	3
3.2. Medición de la Radiación Solar	4
3.3. Radiación solar sobre una superficie.....	5
3.4. Condiciones climáticas de diseño	9
3.5. Carga de Enfriamiento	10
3.5.1. Ganancia térmica a través de superficies exteriores.....	12
3.5.2. Ganancia térmica por conducción.....	13
3.5.3. Ganancias térmicas a través de superficies interiores	14
3.5.4. Ganancias térmicas debido a iluminación, ocupación y artefactos.....	15
3.5.5. Cálculo de la carga de enfriamiento	15
3.6. Ciclo por Absorción.....	16
3.7. Propiedades termodinámicas agua y agua-bromuro de litio.....	22
3.8. Propiedades termodinámicas amoniaco y amoniaco-agua	25
3.9. Colector solar de tubos al vacío	28
4. Metodología.....	31
4.1. Definición ubicación del proyecto y sus condiciones climáticas.....	31
4.2. Definición de proyecto de climatización y sus cargas.....	33
4.3. Definición del ciclo de refrigeración y sus puntos de operación.....	41
4.4. Definición colectores solares a utilizar.	47

4.5. Evaluación económica del proyecto.	49
5. Resultados.....	52
5.1. Definición ubicación del proyecto y sus condiciones climáticas.....	52
5.2. Definición de proyecto de climatización y sus cargas.....	55
5.3. Definición ciclo termodinámico	58
5.4. Definición colectores solares.....	65
5.5. Evaluación económica	67
6. Conclusiones.....	70
7. Bibliografía.....	71
8. Anexos	72
Anexo A: Propiedades termodinámicas agua saturada (líquido-vapor).....	72
Anexo B: Propiedades termodinámicas agua sobre-calentada.	74
Anexo C: Propiedades termodinámicas amoniaco saturado (líquido-vapor).....	75
Anexo D: Propiedades termodinámicas amoniaco sobre-calentado.....	76
Anexo E: Propiedades termodinámicas refrigerante R134a (líquido-vapor).....	78
Anexo F: Propiedades termodinámicas refrigerante R134a sobre-calentado.	80
Anexo G: Rutinas de Matlab, para cálculos de carga de enfriamiento del galpón.....	82
Anexo G.1: Instrucciones de uso de las rutinas de cálculo.....	82
Anexo G.2: Rutinas de cálculo.....	83
Anexo H: Rutinas de Matlab, para cálculos de ciclos termodinámicos.....	93
Anexo H.1: Instrucciones de uso de las rutinas de cálculo.....	93
Anexo H.2: Rutinas de cálculo	94
Anexo I: Rutinas de Matlab, para cálculos de colectores solares.....	108
Anexo I.1: Instrucciones de uso de las rutinas de cálculo.....	108
Anexo I.2: Rutinas de cálculo.....	109
Anexo J: Rutinas de Matlab, para cálculos de análisis económico	112

Anexo J.1: Instrucciones de uso de las rutinas de cálculo.....	112
Anexo J2: Rutinas de cálculo	113
Anexo K: Ficha chiller de absorción.....	120
Anexo L: Ficha colectores solares	121
Anexo M: Ficha estanque de acumulación.....	122

Índice de tablas

Tabla 3.1: Ecuación del tiempo y ángulo de declinación, para los días 21 de cada mes.	6
Tabla 3.2: Ángulo de azimut de superficie, según su orientación.....	7
Tabla 3.3: Fracción del rango de temperatura diaria a lo largo del día.	10
Tabla 3.4: Coeficientes utilizados en la ecuación (3.7).	23
Tabla 3.5: Coeficientes utilizados en la ecuación (3.38).	24
Tabla 3.6: Coeficientes utilizados en la ecuación (3.39).	24
Tabla 3.7: Coeficientes ocupados en las ecuaciones (3.41) a (3.43).	26
Tabla 3.8: Coeficientes ocupados en la ecuación (3.46).	27
Tabla 3.9: Coeficientes usados en la ecuación (3.47).	28
Tabla 4.1: Dimensiones del galpón en el cual se realiza el proyecto.	33
Tabla 4.2: Coeficientes de serie de conducción utilizada.	39
Tabla 4.3: Valores de referencia para carga por iluminación.	39
Tabla 4.4: Valores de referencia para carga por ocupación de los espacios.	40
Tabla 4.5: Fracciones radiativas y convectivas para cada una de las ganancias térmicas.	40
Tabla 4.6: Coeficientes utilizadas para calcular la porción radiativa de la carga de enfriamiento.	41
Tabla 4.7: Parámetros del colector solar.	47
Tabla 5.1: Coordenadas utilizadas para obtener datos de radiación de las localidades.	52
Tabla 5.2: Irradiancias diarias promedio mensual y anual para las ciudades de interés.	52
Tabla 5.3: Perfil de radiación promedio a lo largo del día número 21 de cada mes del año.	53
Tabla 5.4: Perfil diario de temperatura para cada mes el año	54
Tabla 5.5: Carga de enfriamiento máxima mensual.	55
Tabla 5.6: Contribución de las diferentes cargas a la carga de enfriamiento máxima....	55

Tabla 5.7: Puntos de operación para el ciclo agua-bromuro de litio.....	59
Tabla 5.8: Flujos máxicos del ciclo agua-bromuro de litio.	59
Tabla 5.9: Flujos de calor y potencia requerida en el ciclo agua-bromuro de litio.	59
Tabla 5.10: Puntos de operación para el ciclo amoniaco-agua.	60
Tabla 5.11: Flujos máxicos del ciclo amoniaco-agua.	60
Tabla 5.12: Flujos de calor y potencia requerida en el ciclo amoniaco-agua.	60
Tabla 5.13: Energía requerida por el generador de manera diaria, mes a mes	65
Tabla 5.14: Energía diaria absorbida por un colector, para diferentes inclinaciones.....	66
Tabla 5.15: Energía diaria absorbida por un colector, para diferentes inclinaciones.....	66
Tabla 5.16: Consumos diarios mes a mes para cada uno de los ciclos.	67
Tabla 5.17: Consumo anual de energía en ambas situaciones, y ahorro anual de energía por ciclo de absorción	67
Tabla 5.18: Cuadro de inversiones para proyecto de ciclo por absorción	68
Tabla 5.19: Flujo de caja para proyecto de ciclo por absorción.....	68
Tabla 5.20: Cuadro de inversiones para escenario alternativo	69
Tabla 5.21: Flujo de caja para escenario alternativo	69

Índice de ilustraciones

Figura 3.1: Esquema del efecto de dilución según el ángulo cenital de la radiación.....	3
Figura 3.2: Esquema de las componentes de la radiación que llegan a la superficie (Izq.). Esquema de la posición del receptor de la radiación directa normal y horizontal (Der.).....	5
Figura 3.3: Esquema de ciclo básico de refrigeración por absorción.	16
Figura 3.4: Diagrama presión de vapor – temperatura de la solución, para el ciclo de refrigeración por absorción.....	18
Figura 3.5: Ciclo de absorción con notación de puntos de operación a utilizar.	20
Figura 4.1: Esquema del galpón a estudiar, con sus dimensiones y orientación espacial.	33
Figura 4.2: Promedio anual de radiación global horizontal (Izq.) y promedio anual de radiación difusa horizontal (Der.).....	36

1. Introducción

Un ciclo de refrigeración por absorción aprovecha la capacidad que presentan ciertas sustancias, de absorber a otra en fase de vapor. El refrigerante evaporado es absorbido por otra sustancia que permanece en estado líquido, con lo cual para pasar a la etapa de alta presión se requiere bombear la mezcla y no comprimir el refrigerante en forma de vapor, lo cual conlleva un considerable ahorro de energía. Para desabsorber el refrigerante se requiere de un flujo de calor, el cual en este caso está dado por energía solar térmica. La ventaja de la utilización de este tipo de energía, es que los peaks que presenta de manera diaria y anual, coinciden con los peaks de los requerimientos energéticos de los sistemas de climatización.

En cuanto a las sustancias en dichos tipos de ciclos, las combinaciones más utilizadas corresponden a amoníaco-agua y agua-bromuro de litio. La elección de dichas sustancias está dada por la naturaleza del sistema de climatización, ya sea industrial o domiciliario, además de la potencia térmica que requiere extraer el sistema.

La motivación para desarrollar el tema es estudiar una aplicación concreta del uso de energía solar, como fuente energética. Además de profundizar un área de la ingeniería mecánica que es del gusto e interés del alumno, tal como lo son la transferencia de calor y la termodinámica. Por otro lado, el alumno realizó prácticas profesionales en las áreas de climatización, refrigeración y energía solar, lo cual ayudó a que se diera cuenta de la importancia y posibilidades de dichas áreas de la ingeniería.

2. Objetivos

A continuación se presenta el objetivo general y los diferentes objetivos específicos del trabajo.

2.1. Objetivo General

El objetivo general del trabajo consiste en determinar la factibilidad desde el punto de vista técnico y económico, para un proyecto de climatización ubicado en el Norte Grande de Chile, utilizando un ciclo de absorción, con energía solar térmica como fuente de energía.

2.2. Objetivos Específicos

Los diferentes objetivos específicos del trabajo, se muestran a continuación:

- Definir ubicación del proyecto y caracterizar sus condiciones climáticas.
- Definir el proyecto de climatización y determinar sus cargas.
- Definir el ciclo de refrigeración y determinar los puntos de operación.
- Dimensionar los equipos que componen el sistema.
- Realizar la evaluación económica del proyecto.

2.3. Alcances

Los alcances del trabajo se muestran a continuación.

- Proponer los equipos principales a utilizar en el caso de estudio.
- Entregar rutinas de cálculo de Matlab para evaluar proyectos similares.

3. Antecedentes

3.1. Radiación Solar

La radiación solar es una de las principales fuentes de energía que posee el planeta Tierra. Su importancia es tal, que la mayor parte de los movimientos de la atmósfera y los océanos se deben a la energía del sol. La intensidad de dicha radiación justo afuera de la atmósfera terrestre, medida en una superficie perpendicular a los rayos del sol, tiene un valor promedio de 1367 W/m^2 . A dicho valor se le conoce como constante solar, aun cuando el valor real tiene una variación de $\pm 3,4\%$ a lo largo del año, debido a cambios de la distancia entre la Tierra y el Sol, a medida que transcurre el año.

Se debe considerar también, que el eje de la tierra está inclinado con respecto al plano de orbita, en un ángulo de aproximadamente 23° . Así, en latitudes mayores, los rayos del sol llegan de manera más oblicua a la superficie de la tierra, por lo cual, aumenta el área iluminada por un de luz, por lo tanto, la energía se distribuye en una superficie mayor, como se muestra en la siguiente figura. ^[1]

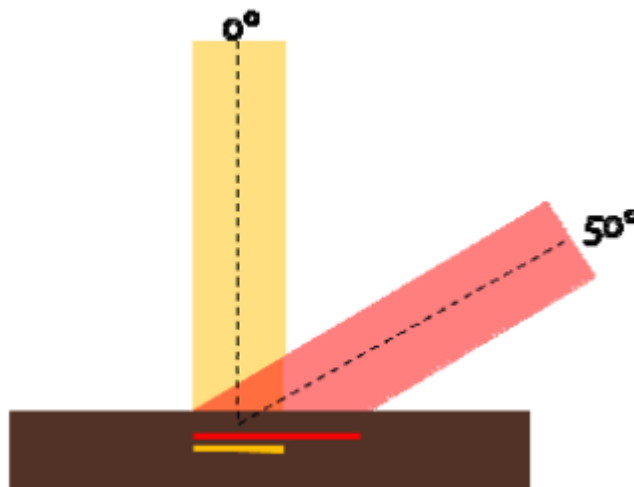


Figura 3.1: Esquema del efecto de dilución según el ángulo cenital de la radiación
Fuente: [1].

Si fuera de la atmósfera terrestre, se mide la radiación solar para cada longitud de onda individual, se observaría que la radiación no se reparte de manera homogénea en las diferentes longitudes de onda. Vale destacar, que la importancia de dicha distribución, es que los fotones con longitudes de onda más corta, son los que poseen mayor energía.

Considerando al sol como un cuerpo negro, es decir un cuerpo ideal que absorbe y reemite toda la radiación que incide sobre él, y utilizando la curva de Planck, la cual sirve para caracterizar la radiación de un cuerpo negro en función de su temperatura, se obtiene que usando el valor aproximado de temperatura superficial del sol, que es de 5700 K , la curva de Planck predice que la mayor cantidad de radiación solar se encuentra en una longitud de onda cercana a los $0,5 \text{ micrómetros}$. Así, gran parte de la radiación solar se concentra en el espectro visible de longitudes de ondas,

es decir aquellas que van desde los 0,4 a los 0,7 micrómetros. En dicho espectro, la atmósfera es prácticamente transparente a la radiación, con lo cual casi toda llega a la superficie terrestre sin grandes alteraciones, sin embargo, para otras longitudes de onda, diferentes gases presentes en la atmósfera pueden absorber radiación proveniente del sol; por ejemplo la capa de ozono absorbe radiación ultravioleta, la cual es dañina para la mayoría de los seres vivos, por otro lado el vapor de agua tiene capacidad de absorción de radiación infrarroja cercana. Otros gases que también intervienen en la absorción y reflexión de radiación solar, son el oxígeno molecular, el metano y el dióxido de carbono. ^{[[1]]}

Otro fenómeno importante que afecta la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra, es la dispersión por partículas y moléculas presentes en la atmósfera. Éstas cambian el sentido de desplazamiento de los fotones, los cuales pueden volver al espacio exterior o ser dispersados múltiples veces hasta llegar a la superficie terrestre. Al igual que la absorción de radiación, el grado de dispersión depende de la longitud de onda, siendo máximo para el color azul en el caso de la atmósfera de la Tierra. Otro factor que influye en la magnitud de la dispersión, es el tamaño de las moléculas y partículas que la originan. La radiación que llega a la superficie por ésta vía, se conoce como radiación difusa. ^{[[1]]}

Dicho lo anterior, vale destacar que las nubes juegan un papel fundamental en la absorción, reflexión y dispersión de radiación solar, ya que son el principal componente de la atmósfera que interactúa con ella. El resultado de dicha interacción, depende de la composición y tamaño de la nube, así como el tamaño de las partículas presentes en ella.

Tanto los efectos de absorción y reflexión, como los de dispersión, dependen de la cantidad de materia con la que interactúa la radiación, es decir, depende del camino que debe realizar ésta para llegar a la superficie terrestre. A dicho camino, se le denomina masa atmosférica y es inversamente proporcional al coseno del ángulo cenital. Dicho ángulo, tiende a ser mayor en la medida que se avanza hacia latitudes altas, con lo cual en dichas latitudes el efecto es mayor en comparación a latitudes tropicales. ^{[[1]]}

Dicho lo anterior, se puede observar que la radiación que llega a la superficie terrestre, depende de diversos factores, los cuales se mencionan a continuación.

- Día a lo largo del año.
- Localización geográfica.
- Condiciones atmosféricas.

3.2. Medición de la Radiación Solar

Como se vio en la sección anterior, la radiación solar puede alcanzar la superficie terrestre ya sea de forma directa, es decir la radiación que llega desde el sol luego de haber sido atenuada por los efectos de absorción y dispersión, o también de forma difusa, la cual es la radiación que se dispersó en la atmósfera y que llega a la superficie terrestre reflejada desde el cielo visible.

Otro aspecto a considerar, es que la radiación que se recibe por unidad de área, depende también del ángulo que se forma entre los rayos y la superficie receptora. De esta manera, se puede hablar de radiación normal, si la radiación la recibe una superficie perpendicular a los rayos del sol. Por otro lado, la radiación horizontal es aquella, en la cual la superficie es perpendicular al campo de gravedad de la Tierra, con lo cual el ángulo de incidencia de los rayos del sol, va cambiando a través del día. De esta manera, cuando se habla de radiación global horizontal, se hace referencia a la suma de la radiación directa horizontal y la radiación difusa. Vale destacar que la radiación difusa, siempre se mide de manera horizontal, puesto que es radiación proveniente de todo el semi-hemisferio. ^[1]

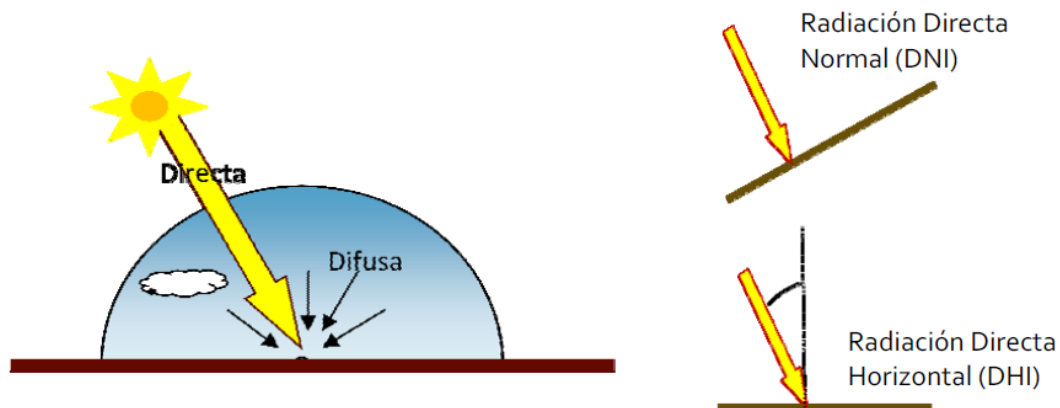


Figura 3.2: Esquema de las componentes de la radiación que llegan a la superficie (Izq.). Esquema de la posición del receptor de la radiación directa normal y horizontal (Der.). Fuente: [1].

3.3. Radiación solar sobre una superficie

Para determinar la radiación solar que índice sobre una superficie, no sólo basta conocer el valor de la radiación global horizontal, también se requiere saber la geometría que presenta el sol en su recorrido con respecto a la superficie a analizar. De esta manera, se debe definir primero diferentes parámetros que dan información sobre la relación geométrica sol-superficie.

En primer lugar, se define la hora solar aparente, AST por su sigla en inglés, según la siguiente ecuación. ^[2]

$$AST = LST + \frac{ET}{60} + \frac{LON - LSM}{15} \quad (3.1)$$

Dónde:

AST : Hora solar aparente, [hora].

LST : Hora local, [hora].

ET : Ecuación del tiempo, [min].

LON : Longitud geográfica del sitio, [°].

LSM : Longitud del meridiano de hora estándar del lugar, [°].

Con respecto a los datos que se requieren para calcular la hora solar aparente, se tiene que el valor de la ecuación del tiempo se puede obtener de la siguiente tabla, la cual está pensada para los días número 21 de cada uno de los meses, ya que generalmente se ocupa ese día del mes al momento de calcular las cargas térmicas, puesto que se trata de un día de mes cercano a las posiciones críticas del sol, como son los equinoccios y los solsticios. Dicha tabla tiene también información sobre el ángulo de declinación, el cual es el ángulo entre el plano sol-tierra y el plano ecuatorial.

Tabla 3.1: Ecuación del tiempo y ángulo de declinación, para los días 21 de cada mes.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Día del Año	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
Ecuación del tiempo, [min]	-10,6	-14,4	-7,9	1,2	3,7	-1,3	-6,4	-3,6	6,9	15,5	13,8	2,2
Ángulo de declinación, [°]	-20,1	-11,2	-0,4	11,6	20,1	23,4	20,4	11,8	-0,2	-11,8	-20,4	-23,4

Fuente: [2].

Por otro lado, la longitud del meridiano de hora estándar del lugar, se puede determinar con la siguiente relación. [2]

$$LSM = 15 * TZ \quad (3.2)$$

Dónde:

TZ : Zona horaria, en relación a la hora universal coordinada.

Otro de los parámetros que se debe determinar es el ángulo horario, el cual corresponde al desplazamiento angular del sol, hacia el este u oeste del meridiano local, debido a la rotación de la tierra. [2]

$$H = 15(AST - 12) \quad (3.3)$$

H : Ángulo horario, [°].

AST : Hora solar aparente, [hora].

El ángulo de altitud solar, se define como el ángulo entre el plano horizontal y una línea que une el sol con el lugar. Se calcula de la siguiente forma. [2]

$$\text{sen}(\beta) = \cos(L) * \cos(\delta) * \cos(H) + \text{sen}(L) * \text{sen}(\delta) \quad (3.4)$$

Dónde:

β : Ángulo de altitud solar, [°].

L : Latitud del lugar, [°].

δ : Ángulo de declinación solar, [°].

H : Ángulo horario, [°].

El ángulo de azimut solar, se define como el desplazamiento angular en relación al sur en el plano horizontal, de la línea sol-tierra. Por convención es positivo para las horas de la tarde y negativo para las horas de la mañana. Se determina con las siguientes ecuaciones. ^[2]

$$\text{sen}(\Phi) = \frac{\text{sen}(H) * \cos(\delta)}{\cos(\beta)} \quad (3.5)$$

$$\cos(\Phi) = \frac{\cos(H) * \cos(\delta) * \text{sen}(L) - \text{sen}(\delta) * \cos(L)}{\cos(\beta)} \quad (3.6)$$

Dónde:

Φ : Ángulo de azimut solar, [°].

β : Ángulo de altitud solar, [°].

L : Latitud del lugar, [°].

δ : Ángulo de declinación solar, [°].

H : Ángulo horario, [°].

Con respecto a la superficie a estudiar, se considera el ángulo de azimut de superficie, según la orientación que posea ésta. Dichos valores de ángulo de azimut de superficie, se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3.2: Ángulo de azimut de superficie, según su orientación.

Orientación	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Ángulo de azimut de superficie [°]	180	-135	-90	-45	0	45	90	135

Fuente: [2].

Por otra parte, se define el ángulo de azimut superficie-solar, como la diferencia entre el ángulo de azimut solar y el ángulo de azimut de la superficie. ^[2]

$$\gamma = \Phi - \psi \quad (3.7)$$

Dónde:

γ : Ángulo de azimut superficie-solar, [°].

Φ : Ángulo de azimut solar, [°].

ψ : Ángulo de azimut de superficie, [°].

Vale destacar que si γ tiene un valor mayor a 90° o menor a -90° , significa que la superficie no está expuesta al sol.

Se debe definir también el ángulo de incidencia, el cual corresponde al ángulo entre la normal a la superficie y la línea sol-tierra. Dicho ángulo se calcula como: ^[2]

$$\cos(\theta) = \cos(\beta) * \cos(\gamma) * \text{sen}(\Sigma) + \text{sen}(\beta) * \cos(\Sigma) \quad (3.8)$$

Dónde:

θ : Ángulo de incidencia solar, [°].

β : Ángulo de altitud solar, [°].

γ : Ángulo de azimut superficie-solar, [°].

Σ : Ángulo de inclinación de la superficie, [°].

La radiación total sobre la superficie, considera cada una de las componentes de ésta, según la siguiente ecuación. ^[2]

$$E_t = E_{t,b} + E_{t,d} + E_{t,r} \quad (3.9)$$

Dónde:

E_t : Radiación total incidente en la superficie, [W/m²].

$E_{t,b}$: Radiación directa sobre la superficie, [W/m²].

$E_{t,d}$: Radiación difusa sobre la superficie, [W/m²].

$E_{t,r}$: Radiación reflejada en el suelo sobre la superficie, [W/m²].

Para determinar la radiación directa incidente en la superficie, se ocupa que: ^[2]

$$E_{t,b} = E_b * \cos(\theta) \quad (3.10)$$

Dónde:

$E_{t,b}$: Radiación directa sobre la superficie, [W/m²].

E_b : Radiación directa normal [W/m²].

θ : Ángulo de incidencia solar, [°].

Por otro lado, para determinar la radiación difusa en superficies verticales, se ocupa que: ^[2]

$$E_{t,d} = E_d * Y \quad (3.11)$$

Dónde:

$E_{t,d}$: Radiación difusa sobre la superficie, [W/m²].

E_d : Radiación difusa horizontal, [W/m²].

Y : max (0,45 ; 0,55+0,437cos(θ)+0,313cos(θ)²)

Por último, para determinar la radiación reflejada en el suelo, se ocupa que: ^[2]

$$E_{t,r} = (E_b * \text{sen}(\beta) + E_d) * \rho_g * \frac{1 - \text{cos}(\Sigma)}{2} \quad (3.12)$$

Dónde:

$E_{t,r}$: Radiación reflejada en el suelo sobre la superficie, [W/m²].

E_b : Radiación directa normal sobre la superficie, [W/m²].

β : Ángulo de altitud solar, [°].

E_d : Radiación difusa horizontal, [W/m²].

ρ_g : Reflectividad del suelo.

Σ : Ángulo de inclinación de la superficie, [°].

3.4. Condiciones climáticas de diseño

Para el diseño de un sistema de climatización, es importante conocer los datos climáticos de la zona en la cual se pretende realizar dicho proyecto, sobre todo la temperatura ambiente. En ese sentido, si se desea realizar un análisis considerando los datos anuales de temperatura ambiente, se tiene que para determinar cargas para calefacción se ocupa como temperatura de diseño aquella que es excedida el 99.6% o 99% del tiempo, por otro lado, para determinar cargas de enfriamiento, se ocupa como temperatura de diseño aquella que es excedida el 0,4%, 1% o 2% del tiempo. En caso de ocupar datos mensuales de temperatura ambiente, los porcentajes cambian a 98% o 95% para el caso de cargas de calefacción, y 2%, 5 o 10% para el caso de cargas de enfriamiento. ^[2]

Existen métodos de cálculo de cargas térmicas, los cuales requieren como dato un perfil de temperatura diaria del lugar, considerando como cambia ésta en el transcurso del día. Para hacer eso, se necesita calcular el rango promedio de temperaturas coincidente con el porcentaje de diseño, es decir, se debe obtener la diferencia entre la temperatura diaria máxima y mínima, para cada uno de los días en los cuales la temperatura mínima o máxima del día, está bajo o excede a la temperatura de diseño según sea el caso de calefacción o enfriamiento. Cuando se obtiene la diferencia en todos días que cumplen la condición, se debe promediar dicho rango.

Así, la temperatura para cierta hora se calcula como: [2]

$$T_h = T_d - f * MCDR \quad (3.13)$$

Dónde:

T_h : Temperatura a la hora h , [°C].

T_d : Temperatura de diseño, [°C].

f : Fracción del rango de temperatura diaria.

$MCDR$: Rango promedio de temperaturas coincidente con el porcentaje de diseño, [°C].

La fracción del rango de la temperatura diaria, cambia para cada hora y se muestra en la tabla a continuación. Vale destacar, que dicha fracción está referida a la hora solar aparente.

Tabla 3.3: Fracción del rango de temperatura diaria a lo largo del día.

Hora	Fracción	Hora	Fracción	Hora	Fracción
1	0,88	9	0,55	17	0,14
2	0,2	10	0,38	18	0,24
3	0,95	11	0,23	19	0,39
4	0,98	12	0,13	20	0,50
5	1,00	13	0,05	21	0,59
6	0,98	14	0,00	22	0,68
7	0,91	15	0,00	23	0,75
8	0,74	16	0,06	24	0,82

Fuente: [2].

3.5. Carga de Enfriamiento

En el diseño de un sistema de climatización, existen cuatro flujos de calor, los cuales van variando en la medida que transcurre el tiempo. Estos son:

- Ganancia térmica del espacio.
- Carga de enfriamiento del espacio.
- Tasa de extracción de calor desde el espacio.
- Carga del sistema de enfriamiento.

La ganancia térmica del espacio, hace referencia al calor que entra en el espacio, o bien es generado en el interior de éste. Este tipo de flujo de calor se clasifica según la manera en que entra al espacio, así también si se trata de ganancia latente o sensible.

Con respecto al tipo de ganancia térmica, éstos son los siguientes: [2]

- Radiación solar a través de superficies transparentes.
- Conducción de calor a través de paredes y techos exteriores.
- Conducción de calor a través de cielos, pisos y particiones interiores.
- Calor generado en el espacio por ocupantes, luces y aparatos.
- Transferencia de calor como resultado de la ventilación y filtración de aire exterior.
- Ganancias térmicas misceláneas.

El calor sensible hace referencia al calor que recibe el espacio debido a conducción, convección y/o radiación. Por otro lado, el calor latente hace referencia al aumento de la humedad en el espacio a diseñar.

La carga de enfriamiento del espacio, es la tasa con la cual se debe remover el calor desde el espacio, para así lograr mantener una temperatura constante en el espacio a climatizar. Vale destacar que la carga de enfriamiento en cierto instante, no necesariamente corresponde a la suma de todas las ganancias de calor instantáneas en el mismo instante. En este sentido, tiene una gran importancia la energía radiante, puesto que en primer lugar, ésta debe ser absorbida por las diferentes superficies que encierran el espacio, así como los objetos que están en el interior de este. Cuando dichas superficies y objetos obtienen una temperatura superior a la del aire circundante, se transfiere calor a través de convección. Este efecto de almacenamiento de calor, tiene una importancia crítica a la hora de diferenciar la ganancia térmica instantánea de la carga de enfriamiento del espacio, en un determinado instante.

La tasa de extracción de calor desde el espacio, es la tasa a la cual es calor es removido desde el espacio, la cual es igual a la carga de enfriamiento sólo si la temperatura de la sala se quiere mantener constante. Una operación intermitente del sistema de climatización, conlleva a que el sistema de control permita pequeñas oscilaciones en la temperatura de la sala, con lo cual la tasa de extracción de calor no necesariamente es la carga de enfriamiento de la sala.

La carga del sistema de enfriamiento, es la tasa a la cual el calor es extraído por un sistema de enfriamiento que climatiza uno o más espacios. Dicha carga es equivalente a todas las cargas de enfriamiento de los diferentes espacios que climatiza el sistema, más todas las cargas externas, entre las cuales se encuentran las cargas debido al funcionamiento de ventiladores y ductos, así como las cargas térmicas y de humedad debido a la ventilación del espacio que debe satisfacer el sistema.

El método utilizado en este trabajo, para determinar la carga de enfriamiento del espacio, corresponde al método de las series de tiempo radiantes (RTS, por sus siglas en inglés). Este método es una simplificación del método del balance de calor (HB, por sus siglas en inglés), fue desarrollado para tener un método riguroso que cuantifique de buena manera cada una de las contribuciones de carga térmica en la carga de enfriamiento del espacio, sin la necesidad de recurrir a cálculos iterativos. A pesar de ser un método simplificado, posee una gran cantidad de cálculos, por lo cual se recomienda realizarlos con ayuda de una planilla computarizada.^[2]

De esta manera, la carga de enfriamiento se determina a partir de condiciones estables y periódicas, en particular, se asume que las condiciones de ganancia térmica se repiten en ciclos de 24 horas, así la ganancia térmica para una componente en particular, es la misma que había 24 horas antes. Este supuesto es la base del método de las series de tiempo radiantes.

Por otro lado, se deben considerar dos efectos de retardo, los cuales son inherentes al proceso de transferencia de calor del lugar a climatizar. [2]

- Retardo de la ganancia térmica conductiva a través de superficies exteriores opacas (paredes, techo y piso).
- Retardo de la conversión de la ganancia térmica radiativa en carga de enfriamiento.

El procedimiento general para el cálculo de carga de enfriamiento para cada una de las componentes de carga (luces, personas, paredes, etc.), según el método de las series de tiempo radiantes, es el siguiente: [2]

- Calcular un perfil de 24 horas para cada una de las componentes de ganancia térmica, para el día de diseño. Para las ganancias por conducción considerar el efecto de retardo, aplicando series de tiempo por conducción.
- Separar las ganancias térmicas en sus componentes convectivas y radiativas.
- Aplicar una serie de tiempo radiante a la parte radiativa de las ganancias térmicas, con el fin de considerar el efecto de retardo de su conversión en carga de enfriamiento.
- Sumar cada una de las partes convectivas de las ganancias térmicas, así como sus fracciones radiativas considerando el efecto de retardo, con lo cual se obtiene la carga de enfriamiento para cada hora.

Con el procedimiento anterior, se determina la mayor de las cargas dentro de las 24 horas calculadas. Esta tarea se debe repetir para diferentes meses de diseño. Una vez determinada la carga máxima en el año, se obtiene la carga de diseño del sistema de climatización.

3.5.1. Ganancia térmica a través de superficies exteriores.

En el contexto de calcular la ganancia térmica a través de superficies exteriores, aparece el concepto de temperatura sol-aire. Esta hace referencia a la temperatura del aire exterior, que en ausencia de todos los intercambios de radiación, entrega a la superficie analizada el mismo flujo de calor, tal cual lo haría la suma de radiación solar incidente, el intercambio radiativo con el cielo y los alrededores, y el intercambio convectivo con el aire exterior.

De esta manera, el balance de calor de una superficie iluminada por el sol es: [2]

$$\frac{q}{A} = \alpha * E_t + h_o(t_o - t_s) - \varepsilon * \Delta R \quad (3.14)$$

Dónde:

α : Absorbancia de la superficie para radiación solar.

E_t : Radiación total incidente en la superficie, [W/m²].

h_o : Coeficiente de transferencia de calor para radiación de onda larga y convección en la superficie externa, [W/m² K].

t_o : Temperatura del aire exterior, [°C].

t_s : Temperatura de la superficie, [°C].

ε : Emitancia hemisférica de la superficie.

ΔR : Diferencia entre la radiación de onda larga proveniente desde el cielo y alrededores incidente en la superficie y la radiación emitida por un cuerpo negro a la temperatura del aire exterior, [W/m²].

Asumiendo que la tasa de transferencia de calor, se puede expresar en términos de la temperatura sol-aire, se tiene que:^[2]

$$\frac{q}{A} = h_o(t_e - t_s) \quad (3.15)$$

Donde se tiene que t_e es la temperatura sol-aire.

Con las ecuaciones anteriormente escritas, se puede llegar a la siguiente relación.^[2]

$$t_e = t_o + \frac{\alpha * E_t}{h_o} - \frac{\varepsilon * \Delta R}{h_o} \quad (3.16)$$

Para el caso de superficies horizontales que reciben radiación desde el cielo, un valor apropiado de ΔR es de alrededor de 63 [W/m²]. En el caso de las superficies verticales, las cuales reciben radiación tanto desde el cielo como de los alrededores, es difícil determinar de manera precisa un valor de ΔR ; sin embargo es común asumir que $\varepsilon * \Delta R = 0$ para superficies verticales. Este último supuesto funciona de buena manera si la radiación solar es alta.^[2]

En el caso de superficies pintadas de color claro, un valor apropiado a ocupar para la relación α/h_o es de 0,026. Para el caso de superficies de color oscuro, el valor sugerido es de 0,052.^[2]

3.5.2. Ganancia térmica por conducción

En el método de las series de tiempo radiante, la transferencia de calor por conducción a través de paredes y techos desde el exterior, se calcula mediante series

de tiempo de conducción (CTS, por sus siglas en inglés). Así, el flujo de calor desde el exterior en dichas superficies, se calcula como: ^[2]

$$q_{i,\theta-n} = UA(t_{e,\theta-n} - t_{rc}) \quad (3.17)$$

Dónde:

$q_{i,\theta-n}$: Calor entrante en la superficie hace n horas, [W].

U : Coeficiente global de transferencia para la superficie, [W/m² K].

A : Área de la superficie, [m²].

$t_{e,\theta-n}$: Temperatura sol-aire hace n horas, [°C].

t_{rc} : Temperatura de la sala, [°C].

De esta forma, la ganancia térmica por conducción a través de paredes y techos, puede calcularse con los flujos de calor entrante de la hora actual y de las 23 horas anteriores, y las series de tiempo de conducción, de la siguiente forma. ^[2]

$$q_{\theta} = c_0 q_{i,\theta} + c_1 q_{i,\theta-1} + c_2 q_{i,\theta-2} + \dots + c_{23} q_{i,\theta-23} \quad (3.18)$$

Dónde:

q_{θ} : Ganancia térmica horaria por conducción en la superficie, [W].

$q_{i,\theta}$: Calor entrante en la superficie en la hora actual, [W].

$q_{i,\theta-n}$: Calor entrante en la superficie hace n horas, [W].

$c_0, c_1, \text{etc.}$: Factores de serie de conducción.

3.5.3. Ganancias térmicas a través de superficies interiores

En caso de que el espacio climatizado adyacente a otro espacio con diferente temperatura, se debe considerar la transferencia de calor entre los espacio a través de su separación. El flujo se calcula según la siguiente ecuación. ^[2]

$$q = UA(t_b - t_i) \quad (3.19)$$

Dónde:

q : Flujo de calor, [W].

U : Coeficiente global de transferencia entre el espacio climatizado y el adyacente, [W/m² K].

A : Área de la sección de separación, [m²].

t_b : Temperatura promedio en el espacio adyacente, [°C].

t_i : Temperatura en el espacio condicionado, [°C].

Vale señalar que en el caso de pisos directamente en contacto con el suelo, se puede despreciar la transferencia de calor entre el suelo y el espacio.

3.5.4. Ganancias térmicas debido a iluminación, ocupación y artefactos.

En el caso de la estimación de las ganancias térmicas debido a iluminación, ocupación y los diferentes artefactos que hay en el espacio, se ocupan valores referenciales según diferentes tablas, las cuales consideran el uso que se le da al espacio, su tamaño, temperatura interior de diseño, entre otras cosas.

3.5.5. Cálculo de la carga de enfriamiento

Como se dijo anteriormente, las ganancias térmicas debido a convección se consideran instantáneas, mientras que en el caso de las ganancias radiativas se debe considerar el efecto de retardo en su transferencia. La forma en que se reparten dichos tipos de ganancias según su fuente, está referenciado en diferentes tablas.

La porción radiante de la carga de enfriamiento, se calcula como: ^[2]

$$Q_{r,\theta} = r_0 q_{r,\theta} + r_1 q_{r,\theta-1} + r_2 q_{r,\theta-2} + \dots + r_{23} q_{r,\theta-23} \quad (3.20)$$

Donde

$Q_{r,\theta}$: Porción radiante de la carga de enfriamiento para la hora actual θ , [W].

$q_{r,\theta}$: Ganancia térmica radiante para la hora actual, [W].

$q_{r,\theta-n}$: Ganancia térmica radiante hace n horas, [W].

$r_0, r_1, etc.$: Factores de serie de tiempo radiante.

Los factores de serie de tiempo radiante, dependen de los materiales con los cuales se delimita el espacio a climatizar, puesto que dependiendo del material, se tienen diferentes comportamientos térmicos en la medida que la superficie absorbe radiación.

En términos prácticos, se debe calcular dos series de tiempo radiante. La primera corresponde a la serie solar, para la ganancia térmica debido a transmisión de radiación solar; la segunda es la serie no-solar, la cual corresponde a las ganancias térmica por radiación provenientes de iluminación, ocupación, luces, aparatos, etc.

3.6. Ciclo por Absorción

Los ciclos de refrigeración por absorción, se basan en la capacidad que tienen ciertas sustancias en estado líquido de absorber a otra en fase de vapor. De esta manera, el refrigerante evaporado luego de absorber el calor, es absorbido por otra sustancia, con lo cual se forma una mezcla líquida. Así, para pasar a la etapa de alta presión se requiere de una bomba, en vez de un compresor, generando así un ahorro de energía en comparación a un ciclo de refrigeración por compresión de vapor, pero se tiene que en este tipo de ciclos, se requiere de un flujo de calor para lograr la desabsorción del refrigerante, hecho que no ocurre en el ciclo por compresión de vapor.^[3] El proyecto a estudiar utiliza la energía solar térmica para generar dicho flujo de calor en el sistema, sin embargo vale destacar que no es la única manera de lograrlo ya que se pueden utilizar fuentes tradicionales de energía, como los combustibles fósiles.

A continuación, se presenta un esquema del ciclo básico de absorción.

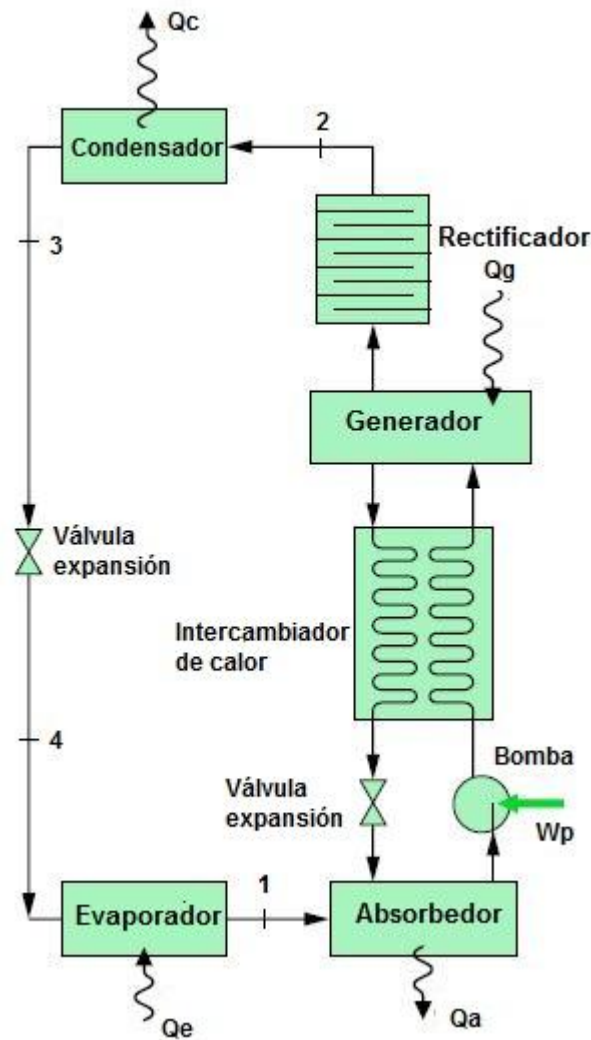


Figura 3.3: Esquema de ciclo básico de refrigeración por absorción.
Fuente: Adaptado de [3].

Ocupando la figura como referencia, se procede a explicar cada uno de los equipos que salen de ella.

- Absorbedor: En este equipo, el refrigerante en estado de vapor que proviene desde el evaporador, es absorbido por otra sustancia en estado líquido, formando así una solución la cual también está en estado líquido, siendo este un proceso exotérmico. Como la solubilidad del refrigerante disminuye en la medida que aumenta la temperatura de la solución, se busca que ésta tenga la temperatura más baja posible, pudiendo incluso utilizarse un circuito de agua para refrigerar el absorbedor. La solución fuerte, deja este equipo para luego pasar por la bomba, logrando un aumento de presión que le permite pasar al generador.
- Generador: Su función es permitir que el refrigerante en fase de vapor, deje de estar disuelto en la solución, mediante un proceso endotérmico. Dicho vapor abandona el generador y pasa al condensador, mientras que en el generador queda una mezcla con baja concentración de refrigerante (mezcla débil), la cual pasa hacia el absorbedor a través de una válvula.
- Condensador: En este equipo el refrigerante en fase de vapor, libera carga térmica al ambiente, con lo cual pasa a fase líquida, para posteriormente dirigirse al evaporador a través de una válvula de expansión.
- Evaporador: Aquí el refrigerante absorbe calor desde el espacio a climatizar, con lo cual pasa a fase de vapor, para luego dirigirse nuevamente al absorbedor, cerrando de esta manera el ciclo termodinámico.
- Intercambiador de calor: Su función es que la mezcla que se dirige hacia el generador se precaliente, con lo cual se requiere un flujo menor de calor en el generador. Por otro lado, la mezcla débil que se dirige hacia el absorbedor se enfría, con lo cual la mezcla es capaz de absorber una mayor cantidad de refrigerante en fase de vapor.
- Rectificador: Con este equipo se busca remover las trazas de la sustancia de absorción que quedan en el refrigerante, con lo cual se baja la posibilidad de formación de cristales en la válvula de expansión y evaporador.

A continuación se muestra un diagrama presión de vapor-temperatura de la solución, considerando la existencia de un intercambiador de calor entre el absorbedor y el generador.

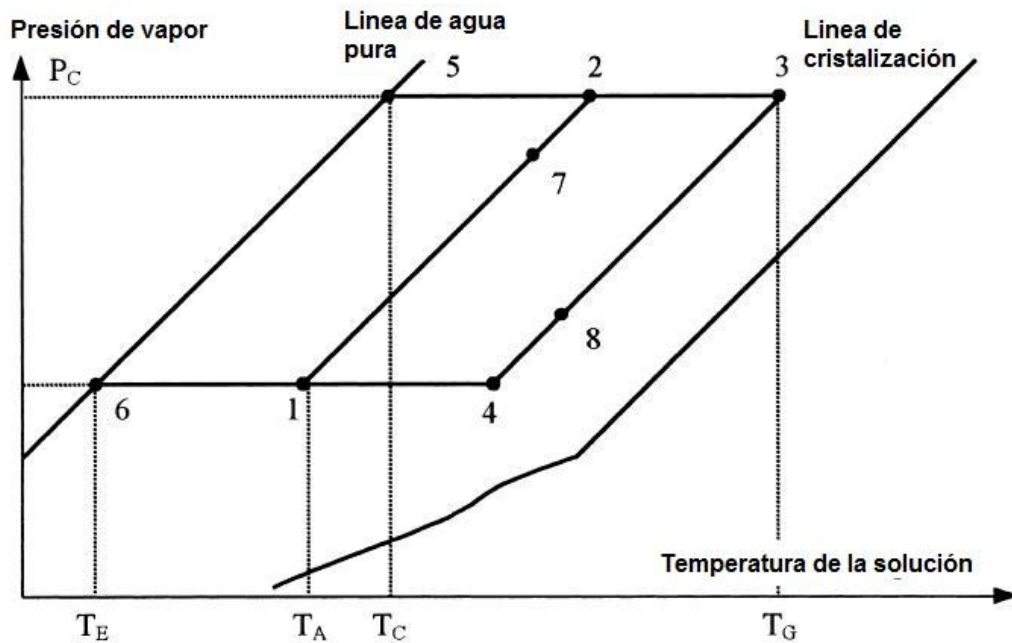


Figura 3.4: Diagrama presión de vapor – temperatura de la solución, para el ciclo de refrigeración por absorción.

Fuente: Adaptado de [4].

Las siglas utilizadas en el diagrama son las siguientes:

- P_c : Presión del condensador.
- T_e : Temperatura del evaporador.
- T_c : Temperatura del condensador.
- T_a : Temperatura del absorbedor.
- T_g : Temperatura del generador.

Los diferentes puntos que salen en el diagrama, se explican a continuación.^[4]

- Línea 1-7: La mezcla fuerte es llevada por acción de la bomba, donde el absorbedor en el punto 1, hacia el intercambiador de calor. El punto 7 representa las propiedades de la mezcla a la salida del intercambiador.
- Línea 7-2-3: El proceso 7-2 representa el calentamiento sensible de la solución fuerte en el generador, mientras que el 2-3 hace referencia a la ebullición del refrigerante desde la solución, a una presión de condensación constante. Durante este proceso, la mezcla fuerte se convierte en mezcla débil.
- Línea 3-8: Simboliza la mezcla débil pasando hacia el absorbedor a través del intercambiador de calor. Durante este proceso, la concentración de la mezcla permanece constante.
- Línea 8-4-1: Indica el proceso ideal de absorción del refrigerante que proviene desde el evaporador, por la mezcla débil en el absorbedor.
- Línea 2-5: Denota la condensación del refrigerante en el condensador, a una presión constante.

- Línea 5-6: El refrigerante es transportado desde el condensador hacia el evaporador a través de una válvula de expansión.
- Línea 6-1: Muestra la evaporación del refrigerante en el evaporador, proceso en el cual absorbe el calor desde el espacio a climatizar. El refrigerante en estado de vapor es posteriormente llevado hacia el absorbedor, en donde es absorbido por la mezcla débil, completando de esta manera el ciclo termodinámico.

En cuanto a los fluidos utilizados en el ciclo de refrigeración por absorción, las parejas más utilizadas son amoníaco-agua y agua-bromuro de litio, siendo la primera sustancia la que realiza la absorción, mientras que la segunda es el refrigerante. Cada una de las parejas de fluidos tiene sus ventajas y desventajas, las cuales se mencionan a continuación: ^[4]

- Los sistemas que utilizan agua-bromuro de litio, poseen un mayor coeficiente de rendimiento (COP, por sus siglas en inglés).
- Los sistemas basados en amoníaco-agua requieren de una mayor temperatura de mezcla en la entrada del generador.
- Los sistemas basados en amoníaco-agua requieren de mayores presiones de fluidos y mayores potencias en la bomba.
- Se requiere un mayor cuidado en los rectificadores con sistemas amoníaco-agua, además pueden existir ciertas restricciones en el uso de estos sistemas dada la toxicidad del amoníaco.
- Los sistemas agua-bromuro de litio, son sensibles a caídas bruscas de la temperatura del generador, las cuales pueden generar cristalización del bromuro de litio, obstruyendo de esta manera el circuito del fluido, con lo cual es sistema de climatización queda inutilizable.
- Los equipos requeridos para un sistema amoníaco-agua suelen ser más compactos que aquellos requeridos para un sistema agua-bromuro de litio.

Vale destacar la presencia de equipos auxiliares, los cuales permiten que el sistema siga funcionando a pesar de la baja de suministro de energía solar en determinados momentos de la operación. Dichos equipos son:

- Estanque de almacenamiento: Su función es almacenar la mezcla a la temperatura requerida por el generador, de manera que pueda ser utilizada en caso de que el calor suministrado por éste, sea insuficiente. Si bien existen pérdidas energéticas en el estanque, por las cuales disminuye la temperatura del fluido, dichas pérdidas con tan pequeñas, que aun así es recomendable contar con uno. Vale señalar que se pueden encontrar sistemas con la presencia de dos estanques de almacenamiento con diferentes volúmenes y temperaturas, con el fin de aumentar el coeficiente de rendimiento.
- Calentador auxiliar: Hace referencia a un equipo capaz de suministrar calor en el generador, en caso de que el calor suministrado por energía solar térmica, no sea suficiente, ya sea por una baja de ésta, o bien, por un aumento en la solicitud de refrigeración.

Las ecuaciones que se utilizan para determinar el ciclo termodinámico, ocupan como referencia la figura a continuación, en cuanto a notación se refiere.

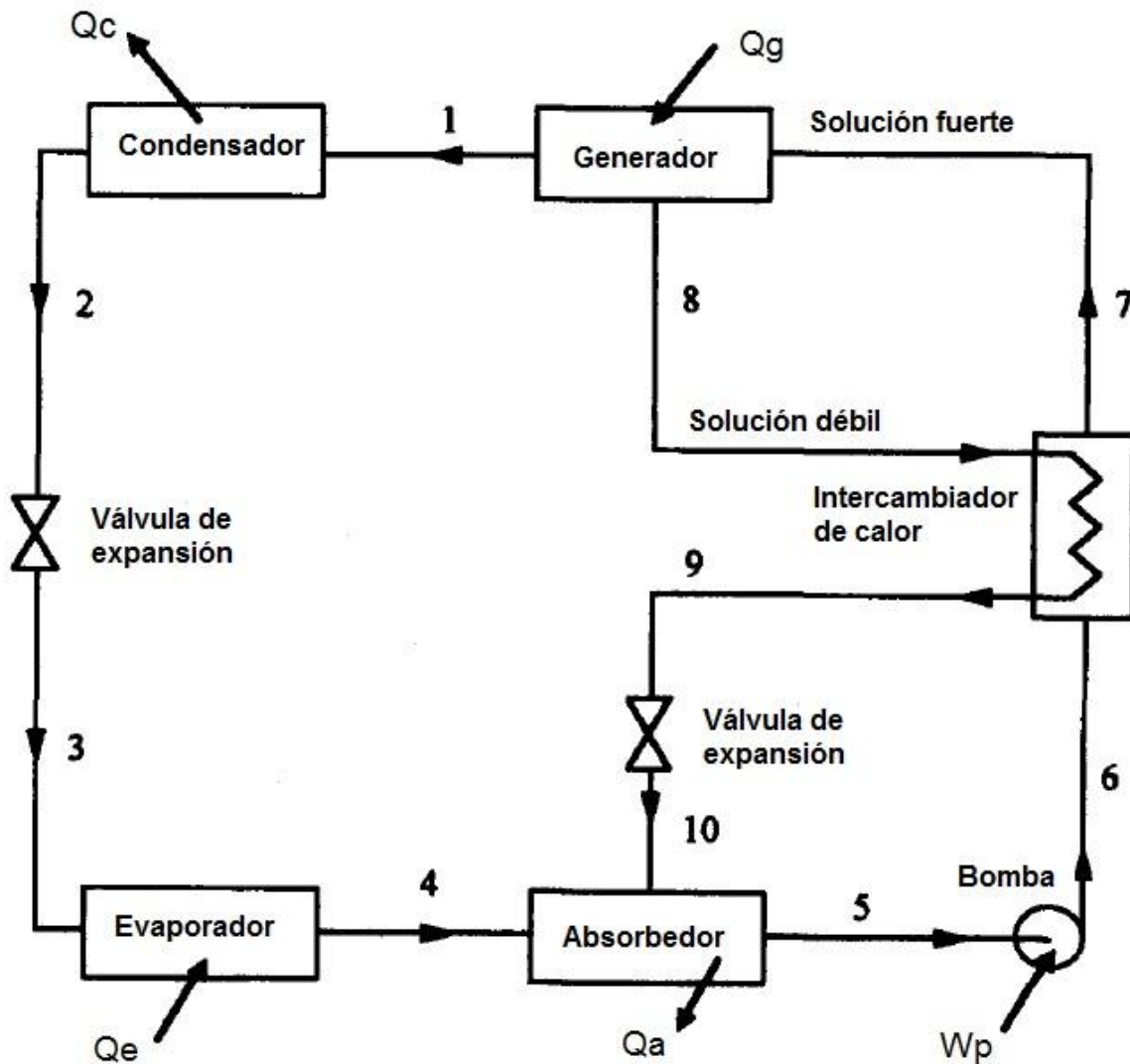


Figura 3.5: Ciclo de absorción con notación de puntos de operación a utilizar.
Fuente: Adaptada de [5].

Haciendo un balance de masa general y del amoníaco en el generador, se tiene obtiene que: ^[5]

$$m_7 = m_1 + m_8 \quad (3.21)$$

$$m_7 * X_7 = m_1 + m_8 * X_8 \quad (3.22)$$

Dónde:

m_i : Flujo másico i , [Kg/s].

X_i : Fracción másica i , [Kg amoníaco/Kg mezcla].

Ocupando ambas ecuaciones, se obtiene que: ^[5]

$$m_8 = \frac{1 - X_7}{X_7 - X_8} m_1 \quad (3.23)$$

$$m_7 = \frac{1 - X_8}{X_7 - X_8} m_1 \quad (3.24)$$

Además, por conservación de masa se tiene también que: ^[5]

$$m_1 = m_2 = m_3 = m_4 \quad (3.25)$$

$$m_5 = m_6 = m_7 \quad (3.26)$$

$$m_8 = m_9 = m_{10} \quad (3.27)$$

Los balances de energía en cada uno de los equipos, dan como resultado las siguientes ecuaciones. ^[5]

$$Q_g = m_1 h_1 + m_8 h_8 - m_7 h_7 \quad (3.28)$$

$$Q_a = m_4 h_4 + m_{10} h_{10} - m_5 h_5 \quad (3.29)$$

$$Q_c = m_1 (h_1 - h_2) \quad (3.30)$$

$$Q_e = m_1 (h_4 - h_3) \quad (3.31)$$

Dónde:

Q_g : Calor en el generador, [W].

Q_a : Calor en el absorbedor, [W].

Q_c : Calor en el condensador, [W].

Q_e : Calor en el evaporador, [W].

m : Flujo másico, [Kg/s].

h : Entalpía, [KJ/Kg].

En la bomba, se tienen los siguientes balances de energía, asumiendo que se trata de un proceso isoentrópico. ^[5]

$$h_6 \approx h_5 + (P_6 - P_5) v_5 \quad (3.32)$$

$$W_p \approx (P_6 - P_5) v_5 \quad (3.33)$$

Dónde:

h : Entalpía de la mezcla, [KJ/Kg].

P : Presión de la mezcla, [KPa].

v : Volumen específico del agua, [m³/Kg].

W_p : Trabajo específico de la bomba, [KJ/Kg].

Finalmente, para el intercambiador de calor presente entre el absorbedor y el generador, se tienen las siguientes ecuaciones. ^[5]

$$T_9 = Ex * T_6 + (1 - Ex) * T_8 \quad (3.34)$$

$$h_7 = h_6 + \frac{m_8}{m_6}(h_8 - h_9) \quad (3.35)$$

Dónde:

T : Temperatura de la mezcla, [°C].

m : Flujo másico, [Kg/s].

h : Entalpía de la mezcla, [KJ/Kg].

Ex : Eficiencia el intercambiador.

3.7. Propiedades termodinámicas agua y agua-bromuro de litio

Para determinar las propiedades termodinámicas del agua, ya sea en estado de equilibrio líquido-vapor, así como en estado de vapor sobrecalentado, se recurre a tablas que contengan dicha información. Dichas tablas se encuentran en Anexo A: Propiedades termodinámicas agua saturada (líquido-vapor) y Anexo B: Propiedades termodinámicas agua sobre-calentada..

Por el lado de la mezcla agua-bromuro de litio, se recurren a diversas ecuaciones para determinar las propiedades. En primer lugar, se ocupa la siguiente ecuación para determinar la temperatura y presión en el estado de equilibrio líquido-vapor de la mezcla. ^[2]

$$\log(P) = 7.05 + \frac{-1596,49}{T} + \frac{-104095,5}{T^2} \quad (3.36)$$

Dónde:

P : Presión de la mezcla, [KPa].

T : Temperatura del agua, [K].

Para relacionar la temperatura que posee el agua antes de mezclarse, y la temperatura final de la mezcla, se ocupa que: [2]

$$T = \sum_{i=0}^3 B_i x^i + T' \sum_{i=0}^3 A_i x^i \quad (3.37)$$

Dónde:

x : Fracción másica de bromuro de litio en la solución, [%].

T : Temperatura de la solución, [°C].

T' : Temperatura del agua, [°C].

A_i, B_i : Coeficientes propios de la ecuación.

Los coeficientes ocupados en la ecuación anterior, se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 3.4: Coeficientes utilizados en la ecuación (3.7).

i	A_i	B_i
0	-2,00755E+00	1,24937E+02
1	1,69760E-01	-7,71649E+00
2	-3,13336E-03	1,52286E-01
3	1,97668E-05	-7,95090E-04

Fuente: [2].

Para obtener el valor de la densidad de la solución, se ocupa que: [6]

$$\rho(x, T) = \sum_{k=1}^5 x^{k-1} [G_{0,k} + T(G_{1,k} + TG_{2,k})] \quad (3.38)$$

Dónde:

x : Fracción másica de bromuro de litio en la solución, [%].

T : Temperatura de la solución, [°C].

$G_{i,k}$: Coeficientes propios de la ecuación.

Los coeficientes ocupados en la ecuación anterior, se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 3.5: Coeficientes utilizados en la ecuación (3.38).

$G_{i,j}$	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$
$i = 0$	9,99100E+02	7,74931E+00	5,36509E-03	1,34988E-03	-3,08671E-06
$i = 1$	-2,39865E-02	-1,28346E-02	2,07232E-04	-9,08213E-06	9,94788E-08
$i = 2$	-3,90453E-03	-5,55855E-05	1,09879E-05	-2,39834E-07	1,53514E-09

Fuente: [6]

Por otro lado, para obtener el valor de la entalpía de la mezcla, se ocupa la siguiente ecuación. ^[2]

$$h(x, T) = \sum_{i=0}^4 A_i X^i + t \sum_{i=0}^4 B_i X^i + t^2 \sum_{i=0}^4 A_i C^i \quad (3.39)$$

Dónde:

x : Fracción másica de bromuro de litio en la solución, [%].

T : Temperatura de la solución, [°C].

A_i, B_i, C_i : Coeficientes propios de la ecuación.

Los coeficientes ocupados en la ecuación anterior, se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 3.6: Coeficientes utilizados en la ecuación (3.39).

i	A_i	B_i	C_i
0	-2,0243300E+03	1,8282900E+01	-3,7008214E-02
1	1,6330900E+02	-1,1691757E+00	2,8877666E-03
2	-4,8816100E+00	3,2480410E-02	-8,1313015E-05
3	6,3029480E-02	-4,0341840E-04	9,9116628E-07
4	-2,9137050E-04	1,8520569E+00	-4,4441207E-09

Fuente: [2].

Si se da el caso, de que se requiera evaluar la entalpía de un líquido sub-enfriado, se ocupa que: ^[3]

$$h(T, P) \approx h_f(T) + v_f(P - P_{sat}(T)) \quad (3.40)$$

Dónde:

h : Entalpía de la mezcla sub-enfriada, [KJ/Kg].

T : Temperatura de la mezcla sub-enfriada, [°C].

P : Presión de la mezcla sub-enfriada, [°C].

P_{sat} : Presión de saturación para la temperatura T , [KPa].

h_f : Entalpía de líquido saturado para la temperatura T , [KJ/Kg].

v_f : Volumen específico de líquido saturado para la temperatura T , [KJ/Kg]

3.8. Propiedades termodinámicas amoniaco y amoniaco-agua

Para el cálculo de las propiedades termodinámicas del amoniaco y la mezcla amoniaco-agua, se ocupan diferentes ecuaciones, las cuales se muestran de manera detallada a continuación.

Si se desea saber las propiedades del amoniaco, se ocupan las siguientes ecuaciones, las cuales sirven para el rango de presiones y temperaturas para los cuales se ocupa dicha sustancia como refrigerante, asumiendo que se encuentra en fase de equilibrio líquido-vapor. ^[5]

$$P(T) = 10^3 * \sum_{i=0}^6 a_i(T - 273,15)^i \quad (3.41)$$

$$h_l(T) = \sum_{i=0}^6 b_i(T - 273,15)^i \quad (3.42)$$

$$h_v(T) = \sum_{i=0}^6 c_i(T - 273,15)^i \quad (3.43)$$

Dónde:

P : Presión de saturación del amoniaco, [KPa].

T : Temperatura del amoniaco, [K].

h_l : Entalpía de líquido saturado del amoniaco, [KJ/Kg].

h_v : Entalpía de vapor saturado del amoniaco, [KJ/Kg]

a_i, b_i, c_i : Coeficientes propios de cada ecuación.

Los coeficientes ocupados en las ecuaciones anteriores, se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 3.7: Coeficientes ocupados en las ecuaciones (3.41) a (3.43).

i	a_i	b_i	c_i
0	4,2871E-01	1,9879E+02	1,4633E+03
1	1,6001E-02	4,4644E+00	1,2839E+00
2	2,3652E-04	6,2790E-03	-1,1501E-02
3	1,6132E-06	1,4591E-04	-2,1523E-04
4	2,4303E-09	-1,5262E-06	1,9055E-06
5	-1,2494E-11	-1,8069E-08	2,5608E-08
6	1,2741E-13	1,9054E-10	-2,5964E-10

Fuente: [5].

En caso de necesitar datos de la entalpía de amoniaco sobre-calentado, se recurre a buscar su valor en una tabla correspondiente, la cual se encuentra en Anexo D: Propiedades termodinámicas amoniaco sobre-calentado.

Con respecto a las propiedades de la mezcla amoniaco-agua, en primer lugar se debe calcular su fracción molar, de acuerdo a la siguiente relación. ^[5]

$$\bar{X} = \frac{18,015X}{18,015X + 17,03(1 - X)} \quad (3.44)$$

Dónde:

\bar{X} : Fracción molar de la mezcla amoniaco agua, [Mol amoniaco / Mol mezcla]

X : Fracción másica de la mezcla amoniaco-agua, [Kg amoniaco/Kg mezcla]

Determinada la fracción molar de la mezcla, se ocupan las siguientes ecuaciones para conocer las diferentes propiedades termodinámicas, asumiendo que la sustancia está en equilibrio líquido-vapor. ^[5]

$$\log_{10}(P) = A - \frac{B}{T} \quad (3.45)$$

Dónde:

P : Presión de saturación de la mezcla, [KPa].

T : Temperatura de la mezcla, [K].

A : $7,44 - 1,767X + 0,9823X^2 + 0,3627X^3$

B : $2013,8 - 2155,7X + 1540,9X^2 - 194,7X^3$

X : Fracción másica de la mezcla amoniaco-agua, [Kg amoniaco/Kg mezcla]

Por el lado del cálculo de entalpía de líquido saturado, se ocupa que: [5]

$$h_l(T, \bar{X}) = 100 \sum_{i=1}^{16} a_i \left(\frac{T}{273,16} - 1 \right)^{m_i} * \bar{X}^{n_i} \quad (3.46)$$

Dónde:

h_l : Entalpía de líquido saturado de la mezcla, [KJ/Kg].

T : Temperatura de la mezcla, [K].

\bar{X} : Fracción molar de la mezcla amoniaco agua, [Mol amoniaco / Mol mezcla]

a_i, m_i, n_i : Coeficientes propios de cada ecuación.

Los coeficientes ocupados en la ecuación anterior, se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 3.8: Coeficientes ocupados en la ecuación (3.46).

i	m_i	n_i	a_i		i	m_i	n_i	a_i
1	0	1	-7,61080E+00		9	2	1	2,84179E+00
2	0	4	2,56905E+01		10	3	3	7,41609E+00
3	0	8	-2,47092E+02		11	5	3	8,91844E+02
4	0	9	3,25952E+02		12	5	4	-1,61309E+03
5	0	12	-1,58854E+02		13	5	5	6,22106E+02
6	0	14	6,19084E+01		14	6	2	-2,07588E+02
7	1	0	1,14314E+01		15	6	4	-6,87393E+00
8	1	1	1,18157E+00		16	8	0	3,50716E+00

Fuente: [5].

Por último, para determinar el volumen específico de la mezcla, se ocupa la siguiente relación. [5]

$$v(T, X) = \sum_{j=0}^3 \sum_{i=0}^3 a_{ij} (T - 273,15)^i X^j \quad (3.47)$$

Dónde:

v : Volumen específico del agua, [m³/Kg].

T : Temperatura de la mezcla, [K].

X : Fracción másica de la mezcla amoniaco-agua, [Kg amoniaco/Kg mezcla]

a_{ij} : Coeficiente propio de la ecuación.

Los coeficientes que se ocupan, se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 3.9: Coeficientes usados en la ecuación (3.47).

i	j	a_{ij}	i	j	a_{ij}
0	0	9,9842E-04	0	2	-1,2006E-04
1	0	-7,8161E-08	1	2	-1,0567E-05
2	0	8,7601E-09	2	2	2,4056E-07
3	0	-3,9076E-11	3	2	-1,9851E-09
0	1	3,5489E-04	0	3	3,2426E-04
1	1	5,2261E-06	1	3	9,8890E-06
2	1	-8,4137E-08	2	3	-1,8715E-07
3	1	6,4816E-10	3	3	1,7727E-09

Fuente: [5].

Si se requiere calcular las propiedades de un líquido sub-enfriado, se puede recurrir a la ecuación (3.40), la cual se encuentra en la sección anterior.

3.9. Colector solar de tubos al vacío

Un colector solar de tubos al vacío, consiste en un conjunto de dos o más tubos concéntricos de vidrio, los cuales se encuentran conectados en paralelo. Por lo general, su eficiencia es mayor que la de los colectores solares planos, además de alcanzar mayores temperaturas que ellos. Debido a las temperaturas que pueden alcanzar, son útiles procesos de calefacción en aplicaciones comerciales y sistemas de climatización por ciclos de absorción. También sirven para obtener agua caliente de uso doméstico, sobre todo en climas con inviernos muy helados, en los cuales los colectores planos poseen una baja eficiencia. [7]

Para determinar la radiación solar que son capaces de transmitir al fluido, se debe calcular en primer lugar su rendimiento, para lo cual se utiliza la siguiente formula: [8]

$$\eta_c = \eta_o - a_1 * \frac{(T_m - T_a)}{G} - a_2 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G} \quad (3.48)$$

Donde:

η_c : Rendimiento del colector, [-]

η_o : Rendimiento óptico del colector, [-].

a_1 : Coeficiente de perdida de calor de primer orden, [W/ K m²].

a_2 : Coeficiente de perdida de calor de segundo orden, [W/ K² m²].

G : Irradiancia total en la superficie del colector, [W/ m²].

T_m : Temperatura del fluido en el colector, [°C].

T_a : Temperatura ambiente del aire, [°C].

Con el rendimiento ya calculado, el flujo de calor que se transmite al fluido se puede calcular como:

$$Q_f = \eta_c * G * A \quad (3.49)$$

Dónde:

Q_f : Flujo de calor que se transmite al fluido, [W]

η_c : Rendimiento del colector, [-]

G : Irradiancia total en la superficie del colector, [W/ m²].

A : Área del colector, [m²].

Se asume que existe un sistema de acumulación de agua caliente, para aquellos periodos de tiempos en que la energía entrante por los colectores, sea mayor a la energía requerida por el sistema de climatización. Se tiene que:

$$E_{ac} = (h_1 - h_2) * m \quad (3.50)$$

Dónde:

E_{ac} : Energía diaria en el acumulador, [KJ]

h_1 : Entalpía fluido que sale desde el acumulador hacia el generador, [KJ/Kg]

h_2 : Entalpía fluido que se devuelve desde el generador hacia el acumulador, [KJ/Kg]

m : Masa del fluido en el acumulador, [Kg]

Como el fluido en el acumulador se trata de un líquido sub-enfriado, la entalpía se determina con la ecuación (3.40). Con respecto al volumen específico, se ocupa que:

$$v(T, P) \approx v_f(T) \quad (3.51)$$

Dónde:

v : Volumen específico del líquido sub-enfriado, [m³/Kg].

T : Temperatura de la mezcla sub-enfriada, [°C].

P : Presión de la mezcla sub-enfriada, [°C].

v_f : Volumen específico de líquido saturado para la temperatura T , [m³/Kg]..

4. Metodología

4.1. Definición ubicación del proyecto y sus condiciones climáticas.

Como dice lo dice el título, el trabajo está enfocado en el Norte Grande de Chile, con lo cual se debe escoger una ubicación en dicha zona. Como lugares tentativos se escoge ciudades grandes de la zona, así también los principales puertos, con lo cual se obtiene la siguiente lista de candidatos.

- Arica
- Iquique
- Tocopilla
- Antofagasta
- Calama

Dentro de dichas ciudades, se tiene interés en las zonas industriales puesto que presentan espacios más grandes, lo cual es ventajoso pensando en la instalación de colectores solares.

Los datos de temperatura ambiente y de radiación global horizontal en cada una de las localidades, se obtienen de la base de datos del Explorador del Recurso Solar en Chile, perteneciente al Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile. Dicha base de datos tienen una resolución de 1Km para la radiación global horizontal, por lo cual se escogen coordenadas geográficas dentro de la zona de interés en las ciudades candidatas a ser elegidas.

Para determinar las coordenadas geográficas de cada uno de los puntos de intereses recién mencionados, se utiliza el programa Google Earth.

Una vez que se tiene los datos de las ciudades, se comparan sus datos de radiación solar y temperatura, entre otras, para así escoger la localidad en la cual se ubica el proyecto.

Con la ciudad ya seleccionada, utilizando la base de datos de radiación solar, se determina la radiación global horizontal promedio para los días 21 de cada mes, con una resolución temporal de una hora, utilizando todos los datos obtenidos. Dicha tarea es posible, puesto que los datos vienen con fecha, además de poseer resolución temporal de media hora

Por el lado de la temperatura, los datos vienen con fecha y con una resolución temporal de una hora. Los datos se separan de acuerdo al mes que corresponden, una vez hecha dicha tarea, se determina la temperatura de diseño del mes, la cual corresponde aquella que es excedida por el 5% de los datos del mes.

A continuación, se calcula el rango promedio de temperaturas coincidente con el porcentaje de diseño (*MCDR*), para lo cual se analiza si la temperatura máxima de un día del mes estudiado, supera a la temperatura de diseño. Si ocurre esta condición, se calcula el rango de temperatura diaria, es decir la diferencia entre la temperatura máxima y la mínima del día. Luego, se procede a sacar el promedio los rangos de

temperatura diaria para todos los días que cumplen la condición en un cierto mes. Vale destacar que se ocupan todos los datos de temperatura disponibles en la base de datos utilizada.

Con la temperatura de diseño y el rango promedio de temperaturas coincidente con el porcentaje de diseño determinados, se procede a calcular un perfil diario representativo para cada mes. Para ello, se ocupa la ecuación (3.13), la cual se muestra a continuación.

$$T_h = T_d - f * MCDR$$

Dónde:

T_h : Temperatura a la hora h , [°C].

T_d : Temperatura de diseño, [°C].

f : Fracción del rango de temperatura diaria.

$MCDR$: Rango promedio de temperaturas coincidente con el porcentaje de diseño [°C].

La fracción del rango de temperatura diaria se obtiene de la Tabla 3.3. Vale señalar que dichas fracciones están referidas a la hora solar aparente. Para determinar dicha hora, se recurre a la ecuación (3.1).

$$AST = LST + \frac{ET}{60} + \frac{LON - LSM}{15}$$

Dónde:

AST : Hora solar aparente, [hora].

LST : Hora local, [hora].

ET : Ecuación del tiempo, [min].

LON : Longitud del sitio, [°].

LSM : Longitud del meridiano de hora estándar del lugar, [°].

Los parámetros para determinar la hora solar aparente dependen de la hora local y de la localización geográfica del lugar. Con respecto a la ecuación del tiempo, los valores para cada mes se sacan de la Tabla 3.1, en la cual aparece referenciada para los días número 21 de cada mes del año. Aun cuando se considera los datos del mes entero para la temperatura de diseño, se considera el día 21 de cada mes como el día representativo en cuanto a geometría solar se refiere.

Para realizar ambos perfiles de condiciones climáticas del lugar, se recurre a rutinas del programa Matlab versión R2008a.

4.2. Definición de proyecto de climatización y sus cargas

En cuanto al proyecto de climatización, se elige arbitrariamente un galpón con una oficina en su interior. Se asume que las superficies del recinto están cubiertas de materialidades metálicas y que la construcción en general es de materialidad liviana. En cuanto a su geometría, se asume que la planta del galpón tiene forma rectangular y que el techo es plano. Las dimensiones del galpón y de su oficina interior, se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 4.1: Dimensiones del galpón en el cual se realiza el proyecto.

Ancho [m]	30
Largo [m]	15
Alto [m]	5
Superficie Oficina [m ²]	20

Fuente: Elaboración propia.

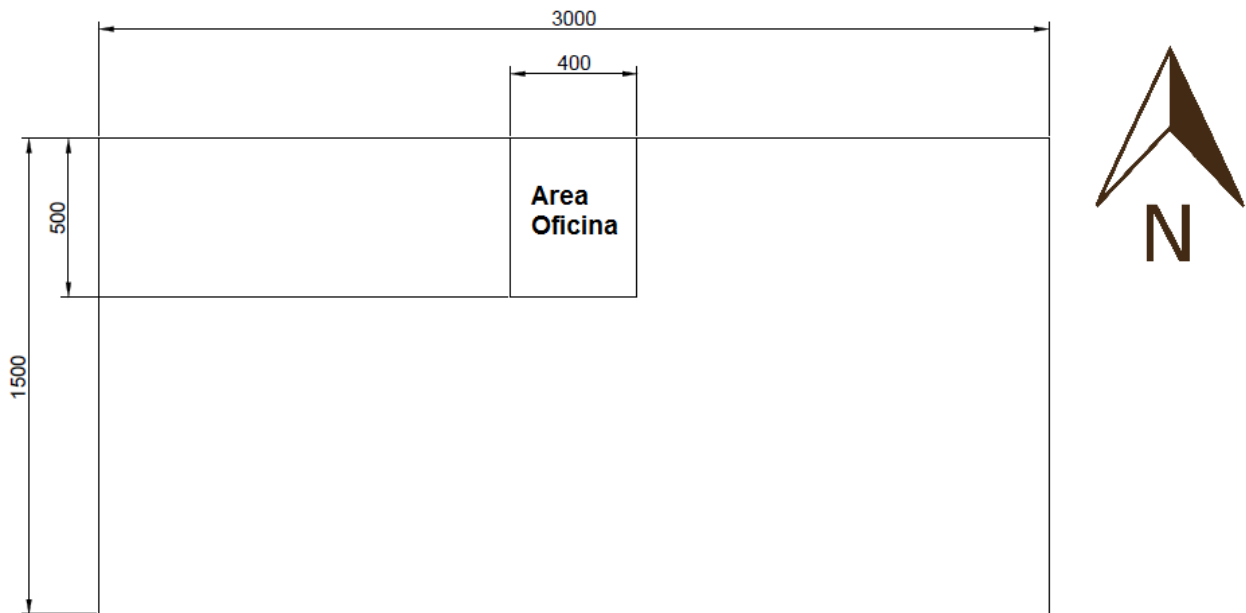


Figura 4.1: Esquema del galpón a estudiar, con sus dimensiones y orientación espacial.

Fuente: Elaboración propia.

Antes de empezar a calcular las diferentes componentes de la carga de enfriamiento del galpón, se calculan los diferentes ángulos que determinan la geometría entre las diferentes superficies y el sol. Para aquello, se ocupan las ecuaciones (3.1), (3.3), (3.4), (3.5) y (3.6), las cuales se muestran a continuación.

$$AST = LST + \frac{ET}{60} + \frac{LON - LSM}{15}$$

$$H = 15(AST - 12)$$

$$\text{sen}(\beta) = \cos(L) * \cos(\delta) * \cos(H) + \text{sen}(L) * \text{sen}(\delta)$$

$$\text{sen}(\Phi) = \frac{\text{sen}(H) * \cos(\delta)}{\cos(\beta)}$$

$$\cos(\Phi) = \frac{\cos(H) * \cos(\delta) * \text{sen}(L) - \text{sen}(\delta) * \cos(L)}{\cos(\beta)}$$

Dónde:

AST : Hora solar aparente, [hora].

LST : Hora local, [hora].

ET : Ecuación del tiempo, [min].

LON : Longitud del sitio, [°].

LSM : Longitud del meridiano de hora estándar del lugar, [°].

H : Ángulo horario, [°].

β : Ángulo de altitud solar, [°].

L : Latitud del lugar, [°].

δ : Ángulo de declinación solar, [°].

Φ : Ángulo de azimut solar, [°].

δ : Ángulo de declinación solar, [°].

Vale señalar que el valor de ecuación del tiempo, se encuentra en la Tabla 3.1 para los días 21 de cada mes, los cuales en este trabajo son los días representativos del mes.

En cuanto a los azimut de superficie, se asume que uno de los lados largos del galpón da hacia el norte, mientras que el otro lado largo da hacia el sur. Los lados cortos dan hacia el este y el oeste. Los valores de azimut de superficie, según su orientación espacial, se encuentran en la Tabla 3.2.

Como ya se tienen calculados los valores de azimut de superficie y azimut solar, se puede determinar el ángulo de azimut superficie-solar, según la ecuación (3.7), la cual se muestra a continuación.

$$\gamma = \Phi - \psi$$

Dónde:

γ : Ángulo de azimut superficie-solar, [°].

Φ : Ángulo de azimut solar, [°].

ψ : Ángulo de azimut de superficie, [°].

Se debe tener en cuenta que si γ tiene un valor mayor a 90° o menor a -90° , significa que la superficie no está expuesta al sol, por lo cual se considera que no hay ganancia térmica debido a radiación solar en esa superficie.

Luego se procede a calcular el ángulo de incidencia solar, según la ecuación (3.8), la cual se presenta a continuación.

$$\cos(\theta) = \cos(\beta) * \cos(\gamma) * \text{sen}(\Sigma) + \text{sen}(\beta) * \cos(\Sigma)$$

Dónde:

θ : Ángulo de incidencia solar, [°].

β : Ángulo de altitud solar, [°].

γ : Ángulo de azimut superficie-solar, [°].

Σ : Ángulo de inclinación de la superficie, [°].

Antes de calcular la radiación sobre cada una de las superficies, se asume que la radiación global horizontal, se puede descomponer según sea directa o difusa. Con respecto a esta descomposición, se ocupan los promedios anuales de radiación global horizontal y de radiación difusa horizontal, según el mapa sacado desde la fuente [9].

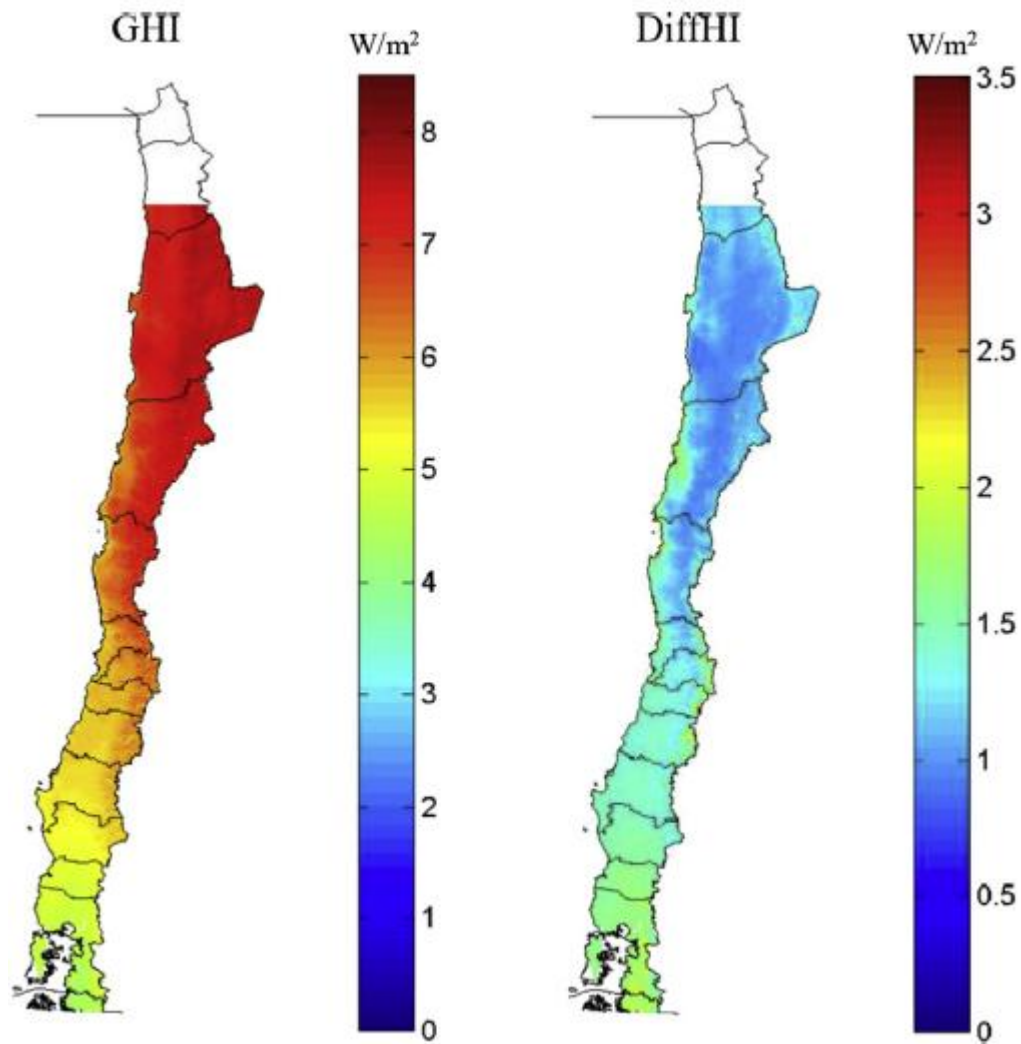


Figura 4.2: Promedio anual de radiación global horizontal (Izq.) y promedio anual de radiación difusa horizontal (Der.).
Fuente: [9].

Como se tiene el valor de la radiación global horizontal, cuando se analiza la superficie del techo, se tiene de manera directa el valor de la radiación sobre él. Para las otras superficies, se tiene que calcular la radiación, según la ecuación (3.9), la que se muestra a continuación.

$$E_t = E_{t,b} + E_{t,d} + E_{t,r}$$

Dónde:

E_t : Radiación total incidente en la superficie, [W/m²].

$E_{t,b}$: Radiación directa sobre la superficie, [W/m²].

$E_{t,d}$: Radiación difusa sobre la superficie, [W/m²].

$E_{t,r}$: Radiación reflejada en el suelo sobre la superficie, [W/m²].

Para calcular la radiación directa se ocupa la ecuación (3.10).

$$E_{t,b} = E_b * \cos(\theta)$$

Donde:

$E_{t,b}$: Radiación directa sobre la superficie, [W/m²].

E_b : Radiación directa normal [W/m²].

θ : Ángulo de incidencia solar, [°].

De esta manera, con la ecuación anterior, se puede calcular la radiación directa normal, teniendo en cuenta que la radiación directa horizontal, se determina sobre una superficie horizontal, con lo cual se puede determinar su ángulo de incidencia solar. Con el valor de la radiación directa normal calculada, es posible determinar la radiación directa sobre cada una de las superficies verticales.

Por otro lado, para determinar la radiación difusa en superficies verticales, se ocupa la ecuación (3.11).

$$E_{t,d} = E_d * Y$$

Donde:

$E_{t,d}$: Radiación difusa sobre la superficie, [W/m²].

E_d : Radiación difusa horizontal, [W/m²].

Y : $\max(0,45; 0,55+0,437\cos(\theta)+0,313\cos(\theta)^2)$

Para ocupar el valor de la radiación difusa horizontal, se ocupa la descomposición de la radiación global horizontal.

Por último, para determinar la radiación reflejada en el suelo, se ocupa la ecuación (3.12).

$$E_{t,r} = (E_b * \sin(\beta) + E_d) * \rho_g * \frac{1 - \cos(\Sigma)}{2}$$

Dónde:

$E_{t,r}$: Radiación reflejada en el suelo sobre la superficie, [W/m²].

E_b : Radiación directa normal sobre la superficie, [W/m²].

β : Ángulo de altitud solar, [°].

E_d : Radiación difusa horizontal, [W/m²].

ρ_g : Reflectividad del suelo.

Σ : Ángulo de inclinación de la superficie, [°].

En dicha ecuación, se asume que el valor de ρ_g es de 0,2 según lo recomendado según la fuente [2].

Como ya se tiene el valor de la radiación sobre cada una de las superficies, se procede a calcular la temperatura sol-aire, según la ecuación (3.16).

$$t_e = t_o + \frac{\alpha * E_t}{h_o} - \frac{\varepsilon * \Delta R}{h_o}$$

Dónde:

E_t : Radiación total incidente en la superficie, [W/m²].

t_o : Temperatura ambiental de diseño [°C].

Para los demás parámetros, se considera que superficies horizontales que reciben radiación desde el cielo, un valor apropiado de corrección de la temperatura es de -4°C para el segundo término, mientras que las superficies verticales, las cuales reciben radiación tanto desde el cielo como de los alrededores, es común asumir que $\varepsilon * \Delta R = 0$. Este último supuesto funciona de buena manera si la radiación solar es alta.

En el caso de superficies pintadas de color claro, un valor apropiado a ocupar para la relación α/h_o es de 0.026. Para el caso de superficies de color oscuro, el valor sugerido es de 0.052. En el caso del galpón a considerar en el proyecto, se asume que es de color oscuro.

Como se tiene un perfil de radiación a medida que transcurre el día, para cada uno de los meses, se puede generar también un perfil de la temperatura aire-sol a lo largo del día. Con dicho perfil, se puede calcular el calor entrante por conducción en el galpón, de acuerdo a la ecuación (3.17).

$$q_{i,\theta-n} = UA(t_{e,\theta-n} - t_{rc})$$

Dónde:

$q_{i,\theta-n}$: Calor entrante en la superficie hace n horas, [W].

U : Coeficiente global de transferencia para la superficie, [W/m² K].

A : Área de la superficie, [m²].

$t_{e,\theta-n}$: Temperatura sol-aire hace n horas, [°C].

t_{rc} : Temperatura de la sala, [°C].

Se busca que la temperatura de la sala sea de 21,5 °C.

Según la fuente [2], para una construcción de materialidad liviana se recomienda un valor de U de $0,42 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$. Ya calculado el calor entrante, se determina la ganancia térmica por conducción, según la ecuación (3.18).

$$q_{\theta} = c_0 q_{i,\theta} + c_1 q_{i,\theta-1} + c_2 q_{i,\theta-2} + \dots + c_{23} q_{i,\theta-23}$$

Donde:

q_{θ} : Ganancia térmica horaria por conducción en la superficie, [W].

$q_{i,\theta}$: Calor entrante en la superficie en la hora actual, [W].

$q_{i,\theta-n}$: Calor entrante en la superficie hace n horas, [W].

c_0, c_1 , etc.: Factores de serie de conducción.

Los factores de serie de conducción recomendados por la fuente [2], para una construcción con materialidad liviana, se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 4.2: Coeficientes de serie de conducción utilizada.

i	Coeficiente
0	0,19
1	0,58
2	0,18
3	0,40
4	0,10
5 a 23	0,00

Fuente: [2].

Con respecto a las ganancias por espacio interiores, no se existen en este caso, puesto que todo el interior está climatizado a la misma temperatura. Por otro lado, se desprecia la transferencia de calor entre el suelo y el espacio.

Para el caso de la carga por iluminación, se ocupan valores referenciales según la fuente [2]. Dichos valores referenciales se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 4.3: Valores de referencia para carga por iluminación.

Lugar	Valor de referencia [W/m²].
Galpón	12,92
Oficina	11,84

Fuente: Adaptada de [2].

En cuanto a la carga debido a las personas en cada espacio, se ocupan valores referenciales de acuerdo a las actividades típicas que se realizan en cada lugar. Dichas cargas solo consideran la ganancia sensible. En la tabla a continuación se muestran las cargas referenciales usadas y las personas que se consideran en cada espacio.

Tabla 4.4: Valores de referencia para carga por ocupación de los espacios.

Lugar	Valor de referencia [W/m ²].	N° Personas
Galpón	170	12
Oficina	70	3

Fuente: Adaptada de [2].

Con respecto a la ganancia térmica generada por los artefactos eléctricos de la oficina, se ocupa un valor referencial para una oficina pequeña, según lo que aparece en la fuente [2], el cual es de 5,4 [W/m²].

Para las tres últimas ganancias consideradas, es decir por iluminación, ocupación y artefactos eléctricos, se asume que sólo ocurren entre las 8:00 y las 20:00 horas, lo cual corresponde al horario de trabajo de las personas que ocupan el galpón.

El siguiente paso, es separar las componentes radiativas y convectivas de cada una de las ganancias térmicas. Los porcentajes de referencia para cada una de ellas, se toman de la fuente [2], y se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 4.5: Fracciones radiativas y convectivas para cada una de las ganancias térmicas.

Ganancia térmica	Fracción radiativa	Fracción convectiva
Conducción a través del techo	60%	40%
Conducción a través de las paredes	46%	54%
Aparatos eléctricos	10%	90%
Personas en la oficina	58%	42%
Personas en el galpón	54%	46%
Iluminación del galpón	75%	25%
Iluminación de la oficina	70%	30%

Fuente: Adaptada de [2].

Las fracción convectiva de cada una de las ganancias, se suman todas y se calcula así la porción convectiva de la carga de enfriamiento. Por el lado de las ganancias radiativas, se separan según el origen de la radiación. Si ésta es de origen solar, como en el caso de las ganancias por conducción a través de techo y paredes, se suman todas y se calcula la ganancia térmica radiativa solar; en el caso de las ganancias térmicas por aparatos eléctricos, por iluminación y uso de los espacios por parte de las personas, se suman y se obtiene la ganancia radiativa no solar.

Calculadas ya las ganancias térmicas radiativas, se puede calcular la parte radiativa de la carga de enfriamiento, según la ecuación (3.20).

$$Q_{r,\theta} = r_0 q_{r,\theta} + r_1 q_{r,\theta-1} + r_2 q_{r,\theta-2} + \dots + r_{23} q_{r,\theta-23}$$

Dónde:

$Q_{r,\theta}$: Porción radiante de la carga de enfriamiento para la hora actual θ , [W].

$q_{r,\theta}$: Ganancia térmica radiante para la hora actual, [W].

$q_{r,\theta-n}$: Ganancia térmica radiante hace n horas, [W].

$r_0, r_1, etc.$: Factores de serie de tiempo radiante.

Los factores de serie de tiempo radiantes, para la ganancia radiativa solar y no solar, son obtenidos de la fuente [2]. Para ambas ganancias se considera que el galpón está construido con materialidades ligeras. Los factores se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 4.6: Coeficientes utilizadas para calcular la porción radiativa de la carga de enfriamiento.

Ganancia Solar				Ganancia No Solar			
i	Coeficiente	i	Coeficiente	i	Coeficiente	i	Coeficiente
0	0,53	12	0,01	0	0,46	12	0,10
1	0,17	13	0,01	1	0,19	13	0,10
2	0,09	14	0,01	2	0,11	14	0,10
3	0,05	15	0,01	3	0,06	15	0,00
4	0,03	16	0,00	4	0,04	16	0,00
5	0,02	17	0,00	5	0,03	17	0,00
6	0,02	18	0,00	6	0,02	18	0,00
7	0,01	19	0,00	7	0,02	19	0,00
8	0,01	20	0,00	8	0,10	20	0,00
9	0,01	21	0,00	9	0,10	21	0,00
10	0,01	22	0,00	10	0,10	22	0,00
11	0,01	23	0,00	11	0,10	23	0,00

Fuente: Adaptada de [2].

Para obtener la carga de enfriamiento, se debe sumar la porción convectiva y radiativa. Así, la carga de diseño es la mayor de las cargas de enfriamiento considerando todos los meses del año.

Todos los cálculos que se deben realizar para determinar la carga de enfriamiento se realizan en el programa computacional Matlab versión R2008a, a través de diferentes rutinas de cálculo las cuales se encuentra en el Anexo G: Rutinas de Matlab, para cálculos de carga de enfriamiento del galpón.

4.3. Definición del ciclo de refrigeración y sus puntos de operación.

Para estudiar de mejor manera los ciclos de refrigeración por absorción, se realiza una comparación entre un ciclo amoniaco-agua y uno agua-bromuro de litio, además, cada ciclo por absorción se comparará con un ciclo equivalente por compresión de vapor.

Para ambos ciclos se asume que a la salida del condensador y la salida del evaporador existe líquido saturado. En el ciclo agua-bromuro de litio, las propiedades del agua se sacan de una tabla, la cual se encuentra en el Anexo A: Propiedades termodinámicas agua saturada (líquido-vapor)

Por el lado del ciclo amoniaco-agua, se ocupa la ecuación (3.41), la cual relaciona temperatura de saturación con presión de saturación, y se presenta a continuación.

$$P(T) = 10^3 * \sum_{i=0}^6 a_i (T - 273,15)^i$$

Dónde:

T : Temperatura del amoniaco, [K].

Los factores a_i se obtienen de la Tabla 3.7.

Ahora, basta con definir las temperaturas a la salida del condensador y evaporador. En cuanto al condensador, en primer lugar se determina una temperatura ambiente de diseño, tal cual como se hizo en la sección anterior, sin embargo en este punto se determina de manera anual y no mes a mes como se hizo anteriormente. Dicho esto, se considera la temperatura ambiente de diseño como aquella que es superada por el 1% de los datos. Así, la temperatura a la salida del condensador se toma como la temperatura de ambiente de diseño más 7 °C. Con respecto al evaporador, como se considera que la temperatura que se quiere obtener en el galpón es de 21,5 °C, se considera que la temperatura a la salida del evaporador es 7°C menor que la temperatura que se quiere lograr en el espacio, con lo cual ésta tiene un valor de 14,5 °C.

De ahora en adelante, los puntos de operación se enumeran de acuerdo a la Figura 3.5

Falta determinar la entalpía del amoniaco, en el ciclo amoniaco-agua, para hacerlo se ocupa la ecuación (3.42)

$$h_l(T) = \sum_{i=0}^6 b_i (T - 273,15)^i$$

Dónde:

T : Temperatura del amoniaco, [K].

Los factores b_i se obtienen de la Tabla 3.7.

Como el paso del punto termodinámico número 2 al número 3, se hace a través de una válvula de expansión, la cual se asume isoentrópica, se tiene que las entalpías de ambos puntos son iguales. Por el lado de la temperatura y presión, se tiene que ambas propiedades en el punto 3 tienen un valor igual a las del punto 4, las cuales ya están definidas.

En cuanto al punto 5, se asume que es líquido saturado a la misma presión del evaporador. Ahora, se tiene que aparecen soluciones binarias en ambos ciclos, con lo

cual se debe definir las fracciones másicas de ambas, para dejar bien definida la mezcla. Para ambos ciclos se considera una mezcla con 55% en fracción másica de refrigerante en la salida del absorbedor, mientras a la entrada de éste se considerará una mezcla de 45% en fracción másica de refrigerante.

Con respecto a la solución agua-bromuro de litio, la temperatura y entalpía, se determinan mediante las ecuaciones (3.37) y (3.39)

$$T = \sum_{i=0}^3 B_i x^i + T' \sum_{i=0}^3 A_i x^i$$

$$h(x, T) = \sum_{i=0}^4 A_i X^i + t \sum_{i=0}^4 B_i X^i + t^2 \sum_{i=0}^4 A_i C^i$$

Dónde:

T' : Temperatura del amoniaco, [K].

T : Temperatura de la solución amoniaco, [K].

X : Fracción másica de la solución, [K].

Los coeficientes utilizados en las ecuaciones se encuentran en la Tabla 3.4 y Tabla 3.6 respectivamente.

Para la solución amoniaco-agua, se obtiene el valor de su temperatura y de su entalpía, ocupando las ecuaciones (3.44), (3.45) y (3.46).

$$\bar{X} = \frac{18,015X}{18,015X + 17,03(1 - X)}$$

$$\log_{10}(P) = A - \frac{B}{T}$$

$$h_l(T, \bar{X}) = 100 \sum_{i=1}^{16} a_i \left(\frac{T}{273,16} - 1 \right)^{m_i} * \bar{X}^{n_i}$$

Los diferentes coeficientes utilizados en la ecuación anterior están en la Tabla 3.8

Para sacar las propiedades del punto 6, se ocupa que la presión de dicho punto es la presión alta del ciclo termodinámico, es decir, la presión del condensador. Con respecto a su entalpía, se ocupa la ecuación (3.36).

$$h_6 \approx h_5 + (P_6 - P_5)v_5$$

Sin embargo, en dicha ecuación se requiere el valor del volumen específico o bien de la densidad del fluido.

Para la solución agua-bromuro de litio, se ocupa la ecuación (3.38) para determinar el valor de la densidad.

$$\rho(x, T) = \sum_{k=1}^5 x^{k-1} [G_{0,k} + T(G_{1,k} + TG_{2,k})]$$

Dónde:

x : Fracción másica de bromuro de litio en la solución, [%].

T : Temperatura de la solución, [°C].

$G_{i,k}$: Coeficientes propios de la ecuación.

Los coeficientes ocupados en la ecuación, se encuentran en la Tabla 3.5

Por el lado de la solución amoniaco-agua, se determina el valor del volumen específico a través de la ecuación (3.47).

$$v(T, X) = \sum_{j=0}^3 \sum_{i=0}^3 a_{ij} (T - 273,15)^i X^j$$

Los factores utilizados en la ecuación, están presentes en la Tabla 3.9.

Debido a las propiedades de las soluciones de ambos ciclos, el líquido en el punto 6 puede quedar en estado de líquido sub-enfriado. Para este estado se ocupa la ecuación (3.40), la que se muestra a continuación.

$$h(T, P) \approx h_f(T) + v_f(P - P_{sat}(T))$$

Dónde:

h : Entalpía de la mezcla sub-enfriada, [KJ/Kg].

T : Temperatura de la mezcla sub-enfriada, [°C].

P : Presión de la mezcla sub-enfriada, [°C].

P_{sat} : Presión de saturación para la temperatura T, [KPa].

h_f : Entalpía de líquido saturado para la temperatura T, [KJ/Kg].

v_f : Volumen específico de líquido saturado para la temperatura T, [KJ/Kg]

Sin embargo para esta situación y por las dos aproximaciones usadas anteriormente, se tiene que la temperatura 6 es aproximadamente la del punto 5, por lo cual para términos prácticos son iguales.

Con respecto al punto 8, se asume que es líquido saturado a una presión igual a la presión del condensador. La temperatura y la entalpía del punto 8, se determinan de manera análoga a como se hizo con el punto 5.

Para determinar la temperatura del punto 9, se ocupa la ecuación (3.34).

$$T_9 = Ex * T_6 + (1 - Ex) * T_8$$

Dónde:

T : Temperatura de la mezcla, [°C].

m : Flujo másico, [Kg/s].

h : Entalpía de la mezcla, [KJ/Kg].

Ex : Eficiencia el intercambiador.

En este caso, se asume una eficiencia de intercambiador de calor, de 70%.

Como en el intercambiador la temperatura baja y el punto 8 representa a un líquido saturado, se tiene que el punto termodinámico 9 tiene líquido sub-enfriado, por lo tanto para calcular su entalpía, se ocupa nuevamente la ecuación (3.40), tal como se hace para determinar las propiedades del punto 6.

Con respecto al punto 10, como el paso del punto 9 a él se hace a través de una válvula de expansión, la cual es isoentálpica, se tiene que su entalpía es igual a la del punto 9. En cuanto a su presión, ésta equivalente a la presión del evaporador. Para determinar su temperatura, se compara la entalpía del punto 10 con la entalpía de líquido saturado para su presión, si es menor se está en presencia de un líquido sub-enfriado y para determinar su temperatura se haría necesario iterar la ecuación (3.40) para diferentes valores de temperatura, hasta encontrarla.

Para el punto 7 se ocupa la ecuación (3.35), que se muestra a continuación.

$$h_7 = h_6 + \frac{m_8}{m_6} (h_8 - h_9)$$

La presión del punto 7, es la misma presión que la del condensador. Con respecto a su temperatura, podría tratarse de un líquido sub-enfriado y su temperatura de calcula de manera análoga a lo realizado con el punto 10.

Por último, para determinar la temperatura el punto 1, se asume que está a la misma temperatura que el punto 8, ya que ambos son flujos salientes del mismo equipo. Si se trata de un líquido sobre-calentado el valor de su entalpía se saca de diferentes tablas, según sea el caso particular que se está estudiando. Las propiedades

de agua sobre-calentada se encuentran en Anexo B: Propiedades termodinámicas agua sobre-calentada., mientras que las de amoniaco sobre-calentado se encuentran en Anexo C: Propiedades termodinámicas amoniaco saturado (líquido-vapor). Para determinar los diferentes flujos de fluidos, se asume que la carga de enfriamiento del sistema de climatización es igual al flujo de calor en evaporador. Con esto, se utiliza la ecuación (3.31) para determinar el flujo en el punto 1. Dicha ecuación se muestra a continuación.

$$Q_e = m_1(h_4 - h_3)$$

Por otro lado, como ya se fijaron las fracciones másicas de las soluciones de los ciclos de absorción, se usan las ecuaciones (3.23) y (3.24) para determinar los flujos en los puntos 7 y 8. Dichas ecuaciones se muestran a continuación.

$$m_8 = \frac{1 - X_7}{X_7 - X_8} m_1$$

$$m_7 = \frac{1 - X_8}{X_7 - X_8} m_1$$

Los flujos de los demás puntos se determinan mediante las ecuaciones, (3.25), (3.26) y (3.27) las cuales se presentan a continuación.

$$m_1 = m_2 = m_3 = m_4$$

$$m_5 = m_6 = m_7$$

$$m_8 = m_9 = m_{10}$$

Finalmente, para determinar los diferentes flujos de calor en cada uno de los equipos, además de la potencia específica de la bomba, se ocupan las ecuaciones (3.28), (3.29), (3.30) y (3.33), las que se muestran a continuación.

$$Q_g = m_1 h_1 + m_8 h_8 - m_7 h_7$$

$$Q_a = m_4 h_4 + m_{10} h_{10} - m_5 h_5$$

$$Q_c = m_1(h_1 - h_2)$$

$$W_p \approx (P_6 - P_5)v_5$$

Donde:

Q_g : Calor en el generador, [W].

Q_a : Calor en el absorbedor, [W].

Q_c : Calor en el condensador, [W].

Q_e : Calor en el evaporador, [W].

m : Flujo másico, [Kg/s].

W_p : Potencia específico de la bomba, [KJ/Kg].

Los cálculos que se deben realizar para determinar el ciclo termodinámico por absorción se realizan en el programa computacional Matlab versión R2008a, a través de diferentes rutinas de cálculo las cuales se encuentra en el Anexo H: Rutinas de Matlab, para cálculos de ciclos termodinámicos.

4.4. Definición colectores solares a utilizar.

Como ya se tiene el ciclo termodinámico determinado, se ocupan los puntos de operación calculados, y se ocupa el perfil de carga de enfriamiento del galpón por hora y mes, con lo cual se puede realizar un perfil de los distintos flujos de fluido del ciclo termodinámico así como los diferentes flujos de calor en cada uno de los equipos. Por otro lado se ocupan rutinas de cálculo de la sección anterior, para obtener el perfil de radiación y temperatura ambiente de la zona.

Luego, se ocupa la ecuación (3.48), la cual se muestra a continuación

$$\eta_c = \eta_o - a_1 * \frac{(T_m - T_a)}{G} - a_2 * \frac{(T_m - T_a)^2}{G}$$

Donde:

η_c : Rendimiento del colector, [-]

η_o : Rendimiento óptico del colector, [-].

a_1 : Coeficiente de perdida de calor de primer orden, [W/ K m²].

a_2 : Coeficiente de perdida de calor de segundo orden, [W/ K² m²].

G : Irradiancia total en la superficie del colector, [W/ m²].

T_m : Temperatura del fluido en el colector, [°C].

T_a : Temperatura ambiente del aire, [°C].

Los parámetros del colector solar, se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 4.7: Parámetros del colector solar.

Parámetros colector solar	
Área del colector, [m ²].	3,07
Rendimiento óptico del colector, [-].	0,804
Coeficiente de perdida de calor de primer orden, [W/ K m ²].	1,33

Coeficiente de pérdida de calor de segundo orden, [W/ K ² m ²].	0,0067
--	--------

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la temperatura y a la irradiancia sobre el colector, se ocupan los perfiles utilizados anteriormente, además de una rutina de cálculo de la sección anterior, que sirve para determinar la radiación sobre una superficie. Se asume también, que la temperatura del fluido es de 78°C. De esta manera, se logra calcular un perfil del rendimiento del colector.

Con el perfil de rendimiento del colector solar, se puede determinar la radiación que es capaz de transmitirle al fluido, mediante la ecuación (3.49), la cual se muestra a continuación.

$$Q_f = \eta_c * G * A$$

Dónde:

Q_f : Flujo de calor que se transmite al fluido, [W]

η_c : Rendimiento del colector, [-]

G : Irradiancia total en la superficie del colector, [W/ m²].

A : Área del colector, [m²].

Como se tiene tanto los perfiles del flujo de calor requerido en el generador, como el de flujo de calor que le llega al generador por cada colector, para cada mes se puede determinar la energía total en ambos casos, para lo cual se utiliza el método de los trapecios para la integración de los datos de flujo de calor de los diferentes meses. Así, para cada mes, se puede determinar el número de colectores requeridos para satisfacer los requerimientos energéticos del generador. Luego, el número de colectores requerido por el proyecto, es el mayor de los números de colectores requeridos a lo largo del año.

Con respecto al sistema de acumulación, este existe en caso de que existan periodos de tiempo durante el día en los cuales la energía acumulada requerida por el generador sea mayor a la proporcionada por los colectores. Para determinar dicha situación se ocupa el perfil de la energía requerida por el acumulador y la proporcionada por los colectores, y se calcula la energía acumulada en intervalos de una hora. Luego se determina el déficit de las diferentes ventanas de tiempo. El acumulador se dimensiona para la peor de las situaciones, es decir para el mayor déficit de energía requerida por el acumulador. Se ocupa la ecuación (3.50), la cual se muestra a continuación.

$$E_{ac} = (h_1 - h_2) * m$$

Dónde:

E_{ac} : Déficit máximo acumulado en el acumulador, [KJ]

h_1 : Entalpía fluido que sale desde el acumulador hacia el generador, [KJ/Kg]

h_2 : Entalpía fluido que se devuelve desde el generador hacia el acumulador, [KJ/Kg]

Se ocupa el valor de energía diaria del mes con mayor consumo de energía,; para determinar las entalpias se asume que el fluido es agua a 400 KPa y que su temperatura cuando entra al generador es de 75°C y sale a 71,8°C. Para determinar los valores de entalpía y volumen específico se ocupan las ecuaciones (3.40) y (3.41), las cuales se muestran a continuación.

$$h(T, P) \approx h_f(T) + v_f(P - P_{sat}(T))$$

$$v(T, P) \approx v_f(T)$$

Dónde:

v : Volumen específico del líquido sub-enfriado, [m³/Kg].

T : Temperatura de la mezcla sub-enfriada, [°C].

P : Presión de la mezcla sub-enfriada, [°C].

v_f : Volumen específico de líquido saturado para la temperatura T, [m³/Kg].

h : Entalpía de la mezcla sub-enfriada, [KJ/Kg].

P_{sat} : Presión de saturación para la temperatura T, [KPa].

h_f : Entalpía de líquido saturado para la temperatura T, [KJ/Kg].

v_f : Volumen específico de líquido saturado para la temperatura T, [KJ/Kg]

Con el volumen específico, se puede determinar el volumen que deben tener los estanques de agua utilizados para acumulación de energía térmica.

Todos los cálculos que se deben realizar para determinar los perfiles mensuales de energía requerida en el generador y absorbida por el colector solar se realizan en el programa computacional Matlab versión R2008a, a través de diferentes rutinas de cálculo las cuales se encuentra en el Anexo I: Rutinas de Matlab, para cálculos de colectores solares.

4.5. Evaluación económica del proyecto.

Para evaluar económicamente el proyecto de climatización, se hace un flujo de caja considerando como inversión los equipos adicionales que requiere la climatización por absorción y descontando el valor de los equipos que se dejan de utilizar con respecto a un sistema de refrigeración por compresión de vapor. También se considera

el ahorro anual de energía eléctrica, para estimar este ahorro se ocupa el ciclo termodinámico calculado anteriormente y se consideran los puntos de operación, como se tiene la carga de enfriamiento para cada uno de los meses a lo largo del día, se utiliza esta información para crear un perfil de la potencia requerida por la bomba, con dicho perfil listo, se procede a calcular la energía utilizada por la bomba a lo largo del día en cada mes, utilizando el método del trapecio para efectuar la integración.

Luego, se determina un ciclo termodinámico por compresión de vapor con un refrigerante convencional, el cual en este caso corresponde a R134A. Dicho ciclo se calcula considerando que a la salida del condensador existe líquido saturado, mientras que la válvula de expansión que lleva el fluido del evaporador al condensador es isoentálpica. Por otro lado, se asume que la salida del evaporador existe vapor saturado y la bomba que lleva el fluido desde el evaporador al condensador, es isoentrópica. Los niveles de temperatura en la alta y baja presión del ciclo, son los mismos utilizados para el ciclo por absorción. Las propiedades del refrigerante se encuentran en el Anexo E: .

Luego, al igual que para el ciclo por absorción, se realiza un perfil del consumo diario de energía para cada mes.

Con los perfiles de la energía requerida por bomba y compresor, se asume que existe un consumo de energía adicional debido a que tanto la bomba como el compresor, así como el motor eléctrico que los alimenta no son perfectos. Se considera que tanto compresor como bomba tiene un rendimiento de 85% y que el motor eléctrico tiene un rendimiento de 75%.

Para determinar el consumo mensual, se asume que cada mes posee 30 días, en los cuales se utiliza el sistema de climatización, así el consumo mensual de energía se calcula como:

$$\text{Consumo mensual}_i = 30 * \text{Consumo diario}_i$$

Dónde:

Consumo mensual_i : Consumo mensual de la bomba, en el mes i [Kw-h].

Consumo diario_i : Consumo diario de la bomba, en el mes i [Kw-h].

Por otro lado, el consumo anual, se determina como la suma de los consumos anuales de todos los meses del año.

Calculados los consumos de energía en dichas situaciones, se tiene que el ahorro se calcula como:

$$\text{Ahorro} = \text{tarifa}_1 * (\text{consumo anual}_{\text{compresión}} - \text{consumo anual}_{\text{absorción}}) + \text{tarifa}_2 * (\text{Potencia}_{\text{compresión}} - \text{Potencia}_{\text{absorción}})$$

Dónde:

Ahorro : Ahorro anual por utilizar ciclo de absorción, [CLP]

$Tarifa_1$: Precio de la energía eléctrica en la zona del proyecto, [CLP/KW-h]

$consumo\ anual_{compresión}$: Consumo anual de energía del compresor con ciclo de compresión de vapor, [KW-h]

$consumo\ anual_{absorción}$: Consumo anual de energía de la bomba con ciclo de absorción, [KW-h]

$Tarifa_2$: Precio de la potencia suministrada la zona del proyecto, [CLP/KW]

$Potencia_{compresión}$: Potencia de energía eléctrica anual requerida por el compresor con ciclo de compresión de vapor, [KW]

$Potencia_{bomba}$: Potencia de energía eléctrica anual requerida por la bomba con ciclo de absorción [KW]

Las tarifas utilizadas se obtienen de la fuente [11].

Como ya se tiene determinados la inversión inicial y el ahorro anual, se hace el flujo caja con un horizonte de 10 años, para posteriormente determinar el valor presente neto, con una tasa de 12%.

Los cálculos que se deben realizar para determinar los consumos de energía mensuales y anuales en ambos escenarios se realizan en el programa computacional Matlab versión R2008a, a través de diferentes rutinas de cálculo las cuales se encuentra en el Anexo J:.

5. Resultados

5.1. Definición ubicación del proyecto y sus condiciones climáticas.

Si bien en la lista propuesta de ciudades para estudiar el proyecto aparece Arica, esta ciudad es sacada de la lista puesto que no se pueden obtener los datos de radiación y temperatura ambiente utilizando el Explorador de Recurso Solar.

Las coordenadas geográficas a utilizar para obtener los datos de radiación y temperatura ambiente de cada una de las ciudades, se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 5.1: Coordenadas utilizadas para obtener datos de radiación de las localidades.

Ciudad	Latitud	Longitud
Iquique	20,28 S	70,09 O
Tocopilla	22,07 S	70,19 O
Calama	22,44 S	68,89 O
Antofagasta	23,78 S	70,32 O

Fuente: Elaboración propia.

Los datos generales de radiación global horizontal de cada una de las ciudades de interés, extraídos desde la base de datos del explorador solar de recurso solar de Chile, se muestran en la tabla continuación. Se considera el valor promedio de la irradiancia diaria global horizontal para cada mes así como el promedio anual de dicha magnitud.

Tabla 5.2: Irradiancias diarias promedio mensual y anual para las ciudades de interés.

Irradiancia diaria [Kwh/m² día]				
Promedio	Iquique	Tocopilla	Antofagasta	Calama
Enero	8,18	8,23	8,61	9,00
Febrero	7,79	7,78	8,11	8,48
Marzo	7,15	7,01	7,26	7,74
Abril	5,99	5,73	5,99	6,50
Mayo	5,12	4,72	4,88	5,43
Junio	4,62	4,11	4,29	4,86
Julio	4,70	4,12	4,50	5,03
Agosto	5,50	4,73	5,41	5,98
Septiembre	6,64	5,82	6,67	7,22
Octubre	7,62	7,29	7,86	8,38
Noviembre	8,21	8,04	8,58	9,05
Diciembre	8,28	8,40	8,81	9,18
Anual	6,65	6,33	6,75	7,24

Fuente: Elaboración propia.

Es fácil observar que la ciudad que cuenta con los mayores recursos de energía solar es Calama. Sin embargo, se decide seleccionar como ubicación del proyecto, la

ciudad de Antofagasta, puesto que se trata de la segunda ciudad con mayor recurso, con lo cual se tiene que el proyecto se realiza en un lugar con condiciones de recurso solar más cercanas al promedio del Norte Grande, obteniéndose un poco más de representatividad del trabajo; además se trata de una ciudad con puede generar gran interés comercial, lo cual le da un sentido realista al trabajo.

Como ya se tiene la ubicación del proyecto determinada, se puede realizar el perfil mensual de la radiación global horizontal y de temperatura ambiental, según lo descrito en el capítulo anterior. Dichos perfiles, se muestran en las tablas a continuación.

Tabla 5.3: Perfil de radiación promedio a lo largo del día número 21 de cada mes del año.

Perfil diario de radiación promedio [W/m²]												
Hora	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,4
7	164,2	114,0	62,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	58,4	116,2	169,3	186,0
8	397,4	346,6	270,5	175,8	110,9	87,6	99,4	168,3	262,0	341,1	407,2	419,0
9	631,6	588,7	508,7	394,3	305,2	270,5	305,3	384,2	500,8	591,8	641,2	650,1
10	832,7	747,1	716,6	590,2	486,4	445,0	482,1	577,2	660,1	799,1	843,1	848,1
11	974,2	884,3	864,1	731,2	616,7	568,3	609,8	713,5	843,6	943,5	988,4	989,1
12	1068,0	987,0	959,2	819,8	700,6	652,7	698,3	806,8	945,8	1037,7	1078,6	1076,4
13	1082,6	1053,3	973,4	832,1	714,5	666,4	712,1	821,0	959,5	1052,8	1093,5	1091,3
14	1012,1	926,4	902,6	765,2	615,7	602,6	642,9	751,9	883,1	982,8	1028,4	1025,2
15	893,2	798,0	776,5	648,9	535,2	497,1	541,1	635,4	766,2	857,3	906,1	905,1
16	712,5	622,9	590,3	470,5	375,9	338,4	377,4	461,3	580,4	673,0	725,5	727,4
17	486,4	408,8	362,7	267,6	191,2	157,8	195,8	258,8	360,2	444,3	499,0	506,2
18	248,2	188,8	126,0	51,7	17,1	0,0	16,8	48,1	119,1	199,1	256,8	270,0
19	44,2	16,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,0	46,2	61,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.4: Perfil diario de temperatura para cada mes el año

Perfil diario de temperatura ambiente [°C]												
Hora	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	13,2	15,0	14,6	12,6	12,7	10,2	7,0	8,7	8,5	6,7	8,4	9,8
2	12,4	14,3	13,9	11,7	11,8	9,2	6,0	7,7	7,5	6,1	7,8	9,0
3	11,9	13,9	13,4	11,2	11,3	8,6	5,3	7,0	6,8	5,6	7,3	8,5
4	11,5	13,5	13,0	10,8	10,9	8,2	4,8	6,5	6,3	5,1	6,8	8,1
5	11,1	13,2	12,7	10,3	10,4	7,7	4,3	5,9	5,8	4,8	6,5	7,7
6	10,8	13,0	12,4	10,1	10,2	7,4	4,0	5,6	5,5	5,1	6,8	7,4
7	11,1	13,2	12,7	10,3	10,4	7,7	4,3	5,9	5,8	6,2	7,9	7,7
8	12,0	14,0	13,5	11,3	11,4	8,8	5,5	7,1	7,0	8,9	10,6	8,6
9	14,3	16,0	15,5	13,7	13,8	11,4	8,4	10,1	9,8	11,9	13,6	10,9
10	16,8	18,1	17,8	16,4	16,4	14,3	11,6	13,3	13,0	14,6	16,3	13,5
11	19,1	20,1	19,9	18,8	18,8	16,9	14,5	16,3	15,9	17,0	18,7	15,8
12	21,1	21,8	21,7	20,9	20,8	19,2	17,1	18,8	18,4	18,6	20,2	17,9
13	22,5	23,0	22,9	22,3	22,2	20,7	18,8	20,6	20,1	19,8	21,5	19,2
14	23,5	23,9	23,8	23,4	23,3	21,9	20,1	21,9	21,5	20,6	22,3	20,3
15	24,2	24,5	24,4	24,2	24,0	22,7	21,0	22,8	22,3	20,6	22,3	21,0
16	24,2	24,5	24,4	24,2	24,0	22,7	21,0	22,8	22,3	19,7	21,4	21,0
17	23,4	23,8	23,7	23,3	23,2	21,8	20,0	21,8	21,3	18,4	20,1	20,2
18	22,3	22,9	22,7	22,2	22,1	20,6	18,6	20,4	19,9	16,8	18,5	19,1
19	21,0	21,7	21,5	20,8	20,7	19,0	16,9	18,7	18,3	14,5	16,1	17,7
20	19,0	20,0	19,7	18,7	18,6	16,7	14,4	16,1	15,7	12,7	14,4	15,7
21	17,5	18,7	18,4	17,1	17,1	15,1	12,5	14,2	13,9	11,3	13,0	14,2
22	16,3	17,7	17,3	15,8	15,9	13,7	10,9	12,6	12,4	9,9	11,6	13,0
23	15,1	16,6	16,3	14,6	14,6	12,3	9,4	11,1	10,9	8,8	10,4	11,7
24	14,2	15,8	15,4	13,6	13,6	11,2	8,2	9,9	9,7	7,7	9,3	10,8

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al perfil de radiación en la localidad, se observa como los días se acortan en la medida que llega el invierno. También es posible observar como baja la radiación global horizontal en dicha época del año.

En cuanto a la descomposición de la radiación global horizontal, se estima que el 84% corresponde a radiación directa, mientras que el 16% corresponde a radiación difusa. Se asume que esto es cierto durante todo el día, por lo cual los datos de radiación horizontal global proveniente desde el Explorador de Recurso Solar de Chile, se pueden separar según los valores estimados.

Por el lado del perfil de temperatura ambiente, se observa que la mayor temperatura para un mes dado está cercano a las 15 y 16 horas, esto es debido al desfase entre la hora solar aparente y la hora local, ya que el modelo usado para determinar el perfil, asume que las mayores temperaturas ocurren a las 14 y 15 horas. Sin embargo, la estacionalidad de la temperatura no es tan clara de observar, esto puede ser causa por la poca cantidad de datos disponibles para la temperatura

ambiental en el Explorador de recurso solar en Chile. Se intenta ocupar otras fuentes de datos, pero se encuentra el problema de que en su mayoría están referidas a la zona del aeropuerto de la ciudad, la cual tiene mayor nubosidad y vientos, así como menor radiación y temperatura ambiente, con lo cual se decide realizar el perfil con los datos del Explorador de recurso solar en Chile.

5.2. Definición de proyecto de climatización y sus cargas

Con los perfiles de temperatura y radiación ya determinados, se procede al cálculo de las cargas de enfriamiento del espacio, según lo mostrado en el capítulo anterior. Dicho esto, a continuación, se muestra dos tablas; la primera de ellas muestra la carga de enfriamiento máxima para cada mes, mientras que la otra muestra la manera en que contribuyen las diferentes cargas térmicas a la carga de enfriamiento máxima mensual.

Tabla 5.5: Carga de enfriamiento máxima mensual.

Carga de enfriamiento máxima mensual [KW]					
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
22,5	22,1	22,2	20,6	25,6	17,7
Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
17,1	19,3	20,6	20,9	22,0	21,1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.6: Contribución de las diferentes cargas a la carga de enfriamiento máxima

Contribución a la carga de enfriamiento máxima mensual [%]						
Carga	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Radiativa Solar	59,14%	58,93%	58,25%	57,61%	54,29%	57,51%
Convectiva	40,86%	41,07%	41,75%	42,39%	45,71%	42,49%
Carga	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Radiativa Solar	57,64%	57,59%	57,94%	58,95%	59,05%	59,53%
Convectiva	42,36%	42,41%	42,06%	41,05%	40,95%	40,47%

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla Tabla 5.5 se observa que la carga de enfriamiento máxima anual ocurre en el mes de Mayo, y tiene un valor de 25,6 [KW], para fines de dimensionamiento de equipos y cálculo de ciclo termodinámico, se ocupa dicho valor como carga de enfriamiento. El hecho que la carga máxima ocurra en Mayo, no puede ser explicado por el aumento de la radiación solar en los meses de verano, sin embargo también se debe considerar la variación de los diferentes ángulos que forman el sol con las superficies del galpón, a lo largo del año lo cual finalmente influye en que dicho mes presente la máxima carga de enfriamiento.

En la Tabla 5.6, se ve que la carga radiativa para todos los meses presenta la mayor contribución a la carga de enfriamiento máxima mensual. Con lo cual se tiene que la mayoría de la ganancia térmica entrante en el espacio, no se traspasa de manera instantánea a éste, con lo cual el efecto de retardo juega un papel importante.

A continuación, se muestra un gráfico que muestra la ganancia térmica y la carga de enfriamiento a lo largo del día, para el mes de Mayo. Se escoge dicho mes, puesto que presenta la mayor carga de enfriamiento del año.

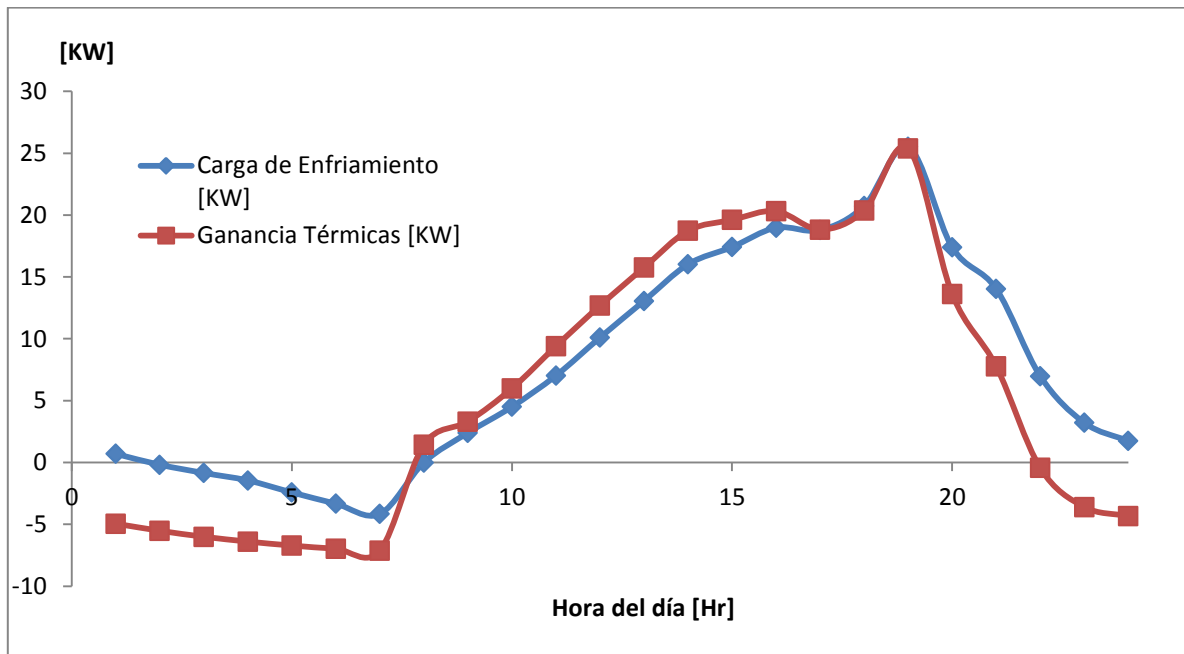


Gráfico 5.1: Ganancia térmica y carga de enfriamiento a lo largo del día para el mes de Mayo.

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que la ganancia térmica tiene un máximo a las 19 horas, lo cual no coincide con el máximo de la temperatura ambiente. Además, se observa que existe un desfase entre la ganancia térmica y la carga de enfriamiento, esto debido a que el desfase ocurre por las ganancias radiativas, las cuales presentan el mayor porcentaje dentro de las ganancias térmicas.

Finalmente, con respecto a la carga de enfriamiento máxima anual del galpón, se hace un análisis de sensibilidad según cambian sus dimensiones, relación de aspecto y orientación de las superficies verticales.

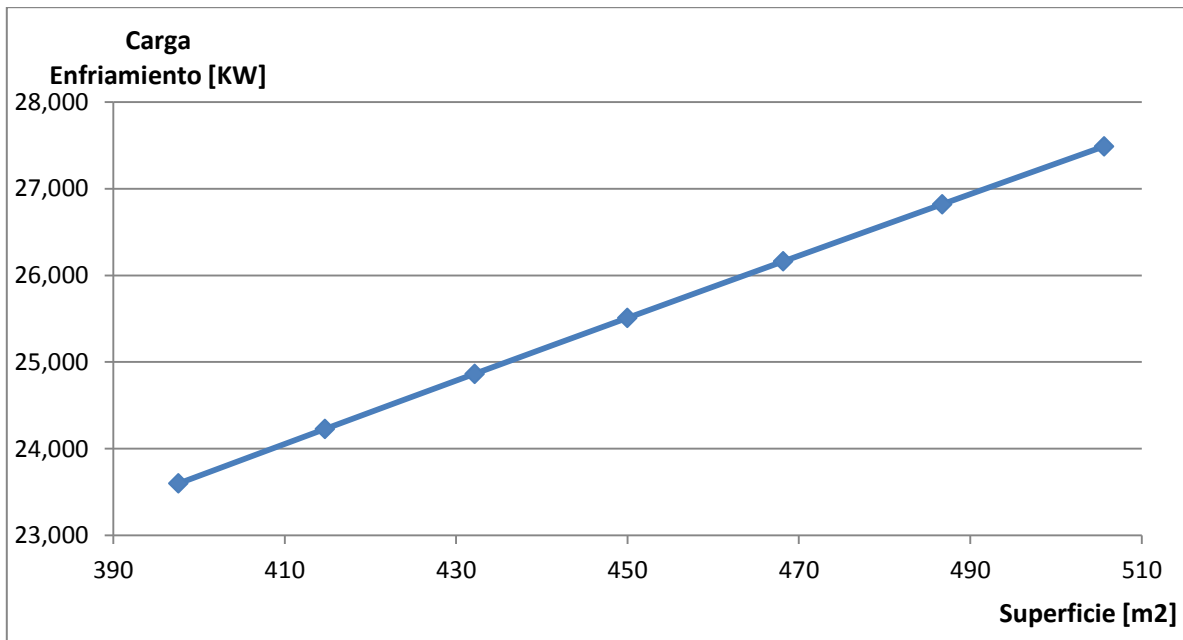


Gráfico 5.2: Análisis de sensibilidad de la carga de enfriamiento según cambia la superficie del galpón.
Fuente: Elaboración Propia

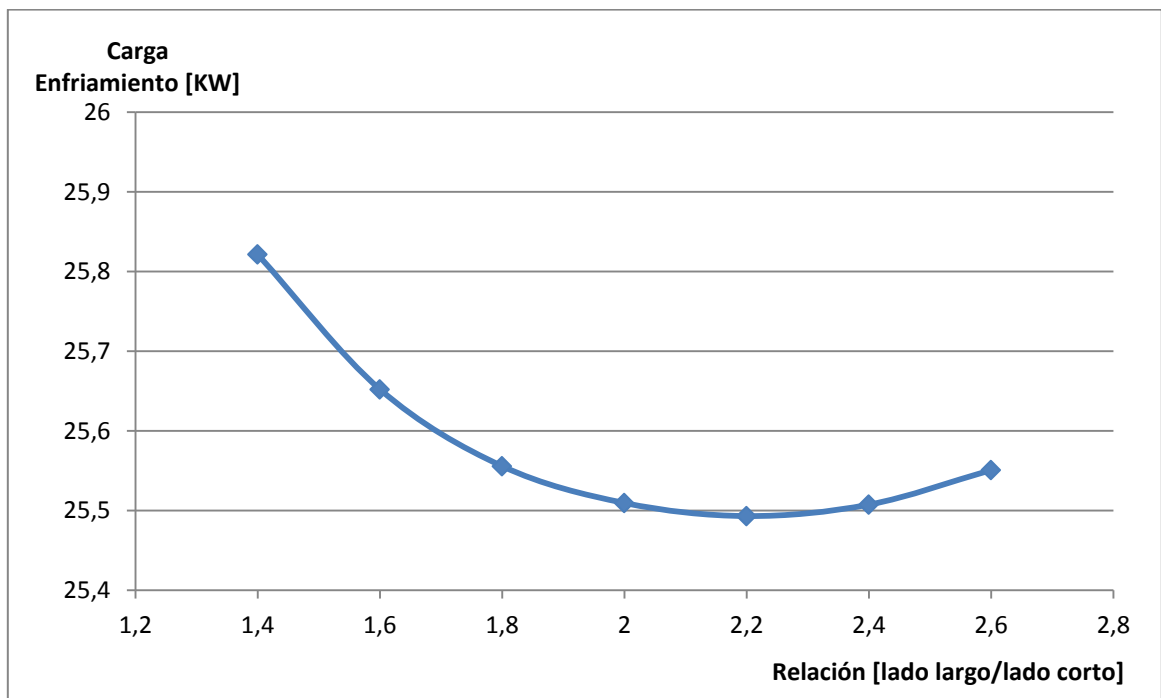


Gráfico 5.3: Análisis de sensibilidad de la carga de enfriamiento según cambia la relación entre el lado largo con el lado corto.
Fuente: Elaboración Propia

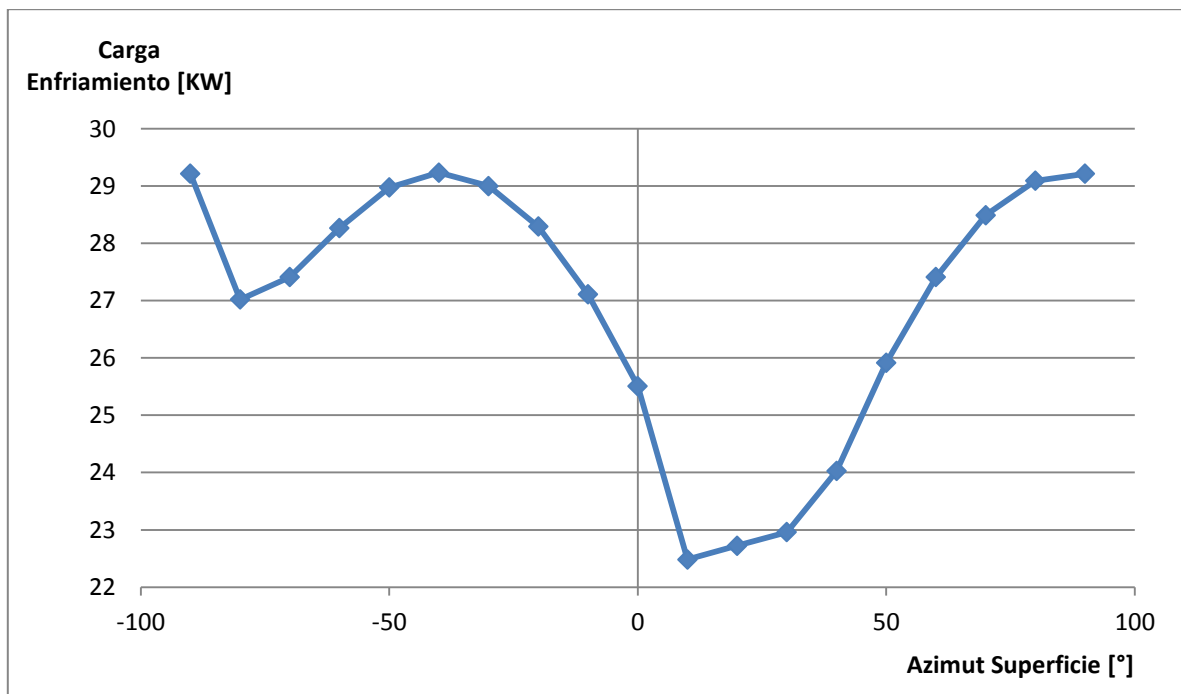


Gráfico 5.4: Análisis de sensibilidad de la carga de enfriamiento según cambia el azimut de la superficie vertical que tiene al lado corto del galpón.

Fuente: Elaboración Propia

En los gráficos anteriores se puede observar que al aumentar la superficie, aumenta también la carga de enfriamiento máxima anual. De hecho, el aumento de la carga de enfriamiento cuando aumenta la superficie del galpón, es prácticamente lineal.

Por el lado de la relación entre lados corto y largo del galpón, se tiene que existe un mínimo de carga de enfriamiento para una relación de 2,2. Al aumentar o disminuir esta relación, la carga de enfriamiento máxima aumenta de manera similar en ambas situaciones. Aun así, la variación en la carga de enfriamiento es pequeña en términos relativos.

Con respecto al análisis cuando varía el azimut de la superficie vertical que tiene un lado largo del galpón, se observa que tiene un mínimo para un azimut de 10° , mientras que el máximo se obtiene para un azimut de -40° . Se observa que la carga de enfriamiento se comporta de oscilante, con diferencias considerables entre el valor mínimo y máximo, las cuales corresponden a valores de 22,5 y 29,2 [KW] respectivamente.

5.3. Definición ciclo termodinámico

A continuación se muestran en tablas, los resultados obtenidos para cada uno de los ciclos termodinámicos estudiados. En ellos, se muestran los puntos de operación, los flujos de calor o potencia requerida en cada uno de los componentes, y los flujos en cada una de las zonas del ciclo.

Tabla 5.7: Puntos de operación para el ciclo agua-bromuro de litio.

Punto	Presión [KPa]	Temp.[°C]	Temp. saturación [°C]	Entalpia [KJ/Kg]
1	3,27	57,97	25,50	2607,80
2	3,27	25,50	25,50	107,00
3	1,65	14,50	14,50	107,00
4	1,65	14,50	14,50	2528,00
5	1,65	29,40	29,40	55,30
6	3,27	29,40	41,36	55,30
7	3,27	41,36	41,36	94,00
8	3,27	57,97	57,97	130,80
9	3,27	37,97	57,97	89,40
10	1,65	37,44	45,44	89,40

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.8: Flujos máscicos del ciclo agua-bromuro de litio.

Flujos [Kg/s]	
Refrigerante Puro	0,0105
Mezcla rica refrigerante	0,1623
Mezcla pobre refrigerante	0,1517

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.9: Flujos de calor y potencia requerida en el ciclo agua-bromuro de litio.

Flujos calor [KW]	
Condensador	26,35
Evaporador	25,51
Absorbedor	31,23
Generador	32,08
Potencia [W]	
Bomba	0,2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.10: Puntos de operación para el ciclo amoniaco-agua.

Punto	Presión [KPa]	Temp.[°C]	Temp. saturación [°C]	Entalpia [KJ/Kg]
1	1018,20	72,68	25,50	2465,10
2	1018,20	25,50	25,50	318,30
3	715,50	14,50	14,50	318,30
4	715,50	14,50	14,50	1478,90
5	715,50	44,62	44,62	-45,80
6	1018,20	44,62	57,38	-45,80
7	1018,20	57,38	57,38	67,40
8	1018,20	72,68	72,68	75,40
9	1018,20	53,04	72,68	-16,80
10	715,50	52,51	59,51	-16,80

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.11: Flujos máscicos del ciclo amoniaco-agua.

Flujos [Kg/s]	
Refrigerante Puro	0.0220
Mezcla rica refrigerante	0.1209
Mezcla pobre refrigerante	0.0989

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.12: Flujos de calor y potencia requerida en el ciclo amoniaco-agua.

Flujos calor [KW]	
Condensador	47,185
Evaporador	25,509
Absorbedor	36,385
Generador	53,494
Potencia [W]	
Bomba	60,7

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el ciclo de amoniaco-agua presenta presiones mucho mayores que las del ciclo agua-bromuro de litio. Por otro lado, se observa que también presenta mayores temperaturas tanto en el generador como en el absorbedor. Finalmente también presenta mayor flujo de calor requerido en el generador, lo cual es un punto importante, puesto que dicho flujo de calor se debe suplir con energía solar térmica y podría significar un aumento en los costos del proyecto.

A continuación, se muestra como varía el flujo requerido por el generador, la potencia requerida por la bomba y el coeficiente de rendimiento, en la medida que se

seleccionan diferentes combinaciones de fracciones másicas de mezclas rica y pobre en refrigerante.

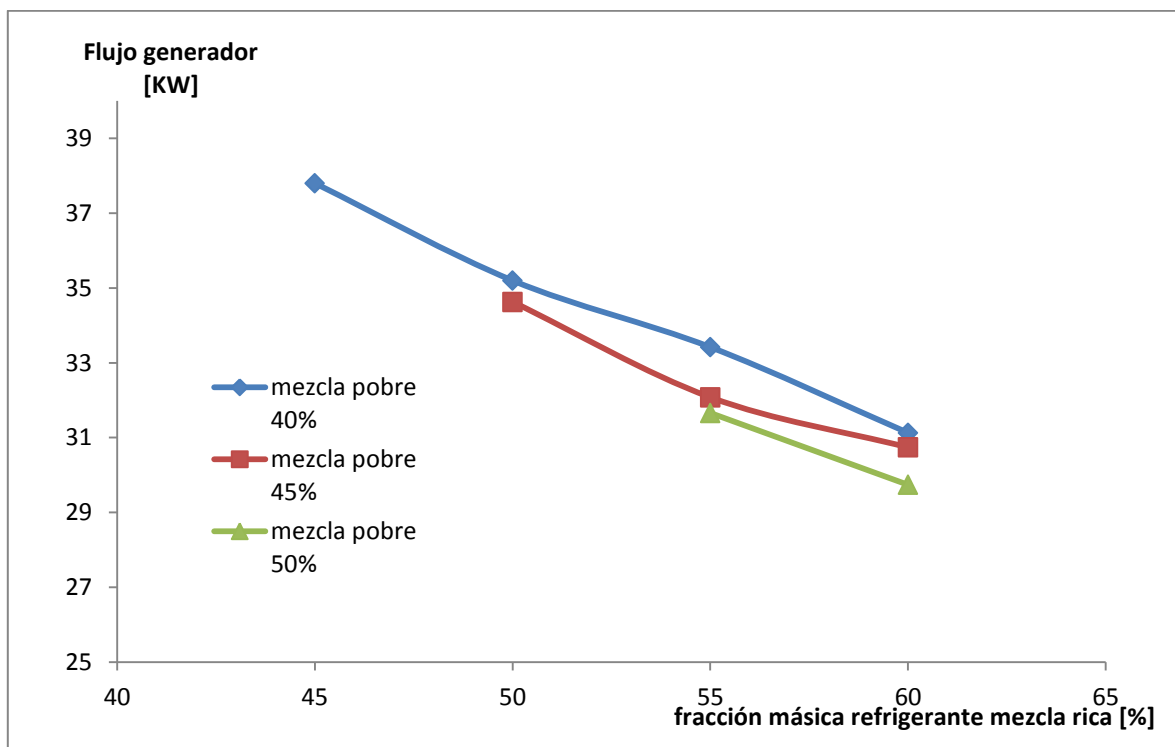


Gráfico 5.5: Análisis de sensibilidad del flujo requerido en el generador para diferentes fracciones másicas de mezcla, para ciclo agua-bromuro de litio.

Fuente: Elaboración propia.

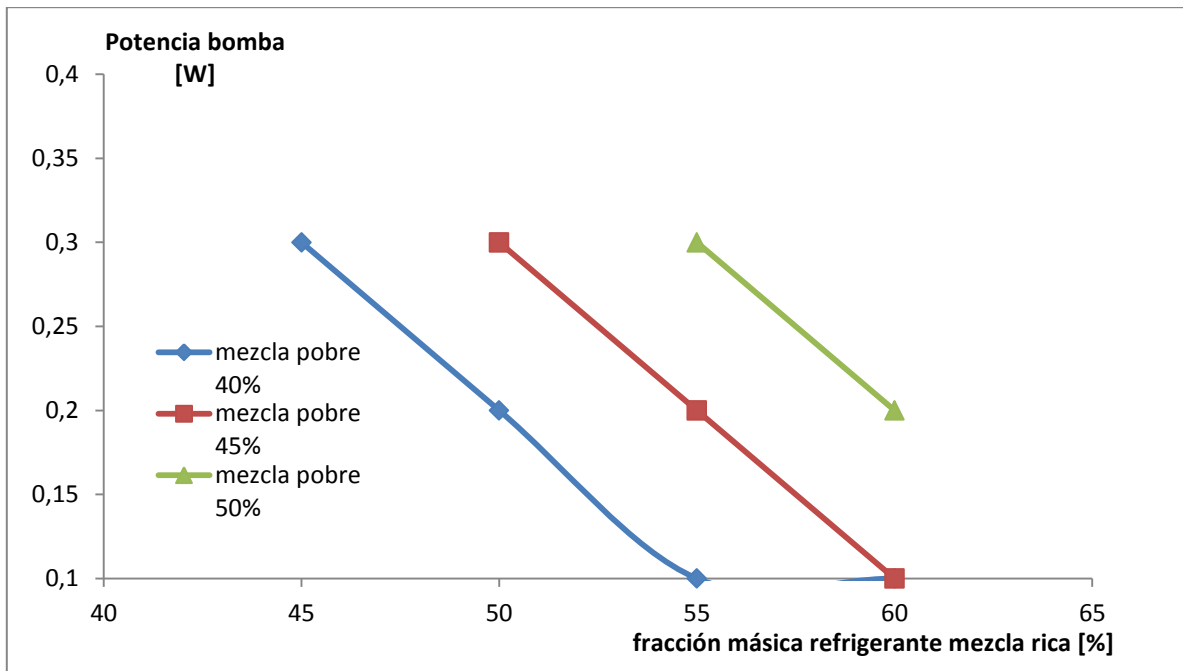


Gráfico 5.6: Análisis de sensibilidad de potencia de la bomba para diferentes fracciones másicas de mezcla, para ciclo agua-bromuro de litio.
Fuente: Elaboración propia.

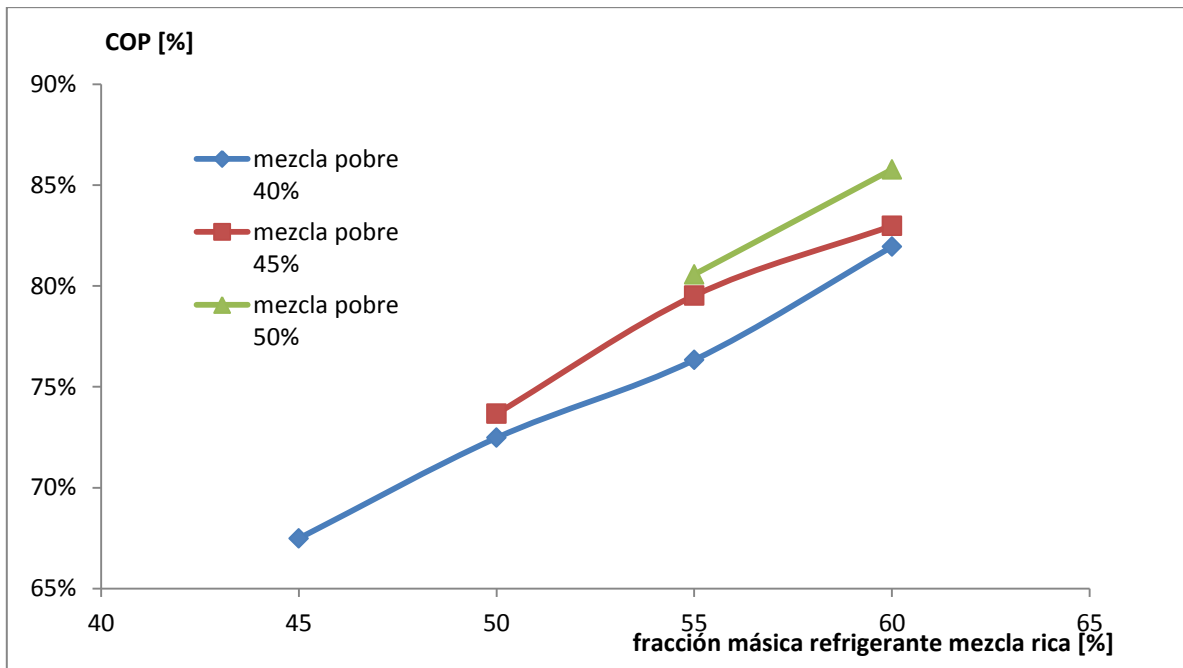


Gráfico 5.7: Análisis de sensibilidad de coeficiente de rendimiento para diferentes fracciones másicas de mezcla, para ciclo agua-bromuro de litio.
Fuente: Elaboración propia.

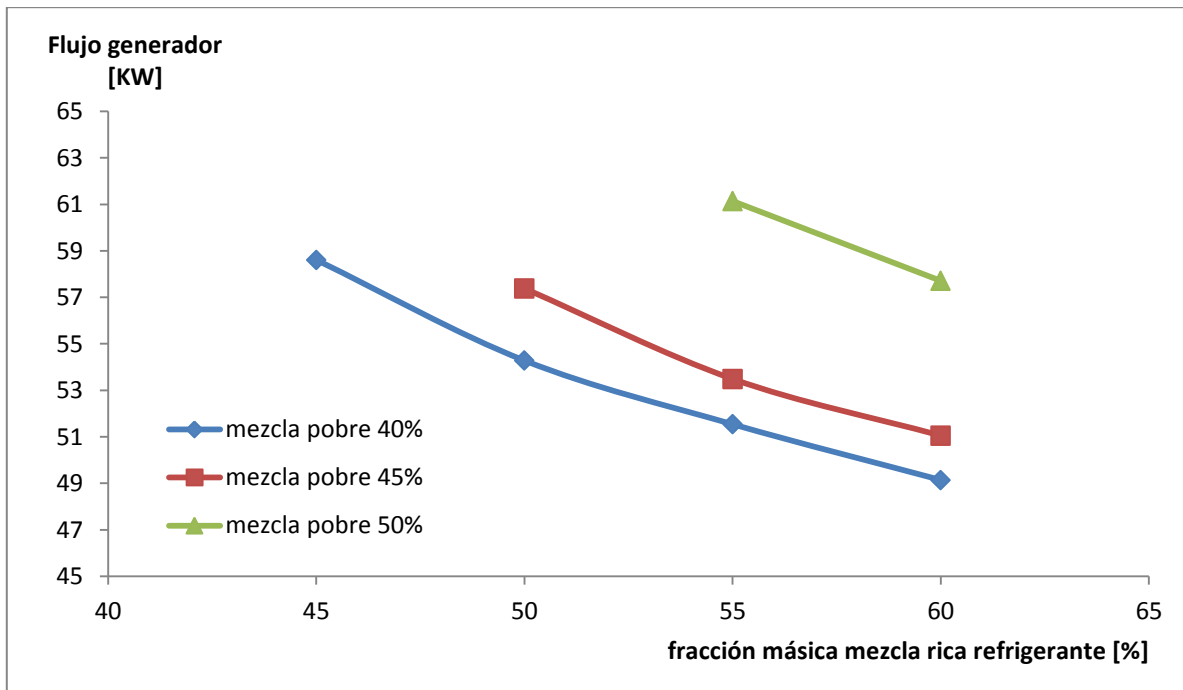


Gráfico 5.8: Análisis de sensibilidad del flujo requerido en el generador para diferentes fracciones másicas de mezcla, para ciclo amoníaco-agua.

Fuente: Elaboración propia.

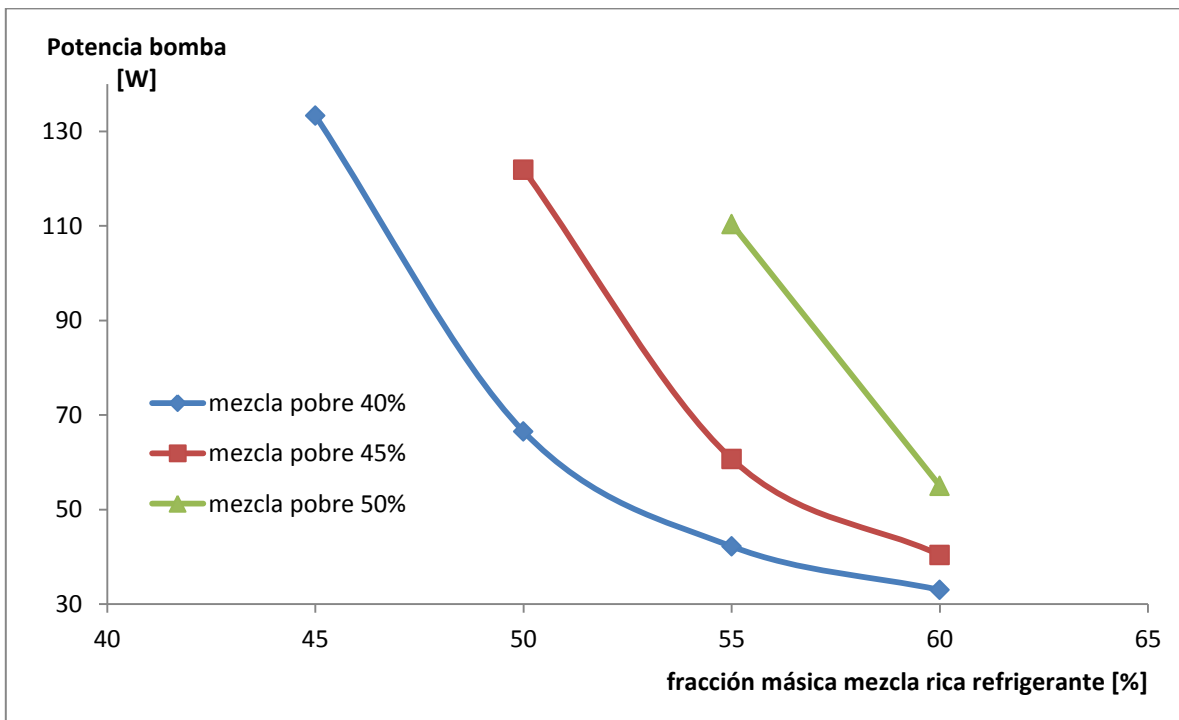


Gráfico 5.9: Análisis de sensibilidad de potencia de la bomba para diferentes fracciones másicas de mezcla, para ciclo amoníaco-agua.

Fuente: Elaboración propia.

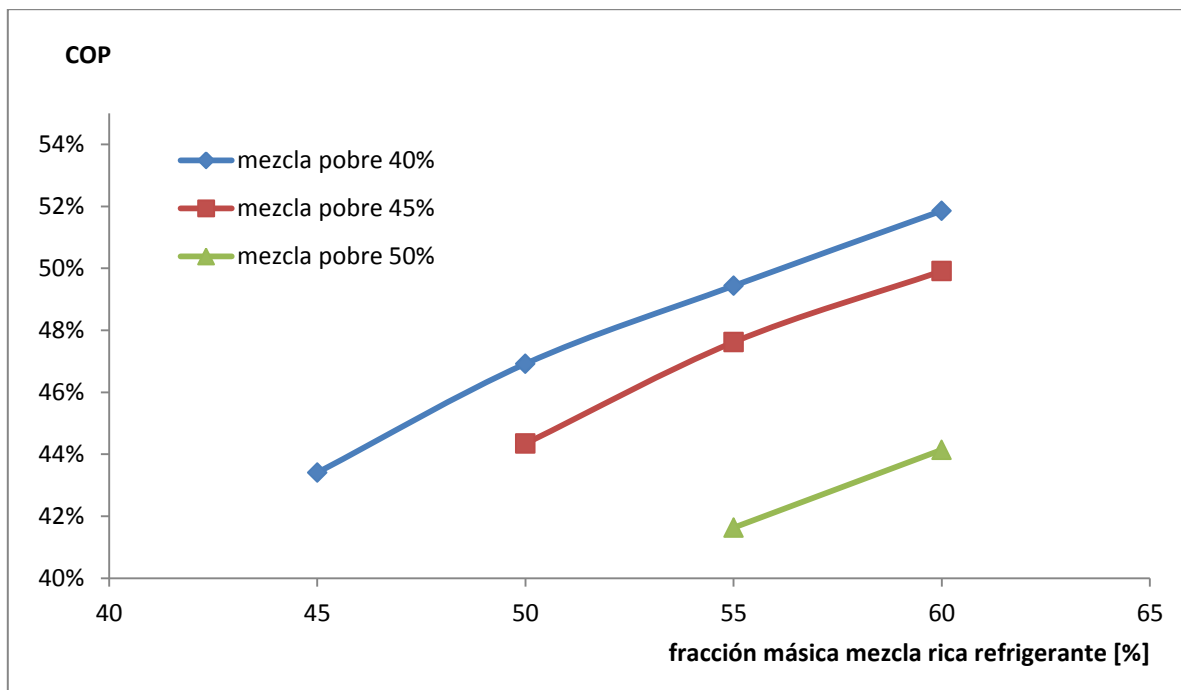


Gráfico 5.10: Análisis de sensibilidad de coeficiente de rendimiento para diferentes fracciones másicas de mezcla, para ciclo amoníaco-agua.

Fuente: Elaboración propia.

En los gráficos anteriores se observa que para ambos ciclos termodinámicos por absorción, si se mantiene fija la fracción másica de la mezcla pobre en refrigerante, el flujo requerido sobre el generador y la potencia requerida por la bomba disminuyen, a medida que se aumenta la fracción másica de la mezcla rica de refrigerante. Así, podría ser interesante aumentar la fracción másica de dicha mezcla, sin embargo se tiene que dicho valor por lo general no supera el 60% puesto que se pueden existir problemas de cristalización sobre dicha fracción. Dicha baja en el flujo del generador y la potencia de la bomba, ayuda a subir el coeficiente de rendimiento.

Se observa también que si se deja la fracción másica de la mezcla rica en refrigerante, se observan comportamientos distintos en los ciclos termodinámicos. En el ciclo agua-bromuro de litio, a medida que la fracción másica de la mezcla pobre en refrigerante sube, baja el flujo requerido por el generador, aumenta la potencia requerida por la bomba, así como también aumenta el coeficiente de rendimiento.

Por el lado del ciclo agua-amoniaco, a medida que la fracción másica de la mezcla pobre en refrigerante sube, aumenta el flujo requerido por el generador y la potencia requerida por la bomba, además el coeficiente de rendimiento disminuye.

Con respecto a los equipos existentes en el mercado para llevar a cabo este tipo de ciclos, se tiene que para el rango de carga de enfriamiento presente en el galpón existe sólo chillers para ciclo agua-bromuro de litio, los cuales además están diseñados para funcionar con un flujo de agua caliente a temperaturas obtenibles por energía solar térmica a través de colectores solares de tubos al vacío. Existen también chillers que ocupan una mezcla amoniaco-agua, pero son para capacidades mayores de enfriamiento, pensados en que se pueden alcanzar temperaturas bajo los 0°C, por esta

razón requieren mayores flujos de calor en el generador, con lo cual el calor lo obtiene de fluidos de mayor temperatura, por lo general vapor de agua.

Así, para el proyecto se selecciona el chiller de la marca Yazaki, modelo WFC-SC10, con capacidad para 55,2 KW de enfriamiento. La ficha del equipo, se encuentra en el Anexo K: Ficha chiller de absorción..

5.4. Definición colectores solares

En cuanto a los colectores solares, se definen los parámetros propios de él, sin embargo se deja libre la inclinación de éste para determinar cuanta energía son capaces de coleccionar de manera diaria mes a mes. Los resultados se muestran a continuación, junto con los requerimientos de flujo de calor en el generador, mes a mes

Tabla 5.13: Energía requerida por el generador de manera diaria, mes a mes

Mes	Energía diaria requerida [KW-h]
Enero	308,22
Febrero	300,51
Marzo	289,95
Abril	250,05
Mayo	255,45
Junio	200,35
Julio	187,88
Agosto	220,97
Septiembre	241,27
Octubre	255,33
Noviembre	292,11
Diciembre	283,28

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.14: Energía diaria absorbida por un colector, para diferentes inclinaciones

Mes	Energía absorbida por un colector [KW-h]							
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°
Enero	17,64	6,86	6,93	6,93	6,87	6,74	6,54	6,28
Febrero	15,52	8,51	8,68	8,77	8,79	8,71	8,56	8,31
Marzo	14,35	8,17	8,51	8,77	8,95	9,05	9,06	8,98
Abril	11,17	6,53	7,03	7,47	7,85	8,15	8,38	8,52
Mayo	8,42	5,76	7,00	8,18	9,28	10,31	11,25	12,08
Junio	7,63	4,86	5,42	5,94	6,41	6,82	7,17	7,45
Julio	8,16	5,06	5,63	6,16	6,63	7,04	7,38	7,65
Agosto	10,70	6,30	6,79	7,21	7,58	7,87	8,09	8,23
Septiembre	13,60	7,90	8,24	8,49	8,67	8,77	8,78	8,71
Octubre	16,07	8,05	8,20	8,28	8,29	8,21	8,05	7,82
Noviembre	17,81	4,89	4,94	4,95	4,90	4,81	4,67	4,49
Diciembre	17,52	2,50	2,52	2,51	2,48	2,43	2,35	2,25

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al requerimiento de energía del generador, se observa que el máximo valor ocurre en el mes de Enero, aun cuando el mayor flujo de calor se encuentra en el mes de Mayo, puesto que en ese mes se encuentra la mayor carga de enfriamiento del proyecto.

Por el lado de los colectores, se observa que el mes de Diciembre es el más desfavorable en cuanto a recolección de energía, para el caso de los colectores inclinados. Esto se debe en que en ese mes, existe el mínimo de horas en las cuales el sol está en el norte.

Como ya se tiene la energía absorbida por los colectores, se puede determinar el número de colectores requeridos, para cada una de las diferentes inclinaciones. Dichos resultados, se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 5.15: Energía diaria absorbida por un colector, para diferentes inclinaciones

	Colectores requeridos							
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°
Número colectores	41	124	123	123	125	127	132	138

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al sistema de acumulación de agua caliente, realizando los cálculos según lo explicado en la sección anterior, se tiene que se requiere un sistema con capacidad para 3700 Litros de agua caliente.

Con respecto a los equipos seleccionados, se elige un colector solar de tubos al vacío con los mismos parámetros utilizados para los cálculos de éstos. Con respecto a al sistema de acumulación, se eligen estanques de 500 litros, especialmente diseñado para agua caliente. Las características de dichos equipos se encuentran en Anexo L: Ficha colectores solares y Anexo M: Ficha estanque de acumulación., respectivamente.

5.5. Evaluación económica

Para la evaluación económica, se tiene que determinar el consumo energético de cada uno de los ciclos a lo largo del año. A continuación se muestra el consumo diario mes a mes de cada uno de los ciclos termodinámicos.

Tabla 5.16: Consumos diarios mes a mes para cada uno de los ciclos.

Mes	Consumo [Kw-h]	
	Bomba	Compresor
Enero	0,458	4,672
Febrero	0,446	4,555
Marzo	0,431	4,395
Abril	0,372	3,790
Mayo	0,380	3,872
Junio	0,298	3,037
Julio	0,279	2,848
Agosto	0,328	3,349
Septiembre	0,358	3,657
Octubre	0,379	3,870
Noviembre	0,434	4,428
Diciembre	0,421	4,294

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, se puede calcular el gasto anual de cada situación, y por consiguiente el ahorro anual de energía con el ciclo por absorción.

Tabla 5.17: Consumo anual de energía en ambas situaciones, y ahorro anual de energía por ciclo de absorción

Consumo [Kw-h]		Ahorro [KW-h]
Bomba	Compresor	
99,5	1014,8	915,3

Fuente: Elaboración propia.

Como el proyecto se encuentra en la segunda región, se ocupa una tarifa de energía eléctrica de 71,561 [CLP/KW-h], considerando que no se trata de un lugar residencial. De esta manera el ahorro anual es de 65.500 [CLP].

Por otro lado, la potencia requerida baja de 0,573 [KW] a 0,056 [KW], con lo cual se tiene un ahorro de 0,516 [KW] de potencia suministrada. Como el valor de la potencia suministrada es de 2.932,9 [CLP/KW], se tiene un ahorro anual de 18.172 [CLP].

En cuanto a las inversiones, se considera que en este nuevo escenario se debe comprar de manera adicional un chiller para absorción, colectores solares y un sistema de acumulación, en cambio, se deja de ocupar una unidad central tradicional. El cuadro de inversión, se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 5.18: Cuadro de inversiones para proyecto de ciclo por absorción

Item	Inversión unitaria	Unidades	Total
Chiller absorción	\$28.500.000	1	\$28.500.000
Colectores solares	\$650.000	41	\$26.650.000
Estanques agua caliente	\$500.000	8	\$4.000.000
Unidades centrales	-\$4.900.000	1	-\$ 4.900.000
Total			\$54.250.000

Fuente: Elaboración propia.

Asumiendo que los costos operacionales y de mantención anual del sistema de agua caliente, corresponden al 1% de la inversión inicial ^[12], se tiene que dicho costo es de 257.000 [CLP].

Se asume que los costos operacionales y de mantención del chiller, son similares a los costos que posee una unidad central convencional, con lo cual no se coloca dicha diferencia en el flujo de caja.

Así, se puede realizar el flujo de caja para luego sacar el valor presente neto, con una tasa del 12% y un horizonte de evaluación de 20 años.

Tabla 5.19: Flujo de caja para proyecto de ciclo por absorción

Año	0	1	2	3	4-20
Costos sistema agua caliente		-\$257.000	-\$ 257.000	-\$ 257.000	-\$ 257.000
Ahorro por uso sistema absorción		\$84.212	\$84.212	\$84.212	\$84.212
Ahorro neto		-\$172.788	-\$172.788	-\$172.788	-\$172.788
Inversión	-\$54.250.000				
VPN(12%)	-\$ 55.522.718				

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, el ahorro generado por el cambio de sistema de refrigeración no alcanza a cubrir los gastos debido a la operación y mantención del sistema de agua caliente, de ésta manera el proyecto no genera ahorro neto, con lo cual tiene un VPN negativo, por lo tanto no es una buena opción cambiarse a un sistema por absorción, en términos económicos.

Como el proyecto tiene una evaluación económica negativa, se evalúa un escenario alternativo, en el cual el sistema por absorción funciona como un sistema auxiliar en caso de que la carga de enfriamiento supere los 14 [KW]. Se realizan los

mismos cálculos realizados anteriormente en el primer escenario, obteniéndose el siguiente flujo de caja.

Tabla 5.20: Cuadro de inversiones para escenario alternativo

Item	Inversión unitaria	Unidades	Total
Chiller absorción	\$ 20.500.000	1	\$ 20.500.000
Colectores solares	\$ 650.000	10	\$ 6.500.000
Estanques agua caliente	\$ 500.000	2	\$ 1.000.000
Unidades centrales	-\$ 2.094.408	1	-\$ 2.094.408
Total			\$25.905.592

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.21: Flujo de caja para escenario alternativo

Año	0	1	2	3	4-20
Costos sistema agua caliente		-\$67.500	-\$67.500	-\$67.500	-\$67.500
Ahorro por uso sistema absorción		\$25.322	\$25.322	\$25.322	\$25.322
Ahorro neto		-\$42.178	-\$42.178	-\$42.178	-\$42.178
Inversión	-\$25.905.592				
VPN(12%)	-\$ 26.905.592				

Fuente: Elaboración propia.

Tal como en el caso anterior, se observa que el ahorro generado por el cambio de sistema de refrigeración no alcanza a cubrir los gastos debido a la operación y mantención del sistema de agua caliente, con lo cual nuevamente se obtiene una evaluación económica negativa.

6. Conclusiones

- La carga de enfriamiento de un lugar, depende de gran manera de la orientación de las superficies de ésta, ya que la combinación de la trayectoria solar con el aumento de radiación en la tarde, puede hacer que aumente dicha carga al quedar expuesta al sol una superficie muy grande de la construcción en dichas horas. De esta manera, la mayor carga de enfriamiento no necesariamente ocurre en el mes con mayor radiación.
- La carga de enfriamiento también depende de la geometría de la construcción, con lo cual si una construcción mantiene su orientación y su superficie total, puede modificar su carga de enfriamiento dependiendo de cómo se relacionan las diferentes longitudes de sus superficies.
- En los ciclos termodinámicos por absorción, el hecho de tener una mezcla rica en refrigerante con un valor alto de fracción másica de refrigerante, trae muchas ventajas, sin embargo, aumenta el riesgo de cristalización.
- Si bien la mayor carga de enfriamiento no ocurre en los meses con mayor radiación, se observa que los meses con mayor energía requerida por el generador son aquellos meses de verano, puesto que existe mayor radiación, y más horas de sol, con lo cual el galpón recibe mayor radiación, aunque sea de forma más pareja durante el día.
- Ocupar energía solar térmica como fuente de energía para este tipo de proyecto, presenta la ventaja de que cuando aumenta la carga de enfriamiento, también aumenta la radiación solar, sin embargo se tiene la desventaja de que no toda la carga de enfriamiento proviene de la radiación solar, con lo cual las primeras horas de la mañana la energía solar térmica no es capaz de suplir con la energía requerida para mantener el ciclo de absorción.
- Si bien como regla general, se recomienda ocupar los colectores con una inclinación hacia el norte, en el caso de estudio se obtiene un mejor aprovechamiento de la radiación, con colectores horizontales. Esto trae como desventaja que los colectores que se pueden colocar de forma horizontal, tienen un mayor costo que aquellos que se pueden colocar con una inclinación mínima de aproximadamente 20°.
- A la hora de comparar el gasto de energía entre un sistema convencional de refrigeración por compresión de vapor y un sistema por absorción, se tiene que éste último gasta aproximadamente un 10% de la energía del sistema tradicional.
- A la hora de buscar los equipos requeridos para el sistema de climatización basado en un ciclo por absorción, se tiene que dichos equipos existen en el mercado, en los tamaños y capacidades requeridas para la situación de estudio.
- En cuanto a la evaluación económica, se determina que el ahorro de energía eléctrica que trae como beneficio la implementación de un sistema basado en absorción, no compensa la inversión inicial de los equipos adicionales que se requieren, así tampoco compensan los gastos asociados a la mantención y operación del sistema que provee energía solar térmica. Así, el caso de estudio no es factible desde el punto de vista económico

7. Bibliografía

[1] Departamento Geofísica de la Universidad de Chile. Explorador del Recurso Solar en Chile. 2012.

[2] ASHRAE. Fundamentals handbook. 2009.

[3] MORAN, Michael J. y Shapiro, Howard N. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. 5ta Edición, John Wiley & Sons, 2006.

[4] Li, Z.F. y Sumathy, K. Technology development in the solar absorption air-conditioning systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 4: 267-293, 2000.

[5] SUN, Da-Wen. Comparison of the performances of $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$, $\text{NH}_3\text{-LiNO}_3$ and $\text{NH}_3\text{-NaSCN}$ absorption refrigeration systems. Energy Convers. 39 (5/6): 357-368, 1998.

[6] Improved thermodynamic property fields of $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ solution por H.T. Chua, H.K. Toh, A. Malek, K.C. Ng, K. Srinivasan. International Journal of Refrigeration (23): 412-429. 2000.

[7] VANEK, Francis M. y Albright, Louis D. Energy systems engineering. 1era Edición, McGraw-Hill, 2008.

[8] Solar District Heating. Solar Collectors. [En línea]. <http://solar-district-heating.eu/portals/0/factsheets/sdh-wp3_fs-7-1_solarcollectors_version3.pdf>. [consulta: 4 de septiembre de 2015].

[9] Solar energy resource assessment in Chile: Satellite estimation and ground station measurements por Rodrigo A. Escobar, Cristián Cortés, Alan Pino, Enio Bueno Pereira, Fernando Ramos Martins, José Miguel Cardemil. Renewable Energy, (71): 324-332. 2014.

[10] Departamento Geofísica Universidad de Chile. Explorador de Energía Solar. [En línea]. < <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar2> >. [consulta: 31 de marzo de 2015].

[11] Elecda. Tarifas de suministro eléctrico. [En línea] <<http://www.elecda.cl/mercadoelectrico/Tarifas/Tarifas%20de%20Suninistro%20Elecda%202015-10-01.pdf>>. [Consulta: 02 de octubre de 2015].

[12] Whole Building Desing Guide. Solar Water Heating. [En línea]. <<https://www.wbdg.org/resources/swheating.php#om>>. [Consulta: 02 de octubre de 2015].

8. Anexos

Anexo A: Propiedades termodinámicas agua saturada (líquido-vapor)

Tabla A.1: Propiedades termodinámicas del agua en estado de saturación (líquido-vapor).

Temp [C°]	Presión [bar]	Volumen específico [m ³ /Kg]		Energía Interna [KJ/Kg]		Entalpía [KJ/Kg]			Entropía [KJ/Kg K]	
		Líquido Sat(*10 ³)	Vapor Sat.	Líquido Sat.	Vapor Sat.	Líquido Sat.	Evap.	Vapor Sat.	Líquido Sat.	Vapor Sat.
0,01	0,00611	1,0002	206,136	0	2375,3	0,01	2501,3	2501,4	0,0000	9,1562
4	0,00813	1,0001	157,232	16,77	2380,9	16,78	2491,9	2508,7	0,0610	9,0514
5	0,00872	1,0001	147,12	20,97	2382,3	20,98	2489,6	2510,6	0,0761	9,0257
6	0,00935	1,0001	137,734	25,19	2383,6	25,20	2487,2	2512,4	0,0912	9,0003
8	0,01072	1,0002	120,917	33,59	2386,4	33,60	2482,5	2516,1	0,1212	8,9501
10	0,01228	1,0004	106,379	42,00	2389,2	42,01	2477,7	2519,8	0,1510	8,9008
11	0,01312	1,0004	99,857	46,2	2390,5	46,20	2475,4	2521,6	0,1658	8,8765
12	0,01402	1,0005	93,784	50,41	2391,9	50,41	2473,0	2523,4	0,1806	8,8524
13	0,01497	1,0007	88,124	54,60	2393,3	54,60	2470,7	2525,3	0,1953	8,8285
14	0,01598	1,0008	82,848	58,79	2394,7	58,80	2468,3	2527,1	0,2099	8,8048
15	0,01705	1,0009	77,926	62,99	2396,1	62,99	2465,9	2528,9	0,2245	8,7814
16	0,01818	1,0011	73,333	67,18	2397,4	67,19	2463,6	2530,8	0,2390	8,7582
17	0,01938	1,0012	69,044	71,38	2398,8	71,38	2461,2	2532,6	0,2535	8,7351
18	0,02064	1,0014	65,038	75,57	2400,2	75,58	2458,8	2534,4	0,2679	8,7123
19	0,02198	1,0016	61,293	79,76	2401,6	79,77	2456,5	2536,2	0,2823	8,6897
20	0,02339	1,0018	57,791	83,95	2402,9	83,96	2454,1	2538,1	0,2966	8,6672
21	0,02487	1,0020	54,514	88,14	2404,3	88,14	2451,8	2539,9	0,3109	8,6450
22	0,02645	1,0022	51,447	92,32	2405,7	92,33	2449,4	2541,7	0,3251	8,6229
23	0,0281	1,0024	48,574	96,51	2407,0	96,52	2447,0	2543,5	0,3393	8,6011
24	0,02985	1,0027	45,883	100,70	2408,4	100,70	2444,7	2545,4	0,3534	8,5794
25	0,03169	1,0029	43,36	104,88	2409,8	104,89	2442,3	2547,2	0,3674	8,5580
26	0,03363	1,0032	40,994	109,06	2411,1	109,07	2439,9	2549,0	0,3814	8,5367
27	0,03567	1,0035	38,774	113,25	2412,5	113,25	2437,6	2550,8	0,3954	8,5156
28	0,03782	1,0037	36,69	117,42	2413,9	117,43	2435,2	2552,6	0,4093	8,4946
29	0,04008	1,0040	34,733	121,60	2415,2	121,61	2432,8	2554,5	0,4231	8,4739
30	0,04246	1,0043	32,894	125,78	2416,6	125,79	2430,5	2556,3	0,4369	8,4533
31	0,04496	1,0046	31,165	129,96	2418,0	129,97	2428,1	2558,1	0,4507	8,4329
32	0,04759	1,0050	29,54	134,14	2419,3	134,15	2425,7	2559,9	0,4644	8,4127
33	0,05034	1,0053	28,011	138,32	2420,7	138,33	2423,4	2561,7	0,4781	8,3927
34	0,05324	1,0056	26,571	142,50	2422,0	142,50	2421,0	2563,5	0,4917	8,3728
35	0,05628	1,0060	25,216	146,67	2423,4	146,68	2418,6	2565,3	0,5053	8,3531
36	0,05947	1,0063	23,940	150,85	2424,7	150,86	2416,2	2567,1	0,5188	8,3336
38	0,06632	1,0071	21,602	159,20	2427,4	159,21	2411,5	2570,7	0,5458	8,2950
40	0,07384	1,0078	19,523	167,56	2430,1	167,57	2406,7	2574,3	0,5725	8,2570
45	0,09593	1,0099	15,258	188,44	2436,8	188,45	2394,8	2583,2	0,6387	8,1648

Temp [C°]	Presión [bar]	Volumen específico [m ³ /Kg]		Energía Interna [KJ/Kg]		Entalpía [KJ/Kg]			Entropía [KJ/Kg K]	
		Líquido Sat. (*10 ³)	Vapor Sat.	Líquido Sat.	Vapor Sat.	Líquido Sat.	Evap.	Vapor Sat.	Líquido Sat	Vapor Sat.
50	0,1235	1,0121	12,032	209,32	2443,5	209,33	2382,7	2592,1	0,7038	8,0763
55	0,1576	1,0146	9,568	230,21	2450,1	230,23	2370,7	2600,9	0,7679	7,9913
60	0,1994	1,0172	7,671	251,11	2456,6	251,13	2358,5	2609,6	0,8312	7,9096
65	0,2503	1,0199	6,197	272,02	2463,1	272,06	2346,2	2618,3	0,8935	7,8310
70	0,3119	1,0228	5,042	292,95	2469,6	292,98	2333,8	2626,8	0,9549	7,7553
75	0,3858	1,0259	4,131	313,90	2475,9	313,93	2321,4	2635,3	1,0155	7,6824
80	0,4739	1,0291	3,407	334,86	2482,2	334,91	2308,8	2643,7	1,0753	7,6122
85	0,5783	1,0325	2,828	355,84	2488,4	355,90	2296,0	2651,9	1,1343	7,5445
90	0,7014	1,0360	2,361	376,85	2494,5	376,92	2283,2	2660,1	1,1925	7,4791
95	0,8455	1,0397	1,982	397,88	2500,6	397,96	2270,2	2668,1	1,2500	7,4159
100	1,014	1,0435	1,673	418,94	2506,5	419,04	2257,0	2676,1	1,3069	7,3549
110	1,433	1,0516	1,210	461,14	2518,1	461,30	2230,2	2691,5	1,4185	7,2387
120	1,985	1,0603	0,8919	503,50	2529,3	503,71	2202,6	2706,3	1,5276	7,1296
130	2,701	1,0697	0,6685	546,02	2539,9	546,31	2174,2	2720,5	1,6344	7,0269
140	3,613	1,0797	0,5089	588,74	2550,0	589,13	2144,7	2733,9	1,7391	6,9299
150	4,758	1,0905	0,3928	631,68	2559,5	632,20	2114,3	2746,5	1,8418	6,8379
160	6,178	1,1020	0,3071	674,86	2568,4	675,55	2082,6	2758,1	1,9427	6,7502
170	7,917	1,1143	0,2428	718,33	2576,5	719,21	2049,5	2768,7	2,0419	6,6663
180	10,02	1,1274	0,1941	762,09	2583,7	763,22	2015,0	2778,2	2,1396	6,5857
190	12,54	1,1414	0,1565	806,19	2590,0	807,62	1978,8	2786,4	2,2359	6,5079
200	15,54	1,1565	0,1274	850,65	2595,3	852,45	1940,7	2793,2	2,3309	6,4323
210	19,06	1,1726	0,1044	895,53	2599,5	897,76	1900,7	2798,5	2,4248	6,3585
220	23,18	1,1900	0,08619	940,87	2602,4	943,62	1858,5	2802,1	2,5178	6,2861
230	27,95	1,2088	0,07158	986,74	2603,9	990,12	1813,8	2804,0	2,6099	6,2146
240	33,44	1,2291	0,05976	1033,2	2604,0	1037,3	1766,5	2803,8	2,7015	6,1437
250	39,73	1,2512	0,05013	1080,4	2602,4	1085,4	1716,2	2801,5	2,7927	6,0730
260	46,88	1,2755	0,04221	1128,4	2599,0	1134,4	1662,5	2796,6	2,8838	6,0019
270	54,99	1,3023	0,03564	1177,4	2593,7	1184,5	1605,2	2789,7	2,9751	5,9301
280	64,12	1,3321	0,03017	1227,5	2586,1	1236,0	1543,6	2779,6	3,0668	5,8571
290	74,36	1,3656	0,02557	1278,9	2576,0	1289,1	1477,1	2766,2	3,1594	5,7821
300	85,81	1,4036	0,02167	1332,0	2563,0	1344,0	1404,9	2749,0	3,2534	5,7045
320	112,7	1,4988	0,01549	1444,6	2525,5	1461,5	1238,6	2700,1	3,4480	5,5362
340	145,9	1,6379	0,01080	1570,3	2464,6	1594,2	1027,9	2622,0	3,6594	5,3357
360	186,5	1,8925	0,006945	1725,2	2351,5	1760,5	720,5	2481,0	3,9147	5,0526
374,14	220,9	3,1550	0,003155	2029,6	2029,6	2099,3	0,0	2099,3	4,4298	4,4298

Fuente: [3]

Anexo B: Propiedades termodinámicas agua sobre-calentada.

Tabla B.1: Propiedades termodinámicas del agua en estado de vapor sobre-calentado.

Temp [°C]	P= 0,06 bar (T _{sat.} = 36,16 °C)				P= 0,35 bar (T _{sat.} = 72,69 °C)			
	Volumen Específico [m ³ /Kg]	Energía Interna [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg]	Entropía [KJ/Kg K]	Volumen Específico [m ³ /Kg]	Energía Interna [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg]	Entropía [KJ/Kg K]
Sat.	23,739	2425,0	2567,4	8,3304	4,526	2473,0	2631,4	7,7158
80	27,132	2487,3	2650,1	8,5804	4,625	2483,7	2645,6	7,7564
120	30,219	2544,7	2726	8,784	5,163	2542,4	2723,1	7,9644
160	33,302	2602,7	2802,5	8,9693	5,696	2601,2	2800,6	8,1519
200	36,383	2661,4	2879,7	9,1398	6,228	2660,4	2878,4	8,3237
240	39,462	2721	2957,8	9,2982	6,758	2720,3	2956,8	8,4828
280	42,54	2781,5	3036,8	9,4464	7,287	2780,9	3036,0	8,6314
320	45,618	2843	3116,7	9,5859	7,815	2842,5	3116,1	8,7712
360	48,696	2905,5	3197,7	9,718	8,344	2905,1	3197,1	8,9034
400	51,774	2969	3279,6	9,8435	8,872	2968,6	3279,2	9,0291
440	54,851	3033,5	3362,6	9,9633	9,4	3033,2	3362,2	9,149
500	59,467	3132,3	3489,1	10,1336	10,192	3132,1	3488,8	9,3194
Temp [°C]	P= 0,7 bar (T _{sat.} = 89,95 °C)				P= 1 bar (T _{sat.} = 99,63 °C)			
	Volumen Específico [m ³ /Kg]	Energía Interna [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg K]	Volumen Específico [m ³ /Kg]	Energía Interna [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg]	Entropía [KJ/Kg K]
Sat.	2,365	2494,5	2660	7,4797	1,694	2506,1	2675,5	7,3594
100	2,434	2509,7	2680	7,5341	1,696	2506,7	2676,2	7,3614
120	2,571	2539,7	2719,6	7,6375	1,793	2537,3	2716,6	7,4668
160	2,841	2599,4	2798,2	7,8279	1,984	2597,8	2796,2	7,6597
200	3,108	2659,1	2876,7	8,0012	2,172	2658,1	2875,3	7,8343
240	3,374	2719,3	2955,5	8,1611	2,359	2718,5	2954,5	7,9949
280	3,640	2780,2	3035,0	8,3162	2,546	2779,6	3034,2	8,1445
320	3,905	2842,0	3115,3	8,4504	2,732	2841,5	3114,6	8,2849
360	4,170	2904,6	3196,5	8,5828	2,917	2904,2	3195,9	8,4175
400	4,434	2968,2	3278,6	8,7086	3,103	2967,9	3278,2	8,5435
440	4,698	3032,9	3361,8	8,8286	3,288	3032,6	3361,4	8,6636
500	5,095	3131,8	3488,5	8,9991	3,565	3131,6	3488,1	8,8342

Fuente: [3]

Anexo C: Propiedades termodinámicas amoniaco saturado (líquido-vapor)

Tabla C.1: Propiedades termodinámicas del amoniaco en estado de saturación (líquido-vapor).

Temp [C°]	Presión [bar]	Volumen específico [m³/Kg]		Energía Interna [KJ/Kg]		Entalpía [KJ/Kg]			Entropía [KJ/Kg K]	
		Líquido Sat>(*10³)	Vapor Sat.	Líquido Sat.	Vapor Sat.	Líquido Sat.	Evap.	Vapor Sat.	Líquido Sat.	Vapor Sat.
-50	0,4086	1,4245	2,6265	-43,94	1264,99	-43,88	1416,20	1372,32	-0,1922	6,1543
-45	0,5453	1,4367	2,0060	-22,03	1271,19	-21,95	1402,52	1380,57	-0,0951	6,0523
-40	0,7174	1,4493	1,5524	-0,10	1277,20	0,00	1388,56	1388,56	0,0000	5,9557
-36	0,8850	1,4597	1,2757	17,47	1281,87	17,60	1377,17	1394,77	0,0747	5,8819
-32	1,0832	1,4703	1,0561	35,09	1286,41	35,25	1365,55	1400,81	0,1484	5,8111
-30	1,1950	1,4757	0,9634	43,93	1288,63	44,10	1359,65	1403,75	0,1849	5,7767
-28	1,3159	1,4812	0,8803	52,78	1290,82	52,97	1353,68	1406,66	0,2212	5,7430
-26	1,4465	1,4867	0,8056	61,65	1292,97	61,86	1347,65	1409,51	0,2572	5,7100
-22	1,7390	1,4980	0,6780	79,46	1297,18	79,72	1335,36	1415,08	0,3287	5,6457
-20	1,9019	1,5038	0,6233	88,40	1299,23	88,68	1329,10	1417,79	0,3642	5,6144
-18	2,0769	1,5096	0,5739	97,36	1301,25	97,68	1322,77	1420,45	0,3994	5,5837
-16	2,2644	1,5155	0,5291	106,36	1303,23	106,70	1316,35	1423,05	0,4346	5,5536
-14	2,4652	1,5215	0,4885	115,37	1305,17	115,75	1309,86	1425,61	0,4695	5,5239
-12	2,6798	1,5276	0,4516	124,42	1307,08	124,83	1303,28	1428,11	0,5043	5,4948
-10	2,9089	1,5338	0,4180	133,50	1308,95	133,94	1296,61	1430,55	0,5389	5,4662
-8	3,1532	1,5400	0,3874	142,60	1310,78	143,09	1289,86	1432,95	0,5734	5,4380
-6	3,4134	1,5464	0,3595	151,74	1312,57	152,26	1283,02	1435,28	0,6077	5,4103
-4	3,6901	1,5528	0,3340	160,88	1314,32	161,46	1276,10	1437,56	0,6418	5,3831
-2	3,9842	1,5594	0,3106	170,07	1316,04	170,69	1269,08	1439,78	0,6759	5,3562
0	4,2962	1,5660	0,2892	179,29	1317,71	179,96	1261,97	1441,94	0,7097	5,3298
2	4,6270	1,5727	0,2695	188,53	1319,34	189,26	1254,77	1444,03	0,7435	5,3038
4	4,9773	1,5796	0,2514	197,80	1320,92	198,59	1247,48	1446,07	0,7770	5,2781
6	5,3479	1,5866	0,2348	207,10	1322,47	207,95	1240,09	1448,04	0,8105	5,2529
8	5,7395	1,5936	0,2195	216,42	1323,96	217,34	1232,61	1449,94	0,8438	5,2279
10	6,1529	1,6008	0,2054	225,77	1325,42	226,75	1225,03	1451,78	0,8769	5,2033
12	6,5890	1,6081	0,1923	235,14	1326,82	236,20	1217,35	1453,55	0,9099	5,1791
16	7,5324	1,6231	0,1691	253,95	1329,48	255,18	1201,70	1456,87	0,9755	5,1314
20	8,5762	1,6386	0,1492	272,86	1331,94	274,26	1185,64	1459,90	1,0404	5,0849
24	9,7274	1,6547	0,1320	291,84	1334,19	293,45	1169,16	1462,61	1,1048	5,0394
28	10,993	1,6714	0,1172	310,92	1336,20	312,75	1152,24	1465,00	1,1686	4,9948
32	12,380	1,6887	0,1043	330,07	1337,97	332,17	1134,87	1467,03	1,2319	4,9509
36	13,896	1,7068	0,0930	349,32	1339,47	351,69	1117,00	1468,70	1,2946	4,9078
40	15,549	1,7256	0,0831	368,67	1340,70	371,35	1098,62	1469,97	1,3569	4,8652
45	17,819	1,7503	0,0725	393,01	1341,81	396,13	1074,84	1470,96	1,4341	4,8125
50	20,331	1,7765	0,0634	417,56	1342,42	421,17	1050,09	1471,26	1,5109	4,7604

Fuente: [3]

Anexo D: Propiedades termodinámicas amoniaco sobre-calentado.

Tabla D.1: Propiedades termodinámicas del amoniaco en estado de vapor sobre-calentado.

Temp [°C]	P= 9 bar ($T_{sat.} = 21,52 \text{ °C}$)				P= 10 bar ($T_{sat.} = 24,89 \text{ °C}$)			
	Volumen Específico [m ³ /Kg]	Energía Interna [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg]	Entropía [KJ/Kg K]	Volumen Específico [m ³ /Kg]	Energía Interna [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg]	Entropía [KJ/Kg K]
Sat.	0,14239	1332,82	1460,97	5,0675	0,12852	1334,66	1463,18	5,0294
30	0,14872	1352,36	1486,20	5,1520	0,13206	1346,82	1478,88	5,0816
40	0,15582	1374,21	1514,45	5,2436	0,13868	1369,52	1508,2	5,1768
50	0,16263	1395,11	1541,47	5,3286	0,14499	1391,07	1536,06	5,2644
60	0,16922	1415,32	1567,61	5,4083	0,15106	1411,79	1562,86	5,3460
80	0,18191	1454,39	1618,11	5,5555	0,16270	1451,60	1614,31	5,4960
100	0,19416	1492,50	1667,24	5,6908	0,17389	1490,20	1664,10	5,6332
120	0,20612	1530,30	1715,81	5,8176	0,18478	1528,35	1713,13	5,7612
140	0,21788	1568,20	1764,29	5,9379	0,19545	1566,51	1761,96	5,8823
160	0,22948	1606,46	1813,00	6,0530	0,20598	1604,97	1810,94	5,9981
180	0,24097	1645,24	1862,12	6,1639	0,21638	1643,91	1860,29	6,1095
200	0,25237	1684,64	1911,77	6,2711	0,22670	1683,44	1910,14	6,2171
Temp [°C]	P= 12 bar ($T_{sat.} = 30,94 \text{ °C}$)				P= 14 bar ($T_{sat.} = 36,26 \text{ °C}$)			
	Volumen Específico [m ³ /Kg]	Energía Interna [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg K]	Volumen Específico [m ³ /Kg]	Energía Interna [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg]	Entropía [KJ/Kg K]
Sat.	0,10751	1337,52	1466,53	4,9625	0,09231	1339,56	1468,79	4,9050
40	0,11287	1359,73	1495,18	5,0553	0,09432	1349,29	1481,33	4,9453
60	0,12378	1404,54	1553,07	5,2347	0,10423	1396,97	1542,89	5,1360
80	0,13387	1445,91	1606,56	5,3906	0,11324	1440,06	1598,59	5,2984
100	0,14347	1485,55	1657,71	5,5315	0,12172	1480,79	1651,20	5,4433
120	0,15275	1524,41	1707,71	5,6620	0,12986	1520,41	1702,21	5,5765
140	0,16181	1563,09	1757,26	5,7850	0,13777	1559,63	1752,52	5,7013
160	0,17072	1601,95	1806,81	5,9021	0,14552	1598,92	1802,65	5,8198
180	0,17950	1641,23	1856,63	6,0145	0,15315	1638,53	1852,94	5,9333
200	0,18819	1681,05	1906,87	6,1230	0,16068	1678,64	1903,59	6,0427
220	0,19680	1721,50	1957,66	6,2282	0,16813	1719,35	1954,73	6,1485
240	0,20534	1762,63	2009,04	6,3303	0,17551	1760,72	2006,43	6,2513
260	0,21382	1804,48	2061,06	6,4297	0,18283	1802,78	2058,75	6,3513
280	0,22225	1847,04	2113,74	6,5267	0,19010	1845,55	2111,69	6,4488

Temp [°C]	P= 16 bar (T _{sat.} = 41,03 °C)				Temp [°C]	P= 18 bar (T _{sat.} = 45,38 °C)			
	Volumen Específico [m ³ /Kg]	Energía Interna [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg]	Entropía [KJ/Kg K]		Volumen Específico [m ³ /Kg]	Energía Interna [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg]	Entropía [KJ/Kg K]
Sat.	0,08079	1340,97	1470,23	4,8542	0,07174	1341,88	1471,01	4,8086	
60	0,08951	1389,06	1532,28	5,0461	0,07801	1380,77	1521,19	4,9627	
80	0,09774	1434,02	1590,40	5,2156	0,08565	1427,79	1581,97	5,1399	
100	0,10539	1475,93	1644,56	5,3648	0,09267	1470,97	1637,78	5,2937	
120	0,11268	1516,34	1696,64	5,5008	0,09931	1512,22	1690,98	5,4326	
140	0,11974	1556,14	1747,72	5,6276	0,10570	1552,61	1742,88	5,5614	
160	0,12663	1595,85	1798,45	5,7475	0,11192	1592,76	1794,23	5,6828	
180	0,13339	1635,81	1849,23	5,8621	0,11801	1633,08	1845,50	5,7985	
200	0,14005	1676,21	1900,29	5,9723	0,12400	1673,78	1896,98	5,9096	
220	0,14663	1717,18	1951,79	6,0789	0,12991	1715,00	1948,83	6,0170	
240	0,15314	1758,79	2003,81	6,1823	0,13574	1756,85	2001,18	6,1210	
260	0,15959	1801,07	2056,42	6,2829	0,14152	1799,35	2054,08	6,2222	
280	0,16599	1844,05	2109,64	6,3809	0,14724	1842,55	2107,58	6,3207	
Temp [°C]	P= 20 bar (T _{sat.} = 49,37 °C)								
	Volumen Específico [m ³ /Kg]	Energía Interna [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg K]					
Sat.	0,06445	1342,37	1471,26	4,7670					
60	0,06875	1372,05	1509,54	4,8838					
80	0,07596	1421,36	1573,27	5,0696					
100	0,08248	1465,89	1630,86	5,2283					
120	0,08861	1508,03	1685,24	5,3703					
140	0,09447	1549,03	1737,98	5,5012					
160	0,10016	1589,65	1789,97	5,6241					
180	0,10571	1630,32	1841,74	5,7409					
200	0,11116	1671,33	1893,64	5,8530					
220	0,11652	1712,82	1945,87	5,9611					
240	0,12182	1754,90	1998,54	6,0658					
260	0,12706	1797,63	2051,74	6,1675					
280	0,13224	1841,03	2105,50	6,2665					

Fuente: [3]

Anexo E: Propiedades termodinámicas refrigerante R134a (líquido-vapor)

Tabla E.1: Propiedades termodinámicas del R134a en estado de saturación (líquido-vapor).

Temp [C°]	Presión [bar]	Volumen específico [m ³ /Kg]		Energía Interna [KJ/Kg]		Entalpía [KJ/Kg]			Entropía [KJ/Kg K]	
		Líquido Sat(*10 ³)	Vapor Sat.	Líquido Sat.	Vapor Sat.	Líquido Sat.	Evap.	Vapor Sat.	Líquido Sat.	Vapor Sat.
-40	0,5164	0,7055	0,3569	-0,04	204,45	0	222,88	222,88	0	0,956
-36	0,6332	0,7113	0,2947	4,68	206,73	4,73	220,67	225,4	0,0201	0,9506
-32	0,7704	0,7172	0,2451	9,47	209,01	9,52	218,37	227,9	0,0401	0,9456
-28	0,9305	0,7233	0,2052	14,31	211,29	14,37	216,01	230,38	0,06	0,9411
-26	1,0199	0,7265	0,1882	16,75	212,43	16,82	214,8	231,62	0,0699	0,939
-24	1,116	0,7296	0,1728	19,21	213,57	19,29	213,57	232,85	0,0798	0,937
-22	1,2192	0,7328	0,159	21,68	214,7	21,77	212,32	234,08	0,0897	0,9351
-20	1,3299	0,7361	0,1464	24,17	215,84	24,26	211,05	235,31	0,0996	0,9332
-18	1,4483	0,7395	0,135	26,67	216,97	26,77	209,76	236,53	0,1094	0,9315
-16	1,5748	0,7428	0,1247	29,18	218,1	29,3	208,45	237,74	0,1192	0,9298
-12	1,854	0,7498	0,1068	34,25	220,36	34,39	205,77	240,15	0,1388	0,9267
-8	2,1704	0,7569	0,0919	39,38	222,6	39,54	203	242,54	0,1583	0,9239
-4	2,5274	0,7644	0,0794	44,56	224,84	44,75	200,15	244,9	0,1777	0,9213
0	2,9282	0,7721	0,0689	49,79	227,06	50,02	197,21	247,23	0,197	0,919
4	3,3765	0,7801	0,06	55,08	229,27	55,35	194,19	249,53	0,2162	0,9169
8	3,8756	0,7884	0,0525	60,43	231,46	60,73	191,07	251,8	0,2354	0,915
12	4,4294	0,7971	0,046	65,83	233,63	66,18	187,85	254,03	0,2545	0,9132
16	5,0416	0,8062	0,0405	71,29	235,78	71,69	184,52	256,22	0,2735	0,9116
20	5,716	0,8157	0,0358	76,8	237,91	77,26	181,09	258,36	0,2924	0,9102
24	6,4566	0,8257	0,0317	82,37	240,01	82,9	177,55	260,45	0,3113	0,9089
26	6,853	0,8309	0,0298	85,18	241,05	85,75	175,73	261,48	0,3208	0,9082
28	7,2675	0,8362	0,0281	88	242,08	88,61	173,89	262,5	0,3302	0,9076
30	7,7006	0,8417	0,0265	90,84	243,1	91,49	172	263,5	0,3396	0,907
32	8,1528	0,8473	0,025	93,7	244,12	94,39	170,09	264,48	0,349	0,9064
34	8,6247	0,853	0,0236	96,58	245,12	97,31	168,14	265,45	0,3584	0,9058
36	9,1168	0,859	0,0223	99,47	246,11	100,25	166,15	266,4	0,3678	0,9053
38	9,6298	0,8651	0,021	102,38	247,09	103,21	164,12	267,33	0,3772	0,9047
40	10,164	0,8714	0,0199	105,3	248,06	106,19	162,05	268,24	0,3866	0,9041
42	10,72	0,878	0,0188	108,25	249,02	109,19	159,94	269,14	0,396	0,9035
44	11,299	0,8847	0,0177	111,22	249,96	112,22	157,79	270,01	0,4054	0,903
48	12,526	0,8989	0,0159	117,22	251,79	118,35	153,33	271,68	0,4243	0,9017
52	13,851	0,9142	0,0142	123,31	253,55	124,58	148,66	273,24	0,4432	0,9004

Temp [C°]	Presión [bar]	Volumen específico [m ³ /Kg]		Energía Interna [KJ/Kg]		Entalpía [KJ/Kg]			Entropía [KJ/Kg K]	
		Líquido Sat(*10 ³)	Vapor Sat.	Líquido Sat.	Vapor Sat.	Líquido Sat.	Evap.	Vapor Sat.	Líquido Sat.	Vapor Sat.
56	15,278	0,9308	0,0127	129,51	255,23	130,93	143,75	274,68	0,4622	0,899
60	16,813	0,9488	0,0114	135,82	256,81	137,42	138,57	275,99	0,4814	0,8973
70	21,162	1,0027	0,0086	152,22	260,15	154,34	124,08	278,43	0,5302	0,8918
80	26,324	1,0766	0,0064	169,88	262,14	172,71	106,41	279,12	0,5814	0,8827
90	32,435	1,1949	0,0046	189,82	261,34	193,69	82,63	276,32	0,638	0,8655
100	39,742	1,5443	0,0027	218,6	248,49	224,74	34,4	259,13	0,7196	0,8117

Fuente: [3]

Anexo F: Propiedades termodinámicas refrigerante R134a sobre-calentado.

Tabla F.1: Propiedades termodinámicas del R134a en estado de vapor sobre-calentado.

Temp [°C]	P= 2,8 bar (T _{sat.} = -1,23 °C)				Volumen Específico [m ³ /Kg]	Energía Interna [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg]	Entropía [KJ/Kg K]
	Volumen Específico [m ³ /Kg]	Energía Interna [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg]	Entropía [KJ/Kg K]				
Sat,	0,07193	226,38	246,52	0,9197	0,06322	228,43	248,66	0,9177
0	0,07240	227,37	247,64	0,9238				
10	0,07613	235,44	256,76	0,9566	0,06576	234,61	255,65	0,9427
20	0,07972	243,59	265,91	0,9883	0,06901	242,87	264,95	0,9749
30	0,08320	251,83	275,12	1,0192	0,07214	251,19	274,28	1,0062
40	0,08660	260,17	284,42	1,0494	0,07518	259,61	283,67	1,0367
50	0,08992	268,64	293,81	1,0789	0,07815	268,14	293,15	1,0665
60	0,09319	277,23	303,32	1,1079	0,08106	276,79	302,72	1,0957
70	0,09641	285,96	312,95	1,1364	0,08392	285,56	312,41	1,1243
80	0,09960	294,82	322,71	1,1644	0,08674	294,46	322,22	1,1525
90	0,10275	303,83	332,60	1,1920	0,08953	303,50	332,15	1,1802
100	0,10587	312,98	342,62	1,2193	0,09229	312,68	342,21	1,2076
120	0,10897	322,27	352,78	1,2461	0,09503	322,00	352,40	1,2345
Temp [°C]	P= 4 bar (T _{sat.} = 8,93 °C)				Volumen Específico [m ³ /Kg]	Energía Interna [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg]	Entropía [KJ/Kg K]
	Volumen Específico [m ³ /Kg]	Energía Interna [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg]	Entropía [KJ/Kg K]				
Sat,	0,05089	231,97	252,32	0,9145	0,04086	235,64	256,07	0,9117
10	0,05119	232,87	253,35	0,9182				
20	0,05397	241,37	262,96	0,9515	0,04188	239,4	260,34	0,9264
30	0,05662	249,89	272,54	0,9837	0,04416	248,2	270,28	0,9597
40	0,05917	258,47	282,14	1,0148	0,04633	256,99	280,16	0,9918
50	0,06164	267,13	291,79	1,0452	0,04842	265,83	290,04	1,0229
60	0,06405	275,89	301,51	1,0748	0,05043	274,73	299,95	1,0531
70	0,06641	284,75	311,32	1,1038	0,05240	283,72	309,92	1,0825
80	0,06873	293,73	321,23	1,1322	0,05432	292,8	319,96	1,1114
90	0,07102	302,84	331,25	1,1602	0,05620	302,0	330,10	1,1397
100	0,07327	312,07	341,38	1,1878	0,05805	311,31	340,33	1,1675
110	0,07550	321,44	351,64	1,2149	0,05988	320,74	350,68	1,1949
120	0,07771	330,94	362,03	1,2417	0,06168	330,3	361,14	1,2218
130	0,07991	340,58	372,54	1,2681	0,06347	339,98	371,72	1,2484
140	0,08208	350,35	383,18	1,2941	0,06524	349,79	382,42	1,2746

Temp [°C]	P= 6 bar (T _{sat.} = 21,58 °C)				Temp [°C]	P= 7 bar (T _{sat.} = 26,72 °C)			
	Volumen Específico [m ³ /Kg]	Energía Interna [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg]	Entropía [KJ/Kg K]		Volumen Específico [m ³ /Kg]	Energía Interna [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg]	Entropía [KJ/Kg K]
Sat,	0,03408	238,74	259,19	0,9097		0,02918	241,42	261,85	0,908
30	0,03581	246,41	267,89	0,9388		0,02979	244,51	265,37	0,9197
40	0,03774	255,45	278,09	0,9719		0,03157	253,83	275,93	0,9539
50	0,03958	264,48	288,23	1,0037		0,03324	263,08	286,35	0,9867
60	0,04134	273,54	298,35	1,0346		0,03482	272,31	296,69	1,0182
70	0,04304	282,66	308,48	1,0645		0,03634	281,57	307,01	1,0487
80	0,04469	291,86	318,67	1,0938		0,03781	290,88	317,35	1,0784
90	0,04631	301,14	328,93	1,1225		0,03924	300,27	327,74	1,1074
100	0,0479	310,53	339,27	1,1505		0,04064	309,74	338,19	1,1358
110	0,04946	320,03	349,7	1,1781		0,04201	319,31	348,71	1,1637
120	0,05099	329,64	360,24	1,2053		0,04335	328,98	359,33	1,191
130	0,05251	339,38	370,88	1,232		0,04468	338,76	370,04	1,2179
140	0,05402	349,23	381,64	1,2584		0,04599	348,66	380,86	1,2444
150	0,0555	359,21	392,52	1,2844		0,04729	358,68	391,79	1,2706
160	0,05698	369,32	403,51	1,31		0,04857	368,82	402,82	1,2963
Temp [°C]	P= 8 bar (T _{sat.} = 31,33 °C)				Temp [°C]	P= 9 bar (T _{sat.} = 35,53 °C)			
	Volumen Específico [m ³ /Kg]	Energía Interna [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg K]		Volumen Específico [m ³ /Kg]	Energía Interna [KJ/Kg]	Entalpía [KJ/Kg]	Entropía [KJ/Kg K]
Sat,	0,02547	243,78	264,15	0,9066		0,02255	245,88	266,18	0,9054
40	0,02691	252,13	273,66	0,9374		0,02325	250,32	271,25	0,9217
50	0,02846	261,62	284,39	0,9711		0,02472	260,09	282,34	0,9566
60	0,02992	271,04	294,98	1,0034		0,02609	269,72	293,21	0,9897
70	0,03131	280,45	305,5	1,0345		0,02738	279,30	303,94	1,0214
80	0,03264	289,89	316,00	1,0647		0,02861	288,87	314,62	1,0521
90	0,03393	299,37	326,52	1,0940		0,02980	298,46	325,28	1,0819
100	0,03519	308,93	337,08	1,1227		0,03095	308,11	335,96	1,1109
110	0,03642	318,57	347,71	1,1508		0,03207	317,82	346,68	1,1392
120	0,03762	328,31	358,40	1,1784		0,03316	327,62	357,47	1,1670
130	0,03881	338,14	369,19	1,2055		0,03423	337,52	368,33	1,1943
140	0,03997	348,09	380,07	1,2321		0,03529	347,51	379,27	1,2211
150	0,04113	358,15	391,05	1,2584		0,03633	357,61	390,31	1,2475
160	0,04227	368,32	402,14	1,2843		0,03736	367,82	401,44	1,2735
170	0,04340	378,61	413,33	1,3098		0,03838	378,14	412,68	1,2992
180	0,04452	389,02	424,63	1,3351		0,03939	388,57	424,02	1,3245

Fuente: [3]

Anexo G: Rutinas de Matlab, para cálculos de carga de enfriamiento del galpón.

Anexo G.1: Instrucciones de uso de las rutinas de cálculo.

A continuación, se presentan las instrucciones para ocupar de forma correcta las rutinas de cálculo destinadas a calcular la carga de enfriamiento del proyecto.

- En primer lugar, se deben bajar los archivos con los datos de radiación solar y temperatura ambiente del lugar, desde la página del Explorador de Energía Solar (<http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar2/>). El archivo con los datos de radiación debe guardarse como “Rad”, mientras que el de temperatura ambiente, como “Temp”.
- Las rutinas “CTS”, “RTSNoSolar” y “RTSSolar”, poseen los coeficientes de las series de tiempos para conducción, radiación no solar y radiación solar. Dichos valores dependen de la materialidad del galpón y se pueden cambiar según la materialidad a considerar.
- La rutina “parámetros” contiene los diferentes parámetros que definen al proyecto de climatización, considerando su localización geográfica y su uso. Dicho parámetros pueden ser cambiados según los diferentes requerimientos.
- Finalmente, al ejecutar la rutina “carga_enfriamiento” aparece una matriz de 24x12, en la cual el número de la fila corresponde a la hora del día, mientras que el número de la columna corresponde al mes del año. La carga de enfriamiento tiene valores de [KW].

Anexo G.2: Rutinas de cálculo

```
function a = azimut_corregido(n)
if n<-180;
    a=360+n;
elseif n>180;
    a=n-360;
elseif n==180;
    a=180;
else
    a=n;
end
```

```
-----
function azimut = azimut_solar(seno, coseno)
angulo = abs(acosd(coseno));
if seno>0 && coseno>0;
    azimut=angulo;
elseif seno>0 && coseno<0;
    azimut=angulo;
elseif seno<0 && coseno<0;
    azimut=-angulo;
elseif seno<0 && coseno>0;
    azimut=-angulo;
elseif seno==0 && coseno>0;
    azimut=0;
elseif seno==0 && coseno<0;
    azimut=180;
elseif seno>0 && coseno==0;
    azimut=90;
elseif seno<0 && coseno==0;
    azimut=-90;
else
    azimut = 0;
end
```

```
-----
function a = carga_enfriamiento()
par=parametros();
Rad=importdata('Rad.csv');
Temp=importdata('Temp.csv');
Coef_CTS=CTS();
RTS_NS=RTSNoSolar();
RTS_S=RTSSolar();
Temp_amb = perfil_temperatura(Temp,95,par(1),par(2),par(3));
Sup = galpon(par(5),par(6),par(7),par(8));
ocup=uso(par(25),par(26));

for j=1:5;
    for i=1:12;

gan_cond(:,i,j)=ganancia_conduccion(Sup(j,1),Sup(j,2),Rad,par(1),par(2),par(3),i,par(10),Temp_amb,par(9),Sup(j,3),21.5,Coef_CTS);
    end
end

gan_paredes=gan_cond(:, :, 1)+gan_cond(:, :, 2)+gan_cond(:, :, 3)+gan_cond(:, :, 4);
gan_techo=gan_cond(:, :, 5);

gan_per_galpon=par(11)*par(13)*ocup;
```

```

gan_per_oficina=par(12)*par(14)*ocup;

gan_ilu_2=par(15)*(par(5)*par(6)-par(4))*ocup;
gan_ilu_1=par(16)*par(4)*ocup;

gan_ofi=par(17)*par(4)*ocup;

gan_techo_rad=par(18)*gan_techo;
gan_techo_conv=(1-par(18))*gan_techo;

gan_paredes_rad=par(19)*gan_paredes;
gan_paredes_conv=(1-par(19))*gan_paredes;

gan_ofi_rad=par(20)*gan_ofi;
gan_ofi_conv=(1-par(20))*gan_ofi;

gan_per_galpon_rad=par(21)*gan_per_galpon;
gan_per_galpon_conv=(1-par(21))*gan_per_galpon;

gan_per_oficina_rad=par(22)*gan_per_oficina;
gan_per_oficina_conv=(1-par(22))*gan_per_oficina;

gan_ilu_1_rad=par(24)*gan_ilu_1;
gan_ilu_1_conv=(1-par(24))*gan_ilu_1;

gan_ilu_2_rad=par(23)*gan_ilu_2;
gan_ilu_2_conv=(1-par(23))*gan_ilu_2;

gan_rad_solar=gan_techo_rad+gan_paredes_rad;
gan_rad_no_solar=gan_ofi_rad+gan_per_galpon_rad+gan_per_oficina_rad+gan_ilu_1_
rad+gan_ilu_2_rad;

for i=1:12;
    gan_conv(:,i)=
gan_techo_conv(:,i)+gan_paredes_conv(:,i)+gan_ofi_conv+gan_per_galpon_conv+gan
_per_oficina_conv+gan_ilu_1_conv+gan_ilu_2_conv;
end

for i=1:12;
    ganancia_solar=gan_rad_solar(:,i);
    carga_rad(:,i)=
carga_radiante(ganancia_solar,RTS_S)+carga_radiante(gan_rad_no_solar,RTS_NS);
end

carga_conv = gan_conv;

carga_enfr=carga_rad+carga_conv;

a=carga_enfr/1000;
-----
function a = carga_radiante(A,RTS)
for i = 1:24;
    for j =1:24;
        b(i,j)=A(hora_corregida(i-j+1))*RTS(j,1);
    end
end
end

```

```
for i=1:24;
    a(i,1)=sum(b(i,:));
end
```

```
function a = CTS()
a(1,1)=0.19;
a(2,1)=0.58;
a(3,1)=0.18;
a(4,1)=0.4;
a(5,1)=0.1;
a(6,1)=0;
a(7,1)=0;
a(8,1)=0;
a(9,1)=0;
a(10,1)=0;
a(11,1)=0;
a(12,1)=0;
a(13,1)=0;
a(14,1)=0;
a(15,1)=0;
a(16,1)=0;
a(17,1)=0;
a(18,1)=0;
a(19,1)=0;
a(20,1)=0;
a(21,1)=0;
a(22,1)=0;
a(23,1)=0;
a(24,1)=0;
```

```
function datos = datos_generales(mes)
if mes==1;
    datos(1)=21;
    datos(2)=-10.6;
    datos(3)=-20.1;
elseif mes==2;
    datos(1)=52;
    datos(2)=-14;
    datos(3)=-11.2;
elseif mes==3;
    datos(1)=80;
    datos(2)=-7.9;
    datos(3)=-0.4;
elseif mes==4;
    datos(1)=111;
    datos(2)=1.2;
    datos(3)=11.6;
elseif mes==5;
    datos(1)=141;
    datos(2)=3.7;
    datos(3)=20.1;
elseif mes==6;
    datos(1)=172;
    datos(2)=-1.3;
    datos(3)=23.4;
elseif mes==7;
    datos(1)=202;
    datos(2)=-6.4;
```

```

        datos(3)=20.4;
elseif mes==8;
        datos(1)=233;
        datos(2)=-3.6;
        datos(3)=11.8;
elseif mes==9;
        datos(1)=264;
        datos(2)=6.9;
        datos(3)=-0.2;
elseif mes==10;
        datos(1)=294;
        datos(2)=15.5;
        datos(3)=-11.8;
elseif mes==11;
        datos(1)=325;
        datos(2)=13.8;
        datos(3)=-20.4;
elseif mes==12;
        datos(1)=355;
        datos(2)=2.2;
        datos(3)=-23.4;
else datos=0;
end

```

```

function datos = datos_solares(lon, lsm, lat, mes)
Dat=datos_generales(mes);
for i = 1:24;
    datos(i,1)=i;
    AST=i+Dat(2)/60+(lon-lsm)/15;
    datos(i,2)=hora_corregida(AST);
    datos(i,3)=15*(datos(i,2)-12);
    senobeta=cosd(lat)*cosd(Dat(3))*cosd(datos(i,3))+sind(lat)*sind(Dat(3));
    datos(i,4)=asind(senobeta);
    SenAzi=sind(datos(i,3))*cosd(Dat(3))/cosd(datos(i,4));
    CosAzi=(cosd(datos(i,3))*cosd(Dat(3))*sind(lat)-
sind(Dat(3))*cosd(lat))/cosd(datos(i,4));
    datos(i,5)=azimut_solar(SenAzi, CosAzi);
end

```

```

function
a=flujo_calor_entrante(AziSup, Inc, Matriz, lon, lsm, lat, mes, Color, T, U, A, Tint)
TempSolAir = temperatura_sol_aire(AziSup, Inc, Matriz, lon, lsm, lat, mes, Color, T);
a = U*A*(TempSolAir-Tint);

```

```

function a = fraccion_rango()
a(1,1)=0.88;
a(2,1)=0.92;
a(3,1)=0.95;
a(4,1)=0.98;
a(5,1)=1;
a(6,1)=0.98;
a(7,1)=0.91;
a(8,1)=0.74;
a(9,1)=0.55;
a(10,1)=0.38;
a(11,1)=0.23;
a(12,1)=0.13;
a(13,1)=0.05;

```

```

a(14,1)=0;
a(15,1)=0;
a(16,1)=0.06;
a(17,1)=0.14;
a(18,1)=0.24;
a(19,1)=0.39;
a(20,1)=0.5;
a(21,1)=0.59;
a(22,1)=0.68;
a(23,1)=0.75;
a(24,1)=0.82;

```

```

function a = galpon(ancho,largo,alto,azimut)
a(1,1)=azimut_corregido(azimut);
a(1,2)=90;
a(1,3)=largo*alto;
a(2,1)=azimut_corregido(azimut+90);
a(2,2)=90;
a(2,3)=ancho*alto;
a(3,1)=azimut_corregido(azimut+180);
a(3,2)=90;
a(3,3)=largo*alto;
a(4,1)=azimut_corregido(azimut+270);
a(4,2)=90;
a(4,3)=ancho*alto;
a(5,1)=0;
a(5,2)=0;
a(5,3)=ancho*largo;

```

```

function a =
ganancia_conduccion(AziSup,Inc,Matriz,lon,lsm,lat,mes,Color,T,U,A,Tint,MatrizC
oef)
Input =
flujo_calor_entrante(AziSup,Inc,Matriz,lon,lsm,lat,mes,Color,T,U,A,Tint);
for i = 1:24;
    for j =1:24;
        b(i,j)=Input(hora_corregida(i-j+1))*MatrizCoef(j,1);
    end
end
for i=1:24;
    a(i,1)=sum(b(i,:));
end

```

```

function hora = hora_corregida(n)
if n<0;
    hora = 24+n;
elseif n > 24;
    hora = n-24;
elseif n == 0;
    hora=24;
else hora=n;
end

```

```

function a = MCDR(A,mes,porcentaje)
Rango = rango_temperatura(A,mes);
datosmes = temperatura_mes(A,mes);
Temp = temperatura_diseno(datosmes,porcentaje);
tamano = size(Rango);

```

```

largo = tamano(1);
j=1;
for i = 1:largo;
    if Rango(i,2)>=Temp;
        Dif(j)=Rango(i,2)-Rango(i,1);
        j=j+1;
    end
end
a = mean(Dif);

```

```

function a = parametros
%Parametros ubicacion del proyecto climatizacion
%lon = longitud geográfica, [°].
%lsm = longitud meridiano de hora estandar, [°].
%lat= latitud geografica, [°].
lon=-70.32;
lsm=-60;
lat=-23.78;

%Parametros de galpon a climatizar
%SupOficina = Superficie interior dedicada a oficina.
%ancho = ancho del galpon, [m].
%largo = largo del galpon, [m]
%azimuth = orientacion de lado largo del largo, [°].
%U = coeficiente global de transferencia de calor, [W/m2K].
%color = color superficie externa galpon, 1 si es oscuro, 0 si es claro.
SupOficina=20;
ancho = 15;
largo = 30;
alto = 5;
azimuth = 0;
U = 0.420;
color=1;

%Parametros de uso del galpon
%n_galpon = trabajadores del galpon, excluida la oficina.
%n_oficina = trabajadores que estan en la oficina.
%hr_in = hora de inicio de actividades en el galpon;
%hr_fin = hora de finalizacion de actividades en el galpon;
n_galpon=12;
n_oficina=3;
hr_in=8;
hr_fin=20;

%Parametros ganancias térmica referencia
%per_galpon = ganancia referencial debido personas en galpon [W/persona]
%per_oficina = ganancia referencial debido a personas en oficina [W/persona].
%ilum_galpon = ganancia referencial debido a iluminacion en galpon [w/m2]
%ilum_oficina = ganancia referencial debido a iluminacion en la oficina [w/m2]
%apar_oficina = ganancia referencial debido a uso de aparatos electronicos en
oficina [W/m2]
per_galpon=170;
per_oficina=70;
ilum_galpon=12.92;
ilum_oficina=11.84;
apar_oficina=5.4;

%Fraccion radiativa para las diferentes ganancia térmicas

```



```

%f_techo = fracción radiativa ganancia por conduccion a traves del techo
%f_paredes = fracción radiativa ganancia por conduccion a traves de paredes
%f_oficina = fracción radiativa ganancia debido a aparatos de oficina
%f_per_galpon = fracción radiativa ganancia debido personas galpon
%f_per_oficina = fracción radiativa ganancia debido personas oficina
%f_ilum_galpon = fracción radiativa ganancia debido iluminacion galpon
%f_ilum_oficina = fracción radiativa ganancia debido iluminacion oficina
f_techo = 0.6;
f_paredes = 0.46;
f_oficina = 0.1;
f_per_galpon = 0.54;
f_per_oficina = 0.58;
f_ilum_galpon = 0.75;
f_ilum_oficina = 0.7;

```

```

a(1)=lon; a(2)=lsm; a(3)=lat; a(4)=SupOficina; a(5)=ancho; a(6)=largo;
a(7)=alto; a(8)=azimuth; a(9)=U; a(10)=color; a(11)=n_galpon;
a(12)=n_oficina; a(13)=per_galpon; a(14)=per_oficina; a(15)=ilum_galpon;
a(16)=ilum_oficina; a(17)=apar_oficina; a(18)=f_techo; a(19)=f_paredes;
a(20)=f_oficina; a(21)=f_per_galpon; a(22)=f_per_oficina;
a(23)=f_ilum_galpon; a(24)=f_ilum_oficina; a(25)=hr_in; a(26)=hr_fin;

```

```

function a = perfil_radiacion(Matriz,mes)
Tamano = size(Matriz);
largo = Tamano(1);
Rad=zeros(24,2);
for i =1:largo;
    if Matriz(i,2) == mes && Matriz(i,3)== 21 && Matriz(i,5)== 0;
        if Matriz(i,4)== 0;
            n=24;
        else n=Matriz(i,4);
        end
        Rad(n,1)=Rad(n,1)+Matriz(i,7);
        Rad(n,2)=Rad(n,2)+1;
    end
end
for i=1:24;
    a(i,1)=Rad(i,1)/Rad(i,2);
end

```

```

function a = perfil_temperatura(A,porcentaje,lon,lsm,lat)
for i = 1:12;
    TempeMes = temperatura_mes(A,i);
    TempeDis(1,i) = temperatura_diseno(TempeMes,porcentaje);
end
for i = 1:12;
    rango(1,i)=MCDR(A,i,porcentaje);
end
for i=1:12;
    Datos=datos_solares(lon,lsm,lat,i);
    AST(:,i)=Datos(:,2);
end
frac=fraccion_rango();
for i = 1:12;
    for j= 1:24
        a(j,i)=TempeDis(1,i) -
frac((hora_corregida(round(AST(j,i))))),1)*rango(1,i);
    end
end

```

end

```
-----  
function a = radiacion_superficie(AziSup, Inc, Matriz, lon, lsm, lat, mes)  
Rad = perfil_radiacion(Matriz, mes);  
datos = datos_solares(lon, lsm, lat, mes);  
DifAng = datos(:, 5) - AziSup;  
cosphi = cosd(datos(:, 4)) .* cosd(DifAng) .* sind(Inc) + sind(datos(:, 4)) .* cosd(Inc);  
cosphihor = sind(datos(:, 4));  
FracDir = 0.84;  
RadDir = FracDir * Rad;  
RadRayo = RadDir ./ cosphihor;  
RadDirSup = RadRayo .* cosphi;  
Y = max(0.45, 0.55 + 0.437 * cosphi + 0.313 * cosphi .* cosphi);  
RadDifSup = (1 - FracDir) * Rad .* Y;  
RadSueloSup = 0.2 * (RadRayo .* sind(datos(:, 4)) + (1 - FracDir) * Rad) * (1 - cosd(Inc)) / 2;  
for i = 1:24  
    if Inc == 0;  
        a(i, 1) = Rad(i, 1);  
    elseif DifAng(i) > 90 || DifAng(i) < -90;  
        a(i, 1) = 0;  
    elseif RadDirSup(i) < 0;  
        a(i, 1) = RadDifSup(i) + RadSueloSup(i);  
    else a(i, 1) = RadDirSup(i) + RadDifSup(i) + RadSueloSup(i);  
    end  
end
```

end

```
-----  
function a = rango_temperatura(A, mes)  
tamano = size(A);  
largo = tamano(1);  
j = 1;  
for i = 1:largo-1;  
    if A(i, 2) == mes;  
        datos(j, hora_corregida(A(i, 4))) = A(i, 8);  
        if A(i, 3) ~= A(i+1, 3);  
            j = j + 1;  
        else  
            j = j;  
        end  
    end  
end  
tamano = size(datos);  
largo = tamano(1);  
for i = 1:largo;  
    a(i, 1) = min(datos(i, :));  
    a(i, 2) = max(datos(i, :));  
end
```

end

```
-----  
function a = RTSNoSolar()  
a(1, 1) = 0.46;  
a(2, 1) = 0.19;  
a(3, 1) = 0.11;  
a(4, 1) = 0.06;  
a(5, 1) = 0.04;  
a(6, 1) = 0.03;  
a(7, 1) = 0.02;  
a(8, 1) = 0.02;  
a(9, 1) = 0.1;  
a(10, 1) = 0.1;
```

```

a(11,1)=0.1;
a(12,1)=0.1;
a(13,1)=0.1;
a(14,1)=0.1;
a(15,1)=0.1;
a(16,1)=0;
a(17,1)=0;
a(18,1)=0;
a(19,1)=0;
a(20,1)=0;
a(21,1)=0;
a(22,1)=0;
a(23,1)=0;
a(24,1)=0;

```

```

function a = RTSSolar()

```

```

a(1,1)=0.53;
a(2,1)=0.17;
a(3,1)=0.09;
a(4,1)=0.05;
a(5,1)=0.03;
a(6,1)=0.02;
a(7,1)=0.02;
a(8,1)=0.01;
a(9,1)=0.01;
a(10,1)=0.01;
a(11,1)=0.01;
a(12,1)=0.01;
a(13,1)=0.01;
a(14,1)=0.01;
a(15,1)=0.01;
a(16,1)=0.01;
a(17,1)=0;
a(18,1)=0;
a(19,1)=0;
a(20,1)=0;
a(21,1)=0;
a(22,1)=0;
a(23,1)=0;
a(24,1)=0;

```

```

function a = temperatura_diseno(A,porcentaje)
a = prctile(A,porcentaje);

```

```

function a = temperatura_mes(A,mes)

```

```

tamano = size(A);
largo = tamano(1);
j=1;
for i=1:largo;
    if A(i,2)==mes;
        a(j)=A(i,8);
        j=j+1;
    end
end

```

```

function a = temperatura_sol_aire(AziSup,Inc,Matriz,lon,lsm,lat,mes,Color,T)
RadSup = radiacion_superficie(AziSup,Inc,Matriz,lon,lsm,lat,mes);
if Color == 0;

```

```
        alfa = 0.026;
elseif Color==1;
        alfa = 0.052;
else alfa = 0;
end
if Inc == 0;
        beta = -4;
elseif Inc == 90;
        beta = 0;
else beta = 0;
end
a = T(:,mes) + alfa*RadSup + beta;
```

```
function a = uso(inicio,salida)
for i=1:24;
    if inicio <= i && i <= salida;
        a(i,1)=1;
    else a(i,1)=0;
    end
end
end
```

Anexo H: Rutinas de Matlab, para cálculos de ciclos termodinámicos.

Anexo H.1: Instrucciones de uso de las rutinas de cálculo.

A continuación, se presentan las instrucciones para ocupar de forma correcta las rutinas de cálculo destinadas a determinar los ciclos termodinámicos.

- En primer lugar, se debe tener habilitado el uso de las rutinas de la sección anterior, para ocupar éstas, ya sea dejando todos los archivos en la misma carpeta o dejando ambas carpetas en la ruta de archivos utilizables.
- Para determinar los puntos del ciclo de amoniaco con agua, se debe ejecutar la rutina `ciclo_amoniaco_agua`. En las dos primeras líneas, se puede cambiar las fracciones másicas de la mezcla fuerte y débil.
- Para determinar los puntos del ciclo de agua con bromuro de litio, se debe ejecutar la rutina `ciclo_agua_bromuro_litio`. En las dos primeras líneas, se puede cambiar las fracciones másicas de la mezcla fuerte y débil.
- El resultado muestra una matriz, en las cuales desde la fila 1 a la 10 aparecen las propiedades de los diferentes puntos de operación, según la Figura 3.5. La columna 1, representa la número del punto de operación, la columna 2 representa la presión del fluido medida en [Kpa], la columna 3 hace referencia a la temperatura en [°C], mientras que la columna 4 muestra la temperatura de saturación en las mismas unidades. Finalmente, la columna 5 muestra el valor de entalpía medida en [KJ/Kg].
- La fila 12, muestra los flujos del ciclo termodinámico. La columna 1 muestra el valor del flujo de refrigerante puro, la columna 2 muestra el flujo de la mezcla rica en refrigerante, mientras que la 3 hace referencia al flujo de la mezcla pobre en refrigerante. Todos los flujos están medidos en [Kg/s].
- Finalmente, la fila 13 muestra el flujo de calor o potencia de los componentes del sistema. La columna 1 muestra el flujo de calor en el condensador, la columna 2 en el evaporador, la 3 en el absorbedor, por el lado de la columna 4 este muestra la potencia requerida en la bomba. Finalmente la columna 5, muestra el flujo de calor en el generador.

Anexo H.2: Rutinas de cálculo

```
function a = agua_sobrecalentado(temp,presion)
datos=datos_agua_sobrecalentado();
tamano=size(datos);
fila=tamano(1);
columna=tamano(2);
n=columna/2;
Ind=1;
for i=1:n-1;
    if datos(1,2*i-1)<= presion && datos(1,2*i+1)>=presion;
        Ind=i;
    else
        Ind=Ind;
    end
end
P1=datos(1,2*Ind-1);
P2=datos(1,2*Ind+1);
T1=datos(2,2*Ind-1);
T2=datos(3,2*Ind-1);
H1=datos(2,2*Ind);
H2=datos(3,2*Ind);
for i=2:fila-1;
    if datos(i,2*Ind-1)<=temp && datos(i+1,2*Ind-1)>=temp;
        T1=datos(i,2*Ind-1);
        T2=datos(i+1,2*Ind-1);
        H1=datos(i,2*Ind);
        H2=datos(i+1,2*Ind);
    else
        T1=T1;
        T2=T2;
        H1=H1;
        H2=H2;
    end
end
T3=datos(2,2*Ind+1);
T4=datos(3,2*Ind+1);
H3=datos(2,2*Ind+2);
H4=datos(3,2*Ind+2);
for i=2:fila-1;
    if datos(i,2*Ind+1)<=temp && datos(i+1,2*Ind+1)>=temp;
        T3=datos(i,2*Ind+1);
        T4=datos(i+1,2*Ind+1);
        H3=datos(i,2*Ind+2);
        H4=datos(i+1,2*Ind+2);
    else
        T3=T3;
        T4=T4;
        H3=H3;
        H4=H4;
    end
end
Ent1=H1+(temp-T1)*(H2-H1)/(T2-T1);
Ent2=H3+(temp-T3)*(H4-H3)/(H4-H3);
a=Ent1+(presion-P1)/(P2-P1)*(Ent2-Ent1);
-----
function a = agua_temp(temp)
datos=curva_saturacion_agua;
```

```

tamano=size(datos);
largo=tamano(2);
ind1=1;
ind2=2;
for i=1:largo-1;
    if datos(1,i)<=temp && datos(1,i+1)>temp;
        ind1=i;
        ind2=i+1;
        break
    end
end
for i=1:4;
    a(i)=datos(i+1,ind1)+(datos(i+1,ind2)-datos(i+1,ind1))*(temp-
datos(1,ind1))/(datos(1,ind2)-datos(1,ind1));
end
a(1)=a(1)*100;
a(2)=a(2)*1e-3;

```

```

function a = amoniaco(Temp)
b=coef_aroniaco;
for i=1:7;
    presion(i)=1000*b(i,1)*(Temp)^(i-1);
    entalpialiquido(i)=b(i,2)*(Temp)^(i-1);
    entalpiavapor(i)=b(i,3)*(Temp)^(i-1);
end
a(1)=sum(presion);
a(2)=sum(entalpialiquido);
a(3)=sum(entalpiavapor);

```

```

function a = amoniaco_sobrecalentado(temp,presion)
datos=datos_aroniaco_sobrecalentado();
tamano=size(datos);
fila=tamano(1);
columna=tamano(2);
n=columna/2;
Ind=1;
for i=1:n-1;
    if datos(1,2*i-1)<= presion && datos(1,2*i+1)>=presion;
        Ind=i;

        else
            Ind=Ind;
        end
end
P1=datos(1,2*Ind-1);
P2=datos(1,2*Ind+1);
T1=datos(2,2*Ind-1);
T2=datos(3,2*Ind-1);
H1=datos(2,2*Ind);
H2=datos(3,2*Ind);
for i=2:fila-1;
    if datos(i,2*Ind-1)<=temp && datos(i+1,2*Ind-1)>=temp;
        T1=datos(i,2*Ind-1);
        T2=datos(i+1,2*Ind-1);
        H1=datos(i,2*Ind);
        H2=datos(i+1,2*Ind);
    else
        T1=T1;
    end
end

```

```

        T2=T2;
        H1=H1;
        H2=H2;
    end
end
T3=datos(2,2*Ind+1);
T4=datos(3,2*Ind+1);
H3=datos(2,2*Ind+2);
H4=datos(3,2*Ind+2);
for i=2:fila-1;
    if datos(i,2*Ind+1)<=temp && datos(i+1,2*Ind+1)>=temp;
        T3=datos(i,2*Ind+1);
        T4=datos(i+1,2*Ind+1);
        H3=datos(i,2*Ind+2);
        H4=datos(i+1,2*Ind+2);
    else
        T3=T3;
        T4=T4;
        H3=H3;
        H4=H4;
    end
end
Ent1=H1+(temp-T1)*(H2-H1)/(T2-T1);
Ent2=H3+(temp-T3)*(H4-H3)/(H4-H3);
a=Ent1+(presion-P1)/(P2-P1)*(Ent2-Ent1);

```

```

function a = ciclo_agua_bromuro_litio
frac_LiBr_alta=55;
frac_LiBr_baja=45;
temp_baja=14.5;
datos_temp=importdata('Temp.csv');
temp=temperatura_diseno(datos_temp,99);
temp_alta=temp(8);
frac_agua_alta=1-frac_LiBr_baja;
frac_agua_baja=1-frac_LiBr_alta;
rel_flujos=(100-frac_agua_alta)/(100-frac_agua_baja);
agua_sat_temp_alta=agua_temp(temp_alta);
agua_sat_temp_baja=agua_temp(temp_baja);
datos_carga=carga_enfriamiento();
carga=max(max(datos_carga));
for i=1:10;
    a(i,1)=i;
end
a(1,2)=agua_sat_temp_alta(1);
a(2,2)=agua_sat_temp_alta(1);
a(7,2)=agua_sat_temp_alta(1);
a(8,2)=agua_sat_temp_alta(1);
a(9,2)=agua_sat_temp_alta(1);
a(3,2)=agua_sat_temp_baja(1);
a(4,2)=agua_sat_temp_baja(1);
a(5,2)=agua_sat_temp_baja(1);
a(6,2)=agua_sat_temp_alta(1);
a(10,2)=agua_sat_temp_baja(1);
a(2,3)=temp_alta;
a(3,3)=temp_baja;
a(4,3)=temp_baja;
a(1,4)=temp_alta;
a(2,4)=temp_alta;
a(3,4)=temp_baja;

```



```

a(4,4)=temp_baja;
a(2,5)=agua_sat_temp_alta(3);
a(3,5)=a(2,5);
a(4,5)=agua_sat_temp_baja(4);
a(5,3)=sol_agua_bromurolitio_temp_sol(frac_LiBr_baja,temp_baja);
a(5,4)=a(5,3);
a(5,5)=sol_agua_bromurolitio_entalpia(frac_LiBr_baja,a(5,3));
densidad_5=sol_agua_bromurolitio_densidad(frac_LiBr_baja,a(5,3));
a(6,3)=a(5,3);
a(6,4)=sol_agua_bromurolitio_temp_sol(frac_LiBr_baja,temp_alta);
a(6,5)=a(5,5)+(a(6,2)-a(5,2))/densidad_5;
a(8,3)=sol_agua_bromurolitio_temp_sol(frac_LiBr_alta,temp_alta);
a(8,4)=a(8,3);
a(8,5)=sol_agua_bromurolitio_entalpia(frac_LiBr_alta,a(8,3));
a(1,3)=a(8,3);
a(1,5)=agua_sobrecalentado(a(1,3),a(1,2));
a(9,3)=0.7*a(6,3)+(1-0.7)*a(8,3);
a(9,4)=a(8,3);
densidad_9=sol_agua_bromurolitio_densidad(frac_LiBr_alta,a(9,3));
a(9,5)=sol_agua_bromurolitio_entalpia(frac_LiBr_alta,a(9,3))+(a(9,2)-
sol_agua_bromurolitio_psat(temp_alta))/densidad_9;
a(10,4)=sol_agua_bromurolitio_temp_sol(frac_LiBr_alta,temp_baja);
a(10,5)=a(9,5);
entalpia_10=sol_agua_bromurolitio_entalpia(frac_LiBr_alta,a(10,4));
if entalpia_10 > a(10,5);
    temp_10=a(10,4);
    entalpia_10_real=entalpia_10;
    densidad_10_real=sol_agua_bromurolitio_densidad(frac_LiBr_alta,temp_10);
    while entalpia_10_real > a(10,5);
        temp_10=temp_10-1;

densidad_10_real=sol_agua_bromurolitio_densidad(frac_LiBr_alta,temp_10);

entalpia_10_real=sol_agua_bromurolitio_entalpia(frac_LiBr_alta,temp_10)+(a(10,
2)-sol_agua_bromurolitio_psat(temp_baja))/densidad_10_real;
    end
    a(10,3)=temp_10;
else a(10,3)=a(10,4);
end
a(7,5)=a(6,5)+rel_flujos*(a(8,5)-a(9,5));
a(7,4)=a(6,4);
entalpia_7=sol_agua_bromurolitio_entalpia(frac_LiBr_baja,a(7,4));
if entalpia_7 > a(7,5);
    temp_7=a(7,4);
    entalpia_7_real=entalpia_7;
    densidad_7_real=sol_agua_bromurolitio_densidad(frac_LiBr_baja,temp_7);
    while entalpia_7_real > a(7,5);
        temp_7=temp_7-1;
        densidad_7_real=sol_agua_bromurolitio_densidad(frac_LiBr_baja,temp_7);

entalpia_7_real=sol_agua_bromurolitio_entalpia(frac_LiBr_baja,temp_7)+(a(7,2)-
sol_agua_bromurolitio_psat(temp_alta))/densidad_7_real;
    end
    a(7,3)=temp_7;
else a(7,3)=a(7,4);
end
flujo=carga/(a(4,5)-a(3,5));
flujo_agua_alta=(100-frac_agua_baja)/(frac_agua_alta-frac_agua_baja)*flujo;
flujo_agua_baja=(100-frac_agua_alta)/(frac_agua_alta-frac_agua_baja)*flujo;

```

```

a(12,1)=flujo;
a(12,2)=flujo_agua_alta;
a(12,3)=flujo_agua_baja;
a(13,1)=flujo*(a(1,5)-a(2,5));
a(13,2)=carga;
a(13,3)=flujo*a(4,5)+flujo_agua_baja*a(10,5)-flujo_agua_alta*a(5,5);
a(13,4)=flujo_agua_alta*(a(6,5)-a(5,5));
a(13,5)=flujo*a(1,5)+flujo_agua_baja*a(8,5)-flujo_agua_alta*a(7,5);

```

```

function a = ciclo_amoniaco_agua
frac_amoniaco_alta=0.55;
frac_amoniaco_baja=0.45;
temp_baja=14.5;
datos_temp=importdata('Temp.csv');
temp=temperatura_diseno(datos_temp,99);
temp_alta=temp(8);
datos_carga=carga_enfriamiento();
carga=max(max(datos_carga));
rel_flujos=(1-frac_amoniaco_baja)/(1-frac_amoniaco_alta);
amoniaco_sat_temp_alta=amoniaco(temp_alta);
amoniaco_sat_temp_baja=amoniaco(temp_baja);
for i=1:10;
    a(i,1)=i;
end
a(1,2)=amoniaco_sat_temp_alta(1);
a(2,2)=amoniaco_sat_temp_alta(1);
a(7,2)=amoniaco_sat_temp_alta(1);
a(8,2)=amoniaco_sat_temp_alta(1);
a(9,2)=amoniaco_sat_temp_alta(1);
a(3,2)=amoniaco_sat_temp_baja(1);
a(4,2)=amoniaco_sat_temp_baja(1);
a(5,2)=amoniaco_sat_temp_baja(1);
a(6,2)=amoniaco_sat_temp_alta(1);
a(10,2)=amoniaco_sat_temp_baja(1);
a(2,3)=temp_alta;
a(3,3)=temp_baja;
a(4,3)=temp_baja;
a(1,4)=temp_alta;
a(2,4)=temp_alta;
a(3,4)=temp_baja;
a(4,4)=temp_baja;
a(2,5)=amoniaco_sat_temp_alta(2);
a(3,5)=a(2,5);
a(4,5)=amoniaco_sat_temp_baja(3);
a(5,3)=sol_amoniaco_agua_temp(a(5,2),frac_amoniaco_alta);
a(5,4)=a(5,3);
pto_5=sol_amoniaco_agua(a(5,3),frac_amoniaco_alta);
a(5,5)=pto_5(2);
vol_5=sol_amoniaco_agua_vol(a(5,3),frac_amoniaco_alta);
a(6,3)=a(5,3);
a(6,4)=sol_amoniaco_agua_temp(a(6,2),frac_amoniaco_alta);
a(6,5)=a(5,5)+(a(6,2)-a(5,2))*vol_5;
a(8,3)=sol_amoniaco_agua_temp(a(8,2),frac_amoniaco_baja);
a(8,4)=a(8,3);
pto_8=sol_amoniaco_agua(a(8,3),frac_amoniaco_baja);
a(8,5)=pto_8(2);
a(1,3)=a(8,3);
a(1,5)=agua_sobrecalentado(a(1,3),a(1,2));
a(9,3)=0.7*a(6,3)+(1-0.7)*a(8,3);

```

```

a(9,4)=a(8,3);
vol_9=sol_amoniacos_agua_vol(a(9,3),frac_amoniacos_baja);
pto_9=sol_amoniacos_agua(a(9,3),frac_amoniacos_baja);
a(9,5)=pto_9(2)+(a(9,2)-pto_9(1))*vol_9;
a(10,4)=sol_amoniacos_agua_temp(a(10,2),frac_amoniacos_baja);
a(10,5)=a(9,5);
pto_10=sol_amoniacos_agua(a(10,4),frac_amoniacos_baja);
entalpia_10=pto_10(2);
if entalpia_10 > a(10,5);
    temp_10=a(10,4);
    entalpia_10_real=entalpia_10;
    vol_10_real=sol_amoniacos_agua_vol(temp_10,frac_amoniacos_baja);
    while entalpia_10_real > a(10,5);
        temp_10=temp_10-1;
        vol_10_real=sol_amoniacos_agua_vol(temp_10,frac_amoniacos_baja);
        pto_10=sol_amoniacos_agua(temp_10,frac_amoniacos_baja);
        entalpia_10_real=pto_10(2)+(a(10,2)-pto_10(1))*vol_10_real;
    end
    a(10,3)=temp_10;
else a(10,3)=a(10,4);
end
a(7,5)=a(6,5)+rel_flujos*(a(8,5)-a(9,5));
a(7,4)=a(6,4);
pto_7=sol_amoniacos_agua(a(7,4),frac_amoniacos_alta);
entalpia_7=pto_7(2);
if entalpia_7 > a(7,5);
    temp_7=a(7,4);
    entalpia_7_real=entalpia_7;
    vol_7_real=sol_amoniacos_agua_vol(temp_7,frac_amoniacos_alta);
    while entalpia_7_real > a(7,5);
        temp_7=temp_7-1;
        vol_7_real=sol_amoniacos_agua_vol(temp_7,frac_amoniacos_alta);
        pto_7=sol_amoniacos_agua(temp_7,frac_amoniacos_alta);
        entalpia_7_real=pto_7(2)+(a(7,2)-pto_7(1))*vol_7_real;
    end
    a(7,3)=temp_7;
else a(7,3)=a(7,4);
end
flujo=carga/(a(4,5)-a(3,5));
flujo_amoniacos_alto=(1-frac_amoniacos_baja)/(frac_amoniacos_alta-
frac_amoniacos_baja)*flujo;
flujo_amoniacos_bajo=(1-frac_amoniacos_alta)/(frac_amoniacos_alta-
frac_amoniacos_baja)*flujo;
a(12,1)=flujo;
a(12,2)=flujo_amoniacos_alto;
a(12,3)=flujo_amoniacos_bajo;
a(13,1)=flujo*(a(1,5)-a(2,5));
a(13,2)=carga;
a(13,3)=flujo*a(4,5)+flujo_amoniacos_bajo*a(10,5)-flujo_amoniacos_alto*a(5,5);
a(13,4)=flujo_amoniacos_alto*(a(6,5)-a(5,5));
a(13,5)=flujo*a(1,5)+flujo_amoniacos_bajo*a(8,5)-flujo_amoniacos_alto*a(7,5);
-----
function a = coef_amoniacos()
a(1,1)=4.2871e-1;
a(2,1)=1.6001e-2;
a(3,1)=2.3652e-4;
a(4,1)=1.6132e-6;
a(5,1)=2.4303e-9;
a(6,1)=-1.2494e-11;

```

```
a(7,1)=1.2741e-13;
a(1,2)=1.9879e2;
a(2,2)=4.4644e0;
a(3,2)=6.2790e-3;
a(4,2)=1.4591e-4;
a(5,2)=-1.5262e-6;
a(6,2)=-1.8069e-8;
a(7,2)=1.9054e-10;
a(1,3)=1.4633e3;
a(2,3)=1.2839e0;
a(3,3)=-1.1501e-2;
a(4,3)=-2.1523e-4;
a(5,3)=1.9055e-6;
a(6,3)=2.5608e-8;
a(7,3)=-2.5964e-10;
```

```
function a = coef_amoniaco_vol()
```

```
a(1,1)=9.9842e-4;
a(2,1)=-7.8161e-8;
a(3,1)=8.7601e-9;
a(4,1)=-3.9076e-11;
a(1,2)=3.54894e-4;
a(2,2)=5.2261e-6;
a(3,2)=-8.4137e-8;
a(4,2)=6.4816e-10;
a(1,3)=-1.2006e-4;
a(2,3)=-1.0567e-5;
a(3,3)=2.4056e-7;
a(4,3)=-1.9851e-9;
a(1,4)=3.2426e-4;
a(2,4)=9.889e-6;
a(3,4)=-1.8715e-7;
a(4,4)=1.7727e-9;
```

```
function a = coef_sol_agua_bromurolitio
```

```
a(1,1)=-2.00755;
a(1,2)=0.16976;
a(1,3)=-3.133362e-3;
a(1,4)=1.97668e-5;
a(2,1)=124.937;
a(2,2)=-7.71649;
a(2,3)=0.152286;
a(2,4)=-7.95090e-4;
```

```
function a = coef_sol_agua_bromurolitio_densidad
```

```
a(1,1)= 9.99100e2;
a(1,2)=7.74931;
a(1,3)=5.36509e-3;
a(1,4)=1.34988e-3;
a(1,5)=-3.08671e-6;
a(2,1)=-2.39865e-2;
a(2,2)=-1.28346e-2;
a(2,3)=2.07232e-4;
a(2,4)=-9.08213e-6;
a(2,5)=9.94788e-8;
a(3,1)=-3.90453e-3;
a(3,2)=-5.55855e-5;
a(3,3)=1.09879e-5;
```

```
a(3,4)=-2.39834e-7;  
a(3,5)=1.53514e-9;
```

```
-----  
function a = coef_sol_agua_bromurolitio_entalpia
```

```
a(1,1)=-2024.33;  
a(1,2)=163.309;  
a(1,3)=-4.88161;  
a(1,4)=6.302948e-2;  
a(1,5)=-2.913705e-4;  
a(2,1)=18.2829;  
a(2,2)=-1.1691757;  
a(2,3)=3.248041e-2;  
a(2,4)=-4.034184e-4;  
a(2,5)=1.8520569e-6;  
a(3,1)=-3.7008214e-2;  
a(3,2)=2.8877666e-3;  
a(3,3)=-8.1313015e-5;  
a(3,4)=9.9116628e-7;  
a(3,5)=-4.4441207e-9;
```

```
-----  
function a = coef_sol_amoniaco_agua()
```

```
a(1,1)=-7.61080e0;  
a(2,1)=2.56905e1;  
a(3,1)=-2.47092e2;  
a(4,1)=3.25952e2;  
a(5,1)=-1.58854e2;  
a(6,1)=6.19084e1;  
a(7,1)=1.14314e1;  
a(8,1)=1.18157e0;  
a(9,1)=2.84179e0;  
a(10,1)=7.41609e0;  
a(11,1)=8.91844e2;  
a(12,1)=-1.61309e3;  
a(13,1)=6.22106e2;  
a(14,1)=-2.07588e2;  
a(15,1)=-6.87393e0;  
a(16,1)=3.50716e0;  
a(1,2)=0;  
a(2,2)=0;  
a(3,2)=0;  
a(4,2)=0;  
a(5,2)=0;  
a(6,2)=0;  
a(7,2)=1;  
a(8,2)=1;  
a(9,2)=2;  
a(10,2)=3;  
a(11,2)=5;  
a(12,2)=5;  
a(13,2)=5;  
a(14,2)=6;  
a(15,2)=6;  
a(16,2)=8;  
a(1,3)=1;  
a(2,3)=4;  
a(3,3)=8;  
a(4,3)=9;  
a(5,3)=12;
```

```

a(6,3)=14;
a(7,3)=0;
a(8,3)=1;
a(9,3)=1;
a(10,3)=3;
a(11,3)=3;
a(12,3)=4;
a(13,3)=5;
a(14,3)=2;
a(15,3)=4;
a(16,3)=0;

```

```

function a = coef_sol_amoniaco_agua_vol()

```

```

a(1,1)=9.9842e-4;
a(2,1)=-7.8161e-8;
a(3,1)=8.7601e-9;
a(4,1)=-3.9076e-11;
a(1,2)=3.54894e-4;
a(2,2)=5.2261e-6;
a(3,2)=-8.4137e-8;
a(4,2)=6.4816e-10;
a(1,3)=-1.2006e-4;
a(2,3)=-1.0567e-5;
a(3,3)=2.4056e-7;
a(4,3)=-1.9851e-9;
a(1,4)=3.2426e-4;
a(2,4)=9.889e-6;
a(3,4)=-1.8715e-7;
a(4,4)=1.7727e-9;

```

```

function a = curva_saturacion_agua()

```

```

a(1,1)=0.01; a(2,1)=0.00611; a(3,1)=1.0002; a(4,1)=0.01; a(5,1)=2501.4;
a(1,2)=4; a(2,2)=0.00813; a(3,2)=1.0001; a(4,2)=16.78; a(5,2)=2508.7;
a(1,3)=5; a(2,3)=0.00872; a(3,3)=1.0001; a(4,3)=20.98; a(5,3)=2510.6;
a(1,4)=6; a(2,4)=0.00935; a(3,4)=1.0001; a(4,4)=25.20; a(5,4)=2512.4;
a(1,5)=8; a(2,5)=0.01072; a(3,5)=1.0002; a(4,5)=33.60; a(5,5)=2516.1;
a(1,6)=10; a(2,6)=0.01228; a(3,6)=1.0004; a(4,6)=42.01; a(5,6)=2519.8;
a(1,7)=11; a(2,7)=0.01312; a(3,7)=1.0004; a(4,7)=46.20; a(5,7)=2521.6;
a(1,8)=12; a(2,8)=0.01402; a(3,8)=1.0005; a(4,8)=50.41; a(5,8)=2523.4;
a(1,9)=13; a(2,9)=0.01497; a(3,9)=1.0007; a(4,9)=54.60; a(5,9)=2525.3;
a(1,10)=14; a(2,10)=0.01598; a(3,10)=1.0008; a(4,10)=58.80; a(5,10)=2527.1;
a(1,11)=15; a(2,11)=0.01705; a(3,11)=1.0009; a(4,11)=62.99; a(5,11)=2528.9;
a(1,12)=16; a(2,12)=0.01818; a(3,12)=1.0011; a(4,12)=67.19; a(5,12)=2530.8;
a(1,13)=17; a(2,13)=0.01938; a(3,13)=1.0012; a(4,13)=71.38; a(5,13)=2532.6;
a(1,14)=18; a(2,14)=0.02064; a(3,14)=1.0014; a(4,14)=75.58; a(5,14)=2534.4;
a(1,15)=19; a(2,15)=0.02198; a(3,15)=1.0016; a(4,15)=79.77; a(5,15)=2536.2;
a(1,16)=20; a(2,16)=0.02339; a(3,16)=1.0018; a(4,16)=83.96; a(5,16)=2538.1;
a(1,17)=21; a(2,17)=0.02487; a(3,17)=1.0020; a(4,17)=88.14; a(5,17)=2539.9;
a(1,18)=22; a(2,18)=0.02645; a(3,18)=1.0022; a(4,18)=92.33; a(5,18)=2541.7;
a(1,19)=23; a(2,19)=0.02810; a(3,19)=1.0024; a(4,19)=96.52; a(5,19)=2543.5;
a(1,20)=24; a(2,20)=0.02985; a(3,20)=1.0027; a(4,20)=100.70; a(5,20)=2545.4;
a(1,21)=25; a(2,21)=0.03169; a(3,21)=1.0029; a(4,21)=104.89; a(5,21)=2547.2;
a(1,22)=26; a(2,22)=0.03363; a(3,22)=1.0032; a(4,22)=109.07; a(5,22)=2549.0;
a(1,23)=27; a(2,23)=0.03567; a(3,23)=1.0035; a(4,23)=113.25; a(5,23)=2550.8;
a(1,24)=28; a(2,24)=0.03782; a(3,24)=1.0037; a(4,24)=117.43; a(5,24)=2552.6;
a(1,25)=29; a(2,25)=0.04008; a(3,25)=1.0040; a(4,25)=121.61; a(5,25)=2554.5;
a(1,26)=30; a(2,26)=0.04246; a(3,26)=1.0043; a(4,26)=125.79; a(5,26)=2556.3;
a(1,27)=31; a(2,27)=0.04496; a(3,27)=1.0046; a(4,27)=129.97; a(5,27)=2558.1;

```

```

a(1,28)=32; a(2,28)=0.04759; a(3,28)=1.0050; a(4,28)=134.15; a(5,28)=2559.9;
a(1,29)=33; a(2,29)=0.05034; a(3,29)=1.0053; a(4,29)=138.33; a(5,29)=2561.7;
a(1,30)=34; a(2,30)=0.05324; a(3,30)=1.0056; a(4,30)=142.50; a(5,30)=2563.5;
a(1,31)=35; a(2,31)=0.05628; a(3,31)=1.0060; a(4,31)=146.68; a(5,31)=2565.3;
a(1,32)=36; a(2,32)=0.05947; a(3,32)=1.0063; a(4,32)=150.86; a(5,32)=2567.1;
a(1,33)=38; a(2,33)=0.06632; a(3,33)=1.0071; a(4,33)=159.21; a(5,33)=2570.7;
a(1,34)=40; a(2,34)=0.07384; a(3,34)=1.0078; a(4,34)=167.57; a(5,34)=2574.3;
a(1,35)=45; a(2,35)=0.09593; a(3,35)=1.0099; a(4,35)=188.45; a(5,35)=2583.2;
a(1,36)=50; a(2,36)=.1235; a(3,36)=1.0121; a(4,36)=209.33; a(5,36)=2592.1;
a(1,37)=55; a(2,37)=.1576; a(3,37)=1.0146; a(4,37)=230.23; a(5,37)=2600.9;
a(1,38)=60; a(2,38)=.1994; a(3,38)=1.0172; a(4,38)=251.13; a(5,38)=2609.6;
a(1,39)=65; a(2,39)=.2503; a(3,39)=1.0199; a(4,39)=272.06; a(5,39)=2618.3;
a(1,40)=70; a(2,40)=.3119; a(3,40)=1.0228; a(4,40)=292.98; a(5,40)=2626.8;
a(1,41)=75; a(2,41)=.3858; a(3,41)=1.0259; a(4,41)=313.93; a(5,41)=2635.3;
a(1,42)=80; a(2,42)=.4739; a(3,42)=1.0291; a(4,42)=334.91; a(5,42)=2643.7;
a(1,43)=85; a(2,43)=.5783; a(3,43)=1.0325; a(4,43)=355.90; a(5,43)=2651.9;
a(1,44)=90; a(2,44)=.7014; a(3,44)=1.0360; a(4,44)=376.92; a(5,44)=2660.1;
a(1,45)=95; a(2,45)=.8455; a(3,45)=1.0397; a(4,45)=397.96; a(5,45)=2668.1;
a(1,46)=100; a(2,46)=1.014; a(3,46)=1.0435; a(4,46)=419.04; a(5,46)=2676.1;
a(1,47)=110; a(2,47)=1.433; a(3,47)=1.0516; a(4,47)=461.30; a(5,47)=2691.5;
a(1,48)=120; a(2,48)=1.985; a(3,48)=1.0603; a(4,48)=503.71; a(5,48)=2706.3;
a(1,49)=130; a(2,49)=2.701; a(3,49)=1.0697; a(4,49)=546.31; a(5,49)=2720.5;
a(1,50)=140; a(2,50)=3.613; a(3,50)=1.0797; a(4,50)=589.13; a(5,50)=2733.9;
a(1,51)=150; a(2,51)=4.758; a(3,51)=1.0905; a(4,51)=632.20; a(5,51)=2746.5;
a(1,52)=160; a(2,52)=6.178; a(3,52)=1.1020; a(4,52)=675.55; a(5,52)=2758.1;
a(1,53)=170; a(2,53)=7.917; a(3,53)=1.1143; a(4,53)=719.21; a(5,53)=2768.7;
a(1,54)=180; a(2,54)=10.02; a(3,54)=1.1274; a(4,54)=763.22; a(5,54)=2778.2;
a(1,55)=190; a(2,55)=12.54; a(3,55)=1.1414; a(4,55)=807.62; a(5,55)=2786.4;
a(1,56)=200; a(2,56)=15.54; a(3,56)=1.1565; a(4,56)=852.45; a(5,56)=2793.2;
a(1,57)=210; a(2,57)=19.06; a(3,57)=1.1726; a(4,57)=897.76; a(5,57)=2798.5;
a(1,58)=220; a(2,58)=23.18; a(3,58)=1.1900; a(4,58)=943.62; a(5,58)=2802.1;
a(1,59)=230; a(2,59)=27.95; a(3,59)=1.2088; a(4,59)=990.12; a(5,59)=2804.0;
a(1,60)=240; a(2,60)=33.44; a(3,60)=1.2291; a(4,60)=1037.3; a(5,60)=2803.8;
a(1,61)=250; a(2,61)=39.73; a(3,61)=1.2512; a(4,61)=1085.4; a(5,61)=2801.5;
a(1,62)=260; a(2,62)=46.88; a(3,62)=1.2755; a(4,62)=1134.4; a(5,62)=2796.6;
a(1,63)=270; a(2,63)=54.99; a(3,63)=1.3023; a(4,63)=1184.5; a(5,63)=2789.7;
a(1,64)=280; a(2,64)=64.12; a(3,64)=1.3321; a(4,64)=1236.0; a(5,64)=2779.6;
a(1,65)=290; a(2,65)=74.36; a(3,65)=1.3656; a(4,65)=1289.1; a(5,65)=2766.2;
a(1,66)=300; a(2,66)=85.81; a(3,66)=1.4036; a(4,66)=1344.0; a(5,66)=2749.0;
a(1,67)=320; a(2,67)=112.7; a(3,67)=1.4988; a(4,67)=1461.5; a(5,67)=2700.1;
a(1,68)=340; a(2,68)=145.9; a(3,68)=1.6379; a(4,68)=1594.2; a(5,68)=2622.0;
a(1,69)=360; a(2,69)=186.5; a(3,69)=1.8925; a(4,69)=1760.5; a(5,69)=2481.0;
a(1,70)=374.14; a(2,70)=220.9; a(3,70)=3.155; a(4,70)=2099.3; a(5,70)=2099.3;

```

```

function a = datos_agua_sobrecalentado

```

```

a(1,1)=6; a(1,2)=0;
a(2,1)=36.16; a(2,2)=2567.4;
a(3,1)=80; a(3,2)=2650.1;
a(4,1)=120; a(4,2)=2726.0;
a(5,1)=160; a(5,2)=2802.5;
a(6,1)=200; a(6,2)=2879.7;
a(7,1)=240; a(7,2)=2957.8;
a(8,1)=280; a(8,2)=3036.8;
a(9,1)=320; a(9,2)=3116.7;
a(10,1)=360; a(10,2)=3197.7;
a(11,1)=400; a(11,2)=3279.6;
a(12,1)=440; a(12,2)=3362.6;
a(13,1)=500; a(13,2)=3489.1;
a(1,3)=35; a(1,4)=0;

```

```

a(2,3)=72.69; a(2,4)=2631.4;
a(3,3)=80; a(3,4)=2645.6;
a(4,3)=120; a(4,4)=2723.1;
a(5,3)=160; a(5,4)=2800.6;
a(6,3)=200; a(6,4)=2878.4;
a(7,3)=240; a(7,4)=2956.8;
a(8,3)=280; a(8,4)=3036.0;
a(9,3)=320; a(9,4)=3116.1;
a(10,3)=360; a(10,4)=3197.1;
a(11,3)=400; a(11,4)=3279.2;
a(12,3)=440; a(12,4)=3362.2;
a(13,3)=500; a(13,4)=3488.8;
a(1,5)=70; a(1,6)=0;
a(2,5)=89.95; a(2,6)=2660.0;
a(3,5)=100; a(3,6)=2680.0;
a(4,5)=120; a(4,6)=2719.6;
a(5,5)=160; a(5,6)=2798.2;
a(6,5)=200; a(6,6)=2876.7;
a(7,5)=240; a(7,6)=2955.5;
a(8,5)=280; a(8,6)=3035.0;
a(9,5)=320; a(9,6)=3115.3;
a(10,5)=360; a(10,6)=3196.5;
a(11,5)=400; a(11,6)=3278.6;
a(12,5)=440; a(12,6)=3361.8;
a(13,5)=500; a(13,6)=3488.5;
a(1,7)=100; a(1,8)=0;
a(2,7)=99.63; a(2,8)=2675.5;
a(3,7)=100; a(3,8)=2676.2;
a(4,7)=120; a(4,8)=2716.6;
a(5,7)=160; a(5,8)=2796.2;
a(6,7)=200; a(6,8)=2875.3;
a(7,7)=240; a(7,8)=2954.5;
a(8,7)=280; a(8,8)=3034.2;
a(9,7)=320; a(9,8)=3114.6;
a(10,7)=360; a(10,8)=3195.9;
a(11,7)=400; a(11,8)=3278.2;
a(12,7)=440; a(12,8)=3361.4;
a(13,7)=500; a(13,8)=3488.1;

```

```

function a = datos_amoniacosobrecalentado()

```

```

a(1,1)=900; a(1,2)=0;
a(2,1)=21.52; a(2,2)=1460.97;
a(3,1)=30; a(3,2)=1486.20;
a(4,1)=40; a(4,2)=1514.45;
a(5,1)=50; a(5,2)=1541.47;
a(6,1)=60; a(6,2)=1567.61;
a(7,1)=80; a(7,2)=1618.11;
a(8,1)=100; a(8,2)=1667.24;
a(9,1)=120; a(9,2)=1715.81;
a(10,1)=140; a(10,2)=1764.29;
a(11,1)=160; a(11,2)=1813.00;
a(12,1)=180; a(12,2)=1862.12;
a(13,1)=200; a(13,2)=1911.77;
a(1,3)=1000; a(1,4)=0;
a(2,3)=24.89; a(2,4)=1463.18;
a(3,3)=30; a(3,4)=1478.88;
a(4,3)=40; a(4,4)=1508.20;
a(5,3)=50; a(5,4)=1536.06;
a(6,3)=60; a(6,4)=1562.86;

```


a(7,3)=80; a(7,4)=1614.31;
a(8,3)=100; a(8,4)=1664.10;
a(9,3)=120; a(9,4)=1713.13;
a(10,3)=140; a(10,4)=1761.96;
a(11,3)=160; a(11,4)=1810.94;
a(12,3)=180; a(12,4)=1860.29;
a(13,3)=200; a(13,4)=1910.14;
a(1,5)=1200; a(1,6)=0;
a(2,5)=30.94; a(2,6)=1466.53;
a(3,5)=40; a(3,6)=1495.18;
a(4,5)=60; a(4,6)=1553.07;
a(5,5)=80; a(5,6)=1606.56;
a(6,5)=100; a(6,6)=1657.71;
a(7,5)=120; a(7,6)=1707.71;
a(8,5)=140; a(8,6)=1757.26;
a(9,5)=160; a(9,6)=1806.81;
a(10,5)=180; a(10,6)=1856.63;
a(11,5)=200; a(11,6)=1906.87;
a(12,5)=220; a(12,6)=1957.66;
a(13,5)=240; a(13,6)=2009.04;
a(14,5)=260; a(14,6)=2061.06;
a(15,5)=280; a(15,6)=2113.74;
a(1,7)=1400; a(1,8)=0;
a(2,7)=36.26; a(2,8)=1468.79;
a(3,7)=40; a(3,8)=1481.33;
a(4,7)=60; a(4,8)=1542.89;
a(5,7)=80; a(5,8)=1598.59;
a(6,7)=100; a(6,8)=1651.20;
a(7,7)=120; a(7,8)=1702.21;
a(8,7)=140; a(8,8)=1752.52;
a(9,7)=160; a(9,8)=1802.65;
a(10,7)=180; a(10,8)=1852.94;
a(11,7)=200; a(11,8)=1903.59;
a(12,7)=220; a(12,8)=1954.73;
a(13,7)=240; a(13,8)=2006.43;
a(14,7)=260; a(14,8)=2058.75;
a(15,7)=280; a(15,8)=2111.69;
a(1,9)=1600; a(1,10)=0;
a(2,9)=41.03; a(2,10)=1470.23;
a(3,9)=60; a(3,10)=1532.28;
a(4,9)=80; a(4,10)=1590.40;
a(5,9)=100; a(5,10)=1644.56;
a(6,9)=120; a(6,10)=1696.64;
a(7,9)=140; a(7,10)=1747.72;
a(8,9)=160; a(8,10)=1798.45;
a(9,9)=180; a(9,10)=1849.23;
a(10,9)=200; a(10,10)=1900.29;
a(11,9)=220; a(11,10)=1951.79;
a(12,9)=240; a(12,10)=2003.81;
a(13,9)=260; a(13,10)=2056.42;
a(14,9)=280; a(14,10)=2109.64;
a(1,11)=1800; a(1,12)=0;
a(2,11)=45.38; a(2,12)=1471.01;
a(3,11)=60; a(3,12)=1521.19;
a(4,11)=80; a(4,12)=1581.97;
a(5,11)=100; a(5,12)=1637.78;
a(6,11)=120; a(6,12)=1690.98;
a(7,11)=140; a(7,12)=1742.88;
a(8,11)=160; a(8,12)=1794.23;

```

a(9,11)=180; a(9,12)=1845.50;
a(10,11)=200; a(10,12)=1896.98;
a(11,11)=220; a(11,12)=1948.83;
a(12,11)=240; a(12,12)=2001.18;
a(13,11)=260; a(13,12)=2054.08;
a(14,11)=280; a(14,12)=2107.58;
a(1,13)=2000; a(1,14)=0;
a(2,13)=49.37; a(2,14)=1471.26;
a(3,13)=60; a(3,14)=1509.54;
a(4,13)=80; a(4,14)=1573.27;
a(5,13)=100; a(5,14)=1630.86;
a(6,13)=120; a(6,14)=1685.24;
a(7,13)=140; a(7,14)=1737.98;
a(8,13)=160; a(8,14)=1789.97;
a(9,13)=180; a(9,14)=1841.74;
a(10,13)=200; a(10,14)=1893.64;
a(11,13)=220; a(11,14)=1945.87;
a(12,13)=240; a(12,14)=1998.54;
a(13,13)=260; a(13,14)=2051.74;
a(14,13)=280; a(14,14)=2105.50;

```

```

-----
function a = sol_agua_bromurolitio_densidad(frac,temp)
coef=coef_sol_agua_bromurolitio_densidad;
for i= 1:5;
    b(i)=frac^(i-1)*(coef(1,i)+temp*(coef(2,i)+temp*coef(3,i)));
end
a=sum(b);

```

```

-----
function a = sol_agua_bromurolitio_entalpia(frac,temp)
coef = coef_sol_agua_bromurolitio_entalpia;
for i=1:5;
    h(i)=coef(1,i)*frac^(i-1)+temp*coef(2,i)*frac^(i-1)+temp^2*coef(3,i)*frac^(i-1);
end
a=sum(h);

```

```

-----
function a = sol_agua_bromurolitio_psat(temp)
c=7.05;
d=-1596.49;
e=-104095.5;
a=10^(c+d/temp+e/temp^2);

```

```

-----
function a = sol_agua_bromurolitio_temp_ref(frac,temp)
coef=coef_sol_agua_bromurolitio;
for i=1:4;
    b(i)=coef(2,i)*frac^(i-1);
    c(i)=coef(1,i)*frac^(i-1);
end
B=sum(b);
C=sum(c);
a=(temp-B)/C;

```

```

-----
function a = sol_agua_bromurolitio_temp_sol(frac,temp)
coef=coef_sol_agua_bromurolitio;
for i=1:4;
    b(i)=coef(2,i)*frac^(i-1);
    c(i)=coef(1,i)*frac^(i-1);
end

```

```

B=sum(b);
C=sum(c);
a=B+temp*C;

```

```

function a = sol_agua_bromurolitio_tsat(p)
c=7.05;
d=-1596.49;
e=-104095.5;
a=-2*e/(d+(d^2-4*e*(c-log10(p)))^0.5);

```

```

function a = sol_amoniaco_agua(Temp, Frac)
A=7.44-1.767*Frac+0.9823*Frac^2+0.3627*Frac^3;
B=2013.8-2155.7*Frac+1540.9*Frac^2-194.7*Frac^3;
p = 10^((A-B/(Temp+273.15)));
FMolar=18.015*Frac/(18.015*Frac+17.03*(1-Frac));
coef=coef_sol_amoniaco_agua();
for i=1:16;
    h(i)=100*coef(i,1)*((Temp+273.15)/273.16-1)^coef(i,2)*FMolar^coef(i,3);
end
a(1)=p;
a(2)=sum(h);

```

```

function a = sol_amoniaco_agua_temp(Presion, Frac)
A=7.44-1.767*Frac+0.9823*Frac^2+0.3627*Frac^3;
B=2013.8-2155.7*Frac+1540.9*Frac^2-194.7*Frac^3;
a = B/(A-log10(Presion))-273.15;

```

```

function a = sol_amoniaco_agua_vol(temp, frac)
b=coef_sol_amoniaco_agua_vol();
for j =1:4;
    for i=1:4;
        volumen(i,j)=b(i,j)*(temp)^(i-1)*frac^(i-1);
    end
end
a=sum(sum(volumen));

```

Anexo I: Rutinas de Matlab, para cálculos de colectores solares.

Anexo I.1: Instrucciones de uso de las rutinas de cálculo.

A continuación, se presentan las instrucciones para ocupar de forma correcta las rutinas de cálculo destinadas a determinar los ciclos termodinámicos.

- En primer lugar, se debe tener habilitado el uso de las rutinas de las secciones anteriores, para ocupar éstas, ya sea dejando todos los archivos en la misma carpeta o dejando ambas carpetas en la ruta de archivos utilizables.
- La rutina “parámetros_colector” muestra los diferentes parámetros asumidos en el colector para realizar los cálculos. Dichos parámetros se pueden cambiar.
- La rutina “energía_requerida”, muestra el perfil de flujo de calor requerido por el generador además de la energía diaria requerida. Las filas 1 a la 24 representan el flujo de calor medido en [KW], mientras que la columna hace referencia al mes del año en el cual se realiza el cálculo. La fila 25, muestra la energía diaria requerida medida en [KW-h], nuevamente la columna hace referencia al mes del año. En la primera línea de la rutina, se puede determinar el ciclo termodinámico a utilizar en el sistema de climatización.
- La rutina “energía_colector”, muestra el perfil de flujo de calor entregado por un colector hacia el generador la energía diaria entregada. Las filas 1 a la 24 representan el flujo de calor medido en [KW], mientras que la columna hace referencia al mes del año en el cual se realiza el cálculo. La fila 25, muestra la energía diaria requerida medida en [KW-h], nuevamente la columna hace referencia al mes del año.
- Con ayuda de las rutinas anteriores se determina el número mínimo de colectores requeridos. Con este número, se puede ocupar la rutina “volumen_acumulador”, la cual sirve para determinar el volumen del sistema de acumulación de agua a utilizar, dicho parámetro, aparece en la línea 2 de la rutina “carga_acumulacion”. En la rutina “volumen_acumulador”, también es posible cambiar la temperatura de entrada y salida del fluido, así como su presión.

Anexo I.2: Rutinas de cálculo

```
function a = carga_acumulador()
n_colectores=70;
generador=energia_requerida();
colector=energia_colector();
colector=n_colectores*colector;
acumulado_generador(1,:)=generador(1,:);
acumulado_colector(1,:)=colector(1,:);
for i=2:23;
    acumulado_generador(i,:)=acumulado_generador(i-1,:)+generador(i,:);
    acumulado_colector(i,:)=acumulado_colector(i-1,:)+colector(i,:);
end
deficit=acumulado_generador-acumulado_colector;
a=deficit;
-----
function a = energia_colector()
Rad=importdata('Rad.csv');
Temp=importdata('Temp.csv');
par=parametros();
colec=parametros_colector();
Temp_amb = perfil_temperatura(Temp,95,par(1),par(2),par(3));
for i=1:12;

rad_colec(:,i)=radiacion_colector(colec(6),colec(5),Rad,par(1),par(2),par(3),i);
end
for i=1:12;
    for j=1:24;
        if rad_colec(j,i)==0;
            rend(j,i)=0;
        else rend(j,i)=colec(4)-colec(2)*(colec(7)-Temp_amb(j,i))/rad_colec(j,i)-colec(3)*(colec(7)-Temp_amb(j,i))^2/rad_colec(j,i);
        end
    end
end
rad_real=rend.*rad_colec;
for i=1:12;
    for j=1:23;
        pto_min=min(rad_real(j,i),rad_real(j+1,i));
        pto_max=max(rad_real(j,i),rad_real(j+1,i));
        energia_real(j,i)=pto_min + 0.5*(pto_max-pto_min);
    end
end
a=colec(1)*energia_real/1000;
a(24,:)=colec(1)*sum(energia_real)/1000;
-----
function a = energia_requerida()
b=ciclo_agua_bromuro_litio();
par=parametros();
cargas_enfriamiento=carga_enfriamiento();
flujo=cargas_enfriamiento/(b(4,5)-b(3,5));
rel_flujo_agua_alta=b(12,2)/b(12,1);
rel_flujo_agua_baja=b(12,3)/b(12,1);
flujo_agua_alta=rel_flujo_agua_alta*flujo;
flujo_agua_baja=rel_flujo_agua_baja*flujo;
for i=1:12;
```

```

    for j=1:24;
        Q_gen(j,i)=flujo(j,i)*b(1,5)+flujo_agua_baja(j,i)*b(8,5)-
        flujo_agua_alta(j,i)*b(7,5);
    end
end
for i=1:12;
    for j=1:24;
        if par(25)>j || par(26)<j || Q_gen(j,i)<0;
            Q_gen(j,i)=0;
        else Q_gen=Q_gen;
        end
    end
end
for i=1:12;
    for j=1:23;
        pto_min =min(Q_gen(j,i),Q_gen(j+1,i));
        pto_max =max(Q_gen(j,i),Q_gen(j+1,i));
        W_gen(j,i)=pto_min+0.5*(pto_max-pto_min);
    end
end
a=W_gen;
a(24,:)=sum(W_gen);

```

```

-----
function a = parametros_colector()
%Area = Area apertura del colector [m2].
%a_1 = Coeficiente perdidas lineales [W/m2 K].
%a_2 = Coeficientes perdidas cuadraticas [W/m2 K2].
%rend_optico = Rendimiento optico [-].
%inclinacion = Inclinacion del colector, [°].
%azimut = azimut del colector [°].
%temp_fluido = Temperatura del fluido intererior [°C];
%efi_acumulador = Eficiencia acumulador, [-]
Area=1.82;
a_1=2.882;
a_2=0.012;
rend_optico=0.766;
inclinacion = 0;
azimut=180;
temp_fluido=78;
a(1)=Area; a(2)=a_1; a(3)=a_2; a(4)=rend_optico; a(5)=inclinacion;
a(6)=azimut; a(7)=temp_fluido;

```

```

-----
function a = radiacion_colector(AziSup,Inc,Matriz,lon,lsm,lat,mes)
Rad = perfil_radiacion(Matriz,mes);
datos = datos_solares(lon,lsm,lat,mes);
DifAng = datos(:,5)-AziSup;
cosphi=cosd(datos(:,4)).*cosd(DifAng).*sind(Inc)+sind(datos(:,4)).*cosd(Inc);
cosphihor=sind(datos(:,4));
FracDir=0.84;
RadDir=FracDir*Rad;
RadRayo=RadDir./cosphihor;
RadDirSup = RadRayo.*cosphi;
Y = max(0.45,0.55+0.437*cosphi+0.313*cosphi.*cosphi);
RadDifSup = (1-FracDir)*Rad.*(Y*sind(Inc)+cosd(Inc));
for i=1:24
    if Inc == 0;
        a(i,1)=Rad(i,1);
    elseif DifAng(i)>90 || DifAng(i)<-90;

```

```

        a(i,1)=0;
    elseif RadDirSup(i)<0;
        a(i,1)=RadDifSup(i);
    else a(i,1)= RadDirSup(i)+RadDifSup(i);
    end
end

```

```

function a = volumen_acumulador()
temp_entrada=71.8;
temp_salida=75;
presion=400;
carga_generador=carga_acumulador();
carga=max(max(carga_generador));
datos_entrada=agua_temp(temp_entrada);
datos_salida=agua_temp(temp_salida);
h_1=datos_salida(3)+datos_salida(2)*(presion-datos_salida(1));
h_2=datos_entrada(3)+datos_entrada(2)*(presion-datos_entrada(1));
masa_agua=carga*3600/(h_1-h_2);
volumen=datos_entrada(2)*masa_agua*1000;
a=volumen;

```

Anexo J: Rutinas de Matlab, para cálculos de análisis económico

Anexo J.1: Instrucciones de uso de las rutinas de cálculo.

- En primer lugar, se debe tener habilitado el uso de las rutinas de las secciones anteriores, para ocupar éstas, ya sea dejando todos los archivos en la misma carpeta o dejando ambas carpetas en la ruta de archivos utilizables.
- La rutina “consumo_compresor”, muestra el perfil de la potencia requerida por el compresor además de la energía diaria requerida. Las filas 1 a la 24 representan la potencia requerida medida en [KW], mientras que la columna hace referencia al mes del año en el cual se realiza el cálculo. La fila 25, muestra la energía diaria requerida medida en [KW-h], nuevamente la columna hace referencia al mes del año.
- La rutina “consumo_bomba_absorcion”, muestra el perfil de la potencia requerida por la bomba además de la energía diaria requerida. Las filas 1 a la 24 representan la potencia requerida medida en [KW], mientras que la columna hace referencia al mes del año en el cual se realiza el cálculo. La fila 25, muestra la energía diaria requerida medida en [KW-h], nuevamente la columna hace referencia al mes del año.

Anexo J2: Rutinas de cálculo

```
function a = ciclo_R134a ()
carga=carga_enfriamiento();
evaporador=max(max(carga));
temp_baja=14.5;
datos_temp=importdata('Temp.csv');
temp=temperatura_diseno(datos_temp,99);
temp_alta=temp(8);
datos_temp_alta=R134a_temp(temp_alta);
datos_temp_baja=R134a_temp(temp_baja);
a(1,1)=datos_temp_alta(1);
a(2,1)=datos_temp_alta(1);
a(3,1)=datos_temp_baja(1);
a(4,1)=datos_temp_baja(1);
a(2,2)=temp_alta;
a(3,2)=temp_baja;
a(4,2)=temp_baja;
a(2,3)=datos_temp_alta(4);
a(3,3)=a(2,3);
a(4,3)=datos_temp_alta(5);
presion=datos_temp_alta(1);
entropia=datos_temp_baja(6);
aux=R134a_sobrecalentado_entropia(presion,entropia);
a(1,2)=aux(1);
a(1,3)=aux(2);
flujo=evaporador/(a(4,3)-a(3,3));
potencia_bomba=flujo*(a(1,3)-a(4,3));
a(5,1)=potencia_bomba;
```

```
-----
function a = consumo_bomba_absorcion()
par=parametros();
hora_inicio=par(25);
hora_termino=par(26);
cargas_enfriamiento=carga_enfriamiento();
b=ciclo_agua_bromuro_litio();
flujo=cargas_enfriamiento/(b(4,5)-b(3,5));
rel_flujo_agua_alta=b(12,2)/b(12,1);
rel_flujo_agua_baja=b(12,3)/b(12,1);
flujo_agua_alta=rel_flujo_agua_alta*flujo;
flujo_agua_baja=rel_flujo_agua_baja*flujo;
for i=1:12;
    for j=1:24;
        flujo_bomba(j,i)=100*flujo_agua_alta(j,i)*(b(6,5)-b(5,5));
    end
end
for i=1:12;
    for j=1:24;
        if hora_inicio>j || hora_termino<j || flujo_bomba(j,i)<0;
            flujo_bomba(j,i)=0;
        else flujo_bomba=flujo_bomba;
        end
    end
end
for i=1:12;
    for j=1:23;
```

```

energia_bomba(j,i)=min(flujo_bomba(j,i),flujo_bomba(j+1,i))+0.5*(max(flujo_bom
ba(j,i),flujo_bomba(j+1,i))-min(flujo_bomba(j,i),flujo_bomba(j+1,i)));
    end
end
a=energia_bomba;
a(24,:)=sum(energia_bomba);

```

```

-----
function a = consumo_compresor()
par=parametros();
hora_inicio=par(25);
hora_termino=par(26);
cargas_enfriamiento=carga_enfriamiento();
b=ciclo_R134a ();
flujo=cargas_enfriamiento/(b(4,3)-b(3,3));
for i=1:12;
    for j=1:24;
        flujo_compresor(j,i)=flujo(j,i)*(b(1,3)-b(4,3));
    end
end
for i=1:12;
    for j=1:24;
        if hora_inicio>j || hora_termino<j || flujo_compresor(j,i)<0;
            flujo_compresor(j,i)=0;
        else flujo_compresor=flujo_compresor;
        end
    end
end
for i=1:12;
    for j=1:23;

energia_compresor(j,i)=min(flujo_compresor(j,i),flujo_compresor(j+1,i))+0.5*(m
ax(flujo_compresor(j,i),flujo_compresor(j+1,i))-
min(flujo_compresor(j,i),flujo_compresor(j+1,i)));
        end
    end
a=energia_compresor;
a(24,:)=sum(energia_compresor);

```

```

-----
function a = curva_saturacion_r134a()

a(1,1)=-40; a(2,1)=0.5164; a(3,1)=0.7055; a(4,1)=0.3569; a(5,1)=0;
a(6,1)=222.88; a(7,1)=0.956;
a(1,2)=-36; a(2,2)=0.6332; a(3,2)=0.7113; a(4,2)=0.2947; a(5,2)=4.73;
a(6,2)=225.4; a(7,2)=0.9506;
a(1,3)=-32; a(2,3)=0.7704; a(3,3)=0.7172; a(4,3)=0.2451; a(5,3)=9.52;
a(6,3)=227.9; a(7,3)=0.9456;
a(1,4)=-28; a(2,4)=0.9305; a(3,4)=0.7233; a(4,4)=0.2052; a(5,4)=14.37;
a(6,4)=230.38; a(7,4)=0.9411;
a(1,5)=-26; a(2,5)=1.0199; a(3,5)=0.7265; a(4,5)=0.1882; a(5,5)=16.82;
a(6,5)=231.62; a(7,5)=0.939;
a(1,6)=-24; a(2,6)=1.116; a(3,6)=0.7296; a(4,6)=0.1728; a(5,6)=19.29;
a(6,6)=232.85; a(7,6)=0.937;
a(1,7)=-22; a(2,7)=1.2192; a(3,7)=0.7328; a(4,7)=0.159; a(5,7)=21.77;
a(6,7)=234.08; a(7,7)=0.9351;
a(1,8)=-20; a(2,8)=1.3299; a(3,8)=0.7361; a(4,8)=0.1464; a(5,8)=24.26;
a(6,8)=235.31; a(7,8)=0.9332;

```

$a(1,9)=-18$; $a(2,9)=1.4483$; $a(3,9)=0.7395$; $a(4,9)=0.135$; $a(5,9)=26.77$;
 $a(6,9)=236.53$; $a(7,9)=0.9315$;
 $a(1,10)=-16$; $a(2,10)=1.5748$; $a(3,10)=0.7428$; $a(4,10)=0.1247$; $a(5,10)=29.3$;
 $a(6,10)=237.74$; $a(7,10)=0.9298$;
 $a(1,11)=-12$; $a(2,11)=1.854$; $a(3,11)=0.7498$; $a(4,11)=0.1068$; $a(5,11)=34.39$;
 $a(6,11)=240.15$; $a(7,11)=0.9267$;
 $a(1,12)=-8$; $a(2,12)=2.1704$; $a(3,12)=0.7569$; $a(4,12)=0.0919$; $a(5,12)=39.54$;
 $a(6,12)=242.54$; $a(7,12)=0.9239$;
 $a(1,13)=-4$; $a(2,13)=2.5274$; $a(3,13)=0.7644$; $a(4,13)=0.0794$; $a(5,13)=44.75$;
 $a(6,13)=244.9$; $a(7,13)=0.9213$;
 $a(1,14)=0$; $a(2,14)=2.9282$; $a(3,14)=0.7721$; $a(4,14)=0.0689$; $a(5,14)=50.02$;
 $a(6,14)=247.23$; $a(7,14)=0.919$;
 $a(1,15)=4$; $a(2,15)=3.3765$; $a(3,15)=0.7801$; $a(4,15)=0.06$; $a(5,15)=55.35$;
 $a(6,15)=249.53$; $a(7,15)=0.9169$;
 $a(1,16)=8$; $a(2,16)=3.8756$; $a(3,16)=0.7884$; $a(4,16)=0.0525$; $a(5,16)=60.73$;
 $a(6,16)=251.8$; $a(7,16)=0.915$;
 $a(1,17)=12$; $a(2,17)=4.4294$; $a(3,17)=0.7971$; $a(4,17)=0.046$; $a(5,17)=66.18$;
 $a(6,17)=254.03$; $a(7,17)=0.9132$;
 $a(1,18)=16$; $a(2,18)=5.0416$; $a(3,18)=0.8062$; $a(4,18)=0.0405$; $a(5,18)=71.69$;
 $a(6,18)=256.22$; $a(7,18)=0.9116$;
 $a(1,19)=20$; $a(2,19)=5.716$; $a(3,19)=0.8157$; $a(4,19)=0.0358$; $a(5,19)=77.26$;
 $a(6,19)=258.36$; $a(7,19)=0.9102$;
 $a(1,20)=24$; $a(2,20)=6.4566$; $a(3,20)=0.8257$; $a(4,20)=0.0317$; $a(5,20)=82.9$;
 $a(6,20)=260.45$; $a(7,20)=0.9089$;
 $a(1,21)=26$; $a(2,21)=6.853$; $a(3,21)=0.8309$; $a(4,21)=0.0298$; $a(5,21)=85.75$;
 $a(6,21)=261.48$; $a(7,21)=0.9082$;
 $a(1,22)=28$; $a(2,22)=7.2675$; $a(3,22)=0.8362$; $a(4,22)=0.0281$; $a(5,22)=88.61$;
 $a(6,22)=262.5$; $a(7,22)=0.9076$;
 $a(1,23)=30$; $a(2,23)=7.7006$; $a(3,23)=0.8417$; $a(4,23)=0.0265$; $a(5,23)=91.49$;
 $a(6,23)=263.5$; $a(7,23)=0.907$;
 $a(1,24)=32$; $a(2,24)=8.1528$; $a(3,24)=0.8473$; $a(4,24)=0.025$; $a(5,24)=94.39$;
 $a(6,24)=264.48$; $a(7,24)=0.9064$;
 $a(1,25)=34$; $a(2,25)=8.6247$; $a(3,25)=0.853$; $a(4,25)=0.0236$; $a(5,25)=97.31$;
 $a(6,25)=265.45$; $a(7,25)=0.9058$;
 $a(1,26)=36$; $a(2,26)=9.1168$; $a(3,26)=0.859$; $a(4,26)=0.0223$; $a(5,26)=100.25$;
 $a(6,26)=266.4$; $a(7,26)=0.9053$;
 $a(1,27)=38$; $a(2,27)=9.6298$; $a(3,27)=0.8651$; $a(4,27)=0.021$; $a(5,27)=103.21$;
 $a(6,27)=267.33$; $a(7,27)=0.9047$;
 $a(1,28)=40$; $a(2,28)=10.164$; $a(3,28)=0.8714$; $a(4,28)=0.0199$; $a(5,28)=106.19$;
 $a(6,28)=268.24$; $a(7,28)=0.9041$;
 $a(1,29)=42$; $a(2,29)=10.72$; $a(3,29)=0.878$; $a(4,29)=0.0188$; $a(5,29)=109.19$;
 $a(6,29)=269.14$; $a(7,29)=0.9035$;
 $a(1,30)=44$; $a(2,30)=11.299$; $a(3,30)=0.8847$; $a(4,30)=0.0177$; $a(5,30)=112.22$;
 $a(6,30)=270.01$; $a(7,30)=0.903$;
 $a(1,31)=48$; $a(2,31)=12.526$; $a(3,31)=0.8989$; $a(4,31)=0.0159$; $a(5,31)=118.35$;
 $a(6,31)=271.68$; $a(7,31)=0.9017$;
 $a(1,32)=52$; $a(2,32)=13.851$; $a(3,32)=0.9142$; $a(4,32)=0.0142$; $a(5,32)=124.58$;
 $a(6,32)=273.24$; $a(7,32)=0.9004$;
 $a(1,33)=56$; $a(2,33)=15.278$; $a(3,33)=0.9308$; $a(4,33)=0.0127$; $a(5,33)=130.93$;
 $a(6,33)=274.68$; $a(7,33)=0.899$;
 $a(1,34)=60$; $a(2,34)=16.813$; $a(3,34)=0.9488$; $a(4,34)=0.0114$; $a(5,34)=137.42$;
 $a(6,34)=275.99$; $a(7,34)=0.8973$;
 $a(1,35)=70$; $a(2,35)=21.162$; $a(3,35)=1.0027$; $a(4,35)=0.0086$; $a(5,35)=154.34$;
 $a(6,35)=278.43$; $a(7,35)=0.8918$;
 $a(1,36)=80$; $a(2,36)=26.324$; $a(3,36)=1.0766$; $a(4,36)=0.0064$; $a(5,36)=172.71$;
 $a(6,36)=279.12$; $a(7,36)=0.8827$;
 $a(1,37)=90$; $a(2,37)=32.435$; $a(3,37)=1.1949$; $a(4,37)=0.0046$; $a(5,37)=193.69$;
 $a(6,37)=276.32$; $a(7,37)=0.8655$;

a(1,38)=100; a(2,38)=39.742; a(3,38)=1.5443; a(4,38)=0.0027; a(5,38)=224.74;
a(6,38)=259.13; a(7,38)=0.8117;

function a = R134a_sobrecalentado

a(1,1)=2.8;a(1,1)=0;a(1,3)=0;a(1,4)=3.2;a(1,5)=0;a(1,6)=0;
a(2,1)=-1.23;a(2,2)=246.52;a(2,3)=0.9197;a(2,4)=0;a(2,5)=0;a(2,6)=0;
a(3,1)=0;a(3,2)=247.64;a(3,3)=0.9238;a(3,4)=2.48;a(3,5)=248.66;a(3,6)=0.9177;
a(4,1)=10;a(4,2)=256.76;a(4,3)=0.9566;a(4,4)=10;a(4,5)=255.65;a(4,6)=0.9427;
a(5,1)=20;a(5,2)=265.91;a(5,3)=0.9883;a(5,4)=20;a(5,5)=264.95;a(5,6)=0.9749;
a(6,1)=30;a(6,2)=275.12;a(6,3)=1.0192;a(6,4)=30;a(6,5)=274.28;a(6,6)=1.0062;
a(7,1)=40;a(7,2)=284.42;a(7,3)=1.0494;a(7,4)=40;a(7,5)=283.67;a(7,6)=1.0367;
a(8,1)=50;a(8,2)=293.81;a(8,3)=1.0789;a(8,4)=50;a(8,5)=293.15;a(8,6)=1.0665;
a(9,1)=60;a(9,2)=303.32;a(9,3)=1.1079;a(9,4)=60;a(9,5)=302.72;a(9,6)=1.0957;
a(10,1)=70;
a(10,2)=312.95;a(10,3)=1.1364;a(10,4)=70;a(10,5)=312.41;a(10,6)=1.1243;
a(11,1)=80; a(11,2)=322.71;
a(11,3)=1.1644;a(11,4)=80;a(11,5)=322.22;a(11,6)=1.1525;
a(12,1)=90;
a(12,2)=332.6;a(12,3)=1.192;a(12,4)=90;a(12,5)=332.15;a(12,6)=1.1802;
a(13,1)=100;a(13,2)=342.62;a(13,3)=1.2193;a(13,4)=100;a(13,5)=342.21;a(13,6)=1.
.2076;
a(14,1)=110;a(14,2)=352.78;a(14,3)=1.2461;a(14,4)=110;a(14,5)=352.4;a(14,6)=1.
2345;
a(15,1)=120;a(15,2)=363.08;a(15,3)=1.2727;a(15,4)=120;a(15,5)=362.73;a(15,6)=1.
.2611;

a(1,7)=4;a(1,8)=0;a(1,9)=0;a(1,10)=5;a(1,11)=0;a(1,12)=0;
a(2,7)=8.93;a(2,8)=252.32;a(2,9)=0.9145;a(2,10)=0;a(2,11)=0;a(2,12)=0;
a(3,7)=10;a(3,8)=253.35;a(3,9)=0.9182;a(3,10)=15.74;a(3,11)=256.07;a(3,12)=0.9
117;
a(4,7)=20;a(4,8)=262.96;a(4,9)=0.9515;a(4,10)=20;a(4,11)=260.34;a(4,12)=0.9264
;
a(5,7)=30;a(5,8)=272.54;a(5,9)=0.9837;a(5,10)=30;a(5,11)=270.28;a(5,12)=0.9597
;
a(6,7)=40;a(6,8)=282.14;a(6,9)=1.0148;a(6,10)=40;a(6,11)=280.16;a(6,12)=0.9918
;
a(7,7)=50;a(7,8)=291.79;a(7,9)=1.0452;a(7,10)=50;a(7,11)=290.04;a(7,12)=1.0229
;
a(8,7)=60;a(8,8)=301.51;a(8,9)=1.0748;a(8,10)=60;a(8,11)=299.95;a(8,12)=1.0531
;
a(9,7)=70;a(9,8)=311.32;a(9,9)=1.1038;a(9,10)=70;a(9,11)=309.92;a(9,12)=1.0825
;
a(10,7)=80;a(10,8)=321.23;a(10,9)=1.1322;a(10,10)=80;a(10,11)=319.96;a(10,12)=
1.1114;
a(11,7)=90;a(11,8)=331.25;a(11,9)=1.1602;a(11,10)=90;a(11,11)=330.1;a(11,12)=1.
.1397;
a(12,7)=100;a(12,8)=341.38;a(12,9)=1.1878;a(12,10)=100;a(12,11)=340.33;a(12,12)
)=1.1675;
a(13,7)=110;a(13,8)=351.64;a(13,9)=1.2149;a(13,10)=110;a(13,11)=350.68;a(13,12)
)=1.1949;
a(14,7)=120;a(14,8)=362.03;a(14,9)=1.2417;a(14,10)=120;a(14,11)=361.14;a(14,12)
)=1.2218;
a(15,7)=130;a(15,8)=372.54;a(15,9)=1.2681;a(15,10)=130;a(15,11)=371.72;a(15,12)
)=1.2484;
a(16,7)=140;a(16,8)=383.18;a(16,9)=1.2941;a(16,10)=140;a(16,11)=382.42;a(16,12)
)=1.2746;

$a(1,13)=6; a(1,14)=0; a(1,15)=0; a(1,16)=7; a(1,17)=0; a(1,18)=0;$
 $a(2,13)=21.58; a(2,14)=259.19; a(2,15)=0.9097; a(2,16)=26.72; a(2,17)=261.85; a(2,18)=0.908;$
 $a(3,13)=30; a(3,14)=267.89; a(3,15)=0.9388; a(3,16)=30; a(3,17)=265.37; a(3,18)=0.9197;$
 $a(4,13)=40; a(4,14)=278.09; a(4,15)=0.9719; a(4,16)=40; a(4,17)=275.93; a(4,18)=0.9539;$
 $a(5,13)=50; a(5,14)=288.23; a(5,15)=1.0037; a(5,16)=50; a(5,17)=286.35; a(5,18)=0.9867;$
 $a(6,13)=60; a(6,14)=298.35; a(6,15)=1.0346; a(6,16)=60; a(6,17)=296.69; a(6,18)=1.0182;$
 $a(7,13)=70; a(7,14)=308.48; a(7,15)=1.0645; a(7,16)=70; a(7,17)=307.01; a(7,18)=1.0487;$
 $a(8,13)=80; a(8,14)=318.67; a(8,15)=1.0938; a(8,16)=80; a(8,17)=317.35; a(8,18)=1.0784;$
 $a(9,13)=90; a(9,14)=328.93; a(9,15)=1.1225; a(9,16)=90; a(9,17)=327.74; a(9,18)=1.1074;$
 $a(10,13)=100; a(10,14)=339.27; a(10,15)=1.1505; a(10,16)=100; a(10,17)=338.19; a(10,18)=1.1358;$
 $a(11,13)=110; a(11,14)=349.7; a(11,15)=1.1781; a(11,16)=110; a(11,17)=348.71; a(11,18)=1.1637;$
 $a(12,13)=120; a(12,14)=360.24; a(12,15)=1.2053; a(12,16)=120; a(12,17)=359.33; a(12,18)=1.191;$
 $a(13,13)=130; a(13,14)=370.88; a(13,15)=1.232; a(13,16)=130; a(13,17)=370.04; a(13,18)=1.2179;$
 $a(14,13)=140; a(14,14)=381.64; a(14,15)=1.2584; a(14,16)=140; a(14,17)=380.86; a(14,18)=1.2444;$
 $a(15,13)=150; a(15,14)=392.52; a(15,15)=1.2844; a(15,16)=150; a(15,17)=391.79; a(15,18)=1.2706;$
 $a(16,13)=160; a(16,14)=403.51; a(16,15)=1.31; a(16,16)=160; a(16,17)=402.82; a(16,18)=1.2963;$

$a(1,19)=8; a(1,20)=0; a(1,21)=0; a(1,22)=9; a(1,23)=0; a(1,24)=0;$
 $a(2,19)=31.33; a(2,20)=264.15; a(2,21)=0.9066; a(2,22)=35.53; a(2,23)=266.18;$
 $a(2,24)=0.9054;$
 $a(3,19)=40; a(3,20)=273.66; a(3,21)=0.9374; a(3,22)=40; a(3,23)=271.25; a(3,24)=0.9217;$
 $a(4,19)=50; a(4,20)=284.39; a(4,21)=0.9711; a(4,22)=50; a(4,23)=282.34; a(4,24)=0.9566;$
 $a(5,19)=60; a(5,20)=294.98; a(5,21)=1.0034; a(5,22)=60; a(5,23)=293.21; a(5,24)=0.9897;$
 $a(6,19)=70; a(6,20)=305.5; a(6,21)=1.0345; a(6,22)=70; a(6,23)=303.94; a(6,24)=1.0214;$
 $a(7,19)=80; a(7,20)=316; a(7,21)=1.0647; a(7,22)=80; a(7,23)=314.62; a(7,24)=1.0521;$
 $a(8,19)=90; a(8,20)=326.52; a(8,21)=1.094; a(8,22)=90; a(8,23)=325.28; a(8,24)=1.0819;$
 $a(9,19)=100; a(9,20)=337.08; a(9,21)=1.1227; a(9,22)=100; a(9,23)=335.96; a(9,24)=1.1109;$
 $a(10,19)=110; a(10,20)=347.71; a(10,21)=1.1508; a(10,22)=110; a(10,23)=346.68; a(10,24)=1.1392;$
 $a(11,19)=120; a(11,20)=358.4; a(11,21)=1.1784; a(11,22)=120; a(11,23)=357.47; a(11,24)=1.167;$
 $a(12,19)=130; a(12,20)=369.19; a(12,21)=1.2055; a(12,22)=130; a(12,23)=368.33; a(12,24)=1.1943;$
 $a(13,19)=140; a(13,20)=380.07; a(13,21)=1.2321; a(13,22)=140; a(13,23)=379.27; a(13,24)=1.2211;$
 $a(14,19)=150; a(14,20)=391.05; a(14,21)=1.2584; a(14,22)=150; a(14,23)=390.31; a(14,24)=1.2475;$

```

a(15,19)=160;a(15,20)=402.14;a(15,21)=1.2843;a(15,22)=160;a(15,23)=401.44;a(15,24)=1.2735;
a(16,19)=170;a(16,20)=413.33;a(16,21)=1.3098;a(16,22)=170;a(16,23)=412.68;a(16,24)=1.2992;
a(17,19)=180;a(17,20)=424.63;a(17,21)=1.3351;a(17,22)=180;a(17,23)=424.02;a(17,24)=1.3245;

```

```

-----
function a = R134a_sobrecalentado_entropia (p,h)
p=p/100;
datos=R134a_sobrecalentado();
tamano=size(datos);
largo=tamano(2);
temps=tamano(1);
ind1=1;
ind2=2;
for i=1:largo-5;
    if datos(1,i)<=p && datos(1,i+3)>p;
        ind1=i;
        ind2=i+3;
        break
    end
end
temp_aux=datos(2,ind1);
datos(2,ind1)=datos(2,ind2);
datos(2,ind1+1)=datos(2,ind1+1)+(datos(3,ind1+1)-
datos(2,ind1+1))*(datos(2,ind1)-temp_aux)/(datos(3,ind1)-temp_aux);
for i=2:temps;
    for j = 2:temps;
        if datos(i,ind1)==datos(j,ind2);
            aux(i,1)=datos(i,ind1);
            aux(i,2)=datos(i,ind1+1)+(datos(j,ind2+1)-datos(i,ind1+1))*(p-
datos(1,ind1))/(datos(1,ind2)-datos(1,ind1));
            aux(i,3)=datos(i,ind1+2)+(datos(j,ind2+2)-datos(i,ind1+2))*(p-
datos(1,ind1))/(datos(1,ind2)-datos(1,ind1));
            end
        end
    end
end
ind3=1;
ind4=2;
for i=1:temps-1;
    if aux(i,3)<=h && datos(i+1,3)>h;
        ind3=i;
        ind4=i+1;
        break
    end
end
a(1)=aux(ind3,1)+(aux(ind4,1)-aux(ind3,1))*(h-aux(ind3,3))/(aux(ind4,3)-
aux(ind3,3));
a(2)=aux(ind3,2)+(aux(ind4,2)-aux(ind3,2))*(h-aux(ind3,3))/(aux(ind4,3)-
aux(ind3,3));

```

```

-----
function a = R134a_temp(temp)
datos=curva_saturacion_r134a();
tamano=size(datos);
largo=tamano(2);
ind1=1;
ind2=2;
for i=1:largo-1;

```

```
    if datos(1,i)<=temp && datos(1,i+1)>temp;
        ind1=i;
        ind2=i+1;
        break
    end
end
for i=1:6;
    a(i)=datos(i+1,ind1)+(datos(i+1,ind2)-datos(i+1,ind1))*(temp-
datos(1,ind1))/(datos(1,ind2)-datos(1,ind1));
end
a(1)=a(1)*100;
a(2)=a(2)*1e-3;
```

Anexo K: Ficha chiller de absorción.



WFC-SC 10 & -SH 10

Specifications:

Water Fired Chiller absorption type with H₂O/LiBr

System functionality provides cooling

Heating with an automatic change over control mode (SH model only)

Utilizing Hot Water



Model	Production
WFC-SC10	Chilled Water
WFC-SH10	Chilled & Heating Water

ITEM		MODEL		WFC-SH10	WFC-SC10	
Cooling Capacity				kW		
Heating Capacity				kW		
Chilled Water and Hot Water	Chilled Water Temperature	Inlet	°C	12.5		
		Outlet	°C	7.0		
	Hot Water Temperature	Inlet	°C	47.4		
		Outlet	°C	55.0		
	Evaporator Pressure Loss(Max) *3		kPa		56.1	
	Max Operating Pressure		kPa		588	
	Rated Water Flow		L/sec		1.52	
			m ³ /hr		5.47	
Water Retention Volume		L		17		
Cooling Water	Heat Rejection		kW		85.4	
	Cooling Water Temperature	Inlet	°C	31.0		
		Outlet	°C	35.0		
	Abs.&Cond.Pressure Loss(Max) *3		kPa		85.3	
	Max Operating Pressure		kPa		588	
	Rated Water Flow		L/sec		5.1	
			m ³ /hr		18.4	
	Water Retention Volume		L		66	
Heat Medium	Heat Input		kW		50.2	
	Heat Medium Temperature	Inlet	°C	88		
		Outlet	°C	83		
		Inlet Limit	°C	70 - 95		
	Generator. Pressure Loss(Max) *3		kPa		90.4	
	Max Operating Pressure		kPa		588	
	Rated Water Flow		L/sec		2.4	
			m ³ /hr		8.64	
Water Retention Volume		L		21		
Electrical	Power Source				400V 50Hz 3ph.	
	Consumption *1		W		210	
Control				On - Off		
Dimension	Width	mm		760 (855)		
	Depth	mm		970		
	Height *2	mm		1,900 (1,983)		
Piping	Chilled Water	A		40		
	Cooling Water	A		50		
	Heat Medium	A		40		
Weight	Dry Weight	kg		500		
	Operating Weight	kg		600		

Anexo L: Ficha colectores solares

	Flux Sol HP65-20	Flux Sol HP65-30
Tipo	tubo al vacío, sellado por termo compresión	
Certificado, Prueba de rendimiento	DIN 4757, prEN12975, test report Nr.C668LPEN (SPF)	
Forma del absorbedor	plano	
Cantidad de tubos	20	30
Área activo del absorbedor	2,05 m ²	3.07 m ²
Área de Apertura	2,11 m ²	3,17 m ²
Área total	2,88 m ²	4,32 m ²
Longitud x ancho x altura (mm)	1980 x 1450 x 165 mm	1980 x 2153 x 165 mm
Peso	50 kg	75 kg
Perdida de presión a velocidad de flujo 120 l/h	10 mbar	15 mbar
Contenidos líquidos	0,9 lts.	1,35 lts.
Coefficiente de pérdida de calor k1 W/(m ² · K)	1.37	1,33
Coefficiente de pérdida de calor k2 W/(m ² · K ²)	0,0068	0,0067
Rendimiento óptico	0,809	0,804
Material de vidrio	boron silicate - vidrio duro	
Diametro tubo	65 mm	
Espesor pared	1.8± 0.2 mm	
Vacío	<2 x10 ⁻³ Pa	
Material Absorbedor	Cobre	
Recubrimiento	Recubrimiento de absorbedor altamente selectivo	
Coefficiente de absorción	> 96 %	
Coefficiente de emisión	< 5 %	
Inclinación	25° a 90°	
Presión de prueba	10 bar	

Anexo M: Ficha estanque de acumulación.

3. Technical Data

3.1 Technical Data

Model	100 L	150 L	200 L	250 L	300 L	400 L	500 L
Inner tank	Steel BTC340R	Steel BTC340R	Steel BTC340R	Steel BTC340R	Steel BTC340R	Steel BTC340R	Steel BTC340R
Outer tank	Galvanized steel	Galvanized steel	Galvanized steel	Galvanized steel	Galvanized steel	Galvanized steel	Galvanized steel
Insulation	Polyurethane 45mm	Polyurethane 45mm	Polyurethane 45mm	Polyurethane 54mm	Polyurethane 54mm	Polyurethane 50mm	Polyurethane 50mm
Inlet/Outlet size	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
Dimension (mm)	Ø458×1140	Ø528×1165	Ø528×1485	Ø650×1280	Ø650×1510	Ø718×1560	Ø718×1700
Packing dimension (mm)	595×595× 1240	625×625× 1315	625×625× 1640	730×730× 1400	730×730× 1620	820×820× 1640	820×820× 1810