



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

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN  
INVERNADERO EN BASE A GEOTERMIA DE BAJA ENTALPÍA EN LA  
LOCALIDAD DE LIQUIÑE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL MECÁNICA

CAMILA JAVIERA CUEVAS HENRÍQUEZ

PROFESOR GUÍA:  
ALVARO VALENCIA MUSALEM

MIEMBROS DE LA COMISIÓN  
DIEGO MORATA CÉSPEDES  
RAMÓN FREDERICK GONZÁLEZ

SANTIAGO DE CHILE

2021

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE: Ingeniera Civil Mecánica  
POR: Camila Javiera Cuevas Henríquez  
FECHA: 2021  
PROFESOR GUIA: Álvaro Valencia Musalem

## ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN INVERNADERO EN BASE A GEOTERMIA DE BAJA ENTALPÍA EN LA LOCALIDAD DE LIQUIÑE

En la comuna de Liquiñe, de la Región de los Ríos, existen fuentes termales que actualmente se utilizan para turismo, debido al clima de la zona se busca implementar un invernadero climatizado a partir de una fuente de agua a alta temperatura, de esta forma se entregaría mayor soberanía alimentaria a la comuna y mayor comercio permitiendo cultivar durante todo el año.

Por este motivo se busca evaluar la factibilidad técnica y económica de la instalación de un invernadero calefaccionado por una fuente termal a través de determinar la necesidad térmica del invernadero, caracterización de la fuente de energía geotérmica, diseñar diferentes sistemas de calefacción del invernadero, seleccionar los equipos adecuados, hacer un análisis económico durante un año, todo esto considerando cuatro cultivos diferentes y su producción.

A través de la teoría, primero se calcula el balance energético del invernadero a largo de un año de acuerdo con las pérdidas de calor del sistema para obtener el calor necesario a inyectar. Luego se calculan las dimensiones de diferentes intercambiadores de calor para suplir la demanda energética que requiere el invernadero de acuerdo con el cultivo.

Con las dimensiones de cada intercambiador de calor, se dimensionan los equipos necesarios tales como bomba centrífuga, estanque de acumulación y ventilador.

Finalmente se obtiene que el invernadero climatizado con fuentes termales en Liquiñe es factible técnicamente para todos los cultivos, mas no así económicamente, donde la plantación de lechuga tiene un beneficio económico en un invernadero construido con polietileno.

También es técnica y económicamente factible instalar un invernadero de policarbonato con una mezcla de cultivos, considerando la temperatura óptima similar a la temperatura de la lechuga. En ambos casos se utiliza un intercambiador de calor de potencia 37.1 [kW] para llegar a la temperatura ideal de cultivo a 22 [°C]. Cabe destacar que el cultivo de solo lechuga tiene mayor retorno económicamente con un VAN 15 veces mayor al de una mezcla de cultivos, con \$25.039.363.

El proyecto es extrapolable a otras zonas del país donde se tenga una fuente termal con características y condiciones climáticas similares, para obtener un microclima adecuado para el crecimiento de hortalizas.

# DEDICATORIA

*A la Nanita que me enseñó  
el amor por las plantas y el arte,  
a ser clan.*

*Abrazos a las que no están.*

# AGRADECIMIENTOS

A mi madre que siempre ha sido un pilar fundamental y apoyo incondicional durante toda mi vida, quien lo ha dado todo por ayudarme a conseguir mis metas entregándome todas las herramientas posibles para que confiara en mí y valores como la perseverancia. A mi hermano que me enseña a no tener miedo y seguir mi corazón. A mi sobrina Lua que me recuerda ver el mundo con ojos de niña y curiosidad.

A toda mi familia, en especial a mis tías y primas que cada vez que viajaba me daban su amor y tardes de carioca. Y nos apañábamos en las locuras.

A mis amigas del colegio, Chela, Claudia y Cami, quienes a pesar de la distancia durante años continuamos con una hermosa amistad y durante este año han sido un apoyo de fuerza. A la Vale con quien compartimos vida universitaria,

A mis amigos de plan común, las ratas, Cote, More, con quienes nos apoyábamos durante todos los semestres

A mis amigas de mecánica, Pauli y las Vickys, con quien nos apañábamos durante las noches de estudio y carrete. A la Vicky, mi compañera de aventuras en Brasil. Al Vayron que nos apañamos

A las Artemisas, un grupo de mujeres bacanas, con una garra gigante que han sido una gran alegría en los últimos años, comenzando con pichangas, terminando con terraceos y siendo un círculo de mujeres apañadoras.

Al equipo docente detrás de este proceso, en especial al profesor Alvaro quien ha tenido la mejor disposición a orientarme y resolver las dudas. Así se termina una gran época, marcada por las grandes amistades que he forjado y el conocimiento que he adquirido en mi paso por la facultad.

# TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción .....	1
1.1	Motivación .....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.2.1	Objetivo general.....	2
1.2.2	Objetivos específicos .....	2
1.3	Alcances .....	2
2	Metodología .....	3
3	Antecedentes .....	5
3.1	Liquiñe .....	5
3.2	Invernaderos.....	8
3.2.1	Temperatura.....	10
3.2.2	Ventilación.....	10
3.2.3	Sistemas de calefacción .....	12
3.3	Cultivos.....	13
3.4	Balance energético del invernadero .....	14
3.4.1	Radiación neta, <b>Rn</b> .....	14
3.4.2	Calor perdido por conducción – convección, <b>Qcc</b> .....	16
3.4.3	Calor sensible y latente perdido por la renovación del aire interior, <b>Qren</b> ...	17
3.4.4	Calor latente consumido en la evapotranspiración de las plantas y el suelo, <b>Qevap</b>	18
3.4.5	Calor latente del suelo, <b>Qsuelo</b> .....	18
3.5	Diseños intercambiadores de Calor .....	19
3.5.1.	Variación de la temperatura <b><math>\Delta Tm</math></b> .....	21
3.5.2.	Área de transferencia de calor .....	23
3.5.2	Eficiencia global de las aletas.....	26
3.5.3	Resistencia térmica equivalente.....	26
3.6	Pérdidas de carga .....	27
3.7	Ventiladores .....	28
3.8	Bomba hidráulica .....	29
3.9	Estanque acumulador .....	30
4	Resultados técnicos .....	31

4.1	Demanda térmica del invernadero .....	31
4.2	Dimensionamiento intercambiador de calor .....	38
4.3	Ventiladores .....	43
4.4	Bomba hidráulica .....	44
4.5	Estanque .....	44
4.6	Layout final .....	45
5	Análisis económico .....	46
5.1	Ingresos .....	46
5.2	Inversión .....	47
5.2.1	Materiales de construcción y mano de obra.....	47
5.2.2	Equipos .....	48
5.3	Costos operacionales.....	50
5.4	Balance final .....	50
6	Discusiones.....	52
6.1	Resultados .....	52
6.2	Relevancia.....	53
6.3	Proyecciones y mejoras .....	53
7	Conclusiones .....	54
8	Bibliografía.....	55
9	Anexos.....	57
9.1	Anexo A: Propiedades termodinámicas.....	57
9.2	Anexo B: Balances y demandas energéticas para invernadero con cubierta de polietileno. 58	
9.3	Anexo C: Balances y demanda energética para invernadero con cubierta de policarbonato. ....	63
9.4	Anexo D: Balances y demandas energéticas para invernadero de vidrio. ....	68
9.5	Anexo E: Especificaciones diseño INTERCAL. ....	73
9.6	Anexo F: fichas técnicas para intercambiadores de calor.....	74
9.7	Anexo g: Dimensionamiento ventiladores.....	80
9.7.1	Demanda energética máxima.....	80
9.7.2	Demanda energética promedio .....	82
9.8	Anexo h: Tubería .....	84
9.9	Anexo I: Planos de intercambiador de calor .....	85
9.10	Anexo j: Bomba centrífuga. ....	87

9.11	Anexo K: Cotizaciones intercambiadores de calor.....	88
9.12	Anexo L: Cotización electroventilador .....	93

# TABLA DE FIGURAS

Figura 2.1: Diagrama de bloques de la metodología. ....	4
Figura 3.1: Mapa de ubicación de Liquiñe. ....	5
Figura 3.2: Ubicación de termas de Hipólito Muñoz en Liquiñe. ....	6
Figura 3.3: Gráfico de radiación global para cada hora de un año promedio en Liquiñe. ....	6
Figura 3.4: Gráfico de temperatura para cada hora de un año promedio en Liquiñe. ....	7
Figura 3.5: Tipos de invernadero: (a) tipo túnel (b) tipo gótico (c) tipo venlo (d) tipo asimétrico. ....	8
Figura 3.6: Dimensiones del invernadero. ....	9
Figura 3.7: Ejemplos de ventilación natural en invernadero. (a) Ventilación superior. (b) Ventilación con apertura lateral. ....	11
Figura 3.8: Ejemplos de ventilación forzada. ....	11
Figura 3.9: Ejemplo de climatización con tubo a nivel de cultivo. ....	12
Figura 3.10: Ejemplo de climatización con intercambiador de calor. ....	12
Figura 3.11: Diagrama de balance energético de un invernadero. ....	14
Figura 3.12: Balance de radiación en un invernadero. ....	15
Figura 3.13: Ejemplo de intercambiador de calor de tubos aleteado. ....	19
Figura 3.14: Esquema representativo de un intercambiador a contraflujo con fluidos sin mezclar [16]. ....	21
Figura 3.15: Diagrama del factor de corrección F para intercambiador de calor de flujo cruzado con los dos fluidos no mezclados [16]. ....	22
Figura 3.16: Perfil aletado de un tubo. ....	23
Figura 3.17: Disposición triangular y distancias entre centros de tubos contiguos. ....	25
Figura 3.18: Gráfico de variación del coeficiente $C_n$ con el número de filas de tubo. ....	25
Figura 3.19: Esquema de resistencias equivalentes para el intercambiador de calor. ....	26
Figura 3.20: Gráfico para determinar parámetros $K_c$ y $K_e$ . ....	27
Figura 4.1: Gráfico de temperaturas óptimas diurnas y nocturnas para tomate. ....	31
Figura 4.2: Gráfico de temperaturas óptimas diurnas y nocturnas para lechuga. ....	32
Figura 4.3: Gráfico de temperaturas óptimas diurnas y nocturnas para pimentón. ....	32
Figura 4.4: Gráfico de temperaturas óptimas diurnas y nocturnas para acelga. ....	32
Figura 4.5: Balance energético para pimentón con invernadero de cubierta de polietileno. ....	33
Figura 4.6: Balance energético para acelga con invernadero con cubierta de polietileno. ....	34



Figura 4.7: Porcentajes de pérdidas para el balance energético de los cuatro cultivos en invernadero de cubierta de polietileno.....	35
Figura 4.8: Gráfico de demanda energética mensual durante un año para el pimentón.....	36
Figura 4.9: Gráfico de demanda energética mensual durante un año para la lechuga. ....	36
Figura 4.10: Gráfico de variación de coeficientes de transferencia de calor para cada cultivo y largo de tubo. ....	42
Figura 4.11: Esquema de la configuración de los equipos del invernadero. ....	45

# 1 INTRODUCCIÓN

La energía geotérmica es una energía limpia y renovable que se obtiene a partir del aprovechamiento del calor interno de la Tierra. En ocasiones alcanza la superficie terrestre, presentándose como salidas de gases a altas temperaturas tal como en erupciones volcánicas; salidas de agua y vapor como en géiseres, y salidas de agua caliente en fuentes termales. Alrededor del mundo es utilizada tanto de forma doméstica como industrial, ya sea en la industria energética, alimenticia y agrícola, entre otros, a través de usos directos e indirectos [1].

Actualmente en Chile se encuentran áreas de actividad geotermal ubicadas en zonas volcánicas o cercanas a ellas y se han utilizado para fines recreativos y turísticos [2]. A su vez, cada vez son más los procesos agrícolas y agroindustriales que buscan adaptarse a las condiciones climáticas de la zona y utilizando energías renovables.

Existen localidades donde los factores climáticos no son aptos para el cultivo de hortalizas durante gran parte del año, en este sentido, los invernaderos son construcciones que permiten crear un microclima para cultivar hortalizas. Actualmente, alrededor de un 2% de la superficie total de hortalizas cultivada en el país, se cultiva bajo invernadero [3].

## 1.1 MOTIVACIÓN

En el caso de este trabajo de título, en la localidad de Liquiñe existen fuentes de aguas termales disponibles, específicamente las termas de Hipólito Muñoz que alcanzan temperaturas de 32 °C hasta 82 °C [4]. La poca disponibilidad de alimentos en las zonas con climas no aptos para cultivo durante todo el año es una problemática para la comunidad, la zona presenta temperatura anual promedio de 10 °C, lo que no permite cultivar gran variedad de hortalizas durante la mayoría de los meses del año.

Es por estos motivos que se hace necesario climatizar un invernadero para tener una temperatura adecuada para cultivos. En este trabajo de título se busca estudiar la factibilidad técnica y económica de aprovechar la energía disponible en la fuente termal de Hipólito Muñoz en la climatización de un invernadero y así obtener un microclima que permita cultivar hortalizas durante un año.

La idea principal es estudiar diferentes casos, modificando cultivos y cubierta del invernadero para que el proyecto sea aplicable en otras localidades donde existan condiciones climáticas y recurso energético similar.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general es estudiar la factibilidad técnica de calefaccionar un invernadero climatizado con agua termal en la comuna de Liquiñe, en conjunto con evaluar la factibilidad económica del proyecto, variando hortalizas, materiales de construcción y producción.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos son:

- Determinar la necesidad térmica del invernadero.
- Dimensionar diferentes intercambiadores de calor para calefaccionar el invernadero.
- Seleccionar equipos y materiales para la instalación del invernadero.
- Evaluar costos de los equipos y materiales necesarios.
- Evaluar diferentes construcciones de invernaderos y producciones.
- Realizar análisis económico del funcionamiento del invernadero.

## 1.3 ALCANCES

Los alcances del trabajo de título son determinar la carga térmica que requiere el invernadero para intervalos de tiempo de una hora a lo largo de un año. La calefacción del cultivo se efectúa mediante un ventilador que fuerza la convección entregando condiciones climáticas de cultivo óptimas. No se considera refrigeración del cultivo.

Para la evaluación económica se consideran equipos principales, tales como intercambiador de calor, ventilador, bomba y estanque. No se consideran componentes menores como válvulas, controladores, conectores, etc. Se presenta un balance económico para los diferentes cultivos que permiten elegir el modelo más económico.

## 2 METODOLOGÍA

Se inicia con la revisión bibliográfica correspondiente al proyecto con el fin de manejar la información necesaria para el trabajo de título. Se obtienen datos de factores climáticos de la zona tales como radiación, temperatura, humedad, nubosidad, etc. desde el explorador solar y la estación meteorológica más cercana a la ubicación de la fuente termal. Las características de la fuente termal de Hipólito Muñoz son proporcionadas por el CEGA.

En la primera sección se detallan los antecedentes teóricos utilizados para realizar los cálculos de demanda energética y diseñar cada sistema de calefacción. También se establecen las temperaturas necesarias para cada cultivo. Se dimensiona el invernadero para determinar la necesidad térmica de la instalación para tres materiales de cubierta diferentes y cuatro cultivos diferentes.

Con estos datos, se hace el balance energético para cada caso hora a hora durante un año mediante una tabla en Excel, se consideran todas las fuentes de pérdida y ganancia de calor mediante las ecuaciones de la sección 3. Así, se obtiene la demanda máxima y promedio necesaria en el invernadero para cada caso de estudio.

Posterior a esto, se consideran ambos casos de demanda energética para diseñar intercambiadores de calor que sean capaces de suplir la potencia requerida con el método de efectividad  $\varepsilon$ -NTU mediante un proceso de iteración en Excel. Se utilizan diámetros de tuberías de intercambiador de calor según el proveedor INTERCAL modificando el largo de las tuberías y el número de tubos.

Luego se determinan las características de los componentes secundarios necesarios, tales como bomba, ventilador y estanque de acumulación de agua para tener un dimensionamiento del sistema completo. Para la bomba y estanque de acumulación de agua se consideran equipos cuyo material es apto para altas temperaturas.

Para hacer el análisis económico, se seleccionan y cotizan los equipos de acuerdo con la disponibilidad en el mercado y así obtener un dimensionamiento real del proyecto. Se estima la producción y venta de hortalizas dependiendo de los ciclos de cultivo, obteniendo los ingresos de cada caso. Finalmente se tiene el balance económico del sistema para seleccionar el cultivo con mayor beneficio económico de acuerdo con la producción y costos de inversión y operación.

En la Figura 2.1 se muestra un diagrama simplificado de la metodología.

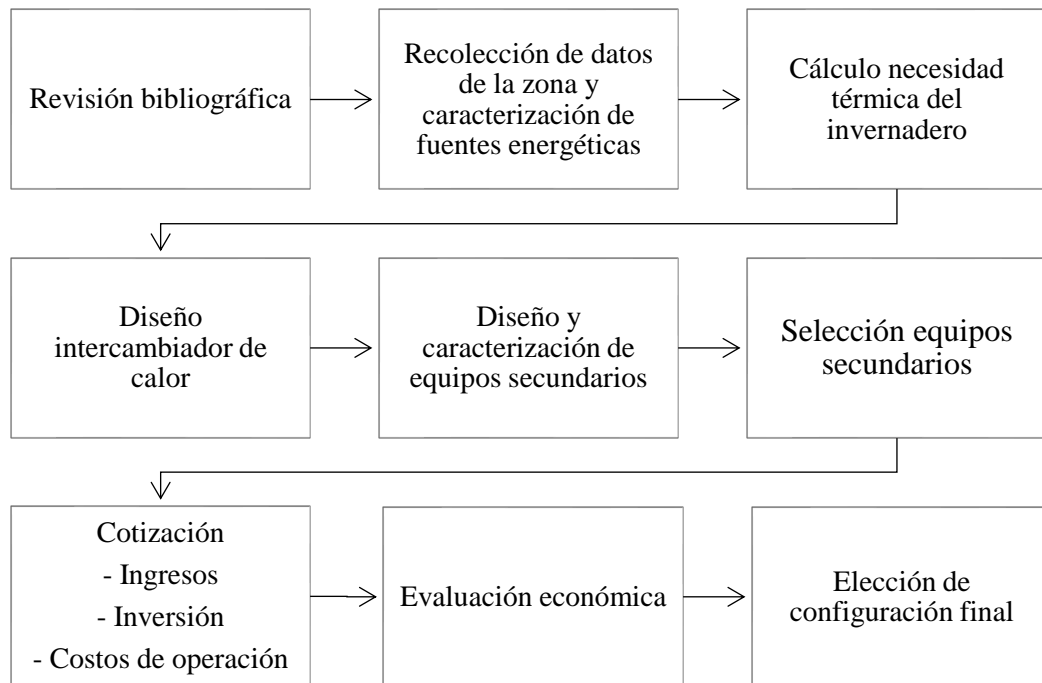


Figura 2.1: Diagrama de bloques de la metodología.

# 3 ANTECEDENTES

## 3.1 LIQUIÑE

Liquiñe es un pueblo perteneciente a la comuna de Panguipulli, XIX Región de Los Ríos, es un sector con baja densidad poblacional, con una población de 1200 habitantes aproximadamente, gran parte de ellos dedicados a la producción agrícola o ganadera<sup>1</sup>. Está a 250 metros sobre el nivel del mar en el valle cordillerano formado por el río Liquiñe. En la Figura 3.1 se muestra un mapa de la ubicación de Liquiñe<sup>2</sup>.

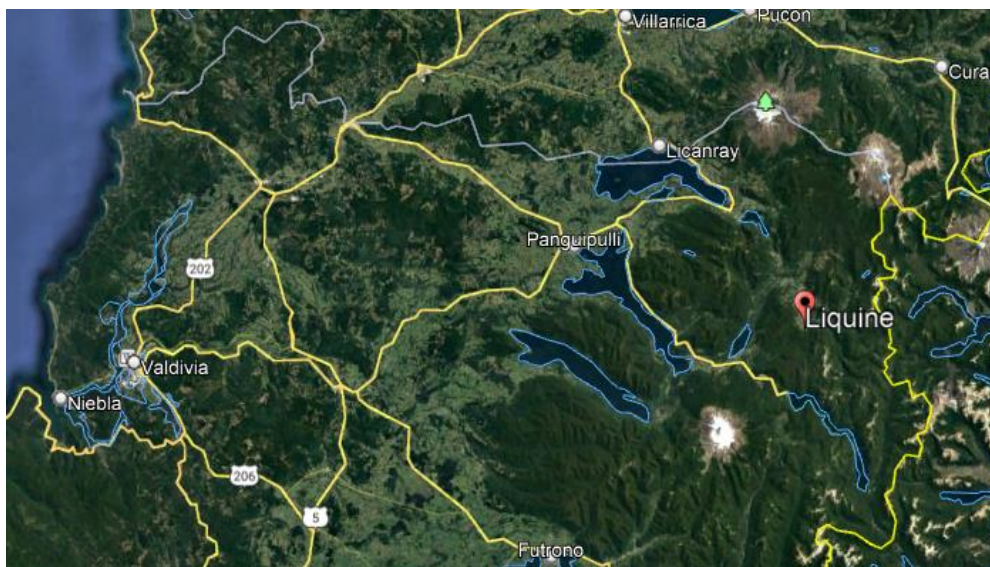


Figura 3.1: Mapa de ubicación de Liquiñe.

La zona se extiende por más de 3 km contando con una posta de salud rural, carabineros de frontera, un internado, iglesias, colegios, comercio menor y hospedajes. Se encuentran 15 fuentes de aguas termales, para este estudio se considera la fuente termal de Hipólito Muñoz, cuyas temperaturas varían desde 32 °C a 82°C [4]. En la Figura 3.2 se muestra la terma de mayor temperatura en un círculo rojo.

<sup>1</sup> Fuente: [https://www.ecured.cu/Liquiñe\\_\(Chile\)](https://www.ecured.cu/Liquiñe_(Chile))

<sup>2</sup> Fuente: <https://www.googleearth.com>



Figura 3.2: Ubicación de termas de Hipólito Muñoz en Liquiñe.

El clima es templado lluvioso con influencia mediterránea, teniendo alta concentración de precipitaciones, bajas temperaturas y alta humedad. En la Figura 3.3 se muestra un gráfico sobre la radiación global anual en la localidad y en la Figura 3.4 un gráfico de la temperatura, ambos para un año promedio en Liquiñe, donde se observa que la radiación global no supera los  $1200 \text{ [W/m}^2\text{]}$  y la temperatura varía entre  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  aproximadamente.

Los datos de radiación corresponden a datos del Explorador Solar<sup>3</sup> y las muestras de temperatura y humedad son de la Red Agrometeorológica del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)<sup>4</sup>, la estación utilizada es la estación Puela ubicada 50 km al noreste, es la más cercana y similar a Liquiñe pues también corresponde a un valle cordillerano.

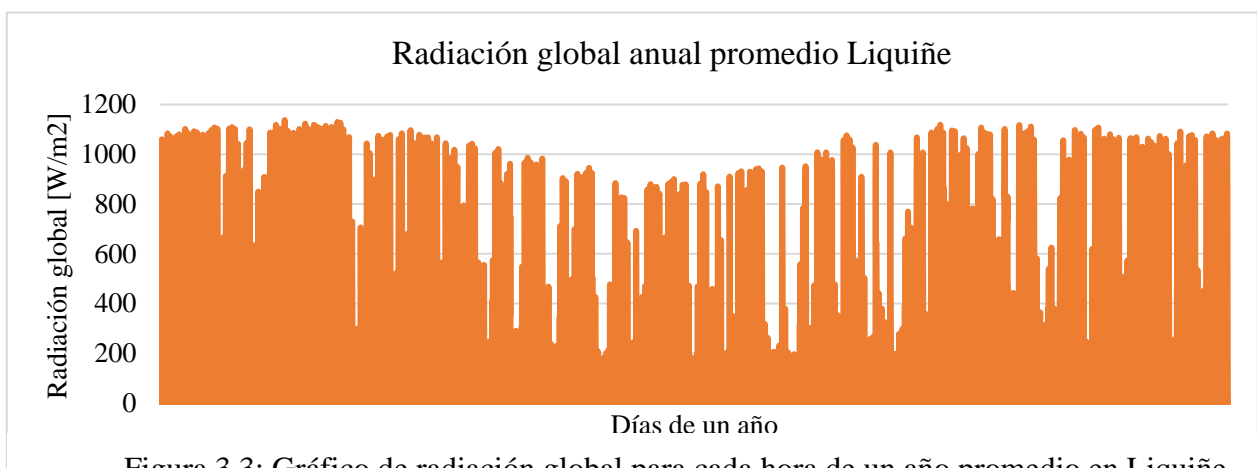


Figura 3.3: Gráfico de radiación global para cada hora de un año promedio en Liquiñe.

<sup>3</sup> Fuente: <https://solar.minenergia.cl/inicio>

<sup>4</sup> Fuente: <https://agrometeorologia.cl/>

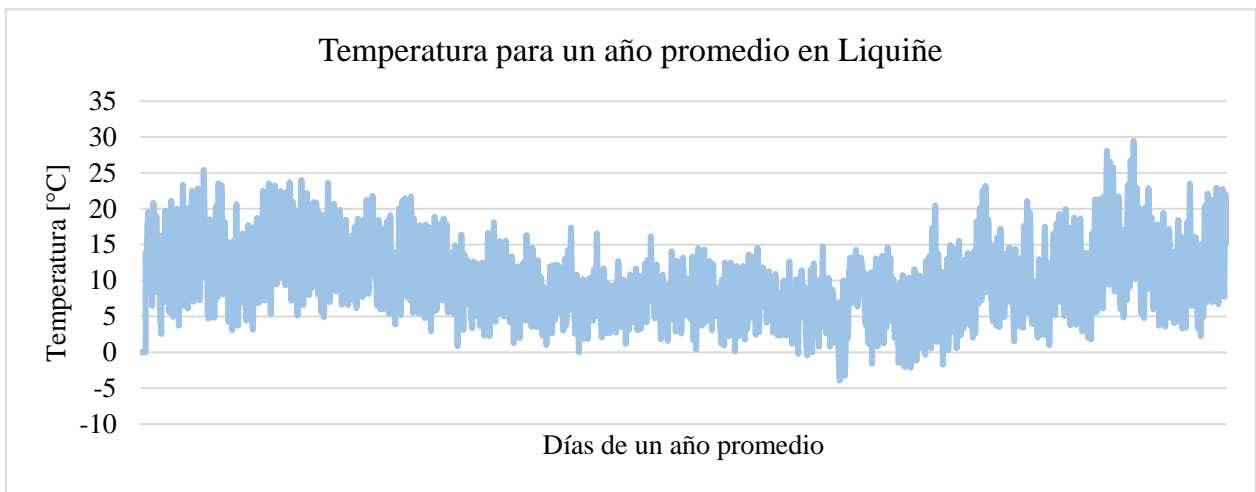


Figura 3.4: Gráfico de temperatura para cada hora de un año promedio en Lliquiñe.

A modo de resumen, en la Tabla 3.1 se muestra la temperatura promedio mensual en Lliquiñe y la media anual es de 10 [°C].

Tabla 3.1: Temperatura mensual y anual promedio en Lliquiñe.

<b>Mes</b>	<b>Temperatura promedio [°C]</b>
Enero	13,3
Febrero	14,1
Marzo	12,6
Abril	10,0
Mayo	7,7
Junio	7,5
Julio	7,3
Agosto	6,3
Septiembre	6,5
Octubre	9,5
Noviembre	12,9
Diciembre	12,7
Anual	10,0



## 3.2 INVERNADEROS

Los invernaderos son instalaciones que se han creado con el fin de proteger a las plantas de fluctuaciones climáticas bruscas [5], controlan el medio ambiente para realizar un cultivo en una zona geográfica poco apta o fuera de la estación, proporcionando un mayor control climático producto del microclima que se crea dentro de él, manteniendo condiciones de temperatura y humedad ideales para el cultivo de plantas.

Bajo el invernadero se establece una barrera entre el medio ambiente externo y el cultivo, creando un microclima que permite proteger el cultivo de diferentes factores climáticos como lluvia, viento, bajas temperaturas, etc. Una de sus ventajas es que este sistema de cultivo permite el abastecimiento de alimentos hortícolas durante todo el año, además de la posibilidad de ofrecer productos que no pueden producirse al aire libre por las condiciones climáticas, generando una oportunidad atractiva tanto para productores y la disponibilidad en el mercado [6].

Las cubiertas de los invernaderos generalmente son de materiales transparentes, como vidrios o materiales plásticos. De estos últimos pueden ser películas como polietileno (PE), cloruro de polivinilo (PVC), etileno vinilo de acetato (EVA); o ser en placas: policarbonato (PC), polimetacrilato, poliéster, etc [7]. También se pueden clasificar según la construcción como tipo venlo, túnel, gótico, asimétrico, entre otros. En la Figura 3.5 se muestran algunos de estos tipos de invernadero.

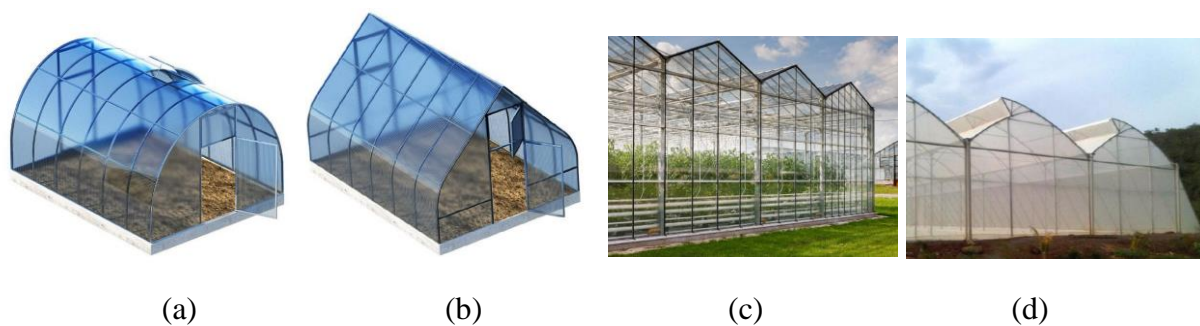


Figura 3.5: Tipos de invernadero: (a) tipo túnel (b) tipo gótico (c) tipo venlo (d) tipo asimétrico

El tipo de material influye en el comportamiento térmico del invernadero, variando la energía necesaria a aportar. Para el análisis técnico y económico se toman en cuenta tres materiales de cubierta, polietileno, policarbonato y vidrio cuyas propiedades se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Propiedades de polietileno, policarbonato y vidrio.

Variable	Material			Unidad de medida
	Polietileno (PE)	Policarbonato (PC)	Vidrio	
Espesor	0,00018	0,00004	0,00004	m
Coefficiente de absorptividad de la cubierta para rad. Solar.	0,03	0,09	0,03	-
Coefficiente de transmisividad de la cubierta para rad. solar.	0,88	0,78	0,89	-
Coefficiente de transmisión para radiación térmica.	0,65	0,025	0	-
Emisividad de la cubierta para radiación térmica.	0,2	0,94	0,9	-
Conductividad térmica.	0,45	0,19	0,76	W/mK
Índice renovación del aire.	0.75 - 1,75	0.75 - 1,75	0.5 - 1,5	h <sup>-1</sup>

En cuanto a las dimensiones, se consideran invernaderos construidos en el país que utilizan geotermia para cumplir la demanda energética, como lo son los invernaderos en el Centro de Estudio y Trabajo Valle Verde en Puerto Aysén, calefaccionados con una bomba de calor que tienen medidas de 6.2 m de ancho, 24.2 de largo y 3 m de alto [8]. Por lo tanto, se considera un invernadero de largo de 25 m, ancho de 6 m y alto de 3 m, tal como se muestra en la Figura 3.6.

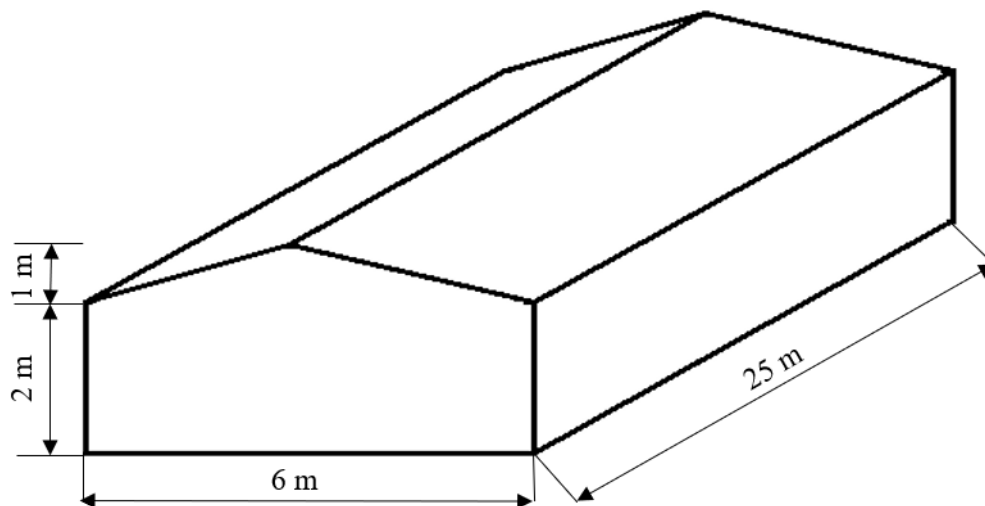


Figura 3.6: Dimensiones del invernadero.

### 3.2.1 TEMPERATURA

La temperatura es el parámetro más importante en el manejo del ambiente dentro de un invernadero, ya que es el factor que más influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas, depende de la radiación solar incidente, humedad, ventilación y respiración del cultivo. Hay diferentes temperaturas que se deben tomar en cuenta al momento de considerar cual es la que tendrá el invernadero:

- Temperatura mínima letal: temperatura a la que comienzan a producirse daños en la planta.
- Temperaturas máximas y mínimas biológicas: temperaturas que al sobrepasarlas podrían afectar los procesos de desarrollo del cultivo.
- Temperaturas diurnas y nocturnas: son las temperaturas que deben mantenerse dentro del invernadero para tener el desarrollo óptimo.

Para los cálculos del balance energético del invernadero se considera la temperatura óptima diurna y nocturna, por lo que igual forma permiten un rango de variación de temperatura sin producir daños perjudiciales en el cultivo.

### 3.2.2 VENTILACIÓN

Las cubiertas del invernadero limitan la renovación y circulación de aire dentro del invernadero, por eso la ventilación consta de evacuar la sobrecarga de calor del invernadero bajando la temperatura, modificando la humedad y concentración de gases, ya sea de forma natural o forzada.

Cuando la tasa de renovación del invernadero es baja o nula, una pequeña corriente de aire atravesando los cultivos mejora sustancialmente el intercambio de gases, evitando condiciones de saturación por exceso de humedad en condiciones de baja temperatura y mejorando la transpiración en condiciones de elevada temperatura.

#### 3.2.2.1 VENTILACIÓN NATURAL

Este tipo de ventilación se basa en la diferencia temperaturas y de presiones, que es provocada por el viento incidente en la cubierta creando zonas de presión, no se utiliza una energía para hacer la ventilación, dependerá del gradiente de temperatura interior-exterior, intensidad y dirección del viento [9].

Se utilizan ventanas tal como se muestra en la Figura 3.7. En el invernadero a estudiar se consideran ventanas laterales con una apertura cada una hora durante el día y sin apertura en la noche. Durante el verano se recomienda abrir la totalidad de las ventanas del invernadero en zonas climáticas más calurosas

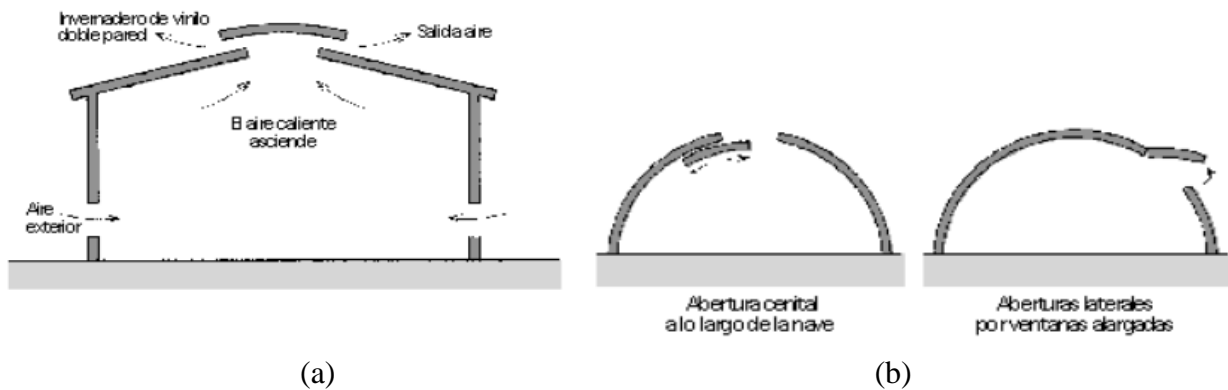


Figura 3.7: Ejemplos de ventilación natural en invernadero. (a) Ventilación superior. (b) Ventilación con apertura lateral.

### 3.2.2.2 VENTILACIÓN FORZADA

Generalmente se utilizan ventiladores en la cubierta o en la parte alta lateral del invernadero para crear un flujo de aire donde los ventiladores extraen aire mientras que las ventanas permiten el paso del aire, como se muestra en la Figura 3.8.

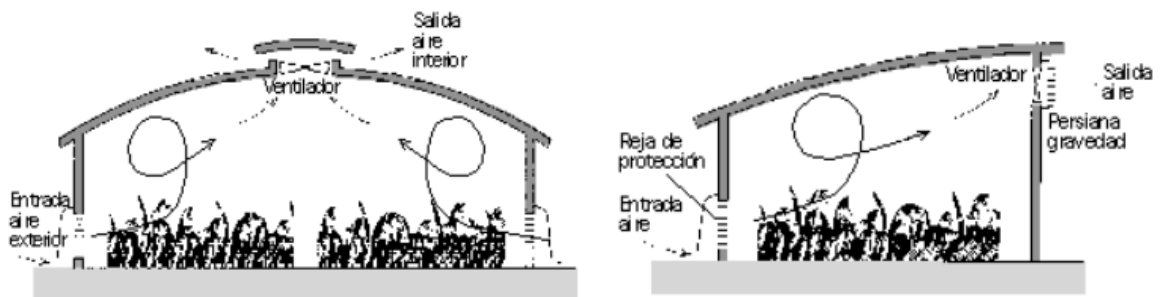


Figura 3.8: Ejemplos de ventilación forzada.

### 3.2.3 SISTEMAS DE CALEFACCIÓN

Para calefaccionar un invernadero existen diferentes sistemas, uno de los más simples es un sistema directo y otro más elaborado corresponde a bombas de calor, intercambiadores de calor, etc. Dentro de los sistemas de calefacción se encuentran los sistemas de vapor, de aire caliente y de agua caliente. Cuando hay calefacción con un sistema de agua caliente se puede realizar mediante un sistema de tuberías de plástico o de hierro, dependiendo de la temperatura del agua, situadas a nivel de suelo, nivel de canal o nivel de cultivo como se muestra en la Figura 3.9 [10]. Generalmente se utilizan bombas de calor, por lo que resulta interesante estudiar la factibilidad de un intercambiador de calor.

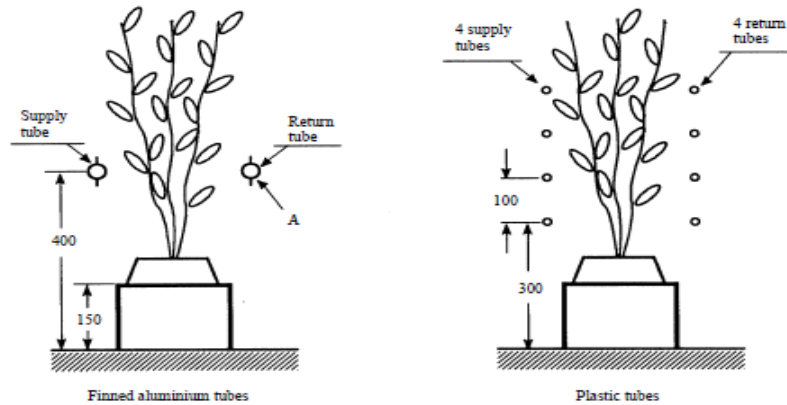


Figura 3.9: Ejemplo de climatización con tubo a nivel de cultivo.

En el balance de energía se considera que la energía cambia por unidad de longitud en el agua, dentro del tubo, en la pared del tubo y en las aletas. Mientras que el otro lado representa la salida real de calor por unidad de longitud del tubo debido a convección y radiación. Cuando la temperatura del agua es elevada, se suele utilizar intercambiador de calor para disminuir la temperatura de entrada del agua como se muestra en la Figura 3.10 [11] otro sistema con intercambiador de calor.

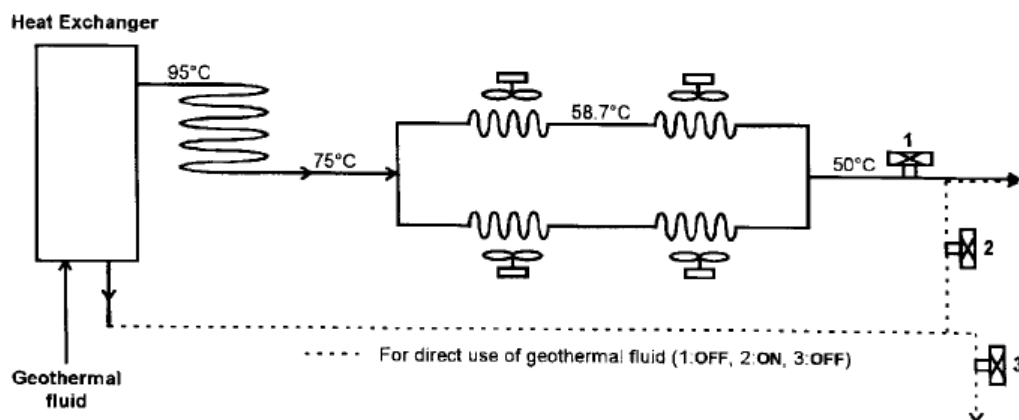


Figura 3.10: Ejemplo de climatización con intercambiador de calor.

### 3.3 CULTIVOS

Para determinar las condiciones en cuanto de temperatura y humedad que se debe tener en el invernadero, es necesario saber las condiciones de cultivos. Para este estudio se consideran cuatro tipos de cultivo, que son actualmente algunos de los más producidos en el país: lechuga, tomate, pimentón y acelga.

Las plantas tienen varias etapas en su desarrollo de vida: germinación, crecimiento y maduración, teniendo diferentes requerimientos según la etapa de desarrollo y hora del día (diurna o nocturna). Como el crecimiento abarca cerca de un 50% de la vida del cultivo, se consideran los datos de esta fase para el estudio, tanto como de coeficiente de cultivo y temperaturas óptimas.

En la Tabla 3.3 se muestran los días de cultivo, temperaturas óptimas diurna y nocturna de los cultivos seleccionados para los invernaderos según las condiciones climáticas para el tomate, lechuga, pimentón y acelga [12] [13].

Tabla 3.3: Datos relevantes sobre cada cultivo.

<b>Cultivo</b>	<b>Ciclo cultivo [días]</b>	<b>Rango temperatura diurna [°C]</b>	<b>Rango temperatura nocturna [°C]</b>
Tomate	155	18-26	13-16
Lechuga	70	18-24	10-15
Pimentón	125	20-28	16-20
Acelga	60	15-25	15-22

El rendimiento del tomate es 49 kg/m<sup>2</sup> y dos a tres ciclos por año; la lechuga tiene rendimiento de 47 unidades por m<sup>2</sup> con cinco a seis ciclos anuales; el pimentón produce 33 unidades por m<sup>2</sup> con tres ciclos anuales y la acelga tiene un rendimiento de 35 paquetes por metro cuadrado, con seis ciclos anuales. Se evalúan cinco casos diferentes de plantaciones con el objetivo de considerar diferentes casos de cultivos, se toma en cuenta la semejanza entre los requerimientos térmicos de cada uno para realizar el quinto caso como se muestra en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4: Temperaturas diurnas y nocturnas de los cultivos a estudiar.

<b>Caso</b>	<b>Cultivo</b>	<b>Temperatura diurna [°C]</b>	<b>Temperatura nocturna [°C]</b>
1	Tomate	25	16
2	Lechuga	22	15
3	Pimentón	24	18
4	Acelga	18	18
5	Todos	22	17

### 3.4 BALANCE ENERGÉTICO DEL INVERNADERO

Para realizar el balance energético del invernadero es necesario saber las condiciones climáticas exteriores que influyen en la necesidad energética del invernadero, las principales variables son la intensidad de radiación solar, temperatura y humedad exteriores, dirección y velocidad media del viento. El siguiente análisis es basado en el informe "Ahorro y Eficiencia Energética en Invernaderos" [14]. En base a esto, en la Figura 3.11 se muestra el balance energético en un invernadero:

$$R_n + Q_{cal} = Q_{cc} + Q_{ren} + Q_{evap} + Q_{suelo} \quad (3.1)$$

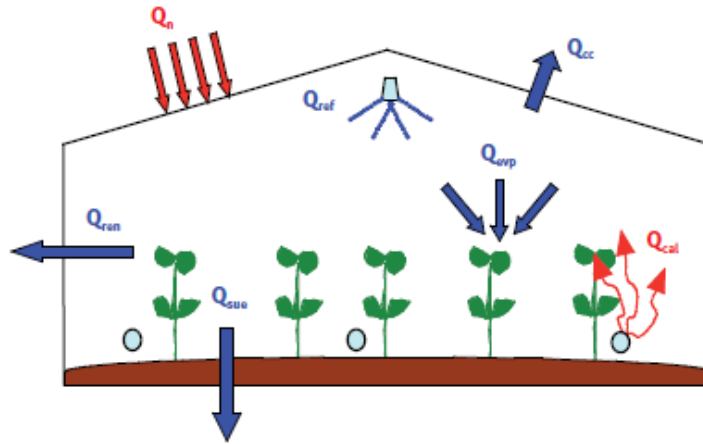


Figura 3.11: Diagrama de balance energético de un invernadero.

Donde:

- $R_n$ : Radiación neta [W].
- $Q_{cal}$ : Energía calorífica aportar o eliminar del invernadero [W].
- $Q_{cc}$ : Calor por conducción – convección con el ambiente [W].
- $Q_{ren}$ : Calor sensible y latente por la renovación del aire interior [W].
- $Q_{evap}$ : Calor consumido en la evapotranspiración de las plantas y suelo [W].
- $Q_{suelo}$ : Conducción a través del suelo [W].

#### 3.4.1 RADIACIÓN NETA, $R_n$

La radiación neta del invernadero es la suma de la radiación solar absorbida por las paredes, por el suelo y por los cultivos menos la radiación térmica, que es la radiación emitida por la cubierta, tal como se muestra en la expresión 3.2:

$$R_n = R_{sol} + R_{ter} \quad (3.2)$$

Donde:

- $R_{sol}$ : Radiación solar [W].
- $R_{ter}$ : Radiación térmica [W].

La radiación solar se refiere a la energía recibida por el invernadero a través de radiación absorbida por las paredes, suelo y plantas.

$$R_{sol} = S_s \cdot [I \cdot (\alpha_{sol} + \tau_{sol} \cdot \alpha_s)] \quad (3.3)$$

Donde:

- $S_s$ : Superficie captadora de la radiación solar [ $m^2$ ].
- $I$ : Radiación solar incidente [ $W/m^2$ ].
- $\alpha_{sol}$ : Coeficiente de absorción de la cubierta para la radiación solar.
- $\tau_{sol}$ : Coeficiente de transmisión del material de cubierta para la radiación solar.
- $\alpha_s$ : Coeficiente de absorción de las plantas y del suelo.

En la Figura 3.12 se muestra un esquema de los coeficientes que influyen en la radiación solar.

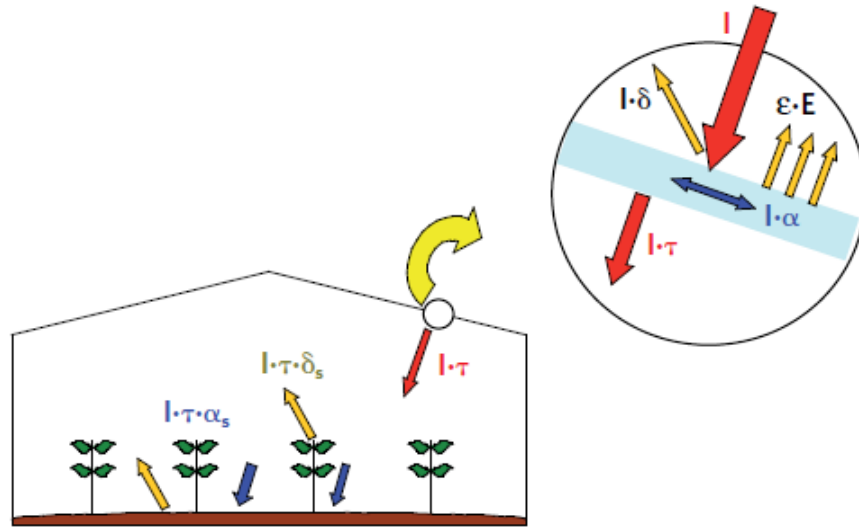


Figura 3.12: Balance de radiación en un invernadero.

El coeficiente de absorción de las plantas y del suelo  $\alpha_s$  puede calcularse como:

$$\alpha_s = \alpha_{pla} \cdot f_p \cdot (1 - \rho_{suelo}) \cdot (1 - f_p) \quad (3.4)$$

Donde

- $f_p$ : Fracción del suelo cubierto por los cultivos.
- $\rho_{suelo}$ : Valor de albedo dependiente de la superficie.
- $\alpha_{pla}$ : Coeficiente de absorción de las plantas para la radiación solar.

La radiactividad térmica puede calcularse por:

$$R_{ter} = S_c \cdot \sigma \cdot \tau_{ter} \cdot (\varepsilon_{atm} \cdot T_{atm}^4 - \varepsilon_{ter} \cdot T_c^4) \quad (3.5)$$

Donde:

- $S_c$ : superficie de suelo cubierta [ $m^2$ ].
- $\sigma$ : constante de Stefan-Boltzman  $5.67 \times 10^{-8}$  [ $W/m^2K^4$ ].
- $\tau_{ter}$ : coeficiente de transmisión del material de cubierta para la radiación térmica.
- $\varepsilon_{atm}$ : emisividad de la atmósfera.



- $T_{atm}$ : temperatura de emisión de energía a la atmósfera [K].
- $\varepsilon_{ter}$ : emisividad del material de cubierta para la radiación térmica.
- $T_c$ : temperatura absoluta de la cubierta [K].

La emisividad de la atmósfera se puede calcular como:

$$\varepsilon_{atm} = 1 - 0.35e^{\frac{-10e_e}{T_e}} \quad (3.6)$$

La presión parcial del vapor de agua en el aire es:

$$e_e = e_{se} \cdot HR_e \quad (3.7)$$

La presión parcial del vapor saturante en el aire exterior se calcula con:

$$e_s = 6.1078e^{\frac{17.269 t(^{\circ}C)}{t-237.3}} \quad (3.8)$$

La temperatura de emisión de energía a la atmósfera se puede estimar con:

$$T_{atm} = f_n \cdot T_e + 0.0552 \cdot (1 - f_n) \cdot T_e^{1.5} \quad (3.9)$$

Con:

- $f_n$ : factor de nubosidad, es igual a 0 cuando está nublado y 1 despejado.
- $T_e$ : temperatura absoluta exterior [K].

La temperatura de la cubierta  $T_c$  se calcula considerando convección y conducción entre el interior y el exterior

### 3.4.2 CALOR PERDIDO POR CONDUCCIÓN – CONVECCIÓN, $Q_{cc}$

El calor que pasa por unidad de superficie de cubierta y por unidad de tiempo cuando hay intercambios energéticos por conducción – convección es:

$$Q_{cc} = S_d * K_{cc} * (T_i - T_e) \quad (3.11)$$

Donde:

- $K_{cc}$ : Coeficiente global de pérdidas de calor por conducción – convección.
- $S_d$ : Superficie desarrollada de la pared del invernadero [m<sup>2</sup>].
- $T_i$ : Temperatura interior [°C].
- $T_e$ : Temperatura exterior [°C].

El coeficiente mencionado se calcula con:

$$K_{cc} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_c}{\lambda_c} + \frac{1}{h_e}} \quad (3.12)$$

- $e_c$ : Espesor del material de cobertura [m].
- $\lambda_c$ : Conductibilidad térmica del material de cobertura [W/m<sup>3</sup>K].
- $h_c$ : Coeficiente superficial de convección para el ambiente exterior.
- $\Delta T$ : salto térmico entre el interior y exterior [K].

Los coeficientes se pueden calcular con:

$$h_i = 1.95 \cdot (T_c - T_i)^{0.3} \text{ para } (T_c - T_i) \leq 11,1 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.13)$$

$$h_i = 7.2 \text{ para } (T_c - T_i) > 11,1 \text{ }^\circ\text{C} \quad (3.14)$$

El coeficiente exterior se calcula según la velocidad del viento  $v$ :

$$h_{ext} = 2.8 + 1.2 \cdot v \quad (3.15)$$

### 3.4.3 CALOR SENSIBLE Y LATENTE PERDIDO POR LA RENOVACIÓN DEL AIRE INTERIOR, $Q_{ren}$

La entrada del aire procedente del exterior supone una pérdida o ganancia de energía según las diferencias de temperatura y humedad en el exterior está dada por:

$$Q_{ren} = V_{inv} \cdot R_{aire}/3600 \cdot \rho_{aire} \cdot [c_{pa} \cdot (t_i - t_e) + \lambda_0 \cdot (x_i - x_e) + c_{pv} \cdot (x_i \cdot t_i - x_e \cdot t_e)] \quad (3.16)$$

- $V_{inv}$ : volumen del invernadero [ $\text{m}^3$ ].
- $R$ : índice de renovación del aire [ $\text{hr}^{-1}$ ].
- $\rho_{aire}$ : densidad del aire [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].
- $c_{pa}$ : calor específico del aire [ $\text{J}/\text{kgK}$ ].
- $c_{pv}$ : calor específico del vapor recalentado [ $\text{J}/\text{kg}$ ].
- $x_i, x_e$ : humedades absolutas interiores y exteriores, respectivamente.
- $\lambda_0$ : calor latente de vaporización [ $\text{J}/\text{kg}$ ].

El calor latente de vaporización se calcula como:

$$\lambda_0 = 2502535.259 - 2385.76424 \cdot t \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (3.17)$$

La humedad absoluta de una masa de aire húmedo está en función de la humedad relativa HR.

$$x = 0.6219 \cdot HR \cdot e_s / (p - HR \cdot e_s) \quad (3.18)$$

La presión parcial del vapor en saturación se puede realizar mediante:

$$e_s = 6.1078 \cdot \exp\left(\frac{17.269 t \text{ (}^\circ\text{C)}}{t+237.3}\right) \quad (3.19)$$

Luego para calcular la densidad del aire  $\rho$ :

$$\rho = \frac{1000 \cdot p}{1,01287 \cdot (t+273,16)} \quad (3.20)$$

Con  $p$  presión interior del invernadero igual a la presión atmosférica en función de la elevación sobre el nivel del mar:

$$p_{atm} = p = 101,3 \cdot \left[\frac{293-0,0065 \cdot z}{293}\right]^{5,26} \quad (3.21)$$

Para calcular las humedades absolutas interiores y exteriores se calcula con la humedad relativa, presión en el invernadero y presión parcial del vapor en saturación con:

$$x = 0,6219 \cdot HR \cdot e_s / (p - HR \cdot e_s) \quad (3.22)$$

$$e_s = 6,1078 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot t}{t+273,3}} \quad (3.23)$$

### 3.4.4 CALOR LATENTE CONSUMIDO EN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LAS PLANTAS Y EL SUELO, $Q_{evap}$

Para un cultivo se tiene que el calor absorbido por la evapotranspiración del cultivo es:

$$Q_{evap} = \lambda_0 \cdot ET_c \quad (3.24)$$

Con:

$$ET_c = k_c \cdot ET_0 \quad (3.25)$$

Donde:

- $ET_0$ : Flujo de calor absorbido por el agua evapotranspirada.
- $k_c$ : coeficiente del cultivo.

Con la evapotranspiración potencial

$$ET_0 = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - Q_{sue}) + \frac{37 \cdot \gamma}{T_i} \cdot u \cdot DPV_c}{\Delta \cdot \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u)} \quad (3.26)$$

$$\Delta = 4098 \cdot \frac{0.61078 \cdot \exp\left(\frac{17.269 \cdot t}{t + 237.3}\right)}{(t + 237.3)^2} \quad (3.27)$$

$$\gamma = c_{pa} \cdot \left(\frac{p}{0.6219 \cdot \lambda_0}\right) \quad (3.28)$$

Con:

- $ET_0$ : Flujo de calor absorbido por el agua evapotranspirada.
- $k_c$ : coeficiente del cultivo.

### 3.4.5 CALOR LATENTE DEL SUELO, $Q_{suelo}$

Alrededor de un 10% de las pérdidas de calor de un invernadero se producen a través del suelo. Esta pérdida se calcula con:

$$Q_{suelo} = K_s \cdot S_c \cdot (t_i - t_s) / p \quad (3.29)$$

- $K_s$ : coeficiente de intercambio térmico a través del suelo [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ].
- $t_s$ : temperatura del suelo del invernadero [ $^\circ C$ ].
- $p$ : profundidad a la que estima la diferencia de temperatura [m].

El campo de temperatura de un invernadero que se calefacciona con agua caliente y no se consideran efectos de la radiación solar. Finalmente, el calor que se necesita aportar al invernadero  $Q_{cal}$  está determinado por la ecuación 3.30:

$$Q_{cal} = Q_{cc} + Q_{ren} + Q_{evap} + Q_{suelo} - R_n \quad (3.30)$$

### 3.5 DISEÑOS INTERCAMBIADORES DE CALOR

Los intercambiadores de calor son aparatos diseñados para transferir calor entre dos fluidos que se encuentran a diferentes temperaturas. Las aplicaciones van desde uso doméstico para calefacción y acondicionamiento hasta para uso industrial, sanitario, agrícola, etc.

Existen diversos tipos de intercambiadores de calor, algunos más eficientes que otros dependiendo de las condiciones de operación y aplicación, están limitados por diferentes variables como presión, temperatura o tamaño máximo. A continuación, se mencionan algunos tipos de intercambiadores de calor clasificados según su flujo, también se pueden clasificar según su función y otras características [15].

- **Flujo paralelo:** los dos fluidos, frío y caliente, entran en el intercambiador por el mismo extremo y se mueven en la misma dirección.
- **Contraflujo:** los fluidos entran al intercambiador por los extremos opuestos y fluyen en direcciones opuestas.
- **Flujo cruzado mezclado:** los dos fluidos se mueven de forma perpendicular entre sí, uno fluye por tubos y otro por un ducto externo a los tubos. Generalmente constan de placas instaladas en la misma dirección del flujo disminuyendo la turbulencia.
- **Flujo cruzado no mezclado:** los flujos se mueven de forma perpendicular, uno que fluye internamente por tuberías y otro externo que fluye por un ducto. Este último se mueve de forma libre aumentando la turbulencia del flujo.

Hay otras clasificaciones de intercambiadores, como los compactos que transfieren calor entre dos fluidos en un volumen pequeño, tiene aplicaciones con limitaciones estrictas con respecto al peso y volumen, está diseñado para lograr una gran área superficial de transferencia de calor por unidad de volumen. El tipo de intercambiador de calor a diseñar es un intercambiador de tubos aletados en conjunto con un ventilador dispuesto de forma perpendicular a las caras de los tubos, de esta forma se crea convección para climatizar el invernadero, tal como se muestra en la Figura 3.13.

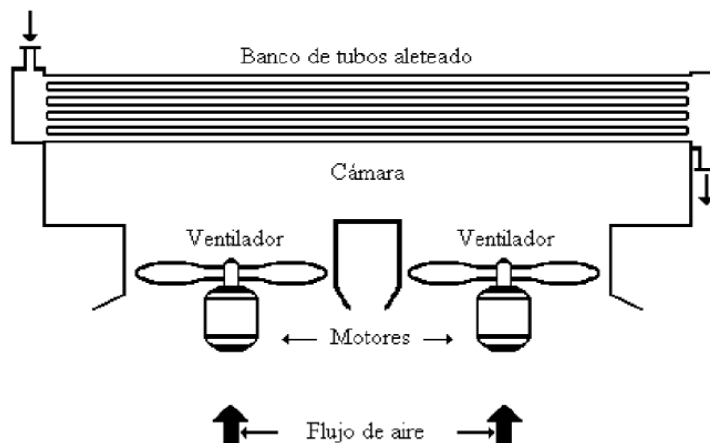


Figura 3.13: Ejemplo de intercambiador de calor de tubos aletado.

El flujo necesario de agua caliente para suplir la demanda energética máxima se determina con la ecuación 3.30, considerando que la velocidad de transferencia de calor entre los dos fluidos es igual, según la primera ley de termodinámica.

$$Q = \dot{m}_{aire} \cdot c_p \cdot \Delta T_{aire} = \dot{m}_{agua} \cdot (h_f - h_i) \quad (3.30)$$

Donde:

- $Q$ : Demanda máxima [kW].
- $\dot{m}_{aire}$ : flujo másico de aire [kg/s].
- $c_p$ : calor específico del aire [kJ/kgK].
- $\Delta T_{aire}$ : variación de temperatura del aire [K].
- $\dot{m}_{agua}$ : flujo másico de agua [kg/s].
- $h_f$ : entalpía del agua en la salida [W/m<sup>2</sup>K].
- $h_i$ : entalpía del agua a la entrada [W/m<sup>2</sup>K].

Para comenzar a diseñar el intercambiador de calor, se considera la ecuación 3.31, en la que se desconoce el coeficiente  $U$  y el área  $A$ :

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_m \quad (3.31)$$

Con:

- $Q$ : Potencia [W].
- $U$ : Coeficiente global de intercambio térmico del intercambiador de calor [W/(m<sup>2</sup>K)].
- $A$ : Área de contacto [m<sup>2</sup>].
- $\Delta T$ : Diferencia media de temperatura [K].

De la expresión 3.31 se conoce la potencia necesaria y es posible calcular la diferencia media de temperatura al imponer las temperaturas de entrada y salida de ambos fluidos. Para obtener el área de transferencia de calor se utiliza el método de la efectividad – NUT, corresponde a un método iterativo en que a partir de supuestos bibliográficos se obtiene el coeficiente global  $U$  y el área de transferencia  $A$  [16].

Primero se calcula la efectividad del intercambiador, se define como la tasa de transferencia de calor efectiva que se produce entre los fluidos ( $Q$ ) y la tasa máxima de transferencia de calor que se podría alcanzar idealmente con las condiciones de funcionamiento, ( $Q_{max}$ ), se expresa como:

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{max}} \quad (3.32)$$

Con:

$$Q = C_C \cdot [(T_C)_E - (T_C)_S] = C_F \cdot [(T_F)_S - (T_F)_E] \quad (3.33)$$

$$Q_{max} = C_{min}[(T_C)_e - (T_F)_e] \quad (3.34)$$

- $C_C$ : capacidad térmica fluido caliente [kW/°C].
- $C_F$ : capacidad térmica fluido frío [kW/°C].
- $C_{min}$ : capacidad térmica menor de ambos fluidos [kW/°C].
- $(T_C)_E$ : Temperatura de entrada fluido caliente (agua) [°C].
- $(T_C)_S$ : Temperatura de salida fluido caliente (agua) [°C].
- $(T_F)_E$ : Temperatura de entrada fluido frío (aire) [°C].
- $(T_F)_S$ : Temperatura de salida fluido frío (agua) [°C].

La capacidad térmica corresponde a la multiplicación del calor específico del fluido por el caudal másico. El parámetro adimensional  $NUT$  caracteriza el volumen del intercambiador de calor mediante la tasa de transferencia de calor  $UA$ :

$$NUT = \frac{U_{calor} \cdot A_e}{C_{min}} = \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_m} \quad (3.35)$$

Con:

$$\Delta T_{max} = (T_C)_E - (T_F)_E \quad (3.36)$$

### 3.5.1. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA $\Delta T_m$

Para determinar  $\Delta T_m$  de la ecuación 3.31, se utiliza el método de la diferencia de temperatura media logarítmica como se muestra en la ecuación 3.34:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (3.34)$$

Con  $\Delta T_1$  y  $\Delta T_2$  la diferencia de temperatura entre las entradas de cada lado del intercambiador como se muestra en la Figura 3.14, considerando un intercambiador de calor a contraflujo. Las expresiones para estas diferencias de temperatura se muestran en las ecuaciones 3.35 y 3.36 respectivamente.

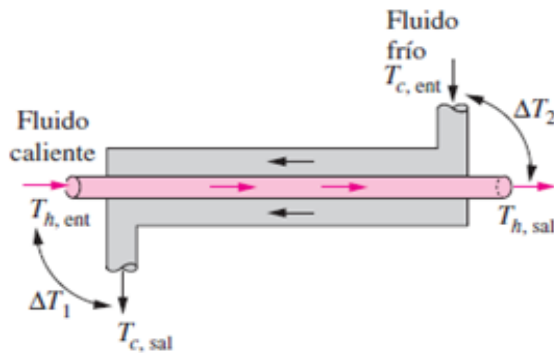


Figura 3.14: Esquema representativo de un intercambiador a contraflujo con fluidos sin mezclar [16].

$$\Delta T_1 = T_{C,E} - \Delta T_{F,S} \quad (3.35)$$

$$\Delta T_2 = T_{C,S} - \Delta T_{F,E} \quad (3.36)$$

Se calcula un factor de corrección  $F$ , que muestra la desviación de  $\Delta T_m$  con respecto a los valores de la temperatura, depende de la configuración geométrica del intercambiador y de las temperaturas de entrada y salida de ambos fluidos. Para este caso se considera el gráfico para un flujo cruzado con dos fluidos de flujo no mezclado de la Figura 3.15:

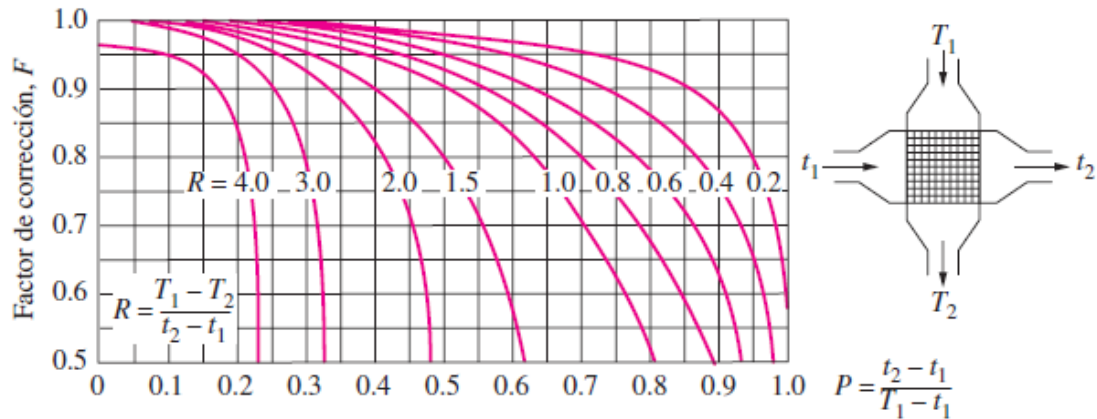


Figura 3.15: Diagrama del factor de corrección  $F$  para intercambiador de calor de flujo cruzado con los dos fluidos no mezclados [16].

Las razones  $P$  y  $R$  se calculan con las ecuaciones 3.37 y 3.38 respectivamente, considerando las temperaturas de entrada y salida de cada fluido:

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad (3.37)$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad (3.38)$$

Finalmente, la relación de temperaturas queda  $\Delta T_m = F \cdot \Delta T_m$  y se calcula el coeficiente  $NUT$  que determina el número universal de tubos.

### 3.5.2. ÁREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR

El diseño a continuación se basa en “Diseño ingenieril y mecánico de intercambiador de calor aéreo” [17]. Para los cálculos siguientes se consideran las propiedades termodinámicas a la temperatura promedio de cada fluido dependiendo del cultivo, tales como densidad, viscosidad cinemática, número de Prandt, conductividad térmica, etc. Se encuentran en Anexo A.

Primero se define un perfil con aletas pues permite aumentar el área de transferencia por unidad de volumen, por lo tanto, se considera un tubo con aletas anulares como se muestra en la Figura 3.16.

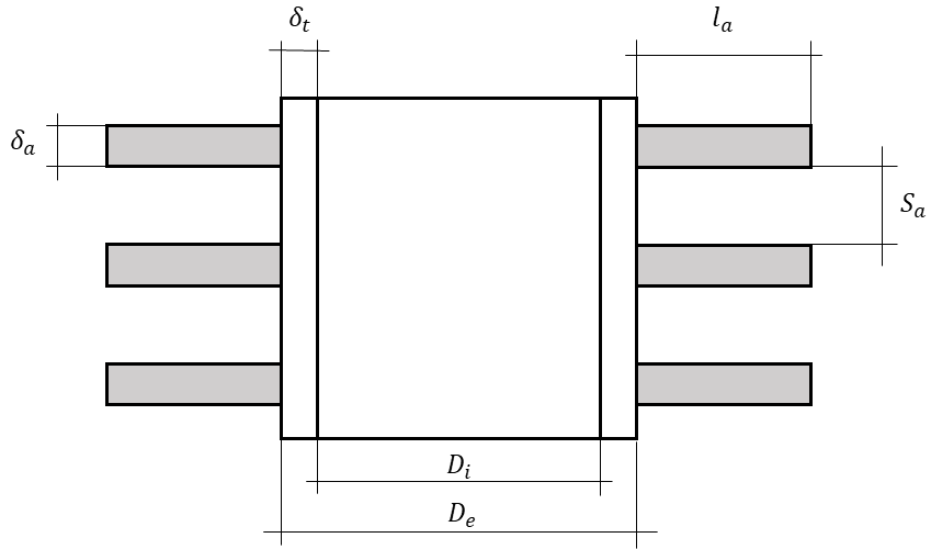


Figura 3.16: Perfil aletado de un tubo.

Con la ecuación 3.35 se obtiene el área y se calcula un nuevo coeficiente U que depende del número de tubos, longitud de los tubos y diámetro de éstos. Para realizar este cálculo es necesario fijar dos de las tres variables. El número de tubos  $N_t$  queda definido por la expresión:

$$N_t = \frac{A_e}{A_{e,t}} \quad (3.39)$$

Donde  $A_{e,t}$  corresponde al área externa de un tubo aletado, depende de la geometría y la cantidad de aletas por metro de tubo:

$$A_{e,t} = L_t \cdot [N_{a,1m} \cdot A_{1a} + \pi \cdot D_e \cdot (1 - N_{a,1m} \cdot \delta_a)] \quad (3.40)$$

Con:

- $L_t$ : longitud de los tubos [m].
- $N_{a,1m}$ : número de aletas por metro de tubo.
- $A_{1a}$ : área de una aleta [m<sup>2</sup>].
- $D_e$ : diámetro exterior de los tubos [m].
- $t_a$ : espesor de las aletas [m].

El área de una aleta se calcula con la ecuación 3.41:

$$A_{1a} = \delta_a \cdot \pi \cdot D_a + 2 \cdot \left[ \frac{\pi \cdot (D_a^2 - D_e^2)}{4} \right] \quad (3.41)$$



### 3.5.1.1 COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR INTERIOR

El coeficiente de transferencia de calor por convección interior es:

$$h_i = \frac{Nu_i \cdot k_w}{D_i} \quad (3.41)$$

Con:

- $Nu_i$ : Número de Nusselt de flujo interno.
- $h_i$ : coeficiente de transferencia de calor por convección del flujo interno [W/m<sup>2</sup>K].
- $k$ : conductividad térmica [W/mK].
- $D_i$ : diámetro interno del tubo [m].

El número de Nusselt se obtiene considerando el tipo de flujo interior, si laminar o turbulento por lo tanto se calcula el número de Reynolds:

$$Re_i = \frac{4 \cdot \dot{m}_{agua,1t}}{\pi \cdot \mu_{agua} \cdot D_i} \quad (3.42)$$

Con:

- $\dot{m}_{agua,1t}$ : flujo másico de agua de un tubo [kg/s].
- $\mu_{agua}$ : viscosidad cinemática del agua a temperatura promedio [m<sup>2</sup>/s].
- $D_i$ : diámetro interno de los tubos [m].

$$Nu_i = 0.023 \cdot Re_i^{4/5} \cdot Pr^{0.3} \quad (3.43)$$

### 3.5.1.2 COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN EXTERIOR

Luego, el coeficiente de transferencia de calor por convección exterior se calcula de forma análoga:

$$h_e = \frac{Nu_e \cdot k_{aire}}{D_e} \quad (3.44)$$

El número de Nusselt se calcula con la expresión 3.44, para  $10^3 \leq Re_D \leq 2 \cdot 10^5$ :

$$Nu_e = 0.35 \cdot C_n \cdot Re_e^{0.6} \cdot Pr^{0.36} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_p}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left(\frac{X_t}{X_l}\right)^{0.2} \quad (3.45)$$

El número de Reynolds se obtiene a partir de la ecuación 3.45

$$Re_{a,maz} = \frac{u_{aire,max} D_e}{\nu_{aire}} \quad (3.46)$$

Donde la velocidad máxima del aire  $u_{aire,max}$  es:

$$u_{aire,max} = \frac{u_{aire} \cdot X_t}{|X_t - D_e|} \quad (3.47)$$

$$u_{aire} = \frac{\dot{m}_{aire}}{\rho_{aire} \cdot A_{paso}} \quad (3.48)$$

Con:

- $\dot{m}_{aire}$ : flujo másico del aire [kg/s].
- $\rho_{aire}$ : densidad del aire a temperatura promedio [kg/m<sup>3</sup>].

- $A_{paso}$ : área de paso del aire, corresponde al largo del tubo por su ancho [ $m^2$ ].
- $X_t$ : distancia horizontal entre centros de dos tubos contiguos [ $m$ ].
- $X_l$ : distancia vertical entre centro de dos tubos contiguos [ $m$ ].

Las distancias  $X_t$  y  $X_l$  se muestran en la Figura 3.17, la disposición de tubos seleccionadas es la triangular pues tiene mayor efectividad.:

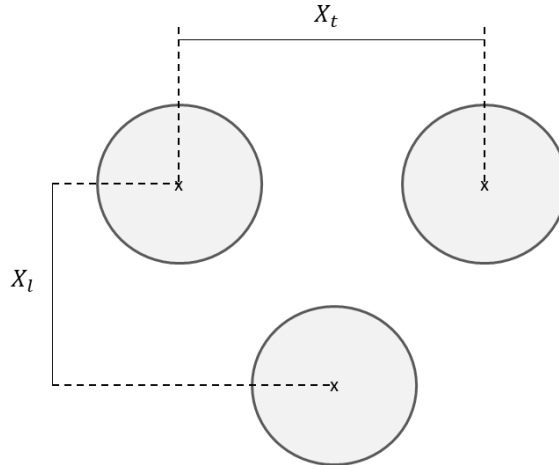


Figura 3.17: Disposición triangular y distancias entre centros de tubos contiguos.

El coeficiente  $C_n$  de la ecuación 3.45 depende del número de filas de tubo, la disposición de éstos y del número de Reynolds del aire, se obtiene a partir del gráfico de la Figura 3.18:

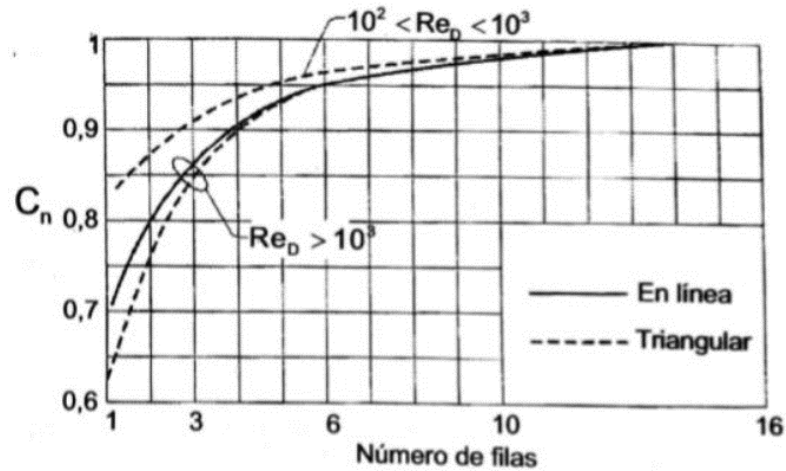


Figura 3.18: Gráfico de variación del coeficiente  $C_n$  con el número de filas de tubo.

### 3.5.2 EFICIENCIA GLOBAL DE LAS ALETAS

La eficiencia global de las aletas se calcula con:

$$\eta_g = 1 - \frac{A_{a,t}}{A_{e,t}} \cdot (1 - \eta_a) \quad (3.49)$$

Con:

- $A_{a,t}$ : área de transmisión de calor del aleteado de un tubo [ $\text{m}^2$ ].
- $A_{e,t}$ : área de transmisión de calor exterior total de un tubo [ $\text{m}^2$ ].
- $\eta_a$ : eficiencia individual de una aleta [%].

El área de un tubo aleteado se calcula con la expresión 3.50:

$$A_{a,t} = L_t \cdot N_{a,1m} \cdot A_{1a} \quad (3.50)$$

Con  $L_t$  el largo de un tubo [m];  $N_{a,1m}$  el número de aletas por metro de tubo y  $A_{1a}$  el área de una aleta calculada con la ecuación 3.41. El área  $A_{e,t} = A_{a,t} + A_{e,t}$ .

### 3.5.3 RESISTENCIA TÉRMICA EQUIVALENTE

Para determinar el coeficiente global de transferencia de calor U, es necesario calcular la resistencia térmica total equivalente. Como se ha mencionado, el intercambiador corresponde a un intercambiador con aletas anulares por lo que la resistencia sería tal como se representa en la Figura 3.19.

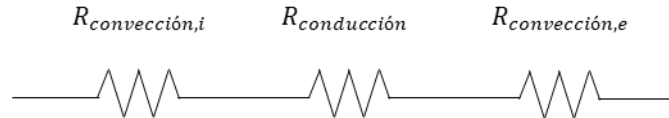


Figura 3.19: Esquema de resistencias equivalentes para el intercambiador de calor.

Por cuenta de esto, la resistencia total se obtiene a partir de:

$$R_{total} = R_{convección,i} + R_{conducción} + R_{convección,e} \quad (3.51)$$

Corresponden a la resistencia a la transferencia de calor en el fluido interno, la transferencia por conducción entre las paredes del tubo y la transferencia de calor por convección en el fluido externo, resultando la ecuación:

$$R_{total} = \frac{A_e}{A_i \cdot h_i} + \frac{\ln(D_e/D_i)}{2 \cdot \pi \cdot k_t \cdot L_t \cdot N_t} + \frac{1}{\eta_g \cdot h_e} \quad (3.52)$$

Con:

- $A_i$ : Área de transmisión de calor interior [ $\text{m}^2$ ].
- $A_e$ : Área de transmisión de calor exterior [ $\text{m}^2$ ].
- $h_i$ : Coeficiente de transmisión de calor por convección interior [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ].
- $h_e$ : Coeficiente de transmisión de calor por convección exterior [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ].
- $D_i$ : Diámetro interior del tubo [m].

- $D_e$ : Diámetro exterior de tubo [m].
- $k_t$ : Conductividad térmica del material de tubo [W/mK].
- $L_t$ : Largo del tubo [m].
- $N_t$ : Número de tubos.
- $\eta_g$ : Eficiencia global de las aletas.

Finalmente se calcula el valor del coeficiente global de transferencia de calor con  $U = 1/R$ . Se itera este cálculo hasta que el coeficiente U coincida con el coeficiente asumido inicialmente, también se modifica el diámetro interno.

### 3.6 PÉRDIDAS DE CARGA

La pérdida de carga incide en la potencia y consumo de energía de las bombas a utilizar. La pérdida por rozamiento en los tubos se calcula según la expresión:

$$\Delta P_{bomba} = f \cdot \frac{L_t}{D_i} \cdot \frac{\rho_{agua} \cdot u_{agua}^2}{2} \quad (3.53)$$

El factor de fricción  $f$  se calcula según el número de Reynolds:

$$f = (0.790 \ln(Re) - 1.64)^{-2} \quad (3.54)$$

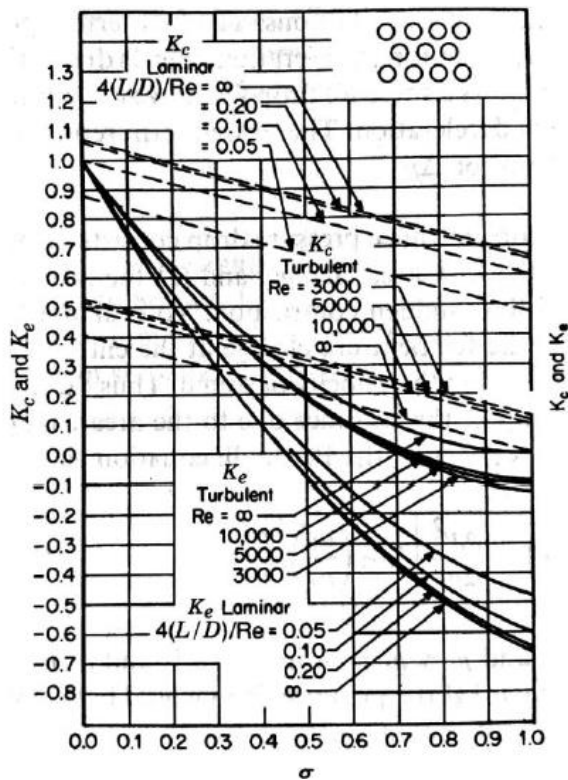


Figura 3.20: Gráfico para determinar parámetros  $K_c$  y  $K_e$ .

### 3.7 VENTILADORES

Una vez diseñado el intercambiador de calor se calcula el caudal de aire que debe suministrar el ventilador. Como se ha visto en secciones anteriores, el flujo másico se obtiene a partir de la ecuación 3.55:

$$\dot{m}_{aire} = \frac{\dot{Q}}{c_{p_{aire}}(T_{f,sal} - T_{f,ent})} \quad (3.55)$$

Con:

- $\dot{Q}$ : potencia [W].
- $c_{p_{aire}}$ : calor específico del aire dependiendo de la temperatura promedio [kJ/kgK].
- $T_{f,ent}$ : temperatura de entrada del aire [K].
- $T_{f,sal}$ : temperatura de salida del aire [K].

Luego el caudal de aire que se requiere está dado por la ecuación 3.56:

$$Q_{aire} = \frac{\dot{m}_{aire}}{\rho_{aire}} \quad (3.56)$$

El área de un ventilador debe ser al menos un 40% del área del banco de tubos para lograr una buena distribución del aire, se representa como en la ecuación:

$$A_{vent} \geq 0.4 \cdot A_{paso} \quad (3.57)$$

Donde el área de paso  $A_{paso}$  corresponde al área que comprende entre la longitud de los tubos y el ancho del intercambiador de calor. Luego se determina el diámetro mínimo del ventilador ( $D_{min,vent}$ ), la distancia entre éste y el intercambiador de calor ( $d_{min}$ ) y la altura libre necesaria ( $h_{libre,min}$ ) bajo los ventiladores con las expresiones 3.58, 3.59 y 3.60 respectivamente.

$$D_{min,vent} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{vent}}{\pi}} \quad (3.58)$$

$$d_{min} = \frac{D_{vent}}{2} \quad (3.59)$$

$$h_{libre,min} = \frac{\dot{Q}_{aire}}{p_{paso} \cdot k} \quad (3.60)$$

Con  $p_{paso}$  el perímetro del área de paso y  $k = 3.6 [m/s]$  constante para ventilación forzada. Finalmente se determina la potencia requerida del ventilador con la expresión 3.61:

$$P_{vent} = \frac{u_{aire} \cdot A_{paso} \cdot \Delta P_{aire}}{\eta_{vent}} \quad (3.61)$$

Con:

- $u_{aire}$ : velocidad del aire [m/s].
- $A_{paso}$ : área de paso del aire del ventilador [m<sup>2</sup>].
- $\Delta P_{aire}$ : caída de presión [Pa].
- $\eta_{vent}$ : eficiencia ventilador [%].

Donde la velocidad del aire por el intercambiador de calor se calcula con el caudal másico y el área de paso  $v = Q/A$ . La eficiencia se considera como 0.7.

### 3.8 BOMBA HIDRÁULICA

La bomba hidráulica dentro de ese diseño debe proveer la presión suficiente al agua de manera que pueda pasar sin problemas por el intercambiador de calor, siendo capaz de levantar la pérdida de carga calculada en la sección 3.6. La bomba debe tener la capacidad de trabajar con un flujo de agua a alta temperatura (82°C) y ser capaz de suministrar el caudal necesario  $Q_{agua}$  asumido para cada caso de estudio.

Con estos datos, es posible calcular la potencia necesaria de la bomba con la expresión 3.62 [18]:

$$P_{bomba} = \frac{H_{bomba} \cdot \rho \cdot g \cdot Q_{agua}}{\eta_{bomba}} \quad (3.62)$$

Donde la altura de la bomba está dada por la suma de la altura geodésica y la caída de presión:

$$H_{bomba} = H_{geodésica} + \Delta P \quad (3.63)$$

La caída de presión se divide en dos, la primaria relacionada con la fricción en la tubería y la secundaria relacionada con la geometría de la tubería:

$$\Delta P_{primaria} = \frac{f \cdot L_t \cdot u_{agua}^2}{2 \cdot g \cdot D_i} \quad (3.64)$$

$$\Delta P_{secundaria} = \frac{k_{check} + 2 \cdot k_{codo} + k_{compuerta}}{2 \cdot g} \cdot u_{agua}^2 \quad (3.65)$$

### 3.9 ESTANQUE ACUMULADOR

Para asegurar un flujo constante de agua caliente en el intercambiador de calor, se dimensiona un estanque acumulador en caso de existir fluctuaciones de caudal y para cuando se necesita un flujo mayor de agua para los casos en que con el flujo existente no se alcance la potencia requerida.

El flujo másico de agua según la potencia requerida  $Q$  se determina con la ecuación 3.66:

$$\dot{m}_{agua} = \frac{Q}{c_p \cdot (T_S - T_E)} \quad (3.66)$$

Con:

- $Q$ : potencia [W]
- $c_p$ : calor específico del agua [kJ/kgK]
- $T_E$ : temperatura entrada del agua [K]
- $T_S$ : temperatura salida del agua [K]

Para el estanque se aproxima una capacidad máxima correspondiente a la capacidad necesaria para tres horas con la ecuación 3.67:

$$V_{estanque} = \dot{m}_{agua} \times 3 \text{ horas} \quad (3.67)$$

# 4 RESULTADOS TÉCNICOS

## 4.1 DEMANDA TÉRMICA DEL INVERNADERO

De acuerdo con las consideraciones, se estudian tres materiales de cubierta: polietileno, policarbonato y vidrio, la superficie del suelo del invernadero es 150 m<sup>2</sup> y el volumen es 339.27 m<sup>3</sup>. En la Tabla 4.1 se muestran las especificaciones relacionadas con el invernadero.

Tabla 4.1: Dimensiones del invernadero.

Descripción	Unidad de medida	Valor
Largo	m	6
Ancho	m	25
Alto	m	3
Superficie	m <sup>2</sup>	150
Superficie disponible	m <sup>2</sup>	120
Volumen	m <sup>3</sup>	339,26

Según la Tabla 2.4 las temperaturas óptimas de los cultivos varían entre 15 y 28 [°C], las temperaturas óptimas mayores son para el pimentón y tomate mientras que las temperaturas más bajas son para la lechuga y acelga. En los gráficos de las Figuras 4.1 a 4.4 se muestran las franjas de temperaturas óptimas de cada caso, la línea naranja es la temperatura ideal durante el día y la línea azul es la temperatura óptima durante la noche.

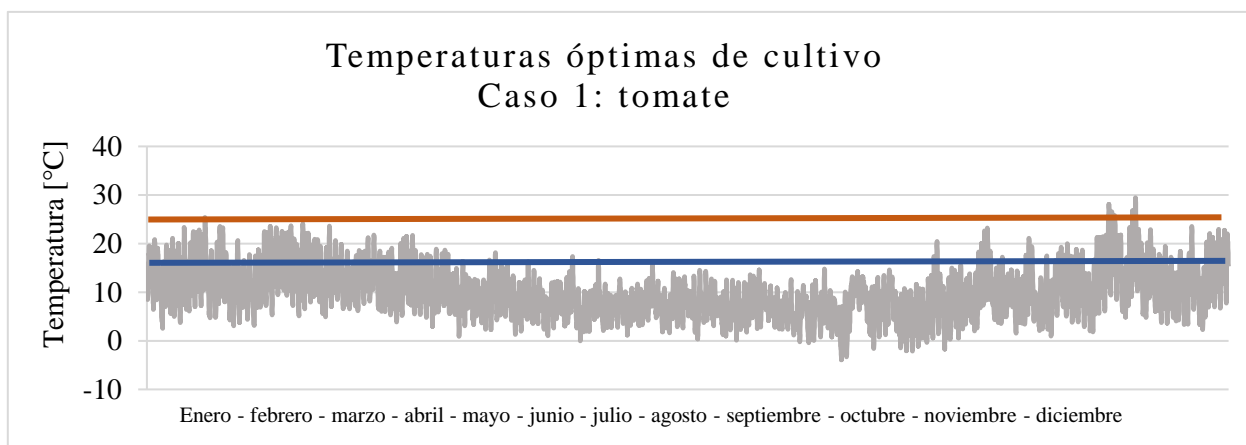


Figura 4.1: Gráfico de temperaturas óptimas diurnas y nocturnas para tomate.



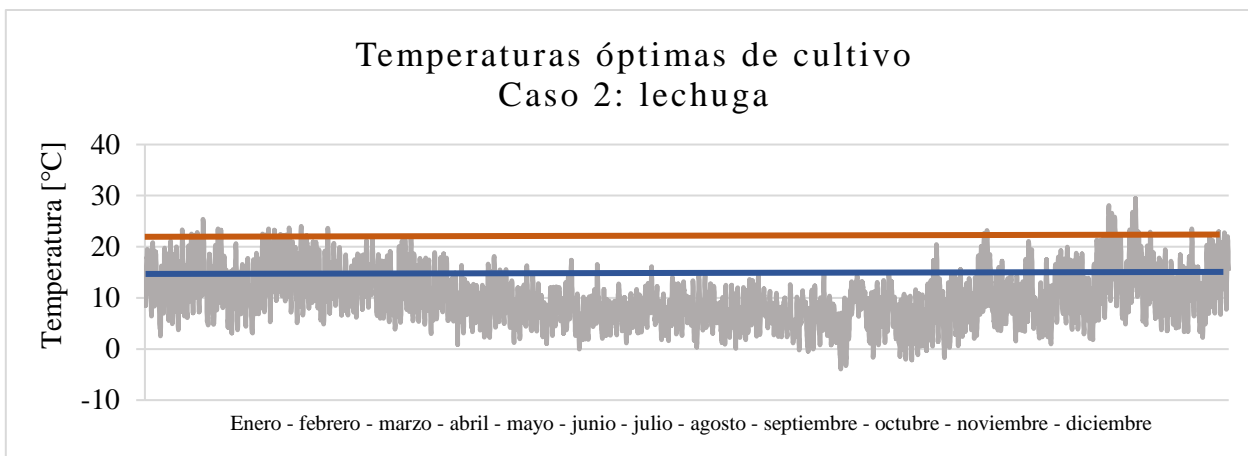


Figura 4.2: Gráfico de temperaturas óptimas diurnas y nocturnas para lechuga.

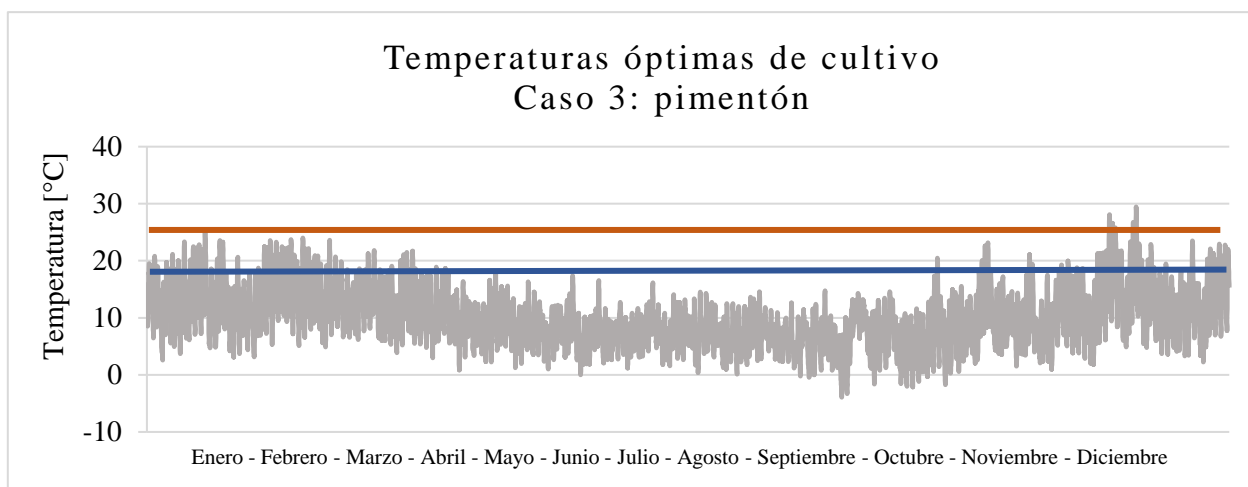


Figura 4.3: Gráfico de temperaturas óptimas diurnas y nocturnas para pimentón.

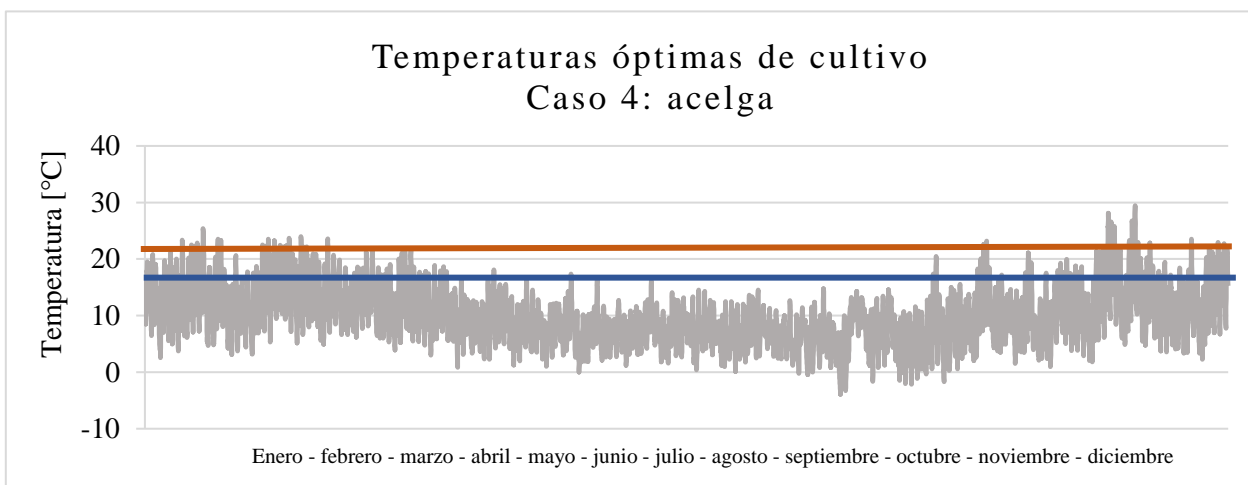


Figura 4.4: Gráfico de temperaturas óptimas diurnas y nocturnas para acelga.

De acuerdo con los gráficos, cuando la línea gris de temperatura no está dentro de la franja de temperaturas óptimas se necesita calefaccionar el invernadero, durante los meses más fríos se ve de manera explícita la necesidad de entregar energía al invernadero para obtener los requerimientos térmicos necesarios.

El tomate y el pimentón requieren mayores temperaturas de desarrollo por lo que se necesita calefaccionar el invernadero durante todo el año, siendo más necesario entre los meses de abril y noviembre. Para la lechuga y acelga ocurre la misma situación, la temperatura en Liquiñe está dentro del rango de la temperatura de desarrollo óptimo para los meses más cálidos, pero en meses más fríos ambos necesitan calefacción para alcanzar la temperatura deseada, entre mayo y octubre.

La temperatura máxima que soportan todos los cultivos sin tener daños es alrededor de 30 [°C] por lo que no es necesario un sistema de refrigeración, solo se considera mayor ventilación en el invernadero, por lo tanto, el sistema solo funcionará para calefacción.

Con las ecuaciones 3.2, 3.11, 3.16, 3.24 y 3.29 se calcula la radiación neta, calor perdido por conducción-convección, por renovación del aire, por evapotranspiración y por conducción con el suelo respectivamente. Se obtiene el balance energético para los cinco casos de cultivo y para los tres materiales de construcción.

El balance energético para cada cultivo tiene un comportamiento similar, independiente del material de cubierta del invernadero. A continuación, se presentan gráficos de los balances del invernadero de polietileno (PE) para los casos más importantes a estudiar, es decir, máxima demanda energética (pimentón) y menor demanda energética (lechuga) en las Figuras 4.5 y 4.6 respectivamente. En Anexo B, C y D se encuentran los gráficos de balance energético de cada cultivo para cada material en conjunto con la demanda energética para un invernadero con cubierta de polietileno, policarbonato y vidrio respectivamente.

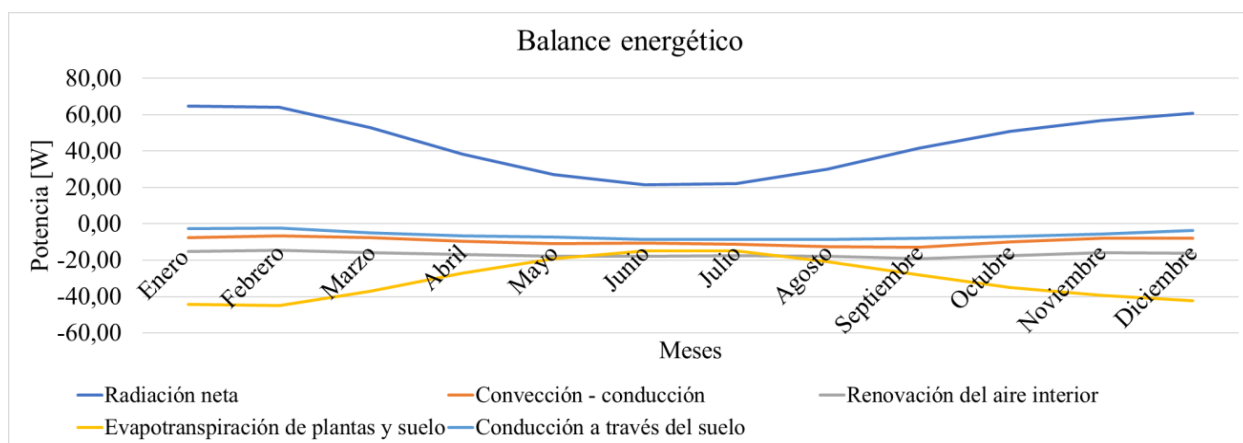


Figura 4.5: Balance energético para pimentón con invernadero de cubierta de polietileno.

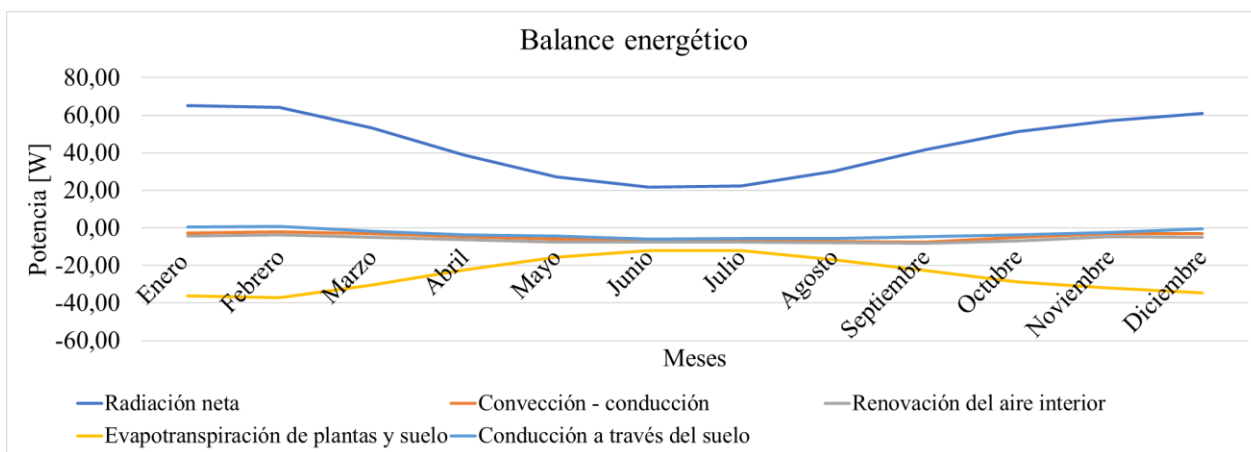


Figura 4.6: Balance energético para acelga con invernadero con cubierta de polietileno.

La radiación neta es constante independiente del cultivo, disminuye en los meses más fríos debido a la nubosidad e inclinación solar. Como en los meses más fríos disminuye la temperatura exterior, aumenta la pérdida de calor por conducción – convección del invernadero con el exterior puesto que el invernadero está a una temperatura constante durante el año, la pérdida para cuyo cultivo que tiene mayor temperatura de desarrollo es levemente mayor que la pérdida para un cultivo con menor temperatura de desarrollo. La conducción con el suelo no tiene gran variación entre cultivos puesto que la temperatura del suelo se mantiene constante.

La pérdida por renovación de aire interior es otra pérdida importante puesto que se vuelve a enfriar el invernadero durante el tiempo en que se abren las ventanas, tiene diferentes valores entre cultivos, el pimentón tiene mayor temperatura de desarrollo que la lechuga, por lo tanto, es la hortaliza que pierde más energía térmica al renovar el aire interior. El calor perdido por evapotranspiración representa la mayor parte de las pérdidas de energía, es la única pérdida que disminuye en los meses más fríos, puesto que hay menor radiación y temperatura externa, evitando la pérdida de agua de las plantas.

Para diferenciar el porcentaje de pérdidas de calor entre cada cultivo, en la Figura 4.7 se muestra el porcentaje de cada pérdida del balance energético para el tomate, lechuga, pimentón y acelga en invernadero con cubierta de polietileno. En relación con esto, para todos los cultivos la renovación de aire interior es la pérdida mayor, el porcentaje de pérdida es mayor para uno, en este caso el pimentón con 27% es quien pierde más calor puesto que es el cultivo con mayor temperatura óptima de desarrollo en contraste con la lechuga que tiene un 16% de pérdida por este motivo, pues tiene menor temperatura óptima. La radiación también es una fuente de pérdidas debido a la radiación térmica del invernadero con el exterior.

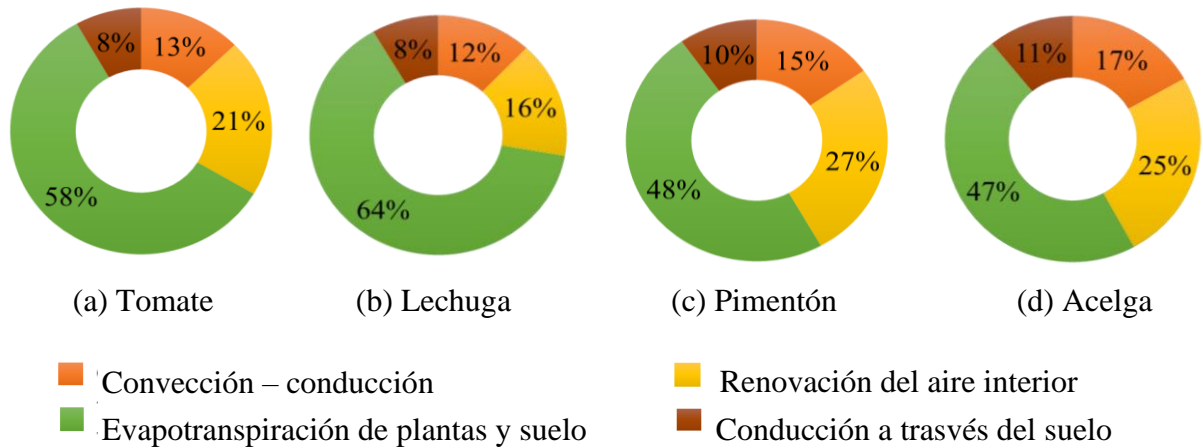


Figura 4.7: Porcentajes de pérdidas para el balance energético de los cuatro cultivos en invernadero de cubierta de polietileno.

Luego del balance se calcula la demanda energética para cada hora del año para todos los casos, en la Tabla 4.1 se muestra la demanda energética máxima diurna y nocturna en un año para cada cultivo con los tres materiales de cubierta. En la Tabla 4.2 están los datos de demanda energética promedio anual para cada cultivo y cubierta.

Tabla 4.2: Datos de demanda energética máxima durante el año para cada cultivo en cada invernadero en kW.

Cultivo	Polietileno (PE)		Policarbonato (PC)		Vidrio	
	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche
Tomate	66,19	65,69	65,35	65,65	25,41	66,19
Lechuga	45,28	44,13	44,61	44,47	23,41	45,28
Pimentón	82,63	82,00	81,68	81,95	34,09	82,63
Acelga	66,17	64,71	65,33	65,15	34,07	66,17
Todos	52,91	52,26	52,18	52,27	29,57	52,91

Tabla 4.3: Datos de demanda energética promedio anual para cada cultivo en cada invernadero en kW.

Cultivo	Polietileno (PE)		Policarbonato (PC)		Vidrio	
	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche
Tomate	25,96	11,90	25,75	10,95	25,62	10,95
Lechuga	15,88	10,19	16,28	9,48	16,53	9,46
Pimentón	33,68	18,24	32,63	16,84	33,13	16,90
Acelga	25,22	18,09	24,44	16,84	24,64	16,89
Todos	19,51	14,77	19,01	13,84	18,92	13,86

La demanda energética máxima tiene comportamiento similar para un cultivo independiente del material del invernadero, excepto en la noche donde el invernadero de vidrio tiene menor requerimiento energético puesto que el vidrio tiene menor coeficiente de transmisión para la radiación térmica, es alrededor de un 40% del valor de demanda energética de los otros dos invernaderos como se muestra en la Tabla 4.1. Cabe destacar que el invernadero de policarbonato tiene menor demanda energética máxima y promedio para cada cultivo, mientras que el polietileno tiene la demanda energética máxima, no obstante, no difieren más allá de un 5%, esto se debe a las propiedades de cada material.

En la Figura 4.8 y 4.9 se muestran gráficos de la demanda energética durante un año para cultivo de pimentón y lechuga respectivamente, ambos para un invernadero con cubierta de polietileno.

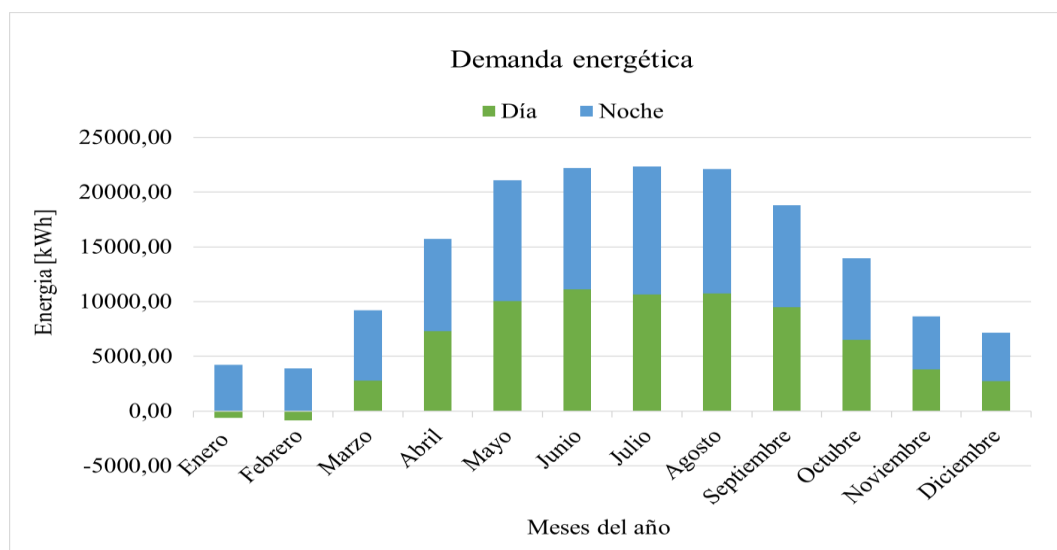


Figura 4.8: Gráfico de demanda energética mensual durante un año para el pimentón.

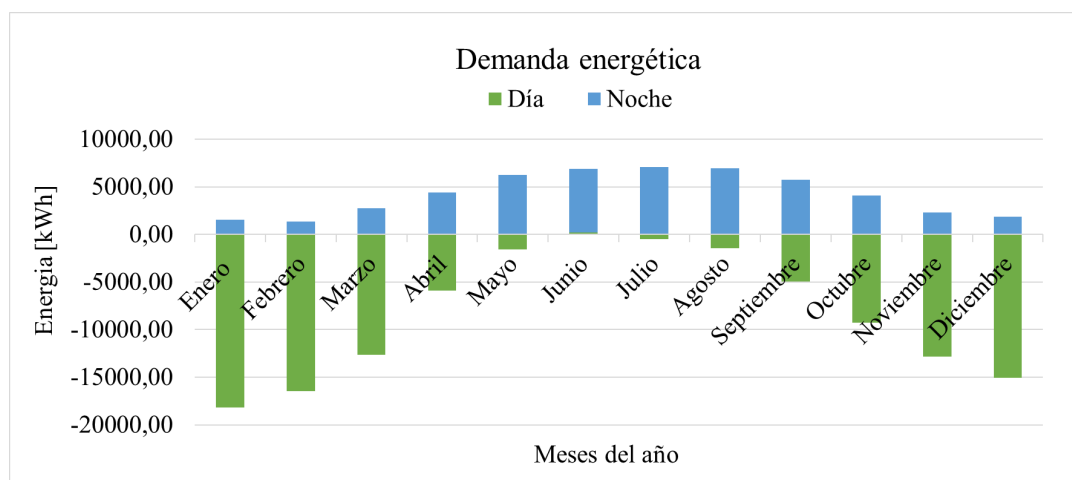


Figura 4.9: Gráfico de demanda energética mensual durante un año para la lechuga.

Se observa que hay mayor demanda energética durante la noche, puesto que la variación de la temperatura ambiente es mayor a la variación de temperatura durante el día. La potencia máxima requerida corresponde al pimentón, cultivo que precisa mayor temperatura para su desarrollo, la demanda energética máxima durante el día es 83,11 kW en agosto y la demanda máxima nocturna es 82,63 kW en mayo, mientras que la demanda energética promedio es de 33,68 kW durante el día y 18,24 kW durante la noche, siendo la demanda máxima un 146% mayor que la demanda promedio.

Para la lechuga durante algunos meses de verano hay exceso de energía como se ve en la Figura 4.9, sin embargo, si se utiliza el sistema de calefacción solo durante la noche, se mantendrá una temperatura adecuada durante el día. Lo mismo ocurre para la acelga pues tienen temperaturas de desarrollo cercanas.

En cuanto a la demanda energética mensual [kWh], en la Tabla 4.4 se muestra el total de energía requerida durante un año dependiendo del cultivo y la construcción del invernadero. Se observa que el invernadero de polietileno requiere aproximadamente un 5% más de energía que los invernaderos de policarbonato y vidrio para su funcionamiento. También se aprecia que la energía requerida para el pimentón, 183.903,3 kWh, es más del doble de la energía máxima requerida para la lechuga, con 72.355,5 kWh.

Tabla 4.4: Energía en kWh requerida durante un año según cultivo e invernadero.

<b>Cultivo</b>	<b>Polietileno</b>	<b>Policarbonato</b>	<b>Vidrio</b>
Tomate	123.191,3	118.486,8	117.540,0
Lechuga	72.355,5	68.806,4	68.509,7
Pimentón	183.903,3	175.390,6	175.442,8
Acelga	138.744,96	132.403,74	132.235,90
Todos	110.884,41	105.135,15	104.719,68

## 4.2 DIMENSIONAMIENTO INTERCAMBIADOR DE CALOR

El dimensionamiento de los intercambiadores de calor se lleva a cabo con las potencias máximas y promedios para posteriormente evaluar económicamente las diferencias. Dado que la demanda térmica para un cultivo específico tiene valores similares según día o noche independiente del material de la cubierta, para el diseño de los intercambiadores de calor se tomará en cuenta la demanda energética del invernadero con cubierta de polietileno y el tipo de cubierta tendrá mayor relevancia en la evaluación económica.

Para el caso en que se consideran las demandas energéticas máximas, primero se calcula el flujo másico necesario del agua y aire con la ecuación 3.30, variando el flujo de agua para obtener una potencia útil mayor o igual a la necesaria. Se fija un caudal igual al doble del caudal disponible puesto que con este caudal la potencia útil se iguala a la potencia requerida. Entonces el caudal necesario es de 0.34 kg/s a 82 °C. Las especificaciones de las temperaturas de entrada y salida de agua y aire se muestran en la Tabla 4.3

Tabla 4.5: Temperaturas de entrada y salida de ambos fluidos en conjunto con el flujo másico para demanda energética máxima.

Cultivo	Potencia [kW]	Temperatura agua [°C]		Temperatura aire [°C]		Flujo másico [kg/s]	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida	Agua	Aire
Tomate	66,68	82	35,138	0,00	25,000	0,340	2,654
Lechuga	45,02	82	50,178	0,00	15,000	0,340	3,004
Pimentón	83,11	82	23,591	0,01	28,000	0,340	2,953
Acelga	65,78	82	35,496	0,00	20,000	0,340	3,292
Todos	53,17	82	44,633	0,00	22,000	0,340	2,405

Para el caso en que se considera como demanda energética la energía necesaria promedio, se realizan los cálculos de la misma forma, resultando que no es necesario aumentar el caudal disponible para tener la potencia requerida. En la Tabla 4.6 se muestran las especificaciones de temperaturas de entrada y salida para el agua y aire para cada cultivo considerando el caudal 0.17 kg/s a 82 °C.

Cultivo	Potencia [kW]	Temperatura agua [°C]		Temperatura aire [°C]		Flujo másico [kg/s]	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida	Agua	Aire
Tomate	25,96	82	45,515	0,00	25,000	0,170	1,033
Lechuga	16,53	82	58,768	0,00	15,000	0,170	1,096
Pimentón	33,68	82	34,656	0,01	28,000	0,170	1,197
Acelga	25,22	82	46,548	0,00	20,000	0,170	1,255
Todos	19,51	82	54,580	0,00	22,000	0,170	0,882

Como se menciona en la sección de antecedentes, el proceso de cálculo del área del intercambiador de calor es iterativo, como corresponde a un intercambiador de tubos con aletas de agua hacia aire, el valor del coeficiente total de transferencia de calor varía entre 30-850 W/m<sup>2</sup>°C [16]. Primero se determina el coeficiente NUT por medio de la efectividad-NUT, que depende de los valores fijados de temperaturas de entrada y salida de ambos fluidos. Ya con este coeficiente se asume un coeficiente global de transferencia de calor para determinar el área de transferencia de calor con la ecuación 3.31.

Con el área obtenida se calcula un nuevo valor del coeficiente global de transferencia de calor U hasta que se llegue a un valor  $U_{supuesto} = U_{calculado}$  que depende del número de tubos del intercambiador, longitud de los tubos y diámetro de los tubos y se debe fijar el valor de dos variables, en este caso la longitud y diámetro de los tubos.

Para tener un mayor espectro de comparación de igual forma se varían estas variables, la longitud toma valores de 0.3, 0.5 y 0.7 metros mientras que el diámetro de los tubos varía entre dos de los diámetros comerciales, 3/8'' y 5/8'', que se aproximan a 0.01 y 0.015 metros respectivamente. El material de los tubos es cobre, mientras que las aletas son de aluminio, según los diseños de INTERCAL (Anexo E). En la Tabla 4.6 se muestran las medidas del intercambiador de calor que se mantienen constantes, ya sea el diámetro interno, espesor de tubería, diámetro externo, etc.:

Tabla 4.6: Dimensiones constantes de intercambiador de calor.

Diámetro interno [m]	0,0100	0,0150
Espesor tubería [m]	0,0075	0,0075
Diámetro externo [m]	0,0250	0,0300
Largo aleta [m]	0,0100	0,0100
Paso aleta [m]	0,0025	0,0025
Espesor aleta [m]	0,0008	0,0008
Distancia horizontal [m]	0,0200	0,0200
Distancia vertical [m]	0,0173	0,0173

En la Tabla 4.7 y 4.8 se muestran los resultados de las dimensiones generales del intercambiador de calor para el pimentón para la demanda máxima y demanda promedio. En Anexo F se encuentran las fichas técnicas de los intercambiadores de calor para las demás hortalizas.

Tabla 4.7: Dimensiones de intercambiador de calor para pimentón con demanda máxima energética.

	d=3/8			d=5/8		
Largo [m]	0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70
Ancho [m]	0,23	0,17	0,15	0,27	0,21	0,17
Alto [m]	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12
Número de tubos	34	22	17	43	29	22
Número de filas	4	4	4	4	4	4



Tabla 4.8: Dimensiones de intercambiador de calor para pimentón con demanda promedio energética.

	<b>d=3/8</b>			<b>d=5/8</b>		
Largo [m]	0,300	0,500	0,700	0,300	0,500	0,700
Ancho [m]	0,185	0,145	0,125	0,210	0,170	0,150
Alto [m]	0,114	0,114	0,114	0,119	0,119	0,119
Número de tubos	25	17	13	32	22	17
Número de filas	4	4	4	4	4	4

Al observar las áreas de dimensiones, se percibe que el intercambiador no tiene un volumen extenso, por lo que no presenta problemas de espacio dentro del invernadero, independiente de la demanda energética para un mismo cultivo. La cantidad de tubos solo modifica el ancho o profundidad puesto que las filas son fijas, independiente de la capacidad del intercambiador de calor. Ahora en la Tabla 4.9 y 4.10 se presentan las dimensiones de intercambiadores de calor para la lechuga, cultivo con menor demanda energética.

Tabla 4.9: Dimensiones de intercambiador de calor para lechuga con demanda energética máxima.

	<b>d=3/8</b>			<b>d=5/8</b>		
Largo [m]	0,300	0,500	0,700	0,300	0,500	0,700
Ancho [m]	0,185	0,145	0,125	0,250	0,170	0,150
Alto [m]	0,114	0,114	0,114	0,119	0,119	0,119
Número de tubos	28	19	15	37	24	19
Número de filas	4	4	4	4	4	4

Tabla 4.10: Dimensiones de intercambiador de calor para pimentón con demanda promedio energética.

	<b>d=3/8</b>			<b>d=5/8</b>		
Largo [m]	0,300	0,500	0,700	0,300	0,500	0,700
Ancho [m]	0,145	0,105	0,105	0,170	0,130	0,110
Alto [m]	0,114	0,114	0,114	0,119	0,119	0,119
Número de tubos	19	12	10	24	16	12
Número de filas	4	4	4	4	4	4

Lo mismo ocurre cuando se comparan cultivos con demanda energética máxima o promedio, al modificar el largo del intercambiador de calor, el ancho sufre variaciones de hasta 5 centímetros, que es casi imperceptible en un invernadero de 150 m<sup>2</sup> de superficie, en el caso del pimentón con d=3/8'' el ancho varía de 0.23 a 0.18 m, por el agregado de 9 tubos aletados.

Luego se determinan los coeficientes de transferencia de calor interior y exterior con las ecuaciones 3.41 y 3.44 para finalmente calcular la resistencia térmica del tubo aletado con la ecuación 3.52. Ya con la resistencia es directo obtener el nuevo coeficiente  $U_{calculado}$  e iterar si es necesario. Finalmente se determina la pérdida de carga con la ecuación 3.53.

En las Tablas 4.11 y 4.12 se muestran las características generales obtenidas de intercambiador de calor para el pimentón y lechuga según cada diámetro interno de tubo aleteado. En Anexo F se encuentran las características para las otras hortalizas.

Tabla 4.11: Características para cada intercambiador de calor para el pimentón.

	<b>d=3/8</b>			<b>d=5/8</b>		
Potencia [kW]	83,11					
Coefficiente de trans de calor [W/m <sup>2</sup> K]	866,89	514,11	360,10	577,89	344,08	240,24
Área de intercambio [m <sup>2</sup> ]	2,94	4,94	7,07	4,40	7,39	10,60
Diferencia de temperatura log [K]	32,68	32,68	32,68	32,68	32,68	32,68
Largo [m]	0,300	0,500	0,700	0,300	0,500	0,700
Ancho [m]	0,225	0,165	0,145	0,270	0,210	0,170
Alto [m]	0,114	0,114	0,114	0,119	0,119	0,119
Número de tubos	34	22	17	43	29	22
Número de filas	4	4	4	4	4	4
Eficiencia aletas [%]	45,56	47,47	48,35	45,35	47,35	48,26
Eficiencia intercambiador [%]	71,24	71,24	71,24	71,24	71,24	71,24
Coefficiente de trans. Interior [W/m <sup>2</sup> K]	672,35	952,44	1170,63	268,56	368,04	459,07
Coefficiente de trans. Exterior [W/m <sup>2</sup> K]	393,61	348,96	308,15	216,40	185,20	171,80
Resistencia	0,001	0,002	0,003	0,002	0,003	0,004
Pérdida total [kPa]	17,97	18,78	19,53	3,26	3,45	3,58
Temperatura entrada agua [°C]	82,0					
Temperatura salida agua [°C]	23,6					
Temperatura entrada aire [°C]	0,0					
Temperatura salida aire [°C]	28,0					

Tabla 4.12: Características para cada intercambiador de calor para la lechuga.

	<b>d=3/8</b>			<b>d=5/8</b>		
Potencia [kW]	45,28					
Coefficiente de trans de calor [W/m <sup>2</sup> K]	503,02	297,03	207,87	337,29	197,37	138,04
Área de intercambio [m <sup>2</sup> ]	2,69	4,59	6,61	4,03	6,84	9,89
Diferencia de temperatura log [K]	33,43	33,43	33,43	33,43	33,43	33,43
Largo [m]	0,300	0,500	0,700	0,300	0,500	0,700
Ancho [m]	0,185	0,145	0,125	0,250	0,170	0,150
Alto [m]	0,114	0,114	0,114	0,119	0,119	0,119
Número de tubos	28	19	15	37	24	19
Número de filas	4	4	4	4	4	4
Eficiencia aletas [%]	45,56	47,47	48,35	45,35	47,35	48,26
Eficiencia intercambiador [%]	77,62	77,62	77,62	77,62	77,62	77,62
Coefficiente de trans. Interior [W/m <sup>2</sup> K]	457,63	624,07	753,99	176,49	249,52	300,80
Coefficiente de trans. Exterior [W/m <sup>2</sup> K]	440,49	375,24	335,20	225,52	209,20	184,29

Resistencia	0,002	0,003	0,005	0,003	0,005	0,007
Pérdida total [kPa]	4,58	4,91	5,17	0,85	0,90	0,91
Temperatura entrada agua [°C]			82,0			
Temperatura salida agua [°C]			50,2			
Temperatura entrada aire [°C]			0,0			
Temperatura salida aire [°C]			15,0			

La eficiencia del intercambiador de calor para un cultivo se mantiene constante, a pesar de tener diferentes áreas de transferencia de calor, coeficientes globales de transferencia, diámetro interior de los tubos, largo o cantidad de tubos, esto se debe a que la potencia máxima y la potencia entregada para cada caso son iguales, pues los fluidos no varían en cuanto a flujo ni temperaturas de entrada o salida.

También cabe resaltar que las pérdidas de carga de tuberías de diámetro 5/8'' son mucho menor a las pérdidas de carga de tuberías de diámetro 3/8'', alrededor del 20% del total, esto ya que es inversamente proporcional. Los coeficientes de transferencia de calor  $h_i$  y  $h_e$  tienen el mismo comportamiento, puesto que dependen del número de Reynolds, y Nusselt.

En la Figura 4.10 se muestra un gráfico de los coeficientes de transferencia de calor para los intercambiadores, las rectas inferiores corresponden a cuyos intercambiadores que tienen diámetro interior de 5/8'', mientras que las superiores a los de diámetro de 3/8''. Esto se relaciona con el área de intercambio de calor, pues para un mismo cultivo, por ejemplo, el pimentón, según la Tabla 4.11, el área de intercambio de calor con tubo de diámetro interior  $d=3/8''$  es  $2.94 \text{ m}^2$  y para el intercambiador de calor con  $d=5/8''$  el área de intercambio de calor es  $4.4 \text{ m}^2$ . En Anexo I se encuentra un plano de un intercambiador de calor, dependiendo del caso varía la cantidad de tubos o largo.

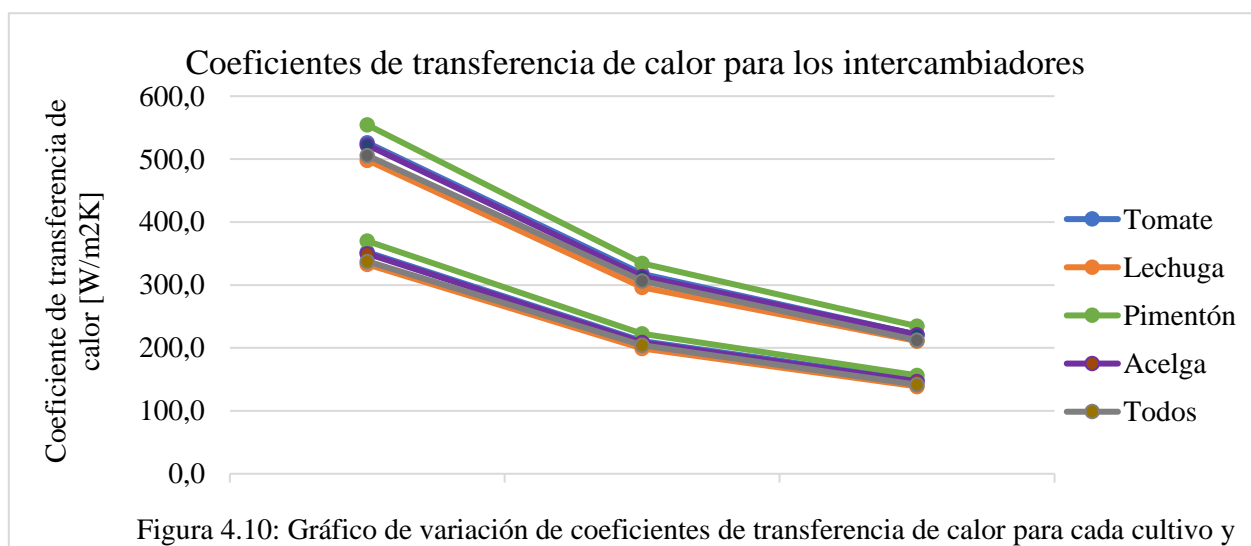


Figura 4.10: Gráfico de variación de coeficientes de transferencia de calor para cada cultivo y largo de tubo.

### 4.3 VENTILADORES

Con la ecuación 3.55 se obtiene el flujo másico del aire requerido, así como también el área y diámetro mínimos con las ecuaciones 3.57 y 3.58 respectivamente. Además, se obtiene la altura mínima necesaria en que deben instalarse los ventiladores desde el suelo.

En la Tabla 4.13 y 4.14 se muestran los resultados de las características de cada ventilador para el pimentón. En Anexo G están los resultados para las hortalizas dependiendo la demanda energética a cumplir.

Tabla 4.13: Características de ventilador para pimentón con demanda energética máxima.

<b>FICHA TÉCNICA VENTILADOR PIMENTÓN</b>						
Flujo másico aire [kg/s]	2,953					
Densidad aire [kg/m <sup>3</sup> ]	1,229					
Caudal másico [m <sup>3</sup> /s]	2,403					
Velocidad aire [m/s]	35,597	29,125	23,673	29,664	22,884	20,191
Área paso [m <sup>2</sup> ]	0,068	0,083	0,102	0,081	0,105	0,119
Área vent_min	0,034	0,041	0,051	0,041	0,053	0,060
Diámetro_min [m]	0,207	0,229	0,254	0,227	0,259	0,275
distancia entre vent e int [m] d_min	0,104	0,115	0,127	0,114	0,129	0,138
Caída de presión [kPa]	17,974	18,782	19,527	3,258	3,448	3,582
Potencia ventilador [kW]	61,695	64,470	67,026	11,183	11,836	12,296
Motor ventilador [kW]	67,865	70,917	73,728	12,302	13,019	13,526

Tabla 4.14: Características de ventilador para pimentón con demanda energética promedio.

<b>FICHA TÉCNICA VENTILADOR PIMENTÓN</b>						
Flujo másico aire [kg/s]	1,197					
Densidad aire [kg/m <sup>3</sup> ]	1,229					
Caudal másico [m <sup>3</sup> /s]	0,974					
Velocidad aire [m/s]	17,546	13,432	11,129	15,457	11,456	9,274
Área paso [m <sup>2</sup> ]	0,056	0,073	0,088	0,063	0,085	0,105
Área vent_min	0,028	0,036	0,044	0,032	0,043	0,053
Diámetro_min [m]	0,188	0,215	0,236	0,200	0,233	0,259
distancia entre vent e int [m] d_min	0,094	0,107	0,118	0,100	0,116	0,129
Caída de presión [kPa]	4,528	4,755	5,039	0,882	0,912	0,948
Potencia ventilador [kW]	6,299	6,615	7,010	1,227	1,269	1,319
Motor ventilador [kW]	6,929	7,277	7,711	1,350	1,395	1,451

Se observa que la potencia tiene cambios significativos dependiendo del diámetro de tubo del intercambiador de calor, es alrededor de un 80% menor para aquellas tuberías de 5/8'', esto puede ser un factor al momento de escoger un intercambiador de calor.

## 4.4 BOMBA HIDRÁULICA

En esta sección se determinan las condiciones de operación que debe tener cada bomba hidráulica que dependen del caudal, material y dimensiones de la tubería, pérdidas de carga, etc, según lo especificado en la ecuación 3.62.

Como requisito, las bombas deben ser capaces de trabajar con temperaturas altas (82°C) y entregar el caudal asumido para cada caso de estudio, los cuales se modificaron para que la temperatura de salida del agua sea mayor a 5°C.

El material seleccionado para la tubería es polietileno radom PPR (Anexo H), que tiene una rugosidad de 0.007 mm. En la Tabla 4.15 se muestran las potencias necesarias en [HP] para cada caso.

Tabla 4.15: Potencia requerida de la bomba en [HP]

	<b>Dint=3/8</b>			<b>Dint=5/8</b>		
	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7
Largo tubo [m]	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7
Tomate	0,0034	0,0031	0,0027	0,0026	0,0022	0,0021
Lechuga	0,0025	0,0022	0,0019	0,0018	0,0015	0,0014
Pimentón	0,0055	0,0051	0,0045	0,0043	0,0037	0,0036
Acelga	0,0030	0,0039	0,0033	0,0032	0,0027	0,0026
Todos	0,0018	0,0016	0,0014	0,0013	0,0012	0,0011

Se observa que mientras mayor es el largo de los tubos, la potencia necesaria es menor, esto porque disminuye la velocidad del agua y así disminuye también el número de Reynolds. Lo mismo ocurre al aumentar el diámetro interior ya que aumenta el área de paso del agua.

La potencia menor es un 33% de la potencia mayor, mas todos los valores son menores que 0.5 HP, por lo que es posible usar una bomba que tenga esta potencia para todos los casos de cultivos y construcción de invernadero.

## 4.5 ESTANQUE

De acuerdo con lo mencionado en la sección 3.9 es necesario agregar un estanque de almacenamiento para los intercambiadores de calor, ya sea para suplir el doble caudal necesario en el caso de requerir cumplir la demanda energética máxima y como también para asegurar un flujo constante hacia la bomba para evitar cavitación.

Para el caso de utilizar un flujo de 0.34 lt/min se requiere un estanque con capacidad de 4 m<sup>3</sup>, para un flujo de 0.17 lt/min es suficiente un estanque de 2 m<sup>3</sup>.

## 4.6 LAYOUT FINAL

Con los equipos dimensionados y seleccionados se realiza un diagrama de la configuración de los equipos en el invernadero. En el exterior del invernadero se dispone el estanque de acumulación para el agua caliente y la bomba centrífuga que impulsa el agua hacia el intercambiador de calor a través de las tuberías.

El invernadero tiene dimensiones de 6 m de ancho, 25 m de largo y 3 m de alto, el intercambiador de calor se instala al centro del ancho del invernadero en conjunto con el ventilador, ambos elevados del suelo dependiendo de lo calculado en la sección de resultados técnicos., de esta forma se facilita una distribución del aire dentro del invernadero. Tanto el ventilador como el intercambiador de calor tienen dimensiones próximas a 1 m<sup>2</sup>, se recomienda utilizar un 80% de la superficie del invernadero para hortalizas.

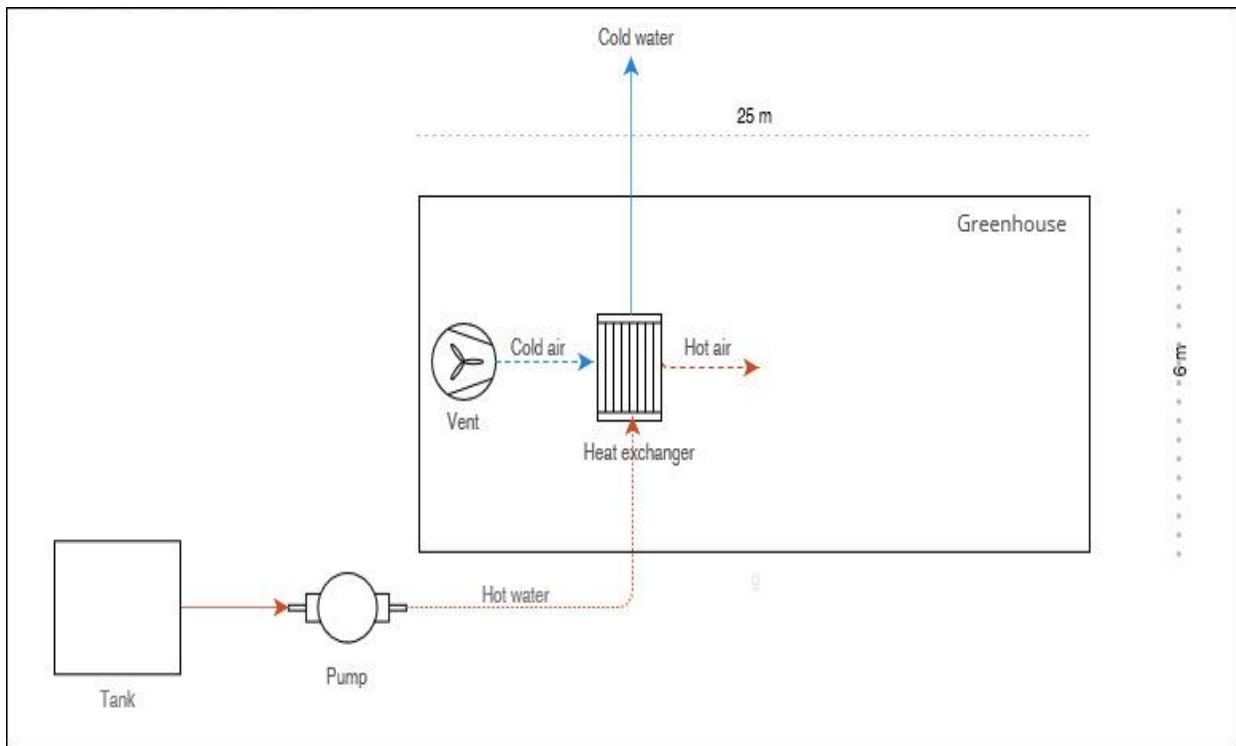


Figura 4.11: Esquema de la configuración de los equipos del invernadero.

# 5 ANÁLISIS ECONÓMICO

En el siguiente capítulo se estudia la factibilidad económica del invernadero, luego de seleccionar los equipos y materiales de construcción es posible obtener el costo de la inversión inicial necesaria. Los valores mencionados en la evaluación económica son en pesos chilenos a menos que se especifique lo contrario.

## 5.1 INGRESOS

El ingreso del invernadero está dado por las ventas que dependen de la cantidad de ciclos por año y el rendimiento según cada cultivo, el tomate el primer año tiene dos ciclos de cultivo y el siguiente año tres, considerando el fin del ciclo con la cosecha. Para la lechuga ocurre algo similar, tiene 5 ciclos durante el primero año y 6 ciclos el siguiente año. El pimentón y la acelga tienen 3 y 6 ciclos de cultivo respectivamente en un año promedio.

Los precios de venta se consideran con IVA, el kilogramo de tomate se encuentra a \$1.000, una unidad de lechuga a \$600, una unidad de pimentón a \$1200 y un paquete de acelga a \$600. Considerando los precios descritos y el rendimiento de cada hortaliza, el ingreso anual para el año 1 y 2 es el que se muestra en la Tabla 5.1:

Tabla 5.1: Ingresos de cultivos para los primeros dos años.

Cultivo	Ingreso anual [CLP]	
	Año 1	Año 2
Tomate	\$ 11.930.400	\$ 17.895.600
Lechuga	\$ 16.952.400	\$ 20.342.880
Pimentón	\$ 14.247.360	\$ 14.247.360
Acelga	\$ 15.379.200	\$ 15.379.200
Todos	\$ 14.627.340	\$ 16.966.260

Considerando los ingresos, es más atractivo cultivar lechuga, el pimentón y acelga tienen ingresos similares con el promedio de ingresos del tomate, el que tiene menor ingresos es el pimentón y el primer año de cultivo del tomate.

## 5.2 INVERSIÓN

La inversión inicial en primer lugar depende de cada material de construcción puesto que no se cuenta con una infraestructura actualmente y luego va a variar según cultivo pues cada uno tiene requerimientos diferentes en cuanto a equipos.

### 5.2.1 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y MANO DE OBRA

Como se ha mencionado en secciones anteriores, se analizarán tres construcciones diferentes, una de polietileno, policarbonato y vidrio. Para el polietileno se considera una estructura de madera mientras que para el policarbonato y vidrio una estructura de aluminio. En las Tablas 5.2 y 5.3 se muestran los costos de instalación para cada uno.

Tabla 5.2: Inversión para invernadero con cubierta de polietileno

Ítem	Descripción	Costo unitario	Cantidad	Costo total
Madera	Poste pino impregnado 3x3x3,20 m	\$4.090	60	\$245.400
	Tablas de pino	\$3.040	30	\$91.200
	Listones de pino	\$2.357	40	\$94.280
Clavos	Clavos 3,5"	\$4.232	1	\$4.232
	Clavos 1,5"	\$2.690	1	\$2.690
Polietileno	Rollo polietileno 4x10 m	\$10.590	8	\$84.720
Mano de obra	Construcción y postura de plástico	\$500.000	2	\$1.000.000
Flete	Flete	\$20.000	1	\$20.000
TOTAL				\$1.542.522

Tabla 5.3: Inversión para invernadero con cubierta de policarbonato.

Ítem	Descripción	Costo unitario	Cantidad	Costo total
Aluminio	Tubular aluminio 20x20x1mm 3m	\$7.500	56	\$420.000
Pernos	Perno coche con tuerca 1/4 x3" 10 unidades	\$3.900	20	\$78.000
PC	Plancha PC alveolar opal 4x2100x5800	\$62.790	10	\$627.900
	Plancha PC alveolar opal 4x2100x2900	\$33.490	2	\$66.980
	Plancha PC alveolar opal 4x1050x2900	\$14.990	70	\$1.049.300
Taladro	Kit taladro 900 W	\$49.470	1	\$49.470
Mano de obra	Construcción e instalación	\$500.000	2	\$1.000.000
TOTAL				\$3.291.650

Para el vidrio se considera el valor del metro cuadrado instalado a \$14.178 según la página CYPE Ingenieros, S.A., resultando una inversión de \$4.338.468 [19].

Para el montaje y construcción del invernadero se contratarán 2 personas calificadas con un salario de \$500.000 c/u, ascendiendo a un total de \$1.000.000 de mano de obra.



## 5.2.2 EQUIPOS

En cuanto a los equipos, se utiliza el mismo equipo, independiente del material de construcción, se fija un diámetro y largo de tubo del intercambiador de calor. Se busca minimizar la velocidad del aire, por lo que se evaluarán los equipos considerando un diámetro interno de tubo igual a 5/8'' y largo de tubo igual a 0.7 m.

La bomba requiere potencia menor que 0.5 HP por lo que se considera una bomba centrífuga igual para cada instalación, cuyas características están en la Tabla 5.4, su valor es \$182.665 con IVA. En Anexo J se encuentra cotización de la bomba.

Tabla 5.4: Datos técnicos de bomba.

<b>MODELO</b>	<b>BTCM 110 1.5HP 220V</b>
Proveedor	Bestflow
Diámetro entrada - salida	1''x1''
Material	Hierro fundido
Altura máxima de elevación	30 m
Potencia	1 HP
Caudal máximo	120 lt/min

Para el intercambiador de calor y ventilador, se considera la empresa *INTERCAL*, la inversión varía dependiendo de la demanda energética a considerar, máxima o promedio. Para la demanda energética máxima, se consideran 5 intercambiadores de calor, cuyos precios se muestran en la Tabla 5.5, las cotizaciones se encuentran en Anexo K:

Tabla 5.5: Precios de intercambiadores de calor según proveedor.

<b>Cultivo</b>	<b>Precio Intercambiador de calor INTERCAL</b>
Tomate	\$731.200
Lechuga	\$411.900
Pimentón	\$782.400
Acelga	\$675.600
Todos	\$701.000

Los equipos restantes del sistema son iguales para cada configuración, la bomba Bestflow tiene valor de \$182.665, el ventilador centrífugo de 15 kW tiene valor de \$240.000, el estanque de acumulación Aquatank 4000L tiene un valor de \$465.000 y las tuberías con codos suman un total de \$8.900. Así el valor fijo de inversión por equipos, sin considerar el precio de cada intercambiador de calor es \$897.565. Lo que deja un valor total de inversión tal como se muestra en la Tabla 5.6:

Tabla 5.6: Valor de inversión sin intercambiador de calor

<b>Cultivo</b>	<b>Precio equipos sin intercambiador de calor</b>
Tomate	\$1628.765
Lechuga	\$1.309.465
Pimentón	\$1.679.965
Acelga	\$1.573.165
Todos	\$1.598.565

Así, para la demanda energética máxima, la inversión inicial estará dada por los valores de la Tabla 5.7:

Tabla 5.7: Inversión inicial para invernaderos con demanda energética máxima.

	<b>Polietileno</b>	<b>Policarbonato</b>	<b>Vidrio</b>
Tomate	\$3.171.287	\$4.920.415	\$5.967.233
Lechuga	\$2.851.987	\$4.601.115	\$5.647.933
Pimentón	\$3.222.487	\$4.971.615	\$6.018.433
Acelga	\$3.115.687	\$4.864.815	\$5.911.633
Todos	\$3.141.087	\$4.890.215	\$5.937.033

El invernadero de vidrio es la opción menos atractiva, pues es la más cara. La opción más atrayente económicamente sería invertir en la lechuga, con \$2.851.987.

Para el caso de demanda energética promedio, *INTERCAL* cuenta con un electroventilador regulable cuyo valor es \$1.057.770, consiste en un intercambiador de calor con las medidas especificadas y un ventilador acoplado que cumple con todas las demandas energéticas promedio. Considerando un estanque Aquatank de 2000L a \$181.000 y las tuberías a \$8.900, la inversión por equipos para cada cultivo sería \$1.247.670. Entonces la inversión varía solo según el tipo de construcción, quedando tal como se muestra en la Tabla 5.8:

<i>Polietileno</i>	\$	2.790.192
<i>Policarbonato</i>	\$	4.539.320
<i>Vidrio</i>	\$	5.586.138

Claramente la opción de construir un invernadero de polietileno es más atrayente que para los casos anteriores con demanda energética máxima. En todos los casos la inversión para un invernadero de policarbonato supera los \$4.500.000 y el de vidrio supera los \$5.500.000.

### 5.3 COSTOS OPERACIONALES

Dentro del costo operacional está el consumo eléctrico de la bomba, para calcular el tiempo de operación, se multiplica la demanda promedio mensual [kWh] por la tarifa monofásica. Actualmente el valor por cada kilowatt-hora excedente a los 65 kilowatts-hora tienen un valor de \$2.859.

Se considera un costo de mantención igual al 2% de la inversión inicial. Además, es probable que para el invernadero de polietileno las mantenciones sean en mayor cantidad que para un invernadero de policarbonato o vidrio debido a la calidad de la instalación. También se consideran una persona trabajando en el invernadero con un salario de \$500.000 mensual.

### 5.4 BALANCE FINAL

Con las consideraciones expuestas, se realiza un flujo de caja para cada caso de cultivo de acorde a cada material de construcción para evaluar la factibilidad económica de cada uno de éstos. Se calculan indicadores económicos para el posterior análisis, el invernadero se considera como una empresa particular cualquiera, donde la inversión debe ser pagada por el propietario. Por lo tanto, se estipula recuperar la inversión inicial en 4 años, con tasa de interés de 7% y horizonte de evaluación a 10 años. Los resultados de los indicadores se muestran en la Tabla 5.8:

Tabla 5.8: Indicador económico VAN para todos los casos.

Cultivo	Demanda energética máxima			Demanda energética promedio		
	Polietileno	Policarbonato	Vidrio	Polietileno	Policarbonato	Vidrio
Tomate	\$ -8.284.477	\$ -8.092.268	\$ -8.640.753	\$ -7.962.431	\$ -7.770.221	\$ -8.318.706
Lechuga	\$ 25.309.950	\$ 24.988.748	\$ 24.224.247	\$ 25.360.565	\$ 25.039.363	\$ 24.274.862
Pimentón	\$ -33.375.944	\$ -31.550.317	\$ -32.472.529	\$ -33.003.543	\$ -31.177.916	\$ -32.100.128
Acelga	\$ -9.925.625	\$ -8.950.056	\$ -9.786.131	\$ -9.645.228	\$ -8.669.658	\$ -9.505.734
Todos	\$ 1.614.897	\$ 2.073.643	\$ 1.335.582	\$ 1.911.423	\$ 2.363.369	\$ 1.628.484

Dado los valores del VAN, el tomate, pimentón y acelga se descartan como opciones viables para cultivar en invernadero para cualquier demanda energética. Para la lechuga es conveniente instalar un invernadero de polietileno, mientras que para el cultivo “todos”, que considera plantar una mezcla de los cuatro cultivos, es conveniente instalar un invernadero de policarbonato.

Como se menciona en la sección de antecedentes, para el cultivo todos se disminuye la temperatura del invernadero con el fin de que los cultivos puedan coexistir, pero no se puede afirmar con certeza que la producción a menor temperatura sea la misma que a temperatura óptima.

El polietileno no es viable debido a que no tiene buena aislación, pierde calor por la cubierta, así necesitando mayor inyección de calor, derivando en costo de energía. El policarbonato tiene mejor aislación, por causa de eso el costo de energía utilizada es menor al polietileno. El vidrio si bien tiene una buena aislación, la inversión es muy alta, casi el doble del polietileno.

El cultivo “todos” tiene TIR 0,41% para invernadero de polietileno con demanda máxima y 0.52% para el mismo invernadero con demanda promedio, es decir, tiene mayor rentabilidad considerando la demanda energética promedio. Aunque el retorno del VAN no sea tan alto, es un retorno con el que no se cuenta. La lechuga es el otro cultivo que es viable económicamente según los indicadores, pues tiene temperatura óptima menor que los demás cultivos, levemente es más factible utilizar la demanda energética promedio.

Se podría considerar calefaccionar el invernadero cuando sea estrictamente necesario, disminuir la potencia de los intercambiadores de calor ya que los cultivos tienen resistencia a cierta variación de temperatura.

# 6 DISCUSIONES

En la siguiente sección se discute y comenta sobre los resultados obtenidos, el aporte de la investigación y proyecciones.

## 6.1 RESULTADOS

Conforme con los factores climáticos y los recursos disponibles en las termas de Hipólito Muñoz en Liquiñe, es claro que la instalación de un invernadero utilizando el recurso energético disponible significaría un aporte a la soberanía alimenticia, permitiendo cultivar hortalizas durante los meses más lluviosos y fríos del año, situación que actualmente no es posible. Durante los meses más cálidos o verano, no es necesario calefaccionar constantemente el invernadero, pues solo presenta leves bajas de temperatura, para refrigerar se puede hacer mediante convección natural, como aumentando la renovación de aire interior.

Se diseñaron equipos para demanda energética máxima y promedio, generalmente las máximas son altos y bajos que no son constantes. La energía máxima es casi 3 veces el valor de la energía promedio. Al momento de diseñar los intercambiadores de calor no hay límites en cuanto a espacio y dimensiones, pues son compactos ya que la cantidad de aletas aumenta significativamente el área de transferencia de calor. La potencia del ventilador y la velocidad del aire fueron los factores más decisivos para escoger un intercambiador de calor para hacer la evaluación económica.

En relación con los ingresos, la lechuga es la hortaliza con mayor ingreso, los otros cultivos, tomate, pimentón y acelga tienen ingresos similares. Para el caso de la evaluación económica de invernadero con demanda energética máxima varían los valores de los intercambiadores de calor, el de la lechuga es el más económico porque tiene menor temperatura óptima.

Resumiendo, es económicamente factible cultivar lechuga en un invernadero con cubierta de polietileno y cultivar una mezcla de cultivos en un invernadero de policarbonato, ambos considerando la demanda energética promedio. Para ambos casos, el intercambiador de calor es el electroventilador del proveedor *INTERCAL*, que tiene capacidad máxima de 37.1 [kW], largo total de 1120 mm, ancho 292 mm y alto de 620 mm.

## 6.2 RELEVANCIA

Este proyecto es extrapolable, se puede llevar a cabo en otras zonas del país donde no exista un clima apropiado para cultivar hortalizas, ya sea por las bajas temperaturas o lluvias. Se entrega una investigación aplicable donde se requiera instalar y climatizar un invernadero con este tipo de recurso disponible, fuentes termales. A lo largo del sur de Chile hay localidades que cuentan con un recurso energético y condiciones climáticas similares, no aptas para la agricultura por lo que sería un aporte a las personas, la comunidad y al mercado local a través de aumentar la disponibilidad de hortalizas.

Además, la relevancia de este estudio es diseñar diferentes intercambiadores de calor modificando dimensiones para climatizar el invernadero, este equipo actualmente no es uno de los más utilizados para esta aplicación, sino que lo son las bombas de calor y aplicación directa del agua termal en el suelo por medio de tuberías. Resulta interesante pues el espacio que utilizan los equipos diseñados no es más allá de 2 m<sup>2</sup>, por lo que no se pierde una cantidad significativa para cultivar hortalizas, y también del análisis económico permite saber el costo de instalar este proyecto. También esta instalación no requiere de obras mayores tal como excavación pues los equipos se instalan sobre el suelo.

## 6.3 PROYECCIONES Y MEJORAS

Para mejorar la investigación realizada se puede continuar con una simulación computacional para corroborar y optimizar el sistema diseñado, ya sea modificando dimensiones, cantidades o reubicando equipos, como el intercambiador de calor o el ventilador. También es posible mejorar el sistema de convección dentro del invernadero con más ventiladores, produciendo convección forzada.

En el caso del estanque de acumulación, es posible invertir en aislación para asegurar una temperatura inicial de entrada al intercambiador de calor de 82 °C. Igualmente en las tuberías que van desde el estanque hacia la bomba y de ésta al intercambiador de calor.

Con relación a los cultivos, se puede estudiar la factibilidad económica para cultivos que requieran menor temperatura de desarrollo y así disminuir el costo de la energía o que también tengan mayores ingresos para contrarrestar el costo de la energía.

# 7 CONCLUSIONES

En el presente trabajo de título se diseñaron equipos, intercambiador de calor y ventilador, tal que fueran capaces de climatizar un invernadero con una fuente termal de 10 lt/min. El sistema completo consta de un estanque de almacenamiento, una bomba centrífuga, un intercambiador de calor y un ventilador que hace circular aire a través del intercambiador para calefaccionar la instalación.

Se comprobó que el potencial geotérmico de Liquiñe es suficiente para calefaccionar un invernadero durante todo un año, aunque es más recomendable para las hortalizas que no requieren de altas temperaturas para tener un crecimiento óptimo. Así también no es necesario climatizar el invernadero estrictamente durante todo un año, se puede disminuir la potencia máxima requerida utilizando el promedio de la demanda energética de cada cultivo. Esto derivaría en una menor potencia requerida del ventilador.

El balance energético del invernadero demostró ser una buena aproximación para determinar la necesidad térmica del invernadero. En cuanto a los materiales de construcción del invernadero, el polietileno es el más económico, pero una de sus desventajas es que tiene menor vida útil, posiblemente requiera de reposición de cubierta cada 2 años debido a la radiación y factores climáticos.

Es técnica y económicamente viable la plantación de lechuga en invernadero de polietileno, pues tiene un retorno de \$25.309.950. También es factible la construcción de un invernadero de policarbonato para una mezcla de cultivos con requerimientos térmicos similares a la lechuga.

Se puede concluir que este sistema para calefaccionar un invernadero es recomendable para cultivos de baja temperatura de desarrollo, el monto de inversión en la construcción del invernadero es un gran factor al momento de determinar su viabilidad o no. Este proyecto puede ser trasladado a cualquier comuna que tenga características similares a Liquiñe, clima lluvioso y potencial energético.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Food and agriculture organization of the United Nations (FAO). 2015. Uses of geothermal energy in food and agriculture – Opportunities for developing countries. Roma, 5p.
- [2] Lund, J., Boyd, T. 2016. Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review. *Geothermics* (60):66-93p.
- [3] Oficina de estudios y políticas agrarias del Ministerio de Agricultura. 2019. Panorama de la agricultura chilena. ODEPA. Santiago, 88p.
- [4] Daniele, L., Taucare, M., Viguier, B., Arancibia, G., Aravena, D., Roquer, T., Sepúlveda, J., Molina, E., Delgado, A., Muñoz, M., Morata, D. 2020. Exploring the shallow geothermal resources in the Chilean Southern Volcanic Zone: Insight from the Lique thermal springs, *Journal of Geochemical Exploration* (218).
- [5] NOVAGRIC. 2020. Ventajas de uso de invernaderos. [en línea] <<https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos>> [consulta: 22 julio 2020]
- [6] Escuela de Agronomía Universidad Católica de Temuco. 2009. Técnicas de producción hortícola en el sur de Chile. Santiago. 49p.
- [7] Rizo, E. 2015. Distintos tipos de cubiertas para invernaderos. [en línea] <https://www.hortalizas.com/horticultura-protegida/protegete/> [consulta: 9 agosto 2020]
- [8] Hurtado A., N. G. 2017. Evaluación del uso de bombas de calor geotérmicas en invernaderos. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 8p.
- [9] Soler & Palau. 2016. Climatización de invernaderos. [en línea]. Santiago. <<https://www.solerpalau.com/es-cl/hojas-tecnicas-la-climatizacion-de-invernaderos/>> [consulta: 16 noviembre 2020]



- [10] Teitel, M., Shklyar, A., Segal, I., Barak, M. 1996. Effects of Nonsteady Hot-water Greenhouse Heating on Heat Transfer and Microclimate. *Journal of Agricultural Engineering Research* (64): 297–304pp.
- [11] Bakos, G., Fidanidis, D., Tsagas, N. 1999. Greenhouse heating using geothermal energy. *Geothermics* (28):759-765pp.
- [12] Ministerio de Agricultura. 2017. Manual de producción de Lechuga. Santiago. 27p.
- [13] Instituto de desarrollo agropecuario (INDAP). 2017. Manual de cultivo del tomate bajo invernadero. Santiago. 17p.
- [14] Valera, D. 2008. Ahorro y eficiencia energética en invernaderos. Madrid. 49-57pp.
- [15] Pysmenny, Y., Polupan, G., Carvajal I., Sánchez, F., 2007. Manual para el cálculo de intercambiadores de calor y bancos de tubos aletados. España: Editorial Reverté.
- [16] Cengel, Y. A. 2007. Transferencia de calor y masa. México D.F.: McGRAW-HILL.
- [17] Montes, I. 2018. Diseño ingenieril y mecánico de intercambiador de calor aéreo para enfriamiento de 220 TON/H de agua. Coruña, Universidade da Coruña. 17p.
- [18] Manuel Viejo Zubicaray. 2000. Bombas, teoría, diseño y aplicaciones. México, D.F.: Editorial Limusa S.S de C.C. Grupo Noriega Editores.
- [19] CYPE Ingenieros, S.A. 2021. Precio en Chile del m2 de vidrio laminado. [en línea]. Santiago.  
<[http://www.chile.generadordeprecios.info/obra\\_nueva/Fachadas/Vidrios/Especiales\\_\\_seguridad/Vidrio\\_laminar\\_de\\_seguridad.html](http://www.chile.generadordeprecios.info/obra_nueva/Fachadas/Vidrios/Especiales__seguridad/Vidrio_laminar_de_seguridad.html)> [consulta: 5 noviembre 2021].

# 9 ANEXOS

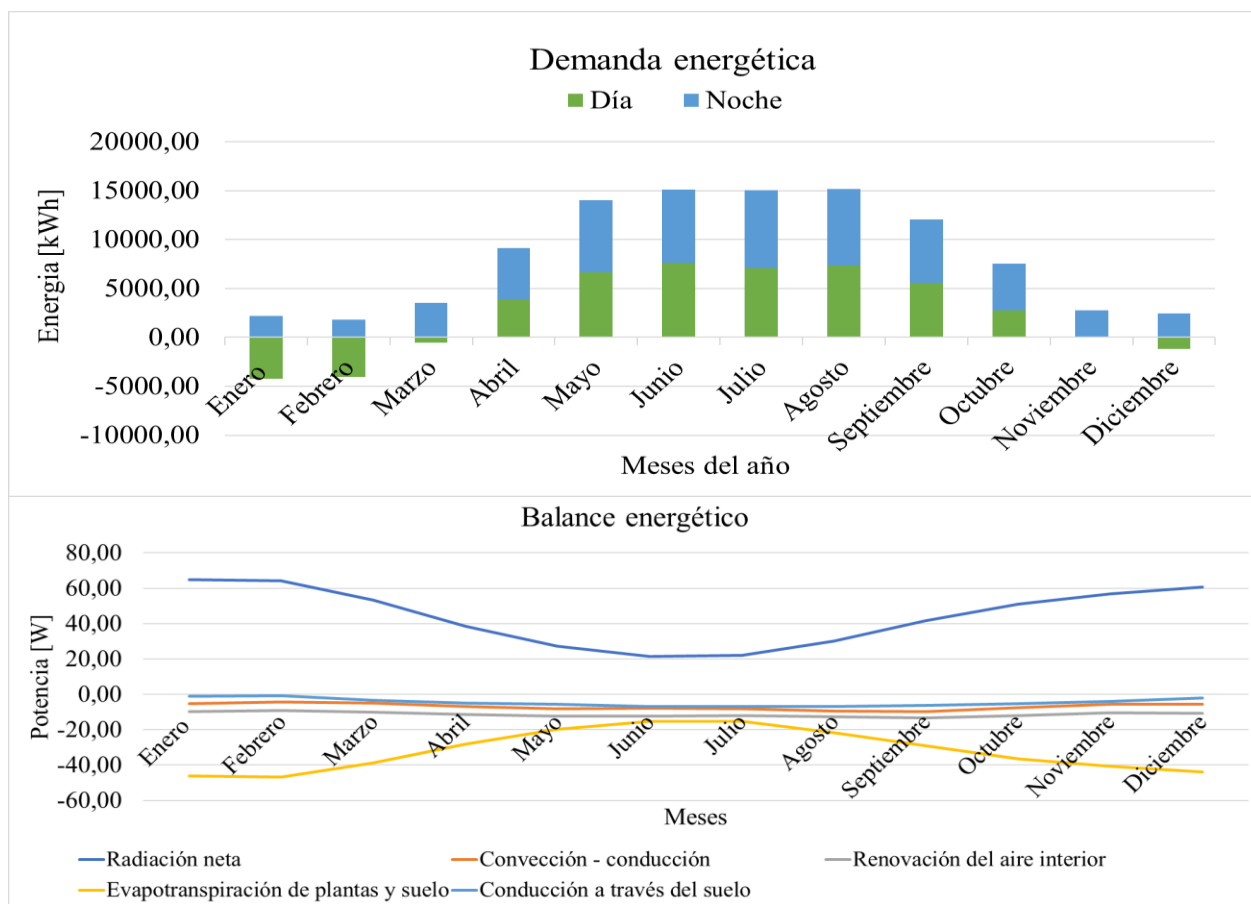
## 9.1 ANEXO A: PROPIEDADES TERMODINÁMICAS

Propiedades termodinámicas para agua y aire a temperaturas promedio para cada intercambiador de calor.

Propiedad	1		2		3		4		5	
	Agua	Aire	Agua	Aire	Agua	Aire	Agua	Aire	Agua	Aire
Temperatura media [°C]	50,76	12,50	50,18	7,50	52,80	14,00	51,00	10,00	44,63	11,00
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	987,7	1,24	987,9	1,26	986,7	1,23	987,5	1,25	990,13	1,24
Volumen específico [m <sup>3</sup> /kg]	1,E-03	8,E-01	1,E-03	8,E-01	1,E-03	8,E-01	1,E-03	8,E-01	1,E-03	8,E-01
Viscosidad cinemática [m <sup>2</sup> /s]	1,E-06	2,E-05	1,E-06	2,E-05	1,E-06	2,E-05	1,E-06	2,E-05	1,E-06	2,E-05
Conductividad térmica [W/mK]	0,646	0,025	0,646	0,024	0,649	0,025	0,647	0,024	0,639	0,024
Numero de Prandtl [Pr]	3,630	0,733	3,668	0,734	3,495	0,733	3,614	0,734	4,034	0,733
Calor específico [kJ/kgK]	4,180	1,007	4,180	1,006	4,180	1,007	4,180	1,006	4,179	1,006
Viscosidad dinámica kg*s/m	1,E-03	2,E-05	1,E-03	2,E-05	1,E-03	2,E-05	1,E-03	2,E-05	1,E-03	2,E-05

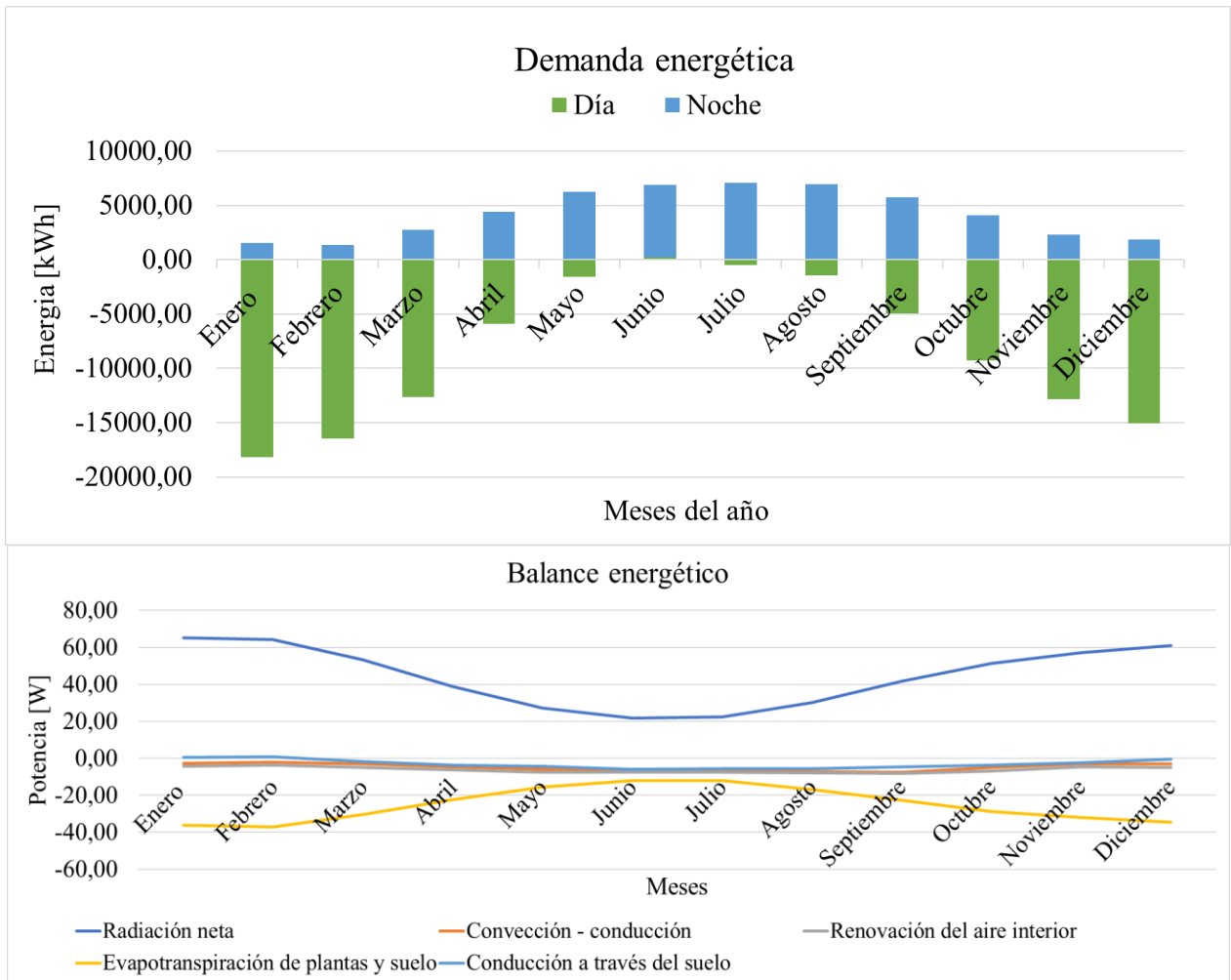
## 9.2 ANEXO B: BALANCES Y DEMANDAS ENERGÉTICAS PARA INVERNADERO CON CUBIERTA DE POLIETILENO.

- Tomate



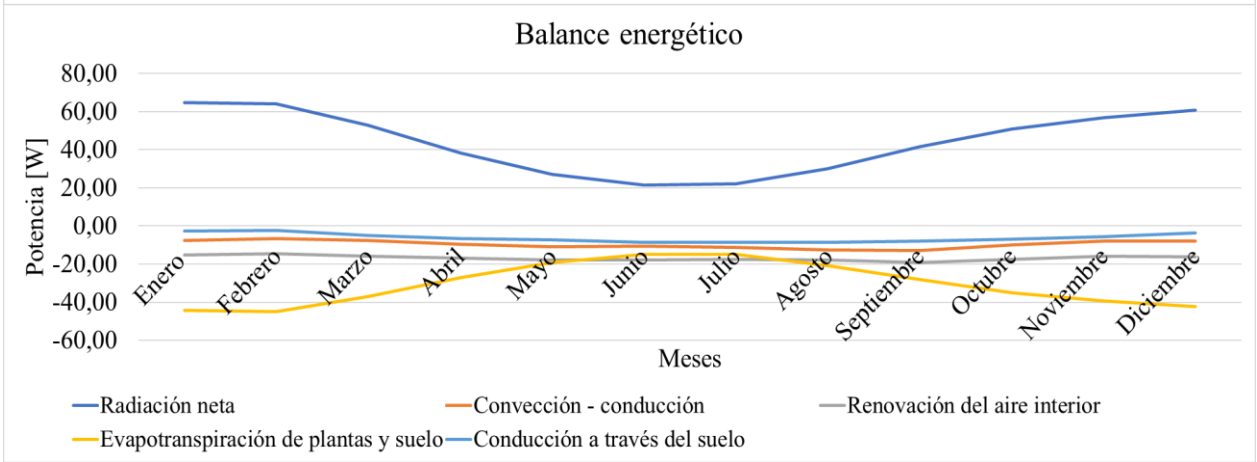
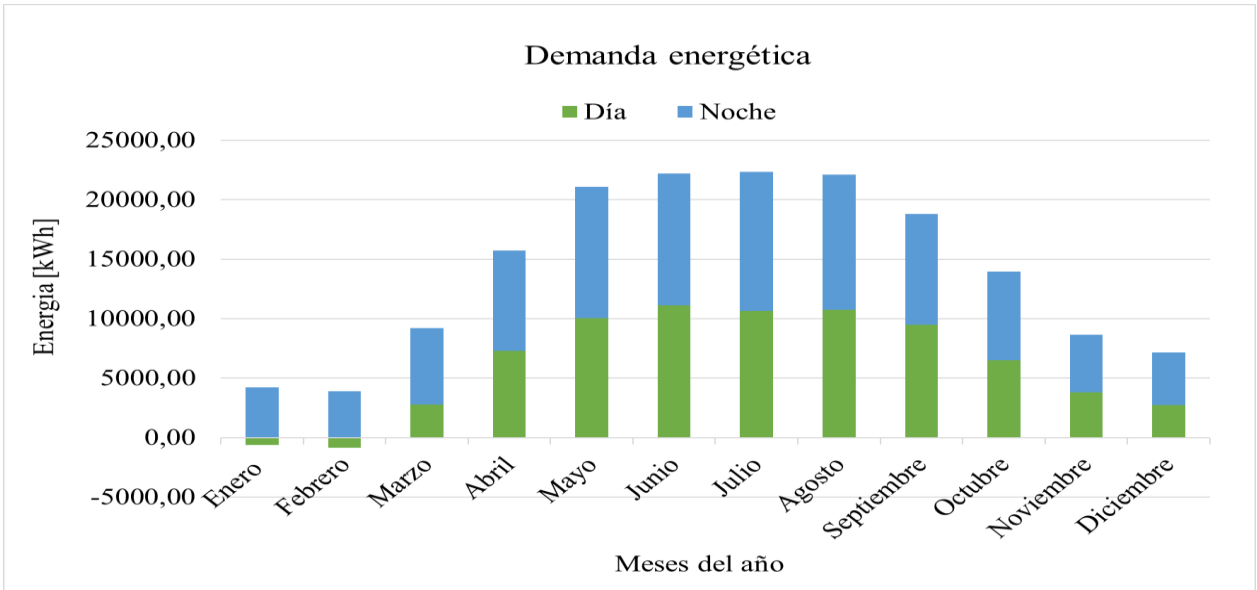
Mes	Demanda energética mensual [kWh]			Demanda energética promedio [kW]			Demanda máxima [kW]	
	Día	Noche	Total	Día	Noche	Total	Día	Noche
Enero	-4246,59	2198,10	-2048,48	-5,71	2,95	-1,38	49,45	44,08
Febrero	-4029,75	1812,76	-2216,99	-6,00	2,70	-1,65	52,57	17,45
Marzo	-571,67	3545,31	2973,64	-0,77	4,77	2,00	53,17	56,13
Abril	3934,55	5200,88	9135,43	5,46	7,22	6,34	62,69	35,38
Mayo	6643,48	7362,01	14005,49	8,93	9,90	9,41	61,92	64,98
Junio	7592,54	7498,46	15091,00	10,55	10,41	10,48	59,91	24,57
Julio	7105,50	7959,87	15065,37	9,55	10,70	10,12	61,41	55,04
Agosto	7337,40	7849,76	15187,16	9,86	10,55	10,21	65,22	58,41
Septiembre	5577,97	6461,83	12039,80	7,75	8,97	8,36	63,39	54,82
Octubre	2776,34	4762,42	7538,76	3,73	6,40	5,07	58,68	55,11
Noviembre	-12,43	2787,22	2774,79	-0,02	3,87	1,93	57,79	52,77
Diciembre	-1206,73	2417,05	1210,32	-1,62	3,25	0,81	54,49	39,95
ANUAL	30900,62	59855,69	90756,31	3,48	6,81	5,14	65,22	64,98

- Lechuga



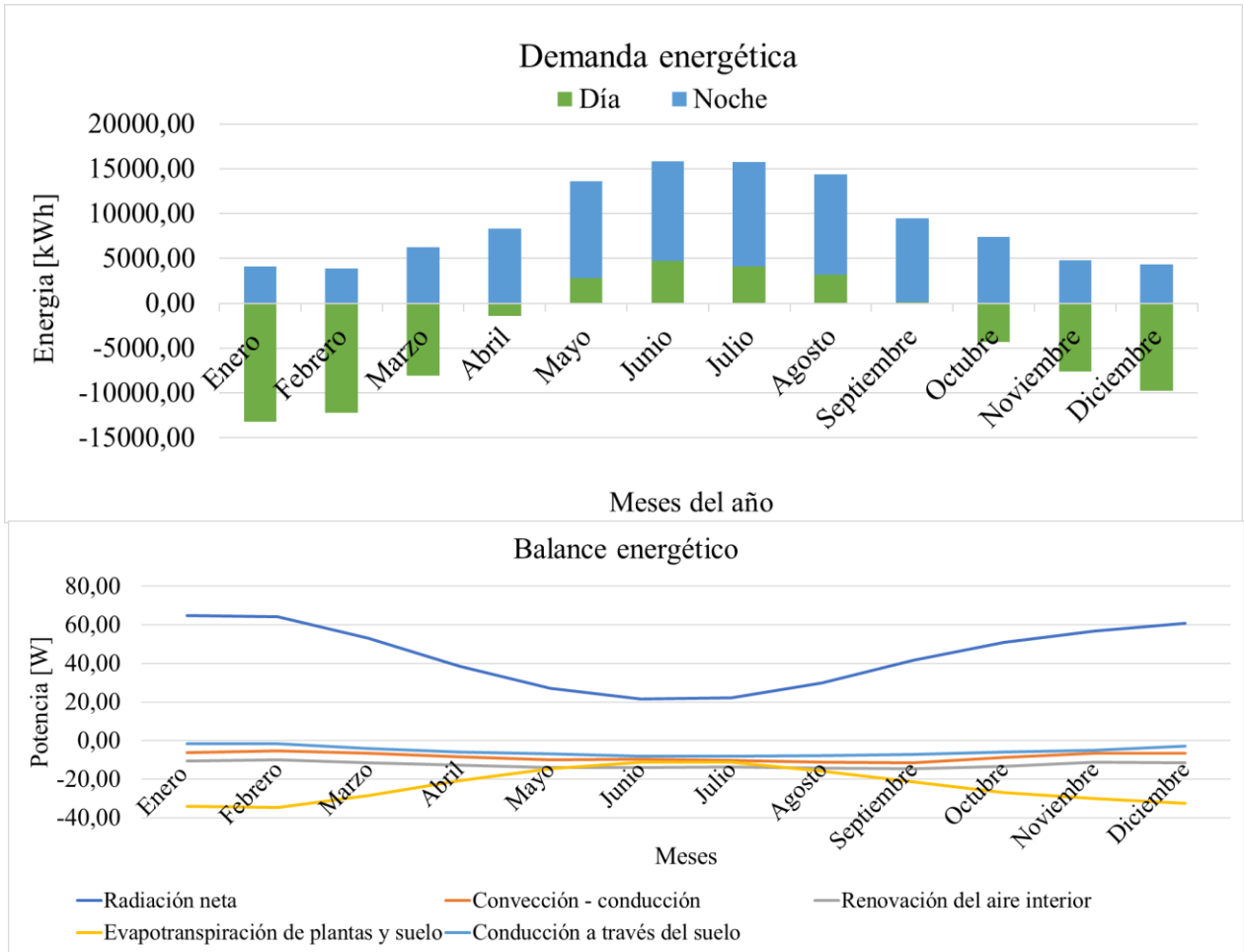
Mes	Demanda energética mensual [kWh]			Demanda energética promedio [kW]			Demanda máxima [kW]	
	Día	Noche	Total	Día	Noche	Total	Día	Noche
Enero	-18164,07	1556,71	-16607,36	-24,41	2,09	-11,16	30,94	26,32
Febrero	-16448,43	1342,56	-15105,87	-24,48	2,00	-11,24	32,71	15,53
Marzo	-12635,23	2768,47	-9866,76	-16,98	3,72	-6,63	34,16	36,55
Abril	-5894,05	4434,53	-1459,53	-8,19	6,16	-1,01	41,50	22,47
Mayo	-1593,59	6244,75	4651,16	-2,14	8,39	3,13	40,96	44,55
Junio	196,96	6673,91	6870,87	0,27	9,27	4,77	38,39	22,70
Julio	-463,91	7086,30	6622,39	-0,62	9,52	4,45	40,27	34,69
Agosto	-1439,10	6939,11	5500,00	-1,93	9,33	3,70	44,02	40,07
Septiembre	-4979,54	5738,14	758,59	-6,92	7,97	0,53	42,71	23,11
Octubre	-9294,42	4053,20	-5241,22	-12,49	5,45	-3,52	38,09	35,38
Noviembre	-12828,08	2296,39	-10531,69	-17,82	3,19	-7,31	37,49	32,01
Diciembre	-15040,48	1866,03	-13174,46	-20,22	2,51	-8,85	33,72	17,33
ANUAL	-98583,96	51000,10	-47583,86	-11,33	5,80	-2,76	44,02	44,55

▪ Pimentón



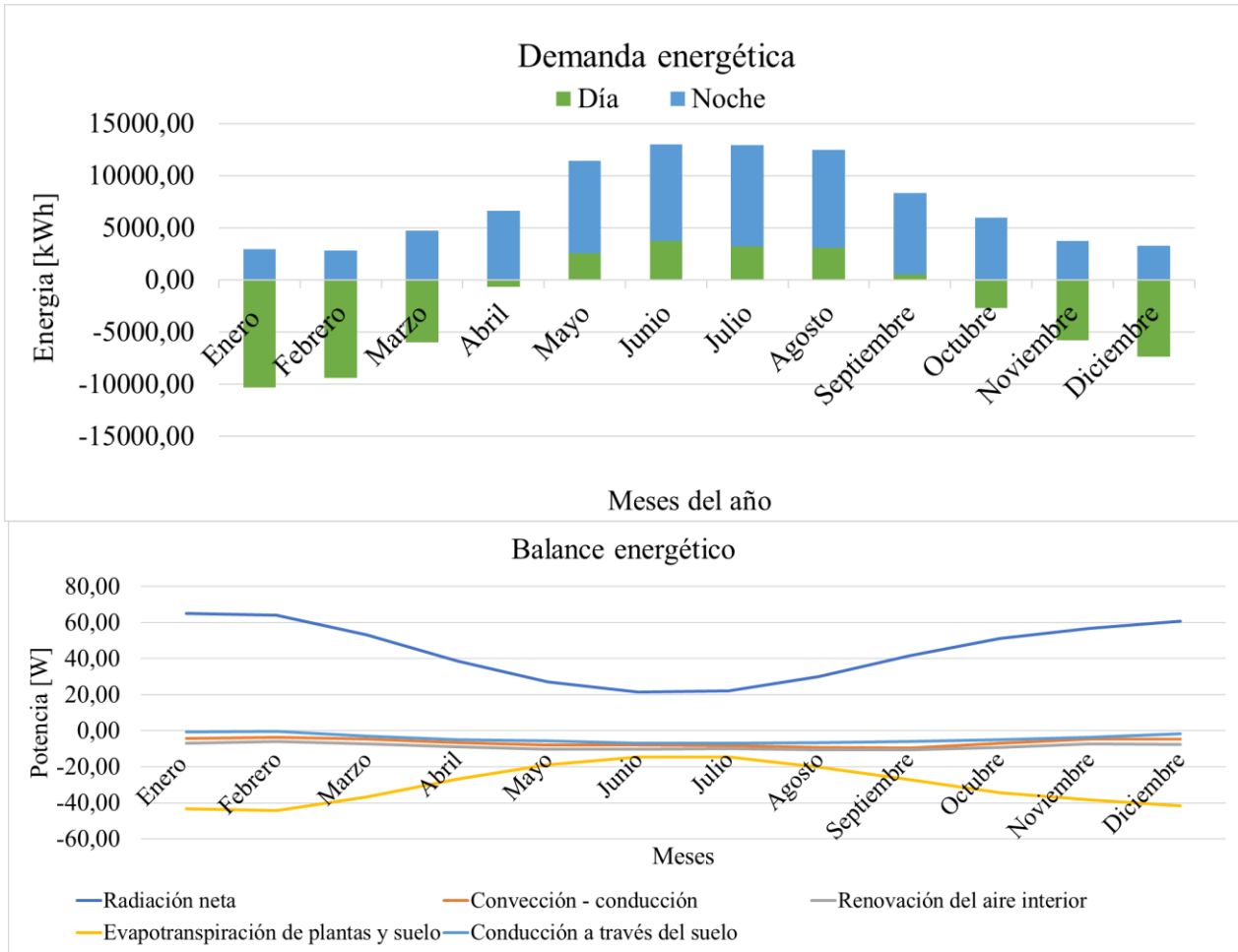
Mes	Demanda energética mensual [kWh]			Demanda energética promedio [kW]			Demanda máxima [kW]	
	Día	Noche	Total	Día	Noche	Total	Día	Noche
Enero	-609,11	4238,56	3629,46	-0,82	5,70	2,44	64,09	57,81
Febrero	-868,19	3893,08	3024,88	-1,29	5,79	2,25	67,16	25,71
Marzo	2791,31	6418,81	9210,12	3,75	8,63	6,19	66,88	71,40
Abril	7313,26	8422,12	15735,38	10,16	11,70	10,93	78,67	49,84
Mayo	10041,08	11056,24	21097,32	13,50	14,86	14,18	78,57	81,00
Junio	11117,30	11073,20	22190,50	15,44	15,38	15,41	75,87	32,61
Julio	10657,81	11668,11	22325,92	14,33	15,68	15,00	77,65	71,23
Agosto	10727,58	11383,19	22110,77	14,42	15,30	14,86	81,21	72,72
Septiembre	9480,09	9334,81	18814,90	13,17	12,97	13,07	79,95	66,29
Octubre	6488,57	7446,84	13935,41	8,72	10,01	9,37	74,27	70,81
Noviembre	3808,60	4832,29	8640,90	5,29	6,71	6,00	73,36	69,21
Diciembre	2747,20	4404,34	7151,54	3,69	5,92	4,81	70,06	53,65
ANUAL	73695,49	94171,59	167867,08	8,36	10,72	9,54	81,21	81,00

▪ Acelga



Mes	Demanda energética mensual [kWh]			Demanda energética promedio [kW]			Demanda máxima [kW]	
	Día	Noche	Total	Día	Noche	Total	Día	Noche
Enero	-13188,95	4079,69	-9109,26	-17,73	5,48	-6,12	48,76	44,04
Febrero	-12242,64	3891,76	-8350,88	-18,22	5,79	-6,21	51,47	25,70
Marzo	-8082,37	6209,74	-1872,63	-10,86	8,35	-1,26	52,45	56,03
Abril	-1380,01	8303,71	6923,69	-1,92	11,53	4,81	61,99	35,31
Mayo	2799,16	10818,06	13617,22	3,76	14,54	9,15	60,99	64,96
Junio	4719,01	11070,47	15789,48	6,55	15,38	10,96	58,47	32,60
Julio	4133,93	11648,83	15782,76	5,56	15,66	10,61	60,36	54,99
Agosto	3160,19	11221,96	14382,16	4,25	15,08	9,67	64,29	58,22
Septiembre	136,92	9320,22	9457,14	0,19	12,94	6,57	62,47	54,67
Octubre	-4319,59	7376,51	3056,92	-5,81	9,91	2,05	57,55	55,07
Noviembre	-7656,21	4803,41	-2852,80	-10,63	6,67	-1,98	56,92	52,68
Diciembre	-9734,11	4343,63	-5390,48	-13,08	5,84	-3,62	53,43	39,70
ANUAL	-41654,66	93087,98	51433,32	-4,83	10,60	2,89	64,29	64,96

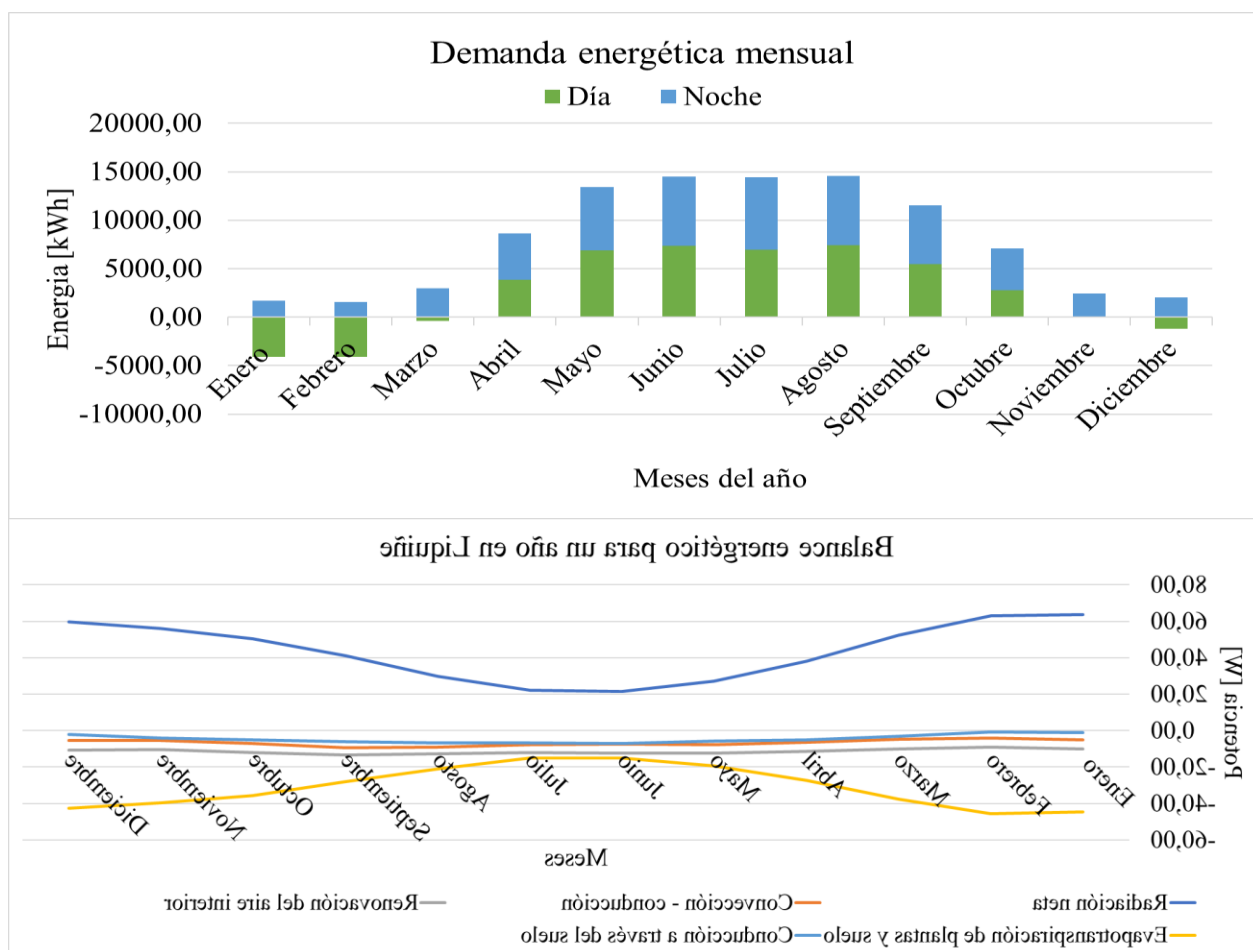
- Todos los cultivos



Mes	Demanda energética mensual [kWh]			Demanda energética promedio [kW]			Demanda máxima [kW]	
	Día	Noche	Total	Día	Noche	Total	Día	Noche
Enero	-10306,17	2938,60	-7367,56	-13,85	3,95	-4,95	37,69	32,83
Febrero	-9388,14	2809,79	-6578,35	-13,97	4,18	-4,89	40,32	21,45
Marzo	-5956,34	4736,50	-1219,84	-8,01	6,37	-0,82	41,31	43,72
Abril	-686,14	6658,68	5972,54	-0,95	9,25	4,15	49,46	29,18
Mayo	2563,20	8859,23	11422,43	3,45	11,91	7,68	48,27	52,01
Junio	3764,95	9226,24	12991,19	5,23	12,81	9,02	46,64	28,46
Julio	3199,16	9732,56	12931,72	4,30	13,08	8,69	48,32	42,09
Agosto	3051,55	9400,47	12452,01	4,10	12,64	8,37	52,02	46,80
Septiembre	509,04	7842,21	8351,25	0,71	10,89	5,80	50,27	44,96
Octubre	-2723,46	5972,30	3248,84	-3,66	8,03	2,18	45,90	42,55
Noviembre	-5771,35	3733,20	-2038,15	-8,02	5,19	-1,42	45,11	39,57
Diciembre	-7336,24	3247,07	-4089,17	-9,86	4,36	-2,75	41,60	23,53
ANUAL	-29079,93	75156,84	46076,92	-3,38	8,55	2,59	52,02	52,01

### 9.3 ANEXO C: BALANES Y DEMANDA ENERGÉTICA PARA INVERNADERO CON CUBIERTA DE POLICARBONATO.

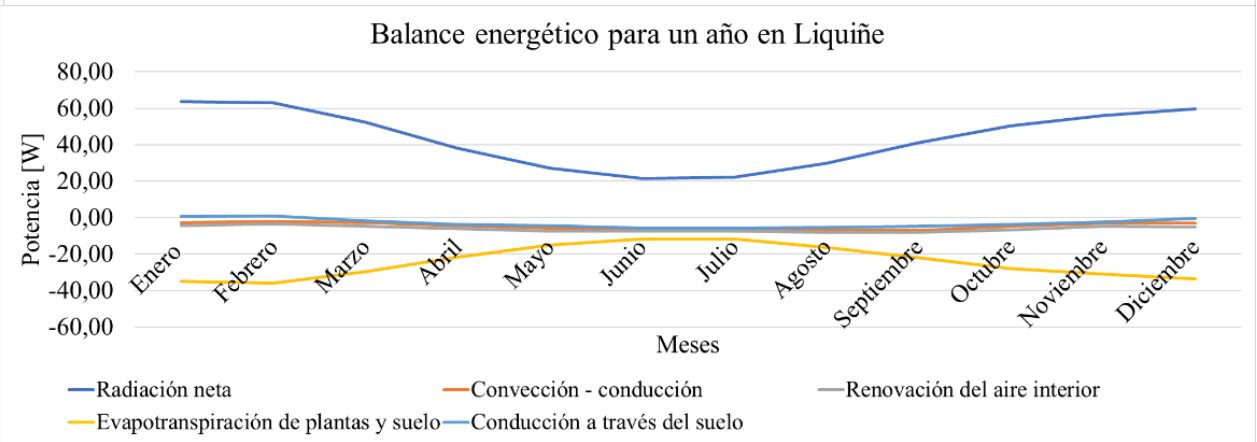
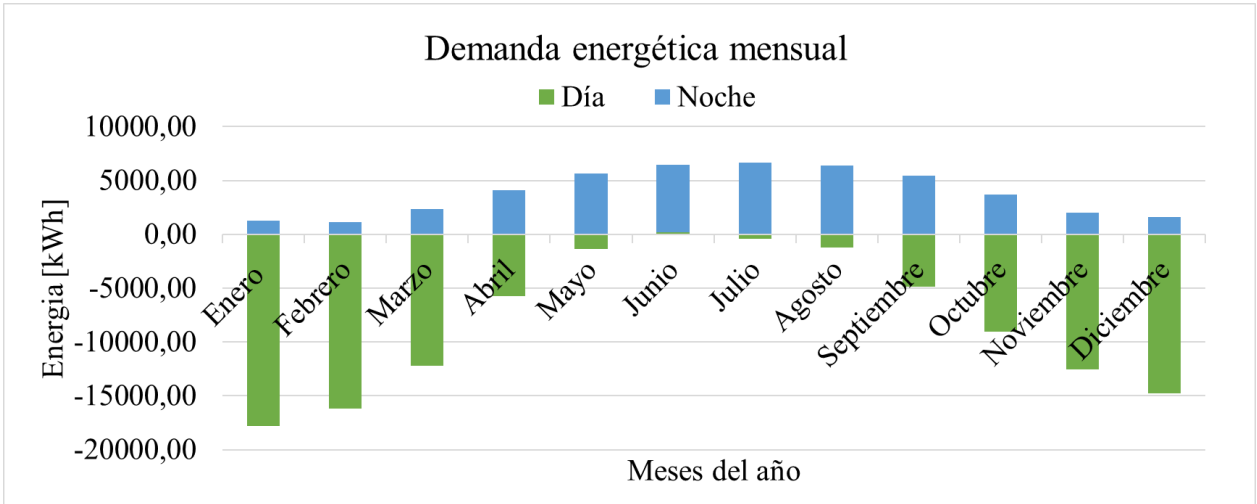
- Tomate



Mes	Demanda energética mensual [kWh]			Demanda energética promedio [kW]			Demanda máxima [kW]	
	Día	Noche	Total	Día	Noche	Total	Día	Noche
Enero	-4067,41	1696,68	-2370,72	-5,47	2,28	-1,59	47,97	42,60
Febrero	-4076,85	1566,54	-2510,30	-6,07	2,33	-1,87	50,93	16,50
Marzo	-391,79	2988,09	2596,29	-0,53	4,02	1,74	54,45	50,04
Abril	3886,27	4767,68	8653,95	5,40	6,62	6,01	60,74	23,48
Mayo	6918,16	6487,15	13405,32	9,30	8,72	9,01	61,39	63,03
Junio	7394,61	7104,98	14499,60	10,27	9,87	10,07	58,28	23,64
Julio	6970,52	7497,92	14468,45	9,37	10,08	9,72	59,67	24,11
Agosto	7453,62	7128,07	14581,69	10,02	9,58	9,80	63,41	24,62
Septiembre	5467,63	6070,12	11537,75	7,59	8,43	8,01	61,46	24,10
Octubre	2788,06	4331,22	7119,27	3,75	5,82	4,78	57,22	53,58
Noviembre	-14,36	2455,85	2441,49	-0,02	3,41	1,70	56,32	19,55
Diciembre	-1194,68	2051,99	857,30	-1,61	2,76	0,58	52,89	18,35
ANUAL	31133,78	54146,30	85280,08	3,50	6,16	4,83	63,41	63,03

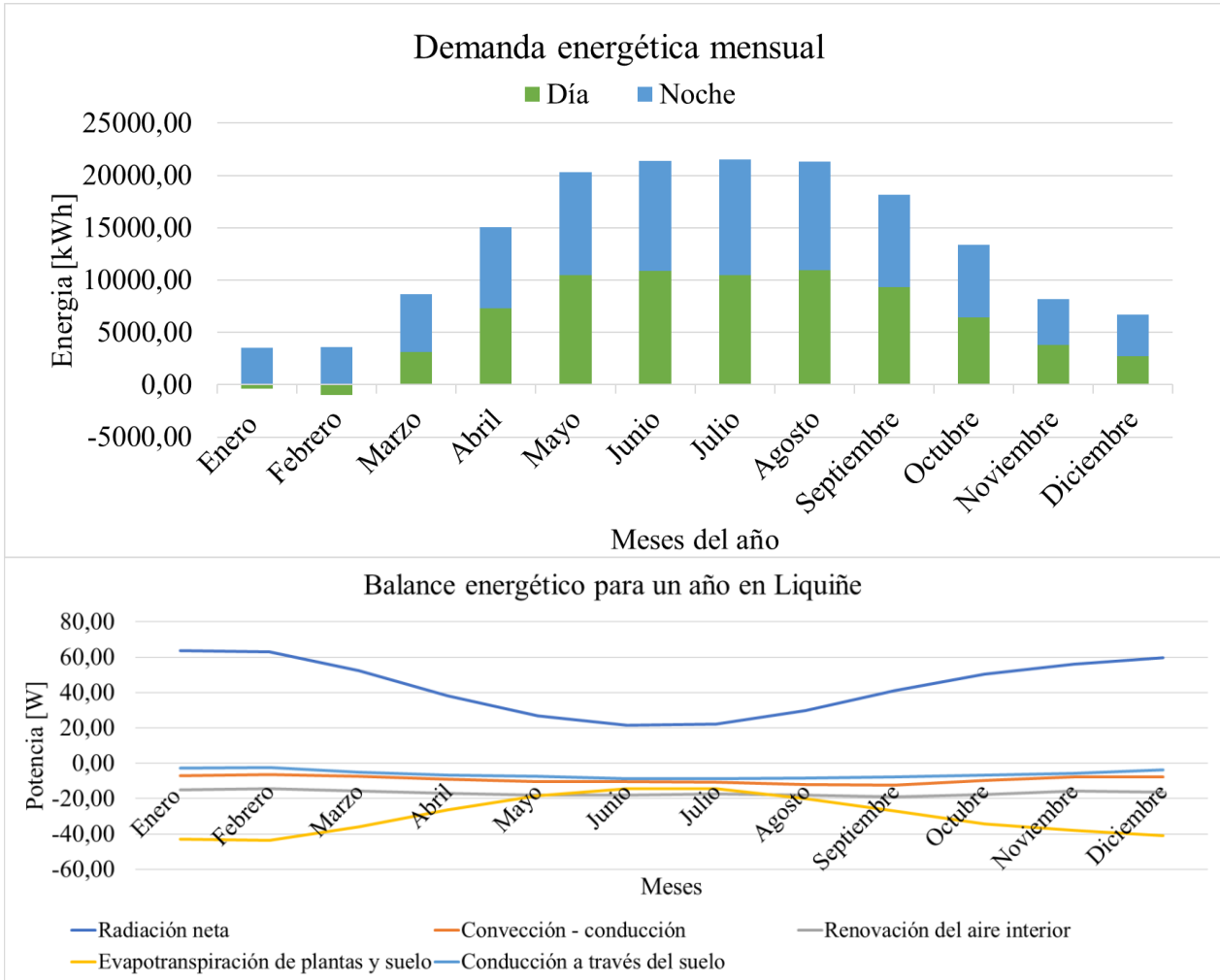


- Lechuga



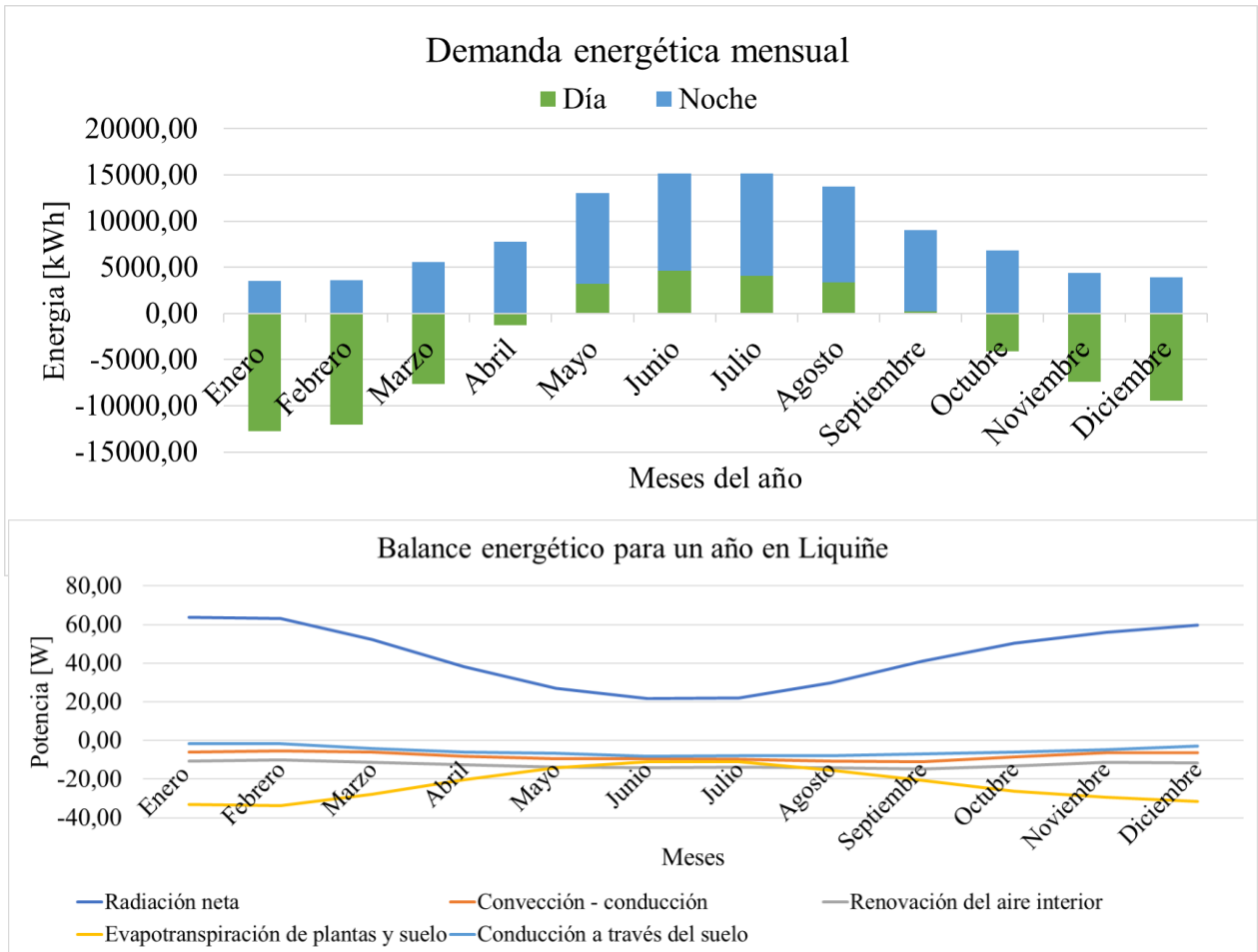
Mes	Demanda energética mensual [kWh]			Demanda energética promedio [kW]			Demanda máxima [kW]	
	Día	Noche	Total	Día	Noche	Total	Día	Noche
Enero	-17794,05	1255,57	-16538,48	-23,92	1,69	-11,11	29,90	25,20
Febrero	-16174,92	1113,54	-15061,38	-24,07	1,66	-11,21	31,53	14,66
Marzo	-12236,59	2326,03	-9910,56	-16,45	3,13	-6,66	35,29	16,23
Abril	-5752,08	4085,83	-1666,25	-7,99	5,67	-1,16	40,08	21,39
Mayo	-1353,28	5641,56	4288,27	-1,82	7,58	2,88	41,37	43,07
Junio	172,02	6310,25	6482,27	0,24	8,76	4,50	37,21	21,84
Julio	-436,50	6676,04	6239,53	-0,59	8,97	4,19	39,18	22,04
Agosto	-1221,42	6376,34	5154,91	-1,64	8,57	3,46	42,69	22,69
Septiembre	-4871,44	5427,78	556,35	-6,77	7,54	0,39	41,42	22,04
Octubre	-9046,36	3726,67	-5319,69	-12,16	5,01	-3,58	37,00	34,22
Noviembre	-12529,60	2017,55	-10512,05	-17,40	2,80	-7,30	36,39	17,75
Diciembre	-14766,69	1618,18	-13148,51	-19,85	2,17	-8,84	32,56	16,42
ANUAL	-96010,91	46575,32	-49435,60	-11,03	5,30	-2,87	42,69	43,07

- Pimentón



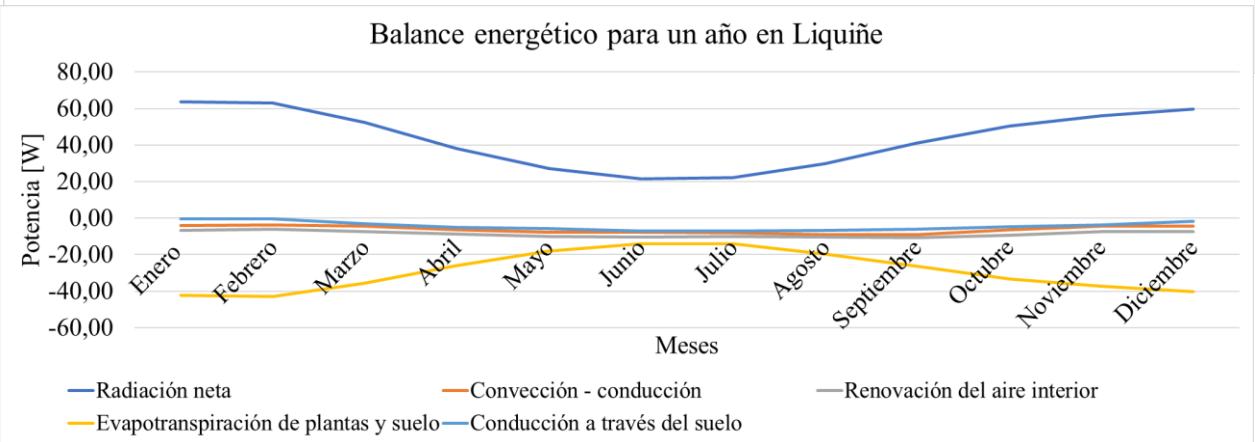
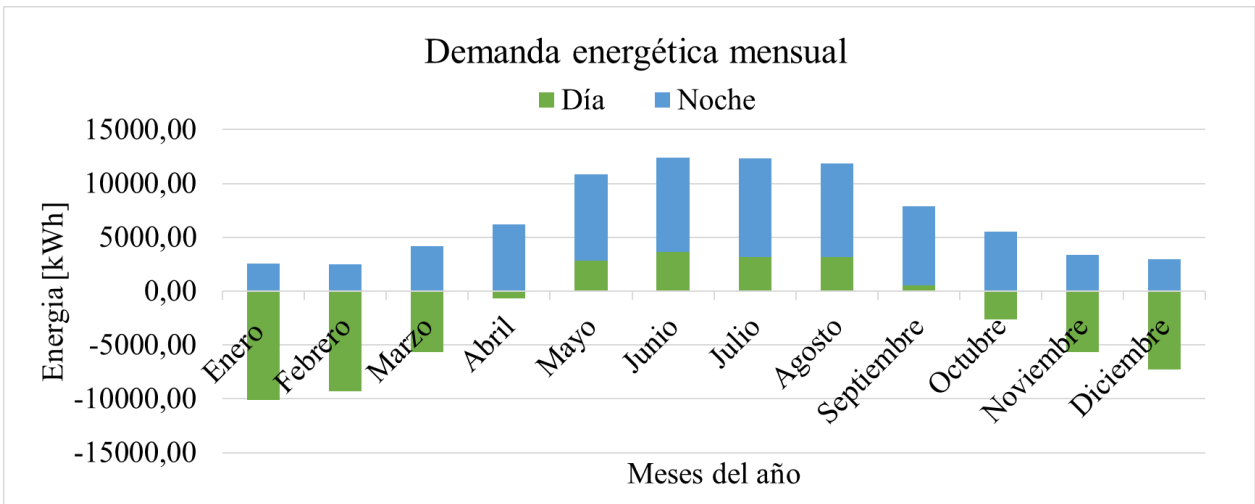
Mes	Demanda energética mensual [kWh]			Demanda energética promedio [kW]			Demanda máxima [kW]	
	Día	Noche	Total	Día	Noche	Total	Día	Noche
Enero	-382,95	3559,48	3176,53	-0,51	4,78	2,13	62,38	56,12
Febrero	-956,36	3570,98	2614,62	-1,42	5,31	1,95	65,31	24,43
Marzo	3098,49	5590,32	8688,80	4,16	7,51	5,84	69,45	64,76
Abril	7328,86	7758,92	15087,79	10,18	10,78	10,48	76,39	32,41
Mayo	10464,29	9852,00	20316,30	14,06	13,24	13,65	77,27	78,75
Junio	10867,36	10553,83	21421,19	15,09	14,66	14,88	74,00	31,40
Julio	10482,68	11057,88	21540,56	14,09	14,86	14,48	75,65	32,90
Agosto	10938,94	10382,46	21321,40	14,70	13,95	14,33	79,13	32,90
Septiembre	9317,28	8819,91	18137,19	12,94	12,25	12,60	77,70	32,97
Octubre	6438,96	6923,87	13362,83	8,65	9,31	8,98	72,59	69,04
Noviembre	3772,60	4400,75	8173,35	5,24	6,11	5,68	71,68	27,34
Diciembre	2750,07	3917,28	6667,35	3,70	5,27	4,48	68,19	26,70
ANUAL	74120,23	86387,68	160507,91	8,41	9,84	9,12	79,13	78,75

- Acelga



Mes	Demanda energética mensual [kWh]			Demanda energética promedio [kW]			Demanda máxima [kW]	
	Día	Noche	Total	Día	Noche	Total	Día	Noche
Enero	-12741,10	3510,53	-9230,57	-17,13	4,72	-6,20	47,29	42,57
Febrero	-12041,48	3569,66	-8471,82	-17,92	5,31	-6,30	49,86	24,42
Marzo	-7676,53	5558,43	-2118,11	-10,32	7,47	-1,42	54,35	49,99
Abril	-1268,39	7756,08	6487,69	-1,76	10,77	4,51	60,06	32,39
Mayo	3188,71	9817,61	13006,31	4,29	13,20	8,74	61,23	63,01
Junio	4607,92	10551,10	15159,03	6,40	14,65	10,53	56,89	31,39
Julio	4088,69	11054,84	15143,52	5,50	14,86	10,18	58,67	32,88
Agosto	3401,93	10379,62	13781,56	4,57	13,95	9,26	62,51	32,88
Septiembre	190,88	8816,94	9007,82	0,27	12,25	6,26	60,77	32,95
Octubre	-4093,70	6853,12	2759,42	-5,50	9,21	1,85	56,12	53,54
Noviembre	-7428,34	4399,68	-3028,66	-10,32	6,11	-2,10	55,48	27,33
Diciembre	-9465,59	3909,62	-5555,97	-12,72	5,25	-3,73	51,86	26,69
ANUAL	-39237,00	86177,21	46940,21	-4,55	9,81	2,63	62,51	63,01

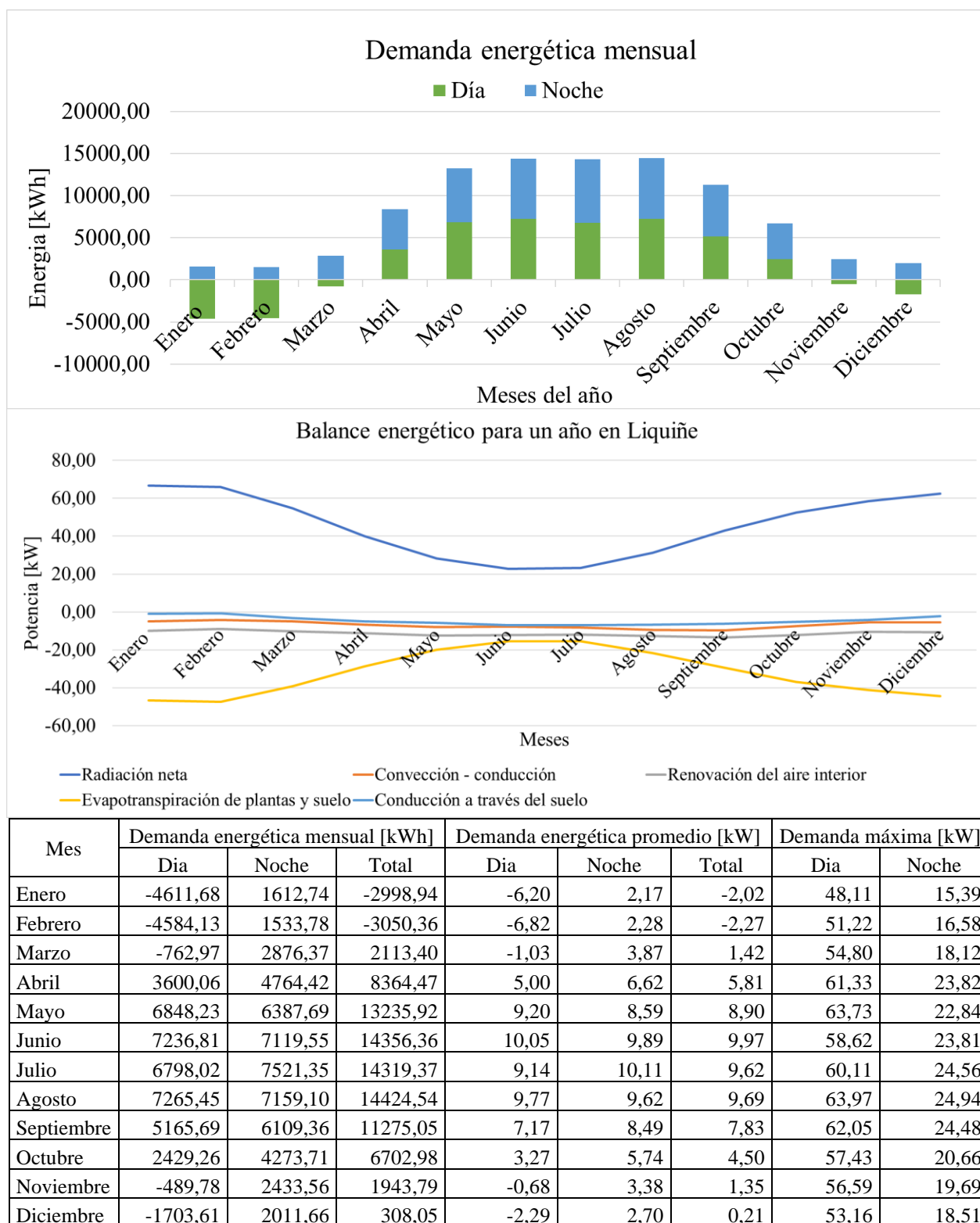
- Todos los cultivos



Mes	Demanda energética mensual [kWh]			Demanda energética promedio [kW]			Demanda máxima [kW]	
	Día	Noche	Total	Día	Noche	Total	Día	Noche
Enero	-10127,17	2556,92	-7570,25	-13,61	3,44	-5,09	36,50	31,58
Febrero	-9309,99	2527,10	-6782,88	-13,85	3,76	-5,05	38,95	20,34
Marzo	-5669,39	4152,69	-1516,70	-7,62	5,58	-1,02	42,30	21,61
Abril	-676,28	6217,58	5541,30	-0,94	8,64	3,85	47,83	27,80
Mayo	2821,53	8031,96	10853,50	3,79	10,80	7,29	48,67	50,35
Junio	3648,05	8771,04	12419,09	5,07	12,18	8,62	45,28	27,40
Julio	3137,48	9218,78	12356,26	4,22	12,39	8,30	46,91	28,38
Agosto	3190,86	8701,59	11892,45	4,29	11,70	7,99	50,50	28,63
Septiembre	509,22	7405,56	7914,78	0,71	10,29	5,50	48,81	28,39
Octubre	-2621,02	5539,37	2918,35	-3,52	7,45	1,96	44,65	41,25
Noviembre	-5657,45	3389,27	-2268,18	-7,86	4,71	-1,58	43,86	23,32
Diciembre	-7263,69	2935,94	-4327,75	-9,76	3,95	-2,91	40,26	22,39
ANUAL	-28017,85	69447,81	41429,96	-3,26	7,91	2,32	50,50	50,35

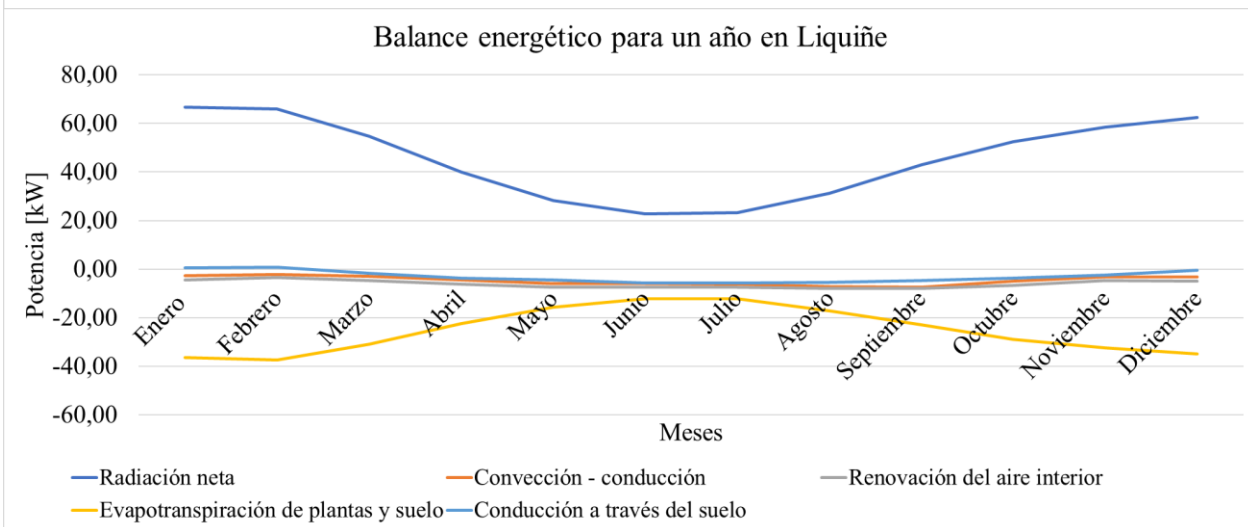
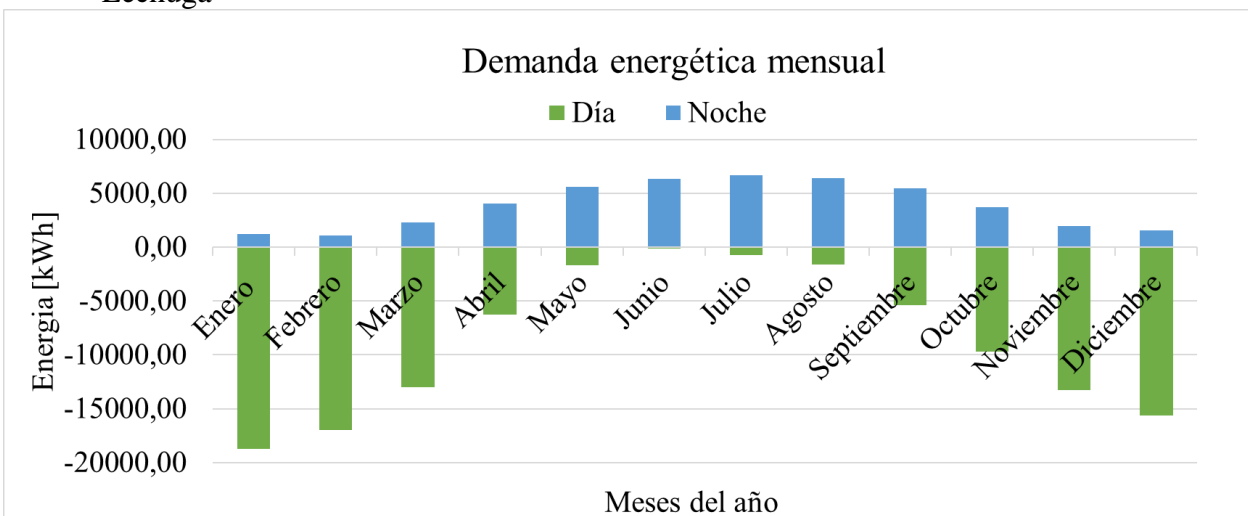
## 9.4 ANEXO D: BALANCES Y DEMANDAS ENERGÉTICAS PARA INVERNADERO DE VIDRIO.

- Tomate



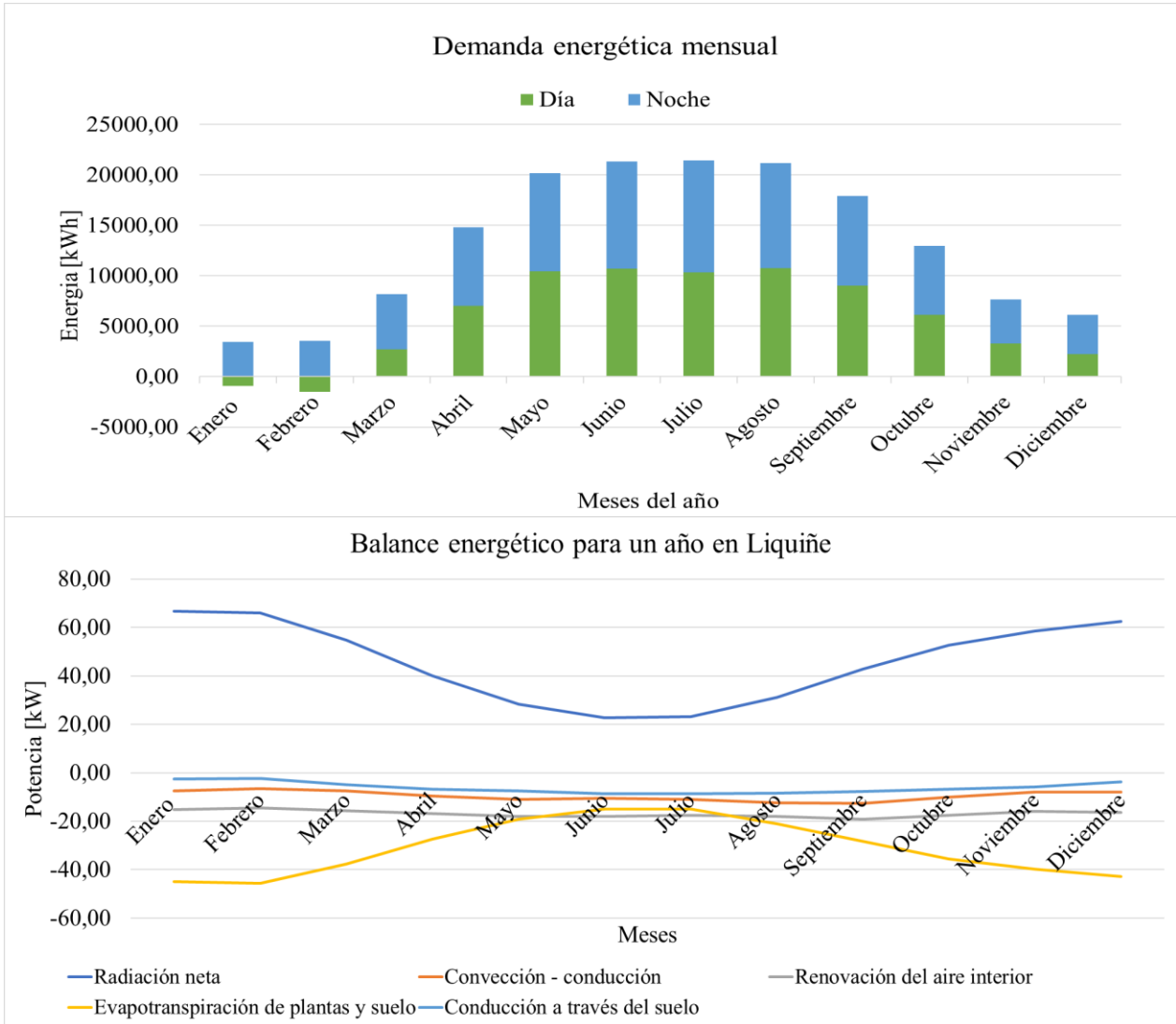
ANUAL	27191,36	53803,26	80994,63	3,05	6,12	4,58	63,97	24,94
-------	----------	----------	----------	------	------	------	-------	-------

▪ Lechuga



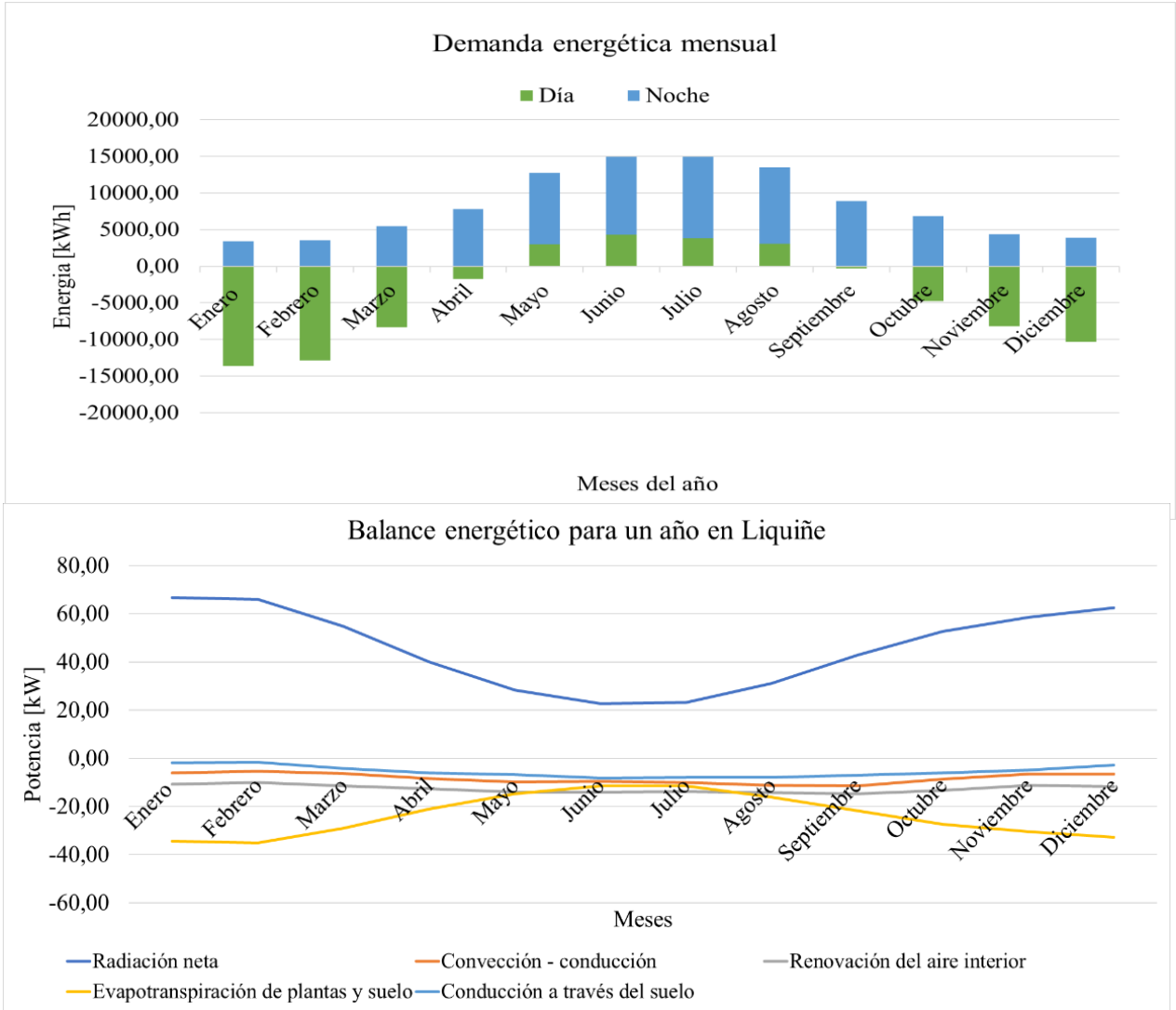
Mes	Demanda energética mensual [kWh]			Demanda energética promedio [kW]			Demanda máxima [kW]	
	Día	Noche	Total	Día	Noche	Total	Día	Noche
Enero	-18704,14	1195,95	-17508,19	-25,14	1,61	-11,77	29,95	13,71
Febrero	-16982,33	1077,87	-15904,46	-25,27	1,60	-11,83	31,62	14,71
Marzo	-12972,08	2292,70	-10679,38	-17,44	3,08	-7,18	35,49	16,35
Abril	-6249,90	4075,68	-2174,23	-8,68	5,66	-1,51	40,42	21,69
Mayo	-1660,82	5608,87	3948,04	-2,23	7,54	2,65	43,57	20,93
Junio	-114,23	6316,90	6202,67	-0,16	8,77	4,31	37,35	21,99
Julio	-745,30	6690,84	5945,54	-1,00	8,99	4,00	39,25	22,45
Agosto	-1593,75	6399,31	4805,55	-2,14	8,60	3,23	43,04	22,98
Septiembre	-5404,79	5459,07	54,28	-7,51	7,58	0,04	41,76	22,38
Octubre	-9705,48	3683,62	-6021,86	-13,05	4,95	-4,05	37,08	18,84
Noviembre	-13300,41	1992,15	-11308,26	-18,47	2,77	-7,85	36,53	17,87
Diciembre	-15608,12	1584,81	-14023,31	-20,98	2,13	-9,42	32,65	16,55
ANUAL	-103041,36	46377,75	-56663,61	-11,84	5,27	-3,28	43,57	22,98

▪ Pimentón



Mes	Demanda energética mensual [kWh]			Demanda energética promedio [kW]			Demanda máxima [kW]	
	Día	Noche	Total	Día	Noche	Total	Día	Noche
Enero	-905,57	3441,10	2535,52	-1,22	4,63	1,70	62,58	22,65
Febrero	-1495,51	3554,10	2058,59	-2,23	5,29	1,53	65,64	24,63
Marzo	2732,83	5470,91	8203,73	3,67	7,35	5,51	69,91	25,67
Abril	7032,89	7788,95	14821,84	9,77	10,82	10,29	77,12	32,93
Mayo	10424,08	9759,08	20183,16	14,01	13,12	13,56	79,58	31,93
Junio	10713,32	10604,25	21317,57	14,88	14,73	14,80	74,42	31,65
Julio	10316,37	11120,10	21436,47	13,87	14,95	14,41	76,13	33,55
Agosto	10753,88	10449,61	21203,49	14,45	14,05	14,25	79,79	33,34
Septiembre	9014,20	8894,48	17908,68	12,52	12,35	12,44	78,43	33,51
Octubre	6134,77	6820,35	12955,13	8,25	9,17	8,71	72,86	28,48
Noviembre	3276,96	4393,92	7670,89	4,55	6,10	5,33	72,00	27,56
Diciembre	2221,81	3884,31	6106,12	2,99	5,22	4,10	68,55	26,97
ANUAL	70220,03	86181,15	156401,18	7,96	9,81	8,89	79,79	33,55

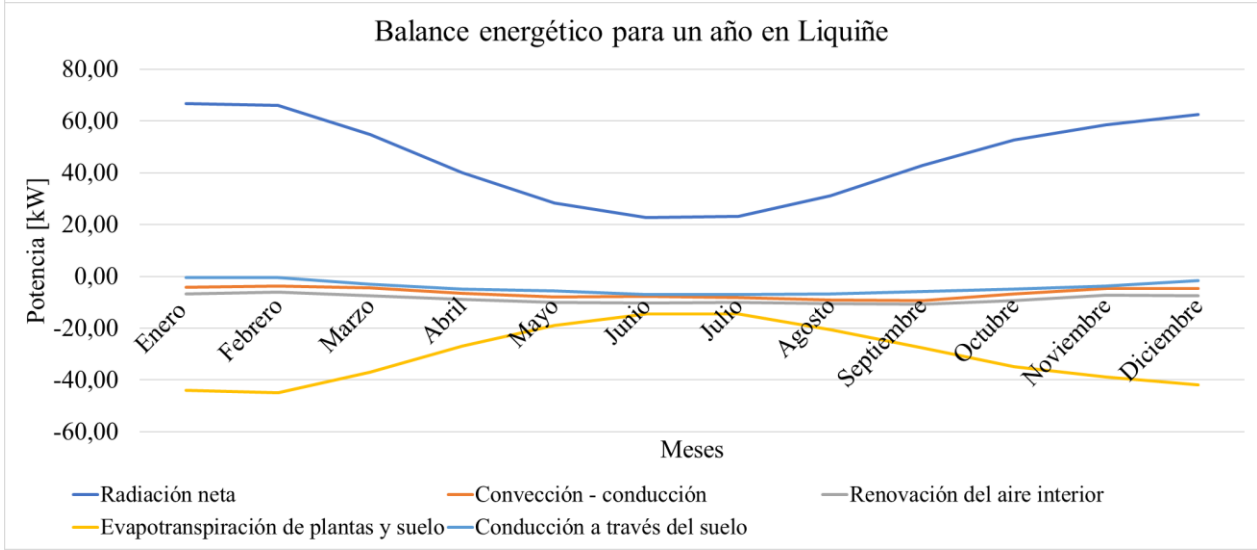
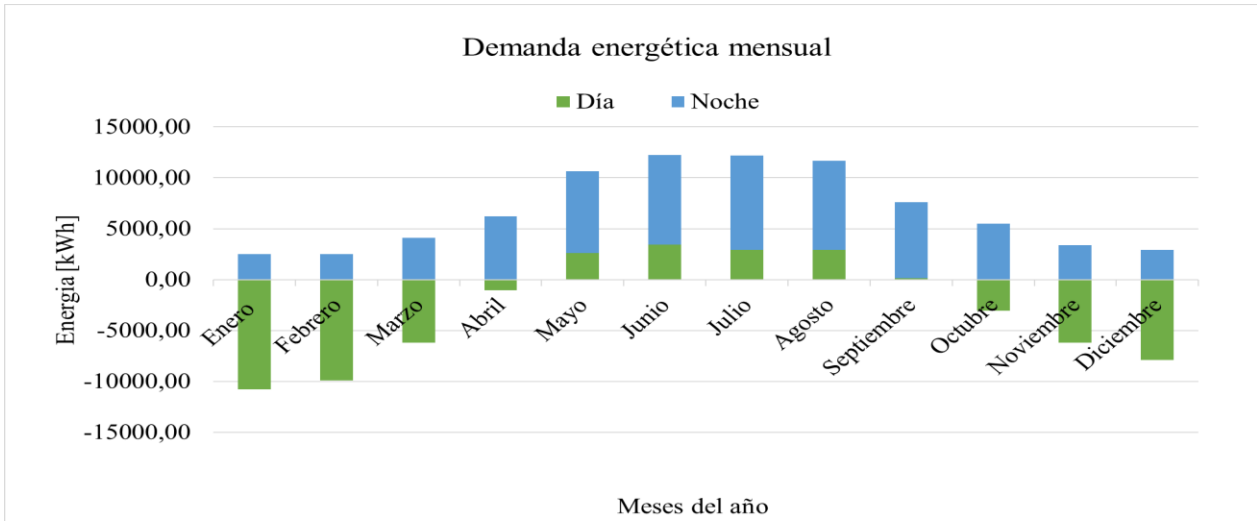
▪ Acelga



Mes	Demanda energética mensual [kWh]			Demanda energética promedio [kW]		
	Día	Noche	Total	Día	Noche	Total
Enero	-13653,44	3440,12	-10213,33	-18,35	4,62	-6,86
Febrero	-12887,24	3552,78	-9334,46	-19,18	5,29	-6,95
Marzo	-8356,85	5469,11	-2887,74	-11,23	7,35	-1,94
Abril	-1772,78	7786,10	6013,32	-2,46	10,81	4,18
Mayo	2960,53	9755,98	12716,50	3,98	13,11	8,55
Junio	4331,95	10601,52	14933,47	6,02	14,72	10,37
Julio	3793,99	11117,06	14911,05	5,10	14,94	10,02
Agosto	3041,96	10446,77	13488,72	4,09	14,04	9,07
Septiembre	-334,86	8891,51	8556,65	-0,47	12,35	5,94
Octubre	-4744,48	6818,70	2074,22	-6,38	9,16	1,39
Noviembre	-8218,89	4392,85	-3826,03	-11,42	6,10	-2,66
Diciembre	-10325,67	3883,31	-6442,36	-13,88	5,22	-4,33
ANUAL	-46165,80	86155,81	39990,02	-5,35	9,81	2,23



- Todos los cultivos



Mes	Demanda energética mensual [kWh]			Demanda energética promedio [kW]			Demanda máxima [kW]	
	Día	Noche	Total	Día	Noche	Total	Día	Noche
Enero	-10792,23	2495,91	-8296,33	-14,51	3,35	-5,58	36,61	18,91
Febrero	-9905,22	2501,38	-7403,84	-14,74	3,72	-5,51	39,13	20,48
Marzo	-6199,14	4124,52	-2074,62	-8,33	5,54	-1,39	42,56	21,80
Abril	-1030,15	6229,93	5199,78	-1,43	8,65	3,61	48,27	28,23
Mayo	2629,24	8018,37	10647,61	3,53	10,78	7,16	50,93	27,24
Junio	3444,94	8802,76	12247,70	4,78	12,23	8,51	45,51	27,61
Julio	2915,85	9260,82	12176,67	3,92	12,45	8,18	47,18	28,93
Agosto	2938,67	8749,97	11688,63	3,95	11,76	7,86	50,93	29,01
Septiembre	128,78	7461,79	7590,57	0,18	10,36	5,27	49,22	28,86
Octubre	-3081,52	5505,11	2423,58	-4,14	7,40	1,63	44,80	24,45
Noviembre	-6224,39	3374,11	-2850,28	-8,64	4,69	-1,98	44,06	23,50
Diciembre	-7876,95	2907,95	-4969,00	-10,59	3,91	-3,34	40,43	22,60
ANUAL	-33052,12	69432,60	36380,47	-3,83	7,90	2,03	50,93	29,01

## 9.5 ANEXO E: ESPECIFICACIONES DISEÑO INTERCAL.

### CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS MANEJADORAS DE AIRE

#### Versiones Constructivas

Para las capacidades ofrecidas se cuentan con versiones tipo horizontal o vertical.

#### Estructura y paredes

Estructura auto soportante en perfiles de aluminio extruido de auto-encaje, fijados a esquineros de material termoplástico.

Panel doble tipo sandwich, con exterior en acero pre-pintado blanco, interior en acero galvanizado. Aislamiento en poliuretano inyectado de 25 mm de espesor y 38 Kg/m<sup>3</sup>, 0.92 W/m<sup>2</sup>\_°K.

Panel doble tipo sandwich para bajas temperaturas: exterior en acero pre-pintado blanco, interior en acero galvanizado. Aislamiento en poliuretano inyectado de 45 mm de espesor y 38 Kg/m<sup>3</sup>, 0.51 W/m<sup>2</sup>\_°K.

Fácil acceso a todos los componentes, mediante paneles y puertas removibles. Bello perimetral de puertas para asegurar la estanqueidad. Presentación de aspecto limpio de color blanco.

Uso preferente en ambientes interiores o bajo cubierta de protección.

#### Serpentines

Serpentines para agua caliente o agua fría, glicol, refrigerante (expansión directa) o vapor de baja presión.

Los serpentines son fabricados con tubos de cobre de 3/8" o 5/8" y aletas de aluminio con colectores de cobre. Dependiendo de los requerimientos, la separación de aletas puede ser de 2.1 a 8.0 mm y los serpentines equipados con 2,4,6 u 8 filas.

En el caso de los serpentines de vapor estos se fabrican en tubos 5/8" de acero inoxidable y aletas de aluminio.

En el caso de los serpentines para amoníaco se fabrican en tubos 5/8" de acero inoxidable o aluminio y aletas de aluminio.

Los serpentines son fácilmente accesibles y pueden ser retirados para su mantenimiento. Bajo los serpentines de enfriamiento se incorpora una bandeja de condensado.

Para aplicaciones en ambientes salinos o corrosivos se puede incluir a requerimiento, protección de las aletas con barniz epóxico.

#### Serpentines calefactores eléctricos

Los elementos calentadores son resistencias tubos aleteados en espiral de acero inoxidable, con densidad de potencia máxima de 6 W/cm<sup>2</sup>.

#### Ventilador

Ventilador centrífugo de doble aspiración de accionamiento indirecto con palas curvadas hacia delante o palas curvadas hacia atrás tipo limit load, según los requerimientos.

Motores 380V/50Hz/3f, protección IP55 y aislamiento tipo F.

Acoplamiento del ventilador al motor mediante correas en "V" y poleas de aluminio ó fiero fundido.

Montaje del motor sobre el ventilador ó sobre base tensora. El conjunto motor ventilador se aísla para evitar transmitir vibraciones mediante aisladores y conexiones flexibles.

Los niveles de ruido son acordes a las especificaciones AMCA. Los niveles de ruido de la unidad manejadora de aire dependerán del tipo de aislación utilizada. La conducción del ruido por los ductos dependerá principalmente del diseño de los mismos y el aislante utilizado.

#### Filtros

Se dispone de varios tipos de filtros, dependiendo de las especificaciones y eficiencia requerida. Pre-filtros metálicos lavables; Filtros desechables 30-35%; Filtros de bolsa 65%, 85%; Filtros absolutos 99,97%

En el caso de utilizarse filtros absolutos, todo el grupo de filtros se incorpora en un gabinete independiente a la unidad manejadora de aire.

### MATERIALES, NORMAS, ENSAYOS Y PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN

Las unidades manejadoras de aire han sido diseñadas utilizando softwares y metodologías de cálculo específicas para este tipo de equipos, propias de Intercal®.

Los procedimientos de fabricación y control utilizados, se basan en la experiencia y las prácticas generales utilizadas para la fabricación de estos equipos, así como también - sin que ello sea vinculante - en diversas normas tales como ASME B31, ARI 410, ARI-430.

#### Materias primas, materiales y elementos

- o Aletas de aluminio: ASTM-B 209
- o Tubos de cobre para refrigeración: ASTM-B 743
- o Plancha de acero galvanizado: ASTM-B 209
- o Calferia cobre tipo L y K: ASTM-B 88 y NCH 951
- o Perfiles de aluminio: UNI 9006/1
- o Plancha de acero galvanizado pre-pintado 0.5 mm: ASTM D1308 ASTM B117 ASTM D406
- o Calefactores eléctricos tipo horquilla aleteados: Prueba de continuidad resistiva; Prueba de resistencia dieléctrica.
- o Ventiladores centrífugos: AMCA 210-85 - AMCA 300-85
- o Motores: IP 55, Aislación F
- o Uniones flexibles: Fire class M2
- o Filtros: ASHRAE 52.1-1992

#### Control de calidad durante el proceso de fabricación

Control de calidad de materias primas  
Control dimensional e Inspección visual de partes y piezas.  
Control visual terminaciones  
Verificación de fugas y estanqueidad.

#### Prueba de hermetidad de serpentines

Revisión de soldaduras  
Prueba de hermetidad a una presión máxima de 350 PSI.  
Lavado y limpieza de serpentines

#### Prueba de ventiladores

Verificación de conexiones eléctricas  
Prueba de funcionamiento de ventiladores  
Verificación alineamiento y tensión de correas  
Control de caudal de aire y consumo eléctrico



## 9.6 ANEXO F: FICHAS TÉCNICAS PARA INTERCAMBIADORES DE CALOR.

<b>FICHA TÉCNICA INTERCAMBIADOR DE CALOR TOMATE DEMANDA MÁXIMA</b>						
	d=3/8			d=5/8		
Potencia [kW]	66,68					
Coefficiente de trans de calor [W/m <sup>2</sup> K]	701,14	416,27	290,94	467,15	276,96	192,20
Area de intercambio [m <sup>2</sup> ]	3,06	5,16	7,41	4,56	7,79	11,10
Diferencia de temperatura log [K]	31,12	31,12	31,12	31,12	31,12	31,12
Largo [m]	0,300	0,500	0,700	0,300	0,500	0,700
Ancho [m]	0,225	0,165	0,145	0,270	0,190	0,170
Alto [m]	0,114	0,114	0,114	0,119	0,119	0,119
Número de tubos	33	22	17	42	28	21
Número de filas	4	4	4	4	4	4
Eficiencia aletas [%]	45,56	47,47	48,35	45,35	47,35	48,26
Eficiencia intercambiador [%]	76,21	76,21	76,21	76,21	76,21	76,21
Coefficiente de trans. Interior [W/m <sup>2</sup> K]	553,26	765,25	940,55	219,88	304,13	382,83
Coefficiente de trans. Exterior [W/m <sup>2</sup> K]	367,84	326,11	287,98	202,24	183,79	160,55
Resistencia	0,001	0,002	0,003	0,002	0,004	0,005
Pérdida total [kPa]	10,34	10,58	11,37	1,90	1,97	2,07
Temperatura entrada agua [°C]	82,0					
Temperatura salida agua [°C]	35,1					
Temperatura entrada aire [°C]	0,0					
Temperatura salida aire [°C]	25,0					

<b>FICHA TÉCNICA INTERCAMBIADOR DE CALOR LECHUGA DEMANDA MÁXIMA</b>						
Potencia [kW]	45,28					
Coefficiente de trans de calor [W/m <sup>2</sup> K]	503,02	297,03	207,87	337,29	197,37	138,04
Area de intercambio [m <sup>2</sup> ]	2,69	4,59	6,61	4,03	6,84	9,89
Diferencia de temperatura log [K]	33,43	33,43	33,43	33,43	33,43	33,43
Largo [m]	0,300	0,500	0,700	0,300	0,500	0,700
Ancho [m]	0,185	0,145	0,125	0,250	0,170	0,150
Alto [m]	0,114	0,114	0,114	0,119	0,119	0,119
Número de tubos	28	19	15	37	24	19
Número de filas	4	4	4	4	4	4
Eficiencia aletas [%]	45,56	47,47	48,35	45,35	47,35	48,26
Eficiencia intercambiador [%]	77,62	77,62	77,62	77,62	77,62	77,62
Coefficiente de trans. Interior [W/m <sup>2</sup> K]	457,63	624,07	753,99	176,49	249,52	300,80
Coefficiente de trans. Exterior [W/m <sup>2</sup> K]	440,49	375,24	335,20	225,52	209,20	184,29
Resistencia	0,002	0,003	0,005	0,003	0,005	0,007
Pérdida total [kPa]	4,58	4,91	5,17	0,85	0,90	0,91
Temperatura entrada agua [°C]	82,0					
Temperatura salida agua [°C]	50,2					
Temperatura entrada aire [°C]	0,0					

Temperatura salida aire [°C]	15,0
------------------------------	------

<b>FICHA TÉCNICA INTERCAMBIADOR DE CALOR PIMENTÓN DEMANDA MÁXIMA</b>						
	d=3/8			d=5/8		
Potencia [kW]			83,11			
Coefficiente de trans de calor [W/m <sup>2</sup> K]	866,89	514,11	360,10	577,89	344,08	240,24
Area de intercambio [m <sup>2</sup> ]	2,94	4,94	7,07	4,40	7,39	10,60
Diferencia de temperatura log [K]	32,68	32,68	32,68	32,68	32,68	32,68
Largo [m]	0,300	0,500	0,700	0,300	0,500	0,700
Ancho [m]	0,225	0,165	0,145	0,270	0,210	0,170
Alto [m]	0,114	0,114	0,114	0,119	0,119	0,119
Número de tubos	34	22	17	43	29	22
Número de filas	4	4	4	4	4	4
Eficiencia aletas [%]	45,56	47,47	48,35	45,35	47,35	48,26
Eficiencia intercambiador [%]	71,24	71,24	71,24	71,24	71,24	71,24
Coefficiente de trans. Interior [W/m <sup>2</sup> K]	672,35	952,44	1170,63	268,56	368,04	459,07
Coefficiente de trans. Exterior [W/m <sup>2</sup> K]	393,61	348,96	308,15	216,40	185,20	171,80
Resistencia	0,001	0,002	0,003	0,002	0,003	0,004
Pérdida total [kPa]	17,97	18,78	19,53	3,26	3,45	3,58
Temperatura entrada agua [°C]			82,0			
Temperatura salida agua [°C]			23,6			
Temperatura entrada aire [°C]			0,0			
Temperatura salida aire [°C]			28,0			

**FICHA TÉCNICA INTERCAMBIADOR DE CALOR ACELGA DEMANDA MÁXIMA**

	d=3/8		d=5/8			
Potencia [kW]	66,17					
Coefficiente de trans de calor [W/m2K]	815,25	413,06	288,16	465,75	275,64	190,96
Area de intercambio [m2]	6,96	4,85	6,96	4,31	7,28	10,49
Diferencia de temperatura log [K]	33,03	33,03	33,03	33,03	33,03	33,03
Largo [m]	0,300	0,500	0,700	0,300	0,500	0,700
Ancho [m]	0,425	0,165	0,125	0,250	0,190	0,150
Alto [m]	0,114	0,114	0,114	0,119	0,119	0,119
Número de tubos	74	21	16	40	27	20
Número de filas	4	4	4	4	4	4
Eficiencia aletas [%]	45,56	47,47	48,35	45,35	47,35	48,26
Eficiencia intercambiador [%]	75,62	75,62	75,62	75,62	75,62	75,62
Coefficiente de trans. Interior [W/m2K]	289,59	793,23	986,01	228,33	312,69	397,55
Coefficiente de trans. Exterior [W/m2K]	284,16	368,97	356,18	239,63	207,94	195,82
Resistencia	0,001	0,002	0,003	0,002	0,004	0,005
Pérdida total [kPa]	10,52	10,66	11,15	1,87	1,95	2,04
Temperatura entrada agua [°C]	82,0					
Temperatura salida agua [°C]	35,5					
Temperatura entrada aire [°C]	0,0					
Temperatura salida aire [°C]	20,0					

**FICHA TÉCNICA INTERCAMBIADOR DE CALOR TODOS DEMANDA MÁXIMA**

	d=3/8		d=5/8			
Potencia [kW]	53,17					
Coefficiente de trans de calor [W/m2K]	549,02	323,79	225,83	365,67	215,80	150,31
Area de intercambio [m2]	4,36	7,41	10,59	6,56	11,13	15,95
Diferencia de temperatura log [K]	22,22	22,22	22,22	22,22	22,22	22,22
Largo [m]	0,300	0,500	0,700	0,300	0,500	0,700
Ancho [m]	0,245	0,185	0,145	0,310	0,230	0,190
Alto [m]	0,114	0,114	0,114	0,119	0,119	0,119
Número de tubos	39	26	20	51	34	26
Número de filas	4	4	4	4	4	4
Eficiencia aletas [%]	45,56	47,47	48,35	45,35	47,35	48,26
Eficiencia intercambiador [%]	91,15	91,15	91,15	91,15	91,15	91,15
Coefficiente de trans. Interior [W/m2K]	361,22	499,63	616,32	140,48	194,30	240,82
Coefficiente de trans. Exterior [W/m2K]	328,30	285,99	270,49	174,85	153,93	141,07
Resistencia	0,002	0,003	0,004	0,003	0,005	0,007
Pérdida total [kPa]	4,74	4,96	5,20	0,93	0,90	0,93
Temperatura entrada agua [°C]	82,0					
Temperatura salida agua [°C]	44,7					
Temperatura entrada aire [°C]	0,0					
Temperatura salida aire [°C]	22,0					

<b>FICHA TÉCNICA INTERCAMBIADOR DE CALOR TOMATE DEMANDA PROMEDIO</b>						
	d=3/8			d=5/8		
Potencia [kW]	25,96					
Coefficiente de trans de calor [W/m2K]	526,03	317,64	221,09	352,09	210,84	148,79
Area de intercambio [m2]	1,01	1,68	2,41	1,52	2,54	3,58
Diferencia de temperatura log [K]	48,64	48,64	48,64	48,64	48,64	48,64
Largo [m]	0,300	0,500	0,700	0,300	0,500	0,700
Ancho [m]	0,165	0,125	0,105	0,210	0,150	0,130
Alto [m]	0,114	0,114	0,114	0,119	0,119	0,119
Número de tubos	22	15	11	29	19	15
Número de filas	4	4	4	4	4	4
Eficiencia aletas [%]	44,44	46,74	47,80	44,19	46,58	47,69
Eficiencia intercambiador [%]	44,50	44,50	44,50	44,50	44,50	44,50
Coefficiente de trans. Interior [W/m2K]	515,60	700,45	897,71	199,24	279,44	337,61
Coefficiente de trans. Exterior [W/m2K]	251,56	218,71	198,44	133,51	120,25	107,07
Eficiencia [%]	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Resistencia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Pérdida total [kPa]	4,54	4,79	5,12	0,88	0,92	0,96
Temperatura entrada agua [°C]	82,0					
Temperatura salida agua [°C]	45,5					
Temperatura entrada aire [°C]	0,0					
Temperatura salida aire [°C]	25,0					

<b>FICHA TÉCNICA INTERCAMBIADOR DE CALOR LECHUGA DEMANDA PROMEDIO</b>						
	d=3/8			d=5/8		
Potencia [kW]	16,53					
Coefficiente de trans de calor [W/m2K]	498,33	296,03	210,94	332,71	198,93	138,85
Area de intercambio [m2]	0,53	0,90	1,27	0,80	1,34	1,93
Diferencia de temperatura log [K]	62,16	62,16	62,16	62,16	62,16	62,16
Largo [m]	0,300	0,500	0,700	0,300	0,500	0,700
Ancho [m]	0,145	0,105	0,105	0,170	0,130	0,110
Alto [m]	0,114	0,114	0,114	0,119	0,119	0,119
Número de tubos	19	12	10	24	16	12
Número de filas	4	4	4	4	4	4
Eficiencia aletas [%]	44,44	46,74	47,80	44,19	46,58	47,69
Eficiencia intercambiador [%]	28,33	28,33	28,33	28,33	28,33	28,33
Coefficiente de trans. Interior [W/m2K]	563,15	813,35	941,08	225,16	311,43	392,03
Coefficiente de trans. Exterior [W/m2K]	278,49	248,78	203,30	155,26	134,24	121,26
Eficiencia [%]	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Resistencia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Pérdida total [kPa]	4,57	4,86	5,18	0,89	0,92	0,97

Temperatura entrada agua [°C]	82,0
Temperatura salida agua [°C]	58,8
Temperatura entrada aire [°C]	0,0
Temperatura salida aire [°C]	15,0

---

**FICHA TÉCNICA INTERCAMBIADOR DE CALOR PIMENTÓN DEMANDA PROMEDIO**

---

	d=3/8			d=5/8		
Potencia [kW]	33,68					
Coefficiente de trans de calor [W/m <sup>2</sup> K]	554,34	334,15	234,49	369,79	222,64	156,42
Area de intercambio [m <sup>2</sup> ]	1,51	2,50	3,45	2,19	3,76	5,35
Diferencia de temperatura log [K]	40,34	40,34	41,56	41,56	40,34	40,34
Largo [m]	0,300	0,500	0,700	0,300	0,500	0,700
Ancho [m]	0,185	0,145	0,125	0,210	0,170	0,150
Alto [m]	0,114	0,114	0,114	0,119	0,119	0,119
Número de tubos	25	17	13	32	22	17
Número de filas	4	4	4	4	4	4
Eficiencia aletas [%]	44,44	46,74	47,80	44,19	46,58	47,69
Eficiencia intercambiador [%]	57,74	57,74	57,74	57,74	57,74	57,74
Coefficiente de trans. Interior [W/m <sup>2</sup> K]	477,78	650,46	806,16	189,01	255,08	313,51
Coefficiente de trans. Exterior [W/m <sup>2</sup> K]	257,47	219,33	195,93	146,35	122,28	107,72
Eficiencia [%]	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
Resistencia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Pérdida total [kPa]	4,53	4,76	5,04	0,88	0,91	0,95
Temperatura entrada agua [°C]	82,0					
Temperatura salida agua [°C]	34,7					
Temperatura entrada aire [°C]	0,0					
Temperatura salida aire [°C]	28,0					

---

**FICHA TÉCNICA INTERCAMBIADOR DE CALOR ACELGA DEMANDA PROMEDIO**

---

	d=3/8			d=5/8		
Potencia [kW]	25,22					
Coefficiente de trans de calor [W/m <sup>2</sup> K]	522,32	313,51	221,17	349,69	208,98	146,91
Area de intercambio [m <sup>2</sup> ]	0,92	1,53	2,17	1,38	2,30	3,26
Diferencia de temperatura log [K]	52,55	52,55	52,55	52,55	52,55	52,55
Largo [m]	0,300	0,500	0,700	0,300	0,500	0,700
Ancho [m]	0,165	0,125	0,105	0,190	0,150	0,130
Alto [m]	0,114	0,114	0,114	0,119	0,119	0,119
Número de tubos	21	14	11	27	18	14
Número de filas	4	4	4	4	4	4
Eficiencia aletas [%]	44,44	46,74	47,80	44,19	46,58	47,69
Eficiencia intercambiador [%]	43,24	43,24	43,24	43,24	43,24	43,24

Coefficiente de trans. Interior [W/m <sup>2</sup> K]	533,99	738,60	895,77	210,50	291,16	355,99
Coefficiente de trans. Exterior [W/m <sup>2</sup> K]	281,05	244,35	221,70	158,39	134,34	119,63
Eficiencia [%]	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
Resistencia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Pérdida total [kPa]	4,55	4,81	5,12	0,88	0,92	0,96
Temperatura entrada agua [°C]				82,0		
Temperatura salida agua [°C]				46,5		
Temperatura entrada aire [°C]				0,0		
Temperatura salida aire [°C]				20,0		

---

**FICHA TÉCNICA INTERCAMBIADOR DE CALOR TODOS DEMANDA PROMEDIO**

---

	d=3/8			d=5/8		
Potencia [kW]			19,51			
Coefficiente de trans de calor [W/m <sup>2</sup> K]	505,67	306,41	212,28	337,61	203,96	141,52
Area de intercambio [m <sup>2</sup> ]	0,69	1,16	1,65	1,04	1,73	2,46
Diferencia de temperatura log [K]	55,81	55,81	55,81	55,81	55,81	55,81
Largo [m]	0,300	0,500	0,700	0,300	0,500	0,700
Ancho [m]	0,145	0,125	0,105	0,190	0,150	0,130
Alto [m]	0,114	0,114	0,114	0,119	0,119	0,119
Número de tubos	20	14	10	26	18	13
Número de filas	4	4	4	4	4	4
Eficiencia aletas [%]	44,44	46,74	47,80	44,19	46,58	47,69
Eficiencia intercambiador [%]	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44	33,44
Coefficiente de trans. Interior [W/m <sup>2</sup> K]	545,66	725,85	950,06	213,21	286,13	371,22
Coefficiente de trans. Exterior [W/m <sup>2</sup> K]	246,42	198,26	179,89	128,52	109,00	97,06
Eficiencia [%]	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Resistencia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Pérdida total [kPa]	4,56	4,81	5,17	0,89	0,92	0,96
Temperatura entrada agua [°C]				82,0		
Temperatura salida agua [°C]				54,6		
Temperatura entrada aire [°C]				0,0		
Temperatura salida aire [°C]				22,0		

---



## 9.7 ANEXO G: DIMENSIONAMIENTO VENTILADORES

### 9.7.1 DEMANDA ENERGÉTICA MÁXIMA

<b>FICHA TÉCNICA VENTILADOR TOMATE</b>						
Flujo másico aire [kg/s]	2,654					
Densidad aire [kg/m <sup>3</sup> ]	1,236					
Caudal másico [m <sup>3</sup> /s]	2,148					
Velocidad aire [m/s]	31,823	26,037	21,163	26,519	22,611	18,051
Area paso [m <sup>2</sup> ]	0,068	0,083	0,102	0,081	0,095	0,119
Area vent_ min	0,034	0,041	0,051	0,041	0,048	0,060
Diámetro_min [m]	0,207	0,229	0,254	0,227	0,246	0,275
distancia entre vent e int [m] d_min	0,104	0,115	0,127	0,114	0,123	0,138
Caída de presión [kPa]	10,344	10,584	11,367	1,902	1,974	2,068
Potencia ventilador [kW]	31,741	32,479	34,881	5,838	6,057	6,347
Motor ventilador [kW]	34,915	35,727	38,369	6,422	6,662	6,981
Altura bajo ventiladores [m]	0,568	0,449	0,353	0,523	0,432	0,343
longitud perimetro Apaso [m]	1,050	1,330	1,690	1,140	1,380	1,740

<b>FICHA TÉCNICA VENTILADOR LECHUGA</b>						
Flujo másico aire [kg/s]	3,004					
Densidad aire [kg/m <sup>3</sup> ]	1,257					
Caudal másico [m <sup>3</sup> /s]	2,390					
Velocidad aire [m/s]	43,072	32,972	27,320	31,873	28,123	22,767
Area paso [m <sup>2</sup> ]	0,056	0,073	0,088	0,075	0,085	0,105
Area vent_ min	0,028	0,036	0,044	0,038	0,043	0,053
Diámetro_min [m]	0,188	0,215	0,236	0,219	0,233	0,259
distancia entre vent e int [m] d_min	0,094	0,107	0,118	0,109	0,116	0,129
Caída de presión [kPa]	4,582	4,915	5,165	0,847	0,895	0,914
Potencia ventilador [kW]	15,649	16,783	17,639	2,894	3,057	3,122
Motor ventilador [kW]	17,214	18,462	19,403	3,183	3,363	3,434
Altura bajo ventiladores [m]	0,685	0,515	0,402	0,604	0,496	0,391
longitud perimetro Apaso [m]	0,970	1,290	1,650	1,100	1,340	1,700

<b>FICHA TÉCNICA VENTILADOR PIMENTÓN</b>						
Flujo másico aire [kg/s]	2,953					
Densidad aire [kg/m <sup>3</sup> ]	1,229					
Caudal másico [m <sup>3</sup> /s]	2,403					
Velocidad aire [m/s]	35,597	29,125	23,673	29,664	22,884	20,191
Area paso [m <sup>2</sup> ]	0,068	0,083	0,102	0,081	0,105	0,119
Area vent_ min	0,034	0,041	0,051	0,041	0,053	0,060
Diámetro_min [m]	0,207	0,229	0,254	0,227	0,259	0,275

distancia entre vent e int [m] d_min	0,104	0,115	0,127	0,114	0,129	0,138
Caída de presión [kPa]	17,974	18,782	19,527	3,258	3,448	3,582
Potencia ventilador [kW]	61,695	64,470	67,026	11,183	11,836	12,296
Motor ventilador [kW]	67,865	70,917	73,728	12,302	13,019	13,526
Altura bajo ventiladores [m]	0,636	0,502	0,395	0,585	0,470	0,384
longitud perimetro Apaso [m]	1,050	1,330	1,690	1,140	1,420	1,740

---

#### FICHA TÉCNICA VENTILADOR ACELGA

---

Flujo máxico aire [kg/s]	3,292					
Densidad aire [kg/m3]	1,246					
Caudal máxico [m3/s]	2,642					
Velocidad aire [m/s]	42,961	32,025	30,195	35,228	27,811	25,163
Area paso [m2]	0,128	0,083	0,088	0,075	0,095	0,105
Area vent_min	0,064	0,041	0,044	0,038	0,048	0,053
Diámetro_min [m]	0,285	0,229	0,236	0,219	0,246	0,259
distancia entre vent e int [m] d_min	0,142	0,115	0,118	0,109	0,123	0,129
Caída de presión [kPa]	10,518	10,659	11,146	1,872	1,954	2,041
Potencia ventilador [kW]	82,306	40,232	42,070	7,066	7,376	7,703
Motor ventilador [kW]	90,537	44,256	46,277	7,772	8,114	8,473
Altura bajo ventiladores [m]	0,506	0,552	0,445	0,667	0,532	0,432
longitud perimetro Apaso [m]	1,450	1,330	1,650	1,100	1,380	1,700

---

#### FICHA TÉCNICA VENTILADOR TODOS

---

Flujo máxico aire [kg/s]	2,405					
Densidad aire [kg/m3]	1,242					
Caudal máxico [m3/s]	1,937					
Velocidad aire [m/s]	26,347	20,936	19,079	20,823	16,839	14,560
Area paso [m2]	0,074	0,093	0,102	0,093	0,115	0,133
Area vent_min	0,037	0,046	0,051	0,047	0,058	0,067
Diámetro_min [m]	0,216	0,243	0,254	0,243	0,271	0,291
distancia entre vent e int [m] d_min	0,108	0,121	0,127	0,122	0,135	0,145
Caída de presión [kPa]	4,741	4,964	5,201	0,932	0,900	0,928
Potencia ventilador [kW]	13,116	13,733	14,388	2,579	2,489	2,567
Motor ventilador [kW]	14,427	15,106	15,827	2,837	2,738	2,823
Altura bajo ventiladores [m]	0,494	0,393	0,318	0,441	0,368	0,302
longitud perimetro Apaso [m]	1,090	1,370	1,690	1,220	1,460	1,780

## 9.7.2 DEMANDA ENERGÉTICA PROMEDIO

### FICHA TÉCNICA VENTILADOR TOMATE

Flujo másico aire [kg/s]	1,033					
Densidad aire [kg/m <sup>3</sup> ]	1,236					
Caudal másico [m <sup>3</sup> /s]	0,836					
Velocidad aire [m/s]	16,893	13,379	11,377	13,273	11,149	9,189
Area paso [m <sup>2</sup> ]	0,050	0,063	0,074	0,063	0,075	0,091
Area vent_min	0,025	0,031	0,037	0,032	0,038	0,046
Diámetro_min [m]	0,178	0,199	0,216	0,200	0,219	0,241
distancia entre vent e int [m] d_min	0,089	0,100	0,108	0,100	0,109	0,120
Caída de presión [kPa]	4,544	4,791	5,122	0,884	0,917	0,955
Potencia ventilador [kW]	5,429	5,724	6,118	1,056	1,095	1,141
Motor ventilador [kW]	5,971	6,296	6,730	1,161	1,205	1,256
Altura bajo ventiladores [m]	0,250	0,186	0,144	0,228	0,179	0,140
longitud perimetro Apaso [m]	0,930	1,250	1,610	1,020	1,300	1,660

### FICHA TÉCNICA VENTILADOR LECHUGA

Flujo másico aire [kg/s]	1,096					
Densidad aire [kg/m <sup>3</sup> ]	1,257					
Caudal másico [m <sup>3</sup> /s]	0,873					
Velocidad aire [m/s]	20,060	16,621	11,872	17,110	13,425	11,332
Area paso [m <sup>2</sup> ]	0,044	0,053	0,074	0,051	0,065	0,077
Area vent_min	0,022	0,026	0,037	0,026	0,033	0,039
Diámetro_min [m]	0,166	0,183	0,216	0,180	0,203	0,221
distancia entre vent e int [m] d_min	0,083	0,091	0,108	0,090	0,102	0,111
Caída de presión [kPa]	4,566	4,864	5,176	0,887	0,924	0,970
Potencia ventilador [kW]	5,692	6,063	6,452	1,106	1,152	1,210
Motor ventilador [kW]	6,261	6,670	7,097	1,216	1,267	1,331
Altura bajo ventiladores [m]	0,272	0,200	0,151	0,258	0,192	0,150
longitud perimetro Apaso [m]	0,890	1,210	1,610	0,940	1,260	1,620

### FICHA TÉCNICA VENTILADOR PIMENTÓN

Flujo másico aire [kg/s]	1,197					
Densidad aire [kg/m <sup>3</sup> ]	1,229					
Caudal másico [m <sup>3</sup> /s]	0,974					
Velocidad aire [m/s]	17,546	13,432	11,129	15,457	11,456	9,274
Area paso [m <sup>2</sup> ]	0,056	0,073	0,088	0,063	0,085	0,105
Area vent_min	0,028	0,036	0,044	0,032	0,043	0,053
Diámetro_min [m]	0,188	0,215	0,236	0,200	0,233	0,259
distancia entre vent e int [m] d_min	0,094	0,107	0,118	0,100	0,116	0,129

Caída de presión [kPa]	4,528	4,755	5,039	0,882	0,912	0,948
Potencia ventilador [kW]	6,299	6,615	7,010	1,227	1,269	1,319
Motor ventilador [kW]	6,929	7,277	7,711	1,350	1,395	1,451
Altura bajo ventiladores [m]	0,279	0,210	0,164	0,265	0,202	0,159
longitud perímetro Apaso [m]	0,970	1,290	1,650	1,020	1,340	1,700

---

#### FICHA TÉCNICA VENTILADOR ACELGA

---

Flujo másico aire [kg/s]	1,255					
Densidad aire [kg/m <sup>3</sup> ]	1,246					
Caudal másico [m <sup>3</sup> /s]	1,007					
Velocidad aire [m/s]	20,345	16,114	13,702	17,668	13,428	11,067
Area paso [m <sup>2</sup> ]	0,050	0,063	0,074	0,057	0,075	0,091
Area vent_min	0,025	0,031	0,037	0,029	0,038	0,046
Diámetro_min [m]	0,178	0,199	0,216	0,190	0,219	0,241
distancia entre vent e int [m] d_min	0,089	0,100	0,108	0,095	0,109	0,120
Caída de presión [kPa]	4,551	4,812	5,122	0,885	0,919	0,960
Potencia ventilador [kW]	6,547	6,923	7,369	1,273	1,322	1,381
Motor ventilador [kW]	7,202	7,615	8,106	1,400	1,454	1,519
Altura bajo ventiladores [m]	0,301	0,224	0,174	0,285	0,215	0,169
longitud perímetro Apaso [m]	0,930	1,250	1,610	0,980	1,300	1,660

---

#### FICHA TÉCNICA VENTILADOR TODOS

---

Flujo másico aire [kg/s]	0,882					
Densidad aire [kg/m <sup>3</sup> ]	1,242					
Caudal másico [m <sup>3</sup> /s]	0,711					
Velocidad aire [m/s]	16,334	11,368	9,667	12,465	9,474	7,808
Area paso [m <sup>2</sup> ]	0,044	0,063	0,074	0,057	0,075	0,091
Area vent_min	0,022	0,031	0,037	0,029	0,038	0,046
Diámetro_min [m]	0,166	0,199	0,216	0,190	0,219	0,241
distancia entre vent e int [m] d_min	0,083	0,100	0,108	0,095	0,109	0,120
Caída de presión [kPa]	4,558	4,813	5,175	0,886	0,919	0,965
Potencia ventilador [kW]	4,627	4,886	5,252	0,899	0,933	0,979
Motor ventilador [kW]	5,089	5,374	5,778	0,989	1,026	1,077
Altura bajo ventiladores [m]	0,222	0,158	0,123	0,201	0,152	0,119
longitud perímetro Apaso [m]	0,890	1,250	1,610	0,980	1,300	1,660

## 9.8 ANEXO H: TUBERÍA

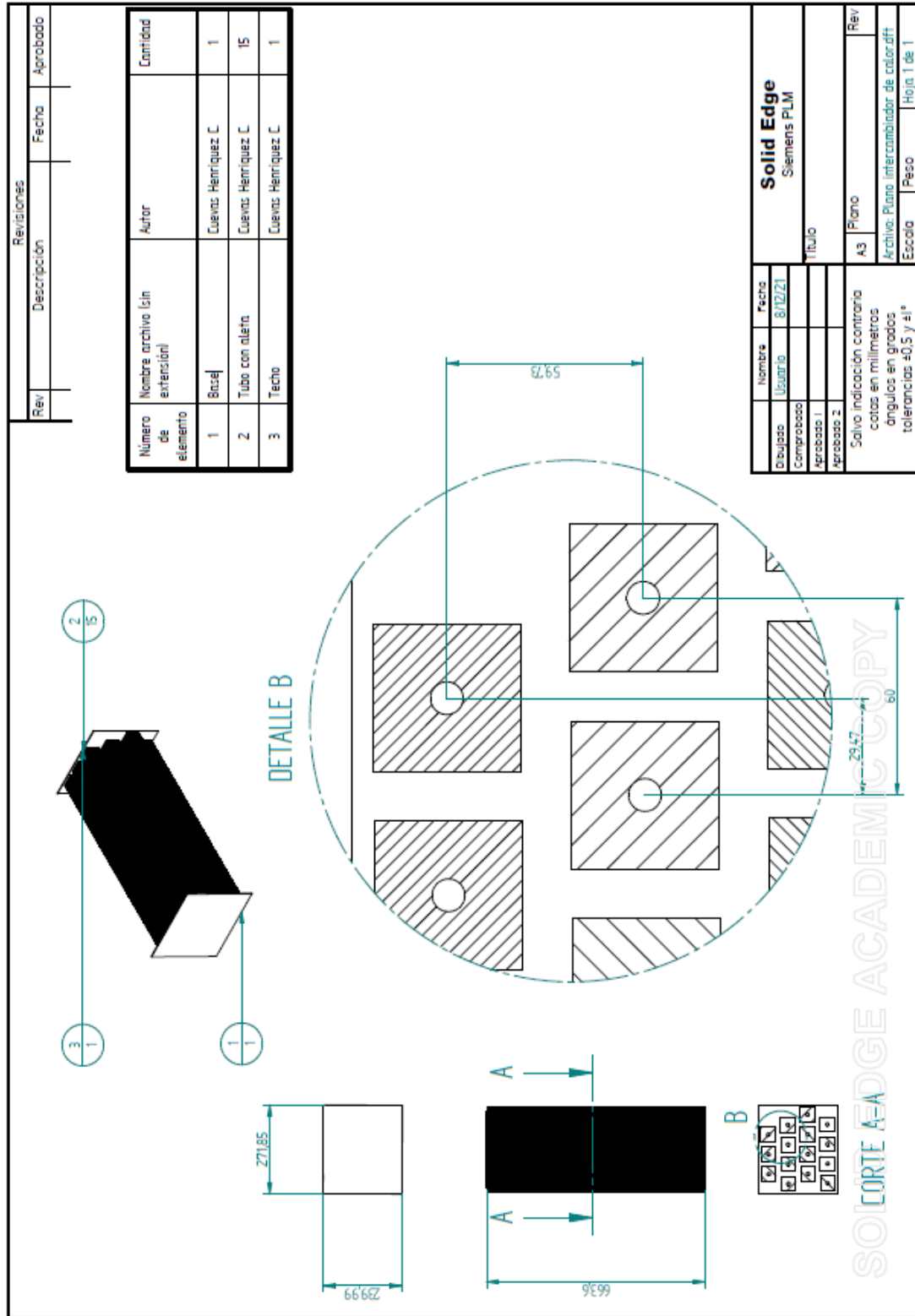


Tigre  
Tubo PPR 20mm x 3m PN-20  
Termofusión

★★★★★ (5)

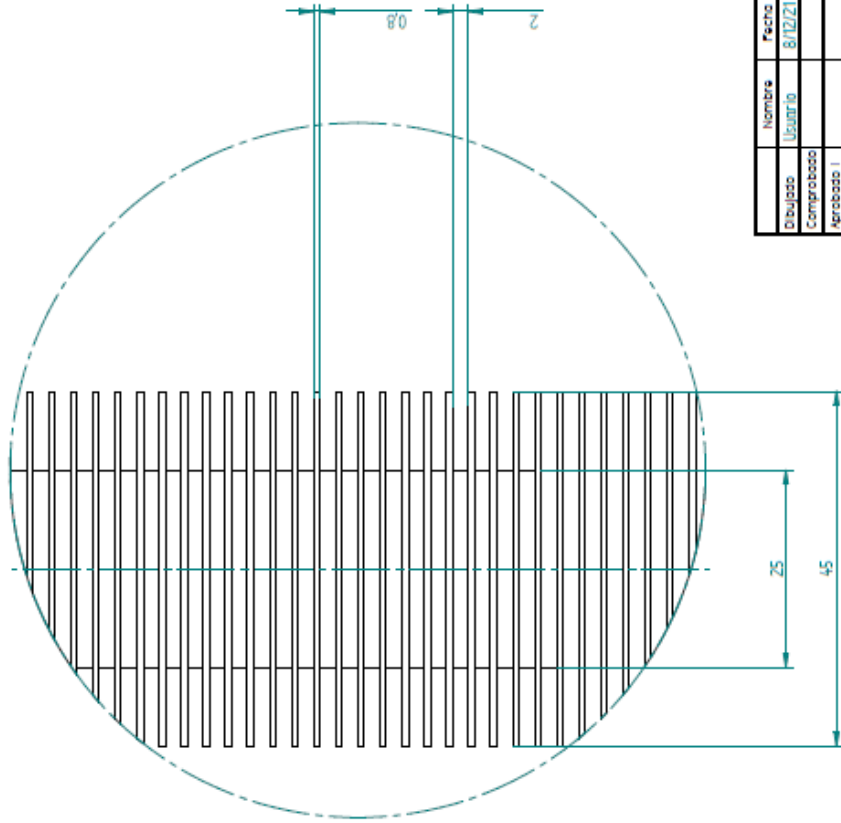
\$3.100 C/U

# 9.9 ANEXO I: PLANOS DE INTERCAMBIADOR DE CALOR



Revisiones		
Rev	Descripción	Fecha

DETALLE A



Dibujado	Nombre	Fecha	<b>Solid Edge</b> Siemens PLM
Comprobado	Usuario	8/12/21	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Solvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1$			Título
Escala			Plano A3
Archivo: Plano detalle tubo con aletas.dft			Rev.
Hoja 1 de 1			Peso

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

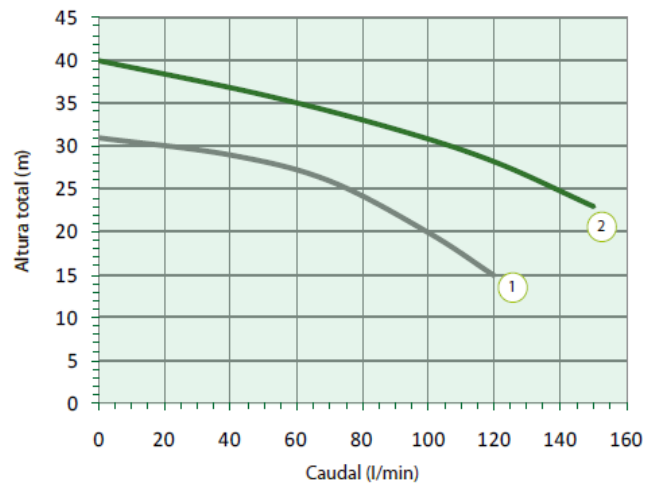
## 9.10 ANEXO J: BOMBA CENTRÍFUGA.

### BOMBAS CENTRÍFUGAS



BCm158 (1.0 HP)

BCm170 (1.5 HP)



BOMBA CENTRIFUGA BESTFLOW

BTCM 110 1.5HP 220V

**\$182.665 IVA incluido.**



## 9.11 ANEXO K: COTIZACIONES INTERCAMBIADORES DE CALOR.



### FICHA TECNICA SERPENTINES AGUA - AIRE 3/8"

Cliente: Camila Cuevas  
 Empresa: Camila Cuevas  
 Direccion: 0  
 Email: camic.henriquez@gmail.com  
 Telefono: 0  
 Fax: 0  
 Fecha: 12-jul-21

Modelo: **CE-48 (P2,5-1060x780)** Cod: CW3CA100X075X009T25

Tomate

#### CONDICIONES DE TRABAJO

Capacidad Total	<b>58310 Kcal/h</b>	<b>67,8 KW</b>	Humedad Relativa	Entra 80%	Sale 16%
Capacidad Sensible	<b>57996 Kcal/h</b>	<b>67,4 KW</b>	Temp. de Agua	Entra 82,0 °C	Sale 19,5 °C
Caudal de Aire	7935 m3/h		Temp. de Aire	Entra 0,0 °C	Sale 25,0 °C
Caudal de Agua	15,5 Lt/min		DTml	35,0 °K	
DP agua	0,67 mca				

#### CARACTERISTICAS ESTANDAR

INTERCAMBIADOR

MATERIALES

Superficie de Intercambio 48,2 m2  
 Separacion de Aletas 2,5 mm  
 Tiro de aire Horizontal

Tubos Cobre  
 Aletas AL Natural

#### DIMENSIONES ALETEADAS

Largo Aleteado 1000 mm  
 Alto Aleteado 750 mm  
 Fondo Aleteado 87 mm

#### OPCIONALES SELECCIONADOS

Aletas AL Natural  
(Al. Natural - Al. Gold Fin - Al. Epoxico)

NOTAS :

#### DIMENSIONES GENERALES

Largo Total 1400 mm  
 Fondo Total 137 mm  
 Alto Total 770 mm  
 Peso Aprox. (vack) 32,4 Kg  
 Entrada Agua 1 x HE 3/4"  
 Salida Agua 1 x HE 3/4"  
 Volumen Interno 9,0 Lt

30

Intercal S.A. se reserva el derecho de modificar sin previo aviso las características técnicas y opcionales del equipo

Plata

Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio total neto	COTIZACION N°
		Total \$	Total \$	
1		731.200	731.200	<b>49059/AG</b>

VALORES NO INCLUYEN IVA

Condiciones de Pago:	CLI. 01 PAGO, AL DIA
Plazo entrega :	A convenir según programa
Validez de la oferta :	30 días
Vendedor :	Alonso Gamberini



## FICHA TECNICA SERPENTINES AGUA - AIRE 3/8"

Cliente Camila Cuevas  
 Empresa Camila Cuevas  
 Direccion 0  
 Email camic.henriquez@gmail.com  
 Telefono 0  
 Fax 0  
 Fecha 12-jul-21

Modelo **CE-28 (P2,1-1060x780)** Cod: CW3CA100X075X004T21  
 Lechuga

### CONDICIONES DE TRABAJO

Capacidad Total	<b>39603 Kcal/h</b>	<b>46,0 KW</b>	Humedad Relativa	Entra 80%	Sale 29%
Capacidad Sensible	<b>39389 Kcal/h</b>	<b>45,8 KW</b>	Temp. de Agua	Entra 82,0 °C	Sale 18,4 °C
Caudal de Aire	8982 m <sup>3</sup> /h		Temp. de Aire	Entra 0,0 °C	Sale 15,0 °C
Caudal de Agua	10,4 L/min		DTml	37,6 °K	
DP agua	1,11 mca				

### CARACTERISTICAS ESTANDAR

#### INTERCAMBIADOR

Superficie de Intercambio 28,3 m<sup>2</sup>  
 Separacion de Aletas 2,1 mm  
 Tiro de aire Horizontal

#### MATERIALES

Tubos Cobre  
 Aletas AL Natural

### DIMENSIONES ALETEADAS

Largo Aleteado 1000 mm  
 Alto Aleteado 750 mm  
 Fondo Aleteado 43 mm

### OPCIONALES SELECCIONADOS

Aletas AL Natural  
 (Al. Natural - Al. Gold Fin - Al. Epoxico)

### NOTAS :

### DIMENSIONES GENERALES

Largo Total 1400 mm  
 Fondo Total 93 mm  
 Alto Total 770 mm  
 Peso Aprox. (vack) 19,7 Kg  
 Entrada Agua 1 x HE 3/4"  
 Salida Agua 1 x HE 3/4"  
 Volumen Interno 4,5 Lt

3jo

Intercal S.A. se reserva el derecho de modificar sin previo aviso las características técnicas y opcionales del equipo

Plata

Cantidad	Precio Unitario	Precio total neto	COTIZACION N°
Unidad	Total \$	Total \$	
1	411.900	411.900	<b>49059/AG</b>

#### VALORES NO INCLUYEN IVA

Condiciones de Pago: CLI. 01 PAGO, AL DIA  
 Plazo entrega : A convenir según programa  
 Validez de la oferta : 30 dias  
 Vendedor : Alonso Gamberini



## FICHA TECNICA SERPENTINES AGUA - AIRE 3/8"

Cliente Camila Cuevas  
 Empresa Camila Cuevas  
 Direccion 0  
 Email camic.henriquez@gmail.com  
 Telefono 0  
 Fax 0  
 Fecha 12-jul-21

Modelo **CE-57 (P2,1-1060x780)** Cod: CW3CA100X075X009T21

### Pimentón

#### CONDICIONES DE TRABAJO

Capacidad Total	<b>72674 Kcal/h</b>	<b>84,5 KW</b>	Humedad Relativa	Entra 80%	Sale 13%
Capacidad Sensible	<b>72282 Kcal/h</b>	<b>84,0 KW</b>	Temp. de Agua	Entra 82,0 °C	Sale 23,6 °C
Caudal de Aire	8830 m <sup>3</sup> /h		Temp. de Aire	Entra 0,0 °C	Sale 28,0 °C
Caudal de Agua	20,7 L/min		DTml	36,7 °K	
DP agua	1,11 mca				

#### CARACTERISTICAS ESTANDAR

##### INTERCAMBIADOR

Superficie de Intercambio 56,7 m<sup>2</sup>  
 Separacion de Aletas 2,1 mm  
 Tiro de aire Horizontal

##### MATERIALES

Tubos Cobre  
 Aletas AL Natural

#### DIMENSIONES ALETEADAS

Largo Aleteado 1000 mm  
 Alto Aleteado 750 mm  
 Fondo Aleteado 87 mm

#### OPCIONALES SELECCIONADOS

Aletas AL Natural  
 (Al. Natural - Al. Gold Fin - Al. Epoxico)

#### NOTAS :

#### DIMENSIONES GENERALES

Largo Total 1400 mm  
 Fondo Total 137 mm  
 Alto Total 770 mm  
 Peso Aprox. (vack) 34,6 Kg  
 Entrada Agua 1 x HE 1"  
 Salida Agua 1 x HE 1"  
 Volumen Interno 9,0 Lt

3jo

Intercal S.A. se reserva el derecho de modificar sin previo aviso las características técnicas y opcionales del equipo

Plata

Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio total neto	COTIZACION N°
		Total \$	Total \$	
1		782.400	782.400	<b>49059/AG</b>

#### VALORES NO INCLUYEN IVA

**Condiciones de Pago:** CLI. 01 PAGO, AL DIA  
**Plazo entrega :** A convenir según programa  
**Validez de la oferta :** 30 dias  
**Vendedor :** Alonso Gamberini



## FICHA TECNICA SERPENTINES AGUA - AIRE 3/8"

Ciente	Camila Cuevas	Telefono	0
Empresa	Camila Cuevas	Fax	0
Direccion	0	Fecha	12-jul-21
Email	camic.henriquez@gmail.com		

Modelo **CE-43 (P2,5-1060x930)** Cod: CW3CA100X090X007T25

### CONDICIONES DE TRABAJO

Capacidad Total	<b>57865 Kcal/h</b>	<b>67,3 KW</b>	Humedad Relativa	Entra 80%	Sale 21%
Capacidad Sensible	<b>57553 Kcal/h</b>	<b>66,9 KW</b>	Temp. de Agua	Entra 82,0 °C	Sale 20,0 °C
Caudal de Aire	9843 m3/h		Temp. de Aire	Entra 0,0 °C	Sale 20,0 °C
Caudal de Agua	15,6 Lt/min		DTmI	37,1 °K	
DP agua	2,49 mca				

### CARACTERISTICAS ESTANDAR

#### INTERCAMBIADOR

Superficie de Intercambio 43,4 m2  
 Separacion de Aletas 2,5 mm  
 Tiro de aire Horizontal

#### MATERIALES

Tubos Cobre  
 Aletas AL Natural

### DIMENSIONES ALETEADAS

Largo Aleteado 1000 mm  
 Alto Aleteado 900 mm  
 Fondo Aleteado 65 mm

### OPCIONALES SELECCIONADOS

Aletas AL Natural  
 (Al. Natural - Al. Gold Fin - AL. Epoxico)

### NOTAS :

#### DIMENSIONES GENERALES

Largo Total 1400 mm  
 Fondo Total 115 mm  
 Alto Total 920 mm  
 Peso Aprox. (vaci 29,7 Kg  
 Entrada Agua 1 x HE 3/4"  
 Salida Agua 1 x HE 3/4"  
 Volumen Interno 8,1 Lt

3)0

Intercal S.A. se reserva el derecho de modificar sin previo aviso las características técnicas y opcionales del equipo

Plata

Cantidad	Precio Unitario	Precio total neto	COTIZACION N°
Unidad	Total \$	Total \$	
1	675.600	675.600	<b>49059/AG</b>

#### VALORES NO INCLUYEN IVA

Condiciones de Pago: CLI. 01 PAGO, AL DIA  
 Plazo entrega : A convenir según programa  
 Validez de la oferta : 30 días  
 Vendedor : Alonso Gamberini



## FICHA TECNICA SERPENTINES AGUA - AIRE 3/8"

Cliente: Camila Cuevas  
 Empresa: Camila Cuevas  
 Direccion: 0  
 Email: camic.henriquez@gmail.com  
 Telefono: 0  
 Fax: 0  
 Fecha: 12-jul-21

Modelo: **CE-51 (P2,1-960x780)** Cod: CW3CA090X075X009T21

### CONDICIONES DE TRABAJO

**Todos**  
 Capacidad Total: **46502 Kcal/h**      **54,1 KW**      Humedad Relativa: Entra 80%      Sale 19%  
 Capacidad Sensible: **46251 Kcal/h**      **53,8 KW**      Temp. de Agua: Entra 82,0 °C      Sale 7,3 °C  
 Caudal de Aire: 7191 m3/h      Temp. de Aire: Entra 0,0 °C      Sale 22,0 °C  
 Caudal de Agua: 10,4 Lt/min      DTml: 25,0 °K  
 DP agua: 1,29 mca

### CARACTERISTICAS ESTANDAR

#### INTERCAMBIADOR

Superficie de Intercambio: 51,0 m2  
 Separacion de Aletas: 2,1 mm  
 Tiro de aire: Horizontal

#### MATERIALES

Tubos: Cobre  
 Aletas: AL Natural

### DIMENSIONES ALETEADAS

Largo Aleteado: 900 mm  
 Alto Aleteado: 750 mm  
 Fondo Aleteado: 87 mm

### OPCIONALES SELECCIONADOS

Aletas: AL Natural  
 (Al. Natural - Al. Gold Fin - Al. Epoxico)

### NOTAS :

#### DIMENSIONES GENERALES

Largo Total: 1300 mm  
 Fondo Total: 137 mm  
 Alto Total: 770 mm  
 Peso Aprox. (vacio): 31,2 Kg  
 Entrada Agua: 1 x HE 3/4"  
 Salida Agua: 1 x HE 3/4"  
 Volumen Interno: 8,1 Lt

Intercal S.A. se reserva el derecho de modificar sin previo aviso las características técnicas y opcionales del equipo

Plata

Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio total neto	COTIZACION N°
		Total \$	Total \$	
1		701.000	701.000	<b>49059/AG</b>

#### VALORES NO INCLUYEN IVA

Condiciones de Pago: **CLI. 01 PAGO, AL DIA**  
 Plazo entrega: **A convenir según programa**  
 Validez de la oferta: **30 días**  
 Vendedor: **Alonso Gamberini**

## 9.12 ANEXO L: COTIZACIÓN ELECTROVENTILADOR



### FICHA TECNICA CONDENSADORES LINEA CA3

Cliente: Camila Cuevas  
 Empresa:  
 Direccion:  
 Email: camic.henriquez@gmail.com  
 Telefono:  
 Fax:  
 Fecha: 29-oct-21

Modelo: **AT 3E - 501 - 32 - H**      Cod: AT3E21-5001-0032HV

Ref. -

#### CONDICIONES DE TRABAJO

Capacidad Total	<b>31903 Kcal/h</b>	<b>37,1 KW</b>	Humedad Relativa	Entra 85%	Sale 12%
Capacidad Sensible	<b>31720 Kcal/h</b>	<b>36,9 KW</b>	Temp. de Agua	Entra 82,0 °C	Sale 23,5 °C
Caudal de Aire	3500 m3/h		Temp. de Aire	Entra 0,0 °C	Sale 31,0 °C
Caudal de Agua	9,1 L/min		DTmi	35,5 °K	
DP agua	2,11 mca				

#### CARACTERISTICAS ESTANDAR

##### INTERCAMBIADOR

Superficie de Intercambio: 27,2 m2  
 Separacion de Aletas: 2,1 mm  
 Tiro de aire: Horizontal

##### MATERIALES

Tubos: Cobre  
 Aletas: AL Natural

#### MOTOR

Tipo: Electroventilador AC  
 Motores: 400V/1,65A/830W/1330RPM/D  
 (INCLUIDA EN LA OFERTA)

#### OPCIONALES SELECCIONADOS

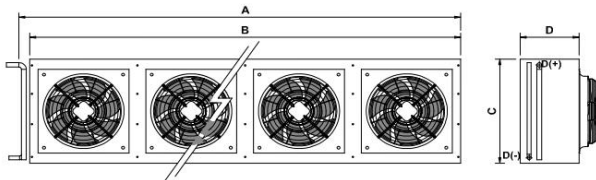
Cubierta: 0  
 (Ac. Zn Blanco - AlMg - AlMg Blanco - Ac. Inox 304L)  
 Aletas: AL Natural  
 (Al. Natural - Al. Gold Fin - Al. Epoxico)

#### NOTAS :

Conexion: 1 Izquierdo, mirando los ventiladores  
 Salida: Paralelo a los tubos

#### DIMENSIONES GENERALES

Largo Total: 1120 mm  
 Largo Caja: 660 mm  
 Fondo Total: 292 mm  
 Alto Total: 620 mm + 35 mm  
 Peso Aprox. (vacio): 52 Kg  
 Entrada Refrigerante: 1 x [Cu 7/8"]  
 Salida Refrigerante: 1 x [Cu 7/8"]  
 Volumen Interior: 4,3 L



Intercal S.A. se reserva el derecho de modificar sin previo aviso las características técnicas y opcionales del equipo

Cantidad		Precio Unitario	Precio total neto	COTIZACION N°
Unidad		Total US\$	Total US\$	
1		1.246,00	1.246,00	<b>50084/FC</b>

#### VALORES NO INCLUYEN IVA

Condiciones de Pago: CLI. ANTICIPO 50%, SALDO 01 PAGO A 0 DIAS.  
 Plazo entrega: A convenir según programa  
 Validez de la oferta: 30 días ; TC: Dolar observado fecha FACTURA  
 Vendedor: Flavio Comunian