



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

**DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO AEROPÓNICO UTILIZANDO ENERGÍA
SOLAR FOTOVOLTAICA EN COMUNIDAD MAPUCHE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

LEONARDO OSVALDO OÑATE LARA

PROFESOR GUÍA:
ALVARO VALENCIA MUSALEM

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
DORIS SÁEZ HUEICHAPAN
REYNALDO CABEZAS CIFUENTES

SANTIAGO DE CHILE
2022

DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO AEROPÓNICO UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COMUNIDAD MAPUCHE

Tres de los desafíos más importantes en el desarrollo agrícola son la falta de terrenos utilizables, recursos hídricos e inocuidad de las cosechas. Ante esto han sido un aporte avances como el riego aeropónico, el cual es un sistema de riego tecnificado complejo que requiere de la consideración de diversos factores para su óptimo funcionamiento. Esta tecnología supone diversas ventajas con el riego tradicional, sin embargo, sigue sin ser usado a gran escala.

Respecto al emplazamiento, se tiene que Nueva Imperial en la Región de la Araucanía es una de las comunas con mayor presencia de comunidades indígenas en Chile. Su sector productivo con mayor desarrollo es el silvoagropecuario, asimismo es la actividad más recurrente en personas mapuche. Por otro lado, esta comuna posee un potencial solar apto para el desarrollo de sistemas de generación eléctrica fotovoltaica.

En base a lo anterior en el presente trabajo de título se diseña un sistema de riego aeropónico alimentado por energía solar fotovoltaica en una comunidad mapuche de Nueva Imperial, Región de la Araucanía, Chile. Esto significa el diseño, construcción y evaluación de un piloto de sistema aeropónico de pequeña escala.

La etapa de diseño se divide en 3 sistemas principales, de riego, control y generación. El sistema de riego logra mantener las condiciones para la nutrición de los cultivos, el sistema de control comanda el funcionamiento de los componentes, mientras que el sistema de generación produce la energía necesaria para la autosuficiencia del piloto.

Luego se procede a la etapa de construcción y evaluación del piloto. Su análisis revela la correcta atomización del sistema hidráulico y la suficiencia de la generación eléctrica, asimismo expone fallas como el atascamiento de algunos atomizadores de riego y debilidades como la baja resistencia de la estructura soportante. Esto permite orientar mejoras en el diseño del proyecto.

En conclusión, se logra desarrollar un sistema de riego independiente energéticamente y con un 99% de eficiencia hídrica. Igualmente se advierten complejidades en su costo inicial, disponibilidad comercial y manejo operacional. Mientras que el estudio de su contexto revela como estos avances cobran mayor importancia en comunidades que dependen de la producción agrícola.

Dedicado a mis padres

Agradecimientos

Partir agradeciendo a mis padres por apoyarme todo este tiempo, a quienes admiro por lo mucho que se esfuerzan día a día.

Doy gracias a mis amigos por los buenos ratos y experiencias en mi paso por la universidad. Especialmente a Francisca por todos los lindos momentos juntos y que sean muchos más.

Agradezco a todos quienes me acogieron en su casa durante mis estudios, familia y amigos con los que viví, que soportaron y disfrutaron de mis payasadas.

Mañum peñi Lincopi ka tañi reñma, por creer y apoyarme en este proyecto, espero mi paso haya sido un aporte. También agradecer a Rodrigo y Rosita, fue una linda coincidencia conocerlos y una placentera estadía en su hogar.

Aprecio el apoyo de los profesores miembros de la comisión por su interés y apoyo en el tema propuesto. Asimismo agradecer a la municipalidad de Nueva Imperial, por el apoyo de Esmeralda Vásquez.

Agradezco el apoyo y financiamiento del Programa de Pueblos Indígenas, Dirección de Diversidad y Género, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Objetivos	2
1.2. Alcances	2
1.3. Metodología	3
2. Antecedentes	5
2.1. Antecedentes geográficos generales	5
2.1.1. Contexto demográfico	5
2.1.2. Contexto económico productivo	7
2.1.3. Agricultura mapuche en la Araucanía	7
2.1.4. Geomorfología de la comuna	8
2.1.5. Clima e hidrografía	9
2.1.6. Contexto energético	10
2.1.7. Potencial solar	10
2.1.8. Potencial eólico	11
2.2. Riego Aeropónico	13
2.2.1. Atomizadores y tamaño de gota	13
2.2.2. Frecuencia de riego	15
2.2.3. Humedad y oxigenación	16
2.2.4. Depósito de nutrientes	16
2.2.5. Temperatura	16
2.2.6. Iluminación	17
2.2.7. pH y CE	17
2.2.8. Monitoreo y control	17
2.2.9. Acumulación de agua	18
2.2.10. Sistema de bombeo	18
2.2.11. Pérdidas de carga	19
2.2.12. Disposición estructural	20
2.2.13. Situación actual	21
2.2.14. Suministro eléctrico	22
2.3. Generación eléctrica solar fotovoltaica	23
2.3.1. Panel fotovoltaico	23
2.3.2. Orientación	23
2.3.3. Sistemas interconectados y autónomos	25
2.3.4. Banco de baterías	25
2.3.5. Regulador de carga	26
2.3.6. Inversor	27

2.3.7.	Cableado	27
2.4.	Contexto agrícola productivo local	28
2.5.	Resumen	30
3.	Diseño	31
3.1.	Planteamiento del problema	31
3.1.1.	Parámetros de diseño	31
3.2.	Sistema de riego	32
3.2.1.	Disposición estructural	32
3.2.2.	Atomizadores	34
3.2.3.	Frecuencia de riego	35
3.2.4.	Estanque de agua	35
3.2.5.	Bomba hidráulica	35
3.2.6.	Tuberías y conexiones	36
3.3.	Sistema de control	38
3.3.1.	Componentes	38
3.3.2.	Montaje	39
3.3.3.	Configuración	40
3.4.	Generación eléctrica	41
3.4.1.	Selección energía	41
3.4.2.	Consumo eléctrico	42
3.4.3.	Sistema fotovoltaico	43
3.4.4.	Batería	46
3.4.5.	Regulador de carga	48
3.4.6.	Cableado	48
3.4.7.	Montaje	49
3.4.8.	Cabina	50
3.5.	Resumen	52
4.	Fabricación	53
4.1.	Instrucciones	53
4.2.	Materiales y componentes	53
4.3.	Estructura	55
4.3.1.	Mesón	55
4.3.2.	Cabina	55
4.4.	Montaje	56
4.5.	Configuración	57
4.6.	Manejo y mantención	58
4.7.	Resumen	59
5.	Evaluación	60
5.1.	Estudio	60
5.1.1.	Atomizadores	60
5.1.2.	Caudal	61
5.1.3.	Humedad	62
5.1.4.	Observaciones	64
5.2.	Costos	64
5.3.	Análisis	66

6. Conclusiones	68
Bibliografía	70
Anexos	71
Anexo A. Memoria de cálculo	71
A.1. Capacidad estanque	71
A.2. Caudal bomba hidráulica	71
A.3. Pérdidas de carga	72
A.4. Capacidad batería	74
A.5. Diámetro cableado	75
Anexo B. Códigos Arduino	75
B.1. Código funcionamiento	75
B.2. Código sensor	80
Anexo C. Fotografías	81
C.1. Visita preliminar	82
C.2. Piloto	83
C.3. Instalación predio	84
Anexo D. Planos	85
D.1. Cabina	85
D.2. Mesa Soportante	89
Anexo E. Archivos adjuntos	92
E.1. Consulta funcionamiento	92
E.2. Manual sistema aeropónico	98
E.3. Reporte explorador solar	101
E.4. Ficha técnica panel solar	122
E.5. Ficha técnica batería	124
E.6. Manual regulador de carga	127

Índice de Tablas

2.1.	Antecedentes productivo agrícolas. Fuente: Elaboración propia	29
3.1.	Operación atomizadores. Fuente: TecTec Store	34
3.2.	Frecuencias de riego. Fuente: Elaboración propia	35
3.3.	Características bomba de diafragma 60W. Fuente: hubot.cl	36
3.4.	Consumo eléctrico estimado. Fuente: Elaboración propia	43
3.5.	Parámetros generación fotovoltaica. Fuente: Elaboración propia	44
3.6.	Generación fotovoltaica por hora y mes [Wh]. Fuente: Elaboración propia . . .	45
3.7.	Generación diaria promedio por mes. Fuente: Elaboración propia	46
4.1.	Materiales y componentes. Fuente: Elaboración propia	54
5.1.	Caudal atomizadores. Fuente: Elaboración propia	61
5.2.	Caudales y desviación estándar. Fuente: Elaboración propia	62

Índice de Ilustraciones

1.1.	Metodología antecedentes. Fuente: Elaboración propia	3
1.2.	Metodología diseño. Fuente: Elaboración propia	4
2.1.	Mapa administrativo Nueva Imperial, incluye sectores rurales y comunidades indígenas. Fuente: DIDEL, 2015	6
2.2.	Mapa satelital comuna de Nueva Imperial. Fuente: Google Maps, 2020	8
2.3.	Mapa hidrográfico y elevaciones de Nueva Imperial. [3]	9
2.4.	Mapa de sitios con potencial de emplazamiento de proyectos de energía solar. [4]	11
2.5.	Mapa de sitios con potencial de emplazamiento de proyectos de energía eólica. [4]	12
2.6.	Esquema sistema de riego aeropónico. Fuente: steemit.com	13
2.7.	Atomizadores utilizados en sistemas aeropónicos. (a) Nebulizador ultrasónico; (b) Atomizador de alta presión y aire; (c) Atomizador a presión sin aire. [5] . .	14
2.8.	Esquema sistema de riego aeropónico controlado. [5]	18
2.9.	Ejemplos estructuras de cultivo. Fuente: conocerlaagricultura.com	21
2.10.	Latitud. [8]	24
2.11.	Azimut. [8]	24
2.12.	Inclinación. [8]	25
3.1.	Estructura soportante. Fuente: Elaboración propia	33
3.2.	Cesto y esponja. Fuente: aliexpress.com	33
3.3.	Atomizador conexión rápida sin filtro. Fuente: hidrotaller.cl	34
3.4.	Bomba de diafragma 60W. Fuente: hubot.cl	36
3.5.	Conexiones 6 mm. Fuente: hidrotaller.cl	37
3.6.	Diagrama conexiones. Fuente: Elaboración propia	37
3.7.	Componentes electrónicos. Fuente: Elaboración propia	39
3.8.	Montaje componentes electrónicos. Fuente: Elaboración propia	40
3.9.	Mapa potencial solar con ubicación. [4]	42
3.10.	Panel solar YI-20M. Fuente: ngp.cl	43
3.11.	Generación promedio diaria por mes [Wh]. Fuente: Elaboración propia	45
3.12.	Batería Kaise. Fuente: induventa.cl	47
3.13.	Ciclos de vida en relación al porcentaje de descarga. Fuente: Anexo E.5	47
3.14.	Regulador de carga. Fuente: www.mcielectronics.cl	48
3.15.	Montaje eléctrico. Fuente: Elaboración propia	49
3.16.	Montaje final. Fuente: Elaboración propia	50
3.17.	Cabina. Fuente: Elaboración propia	51
3.18.	Cabina con panel solar. Fuente: Elaboración propia	51
4.1.	Diagrama simplificado. Fuente: Elaboración propia	53
4.2.	Mesón terminado. Fuente: Elaboración propia	55
4.3.	Montaje electrónico. Fuente: Elaboración propia	56
4.4.	Montaje eléctrico. Fuente: Elaboración propia	56

4.5.	Montaje estanque. Fuente: Elaboración propia	57
4.6.	Cabina cerrada. Fuente: Elaboración propia	57
4.7.	Configuración. Fuente: Elaboración propia	58
5.1.	Fallas en atomizadores. Fuente: Elaboración propia	60
5.2.	Atomizadores. Fuente: Elaboración propia	61
5.3.	Caudal vs distancia. Fuente: Elaboración propia	62
5.4.	Modulo DHT22. Fuente: hwlibre.com	63
5.5.	Humedad a distinta hora. Fuente: Elaboración propia	63
5.6.	Humedad a distinta frecuencia de riego. Fuente: Elaboración propia	64
5.7.	Costos en general. Fuente: Elaboración propia	65
5.8.	Costos por segmento. Fuente: Elaboración propia	65
A.1.	Diagrama de Moody	73
C.1.	Visita preliminar	82
C.2.	Piloto	83
C.3.	Instalación predio	84

Capítulo 1

Introducción

Ante el constante aumento de la población humana, se hace cada vez más difícil afrontar la creciente demanda de alimentos, provocando el agotamiento de recursos naturales, ejerciendo presión sobre el medioambiente y la sociedad. Por otro lado, el cambio climático y la creciente amenaza de catástrofes naturales como sequías e inundaciones provocan excesivas pérdidas agrícolas, requiriendo cultivos cada vez más resistentes. En síntesis, tres de los desafíos más importantes en el desarrollo agrícola son la falta de terrenos utilizables, recursos hídricos y resiliencia de los cultivos. Ante estos desafíos han sido un aporte avances en tecnologías como el riego aeropónico.

El riego aeropónico es un sistema de riego tecnificado complejo que requiere de la consideración de diversos factores para su óptimo funcionamiento. Entre ellos se encuentran el tamaño de gota, temperatura, humedad, frecuencia de riego, nutrición, luminosidad y disposición. Esta tecnología supone diversas ventajas con el riego tradicional, sin embargo, a pesar de su creciente implementación, aún sigue sin ser usado en una escala más amplia y todavía es desconocida en varios países del mundo.[1]

El territorio y sus habitantes tienen una gran importancia al decidir donde se emplaza un proyecto de estas características. Frente a esto se tiene que Nueva Imperial en la Región de la Araucanía es una de las comunas con mayor presencia de comunidades indígenas en Chile, principalmente en zonas rurales (Censo 2017). Su sector productivo con mayor desarrollo es el silvoagropecuario, además de ser la actividad más recurrente en personas mapuche. Por otro lado, se advierte que la comuna posee un potencial solar apto para el desarrollo de sistemas de generación eléctrica fotovoltaica.

En base a lo anteriormente expuesto el presente trabajo de título busca diseñar un sistema de riego aeropónico alimentado por energía solar fotovoltaica en una comunidad mapuche de Nueva Imperial, Región de la Araucanía, Chile. Esto significa el desarrollo de un piloto funcional, cuyo diseño se divide en los sistemas de riego, control y generación eléctrica. Posteriormente se procede a su construcción, finalizando en la evaluación y análisis.

1.1. Objetivos

Objetivo General:

- Diseñar un sistema de riego aeropónico alimentado por energía solar fotovoltaica en una comunidad mapuche

Objetivos Específicos:

- Comprender el contexto del territorio donde se emplaza el proyecto
- Establecer los parámetros de diseño para el funcionamiento del sistema
- Diseñar y construir un piloto de sistema aeropónico
- Estimar el consumo y generación eléctrica requerida por el piloto
- Desarrollar y construir un sistema generación fotovoltaico
- Evaluar y analizar el desempeño del piloto

1.2. Alcances

- El emplazamiento se localiza en la comuna de Nueva Imperial, Región de la Araucanía, Chile
- Se realiza en la parcela del agricultor José Lincopi , miembro de la comunidad indígena Juan Puen 2, sector Mañio Pichihue, Nueva Imperial
- Se cuenta con el apoyo de José Lincopi y de la agrónoma, encargada y funcionaria de la Municipalidad de Nueva Imperial, Esmeralda Vásquez Ruiz
- El sistema se dedica al cultivo de tomates o pepinos
- El piloto es un prototipo de pequeña escala para 6 plantas
- El piloto se construye y evalúa en Santiago, luego es trasladado a Nueva Imperial

1.3. Metodología

La metodología de trabajo se divide principalmente en dos etapas, la primera etapa consiste en el estudio del contexto, antecedentes y revisión bibliográfica, luego la segunda en el diseño y manufactura del proyecto, para su posterior evaluación.

Antecedentes

Se comienza por una revisión bibliográfica enfocada en el estudio del riego aeropónico, sistema de impulsión o bombeo, alimentación eléctrica y sistema de control. Luego se realiza un análisis del contexto del emplazamiento, revisando los antecedentes generales de la comuna de Nueva Imperial y las comunidades mapuche en la zona. También se realiza una visita para recopilar datos del actual sistema productivo, además de plantear el modelo propuesto y conocer la opinión del agricultor y la agrónoma.

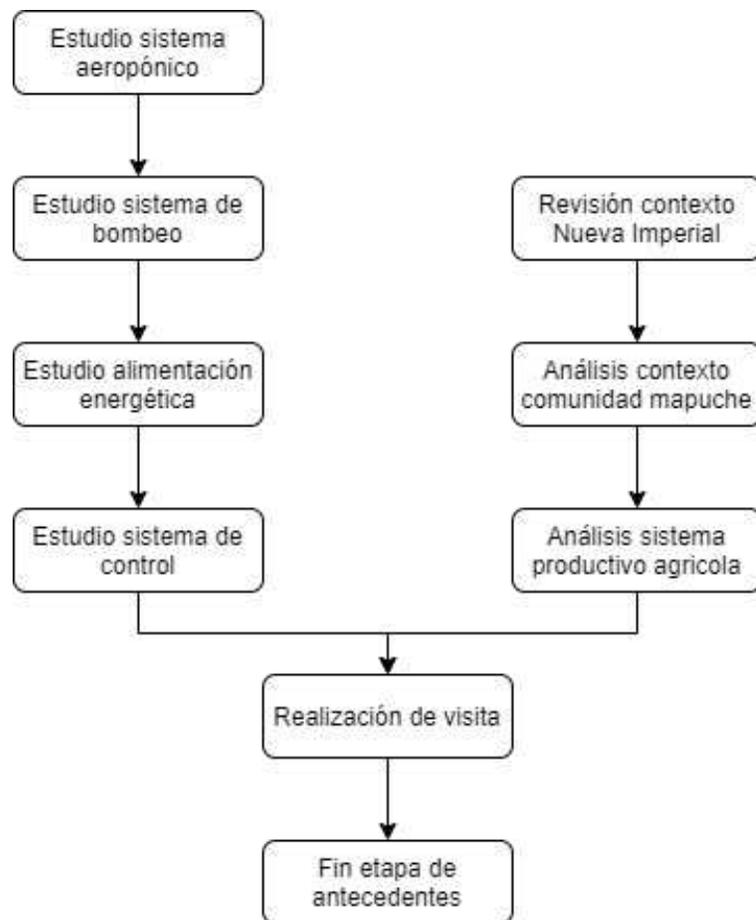


Figura 1.1: Metodología antecedentes. Fuente: Elaboración propia

Desarrollo

A partir de los datos obtenidos en la etapa de antecedentes, se plantea el problema y se identifican los parámetros de diseño. Como se observa en la figura 1.2 el desarrollo procede con el diseño de la base estructural, soportes y distribución, además del diseño del circuito de tuberías. Luego se realiza la selección de componentes como el estanque de agua, los micro aspersores y la bomba hidráulica. Siguiendo por el diseño del sistema de control, el que incluye la programación y selección de controladores, sensores y actuadores. El diseño termina con el sistema de generación eléctrico mediante energía solar. Terminando el diseño con un modelamiento CAD del piloto modular y realización de planos.

Posteriormente se realiza la compra de materiales y componentes para seguir con la manufactura del piloto. Analizando el modelo mediante la realización de ensayos de prueba, que permitan la identificación de errores de manufactura o diseño.

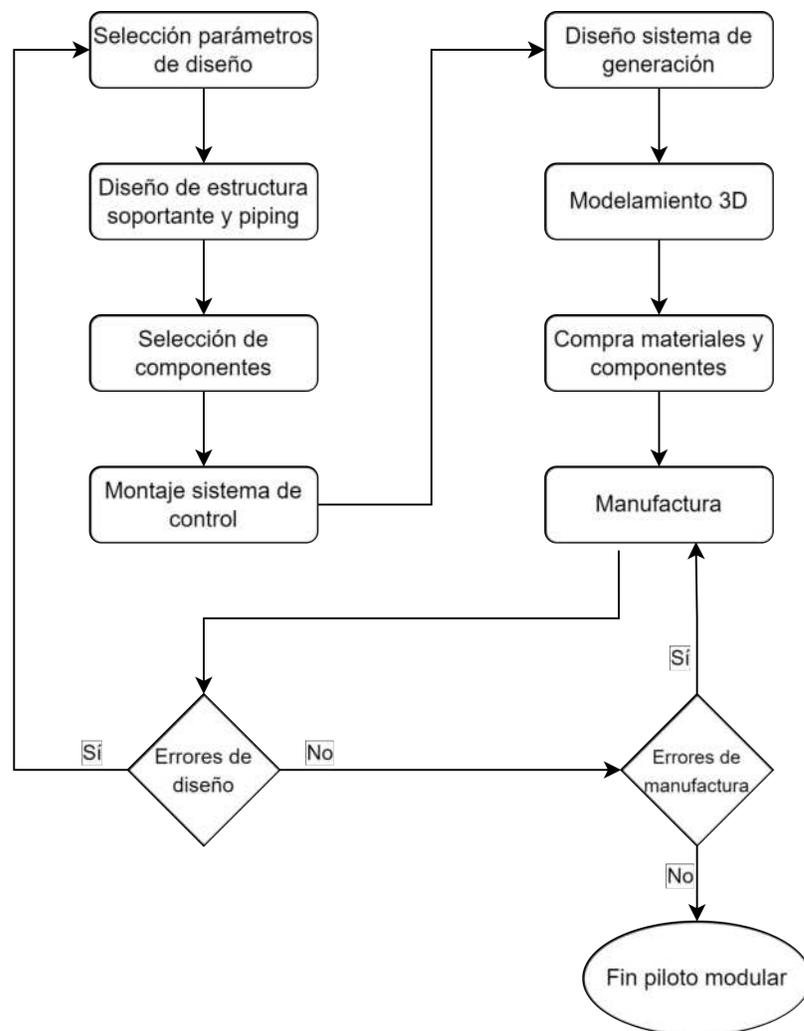


Figura 1.2: Metodología diseño. Fuente: Elaboración propia

El trabajo realizado en el proyecto sigue la presente metodología, así se comienza por el estudio bibliográfico de los antecedentes, expuestos en el siguiente capítulo.

Capítulo 2

Antecedentes

A partir de una revisión bibliográfica, se presentan los siguientes antecedentes. Estos antecedentes se dividen principalmente en un estudio del contexto del emplazamiento, el funcionamiento del riego aeropónico y los sistemas de generación fotovoltaica.

2.1. Antecedentes geográficos generales

La localidad a analizar es la comuna de Nueva Imperial de la provincia de Cautín en la región de la Araucanía, a unos 35 kilómetros al oeste de la ciudad de Temuco. Sus coordenadas son aproximadamente una latitud de $-38,74^\circ$ y longitud $-72,95^\circ$. Se encuentra ubicada en la zona de depresiones intermedias y posee las últimas formaciones montañosas del sur de la Cordillera de Nahuelbuta. La colindan, por el norte la comuna de Chol Chol, al este las comunas de Temuco y Padre las Casas, al oeste con Carahue y al sur con Teodoro Schmidt y Freire. Tiene alrededor de $733 [km^2]$ de superficie. La capital comunal la constituye la ciudad de Nueva Imperial, la cual se emplaza frente a la ribera del río Chol Chol. En base al PLADECO 2019-2022 [3] se pueden describir las principales características de la comuna.

2.1.1. Contexto demográfico

La población total de Nueva Imperial asciende a los 32.510 habitantes, según la proyección del INE al año 2015 este valor habría descendido un 16,6% respecto a la población censada el año 2002, en la cual habría 40.059 habitantes en la comuna. Los habitantes que viven zonas rurales corresponden al 39,89% y la población urbana asciende a un 60,11%, esta última concentrada en dos centros urbanos, Nueva Imperial que es la cabecera comunal y Villa Almagro. Imperial concentra la mayoría de los servicios y comercio, prestando servicios importantes tanto para el resto de la comuna, como para las comunas vecinas como Chol Chol, Carahue y Puerto Saavedra.

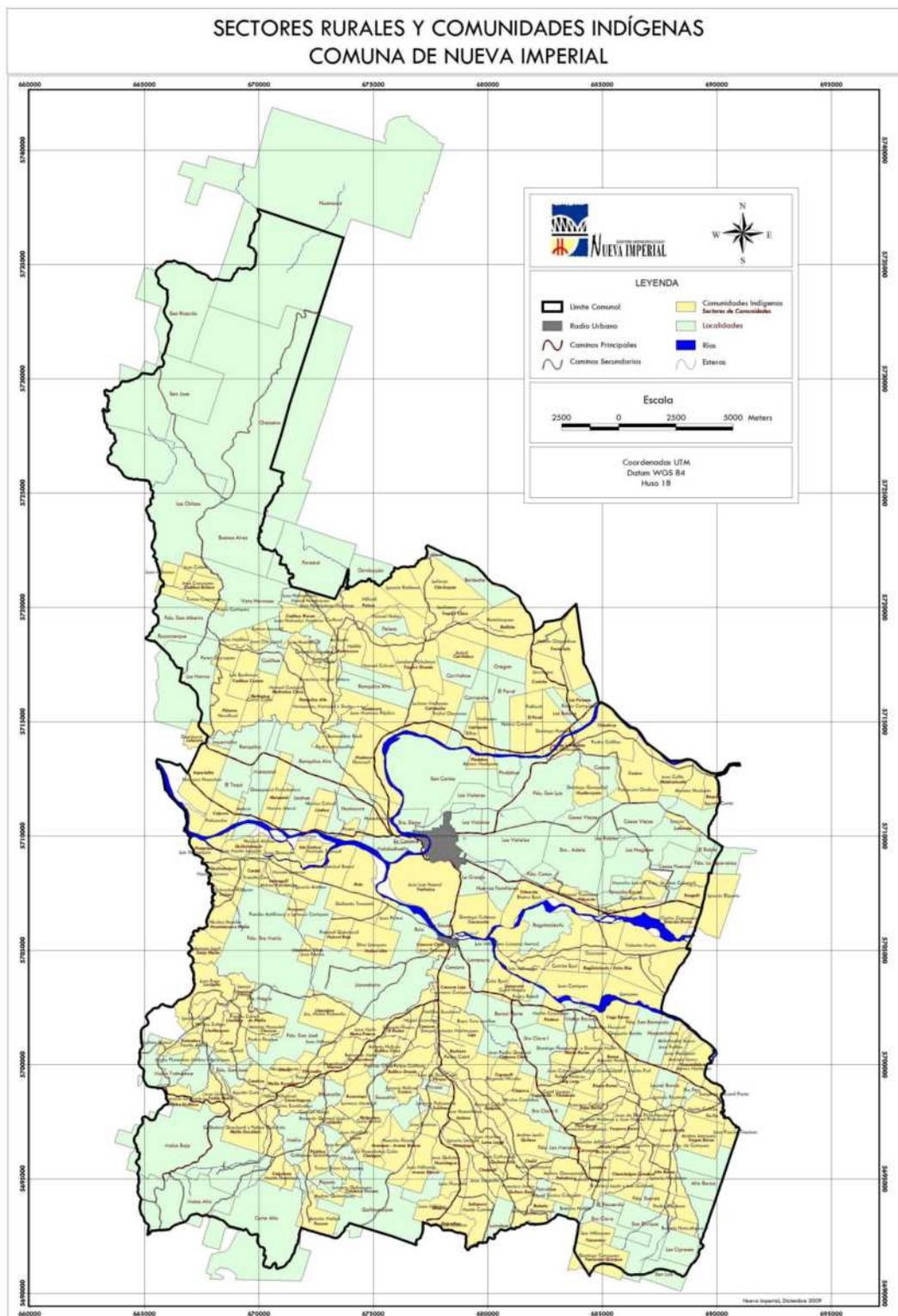


Figura 2.1: Mapa administrativo Nueva Imperial, incluye sectores rurales y comunidades indígenas. Fuente: DIDEL, 2015

La Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN) 2017, señala que en la comuna de Nueva Imperial, el porcentaje de hogares pobres alcanza un 43,8% mientras que el ingreso autónomo promedio de la comuna es de \$248.643.

Según el CENSO 2017 en la Región de La Araucanía las comunas con mayor concentración de población mapuche son Temuco con 66.293 personas y Padre Las Casas con 36.655 personas mapuche. En Nueva Imperial hay 18.023 personas mapuche lo que representa un 55,44 % de la población comunal. En la comuna, la población mapuche se concentra principalmente en el sector rural, organizados 212 comunidades indígenas, de ellas solo 190 se encuentran constituidas con personalidad jurídica en el Registro Nacional de Comunidades de CONADI (1994-2013). Mientras que el porcentaje del territorio comunal perteneciente a comunidades mapuche es de 50,13 %.

2.1.2. Contexto económico productivo

El PLADECO 2019-2022 [3], informa que el sector productivo con mayor desarrollo en la zona rural de la comuna es el silvoagropecuario, donde se producen cereales (trigo y avena), frutas (pomáceas) y hortalizas (tomate, lechuga, cilantro, frutillas, entre otras). En el área urbana, la entrega de servicios es el principal rubro, expresado mediante farmacias, bancos, supermercados, oficinas de servicios públicos y municipales y el comercio local. Así la mayor área de la comuna se encuentra ocupada por explotaciones silvoagropecuarias, siendo un 82,4 % superficie agropecuaria y un 17,6 % superficie forestal.

Según el Servicio de Impuestos Internos a noviembre del 2018, en la comuna el 70,5 % de las empresas corresponden a micro empresas, 10,6 % de pequeñas empresas, 16 empresas medianas equivalentes a un 0,9 % y 6 grandes empresas. Mientras que los principales rubros ejercidos, correspondientes a un 87 % de los trabajos en empresas formales de la comuna son:

- 1.653 trabajadores del rubro enseñanza.
- 1.120 trabajadores del rubro comercio al por mayor y menor.
- 1.011 trabajadores del sector construcción.
- 910 trabajadores ligados a la agricultura, ganadería, caza y silvicultura.

2.1.3. Agricultura mapuche en la Araucanía

De acuerdo a la información entregada por el VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal (2007), en la región de la Araucanía existen 58.069 explotaciones agrícolas censadas, de las cuales el 76 % están en la provincia de Cautín y el 24 % en Malleco. De estas explotaciones agrícolas el 60 % de sus representantes se auto declara mapuche (34.615 explotaciones mapuche). En esta región se encuentran el 70 % del total de explotaciones mapuche y el 62 % de la superficie agrícola asociada a estas explotaciones. Respecto al uso del suelo, de los 2,9 millones de hectáreas de la región, el 25 % está con cobertura de bosque nativo, el 23 % con praderas naturales y en tercer lugar el uso forestal con un 20 %, mientras que aproximadamente un 10 % en cultivos agrícolas.

La actividad agropecuaria dentro de las comunidades indígenas es importante en cuanto al número de productores, pero no como principal fuente de ingresos a las familias. Ya que, en aproximadamente el 60 % de las comunidades, la actividad económica más recurrente en las familias que la componen es la producción agropecuaria. Sin embargo, solamente en la

mitad de ellas (30 % de las comunidades), la agricultura es la fuente principal de ingresos para los hogares indígenas rurales de la región. [2]

Otro aspecto interesante tiene que ver con el mayor porcentaje de productores mapuche que dependen económicamente de la explotación agrícola como fuente de ingreso, en comparación a los productores no mapuches. El 84 % de los productores mapuche viven de la explotación y los no mapuche sólo en un 58 % de los productores, lo que indicaría una mayor dependencia de la actividad agrícola y una menor cantidad de predios en los cuales no viven los propietarios o con monocultivos forestales.

2.1.4. Geomorfología de la comuna

Según SERNAGEOMIN (2000), la geomorfología del territorio de Nueva Imperial esta compuesto por suelos inestables y de baja resistencia a las inclemencias climáticas, por lo que son altamente susceptibles a la remoción en periodos de lluvia. Los depósitos de carácter aluvial constituyen una fuente de materiales para la construcción y reservorios de agua.

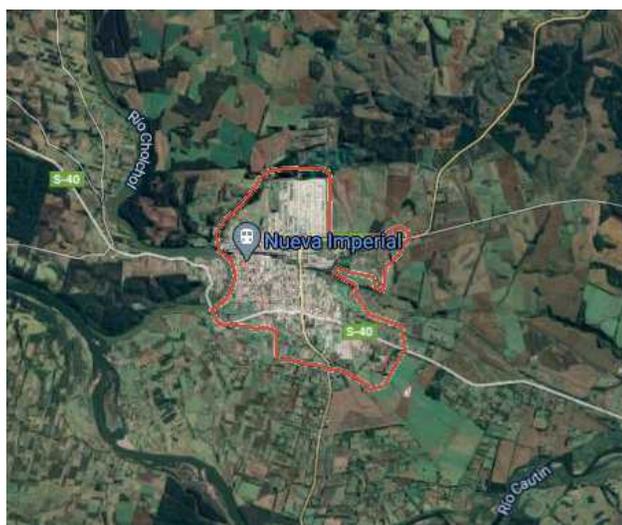


Figura 2.2: Mapa satelital comuna de Nueva Imperial. Fuente: Google Maps, 2020

La comuna de Nueva Imperial cuenta con un relieve caracterizado por el predominio del valle central con amplias zonas de planicies onduladas que forman parte de la cuenca del Río Imperial. Mientras que al norte del territorio la cordillera de Nahuelbuta se presenta como un cordón de cerros que no superan los 1.500 metros de altitud, siendo su composición principal material de carácter granítico y metamórfico, altamente susceptibles a la erosión.

El territorio comunal se caracteriza por constituir una extensa cadena de suelos arcillosos, muy antiguos, que dominan prácticamente en toda el área. Específicamente en el área sur de la comuna coexisten suelos rojos, arcillosos y transicionales a andisoles (trumaos). Los primeros son derivados de cenizas volcánicas antiguas y corresponden al tipo de suelo de lomajes. Los suelos trumaos son suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas modernas, son suelos de profundidad media a alta y buen drenaje en posición de lomaje.

2.1.5. Clima e hidrografía

Nueva imperial, pertenece a la macro zona agroclimática del secano interior, que se caracteriza por ser de clima templado, cálido lluvioso, con variaciones determinadas por factores de latitud y disposición al sur oriente de la cordillera de Nahuelbuta e influencia marina, que se extiende desde las planicies litorales hasta la precordillera de la región. El sector se caracteriza por un período sin lluvias de 5 a 6 meses durante la primavera y el verano, con altas probabilidades de déficit de agua entre diciembre y marzo.

Los ríos que confluyen en la comuna son el río Chol Chol, el cual se extiende por 26,3 km. por la comuna; el río Cautín 17,5 km y Quepe 12,6 km., estos tres ríos dan forma al río Imperial con una extensión de 12,8 km. en la comuna y un caudal como promedio anual, de más o menos, 600 m³/seg.

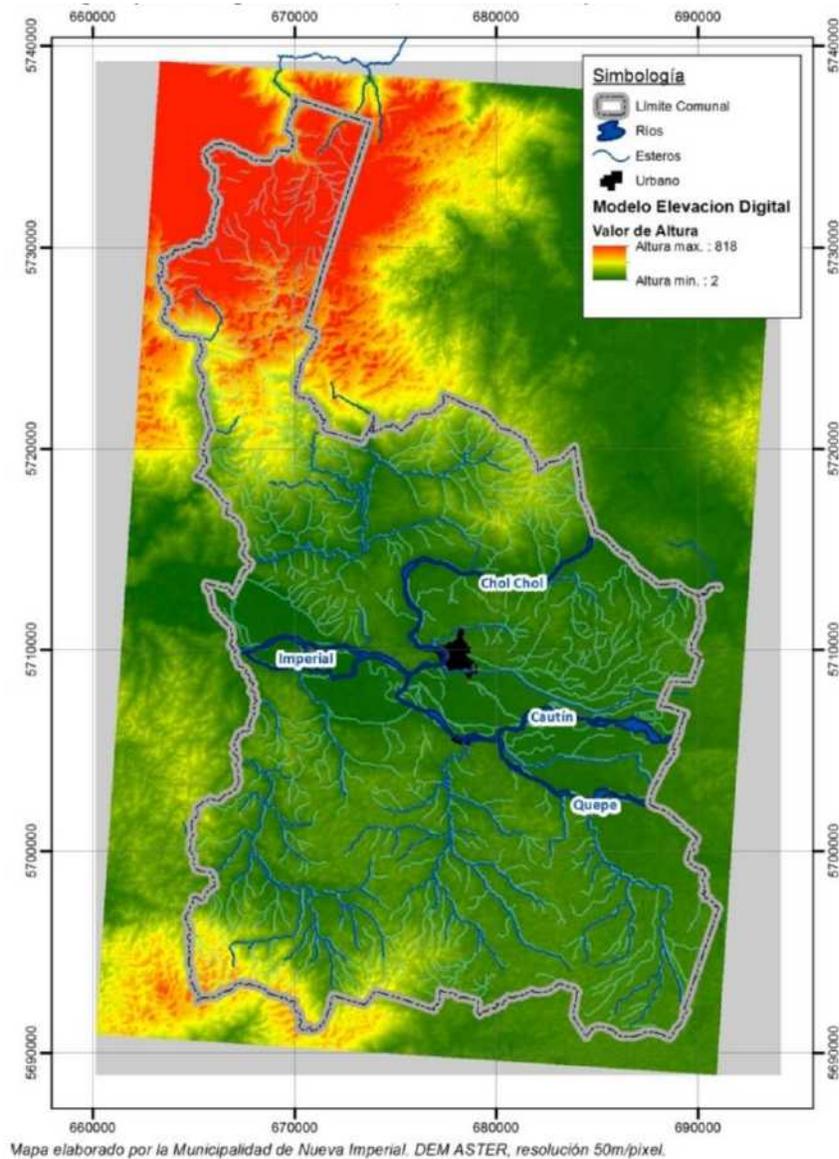


Figura 2.3: Mapa hidrográfico y elevaciones de Nueva Imperial. [3]

En el sector de Nueva Imperial se reúnen los acuíferos procedentes desde el norte y este, para escurrir a través de rocas paleozoicas de nula permeabilidad junto al río Imperial, hasta su desembocadura en Puerto Saavedra. Este último tramo, destaca por la alta productividad de los pozos y baja profundidad del nivel freático.

2.1.6. Contexto energético

En la comuna de Nueva Imperial no existen centrales de generación eléctrica. Se encuentra una subestación primaria de distribución llamada Nueva Imperial, propiedad de Frontel, la cual abastece de suministro eléctrico a las comunas de Nueva Imperial, Carahue, Saavedra, Toltén y Barros Arana. Se encuentra presente en la comuna la Empresa Eléctrica de la Frontera S.A. (Frontel) y la nueva Compañía Distribuidora de Energía Eléctrica (Codiner).

El consumo eléctrico total de Nueva Imperial (2015) es de 27.429 [MWh] y un promedio mensual de 2.285,73 [MWh], siendo agosto el mes con el valor más elevado con 2.535,87 [MWh] y enero el valor más bajo con 2.089,61 [MWh]. Las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con energía eléctrica son 3.487 [tonCO₂e/año] en total en la comuna.

El consumo del sector hogares de Nueva Imperial corresponde a un 44 % del total del consumo comunal, equivalente a 11,5 [GWh] anuales, con un total de 11.445 clientes. El consumo más relevante está compuesto por aquellos clientes con tarifas contratadas de alta tensión, lo que indica que se refiere al sector industrial de la comuna. El consumo durante el año 2015 representó 12,4 [GWh], correspondiente a un 45 % del total del consumo total de Nueva Imperial. Finalmente, el tercer consumo más incidente en la comuna es el que compone al alumbrado público, lo que representó un 4 % del total.

La comuna de Nueva Imperial posee una estrategia energética local desarrollada en el marco del "Programa Comuna energética", del Ministerio de Energía. Para propiciar el desarrollo de proyectos relacionados con eficiencia energética y energías renovables. Esta estrategia presenta un completo análisis de la situación actual y potencial energético en la comuna. Este programa se enmarca dentro de la Estrategia energética local Nueva Imperial [4].

2.1.7. Potencial solar

El programa Comuna Energética, realiza un análisis de potencial para la energía solar a partir de fuentes como la Norma Técnica de distribución solar mínima de sistemas solares de la CNE, el explorador de energía solar del departamento de geofísica de la FCFM y el SEREMI de energía de la Araucanía. Este análisis multicriterio considera la radiación solar, cercanía a la red vial, aptitud agrícola, sitios prioritarios para la conservación de la naturaleza, y líneas de distribución eléctrica. En el mapa 2.4 permite observar el potencial de una planta solar a lo largo del territorio de la comuna.

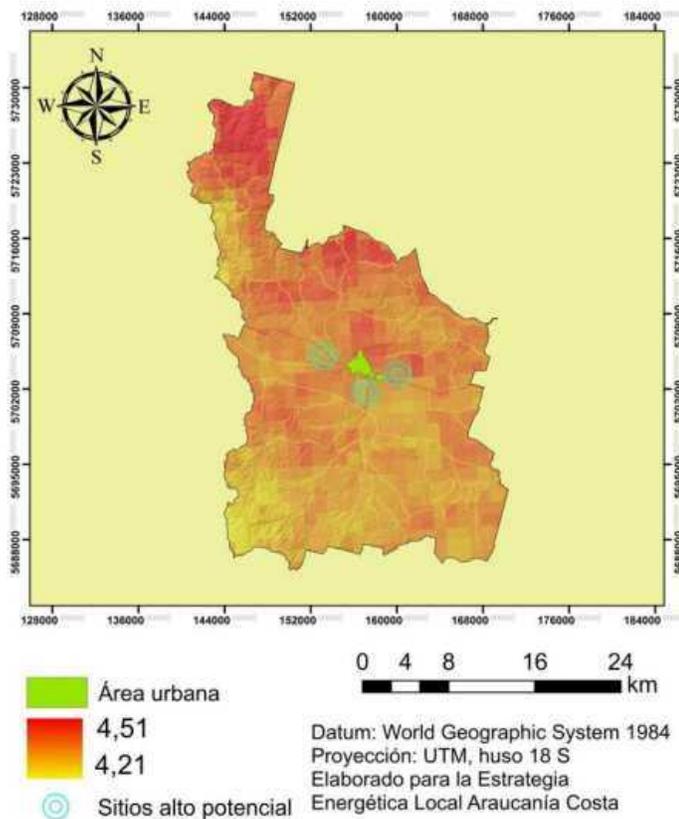


Figura 2.4: Mapa de sitios con potencial de emplazamiento de proyectos de energía solar. [4]

Donde los sitios escogidos presentan pendientes menores de 10 grados y se encuentran cercanos al principal centro urbano de la comuna, redes eléctricas de distribución y caminos. Adicionalmente dichas zonas no pertenecen a las clases de uso de suelo I, II, III de alto potencial agrícola. En general todos los sitios poseen una radiación solar promedio anual mayor a los $4,3 \text{ [kW/m}^2/\text{día]}$.

2.1.8. Potencial eólico

Para el análisis del recurso eólico se utilizó la información generada por el Explorador Eólico desarrollado por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, el cual se basa en el modelo Weather Research and Forecasting (WRF), que entrega datos simulados para el año 2010, mediante un modelo atmosférico de mesoescala. El análisis geográfico del potencial de generación de una planta eólica pondera factores como velocidad del viento, factor de planta, altitud, pendiente, clase de suelo y cercanía a cuerpos de agua, centros urbanos y zonas protegidas. El mapa 2.5 permite observar el potencial de una planta solar a lo largo del territorio de la comuna.

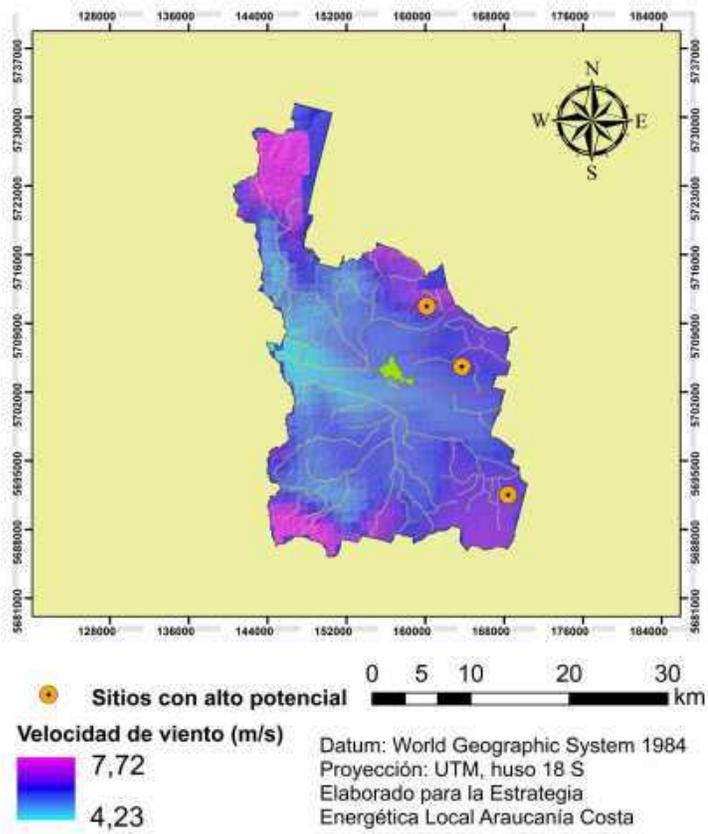


Figura 2.5: Mapa de sitios con potencial de emplazamiento de proyectos de energía eólica. [4]

2.2. Riego Aeropónico

El sistema de riego aeropónico es un sistema de cultivo de plantas que crecen en el aire con la ayuda de soportes artificiales en lugar de tierra o sustrato. Esta planta crece en un ambiente aire-agua, técnica en la que se cuelgan las partes inferiores de las plantas, como las raíces dentro de una cámara de crecimiento en completa oscuridad, donde son irrigadas con agua en pequeñas porciones. Mientras que las porciones superiores de la planta, como hojas, frutos y la corona se extienden fuera de la cámara de crecimiento.

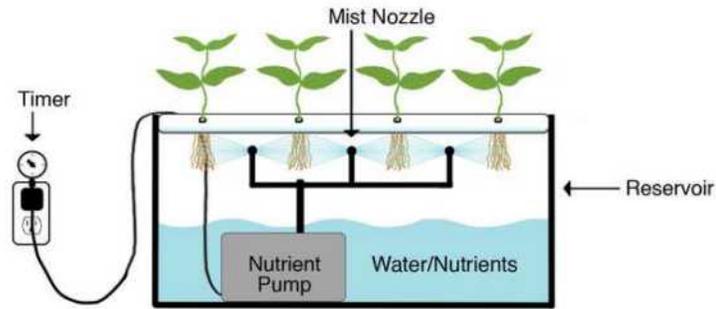


Figura 2.6: Esquema sistema de riego aeropónico. Fuente: steemit.com

La descripción del riego aeropónico realizada a continuación se basa en diversos artículos obtenidos vía Science Direct, [5],[6] y [1]. Además del estudio presentado por New Phytologist [7].

Diversos estudios sugieren que en comparación con el cultivo basado en el suelo, la producción sin suelo es más rentable, posee mayores rendimientos y cosechas más rápidas en áreas más pequeñas de terreno. Además, facilita muchos beneficios socio-económicos, incluirlo puede hacer frente a los crecientes desafíos alimentarios mundiales, la mitigación de cambios ambientales, gestión y utilización eficiente de los recursos naturales disponibles.

La técnica es económica en el uso de fertilizantes y ahorra solución de agua nutritiva en comparación con otros sistemas sin suelo. Se han practicado estudios sobre la técnica para el cultivo hortícola, raíz de hierbas y medicinas a base de raíces. Estos estudios informaron que en un sistema aeropónico, las raíces de la planta se nutren rápidamente de los nutrientes disponibles en condiciones controladas. Estas condiciones consideran la concentración uniforme de nutrientes, tamaño de gota, EC (conductividad eléctrica) y pH, temperatura, humedad relativa, intensidad de la luz, tiempo de pulverización, intervalo de pulverización, y disponibilidad de oxígeno.

2.2.1. Atomizadores y tamaño de gota

Es fundamental seleccionar la boquilla de atomización adecuada para producir el tamaño de gota requerido. En el sistema aeropónico, el rango de tamaño de gota ideal para la mayoría de las especies de plantas está entre 30 y 100 micrones. Dentro de este rango las gotas más pequeñas saturan el aire, manteniendo la humedad niveles dentro de la cámara de

crecimiento. La sabiduría convencional es que las gotas de menos de 30 micrones tienden a permanecer en el aire como una niebla y no logran un crecimiento continuo de las plantas. Mientras que las gotas de tamaño superior a 100 micrones tienden a caer antes de contenerse en la raíz de la planta, y una gota demasiado grande significa que hay menos oxígeno presente en el crecimiento cámara.

Se han desarrollado diferentes atomizadores en varias disciplinas, con diferentes patrones de rociado y orificios para proporcionar pequeñas gotas de líquido. Los atomizadores se clasifican en alta, media y baja frecuencia de atomización. A continuación se detallan las 3 principales clases de atomizadores disponibles.

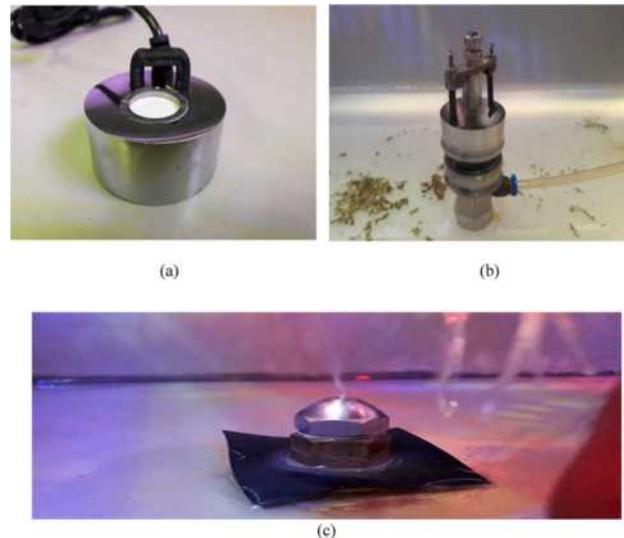


Figura 2.7: Atomizadores utilizados en sistemas aeropónicos. (a) Nebulizador ultrasónico; (b) Atomizador de alta presión y aire; (c) Atomizador a presión sin aire. [5]

a) Los nebulizadores de atomización ultrasónicos se utilizan para imitar condiciones artificiales ideales de humedad, de aire con neblina que se encuentran en selvas tropicales. Es un metal relativamente pequeño, dispositivo cubierto que consta de una carcasa de plástico, un adaptador AC/DC y un pequeño transductor ultrasónico piezoeléctrico. El transductor piezoeléctrico es el componente central que genera las vibraciones de alta energía a frecuencias de 0,5 a 3,0 [MHz]. Los nebulizadores de atomización se colocan en el centro del recipiente debajo de una a cuatro pulgadas de solución líquida. Producen una solución muy ligera, spray que flota alrededor del recipiente en el aire y rocía niebla espesa como nubes.

Los nebulizadores de atomización ultrasónicos tienen un alto rendimiento para el desarrollo vegetal. Sin embargo, son caros y difíciles de mantener. Requieren circuitos eléctricos especiales para impulsarlos, por lo que sus estructuras son muy complejas. Además, afectan las propiedades químicas de la solución nutritiva. Por ello los nebulizadores son adecuados para la jardinería de interiores.

b) Otra alternativa es el sistema de boquillas de atomización a altas presiones, el cual posee dos configuraciones, una que utiliza aire comprimido y otra que no.

La atomización a presión (Airless) es un método de aplicación de pulverización fina que no utiliza aire comprimido para atomizar el líquido. La descarga de la boquilla depende en el flujo de líquido, tamaño del cabezal de pulverización y presión bomba. Sin embargo, las boquillas de atomización se colocan en el centro de la cámara de crecimiento y conectadas con presión bomba para proporcionar agua nutritiva nebulizada. Mientras que las raíces están suspendidas por encima o dentro de la cámara y precipitan directamente con una neblina uniforme de nutrientes en el agua.

La atomización a alta presión con aire (Air Spray) es un método para crear una pulverización fina y que usa aire para atomizar el líquido. En la mayoría de los casos cuando se requieren pequeñas gotas, las boquillas de atomización de aire son operadas proporcionando aire a alta presión a través de un contenedor de aire comprimido. El aire compactado entrega energía para descomponer las partículas líquidas más grandes en muy partículas finas. El líquido se distribuye por el orificio en la boquilla de atomización, donde la corriente de aire a alta presión produce la fuerza de corte para romper las grandes moléculas de líquido. La corriente de aire que transporta las partículas finas choca con un resonador ubicado frente a la boquilla y genera un campo de ondas sonoras ultrasónicas de alta frecuencia. Su exposición hace que las gotas más grandes se rompan en un rocío fino. El tamaño de la gota depende de la frecuencia de funcionamiento.

Este sistema es más conveniente, simple de operar y mantener, la principal ventaja de la rápida adopción de este sistema es el bajo costo operativo. Aunque su costo inicial es elevado y el ruido audible producido por las boquillas de alta presión es extremadamente alto. Se recomiendan para usos a gran escala.

c) Por último las boquillas de baja presión es el sistema de aeroponía más común y utiliza agua a presión que se rocía sobre las raíces usando boquillas de fluido simples tipo aspersor. Sin embargo, las boquillas de atomización con pequeños orificios podrían crear problemas como la obstrucción de la boquilla que detenga el suministro de nutrientes del agua. Para evitar que el orificio de la boquilla se obstruya se utilizan filtros de malla. Mientras que las boquillas con orificios más grandes disminuyen las posibilidades de bloqueo de la boquilla, requieren alta presión para operar.

Estos aspersores son los más convenientes, ya que estas boquillas son baratas y fáciles de mantener, pero sus cantidades de atomización son pequeñas. Se recomiendan boquillas de atomización a baja presión para jardinería a pequeña escala.

2.2.2. Frecuencia de riego

En el sistema aeropónico, el tiempo de atomización y el tiempo de intervalo son factores esenciales para el éxito del cultivo de plantas. Como se comentó, el sistema de aeroponía se realiza sin suelo. Por tanto, es fundamental para el cultivador fijar el tiempo de pulverización de atomización y de intervalo basado en el requisito de la planta. El horario incorrecto podría crear serios problemas para el crecimiento de las plantas.

Muchos estudios de investigación han cultivado con éxito bajo diferentes tiempos de pul-

verización y de intervalo. Varían según las características de cada cultivo y para cada cultivo según la estación del año y horario del día. Por ejemplo se ha probado para el tomate un tiempo de pulverización de atomización e intervalo de 3 segundos encendido y 10 minutos apagado, 60 segundos encendido y 5 minutos apagado respectivamente. Además de otros como el pepino 7 segundos encendido y 10 minutos apagado y la lechuga 1,5 minutos encendido y 5 minutos apagado.

2.2.3. Humedad y oxigenación

El sistema aeropónico es la aplicación del crecimiento de las plantas sin suelo mediante la entrega de una solución nutritiva de agua en el aire. El sistema se basa en un 100 % de humedad disponible en la cámara de crecimiento. Además, la humedad es la cantidad de agua disponible en la cámara de crecimiento como vapor de agua contenido. En el sistema aeropónico, la humedad es la principal componente necesaria para el crecimiento y desarrollo exitosos de las plantas. Sin embargo, el crecimiento de la planta se ve afectado significativamente por el aumento y disminución de la humedad relativa, lo cual afecta las funciones fisiológicas de las plantas y crea problemas de enfermedades. Por lo tanto es importante mantener y controlar la concentración de humedad requerida de la cámara de crecimiento según la necesidad de la planta.

Por otro lado, el sistema de aeroponía busca proporcionar el mejor entorno de oxigenación para el crecimiento de la planta. Permite que las raíces de las plantas crezcan en el aire con un abundante suministro de oxígeno. Por tanto, no hay ningún mecanismo adicional necesario en este sentido.

2.2.4. Depósito de nutrientes

En el sistema aeropónico, el propósito del depósito de nutrientes es el de almacenar la solución. Se designa como separado o exterior e interior o dentro de la cámara de crecimiento. Las boquillas de atomización están conectadas a la línea de suministro a través de la bomba de presión para suministrar la solución a la cámara de crecimiento.

Si el depósito está afuera, la línea de drenaje sirve para reciclar el exceso de solución. Mientras que si está en el interior, las boquillas de atomización obtienen directamente el suministro de nutriente desde el fondo de la cámara de crecimiento, donde vuelve a gotear después de rociar el sistema de raíces.

2.2.5. Temperatura

La temperatura es el principal factor ambiental que influye en la frecuencia del crecimiento y desarrollo de las plantas. Influye no sólo en la etapa inicial de crecimiento sino también en período de cosecha. En el sistema aeropónico, tanto la temperatura del aire como la de la solución nutritiva debe controlarse para una rápida maduración de la planta. A medida que aumentan las temperaturas, los procesos químicos avanzan a velocidades más rápidas. La temperatura óptima para todas las plantas es de entre 15-25 [°C]. Sin embargo, la temperatura de la cámara de crecimiento no debe ser superior a 30 [°C] o menor a 4 [°C].

2.2.6. Iluminación

La intensidad y la calidad de luz, no solo proporciona la energía, sino que también proporciona numerosas respuestas morfológicas y fisiológicas para el crecimiento de las plantas. La luz natural proveniente del sol es la que ha permitido el desarrollo de todas las plantas, es la fuente lumínica presente en casi la totalidad de los cultivos. Sin embargo, debido a su variabilidad y condiciones de radiación sujetas a cambios climáticos y meteorológicos han impulsado la búsqueda de sistemas más resilientes. Recientemente el diodo emisor de luz (LED) se ha extendido como una nueva fuente de luz. El LED podría ser considerado como el mejor productor de luz para plantas en el sistema aeropónico. Proporciona luz con múltiples cualidades y efectos sobre el crecimiento vegetal en condiciones controladas. Considerando que, la luz LED tiene una masa y volumen más pequeños, buena vida útil, ahorro de energía, longitud de onda única y ancho de banda estrecho.

2.2.7. pH y CE

El pH se define como medida del grado de acidez o alcalinidad de una solución líquida. Mientras que la CE (Conductividad eléctrica) es una medida de todas las sales disueltas en agua, incluidas las añadidas al fertilizante. En la aeroponía, donde el agua y la solución de nutrientes se reciclan repetidamente es importante medir regularmente el pH y EC de la solución nutritiva para un buen crecimiento de las plantas.

El rango ideal de pH y CE para cada planta dependen de las condiciones ambientales disponibles, Aunque, los valores de pH y CE de la solución nutritiva preparada no puede exceder de 7 y 2.5 [$\frac{dS}{m}$] respectivamente. Los valores óptimos de CE y pH de la solución nutritiva en el sistema aeropónico se encuentran entre 1,5 y 2,5 [$\frac{dS}{m}$] y 5.5 a 6.5 ,respectivamente.

2.2.8. Monitoreo y control

Es evidente que el sistema de riego aeropónico requiere del monitoreo y control de diversos parámetros, los cuales usualmente son atendidos de forma manual en la agricultura común. Ante esto el uso de técnicas de monitorización y control automatizadas se alza como una solución que por otro lado, proporciona una variedad de información que podría ser requerida por los científicos para proporcionar una mayor comprensión de cómo estos parámetros ambientales y de nutrientes se correlacionan con el crecimiento de los cultivos.

La implementación de monitoreo avanzado mediante herramientas tecnológicas en aeroponía podría brindar una oportunidad para que el agricultor monitoree y controle varios parámetros sin utilizar instrumentos de laboratorio, todo de forma remota. Por lo tanto, podría reducir el concepto de utilidad del sistema debido al complicado proceso manual de seguimiento y control. La tecnología ofrece increíbles oportunidades para el riego aeropónico al aumentar la capacidad, confiabilidad y disponibilidad entre los agricultores y cultivadores.

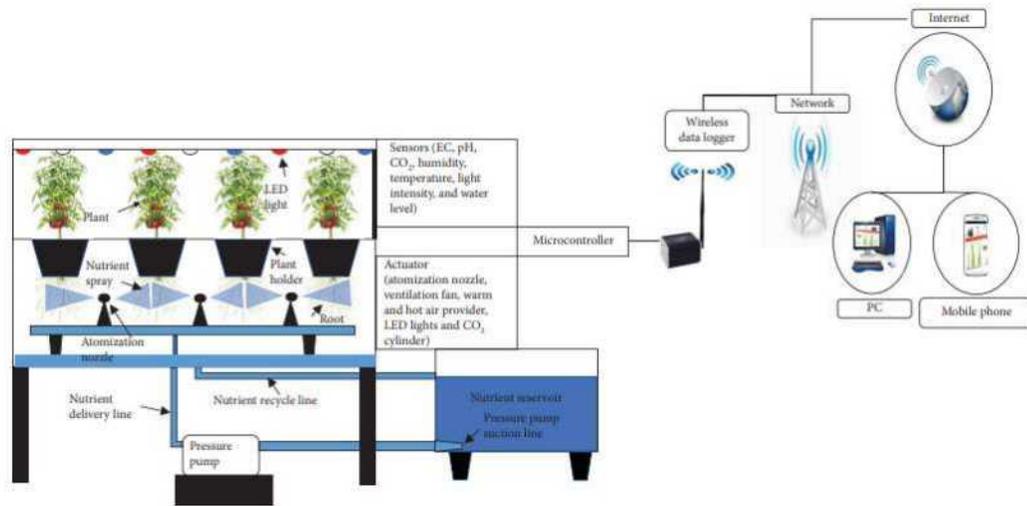


Figura 2.8: Esquema sistema de riego aeropónico controlado. [5]

2.2.9. Acumulación de agua

Existen distintas alternativas de acumulación de agua, esta depende del tipo de disposición estructural, ya que estructuras de tipo semillero o maceta pueden funcionar como estructura soportante y estanque de agua. Sin embargo, en general se utiliza un estanque de agua aislado, desde donde se extrae el agua de riego y regresa la no absorbida en la formación de un circuito cerrado.

El estanque debe tener capacidad suficiente para suplir de agua al sistema en tiempos de recarga determinados, donde se recomienda que no supere las 2 semanas. Cabe destacar que la recarga de agua al estanque significa la necesidad del control de la solución nutritiva, pH y EC. Por lo que, la capacidad mínima del estanque se puede calcular con la ecuación 2.1.

$$C_{MT} = D_D * N * C * K_e \quad (2.1)$$

- C_{MT} [L] = Capacidad mínima del tanque
- D_D [L/día] = Demanda diaria de agua por planta
- N [días] = Cantidad de periodos de autonomía
- C = Cantidad de plantas
- K_e = Factor de de seguridad por perdidas

2.2.10. Sistema de bombeo

La selección del tipo de bomba hidráulica está directamente relacionada al tipo de atomizadores seleccionados. Tal como se expone en 2.2.1 existen atomizadores que requieren del trabajo conjunto con sistema de inyección de aire o poseen diferentes presiones de trabajo.

La presión de trabajo de la bomba se determina por la presión de trabajo deseada de los atomizadores, presión que influye directamente en el desempeño y caudal de cada atomizador. En consecuencia el caudal de cada atomizador depende de su diseño y presión de trabajo, datos que el proveedor debe entregar en la ficha técnica del producto. Una vez conocido el caudal de trabajo de los atomizadores, el caudal mínimo requerido para la bomba hidráulica se puede determinar por la ecuación 2.2.

$$C_{MB} = C_{MA} * N \quad (2.2)$$

- C_{MB} [L/min] = Caudal mínimo bomba
- C_{MA} [L/min] = Caudal cada atomizador
- N = Cantidad de atomizadores

2.2.11. Pérdidas de carga

Un elemento al considerar la presión entregada por el sistema, es la pérdida de carga en la tubería, es decir, la pérdida de presión que se produce en el fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce.

Pérdida de carga primaria

Las pérdidas de carga primarias consideran las pérdidas por contacto entre fluido y superficie de la tubería, el roce de capas de fluidos con otras (en régimen laminar), o el roce entre partículas del fluido (en régimen turbulento).

Para el cálculo, se usa la siguiente ecuación.

$$H_{rp} = \lambda * \left(\frac{L}{D}\right) * \left(\frac{V^2}{2g}\right) \quad (2.3)$$

- H_{rp} [m] = Pérdida de carga primaria
- λ = coeficiente de pérdida de carga primaria
- L [m] = Largo de la tubería
- D [m] = diámetro de la tubería
- V [m/s] = Velocidad del fluido
- g [m/s²] = fuerza de gravedad

Pérdida de carga secundaria

Las pérdidas secundarias consideran aquellas que ocurren en estrechamientos o expansiones de la tubería, en los codos, válvulas u otro accesorio.

Considerando la instalación del sistema de tuberías determinado, se tienen pérdidas secundarias que se calculan usando la siguiente ecuación:

$$H_{rs} = \zeta * \left(\frac{V^2}{2g}\right) \quad (2.4)$$

- H_{rs} [m] = Pérdida de carga secundaria
- ζ = coeficiente de pérdida de carga secundaria
- V [m/s] = Velocidad del fluido
- g = fuerza de gravedad (9,81 [m/s^2])

2.2.12. Disposición estructural

La agricultura vertical es la práctica de cultivar frutas, verduras y plantas no comestibles en capas apiladas verticalmente o estructuras de varios pisos. Estas “granjas” hacen uso de estructuras cerradas como almacenes y contenedores para proporcionar un entorno controlado para el cultivo. A pesar de que no es una tecnología nueva, el avance de la tecnología y el aumento de los problemas de escasez de terrenos cultivables, los investigadores han avanzado en distintas disposiciones estructurales como alternativa de producción de alimentos.

Las estructuras básicas del sistema aeropónico en general son construidos utilizando madera, aluminio y material plástico. Por lo que se han desarrollado diversas estructuras para la disposición del sistema de riego aeropónico, el cual tiene principalmente cinco tipos de estructuras, tipo semillero, barril vertical, maceta, canaleta y pirámide. Estas estructuras son utilizadas en todo el mundo para el cultivo de diversos tipos de frutas, verduras y plantas medicinales.



(a) Semillero



(b) Barril vertical



(c) Maceta



(d) Canaleta



(e) Piramide

Figura 2.9: Ejemplos estructuras de cultivo. Fuente: conocerlaagricultura.com

2.2.13. Situación actual

Inicialmente el sistema aeropónico se practicó con fines comerciales, jardinería experimental y de cocina. En poco tiempo, el riego aeropónico se adaptó a muchas situaciones. Existen experiencias como la de China, el mayor productor de hortalizas en el mundo con grandes avances en la implementación de la aeroponía, conocimiento compartido que ha podido ser replicado en Chile, como es el caso de la empresa Hortipro, implementando el primer prototipo de aeroponía vertical en la Región de O'Higgins. Además cabe destacar el avance en el desarrollo de cultivos aeropónicos de tubérculos en el sur de Chile. El cual respecto al cultivo en el sustrato presenta grandes ventajas, tanto productivas como medioambientales.

Se han encontrado pocos sitios web involucrados con el negocio aeropónico a nivel local e internacional, ofreciendo varios tipos, tamaños y formas de sistemas aeropónicos. Sin embargo, las estructuras y sistemas disponibles son caros y mayormente dedicados a un uso de baja escala. Por lo que hasta ahora, el sistema no es popular entre productores locales.

Actualmente el cultivo aeropónico aún no ha sido adoptado en una escala más amplia y todavía es en su mayoría desconocido en varios países del mundo porque todavía hay mucha información oculta sobre el sistema, como las tareas de mantenimiento y desarrollo. Por tanto, los intentos estarían enfocados en proporcionar información sobre el desarrollo, mantenimiento tarea y beneficios del sistema aeropónico entre los agricultores y los comunidad local.

2.2.14. Suministro eléctrico

Los componentes eléctricos del sistema aeropónico requieren de un suministro continuo de energía para su funcionamiento. Por ello, en la siguiente sección se estudia como una alternativa la generación eléctrica solar fotovoltaica.

2.3. Generación eléctrica solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica aprovecha la radiación solar para ser transformada en electricidad. Es la fuente de energía solar más desarrollada en la actualidad y puede requerir de diversos componentes como los paneles, reguladores e inversores para su funcionamiento. Su sistema modular permite añadir o quitar potencia fácilmente, con sistemas fotovoltaicos capaces de producir energía a diversas escalas. No necesita de equipos de calor o rotativos, por lo que posee una larga vida útil y requiere de poca mantención. Además, no genera residuos gaseosos o sonoros.

El diseño de un sistema de generación solar fotovoltaica requiere de la evaluación de distintas variables, por lo que el Manual para el dimensionamiento y evaluación de un arreglo fotovoltaico monofásico a nivel residencial en Chile [8] sirve como guía para el desarrollo del presente proyecto. A continuación se detallan los parámetros más relevantes.

2.3.1. Panel fotovoltaico

Un módulo fotovoltaico es una estructura sólida encargada de capturar la energía proveniente del sol gracias a los fotones y convertirla en energía eléctrica. Su fuente energética son las celdas fotovoltaicas, semiconductores como el silicio, las cuales mediante el efecto fotoeléctrico se encargan de liberar un electrón una vez que un fotón proveniente del Sol (en su mayoría radiación infrarroja y visible) impacta sobre ellas para ser absorbido y producir una corriente.

Principalmente existen tres tipos de paneles fotovoltaicos. El primero es el de fabricación monocristalina donde la celda entera es un solo cristal implicando que los átomos estén perfectamente alineados. Su proceso es costoso y tiene grandes insumos eléctricos, por lo que incrementa el valor comercial de cada celda, y su eficiencia suele variar entre un 15-19%. Por otro lado, la celda de fabricación policristalina deriva de un proceso más simple y económico, lo que resulta en que se presente una estructura ordenada solo por regiones en donde los átomos manifiestan diferentes orientaciones. Su eficiencia suele variar entre un 13-15%. Por último están las celdas de fabricación amorfa, las que son creadas con un método totalmente diferente que resulta en una celda flexible capaz de adaptarse a diferentes superficies y más económica que las anteriores. Donde su eficiencia suele variar entre un 7-12%.

2.3.2. Orientación

Es importante considerar ciertos parámetros de orientación para el dimensionamiento de una planta fotovoltaica. Esto se debe principalmente a la órbita elíptica que sigue la Tierra entorno al Sol y a las condiciones atmosféricas. Ya que, entre mayor es la irradiancia y el tiempo en que un módulo fotovoltaico es irradiado, mayor será la generación de energía eléctrica.

Los parámetros orientativos a determinar son los siguientes:

- Latitud ϕ [°]: Es la distancia angular entre la línea ecuatorial y un punto determinado de la Tierra a lo largo del meridiano en que se encuentra dicho punto.

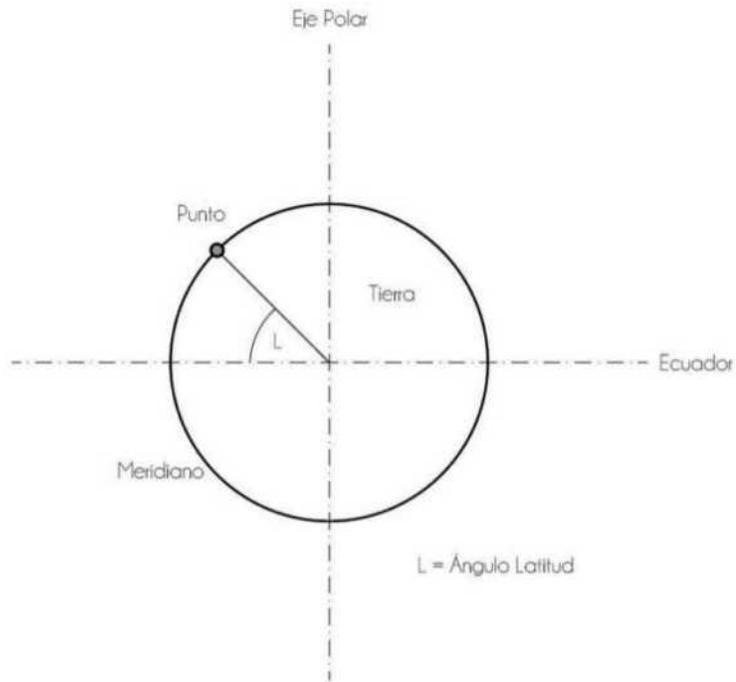


Figura 2.10: Latitud. [8]

- Longitud λ [°]: Es la distancia angular entre el meridiano de Greenwich y un punto determinado de la Tierra a lo largo del paralelo en que se encuentra dicho punto.
- Azimut ψ [°]: Es el ángulo que se mide entre el norte y la proyección de un punto en el plano horizontal (Sol).

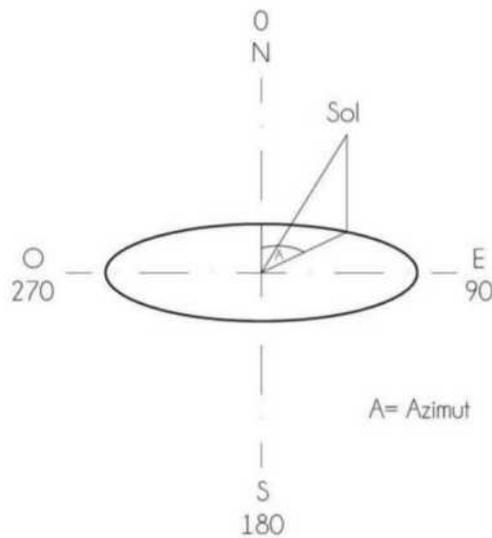


Figura 2.11: Azimut. [8]

- Inclinación β [°]: Es el ángulo que se forma entre el plano del panel y el plano horizontal.

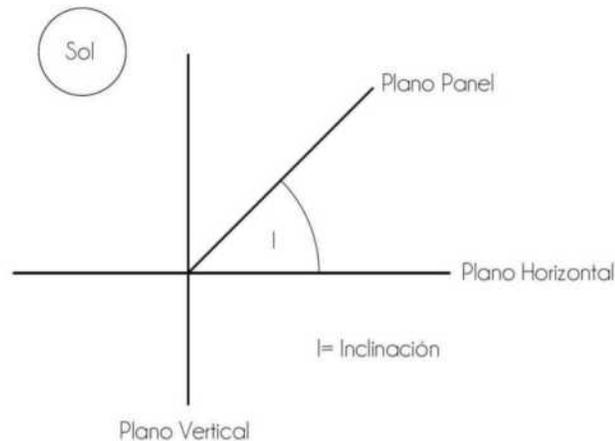


Figura 2.12: Inclinación. [8]

2.3.3. Sistemas interconectados y autónomos

Un sistema fotovoltaico suele estar sujeto a dos tipos de conexiones: autónomo o interconectado. Cuando el sistema fotovoltaico es del tipo autónomo, significa que está desconectado de la red eléctrica. Normalmente posee un módulo fotovoltaico, un regulador de carga y un banco baterías, aunque puedan prescindir de los últimos dos. Este tipo de sistemas pueden ser utilizados para alimentar satélites, equipos de telecomunicaciones, sistemas de bombeo de agua, viviendas sin acceso a la red y otros.

Mientras tanto, un arreglo del tipo interconectado está a la red, y en conjunto alimentan las fuentes de consumo. Debe tener un inversor para procesar la energía a los parámetros de la red. La gran ventaja del sistema interconectado es que no necesitan baterías ya que en horas donde no existe irradiancia, o es insuficiente, la red abastece el consumo.

2.3.4. Banco de baterías

Una batería es cualquier tipo de sistema de almacenamiento energético. En este caso la energía química acumulada se convierte en energía eléctrica mediante una celda galvánica. Actualmente se ofrecen tres tipos de batería que según su construcción del tipo húmeda, gel y AGM (o secas).

Las baterías húmedas son las más comunes, se ofrecen de todos los tamaños y sus diseños permiten diferentes usos. Se encuentran sin sellar, por lo que requieren una mantención constante de la que hay que tener mucho cuidado debido al riesgo de posibles derrames de ácido. Como medida de precaución se deben guardar en una caja de baterías con ventilación apropiada. Lo positivo es que su precio se aproxima al 50 % de las baterías de gel o AGM, ambas de ciclo profundo.

Las baterías de tipo cerradas sin necesidad de mantención son las de gel o AGM, la primera de estas se especializa en aplicaciones de gran descarga. Un electrolito viscoso previene

cualquier fuga de ácido en caso de que las celdas se encuentren dañadas, a diferencia de las húmedas, necesitan menos ventilación y su descarga en flotación es un poco menor. Son útiles para temperaturas altas y una gran profundidad de descarga a baja intensidad.

Las baterías de gel poseen serias desventajas. Una de ellas es que deben ser cargadas a velocidades lentas para prevenir que cualquier exceso de gas perjudique las celdas. Por otro lado, su voltaje de carga es aproximadamente 5 veces menor a las baterías del tipo AGM y húmedas, lo que significa que en condiciones de sobrecarga se generaran vacíos en la batería produciendo una pérdida en la capacidad de estas que jamás podrá ser recuperada y llevando a una muerte prematura que puede variar entre 2 y 4 años.

A un precio menor que las baterías de tipo gel, se encuentran las del tipo AGM (absorbed glass mat). Este tipo de baterías están diseñadas con un electrolito captivo por hojas de fibra de vidrio, lo que vuelve imposible las fugas en caso de ruptura. Entre sus ventajas, se encuentra un voltaje de carga superior, una corriente de descarga superior, resistencia a las vibraciones, una resistencia interna extremadamente pequeña, una descarga en flotación que varía entre un 1-3 % mensual, mejor rendimiento a bajas temperaturas y más.

El dimensionamiento de una batería considera el estudio de la capacidad de carga eléctrica. Esta capacidad esta dada por la ecuación 2.5.

$$C_C = N * k_B * \frac{E_C}{V_{BB} * DOD} \quad (2.5)$$

- C_C [Ah] = Capacidad de carga eléctrica
- N = Cantidad de periodos
- k_B = Factor de seguridad.
- E_C [Wh] = Consumo eléctrico estimado
- V_{BB} [V]= Voltaje banco de baterías
- DOD = Porcentaje de descarga

Donde C_C es la capacidad mínima que requiere tener el banco de baterías para suplir el consumo eléctrico estimado E_C , N es la cantidad de periodos (días) que se quiera tener de respaldo. Mientras que k_B es un factor utilizado por las posibles perdidas de los componentes y diferencias de parámetros, suele variar entre 1,1-1,2. V_{BB} Corresponde al voltaje del banco de baterías y suele variar entre 12-24-36-48 [V], con un DOD , porcentaje recomendado por el fabricante, que varía según la vida en ciclos óptima para la batería.

2.3.5. Regulador de carga

El regulador de carga es un dispositivo electrónico cuya función es controlar la carga de las baterías para garantizar que se realiza un llenado óptimo y así alargar su vida útil. El regulador de carga solar se instala entre el campo fotovoltaico y las baterías. Actualmente en

el mercado existen dos tipos de reguladores de carga: PWM y MPPT.

Un regulador de carga PWM realiza una modulación por pulsos y únicamente trabaja de corte de paso de energía entre los paneles y las baterías cuando se han cargado completamente. Los módulos trabajan a la tensión que esté cargada la batería, lo cual se traduce en pérdidas de energía.

Los reguladores de carga MPPT, además de cortar el paso de corriente hacia la batería cuando se encuentra cargada, recibe la producción máxima del panel haciéndolo trabajar en su punto máximo. Internamente ajusta ese voltaje, que siempre es superior al requerido por la batería al voltaje necesario con una gran eficiencia en la conversión, ganando intensidad conservando la potencia total de producción. Ya que este regulador trabaja con los módulos a la tensión que más se adecúe en el momento para así extraer la máxima potencia o limitarla en fases de absorción o flotación.

Al elegir un regulador de carga es importante seguir las instrucciones de los fabricantes. El proveedor de componentes de sistemas solares fotovoltaicos, Hissuma Solar entrega algunas recomendaciones sobre la selección de reguladores de carga.

Las principales ventajas de un regulador PWM son su bajo precio, larga vida útil y gran variabilidad de tamaños y aplicaciones. En tanto los reguladores MPPT poseen una alta eficiencia de carga, son más confiables y sensibles para grandes tamaños, incrementando la vida útil tanto de paneles como acumuladores, además permiten una mayor versatilidad al trabajar con paneles en serie o paralelo.

En base a las características de cada tipo de regulador se aconseja que para aplicaciones pequeñas como el alumbrado de una casa se utilice PWM, en cambio si la instalación es más potente se recomienda utilizar MPPT, ya que se tendrá un mayor rendimiento y se cuidarán mejor los componentes.

2.3.6. Inversor

La función del inversor es captar la corriente continua y transformarla en corriente alterna, apta para el consumo de la mayoría de los equipos existentes o para la conexión directa inyectando la corriente a la red. Esto significa que en caso de requerirse solo corriente continua se puede prescindir del inversor.

Los inversores se pueden categorizar según su tipo de conexión a la red, lo cual se divide en 3 categorías. El primero es para un sistema netamente interconectado, es decir, que no considera el uso de baterías. El segundo, es un inversor híbrido capaz de conectarse a la red y cargar baterías. Por último, el tercero es un inversor con un regulador de carga MPPT integrado, lo que permite utilizarlo en sistemas autónomos.

2.3.7. Cableado

Respecto a la selección del cableado, este está dado por el voltaje y corriente que se transmite, además es importante que sea resistente al ambiente al que está sometido. Para

ello los fabricantes entregan fichas técnicas para especificar sus capacidades de transmisión. En caso de utilizar la corriente alterna la Norma Chilena de Electricidad N°4/2003, esta establece que la sección mínima que se debe utilizar en circuitos de potencia es 1,5 [mm²]. Por otra parte para la etapa de corriente continua el cable debe ser seleccionado de tal manera que la caída de tensión sea menor a 1%. Donde el grosor del cable debe estar dado por la ecuación 2.6.

$$S = \frac{\rho * 2L * I}{0,01V} \quad (2.6)$$

- S [mm²] = Grosor del cable
- ρ [mm²/m] = Resistividad del material
- L [m] = Longitud del cable conductor
- I [A] = Intensidad de la corriente
- V [V] = Tensión máxima del sistema

Se recomienda instalar la planta fotovoltaica lo más cercana al sitio de consumo de manera que se reduzcan los precios tanto en cableado como por pérdidas de transmisión, con el fin de buscar maximizar el beneficio generado. Para distancias cortas estas perdidas son cercanas al 0%.

2.4. Contexto agrícola productivo local

Finalmente el estudio de los antecedentes requiere estudiar el contexto productivo agrícola de los cultivos de miembros de una comunidad mapuche. Asimismo, se requiere conocer la opinión de los involucrados respecto al diseño y operación del sistema.

El proyecto cuenta con el apoyo de José Valeriano Lincopi Caniulempi, agricultor, miembro de la comunidad indígena Juan Puen 2, sector Mañío Pichihue, Nueva Imperial. Además de la ayuda de la agrónoma, encargada y funcionaria de la Municipalidad de Nueva Imperial, Esmeralda Vásquez Ruiz. A partir de su apoyo, la realización de consultas y una visita presencial, se pudieron obtener datos y observaciones sobre el contexto y funcionamiento productivo agrícola de la parcela.

En el anexo E.1 se encuentra una copia de la consulta realizada de forma remota y completada en conjunto por José Lincopi y Esmeralda Vásquez. Mientras que en el anexo C.1 hay fotografías de la visita realizada en septiembre del 2021.

El emplazamiento se encuentra en un sector rural, aproximadamente a una hora del centro de la comuna de Nueva Imperial. José Lincopi cultiva mayormente frutillas al aire libre, regadas con agua de un estero colindante al terreno. Sin embargo, el estudio se enfoca en el funcionamiento de 4 naves de invernaderos tipo capilla cuyas características se pueden observar en detalle en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Antecedentes productivo agrícolas. Fuente: Elaboración propia

Datos Invernadero	
Largo	40 [m]
Ancho	6 [m]
Alto lateral	
Alto central	4 [m]
Cantidad	4
Dirección	Este-Oeste
Acceso a red electrica	Sí
Principales cultivos	
1°	Pepinos
2°	Tomates
3°	Cilantro
Sistema de riego	
Origen	Pozo
Sistema	Goteo
Fertilizantes	
Fertilización base insumo orgánico, compost o bocachi	1 [kg/m2]
Fertilización química Ultrasol producción al riego	50 [kg/temporada]
Pesticidas (Dos aplicaciones por temporada)	
Fungicida Phyton	1 [cc/L de agua]
Insecticida Troya	1 [cc/L de agua]

Por otro lado se tienen los siguientes comentarios sobre el funcionamiento:

- Como elementos de apoyo se utilizan cintas de riego, cinta garetta y alambre para guiar tomates y pepinos
- Que el invernadero sea tipo capilla permite sostener las plantas de tomate desde su estructura
- Para la obtención de semillas y almácigos el usuario compra la semilla de una agro comercial y tiene un invernadero especial para el establecimiento de plantines
- Para instalar el piloto se puede usar un espacio de 4x2 [metros] en el invernadero de plantines, el cual tiene acceso a conexión eléctrica y agua de pozo
- En el invernadero de plantines también se cultivan lechugas hidropónicas
- Se producen cortes eléctricos esporádicos y pueden llegar a durar varios días

2.5. Resumen

El presente capítulo permite comprender los antecedentes sobre el proyecto de riego aeropónico, su funcionamiento y el contexto del emplazamiento. Además del uso de energía solar como suministro eléctrico.

Respecto al contexto, Nueva Imperial es una comuna con una alta presencia de comunidades mapuche, de las cuales su principal fuente de ingresos es la agricultura. Su relieve se caracteriza como un valle central con amplias planicies onduladas, que posee un clima templado, cálido lluvioso.

Por otro lado, se estudia específicamente el predio donde se instala el proyecto. Posee 4 invernaderos donde generalmente se cultivan tomates y pepinos, se utiliza un sistema de riego por goteo, con agua de pozo.

En tanto, el riego aeropónico es un sistema de cultivo sin sustrato, donde los cultivos crecen en un ambiente aire-agua, a través del control de diversos parámetros, como la humedad, temperatura y solución nutritiva. Esta tecnología supone diversas ventajas como una alta eficiencia hídrica, de igual modo que una serie de desafíos como la falta de disponibilidad comercial y de información libre sobre su manejo.

El sistema aeropónico requiere de un suministro eléctrico continuo. Por lo que se plantea la generación solar fotovoltaica como una alternativa limpia y confiable, en un emplazamiento donde los cortes de la red eléctrica serían altamente perjudiciales para los cultivos.

Los antecedentes y marco teórico aquí planteados son la base para el diseño del sistema de riego aeropónico, el cual se desarrolla en el siguiente capítulo.

Capítulo 3

Diseño

El presente informe detalla el diseño de un piloto de sistema aeropónico de riego a utilizar en una comunidad mapuche. Se plantea un modelo funcional de baja escala que permita analizar su funcionamiento.

3.1. Planteamiento del problema

A partir de los antecedentes antes expuestos se define que el proyecto consiste en un piloto de sistema aeropónico de riego enfocado en el cultivo de tomates y pepinos. Asimismo se plantean los principales requerimientos del sistema:

- Dispone de un espacio de 4x2 [metros] para ser instalado
- Permitir un acceso cómodo y sencillo a los cultivos
- Mantener humedad óptima en sistema radicular
- Mantener una temperatura óptima en sistema radicular
- Restringir acceso de luz solar a sistema radicular
- Proporcionar óptimo ambiente de oxigenación
- Optimizar captación de luz solar de las hojas
- Permitir y fomentar el crecimiento de los cultivos
- Mantener un pH y EC óptimos
- Satisfacer demanda de solución nutritiva
- Permitir una configuración manual de la frecuencia de riego
- Contar con suministro de energía eléctrica

3.1.1. Parámetros de diseño

El diseño se divide en 3 secciones, las cuales agrupan los principales focos de diseño. Estas secciones se detallan a continuación:

Sistema de riego

El sistema de riego se encarga del funcionamiento de los componentes dedicados a nutrir los cultivos, mediante el manejo de agua de riego y solución nutritiva. Esto significa el almacenamiento, distribución y bombeo de líquido a cada planta que lo requiera. Además del soporte estructural y disposición espacial de los cultivos.

Sistema de control

El sistema de control se encarga de monitorizar y administrar los componentes del sistema. Esto se realiza mediante la utilización de componentes electrónicos. Significa la selección de componentes, el diseño del diagrama de montaje y configuración de los componentes.

Sistema de generación eléctrica

El sistema de generación eléctrica se encarga de generar la energía eléctrica suficiente para el funcionamiento óptimo de todos los componentes del sistema. En esta sección realiza la labor de la selección, dimensionamiento y estudio de todos los componentes de generación y control eléctrico.

3.2. Sistema de riego

3.2.1. Disposición estructural

Como se puede observar en el punto 2.2.12 existen diversas disposiciones estructurales para un cultivo aeropónico. Para el cultivo de tomates y pepinos se requiere una formación de hileras, para tener un buen manejo de los cultivos, los cuales pueden variar significativamente su tamaño según la etapa de crecimiento. Por ello se descartan las estructuras de semillero, barril vertical y pirámide. Un modelo útil es el de macetas, sin embargo, se descarta debido a su alto costo y que la necesidad de complicados desagües conectados a cada maceta puede generar la proliferación de hongos. Así la estructura ideal para este propósito es de tipo canaleta, con una formación de hileras, funcionando como contenedor y desagüe.

En la figura 3.1 se puede apreciar la estructura soportante propuesta. Sus dimensiones generales de largo, ancho y alto son respectivamente 3000 [mm], 290 [mm] y 380 [mm]. Esta soporta el cultivo de 6 plantas, utilizando 12 atomizadores.

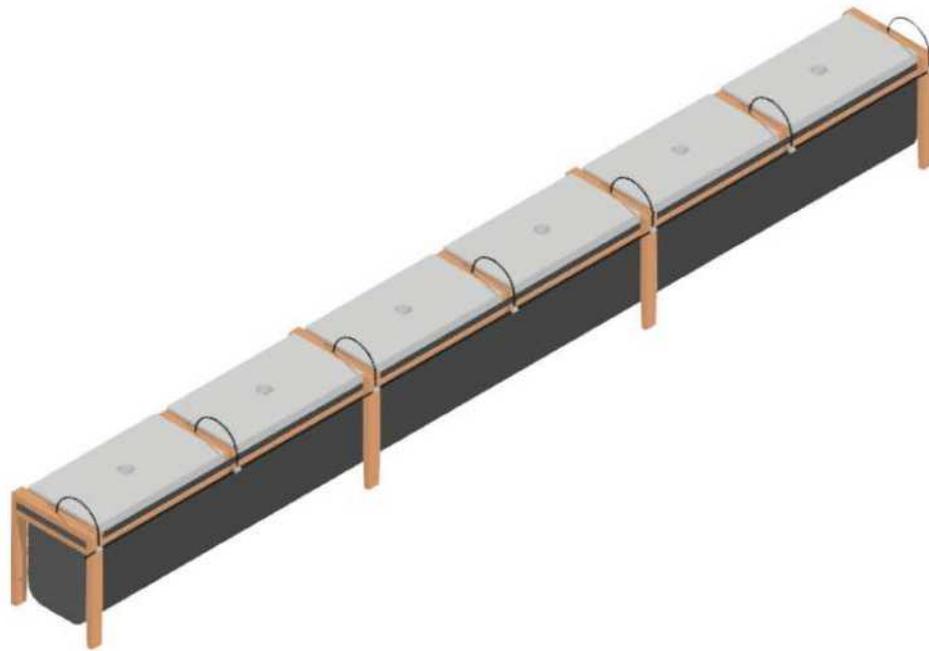


Figura 3.1: Estructura soportante. Fuente: Elaboración propia

La estructura si bien posee menor resistencia y estabilidad que la de un sistema hidropónico, no requiere soportar grandes esfuerzos, ya que no requiere la acumulación de agua. Mientras que los cultivos se guían y sostienen mediante uso de alambre y cinta garena atada a la estructura del invernadero.

Los materiales utilizados son tablas de madera, manga de polietileno y planchas de poliestireno, debido a su alta disponibilidad, bajo costo y peso. En tanto para la instalación de los plantines se utilizan cestas y esponjas utilizadas en la hidroponía. Cuyas dimensiones se pueden observar en la figura 3.2.



(a) Cesto



(b) Esponja

Figura 3.2: Cesto y esponja. Fuente: aliexpress.com

3.2.2. Atomizadores

Los atomizadores seleccionados son de acero inoxidable de 6 [mm] de conexión rápida, sin filtro. Se pueden considerar de alta presión al superar los 5 [bar], sin embargo, estos se comportan como atomizadores de baja presión al no utilizar aire comprimido y tener un bajo caudal. Lo que permite obtener un tamaño de gota deseable, con atomizadores más baratos y fáciles de mantener.



Figura 3.3: Atomizador conexión rápida sin filtro. Fuente: hidrotaller.cl

El caudal del atomizador depende de la presión y diámetro de orificio, donde el proveedor entrega los datos de operación vistos en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Operación atomizadores. Fuente: TecTec Store

Slip Lock Nozzle		Flow Rate (L/min)					Warm Reminder
Model	Orifice	3Bar	5Bar	7Bar	9Bar	15Bar	Working Pressure at 3-15Bar.
2#	0.2mm	0.015	0.019	0.022	0.025	0.034	
3#	0.3mm	0.026	0.037	0.057	0.061	0.072	
4#	0.4mm	0.049	0.061	0.072	0.086	0.113	
5#	0.5mm	0.061	0.073	0.083	0.092	0.124	
6#	0.6mm	0.071	0.081	0.088	0.099	0.134	
8#	0.8mm	0.083	0.092	0.98	0.107	0.144	

Para la selección del tamaño de orificio se debe considerar que un mayor tamaño significa un mayor caudal, por lo tanto, se requerirá menos tiempo funcionando el sistema para satisfacer las raíces, lo cual puede significar una ventaja desde la demanda de energía. En contraparte un menor tamaño de orificio entrega un menor caudal, por lo que se requerirá un mayor tiempo de funcionamiento de la bomba, sin embargo, la potencia necesaria será menor.

Por otro lado, el sistema requiere mantener la humedad en la cámara del sistema radicular, donde la evidencia [6] muestra la necesidad de riegos esporádicos cada no más de 20 minutos,

siendo más fácil de lograr con un menor caudal.

En base a lo anterior se selecciona un atomizador con un tamaño de orificio de 4 [mm].

3.2.3. Frecuencia de riego

La demanda de agua de los cultivos varía según su etapa de crecimiento y la variedad de especie cultivada, además de factores externos como radiación solar, nubosidad, humedad, viento, temperatura, entre otros. Por lo que el agricultor debe disponer un rango de frecuencias de riego para seleccionar según la etapa de crecimiento y la estación del año.

Para ello se disponen las siguientes frecuencias de riego:

Tabla 3.2: Frecuencias de riego. Fuente: Elaboración propia

Frecuencias de riego	
3 [seg] encendido	20 [min] apagado
4 [seg] encendido	20 [min] apagado
3 [seg] encendido	10 [min] apagado
4 [seg] encendido	10 [min] apagado
3 [seg] encendido	5 [min] apagado
4 [seg] encendido	5 [min] apagado

3.2.4. Estanque de agua

El dimensionamiento del estanque se plantea en la memoria de cálculo en el anexo A.1, donde se establece que debe tener una capacidad mayor a 99 [L].

La parte superior del estanque debe estar bajo el nivel inferior de la estructura de riego, para permitir el retorno del agua por gravedad. Asimismo es conveniente que sea bajo tierra, ya que esta funciona como aislante térmico. Para evitar la proliferación de bacterias y la oxigenación del líquido nutritivo, la entrada se instala en la zona superior, mientras que la salida en la zona inferior.

Se selecciona una caja megaforte 180 de Reyplast, con una capacidad de 124 [L]. La tapa de gran tamaño permite inspeccionar el estado del agua, la instalación de sensores, la limpieza y dilución de solución nutritiva. Si bien no está diseñada específicamente para la acumulación de agua, es lo bastante duradera y resistente para la aplicación que recibe.

3.2.5. Bomba hidráulica

El caudal mínimo de la bomba se determina en base al dimensionamiento realizado en el anexo A.2, el cual establece que el caudal mínimo de operación es de 0,732 [L/min].

La presión de trabajo necesaria para que los atomizadores nebulicen un tamaño de gota deseable debe superar los 5 [bar]. Asimismo al determinar la presión se consideran las pérdidas de carga según lo planteado en los antecedentes 2.2.11 y llevado a cabo en la memoria

de cálculo en el anexo A.3. Así es que se determina la presión de la bomba debe superar la presión necesaria de los atomizadores más las pérdidas de carga estimadas, es decir, 5,515 [bar].

En base a lo mencionado se selecciona una bomba de diafragma debido a que entrega elevadas presiones con un bajo caudal, con ciclos de trabajo intermitentes y durante cortos periodos de tiempo. Además de tener mayor disponibilidad para aplicaciones de baja escala.

La bomba seleccionada para esta labor es la bomba eléctrica de diafragma Keenso. Tiene una potencia de 60W. Los valores de sus principales características son entregadas por el proveedor y se pueden observar en la tabla 3.3



Figura 3.4: Bomba de diafragma 60W. Fuente: hubot.cl

Tabla 3.3: Características bomba de diafragma 60W. Fuente: hubot.cl

Parámetro	Valor
Voltaje	12 [V] DC
Potencia	60 [W]
Presión de admisión	-0.2 [MPa]
Presión nominal	0.8 [Mpa]
Flujo máximo	5 [L/min]
Distancia de succión	2 [m]
Capacidad de levante:	81 [m]
Peso neto	595 [gr]
Material	Plástico
Tamaño	17 x 10 x 6 cm

3.2.6. Tuberías y conexiones

El sistema comprende de un circuito cerrado de agua, es decir, el agua sobrante de la aspersión no absorbida por las raíces se captura y retorna al estanque de agua para reutilizarse.

El agua circula por efecto de la gravedad, debido a que el estanque se situa bajo el nivel de la estructura soportante.

Para el bombeo de agua a presión se selecciona una manguera de poliuretano de 6 [mm] de diámetro exterior y 4 [mm] de diámetro interior. La cual soporta una presión de trabajo de hasta 1 [MPa] y una temperatura de hasta 80 [°C]. Las conexiones utilizadas son de tipo PE (tee) y PV (codo), con entradas de 6 [mm], las permiten conectar tanto los atomizadores como la manguera.



Figura 3.5: Conexiones 6 mm. Fuente: hidrotaller.cl

Para el desagüe o regreso del agua al estanque se conecta un tubo de PVC de 32 [mm] de diámetro. La disposición de las conexiones se puede apreciar en la figura 3.6.

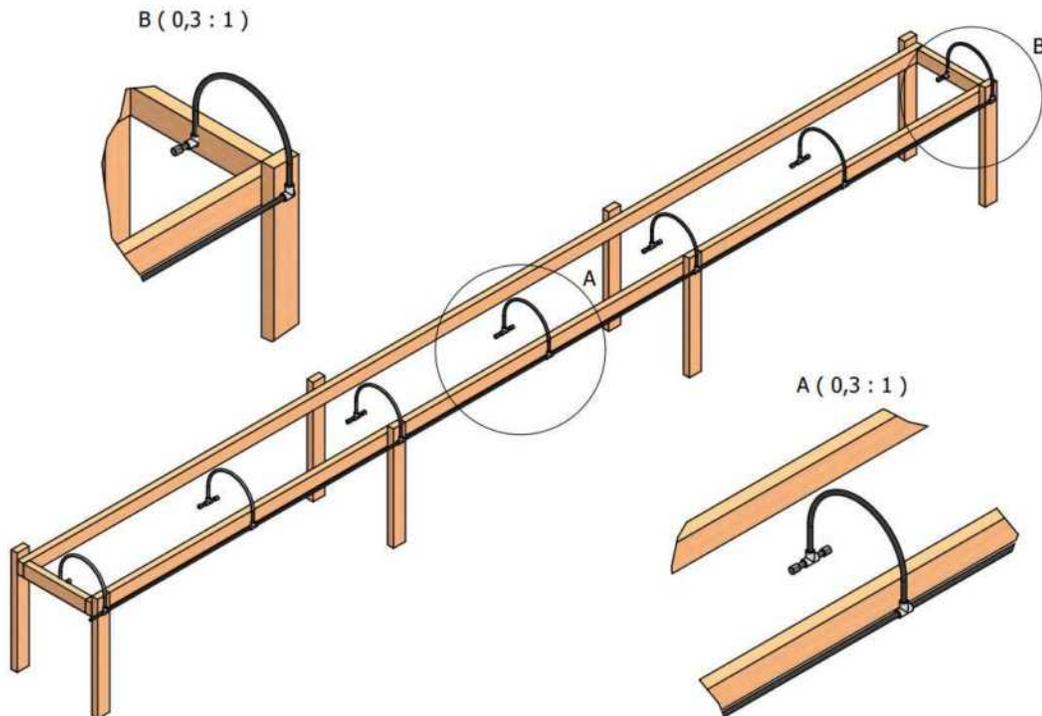


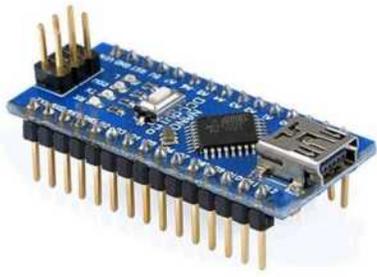
Figura 3.6: Diagrama conexiones. Fuente: Elaboración propia

3.3. Sistema de control

3.3.1. Componentes

A continuación se detallan los componentes electrónicos utilizados en el sistema (ver figura 3.7).

- Placa de Arduino Nano: Microcontrolador electrónico de código abierto, basado en hardware y software libre. Es el encargado de administrar los componentes del sistema, programado a través del ordenador. El modelo Nano se caracteriza por ser compacto, completo y compatible con protoboard. Tiene 14 pines de entrada/salida digital, 6 entradas analógicas, un cristal de 16Mhz, conexión Mini-USB, terminales para conexión ICSP y un botón de reinicio.
- Relé optoacoplador 5V: Funciona como electro interruptor, utilizado para encender y apagar la bomba de presión en periodos determinados.
- Sensores de nivel magnético flotante: Permite detectar el nivel de un líquido que ha llegado a la altura en donde él se encuentra.
- Módulo display LCD 1602: Pantalla LCD utilizada para la visualización. Cuenta con una interfaz I2C para simplificar la conexión de la pantalla con la placa arduino.
- Pulsadores: Botones utilizados en la cabina eléctrica para configurar manualmente la frecuencia de riego y visualizar el estado del estanque.
- Protoboard: Placa de prototipado rápido que facilita la creación y montaje de circuitos electrónicos.
- Resistencias 10 [kΩ]: Resistencias utilizadas para variar la corriente y el voltaje al accionar los pulsadores y sensores para una correcta lectura.
- Buzzer: Dispositivo que produce un sonido audible. Utilizado como alarma indicadora.
- Cables Dupont: Cables para protoboard, ideales para la realización de prototipos. Tienen terminales macho o hembra.



(a) Arduino Nano



(b) Módulo relé



(c) Sensor flotante



(d) Display LCD



(e) Pulsadores



(f) Protoboard



(g) Resistencia



(h) Buzzer



(i) Cables Dupont

Figura 3.7: Componentes electrónicos. Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Montaje

El diagrama del montaje electrónico se realiza con el programa Fritzing¹, el cual contiene en su biblioteca varios de los componentes utilizados. Los faltantes se importan, excepto los sensores flotantes, para lo cual se configura una nueva pieza, donde el icono es diseñado con el software Inkscape². El montaje se puede apreciar en la figura 3.8.

¹ <https://fritzing.org/>

² <https://inkscape.org/>

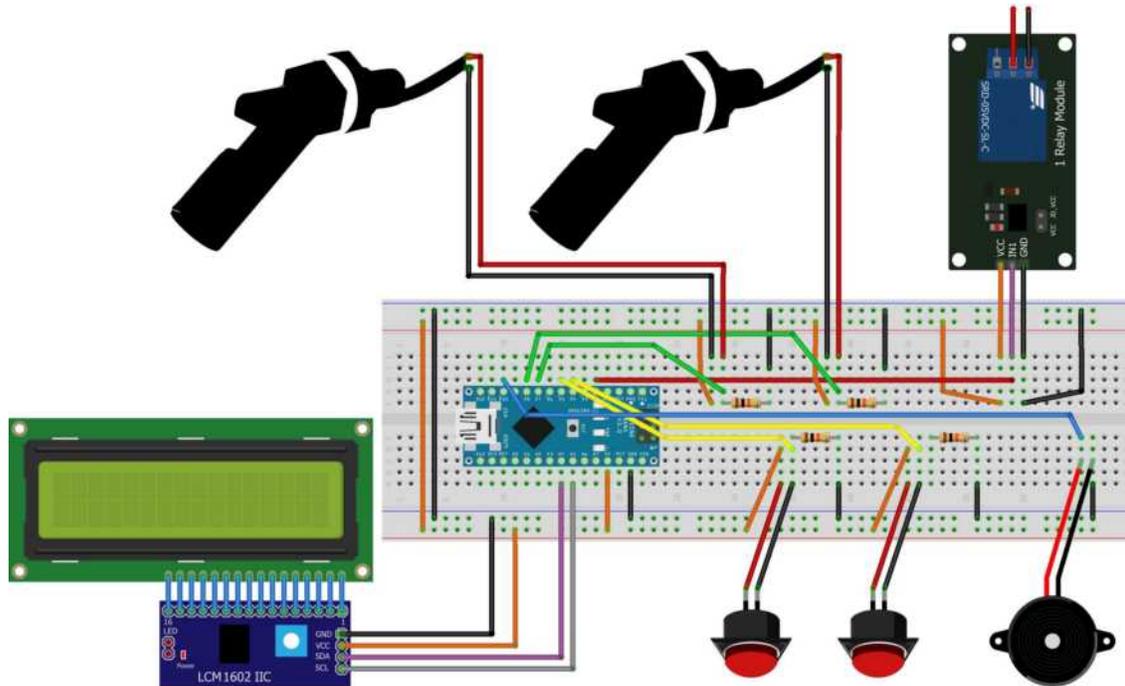


Figura 3.8: Montaje componentes electrónicos. Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Configuración

Se utiliza la placa Arduino para controlar cada uno de los componentes electrónicos. Para el chequeo de diversas funciones a la vez se utilizan contadores, donde su función principal es el control del funcionamiento de la bomba, accionada mediante el módulo relé. El código se puede apreciar en el anexo B.1.

El nivel del estanque es monitorizado mediante 2 sensores de nivel flotantes. Si un sensor se encuentra activo significa que el líquido supera el nivel de este sensor. La lectura de estos sensores permite la identificación de 3 estados del estanque.

- Alto: Ambos sensores de nivel se encuentran activos, es el nivel deseable del estanque, por lo que la bomba funciona con normalidad.
- Bajo: Al desactivarse el primer sensor de nivel, el sistema entra en un estado de advertencia, por lo que la alarma (buzzer) suena cada 20 min para indicar al operador que debe rellenar el estanque. La bomba sigue funcionando con normalidad.
- Muy bajo: Al desactivarse ambos sensores, el nivel de agua es crítico, por lo que el sistema entra en un estado de emergencia. La alarma suena cada 4 minutos y la bomba deja de funcionar.

La configuración de la frecuencia de riego se selecciona manualmente mediante la utilización de un pulsador, donde la frecuencia seleccionada es indicada por la pantalla LCD.

Fuera de las frecuencias de riego, con el pulsador se puede seleccionar el estado “Apagado” y un estado llamado “Puesta en marcha”, la cual enciende la bomba durante 30 segundos,

cada 1 minuto. Esto permite llenar las tuberías al instalar el sistema y la revisión del correcto funcionamiento del sistema.

El segundo pulsador se utiliza para indicar en la pantalla el nivel de agua, esto permite visualizar su estado sin la necesidad de abrir el estanque.

3.4. Generación eléctrica

El sistema de riego aeropónico al no contar con un sustrato o alternativa que conserve la humedad en las raíces requiere funcionar periódicamente, ya que la ausencia de riego puede resultar catastrófica en el cultivo. Ante la deficiencia de la red eléctrica convencional, la cual presenta cortes esporádicos, se desarrolla un sistema de generación eléctrica independiente, donde se plantea la utilización de energía solar o eólica.

3.4.1. Selección energía

A partir del un análisis multicriterio del potencial solar [4], se puede inferir que la ubicación del proyecto posee un prometedor potencial solar, mayormente por la radiación solar en la zona. Por otro lado, factores como la distancia a caminos y la red de distribución eléctrica no son significativos al ser una red aislada. Mientras que las condiciones geográficas como la inclinación del terreno que influyen en la evaluación, tienen un escaso efecto en instalaciones de menor tamaño.

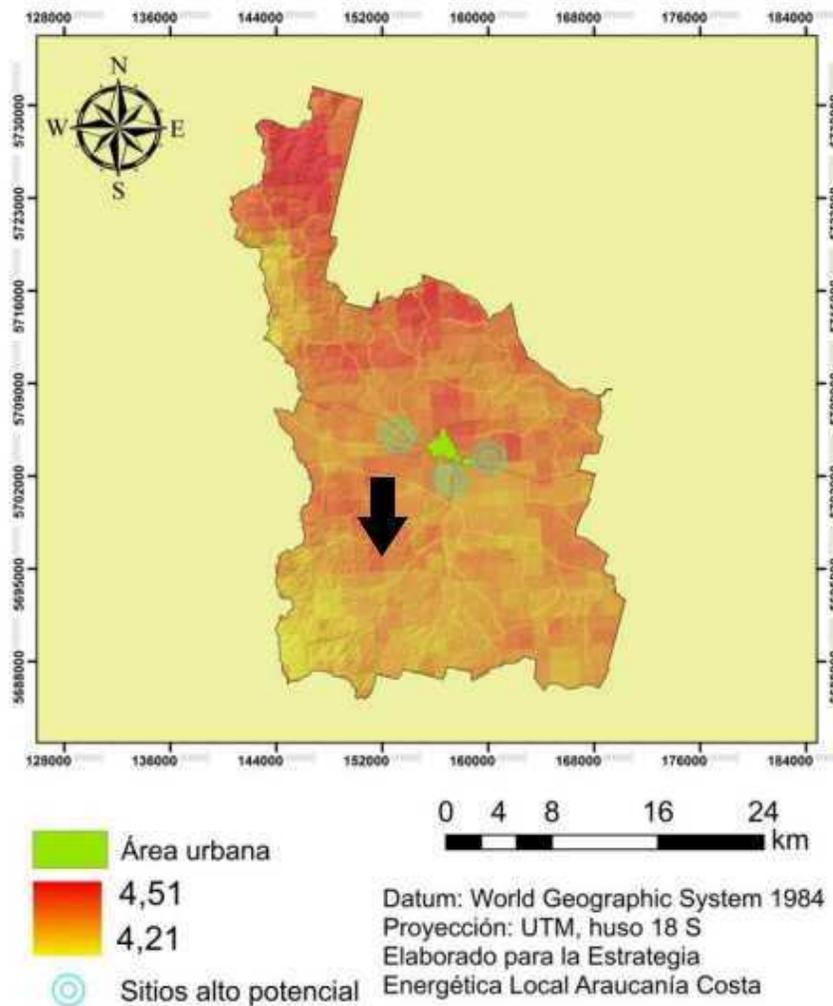


Figura 3.9: Mapa potencial solar con ubicación. [4]

Adicionalmente la generación eléctrica fotovoltaica posee una excelente compatibilidad con sistemas de bombeo y una mayor eficiencia al trabajar con bombas de corriente continua, al no requerir un inversor. Por lo demás el mercado posee una mayor disponibilidad y menores precios en sistemas de generación fotovoltaica.

3.4.2. Consumo eléctrico

El consumo eléctrico diario del sistema se plantea en la tabla 3.4. Para ello se considera la potencia de cada componente y la cantidad de horas máximas que deba funcionar durante un día.

Tabla 3.4: Consumo eléctrico estimado. Fuente: Elaboración propia

Componente	Voltaje [V]	Tensión [A]	Potencia [W]	Cantidad	Tiempo [hr]	Consumo diario [Wh]
Bomba de agua	12	5,000	60,000	1	0,32	19,200
Regulador	12	0,010	0,120	1	24	2,880
Arduino NANO	5	0,015	0,075	1	24	1,800
Sensor de nivel	5	0,100	0,500	2	0,5	0,500
Pantalla LCD	5	0,025	0,125	1	0,5	0,063
Buzzer	5	0,020	0,100	1	0,1	0,010
TOTAL						24,453

3.4.3. Sistema fotovoltaico

El cálculo de la generación del sistema fotovoltaico, de acuerdo con los parámetros, el impacto de la radiación incidente y las condiciones meteorológicas en el sitio de interés se realiza mediante la utilización del Explorador Solar elaborado en colaboración por el Ministerio de Energía, la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) y el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile.

Preliminarmente se selecciona el panel solar fotovoltaico de 20[W] YI-20M, de YI.Solar, cuyas características se pueden observar en su ficha técnica en el anexo E.4.



Figura 3.10: Panel solar YI-20M. Fuente: ngp.cl

Siguiendo Manual del explorador solar [9], se ingresan los parámetros requeridos referentes al panel solar a utilizar, la ubicación y detalles del arreglo fotovoltaico. Para ello se utilizan coeficientes de rendimiento del panel solar obtenidos de su ficha técnica. El arreglo es fijo inclinado y al no requerir inversor su eficiencia se considera de un 100%. La inclinación y azimut del arreglo se obtiene del mismo explorador que los determina a partir de las coordenadas de la ubicación, obtenidas de Google Earth. Mientras que para el factor de

pérdidas se considera a partir de la guía utilizar un 14% que es el promedio para usos estándar. Así los parámetros ingresados al Explorador se pueden observar en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Parámetros generación fotovoltaica. Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Valor
Latitud	38.8553°
Longitud	73.0247°
Elevación	50 [m]
Configuración	Fijo inclinado
Montaje	Open rack cell glassback
Inclinación	31°
Azimut	-25°
N° celdas por panel	36
N° paneles	1
Voltaje máxima potencia	18,17 [V]
Corriente máxima potencia	1,1 [A]
Voltaje circuito abierto	23,02 [V]
Coef. temperatura voltaje	-0,3 [%/°C]
Corriente cortocircuito	1,2 [A]
Coef. temperatura corriente	0,037 [%/°C]
Eficiencia inversor	100%
Pérdidas	14%

El Explorador solar entrega un reporte que se puede observar en el anexo E.3 y un archivo excel con datos detallados de la generación. El cual además muestra información sobre la radiación (global, directa y difusa) incidente, la radiación incidente en un plano horizontal y los promedios de la nubosidad, temperatura y la velocidad del viento en el sitio seleccionado. De los datos obtenidos se genera la tabla 3.6, en la cual se puede observar la generación eléctrica fotovoltaica por mes y hora.

Tabla 3.6: Generación fotovoltaica por hora y mes [Wh]. Fuente: Elaboración propia

Hora/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,14
7:00	0,50	0,20	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,35	0,71	0,73
8:00	1,39	0,88	0,54	0,20	0,01	0,00	0,00	0,07	0,62	1,62	2,31	2,14
9:00	4,52	3,71	2,89	1,92	1,13	0,60	0,64	1,18	2,92	4,27	5,18	5,24
10:00	7,83	7,05	5,60	3,91	2,47	1,91	1,91	2,83	5,31	6,22	7,43	8,18
11:00	10,64	9,82	8,23	5,85	3,95	2,85	3,05	4,34	7,20	8,07	9,83	10,62
12:00	12,97	12,04	10,02	6,90	5,04	3,83	3,78	5,12	8,05	9,66	11,24	12,49
13:00	14,39	13,58	11,17	8,13	5,90	4,67	4,28	5,70	8,95	10,02	12,21	13,59
14:00	14,81	14,00	11,75	8,66	6,05	4,71	4,64	5,94	8,71	9,87	12,27	13,65
15:00	14,13	13,32	11,53	8,28	6,37	5,99	5,18	6,44	8,40	9,49	11,24	13,10
16:00	12,45	11,97	10,25	7,09	5,19	4,79	4,36	5,63	7,47	8,21	9,62	11,19
17:00	9,61	9,15	7,29	5,15	4,06	3,17	4,14	4,29	5,11	5,62	6,70	8,26
18:00	6,17	5,74	4,50	1,74	0,00	0,00	0,00	1,02	3,10	3,45	3,85	5,00
19:00	2,48	2,35	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	1,20	1,94
20:00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
21:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

En la tabla 3.6 se puede observar como la generación fotovoltaica varía según la hora y el mes. A partir de estos valores y con objetivo de conocer en qué mes se encuentra el día del año con menor generación, se produce el gráfico 3.11 con la generación promedio diaria de cada mes y la tabla 3.7 con los valores de la generación promedio diaria y el total mensual.



Figura 3.11: Generación promedio diaria por mes [Wh]. Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7: Generación diaria promedio por mes. Fuente: Elaboración propia

Mes	Promedio diario [Wh]	Total mensual [Wh]
Enero	111,95	3470,33
Febrero	103,83	2907,12
Marzo	84,28	2612,63
Abril	57,82	1734,48
Mayo	40,18	1245,69
Junio	32,53	975,91
Julio	32,00	991,92
Agosto	42,56	1319,36
Septiembre	65,87	1976,20
Octubre	77,07	2389,12
Noviembre	93,87	2816,22
Diciembre	106,28	3294,78

El gráfico 3.11 permite visualizar como la generación disminuye significativamente en los meses de invierno, mientras que de la tabla 3.7 se puede ver como a pesar de que en junio se genera menos energía que en julio (975,91 [Wh] y 991,92 [Wh]), el promedio diario es menor en el mes de julio con 32,00 [Wh].

Finalmente se puede comprobar si la generación del arreglo fotovoltaico es mayor al consumo eléctrico del sistema en cualquier día del año, es decir, que la generación promedio de un día del mes de julio sea mayor a 25 [Wh], lo cual se cumple.

3.4.4. Batería

En base a lo expuesto en el punto 2.3.4 se selecciona el tipo de batería AGM , debido a que posee mejores características que una de tipo húmeda. Y se prefiere por sobre una de tipo gel, debido a que tiene menor precio, mejores factores de carga y descarga, además de un mejor rendimiento a bajas temperaturas.

Por compatibilidad con la bomba de diafragma se busca que la batería sea de 12 [V], mientras que la capacidad requerida se determina mediante el dimensionamiento realizado en el anexo A.4. Donde se determina que para un porcentaje de descarga $DOD = 50\%$ con 2 días de respaldo (N) se requiere una capacidad de 8,97 [Ah] y para un $DOD = 30\%$ con 1 días de respaldo, una capacidad de 7,47 [Ah].

La batería seleccionada corresponde a una batería Kaise de 12 [V] y una capacidad de 9 [Ah].



Figura 3.12: Batería Kaise. Fuente: induventa.cl

La ficha técnica de la batería está disponible en el anexo E.5, donde el fabricante entrega estimaciones para los ciclos de vida de la batería respecto al porcentaje de descarga de esta, visto en la figura 3.13.

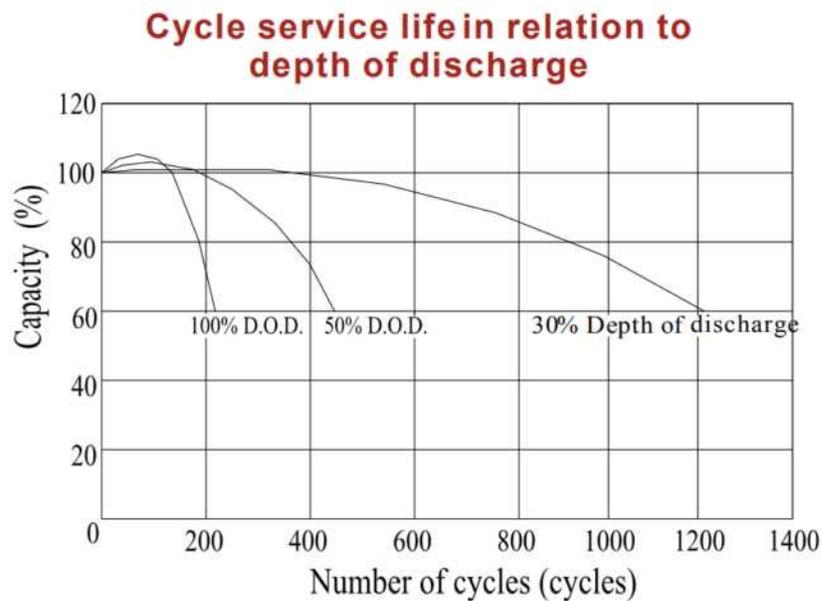


Figura 3.13: Ciclos de vida en relación al porcentaje de descarga. Fuente: Anexo E.5

Los ciclos de servicio pueden determinar la vida útil de las baterías, por consiguiente a partir del gráfico 3.13 se infiere que con un DOD = 30 % la vida útil de la batería superaría por más del doble la de un DOD = 50 %. La batería supera la capacidad requerida para un DOD = 30 %, pero solo con 1 día de respaldo, el cual se puede considerar suficiente en base a que la generación fotovoltaica supera el consumo eléctrico cada día del año.

3.4.5. Regulador de carga

Tomando en cuenta lo mencionado en la sección 2.3.5, se selecciona un regulador de carga PWM, principalmente a su bajo precio y eficacia en proyectos de pequeña escala. Mientras que para el manejo de la batería se requiere que funcione a 12 [V]

Se selecciona un regulador de carga de 12 [V] y 20 [A]. El cual tiene la capacidad de conectar un panel solar, batería y una salida, además de dos puertos USB de 5V cada uno.



Figura 3.14: Regulador de carga. Fuente: www.mcielectronics.cl

Los parámetros de funcionamiento del regulador de carga configurados son:

- Voltaje de flotación: Es la tensión a la que se mantiene la batería después de ser completamente cargada. Esta se obtiene de su ficha técnica y se establece como 13,8 [V].
- Voltaje de reconexión: Es el voltaje que debe alcanzar la batería para comience a cargarse. Se establece como 12,6 [V].
- Voltaje de parada: Es el voltaje mínimo de funcionamiento, sirve para cuidar la batería, ya que descender de cierto porcentaje disminuye significativamente su durabilidad. Este se obtiene de su ficha técnica y se establece como 10,7 [V].
- Tiempo de funcionamiento: Creado para encender luces cuando oscurece. En caso de requerir un funcionamiento continuado se establece como 24 horas
- Tipo de batería: Los tipos de baterías seleccionables son b01 Sealed (AGM), b02 Gel y b03 Flood t (Húmeda). Por lo que se establece como b01 Sealed.

3.4.6. Cableado

Siguiendo lo mencionado en la sección 2.3.7 se determina el dimensionamiento del diámetro del cable mediante el cálculo realizado en el anexo A.5 debe ser de 1,5 [mm²].

Para ello se selecciona un cordón flexible de 1,5 [mm²], conductor de cobre con aislamiento y cubierta de PVC.

3.4.7. Montaje

El circuito se instala como señala el montaje en la figura 3.15. Aquí se puede observar como el Arduino se alimenta mediante su conexión USB desde la salida del regulador de carga. El panel solar y la batería son administrados por el regulador de carga. Mientras que la bomba se conecta a la batería, con el relé funcionando como interruptor. Específicamente las conexiones del módulo relé son desde la salida NO (normalmente abierto) al positivo de la batería y desde la salida común al positivo de la bomba.

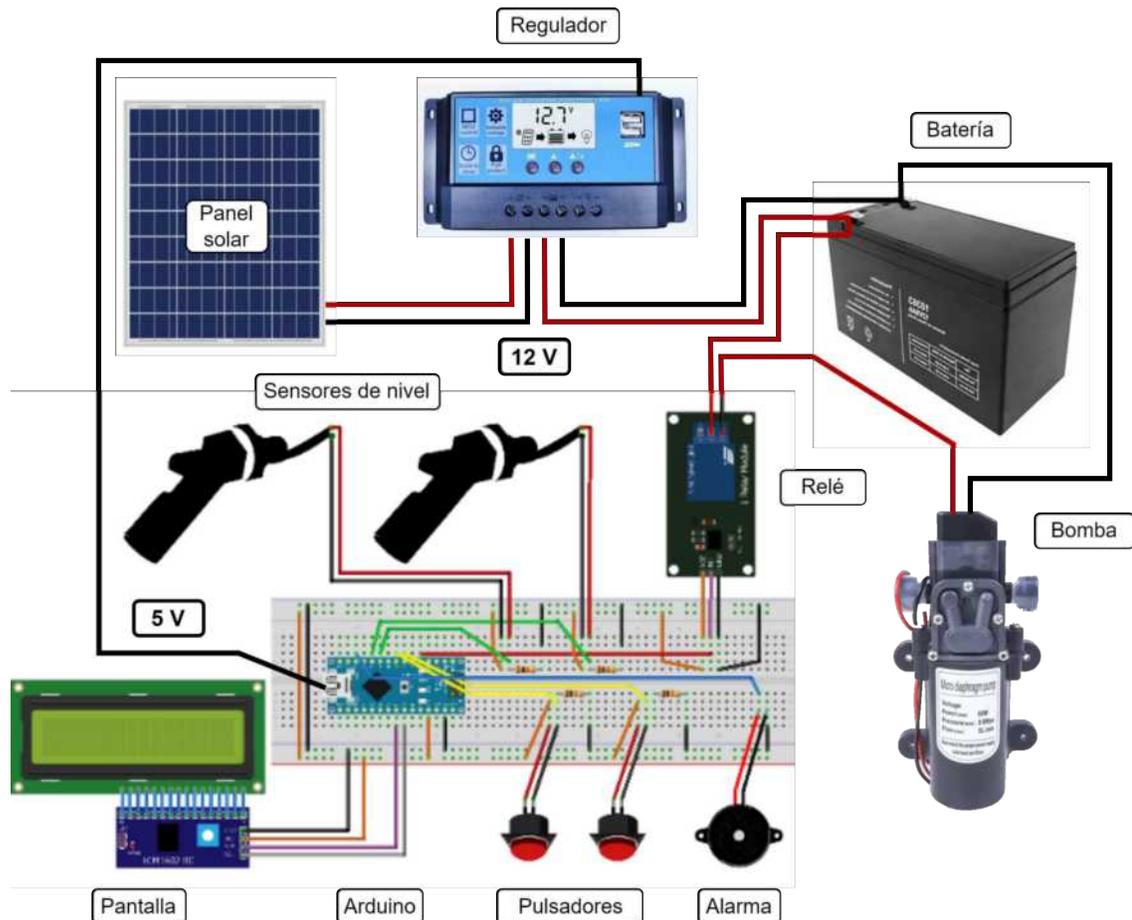


Figura 3.15: Montaje eléctrico. Fuente: Elaboración propia

Los componentes electrónicos del sistema de control se deben proteger, por lo que estos se instalan dentro de una caja eléctrica impermeable, al igual que el panel de control, con los pulsadores y la pantalla LCD, el zumbador (buzzer) se deja afuera para ser oído. Este montaje final se ve representado por la figura 3.16.

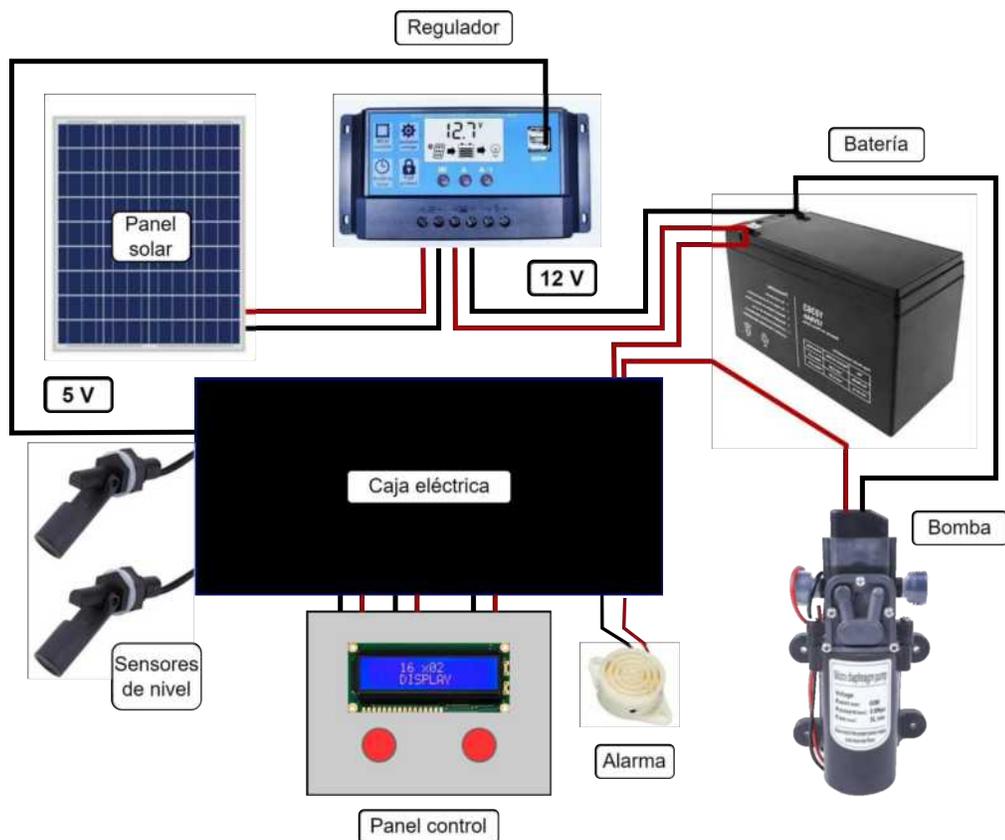


Figura 3.16: Montaje final. Fuente: Elaboración propia

3.4.8. Cabina

El panel solar requiere de una estructura que permita su instalación en la inclinación y azimut deseados para una mayor generación eléctrica. Además de la necesidad de una cabina que proteja de la intemperie los componentes del sistema. Para ello se diseña una cabina eléctrica donde se instalan los componentes eléctricos y permite la conexión con las demás piezas del sistema.

La cabina se construye en base a una plancha de terciado de 15 [mm] de grosor y su diseño se puede observar en la figura 3.17. Sus dimensiones generales son de aproximadamente 420 [mm], 350 [mm] y 440 [mm], de alto, ancho y largo respectivamente. En el anexo D.1 se puede observar el plano de la cabina, mientras que en la figura 3.18 se representa la instalación del panel sobre la cabina.

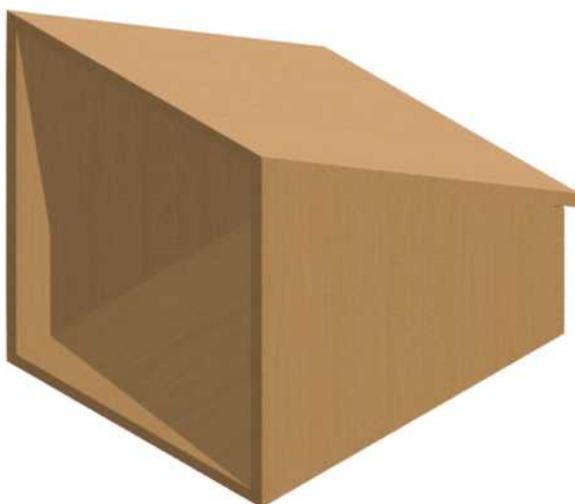


Figura 3.17: Cabina. Fuente: Elaboración propia



Figura 3.18: Cabina con panel solar. Fuente: Elaboración propia

3.5. Resumen

El presente capítulo desarrolla el diseño de un sistema de riego aeropónico alimentado por energía solar fotovoltaica en una comunidad mapuche de Nueva Imperial. Este sistema se divide en 3 secciones principales, sistema de riego, sistema de control y la generación eléctrica.

El sistema de riego plantea el uso de atomizadores metálicos, una bomba de diafragma y conexiones de poliuretano para suplir a los cultivos de la solución nutritiva, almacenada en un estanque.

En tanto el sistema de control se encarga de monitorizar diversos factores, como el nivel del estanque, asimismo controla los componentes eléctricos del sistema. Y permite la selección de la frecuencia de riego a través de un panel de control.

La generación eléctrica consiste en un sistema de generación fotovoltaica, lo que incluye un panel solar, regulador de carga y una batería. Este sistema de generación abastece de energía a todos los componentes que lo requieran.

En los capítulos siguientes se expone la fabricación del diseño aquí propuesto. Lo que permite posteriormente llevar a cabo la evaluación y estudio del piloto fabricado.

Capítulo 4

Fabricación

El presente capítulo describe las labores realizadas en la construcción del piloto de sistema aeropónico, siguiendo lo detallado en el capítulo anterior.

4.1. Instrucciones

Con el fin de entregar una guía sobre la instalación del sistema se elabora un manual en formato tríptico, hoja tamaño carta que se puede observar en el anexo E.2. En el manual se enseña el montaje electrónico y eléctrico del sistema, junto a un diagrama simplificado del sistema, visto en la figura 4.1.

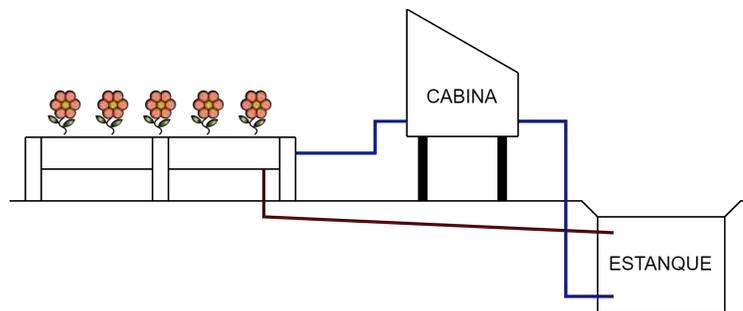


Figura 4.1: Diagrama simplificado. Fuente: Elaboración propia

4.2. Materiales y componentes

La mayoría de los componentes y materiales se encuentran disponibles en el país, sin embargo no se hallaron la bomba de diafragma y los atomizadores, por lo que se tuvo que esperar a su importación.

En la tabla 4.1 se puede observar la lista de los materiales y componentes, acompañados de su cantidad, proveedor y costo. La tabla se divide en varias secciones, siendo estas hidráulica, energía, electrónica, cabina y mesón. Algunos de estos componentes, como los atomizadores, conectores, cestas y esponjas se compran en mayor cantidad a la requerida por el sistema, ya que se desea tener un respaldo en caso de fallas.

Tabla 4.1: Materiales y componentes. Fuente: Elaboración propia

Componente	Tienda	Cantidad	Costo unitario	Total
HIDRAULICA				
Bomba Alta Presión 60 W	Hubot	1	\$ 29.600	\$ 29.600
Caja Megaforte #180 Reyplast	Sodimac	1	\$ 16.900	\$ 16.900
Tira 6 m Tubería PVC 32 mm	Ferretería San Francisco	2	\$ 3.940	\$ 7.880
Codo 90° 32 mm	Ferretería San Francisco	3	\$ 320	\$ 960
Salida Estanque PVC 32 mm Hoffens	Ferretería San Francisco	2	\$ 1.890	\$ 3.780
Manguera Poliuretano 6 mm 10 m	ChengFu Store	1	\$ 8.420	\$ 8.420
Boquilla atomización 6 mm	TecTec Store	20	\$ 890	\$ 17.800
Conector Rápido Tee 6 mm	Hidrotaller	20	\$ 360	\$ 7.200
Tapón 6 mm	TecTec Store	1	\$ 130	\$ 130
Filtro	TecTec Store	1	\$ 890	\$ 890
Amarras Plásticas	Ferretería San Francisco	1	\$ 490	\$ 490
Cinta teflón 1/2"	Ferretería San Francisco	1	\$ 410	\$ 410
Conector recto 1/2. ^a 1/4"	TecTec Store	3	\$ 1.660	\$ 4.980
ENERGÍA				
Panel Solar YI-20M	NGT	1	\$ 19.990	\$ 19.990
Controlador de Carga 20A	Mercado Libre	1	\$ 3.990	\$ 3.990
Batería AGM Kaise 12v 9Ah	Mercado Libre	1	\$ 19.980	\$ 19.980
Cordón Flexible 2x1,5 mm ² metro	Ferretería San Francisco	3	700	\$ 2.100
Prensa estopa	Mercado Libre	5	\$ 2.000	\$ 10.000
ELECTRÓNICA				
Placa de Arduino Nano	Hubot	1	\$ 5.990	\$ 5.990
Sensor de Nivel Magnetico Flotante	Electronica Ibarra	2	\$ 3.990	\$ 7.980
Módulo Display LCD 1602	Hubot	1	\$ 2.800	\$ 2.800
Interfaz I2C para Arduino	Hubot	1	\$ 1.430	\$ 1.430
Pulsador	Electronica Ibarra	2	\$ 490	\$ 980
Resistencia 10 k ohm	Hubot	1	\$ 100	\$ 100
Relé Optoacoplador 5V 10A	Hubot	1	\$ 1.290	\$ 1.290
Protoboard 830 puntos	Hubot	1	\$ 3.200	\$ 3.200
Pack cables jump Dupont	Hubot	1	\$ 4.400	\$ 4.400
Caja impermeable ABS 200x12x75 mm	Hubot	1	\$ 7.500	\$ 7.500
Cable USB a mini USB 50 cm	Hubot	1	\$ 1.610	\$ 1.610
Alambre soldadura 0,6 mm	Hubot	1	\$ 3.900	\$ 3.900
Buzzer	Electronica Ibarra	1	\$ 900	\$ 900
CABINA				
Terciado Estructural 15 mm	Ferretería San Francisco	1	\$ 19.980	\$ 19.980
Poste impregnado 3-4"	Ferretería San Francisco	1	\$ 3.690	\$ 3.690
Protector cerestain litro	Ferretería San Francisco	1	\$ 6.990	\$ 6.990
Pack de pernos	Hubot	1	\$ 8.400	\$ 8.400
MESÓN				
Pino bruto verde 1x2 3,2 m	Ferretería San Francisco	3	\$ 1.100	\$ 3.300
Manga polietileno negra 5 m 4x0.1	Ferretería San Francisco	1	\$ 6.890	\$ 6.890
Poliestireno Aislapol 50x1 m 20 mm	Ferretería San Francisco	3	\$ 520	\$ 1.560
Caja Tornillo Zinc 6x2 100 und	Ferretería San Francisco	1	\$ 1.390	\$ 1.390
Caja Corchetes 10x0,7 mm 1000 und	Ferretería San Francisco	1	\$ 990	\$ 990
Canastillo	TecTec Store	12	\$ 305	\$ 3.660
Esponja	TecTec Store	12	\$ 270	\$ 3.240
			TOTAL	\$257.670

4.3. Estructura

Se comienza por la construcción de las estructuras, es decir, el mesón y la cabina.

4.3.1. Mesón

Siguiendo las dimensiones especificadas en el anexo D.1, se cortan las tablas de madera. Luego se construye el cuadro superior del mesón y se corta la manga, obteniendo un pliego de 4x0,8 [m]. El pliego se sujeta al cuadro con corchetes, formando una bolsa, una vez terminado este proceso se instalan las patas y se verifica que la manga no toque el suelo, si se cumple se perfora la manga y coloca la salida en el nivel más bajo.

Posteriormente se sujetan las tablas superiores que sostienen las planchas de poliestireno y los aspersores. Una vez adheridas se procede a instalar las conexiones de 6 [mm], en la posición que detalla el plano. Para la sujeción de los conectores y la manguera, se utilizan las tiras de plástico, aseguradas mediante corchetes en las tablas horizontales.

Finalmente se cortan las planchas de poliestireno, perforando su centro con una sierra de copa de 35 [mm] de diámetro, que permite la instalación de los cestos. El aspecto de la mesa se puede observar en la figura 4.2, mientras que en el se encuentran más fotografías.



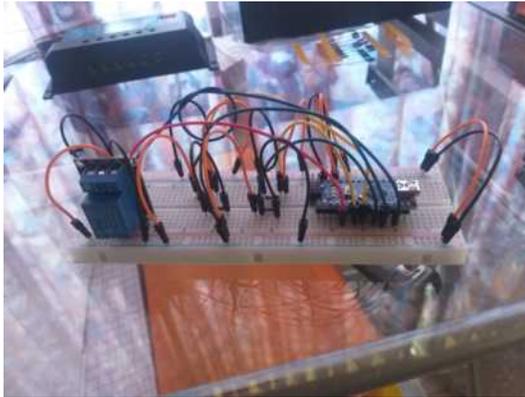
Figura 4.2: Mesón terminado. Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Cabina

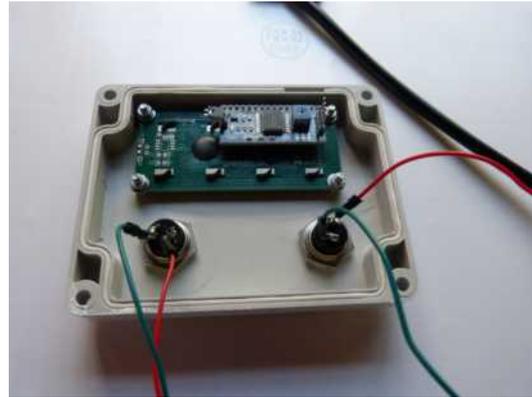
Para la construcción de la cabina se corta la plancha de terciado, en los segmentos vistos en el anexo D.1. Luego se procede a aplicar protector impregnante, idealmente stain ya que es ideal para ambientes agresivos y exposición a la intemperie. Posteriormente se unen todas las piezas con tornillos, excepto la parte superior, para una cómoda sujeción de los componentes al interior de la cabina.

4.4. Montaje

El montaje de la electrónica comienza subiendo la programación de funcionamiento a la placa arduino, se continua con el montaje electrónico señalado en la figura 3.8. Se sigue con la instalación de los componentes del panel de control (pantalla y pulsadores) en la tapa de su caja eléctrica. Una vez se comprueba el buen funcionamiento de los componentes, se retiran los sensores de nivel y buzzer, ya que van por fuera de la caja eléctrica. De esta manera el circuito electrónico se puede apreciar en la figura 4.3.



(a) Controlador



(b) Panel de control

Figura 4.3: Montaje electrónico. Fuente: Elaboración propia

Según lo visto en la figura 3.16, con las conexiones señaladas en la figura 3.15. Tal como indica el manual, en el interior de la cabina se instalan los componentes, excepto el panel solar que se sujeta en la pieza superior de la cabina, dejando una conexión hacia el interior, para luego ser conectada al regulador de carga. Además a los costados se perfora la cabina para la salida de los cables de los sensores y la manguera, sujetos mediante prensas estopa. La figura 4.4 muestra el resultado luego de este proceso.



(a) Abierto



(b) Cerrado

Figura 4.4: Montaje eléctrico. Fuente: Elaboración propia

Ulteriormente se instalan los sensores de nivel en el estanque. Como se menciona en la sección 3.3.3, estos deben establecer los niveles “Alto, bajo y muy bajo”. Un nivel medio no es relevante, ya que el objetivo la monitorización es que el sistema alerte estados preocupantes.

Para ello se perforan las entradas de los sensores a una altura de 8 y 16 [cm]. Además en la zona inferior se perfora la salida del agua a mediante la manguera de poliuretano, para evitar fugas y sostener la manguera, se coloca una prensa estopa que sujete la manguera. En la figura 4.5 se pueden observar las salidas del estanque instaladas.



(a) Exterior



(b) Interior

Figura 4.5: Montaje estanque. Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se conectan las mangueras, tal como se observa en la figura 4.1, pudiendo apoyarse con los planos. Así la entrada de agua de la bomba se conecta con el estanque y la salida al mesón. En tanto el retorno del mesón se conecta con la tapa superior del estanque.

Por último se completa la etapa de construcción cerrando la cabina y cajas eléctricas.



(a) Frontal



(b) Posterior

Figura 4.6: Cabina cerrada. Fuente: Elaboración propia

4.5. Configuración

Una vez se verifique que todos los componentes estén conectados correctamente se procede a configurar el regulador, tal como se menciona en la sección 3.4.5, siguiendo el manual del regulador adjunto en el anexo E.6.

Completado este paso se puede llenar el estanque de agua, tal que el nivel sea “Alto”. Esto permite poner en marcha el sistema mediante la selección del estado “Puesta en Marcha” en el panel de control. Así finaliza el proceso de configuración verificando que el sistema funciona correctamente.



(a) Regulador de carga



(b) Panel de control

Figura 4.7: Configuración. Fuente: Elaboración propia

4.6. Manejo y mantención

El manual del sistema aeropónico, adjunto en el anexo E.2 también sirve como una guía para el manejo y mantención del sistema. La sección del manejo explica el funcionamiento del panel de control, mientras que para la mantención se exponen las siguientes instrucciones:

- No dejar que el nivel del estanque sea “Muy bajo”, ya que el sistema se detiene y el cultivo puede perecer
- Se recomienda que el agua no se acumule por más de 2 semanas
- Revisar periódicamente los atomizadores, limpiándolos o cambiándolos según sea requerido
- Limpiar periódicamente el panel solar quitando posibles suciedades
- Revisar y controlar semanalmente el nivel de pH y solución nutritiva.
- Se recomienda utilizar un 60 % menos de solución nutritiva que cultivo convencional y no utilizar pesticidas en el agua
- Revisar semanalmente la suciedad en el fondo del estanque, el filtro de captación de la bomba y el fondo de la manga
- Después de 2 años de uso puede requerirse un cambio de batería

4.7. Resumen

Este capítulo presenta fabricación del piloto de sistema de riego aeropónico, en el cual se puede observar la construcción y montaje de sus componentes. Por otro lado, se plantean las instrucciones de manejo y construcción, por medio de un manual desarrollado específicamente para este proyecto. Una vez finalizado el piloto se procede a su evaluación, esto se expone en el siguiente capítulo.

Se pueden observar imágenes complementarias del piloto construido para las pruebas en el anexo C.2. Mientras que la instalación final del piloto en Nueva Imperial se puede observar en el anexo C.3.

Capítulo 5

Evaluación

En el presente capítulo se evalúa el desempeño del piloto de sistema de riego aeropónico.

5.1. Estudio

5.1.1. Atomizadores

Mediante la función “Puesta en Marcha” se puede verificar el correcto funcionamiento de los atomizadores. Donde se pudo encontrar fallas en 2 de estos, el primero no distribuye correctamente el fluido, formando 2 chorros de agua. Mientras que el segundo se encuentra tapado, por lo que gotea en vez de atomizar el fluido.



(a) Chorro



(b) Goteo

Figura 5.1: Fallas en atomizadores. Fuente: Elaboración propia

Una vez reemplazados estos 2 atomizadores se comprueba el correcto funcionamiento de todos los atomizadores.

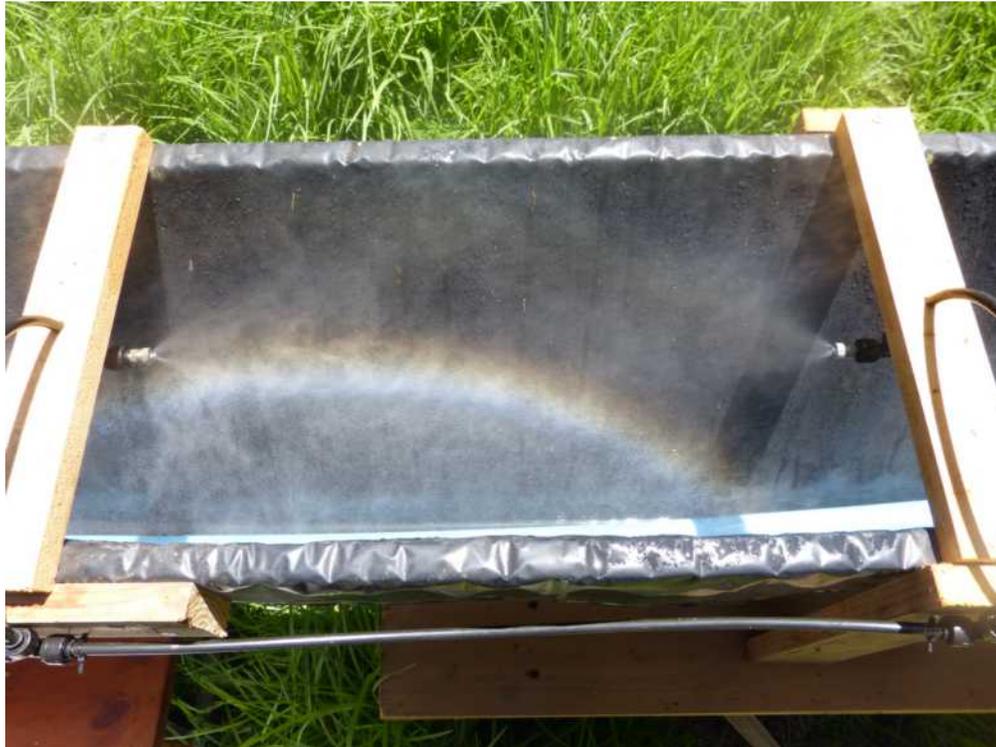


Figura 5.2: Atomizadores. Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Caudal

La medición del caudal de los atomizadores se realiza utilizando el modo “Puesta en marcha”, acumulando el líquido expulsado por los atomizadores en un vaso precipitado con indicaciones. Este método requiere medir individualmente los atomizadores de los extremos, mientras que el resto de los atomizadores se miden a pares debido a su conector en común. Se realizaron 5 mediciones para cada atomizador o par de atomizadores, según correspondiese. Se identifica la posición de los aspersores respecto a su posición, así la posición 1 corresponde al más cercano a la bomba de diafragma, mientras que el 12 el más lejano. En la tabla 5.1 se pueden identificar los caudales medidos para cada atomizador.

Tabla 5.1: Caudal atomizadores. Fuente: Elaboración propia

Posición	Caudal de cada aspersor [cc/min]												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Medición													
1	56	61	61	70	70	75	75	60	60	70	70	84	
2	54	60	60	70	70	79	79	60	60	79	79	80	
3	52	63	63	68	68	77	77	60	60	78	78	76	
4	50	62	62	70	70	77	77	60	60	72	72	88	
5	52	60	60	67	67	79	79	60	60	79	79	86	

En base a los datos expuestos en la tabla 5.1 se genera el gráfico en la figura 5.3.

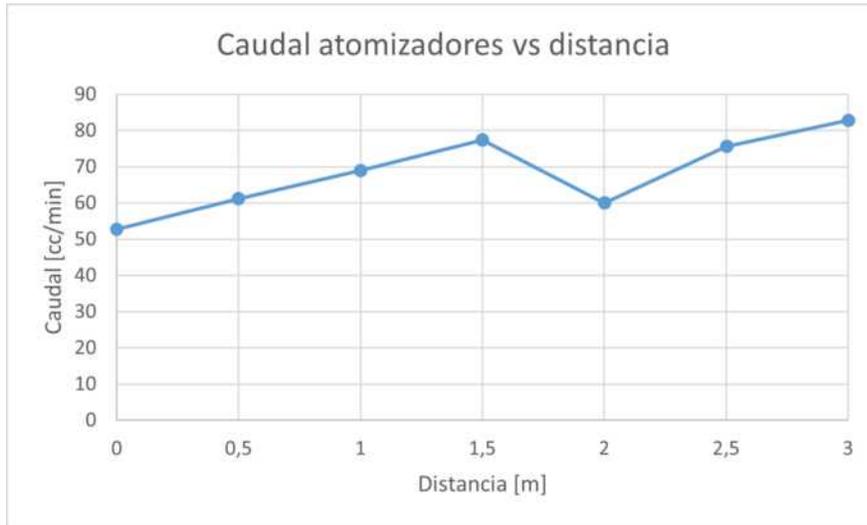


Figura 5.3: Caudal vs distancia. Fuente: Elaboración propia

A partir del gráfico en la figura 5.3 se puede inferir que una mayor distancia a la bomba de diafragma no significa un menor caudal, inclusive la tendencia indica que el caudal es mayor conforme aumenta la distancia. Sin embargo, esta diferencia no es significativa y puede deberse a características propias de cada atomizador.

Seguidamente se puede calcular el caudal promedio de los atomizadores, su desviación estándar y caudal total.

Tabla 5.2: Caudales y desviación estándar. Fuente: Elaboración propia

Promedio atomizador	69 [cc/min]
Desviación estandar	9 [cc/min]
Caudal total	828 [cc/min]

En base al caudal promedio de los atomizadores y la tabla de desempeño entregada por el proveedor, vista en la tabla 3.1 se puede inferir que la presión de la bomba es de aproximadamente 7 [bar]. Mientras que su caudal corresponde al caudal total, es decir, 0,828 [L/min].

5.1.3. Humedad

Para medir la humedad se utiliza un sensor DHT22, este se controla mediante una placa Arduino UNO y su programación se puede observar en el anexo B.2. EL sensor se posiciona dentro del mesón, lo que corresponde a la cámara donde va el sistema radicular de las plantas.

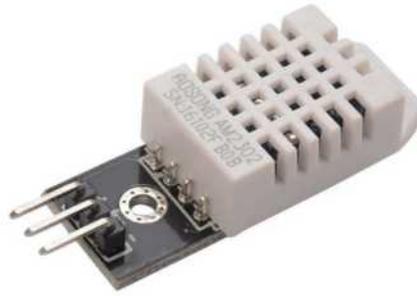


Figura 5.4: Modulo DHT22. Fuente: hwlibre.com

Se mide la humedad durante 20 minutos luego de haber funcionado el sistema durante 3 [seg]. Cabe destacar que el sensor se retira durante la aspersion, ya que en caso de mojarse las mediciones de humedad se verían alteradas.

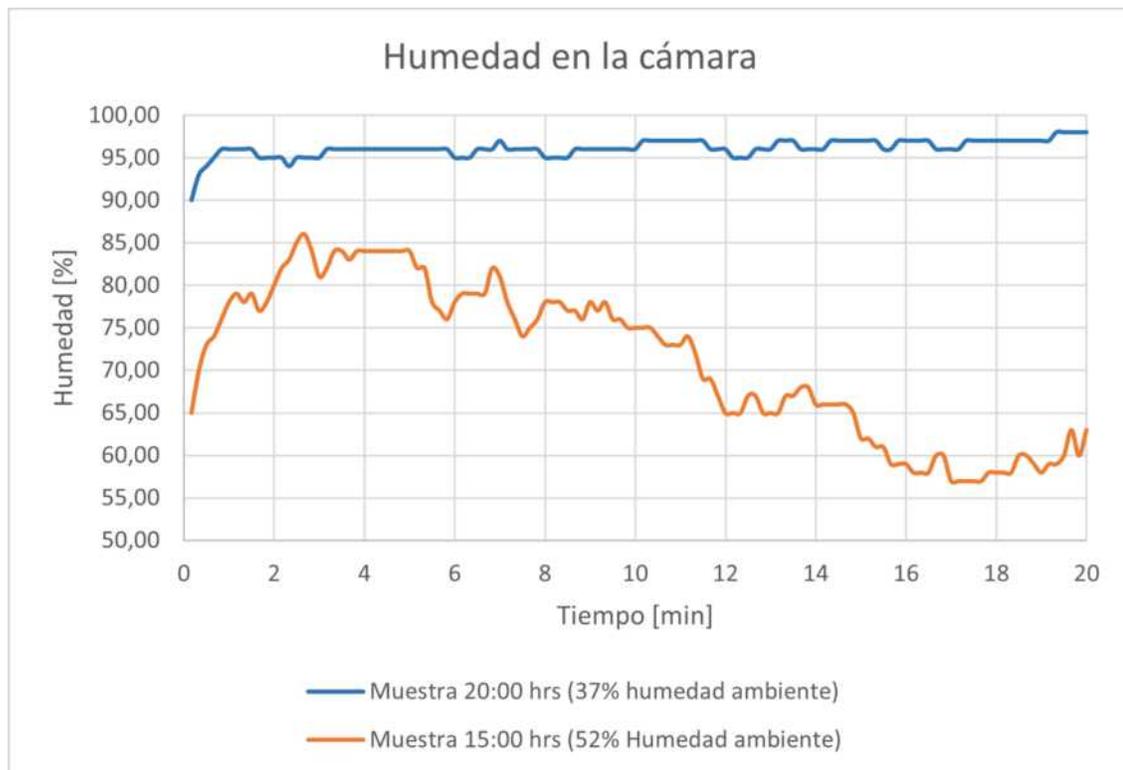


Figura 5.5: Humedad a distinta hora. Fuente: Elaboración propia

El gráfico en la figura 5.5 presenta los datos medidos a las 15:00 y 20:00 horas. Se puede observar como a las 20:00 si bien la humedad ambiental es menor, la humedad en la cámara se mantiene alta, bordeando el 100%. En cambio a las 15:00 la humedad disminuye hasta descender bajo el 60% lo cual es crítico para los cultivos.

Se realiza otra medición a las 15:00, con similares parámetros ambientales. pero con frecuencia de riego 3 [seg] encendido y 10 [min] apagado. En la figura 5.6 se puede comparar la

humedad en la cámara entre ambas frecuencias. Lo cual evidencia como para una frecuencia de riego de 3 [seg] encendido y 10 [min] apagado, la humedad no logra bajar del 60 %.

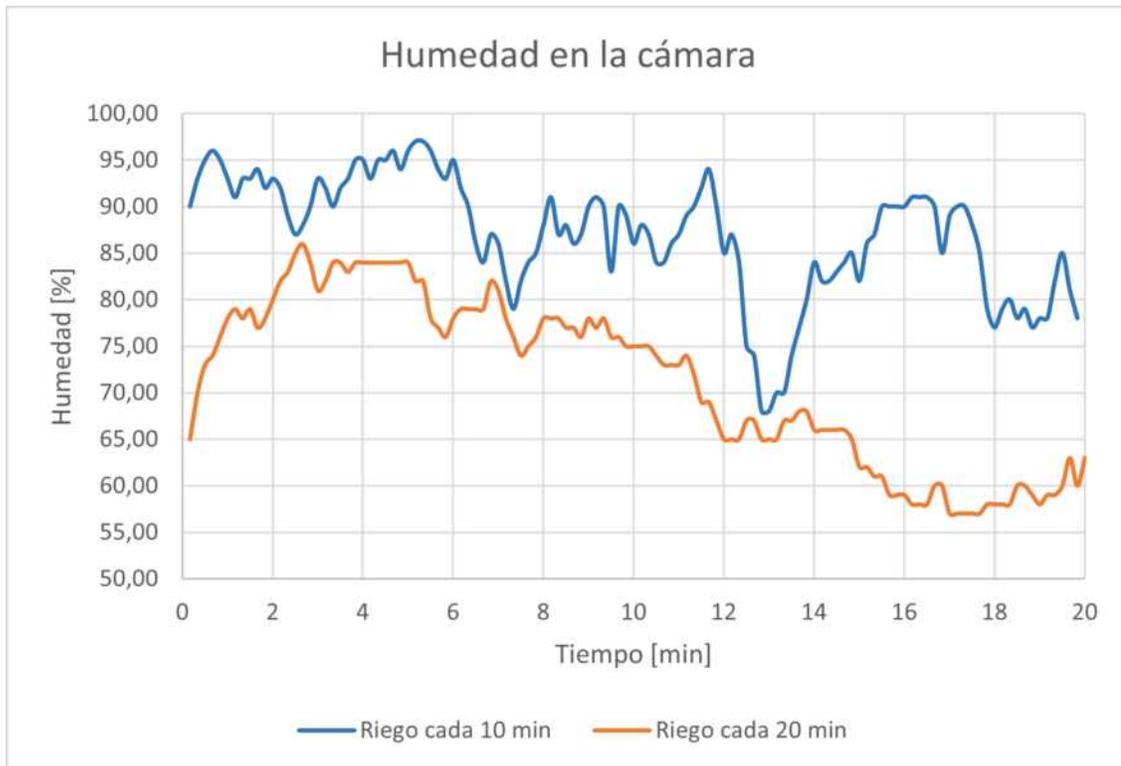


Figura 5.6: Humedad a distinta frecuencia de riego. Fuente: Elaboración propia

5.1.4. Observaciones

A continuación algunas observaciones del proyecto:

- No se hallan fugas visibles
- Al funcionar la bomba de diafragma vibra levemente toda la cabina y el ruido puede llegar a ser molesto
- La alarma es audible aproximadamente hasta a 15 [m] de la cabina
- Se acumulan aprox. 2 [cm] de líquido en el fondo de la manga

5.2. Costos

A partir de la tabla 4.1 se estudian los costos de fabricación del proyecto. El prototipo tiene un costo total de \$257.670, el cual se divide en la estructura (Mesón y cabina), electricidad (electrónica y energía) y la hidráulica. Esto se puede observar en los gráficos vistos en las figuras 5.7 y 5.8.

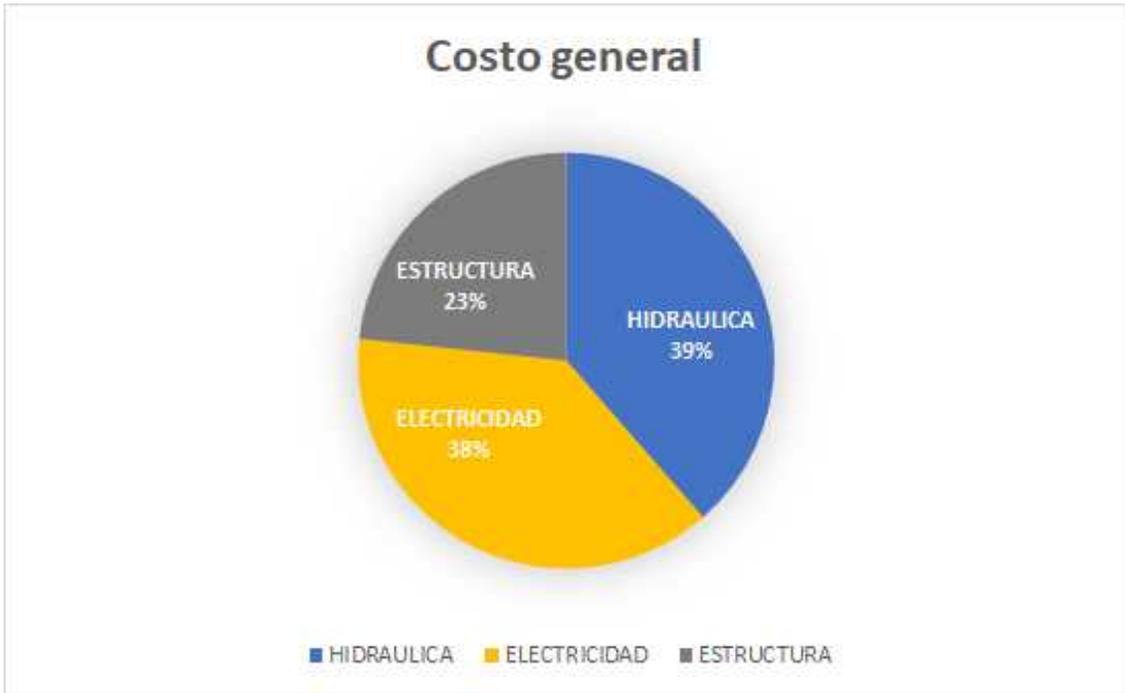


Figura 5.7: Costos en general. Fuente: Elaboración propia

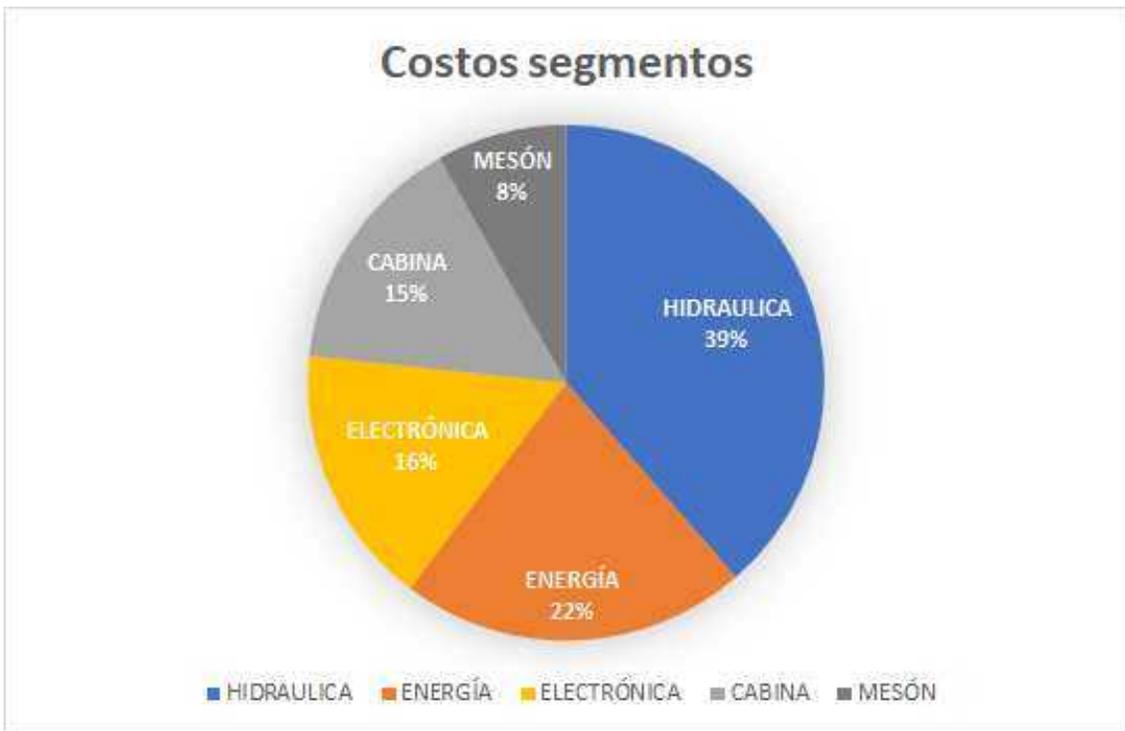


Figura 5.8: Costos por segmento. Fuente: Elaboración propia

A partir de los gráficos se infiere que el área de mayor costo es la hidráulica, solo un 1% por sobre los componentes eléctricos, seguido de las estructuras de soporte.

El componente de mayor costo dentro del área hidráulica es la bomba de diafragma, luego

están las boquillas de atomización y el estanque. Esto coincide con que son los componentes que mayor mantención requieren, por la exigencia que soportan y el costo involucrado a que sufran un desperfecto.

En el área de energía la batería y el panel ostentan el mayor costo, componentes que aunque poseen un largo ciclo de vida van disminuyendo su rendimiento, por lo que, su correcto funcionamiento es necesario para evitar costos involucrados a su reemplazo.

La electrónica posee costos involucrados a una variedad de componentes, sin ninguno resaltando significativamente del resto. Respecto a este área cabe destacar que es una de las que posee menor variabilidad al elevar la escala del proyecto.

Finalmente se encuentra el área estructural del prototipo, la cual posee el menor costo, sin embargo, se pronostica que sea la de mayor aumento proporcional al elevar la escala del proyecto. Es por ello que cobra importancia buscar un bajo costo en la fabricación del mesón.

Los costos de operación no contemplan gastos energéticos, ya que el sistema sustenta su propio consumo eléctrico. En tanto, el consumo de solución nutritiva disminuye considerablemente respecto al riego tradicional, ya que el riego aeropónico requiere menos agua, fertilizantes y aditivos. Por último, si se mantiene correctamente el ambiente no es necesario el gasto en pesticidas.

5.3. Análisis

Para la evaluación del sistema completo, este se mantiene en funcionamiento durante una semana en la frecuencia de riego de mayor exigencia (4 segundos encendido y 10 minutos apagado). Esto se realiza sin plantas ni agregados en el agua.

La bomba de diafragma entrega la presión y caudal suficiente para el correcto funcionamiento de los aspersores. Es destacable el que a pesar de los cortos periodos de encendido esta alcanza rápidamente el punto de operación deseado para que se produzca la atomización.

Los atomizadores logran crear el ambiente aire-agua necesario para la proliferación del sistema radicular en la cámara, junto con el caudal para la hidratación de las plantas. Sin embargo, las fallas en los atomizadores pueden resultar en que el cultivo no reciba el agua y fluido nutricional que requiere, además el que se encuentren dentro del mesón provoca que sea una falla difícil de detectar.

En tanto el mesón si bien cumple correctamente la función de canaleta y soporte, acumula agua en el fondo, lo que implica la proliferación de hongos. Por otro lado, la manga es un material vulnerable a cortes y perforaciones, lo que permitiría fugas y la no correcta conservación de la humedad en la cámara. Mientras que la madera en bruto es vulnerable a ambientes húmedos.

Respecto a la cabina, esta logra aislar de la intemperie a los componentes eléctricos y sirve de estructura para la instalación de los componentes, especialmente el panel solar. Sin embargo, una desventaja es el peligro de incendio que representa el uso de madera, a pesar

de que ningún componente se ve sobrecargado en el funcionamiento del sistema.

Referente al sistema de control, este cumple con lo acometido, las alternativas de frecuencia de riego permiten mantener la humedad en la cámara a distintos parámetros. El monitoreo del nivel del estanque es constante, la alarma avisa al descender y en caso de ser crítico la bomba se detiene.

Por último, el sistema de generación eléctrica produce la energía suficiente para sustentar el proyecto. Durante el proceso de evaluación se mantiene la batería en estado de flotación, por lo cual nunca desciende del 80 % de profundidad de descarga.

Capítulo 6

Conclusiones

Se logra diseñar, construir y evaluar un sistema de riego aeropónico alimentado por energía solar fotovoltaica. Con esto se consigue desarrollar un sistema de riego tecnificado de alta eficiencia hídrica e independencia energética. Mientras se comprende el contexto agrícola, productivo y social de una comunidad mapuche en Nueva Imperial, lo que permite enfocar el diseño del sistema a las características del territorio y sus habitantes.

La comprensión del contexto revela que los avances en la adaptación de la agricultura a la escasez hídrica y el cambio climático cobran mayor importancia en comunidades mapuche cuya actividad económica más recurrente es la producción agropecuaria. Especialmente si mayoría de estos los productores agrícolas viven de la explotación agrícola.

Las condiciones climáticas e hidrográficas de la comuna de Nueva Imperial, especialmente en el emplazamiento, no demuestran una falta inmediata del suministro de agua. Por lo que, se cree que sistemas de riego aeropónicos cobrarían mayor relevancia al ser aplicados en zonas más vulnerables a la escasez hídrica, que en general también poseen un mayor potencial de generación solar.

La etapa de diseño advierte la falta de componentes comerciales enfocados en la aplicación de sistemas de riego aeropónico. Específicamente en la escasa disponibilidad de estructuras soportantes para el cultivo de tomates o pepinos, temporizadores programables en periodos de tiempo acotados a segundos y atomizadores de alta presión a bajo caudal.

A partir de la evaluación hecha al piloto se puede identificar el cumplimiento de funciones objetivo del sistema, como crear un ambiente aire-agua para los cultivos mediante la atomización de solución nutritiva, del mismo modo se distingue la presencia de fallas y debilidades. Por ello este análisis permite orientar mejoras en su diseño y fabricación. No obstante, no se pudo realizar una evaluación más acabada por falta de tiempo, especialmente la retroalimentación del agricultor respecto al uso del piloto luego del crecimiento de los cultivos.

La falla más significativa ocurre en los atomizadores, debido a que se atascan, provocando que goteen o se dispersen. Lo cual se puede solucionar agregando o mejorando el sistema de filtrado ya sea en la línea de bombeo o en el retorno al estanque. También existe la alternativa de reemplazar los atomizadores, ya sean de otro material como polímero o cerámica, o un diseño con filtro o antigoteo.

El montaje electrónico utilizado es eficaz en aplicaciones prototípicas, sin embargo, conexiones como el uso de placas de circuito impresa entregan una mayor confiabilidad y menor costo a mayor escala. Por otro lado, el control y monitoreo se puede considerar la sección con mayor proyección tecnológica a través de la automatización de procesos. Se propone el control del pH, EC y fluido nutricional, que la frecuencia de riego se adapte a las necesidades del cultivo y las condiciones ambientales. Además de un mejor acoplamiento con el control del invernadero.

En referencia a las debilidades en el mesón, una posible solución es el uso de canaletas de PVC o algún polímero resistente, sin embargo, hay dificultades en el precio y disponibilidad en tamaños que soporten el sistema radicular de una planta de tomates o pepinos. En el caso de grandes proyectos de riego aeropónico una alternativa viable puede ser el desarrollo de una canaleta especializada para este propósito.

Si bien en un comienzo se plantea la generación eléctrica mediante el uso de paneles fotovoltaicos como una alternativa limpia y renovable, el desarrollo de una red independiente se vuelve necesaria en emplazamientos donde la red eléctrica es deficiente. En especial para un sistema que requiere de un suministro constante de energía eléctrica.

En un comienzo el proyecto se adapta fácilmente a la actividad productiva de la comunidad mapuche, ya que en este caso poseen experiencia en el rubro agrícola mediante riego tecnificado. Las ventajas del riego aeropónico se traducen en beneficios a la comunidad, además de ser una buena introducción del modelo a la comunidad, sin embargo, al ser un prototipo aún no posee la calidad necesaria para considerar su implementación a gran escala en una comunidad.

Una de las principales dificultades es la falta de información clara y sencilla para la correcta operación y adaptación del sistema en cada cultivo. En este ámbito se proponen dos mejoras, una es el desarrollo de un manual de operación en conjunto con expertos en el área agrícola y la mejora en el monitoreo del estado de los cultivos, para que la operación del sistema se adapte acorde a este estado.

Finalmente, se concluye que es factible la aplicación del sistema de riego aeropónico para el cultivo de tomates o pepinos, sin embargo, aún se requieren diversas mejoras en el diseño y la disponibilidad comercial, para pasar de un prototipo a un producto aplicable a gran escala.

Bibliografía

- [1] LAKHIAR, I., GAO, J., SYED, T., CHANDIO, F., TUNIO, M., AHMAD, F. y SOLAN-
GI, K. 2020. Overview of the aeroponic agriculture - an emerging technology for global
food security. [En línea] International Journal of Agricultural and Biological Engineering.
<https://ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/5156>
- [2] GALLEGOS, A. 2016. Caracterización y diferenciación productiva de las comunidades
mapu-ches de la región de la araucanía de acuerdo al desarrollo comercial de su produc-
ción agropecuaria. Tesis de magister en geografía mención recursos territoriales. Santiago,
Universidad de Chile, Facultad de arquitectura y urbanismo.
- [3] MUNICIPALIDAD DE NUEVA IMPERIAL. 2018. Plan de desarrollo comunal pladeco
2019-2022. [En línea] <https://www.nuevaimperial.cl/secciones/2223>
- [4] MUNICIPALIDAD DE NUEVA IMPERIAL. 2017. Estrategia energética local nueva imper-
ial. [En línea] [https://www.egeaong.cl/wp-content/uploads/2020/04/09-EEL-Nueva-
Imperial_InformeCompleto.pdf](https://www.egeaong.cl/wp-content/uploads/2020/04/09-EEL-Nueva-Imperial_InformeCompleto.pdf)
- [5] LAKHIAR, I., JIANMIN, G., SYED, N., CHANDIO, F., BUTTAR, N. y QURESHI, W.
2018. Monitoring and control systems in agriculture using intelligent sensor techniques: A
review of the aeroponic system. [En línea] Journal of Sensors [https://www.hindawi.com/
journals/js/2018/8672769/](https://www.hindawi.com/journals/js/2018/8672769/)
- [6] LAKHIAR, I., GAO, J., SYED, T., CHANDIO, F. y BUTTAR, N. 2018. Modern plant
cultivation technologies in agriculture under controlled environment: A review on aero-
ponics. [En línea] Journal of Plant Interactions [https://www.tandfonline.com/doi/full/10.
1080/17429145.2018.1472308](https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17429145.2018.1472308)
- [7] ELDRIDGE, B., MANZONI, L., GRAHAM, C., RODGERS, B., FARMER, J. y
DODD, A. 2020. Getting to the roots of aeroponic indoor farming. [En línea] New Phy-
tologist [https://www.researchgate.net/publication/342424160_Getting_to_the_roots_
of_aeroponic_indoor_farming](https://www.researchgate.net/publication/342424160_Getting_to_the_roots_of_aeroponic_indoor_farming)
- [8] LILLO, P. 2016. Manual para el dimensionamiento y evaluación de un arreglo fotovoltaico
monofásico a nivel residencial en Chile. Memoria de ingeniero civil mecánico. Santiago,
Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento De Ingeniería Mecánica.
- [9] DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE. 2015. Manual
del usuario explorador solar explorador solar para autoconsumo. [En línea] [http://walker.
dgf.uchile.cl/Explorador/Solar3/doc/Manual_Explorador_Solar.pdf](http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar3/doc/Manual_Explorador_Solar.pdf)
- [10] FLORES, J., OJEDA-BUSTAMANTE, W., LÓPEZ, I., ROJANO, A. y SALAZAR, I.
2007. Requerimientos de riego para tomate de invernadero. [En línea] Terra Latinoameri-
cana <https://www.redalyc.org/pdf/573/57325204.pdf>

Anexos

Anexo A

Memoria de cálculo

A.1. Capacidad estanque

El estanque debe tener capacidad suficiente para suministrar de agua a 6 plantas de tomates. A partir del estudio de los requerimientos de riego para tomate de invernadero [10] se conoce que la necesidad hídrica de una planta de tomate varía según su etapa de crecimiento, donde las plantas nuevas requieren aproximadamente 0,2 [L/día], mientras que una planta madura en un día caluroso puede llegar a necesitar hasta 1,5 [L/día], con un consumo promedio de 1,1 [L/día] [10].

Ya que se requiere una supervisión semanal del estanque, se determina una autonomía necesaria de 10 días. El factor de seguridad K_e correspondiente a la eficiencia del sistema se define como 1,1 debido a posibles pérdidas por evapotranspiración o fugas.

En base a los datos recolectados se puede utilizar la ecuación 2.1 para determinar la capacidad mínima que requiere tener el estanque. Reemplazando se obtiene:

$$C_{MT} = 1,5 * 10 * 6 * 1,1 = 99 [L]$$

A.2. Caudal bomba hidráulica

El caudal mínimo de la bomba se puede determinar por la ecuación 2.2. Este depende del caudal de salida de los atomizadores, A partir de los datos de operación entregados por el proveedor en la tabla 3.1, se conoce que para un atomizador con un tamaño de orificio de 0,4

[mm] a una presión de 5 [bar] se tiene un caudal $C_{MA} = 0,061[L/min]$. Así el caudal mínimo de la bomba para el correcto funcionamiento de 12 atomizadores es:

$$C_{mb} = 0,061 * 12 = 0,732 [L/min]$$

A.3. Pérdidas de carga

Número de Reynolds

El número de Reynolds se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$R_e = \frac{VD}{\nu} \quad (\text{A.1})$$

- R_e = Número de Reynolds
- V [m/s] = Velocidad media del fluido
- D [m] = Diámetro de la tubería
- ν = Viscosidad cinemática del fluido

Mientras que la velocidad media del fluido se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (\text{A.2})$$

- V [m/s] = Velocidad media del fluido
- Q [m^3/s] = Caudal
- A [m^2] = Área transversal de la tubería

Mediante lo determinado en el anexo A.2 se conoce el caudal. En tanto el diámetro interior de la manguera es 4 [mm]. Con lo que se obtiene la velocidad media del fluido:

$$V = 0,971[m/s]$$

El líquido nutritivo es principalmente agua, por lo que, se considera la viscosidad cinemática del agua a 20 [°C] de 1,004 [mm^2/s]. Obteniendo el valor del número de Reynolds.

$$R_e = 3867,909$$

Se considera el fluido en un régimen transitorio, ya que el número de Reynolds es mayor a 2300 y menor a 4000.

Pérdida de carga primaria

En base a lo expuesto en la ecuación 2.3 se puede calcular las pérdidas de carga primarias. Se comienza por determinar el valor de lambda, para ello se considera la rugosidad de tuberías plásticas estándar $\epsilon = 0,0025$ [mm], así con un diámetro de 4 [mm] se tiene que la rugosidad relativa es:

$$\frac{\epsilon}{D} = 0,000625$$

Así en conocimiento del número de Reynolds y la rugosidad relativa, se utiliza el diagrama de Moody A.1 para determinar lambda.

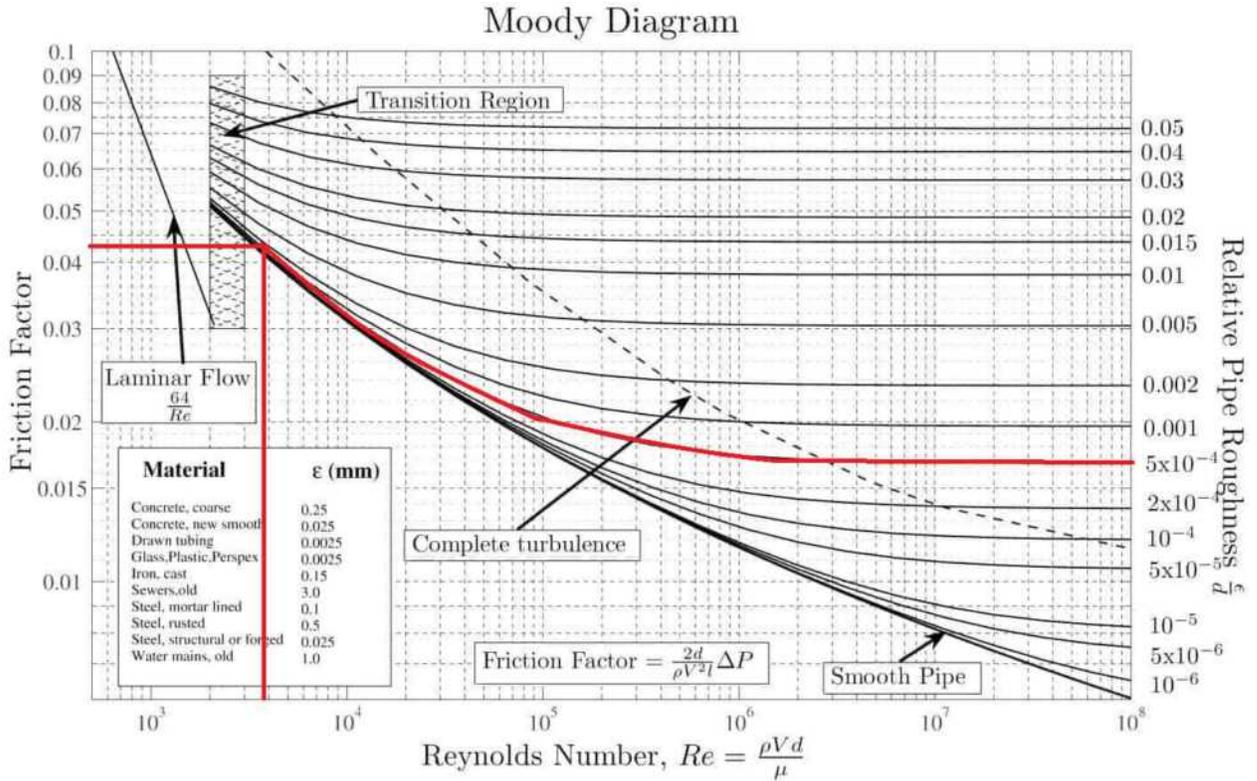


Figura A.1: Diagrama de Moody

$$\lambda = 0,043$$

En tanto se conoce diámetro, velocidad y largo. Se puede determinar las pérdidas de carga primarias.

$$H_{rp} = 5,16[m]$$

Pérdida de carga secundaria

Para calcular las pérdidas de carga secundaria se cuentan las interferencias según el diseño del sistema de tuberías, desarrollado la siguiente tabla:

Tipo de pérdida	Cantidad	ξ	Total
Tes 180°	11	0,1	1,1
Codo 90°	4	0,17	0,68
Total = 1,78			

Por lo que se puede calcular las pérdidas de carga secundarias según la ecuación 2.4. Obteniendo:

$$H_{rs} = 0,086[m]$$

Pérdida de carga total

Así finalmente se obtiene que la pérdida de carga total es:

$$H_t = 5,25[m]$$

A.4. Capacidad batería

La capacidad de carga eléctrica de un banco de baterías se puede obtener mediante lo planteado en la sección 2.3.4, bajo la ecuación 2.5.

Para el presente proyecto el factor de seguridad seleccionado es de 1,1 ya que al tener un cableado tan corto las perdidas por transmisión son casi nulas, mientras que la influencia de la diferencias los parámetros de los componentes disminuye al funcionar al mismo voltaje. Por compatibilidad con la bomba seleccionada el voltaje de la batería es de 12 [V]. Y a partir de la tabla 3.4, se conoce que el consumo eléctrico estimado es de 24,453 [Wh].

El DOD depende de las recomendaciones del fabricante, para ello se plantean 2 casos, un DOD = 50 % con 2 días de respaldo (N) y un DOD = 30 % con 1 días de respaldo. Reemplazando en ese orden se obtiene:

$$C_C = 2 * 1,1 * \frac{24,453}{12 * 0,5} = 7,47 [Ah]$$

$$C_C = 1 * 1,1 * \frac{24,453}{12 * 0,3} = 8,97 [Ah]$$

A.5. Diámetro cableado

El grosor del cableado se define a partir de la ecuación 2.6. En el sistema, la conexión más exigente es de la batería a la bomba de 60 [W], por lo esta definirá el grosor del cableado.

El cobre tiene una resistividad de 0,018 [mm^2/m], la longitud máxima que puede llegar a tener un cable conductor en el circuito es de 1 [m], la intensidad de la corriente que requiere la bomba es de 5 [A] a una tensión de 12 [V]. En base a estos datos y reemplazando en la ecuación 2.6 se obtiene:

$$S = \frac{0,018 * 2 * 1 * 5}{0,01 * 12} = 1,5 [mm^2]$$

Anexo B

Códigos Arduino

B.1. Código funcionamiento

Código B.1: Código Arduino

```
1
2 //Declaración de variables
3 int frecuencia = 1; //frecuencia predeterminada de riego
4 int contador = 0; //contador principal
5 int contadorlcd = 0; //contador para lcd
6 int contadoradv = 0; //contador advertencia
7 int contadoreme = 0; //contador emergencia
8 int nivelagua = 0; //nivel de agua predeterminada
9 const int btn = 4; //pin pulsador de frecuencia
10 const int niv = 5; //pin pulsador de nivel
11 const int flo1 = 7; //pin sensor de nivel alto
12 const int flo2 = 8; //pin sensor de nivel bajo
13 const int relay = 2; //pin relé bomba de agua
14 const int buzzer = 10; //pin buzzer alarma
15
16
17 //Controlador de la pantalla lcd
18 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
19 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
20
```

```

21 //Configuración de entradas, salidas y el lcd
22 void setup() {
23   pinMode(btn, INPUT);
24   pinMode(niv, INPUT);
25   pinMode(flo1, INPUT);
26   pinMode(flo2, INPUT);
27   pinMode(relay, OUTPUT);
28   pinMode(buzzer, OUTPUT);
29   Serial.begin(9600);
30   lcd.init();
31   lcd.clear();
32 }
33
34 void loop() {
35
36   //Lectura de sensores y pulsadores
37   int lectura1 = digitalRead(btn);
38   int lectura2 = digitalRead(niv);
39   int lecflo1 = digitalRead(flo1);
40   int lecflo2 = digitalRead(flo2);
41
42   //Iniciación y definición del contador principal
43   contador++;
44   delay(10);
45
46   //Definición de la frecuencia de riego
47   //Si el pulsador de frecuencia es accionado se realiza la siguiente acción
48
49   if(lectura1 == 1){
50
51     //Ciclo de la frecuencia. Existen 6 configuraciones
52     if (frecuencia == 9){
53       frecuencia = 1;
54     }
55     frecuencia++;
56
57     //Se enciende el lcd
58     lcd.backlight();
59     lcd.display();
60
61     //Se indica en el lcd la frecuencia de riego seleccionada
62     switch(frecuencia){
63
64       case 2:
65         lcd.setCursor(0,0); lcd.print("SISTEMA APAGADO");
66         lcd.setCursor (0,1); lcd.print("ELIJA FRECUENCIA"); break;
67
68       case 3:
69         lcd.setCursor(0,0); lcd.print("FRECUENCIA RIEGO");
70         lcd.setCursor (0,1); lcd.print(" 3 seg / 20 min "); break;
71
72       case 4:

```

```

73     lcd.setCursor(0,0); lcd.print("FRECUENCIA RIEGO");
74     lcd.setCursor (0,1); lcd.print(" 4 seg / 20 min "); break;
75
76     case 5:
77     lcd.setCursor(0,0); lcd.print("FRECUENCIA RIEGO");
78     lcd.setCursor (0,1); lcd.print(" 3 seg / 10 min "); break;
79
80     case 6:
81     lcd.setCursor(0,0); lcd.print("FRECUENCIA RIEGO");
82     lcd.setCursor (0,1); lcd.print(" 4 seg / 10 min "); break;
83
84     case 7:
85     lcd.setCursor(0,0); lcd.print("FRECUENCIA RIEGO");
86     lcd.setCursor (0,1); lcd.print(" 3 seg / 5 min "); break;
87
88     case 8:
89     lcd.setCursor(0,0); lcd.print("FRECUENCIA RIEGO");
90     lcd.setCursor (0,1); lcd.print(" 4 seg / 5 min "); break;
91
92     case 9:
93     lcd.setCursor(0,0); lcd.print("PUESTA EN MARCHA");
94     lcd.setCursor (0,1); lcd.print(" 30 seg / 30 seg"); break;
95 }
96
97 digitalWrite(2,LOW);
98
99 //El contador principal se reinicia y se incia el contador del lcd
100 contador = 0;
101 contadorlcd = 1;
102 while(digitalRead(btn));
103 }
104
105 //Se identifica el estado del estanque mediante 2 sensores magneticos de nivel
106 //Si ambos se encuentran activos el estado es bueno
107 if ((lecflo1 == 1)&&(lecflo2 == 1)){
108     nivelagua = 2;
109     contadoradv = 0;
110     contadoreme = 0;
111
112 //Si uno está activo y el otro no, el nivel es bajo y se inicia el estado de advertencia
113 }else if ((lecflo1 == 0)&&(lecflo2 == 1)){
114     nivelagua = 1;
115     contadoreme = 0;
116     if (contadoradv == 0){
117         contadoradv = 1;
118     }
119
120 //Si ambos están apagados el nivel es crítico y se inicia el estado de emergencia
121 }else if ((lecflo1 == 0)&&(lecflo2 == 0)){
122     digitalWrite(2,LOW);
123     nivelagua = 0;
124     contador = 0;

```

```

125     contadoradv = 0;
126     if (contadoreme == 0){
127         contadoreme = 1;
128     }
129 }
130
131 //Al accionarse pulsador de nivel la pantalla lcd indica el nivel del estanque
132 if (lectura2 == 1){
133     lcd.backlight();
134     lcd.display();
135     lcd.setCursor(0,0);
136     lcd.print(" NIVEL ESTANQUE ");
137     lcd.setCursor (0,1);
138     if (nivelagua == 0){
139         lcd.print(" MUY BAJO ");
140     }else if (nivelagua == 1){
141         lcd.print(" BAJO ");
142     }else{
143         lcd.print(" ALTO ");
144     }
145
146     //Se inicia el contador del lcd
147     contadorlcd = 1;
148     while(digitalRead(niv));
149 }
150
151 //En caso de iniciado el contador del lcd este comienza a avanzar
152 if (contadorlcd > 0){
153     contadorlcd++;
154 }
155
156 //Luego de 5 segundos funcionando el lcd se apaga y se detiene su contador
157 if (contadorlcd == 500){
158     lcd.clear();
159     lcd.noDisplay();
160     lcd.noBacklight();
161     contadorlcd = 0;
162 }
163
164 //En caso de encontrarse en estado de advertencia la alarma buzzer suena cada 20 minutos
165 if (contadoradv == 1){
166     digitalWrite(10,HIGH);
167     delay(1000);
168     digitalWrite(10,LOW);
169 }
170 if (contadoradv > 0){
171     contadoradv++;
172 }
173 if (contadoradv == 120000){
174     contadoradv = 1;
175 }
176

```

```

177 //En caso de encontrarse en estado de emergencia la alarma buzzer suena cada 4 minutos
178 if (contadoreme == 1){
179     digitalWrite(10,HIGH);
180     delay(1000);
181     digitalWrite(10,LOW);
182 }
183 if (contadoreme > 0){
184     contadoreme++;
185 }
186 if (contadoreme == 24000){
187     contadoreme = 1;
188 }
189
190 //Se acciona la bomba mediante el relé en la frecuencia de riego seleccionada
191 //Por precaución no funciona en estado de emergencia
192
193 if (nivelagua !=0){
194
195     if ((frecuencia == 2)|| (frecuencia == 1)){
196         if (contador == 300){
197             digitalWrite(2,LOW);
198         }else if (contador == 30000){
199             contador = 0;
200         }
201     }else if (frecuencia == 3){
202         if (contador == 1000){
203             digitalWrite(2,HIGH);
204         }else if (contador == 1300){
205             digitalWrite(2,LOW);
206         }else if (contador == 120000){
207             contador = 0;
208         }
209     }else if (frecuencia == 4){
210         if (contador == 1000){
211             digitalWrite(2,HIGH);
212         }else if (contador == 1400){
213             digitalWrite(2,LOW);
214         }else if (contador == 120000){
215             contador = 0;
216         }
217     }else if (frecuencia == 5){
218         if (contador == 1000){
219             digitalWrite(2,HIGH);
220         }else if (contador == 1300){
221             digitalWrite(2,LOW);
222         }else if (contador == 60000){
223             contador = 0;
224         }
225     }else if (frecuencia == 6){
226         if (contador == 1000){
227             digitalWrite(2,HIGH);
228         }else if (contador == 1400){

```

```

229     digitalWrite(2,LOW);
230     }else if (contador == 60000){
231         contador = 0;
232     }
233     }else if (frecuencia == 7){
234         if (contador == 1000){
235             digitalWrite(2,HIGH);
236         }else if (contador == 1300){
237             digitalWrite(2,LOW);
238         }else if (contador == 30000){
239             contador = 0;
240         }
241     }else if (frecuencia == 8){
242         if (contador == 1000){
243             digitalWrite(2,HIGH);
244         }else if (contador == 1400){
245             digitalWrite(2,LOW);
246         }else if (contador == 30000){
247             contador = 0;
248         }
249     }else if (frecuencia == 9){
250         if (contador == 1000){
251             digitalWrite(2,HIGH);
252         }else if (contador == 4000){
253             digitalWrite(2,LOW);
254         }else if (contador == 9000){
255             contador = 0;
256         }
257     }
258 }
259
260 }

```

B.2. Código sensor

Código B.2: Código sensor

```

1
2 #include <DHT.h>
3
4 \\Configura las variables
5 int DHTPIN = 2;
6 int h;
7 int t;
8
9 DHT dht(DHTPIN, DHT22);
10
11 void setup() {
12     Serial.begin(9600);
13     Serial.println("LABEL,hora,humedad,temperatura,");
14     dht.begin();

```

```
15 }
16 void loop() {
17   h = dht.readHumidity(); //Lee la humedad
18   t = dht.readTemperature(); //Leemos la temperatura
19   Serial.print("DATA,TIME,");
20   Serial.print(h);
21   Serial.print(",");
22   Serial.println(t);
23   delay(10000);
24 }
```

Anexo C

Fotografías

C.1. Visita preliminar



(a) Predio



(b) Cultivo frutillas



(c) Invernaderos



(d) Interior invernaderos



(e) Invernadero plantines



(f) Interior invernadero plantines

Figura C.1: Visita preliminar

C.2. Piloto



(a) Planchas poliestireno



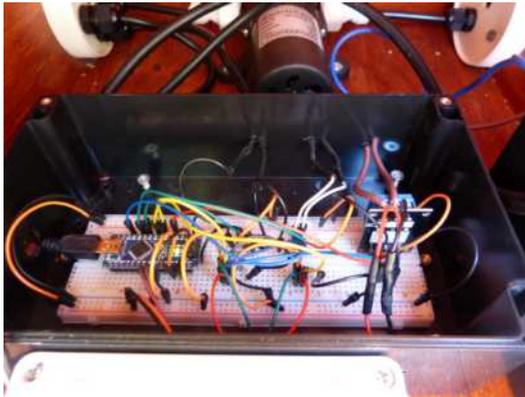
(b) Conectores tee



(c) Conectores codo



(d) Prensa estopa



(e) Montaje electrónico



(f) Panel de control

Figura C.2: Piloto

C.3. Instalación predio



(a) Interior cabina



(b) Panel solar



(c) Mesa y retorno



(d) Mesa



(e) Cabina y estanque



(f) Mesa final

Figura C.3: Instalación predio

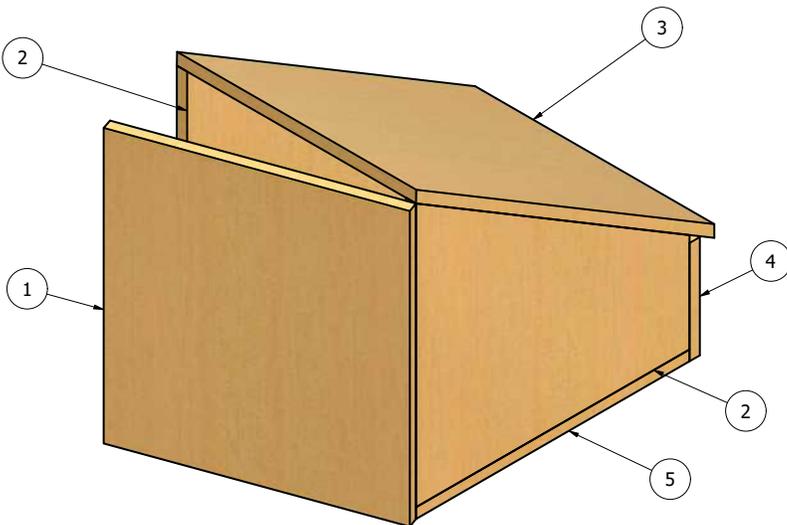
Anexo D

Planos

D.1. Cabina

ARCHIVO EN SIGUIENTE PÁGINA

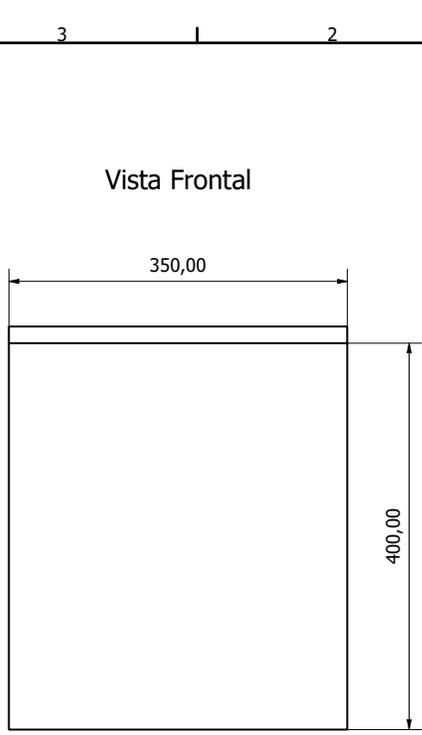
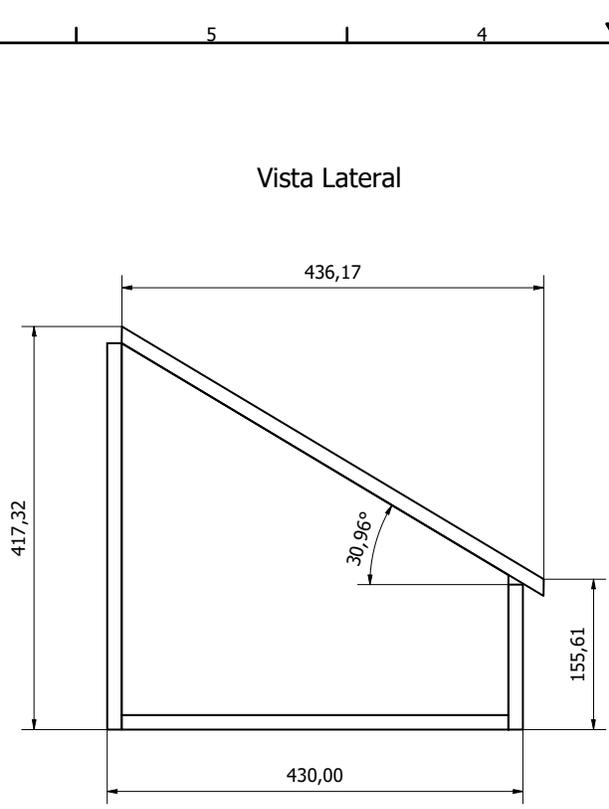
Cabina



LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Puerta
2	2	Laterales
3	1	Superior
4	1	Trasera
5	1	Fondo

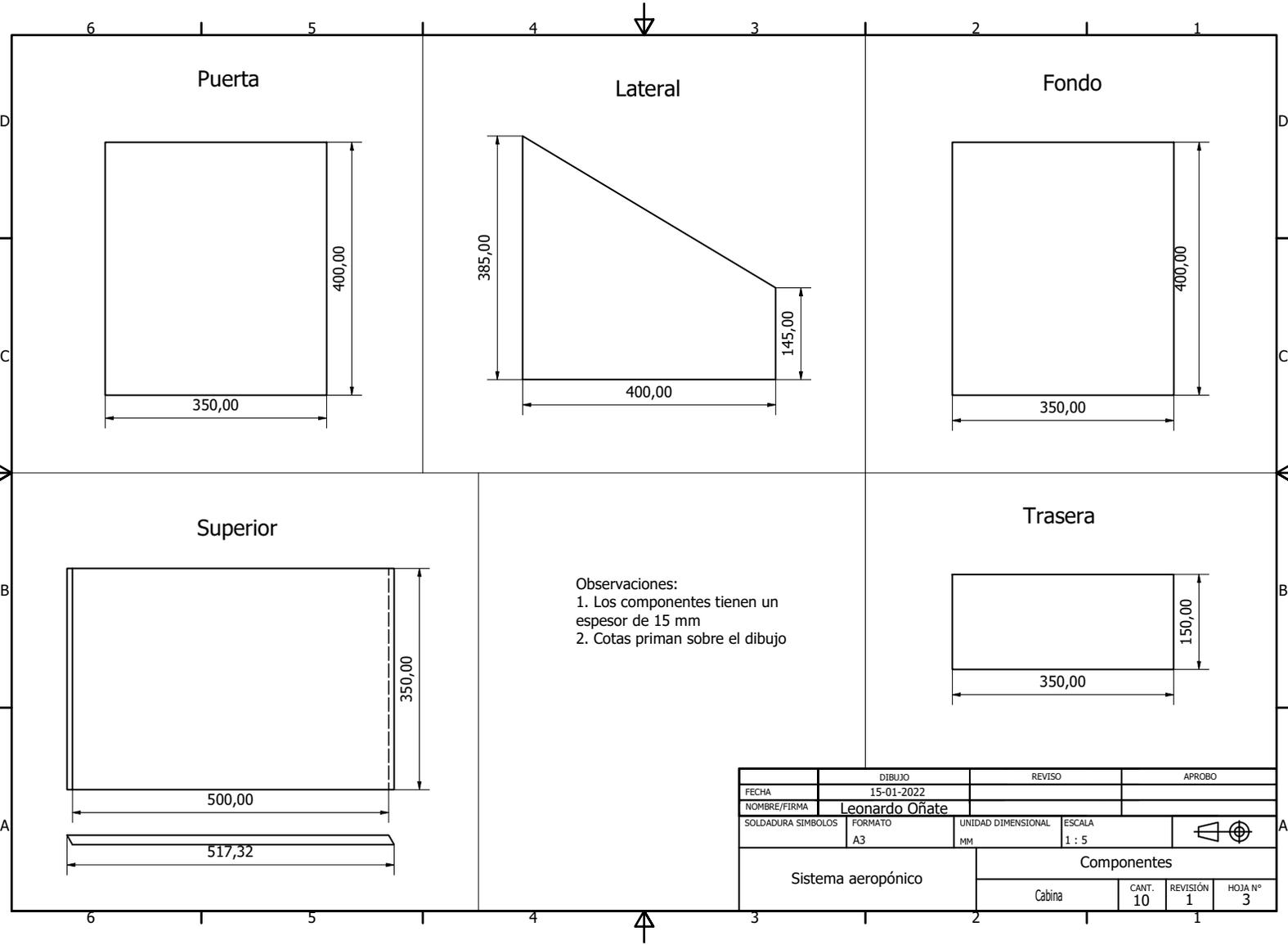
Observaciones:
 1. Todas las uniones entre componentes se realizan mediante tornillos para madera
 2. La unión de la puerta y el lateral correspondiente lleva una bisagra

DIBUJO		REVISO		APROBO	
FECHA	15-01-2022				
NOMBRE/FIRMA	Leonardo Oñate				
SOLDADURA SIMBOLOS	FORMATO	UNIDAD DIMENSIONAL	ESCALA		
	A3	MM	1 : 4		
Sistema aeropónico			Isometrica		
			Cabina	CANT. 1	REVISIÓN 1



- Observaciones:
1. Los componentes se obtienen a partir de una plancha de terciado de 15 mm de grosor
 2. Cotas priman sobre el dibujo

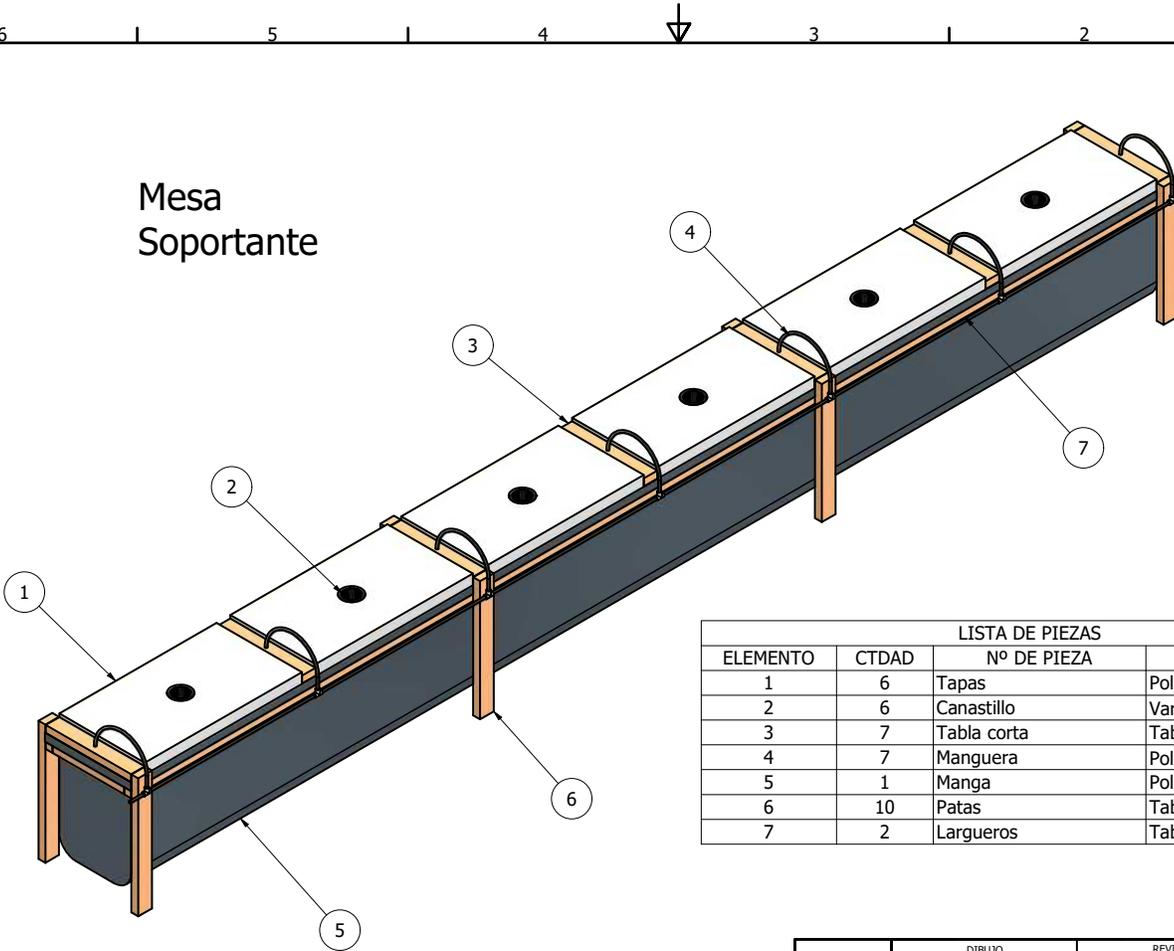
DIBUJO		REVISO		APROBO	
FECHA	15-01-2022				
NOMBRE/FIRMA	Leonardo Oñate				
SOLDADURA SIMBOLOS	FORMATO	UNIDAD DIMENSIONAL	ESCALA		
	A3	MM	1 : 4		
Sistema aeropónico			Medidas Generales		
			Cabina	CANT. 1	REVISIÓN 1



D.2. Mesa Soportante

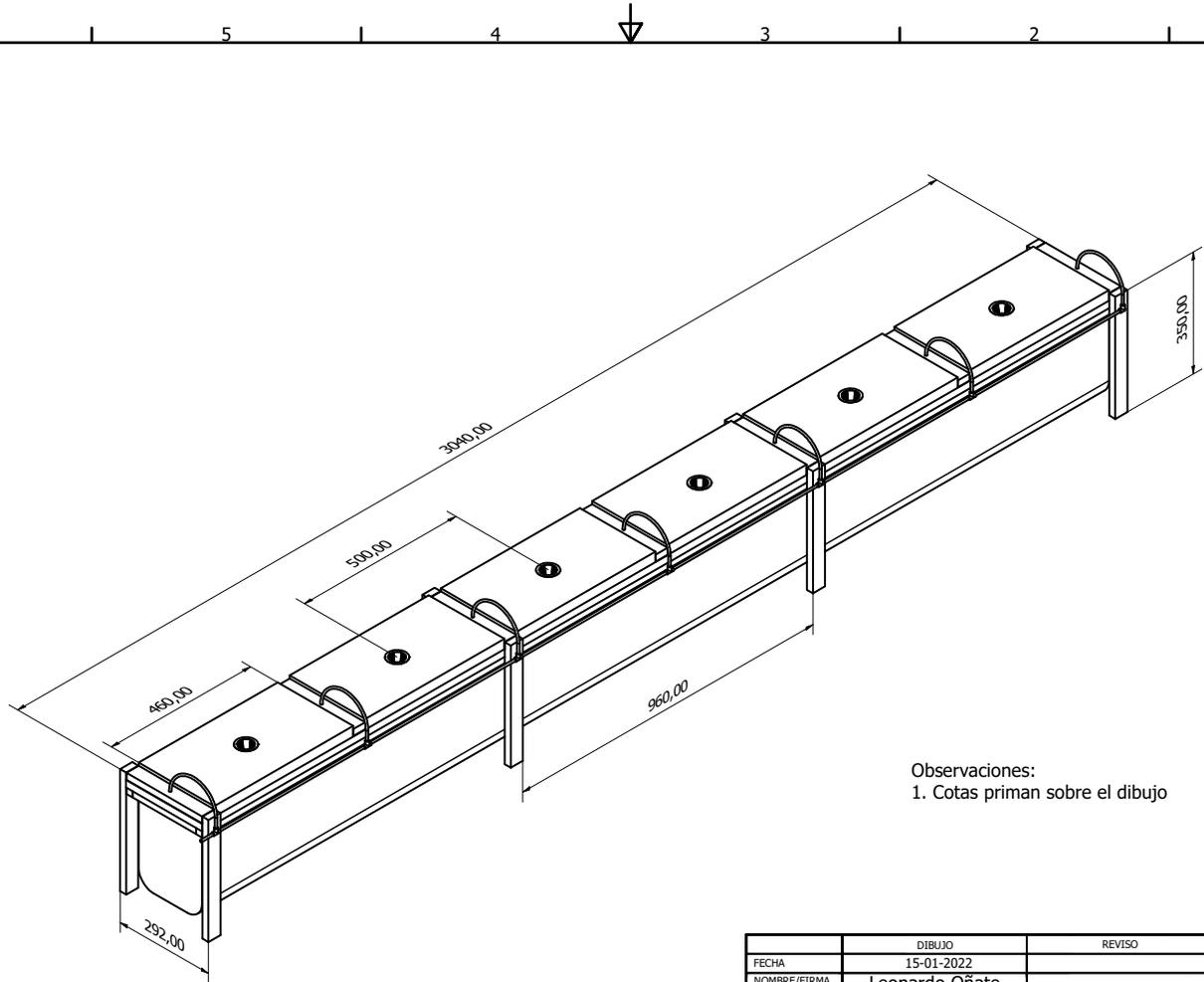
ARCHIVO EN SIGUIENTE PÁGINA

Mesa Soportante



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	6	Tapas	Poliestireno
2	6	Canastillo	Varia según cultivo
3	7	Tabla corta	Tabla 250x40x20
4	7	Manguera	Poliuretano 6-4
5	1	Manga	Polielileno 4x0.1
6	10	Patas	Tabla 350x40x20
7	2	Largueros	Tabla 3040x40x20

DIBUJO		REVISO		APROBO	
FECHA	15-01-2022				
NOMBRE/FIRMA	Leonardo Oñate				
SOLDADURA SIMBOLOS	FORMATO A3	UNIDAD DIMENSIONAL MM	ESCALA 1 : 8		
Sistema aeropónico			Isometrica		
Mesa			CANT. 1	REVISIÓN 1	HOJA Nº 1



Observaciones:
1. Cotas priman sobre el dibujo

DIBUJO		REVISO		APROBO	
FECHA	15-01-2022				
NOMBRE/FIRMA	Leonardo Oñate				
SOLDADURA SIMBOLOS	FORMATO	UNIDAD DIMENSIONAL	ESCALA		
	A3	MM	1 : 9		
Sistema aerópónico			Medidas		
			Mesa	CANT. 1	REVISIÓN 1

Anexo E

Archivos adjuntos

E.1. Consulta funcionamiento

ARCHIVO EN SIGUIENTE PÁGINA

Encuesta Funcionamiento Invernaderos

Usuario: José Valeriano Lincopi Caniulempi

Invernadero: Tipo Capilla

Ubicación: Comunidad Indígena Juan Puen 2. Sector Mañio Pichihue. Nueva Imperial

Encargado/a: Profesional Esmeralda Vásquez Ruiz

1. ¿Qué y cuanto se cultiva actualmente?

Cultivo: Pepino /Cilantro

Cantidad: 240 M2 x 4 naves

2. ¿Cuáles son las medidas del invernadero?

Largo: 40 mt

Ancho: 6 mt

Alto: Laterales 2mt, Centro 4 mt.

Grados ° respecto al Norte: Ubicación Este – Oeste

Georreferenciación WGS 84 18H E 671307 N 5697410

3. ¿Qué se cultiva normalmente? De mayor a menor

1°: Pepinos

2°: Tomates

3°: Cilantro

4°:

4. ¿Cuál es la fuente del agua con que se riega?

Canal de regadío

Pozo

Aguas Iluvias

Otro:

5. ¿El invernadero tiene acceso a red eléctrica?

Sí No

6. ¿Cuál es el sistema de riego?

Acequias

Goteo

Aspersión

Hidroponía

Otro:

7. ¿Utilizan fertilizante? ¿Cuáles, cuanto y con qué frecuencia?

Fertilización base insumo orgánico, compost o bocachi 1 kg / m²

Fertilización química Ultrasol producción al riego 50 kilos por temporada.

8. ¿Utilizan pesticidas? ¿Cuáles, cuanto y con qué frecuencia?

Utiliza fungicidas e insecticidas dos aplicaciones por temporada

Fungicida Phytan 1 cc/lt de agua

Insecticida Troya 1cc/lt de agua

9. ¿Utilizan elementos de apoyo no orgánicos, como cintas, varas, mantillos u otro?

Se utilizan cintas de riego, cinta garetta para guiar tomates y pepinos, alambre.

10. ¿Compran o realizan sus propios almácigos y semilleros? Especifique

El usuario compra la semilla de una agro comercial y tienen un invernadero especial para el establecimiento de plantines.

11. Observaciones:







E.2. Manual sistema aeropónico

ARCHIVO EN SIGUIENTE PÁGINA

MANUAL SISTEMA AEROPÓNICO



Elaborado por Leonardo Oñate Lara
estudiante de Ingeniería Civil
Mecánica, Universidad de Chile

Con apoyo del Programa de
Pueblos Indígenas, FCFM,
Universidad de Chile

CONTROL

Pulsando el botón izquierdo del panel se puede seleccionar la FRECUENCIA DE RIEGO, con las siguientes opciones:

3 [seg] ON - 20 [min] OFF
4 [seg] ON - 20 [min] OFF
3 [seg] ON - 10 [min] OFF
4 [seg] ON - 10 [min] OFF
3 [seg] ON - 5 [min] OFF
4 [seg] ON - 5 [min] OFF

También se puede seleccionar el modo SISTEMA APAGADO y PUESTA EN MARCHA



PANEL

Con el botón derecho se puede visualizar el estado del estanque, el cual puede ser ALTO, BAJO O MUY BAJO. Suena una alarma en caso de ser BAJO O MUY BAJO

MANTENCIÓN

No dejar que el nivel del estanque sea MUY BAJO, ya que el sistema se detiene y el cultivo puede perecer

Se recomienda que el agua no se acumule por más de 2 semanas

Revisar periódicamente los atomizadores, limpiándolos o cambiándolos según sea requerido

Limpiar periódicamente el panel solar quitando posibles suciedades

Revisar y controlar semanalmente el nivel de pH y solución nutritiva.

Se recomienda utilizar un 60% menos de solución nutritiva que cultivo convencional y no utilizar pesticidas en el agua

Revisar semanalmente la suciedad en el fondo del estanque, el filtro de captación de la bomba y el fondo de la manga

Después de 2 años de uso puede requerirse un cambio de batería

COMPONENTES

 Bomba de diafragma

 Batería

 Panel solar

 Regulador

 Sensor de nivel

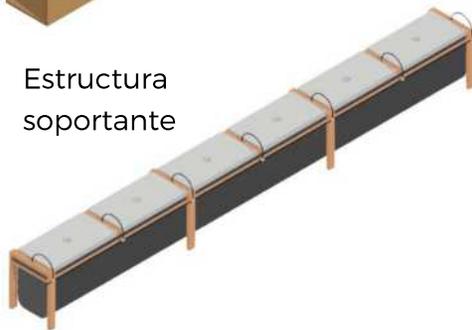
 Caja eléctrica

 Atomizadores

 Conectores

 Cabina

Estructura
soportante



INSTALACIÓN

Los componentes electrónicos se instalan en la caja eléctrica según el DIAGRAMA ELECTRÓNICO

La pantalla y los pulsadores van al panel de control, la alarma afuera y los sensores de nivel al estanque

Dentro de la cabina se instalan los componentes eléctricos (bomba, batería, regulador, caja eléctrica y panel de control), en la parte superior se instala el panel solar

A partir del DIAGRAMA ELÉCTRICO se conecta el cableado

La estructura soportante se instala según su figura. El estanque debe estar bajo el nivel de la estructura para recibir el agua sobrante

En el DIAGRAMA HIDRÁULICO la manguera de 6 mm se ve representada de azul, mientras que de rojo el tubo de 32 mm

Finalmente usar el modo PUESTA EN MARCHA para llenar las tuberías

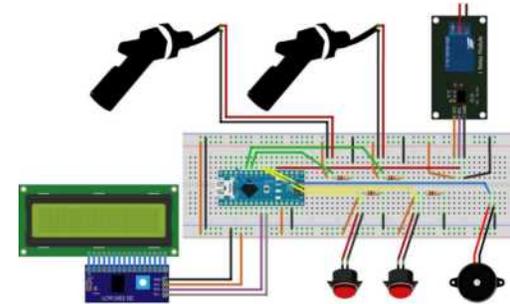


DIAGRAMA ELECTRÓNICO

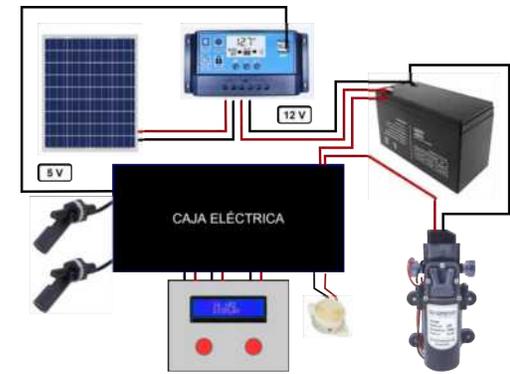


DIAGRAMA ELÉCTRICO

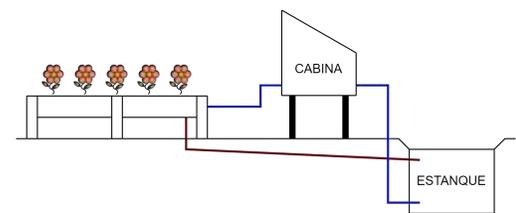


DIAGRAMA HIDRÁULICO

E.3. Reporte explorador solar

ARCHIVO EN LA PÁGINA SIGUIENTE



EXPLORADOR SOLAR

Reporte Generación Eléctrica Fotovoltaica



fcfm

Geofísica

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

102



Ministerio de
Energía

Gobierno de Chile

Reporte

Generación fotovoltaica y datos meteorológicos

25/11/2021

1 Introducción

En este reporte se presenta información sobre el recurso solar basada en la modelación numérica de la transferencia de radiación solar en la atmósfera y en datos satelitales de alta resolución. El producto obtenido ha sido validado con observaciones, sin embargo, no debe ser considerado como definitivo antes de ser corroborado con mediciones in situ.

El modelo utilizado para la transferencia radiativa en cielo despejado es el modelo CLIRAD-SW, el cual considera las interacciones de la radiación con la atmósfera por bandas espectrales de manera independiente. El modelo utiliza datos de temperatura, humedad y aerosoles de reanálisis meteorológicos y datos climatológicos de CO₂, CH₄ y O₃.

La información para la nubosidad que se ha utilizado proviene de los satélites GOES-EAST para los años 2004 a 2016. Con esta base de datos se ha identificado la nubosidad y sus características radiativas, y a través de un modelo empírico se ha modificado el resultado obtenido para una atmósfera con cielo despejado para adaptarlo a una condición de cielo nublado.

A continuación encontrará los resultados del cálculo de la generación del sistema fotovoltaico evaluado, de acuerdo a los parámetros ingresados, el impacto de la radiación incidente y las condiciones meteorológicas en el sitio de interés. Además se muestra información sobre la radiación (global, directa y difusa) incidente en el panel de acuerdo a las características del arreglo fotovoltaico escogido, la radiación incidente en un plano horizontal y los promedios de la nubosidad, temperatura y la velocidad del viento en el sitio seleccionado.

2 Sitio

En esta sección se muestran las características topográficas del sitio escogido por el usuario.

Tabla 1: Ubicación del sitio seleccionado

Nombre	Lincopi
Latitud	38.8553 °S
Longitud	73.0247 °O
Elevación	50 m

2.1 Sombras topográficas

Se ha utilizado una base de datos de altura del terreno de 90 [m] de resolución y se ha considerado la topografía dentro de un radio de 180 [km] desde el sitio seleccionado para obtener las sombras proyectadas por los obstáculos topográficos en el entorno del sitio. Este análisis NO considera el impacto de otro tipo de obstáculos como por ejemplo edificios, árboles, cables, etc.

Tabla 2: Frecuencia de sombras.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
%	40.58	45.83	50.08	54.92	60.31	62.5	62.5	55.97	52.18	47.6	41.67	40.18

(a) Porcentaje de tiempo con sombras cada mes en horario diurno.

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	76.58	50.63	22.03	0.0	0.0	0.0

Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.07	59.46	91.65	100.0	100.0	100.0

(b) Porcentaje del año con sombras en cada hora.

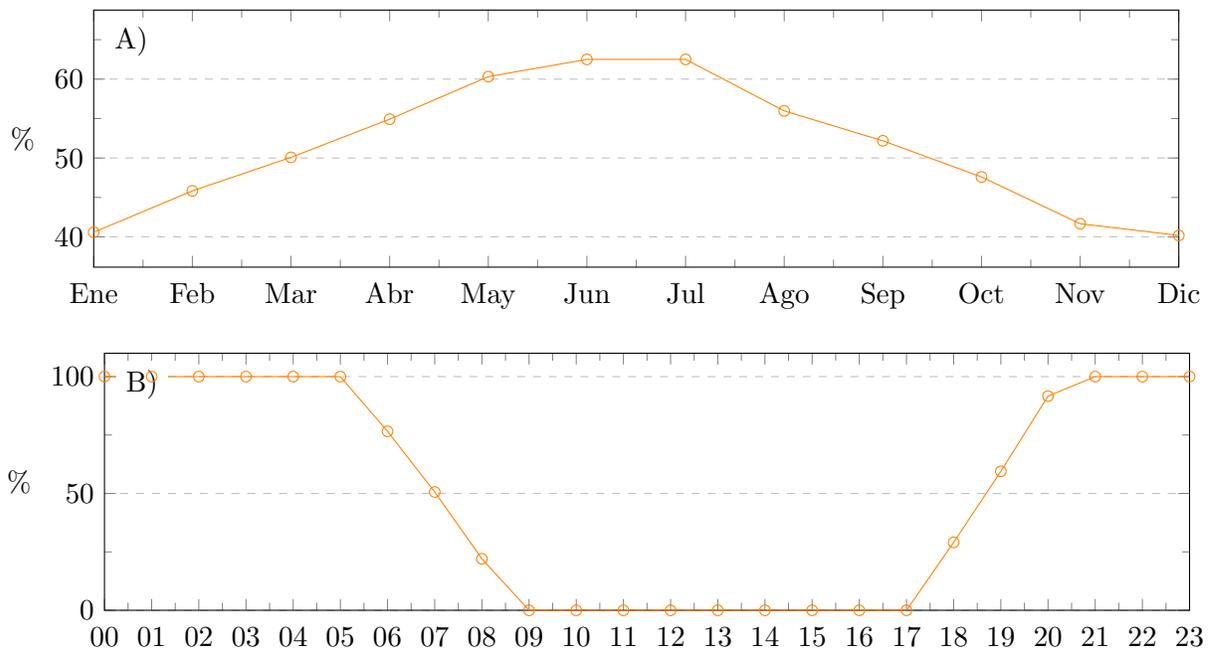


Figura 1: A) Ciclo anual de frecuencia de sombras, B) Ciclo diario de frecuencia de sombras.

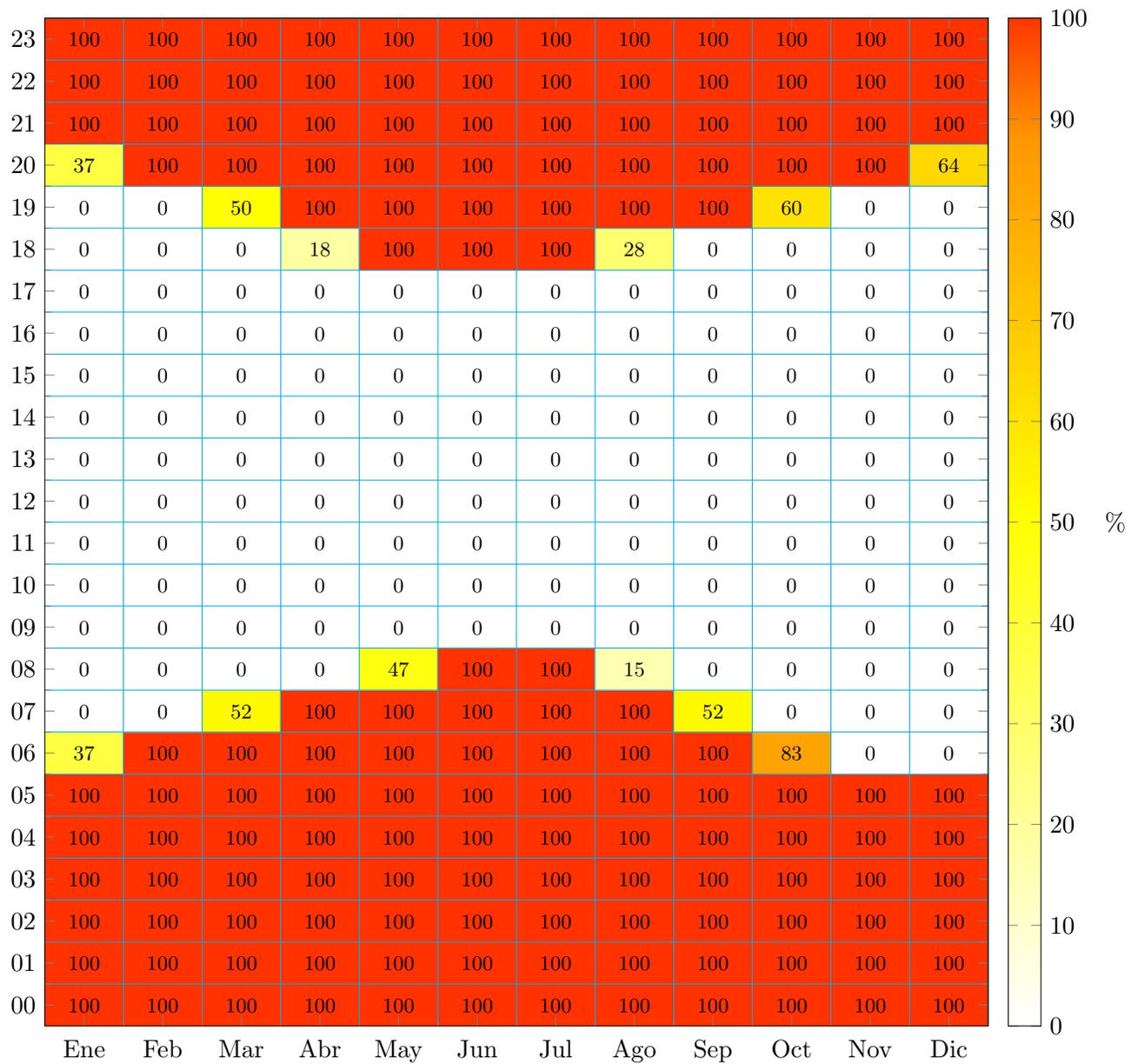


Figura 2: Porcentaje de la hora con sombras durante cada mes.

3 Generación Fotovoltaica

3.1 Características del arreglo fotovoltaico

Las características del sistema ingresadas por el usuario para la simulación de la generación fotovoltaica y los resultados se presentan en esta sección.

Tabla 3: Características del sistema fotovoltaico

Configuración	Fijo Inclinado
Montaje	open rack cell glassback
Inclinación	31°
Azimut	-25°
N° celdas por panel	36
N° paneles	1
Voltaje máxima potencia	18.17 V
Corriente máxima potencia	1.1 A
Voltaje circuito abierto	23.02 V
Coef. temperatura voltaje	-0.3 %/°C
Corriente cortocircuito	1.2 A
Coef. temperatura corriente	0.037 %/°C
Ef. Inversor	100 %
Pérdidas	14 %

3.2 Resultados de la generación eléctrica fotovoltaica

Tabla 4: Resultados de la generación fotovoltaica

Capacidad Instalada	0.02 kW
Total Diario	0.0 kWh
Total Anual	26.0 kWh
Factor de Planta	15.0 %

Tabla 5: Ciclo anual de la generación fotovoltaica.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>kWh</i>	3.47	2.91	2.61	1.73	1.25	0.98	0.99	1.32	1.98	2.39	2.82	3.29

(a) Promedio de la generación total en cada mes.

Tabla 6: Ciclo diario de la generación fotovoltaica.

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
<i>kWh</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.01
Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
<i>kWh</i>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(a) Promedio de la generación para cada hora.

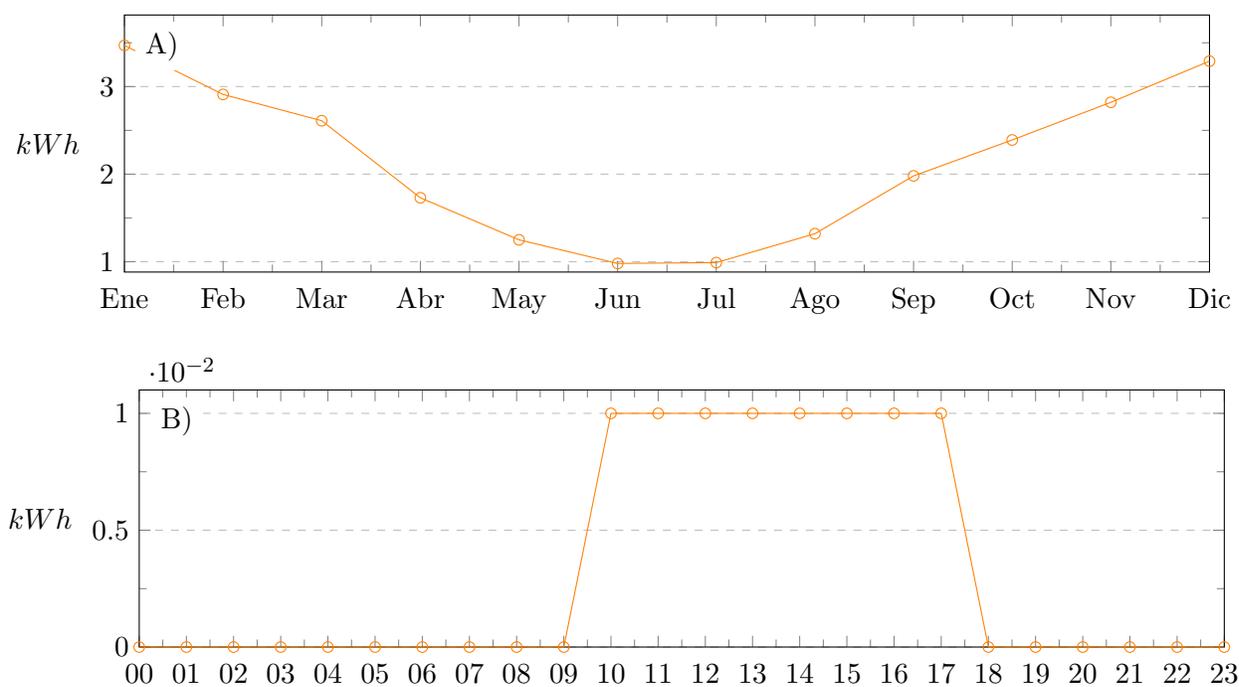


Figura 3: A) Ciclo anual de generación, B) Ciclo diario de generación.

Tabla 7: Total anual de la generación para cada año en la base de datos.

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<i>kWh</i>	23.9	25.0	24.3	25.4	25.6	25.8	28.0	27.9	25.5	27.2	24.4	25.7	25.8

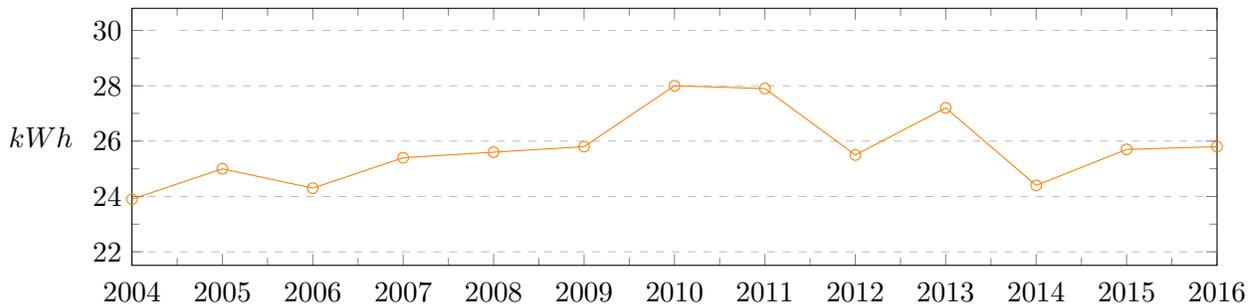


Figura 4: Variación interanual de la generación fotovoltaica.

3.3 Radiación

Las siguientes tablas y gráficos muestran los promedios de la radiación global, directa y difusa incidente sobre un plano horizontal y sobre un plano orientado hacia el norte, con una inclinación igual a la latitud del sitio.

3.3.1 Insolación mensual

Tabla 8: Promedio mensual de la insolación diaria en unidades de $[kWh/m^2/día]$.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Directa	6.15	5.2	3.48	1.89	1.11	0.78	0.77	1.23	2.32	2.89	4.03	5.28
Difusa	1.79	1.58	1.38	1.04	0.65	0.54	0.62	0.86	1.35	1.98	2.44	2.37
Global	7.94	6.78	4.86	2.93	1.76	1.32	1.39	2.09	3.67	4.87	6.47	7.65

(a) Radiación incidente en el plano horizontal

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Directa	5.3	5.19	4.31	3.01	2.23	1.81	1.67	2.14	3.14	3.09	3.55	4.31
Difusa	1.59	1.4	1.23	0.92	0.58	0.48	0.55	0.76	1.2	1.76	2.17	2.1
Suelo	0.21	0.18	0.13	0.08	0.05	0.04	0.04	0.06	0.1	0.13	0.17	0.2
Global	7.1	6.77	5.67	4.01	2.86	2.33	2.26	2.96	4.44	4.98	5.89	6.61

(b) Radiación incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio.

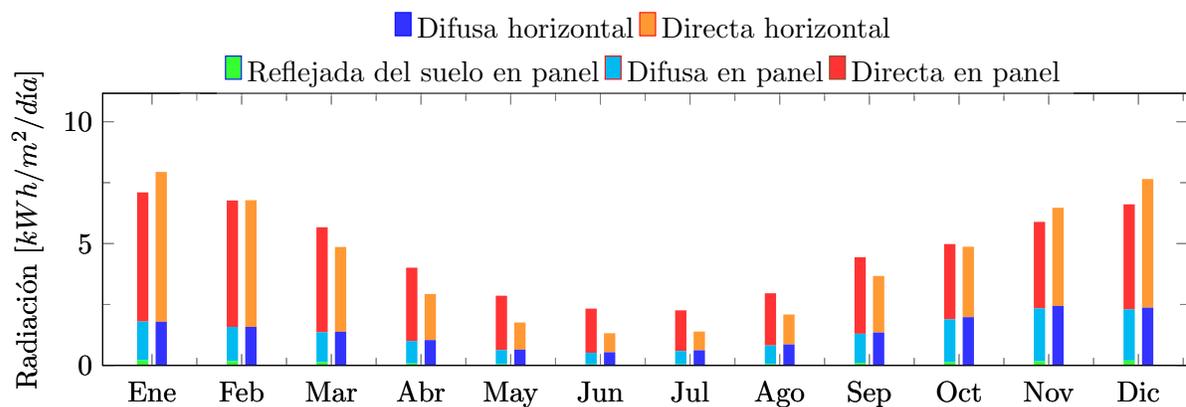


Figura 5: Promedio mensual de la insolación diaria incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado, separada en sus componentes directa, difusa y reflejada del suelo.

3.3.2 Ciclo diario de radiación

Tabla 9: Promedio horario de la radiación incidente en unidades de $[W/m^2]$.

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Directa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.14	34.08	96.92	173.18	230.8	289.34
Difusa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.39	18.36	44.76	86.98	133.86	174.5
Global	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.53	52.44	141.68	260.16	364.66	463.84
Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Directa	324.88	363.64	371.03	363.14	310.29	207.01	108.63	37.96	0.99	0.0	0.0	0.0
Difusa	204.97	197.95	175.93	138.66	93.66	64.25	31.09	11.73	1.32	0.0	0.0	0.0
Global	529.85	561.59	546.96	501.8	403.95	271.26	139.72	49.69	2.31	0.0	0.0	0.0

(a) Radiación incidente en el plano horizontal.

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Directa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.19	82.33	191.84	269.83	342.78
Difusa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.02	16.32	39.77	77.29	118.94	155.06
Suelo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.4	3.79	6.96	9.75	12.4
Global	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.22	24.91	125.89	276.09	398.52	510.24
Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Directa	386.15	435.5	444.25	440.25	369.7	246.69	84.81	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Difusa	182.13	175.89	156.33	123.21	83.22	57.09	27.63	10.42	1.17	0.0	0.0	0.0
Suelo	14.17	15.02	14.63	13.42	10.8	7.25	3.74	1.33	0.06	0.0	0.0	0.0
Global	582.45	626.41	615.21	576.88	463.72	311.03	116.18	13.55	1.23	0.0	0.0	0.0

(b) Radiación incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio.

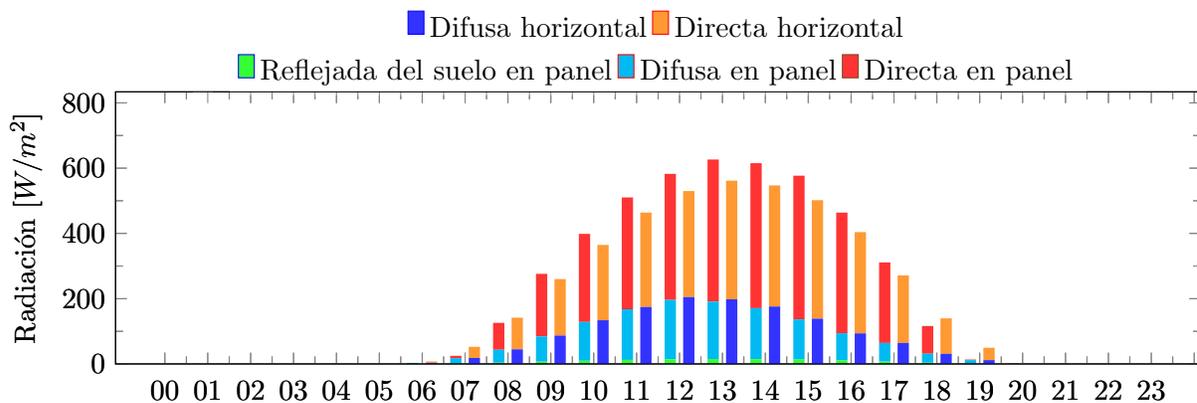


Figura 6: Promedio horario de la radiación global instantánea incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado, separada en sus componentes directa, difusa y reflejada en el suelo.

3.3.3 Variabilidad año a año

Tabla 10: Promedio anual de la insolación diaria en unidades de $[kWh/m^2/día]$.

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Directa	2.51	2.82	2.6	2.9	3.13	2.84	3.1	3.26	2.88	3.21	2.69	3.05	2.92
Difusa	1.53	1.39	1.5	1.38	1.26	1.38	1.35	1.31	1.38	1.31	1.47	1.31	1.38
Global	4.04	4.21	4.1	4.28	4.39	4.22	4.45	4.57	4.26	4.52	4.16	4.36	4.3

(a) Radiación incidente en el plano horizontal.

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Directa	2.81	3.15	2.91	3.22	3.42	3.31	3.74	3.8	3.3	3.63	2.95	3.36	3.35
Difusa	1.36	1.24	1.34	1.23	1.12	1.22	1.2	1.17	1.22	1.16	1.3	1.16	1.23
Suelo	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12	0.11	0.12	0.12	0.11	0.12	0.11	0.12	0.12
Global	4.28	4.5	4.36	4.56	4.66	4.64	5.06	5.09	4.63	4.91	4.36	4.64	4.7

(b) Radiación incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio.

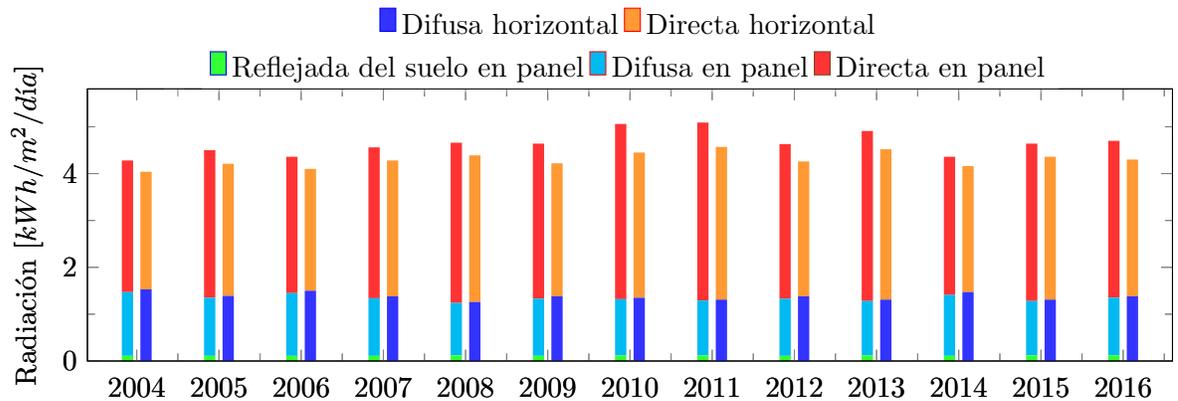


Figura 7: Promedio anual de la insolación diaria incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado para cada año de simulación.

3.3.4 Ciclo diario-anual

Los siguientes gráficos muestran el ciclo diario y el ciclo anual de la radiación solar incidente. El eje horizontal indica la hora del día (UTC-4) y el eje vertical indica el mes del año. La escala de colores indica el valor medio de la radiación instantánea incidente en el panel en $[W/m^2]$ para cada hora y mes.

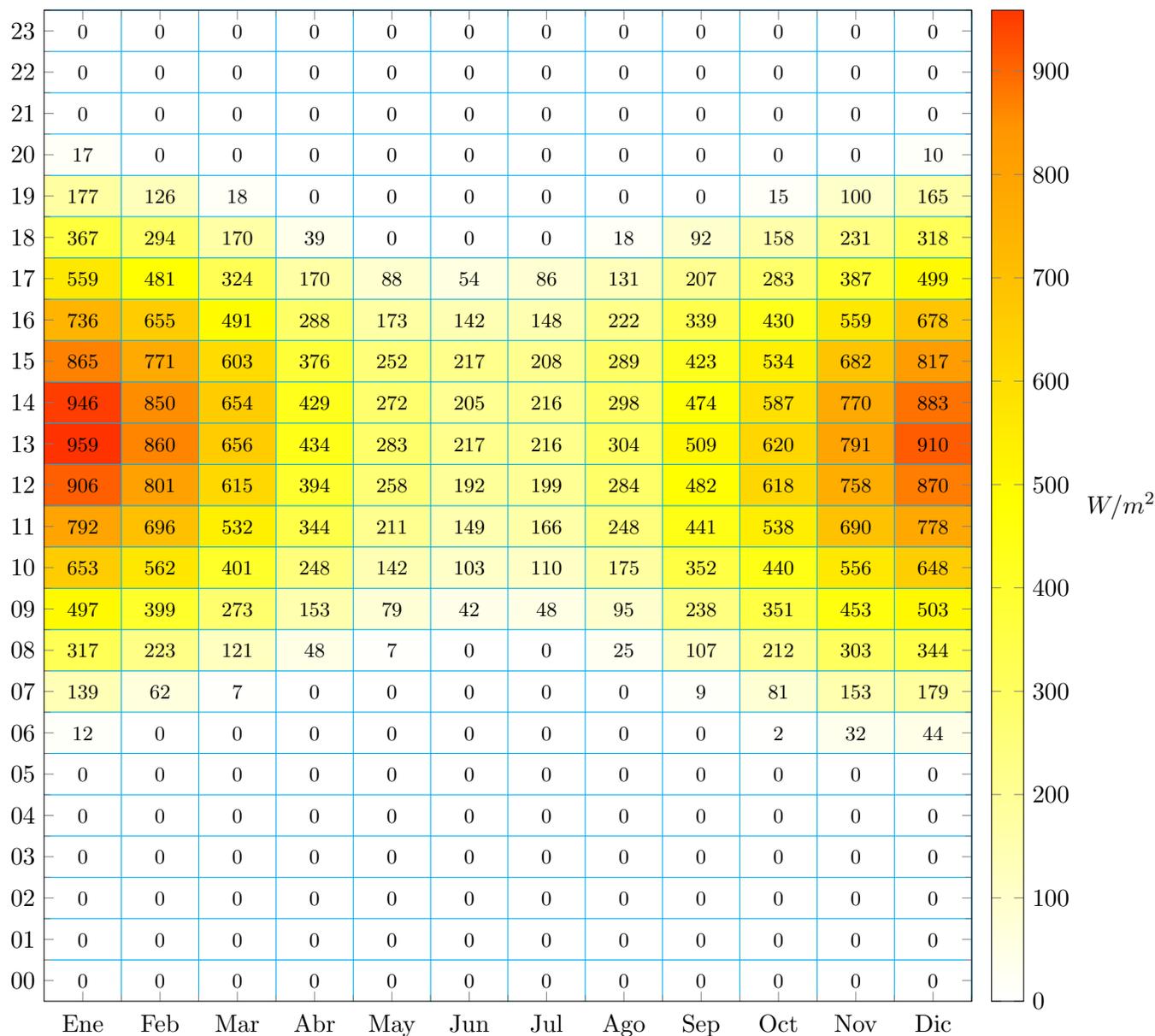


Figura 8: Promedio de la radiación global horizontal para cada hora y mes.

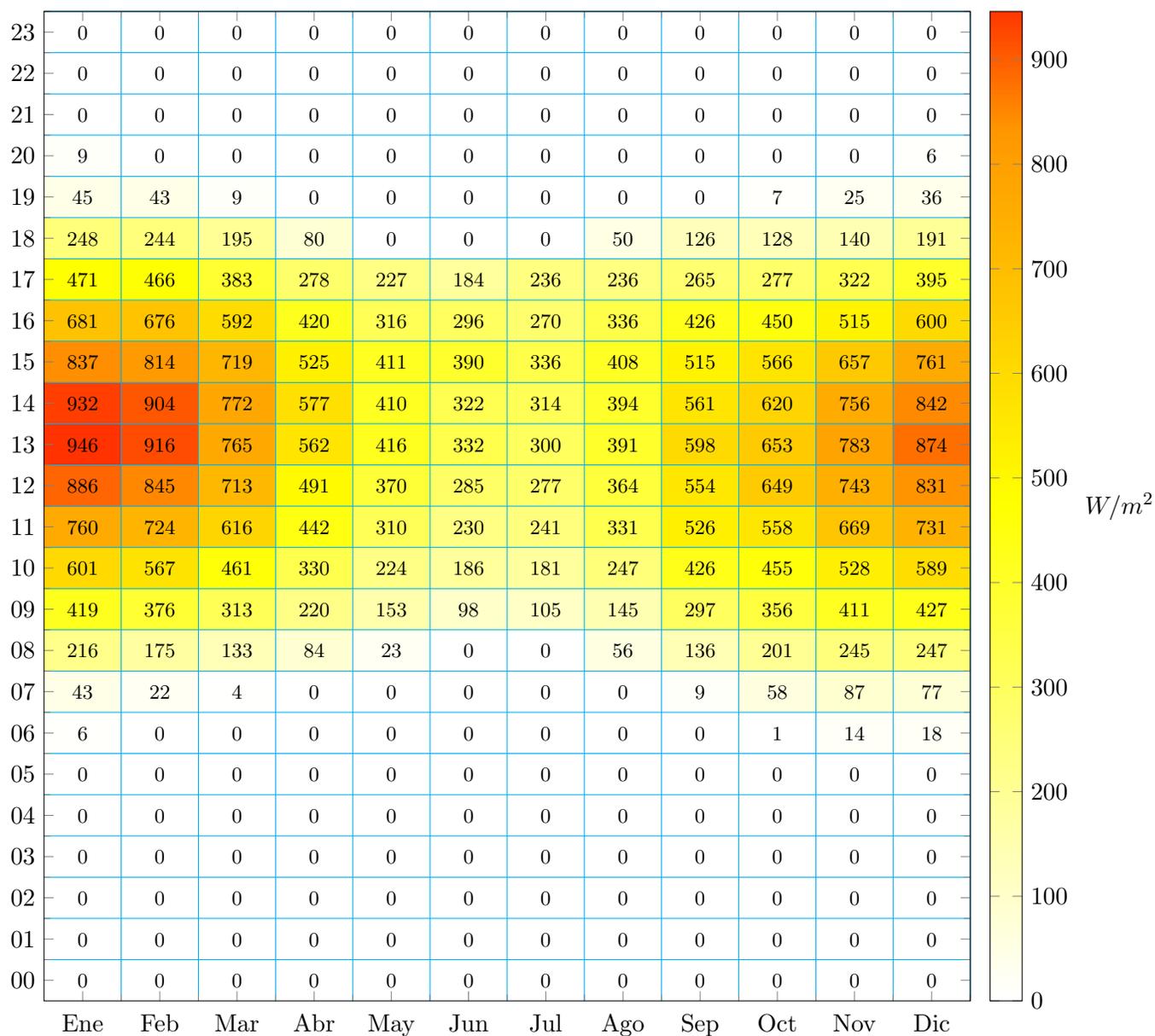


Figura 9: Promedio de la radiación global incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio, para cada hora y mes.

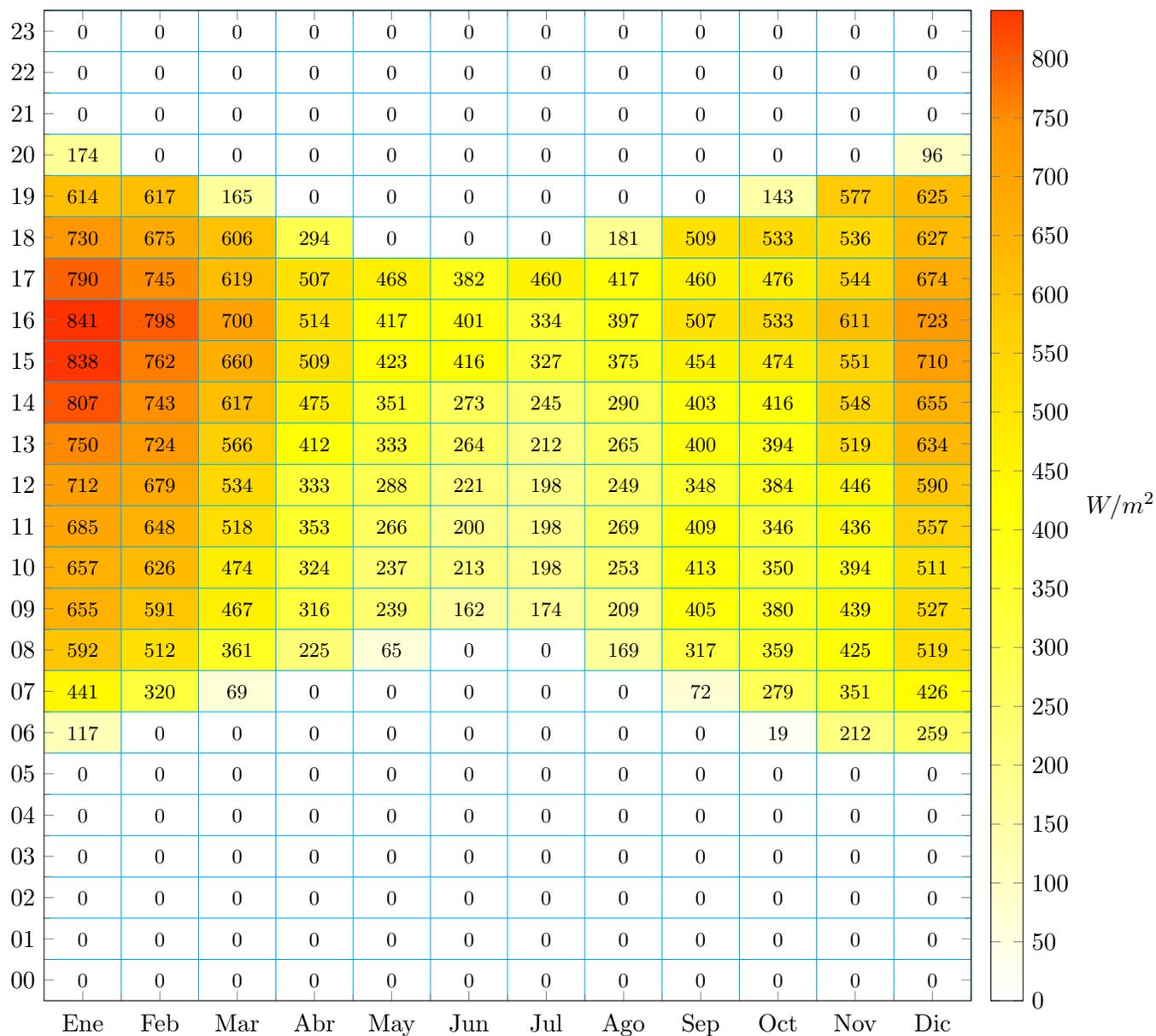


Figura 10: Promedio de la radiación directa normal para cada hora y mes.

3.4 Nubosidad

La nubosidad es la componente atmosférica que remueve mayor cantidad de radiación incidente. A partir de imágenes del satélite geostacionado GOES, se ha calculado la frecuencia de nubosidad para cada hora y mes. Debido a que para la mayor parte del país se utilizan las imágenes del canal visible en la detección de nubosidad, el dato solo está disponible para las horas diurnas.

Tabla 11: Frecuencia de la nubosidad diurna.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
%	17.74	16.61	20.2	23.44	23.94	23.33	25.03	27.83	25.42	28.95	28.46	24.06

(a) Porcentaje del mes con nubosidad diurna

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.09	26.37	42.41	57.74	60.79	60.69

Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
%	60.88	56.98	53.54	45.95	40.35	31.47	16.38	3.37	0.93	0.0	0.0	0.0

(b) Porcentaje de la hora con nubosidad. Los ceros corresponden a horas donde no hay datos de nubosidad.

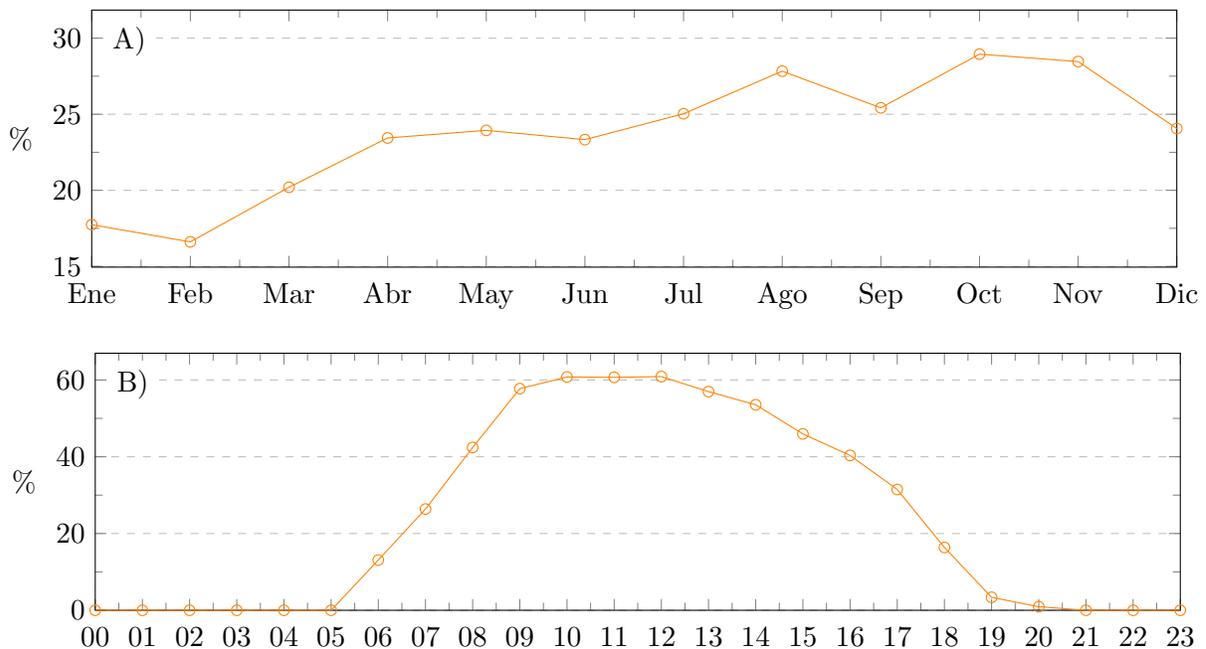


Figura 11: A) Ciclo anual de frecuencia de nubosidad diurna, B) Ciclo diario de frecuencia de nubosidad.

Tabla 12: Variación interanual del porcentaje de nubosidad.

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
%	27.33	25.08	26.19	24.2	22.76	23.61	20.92	20.35	24.06	21.71	25.97	23.44	23.63

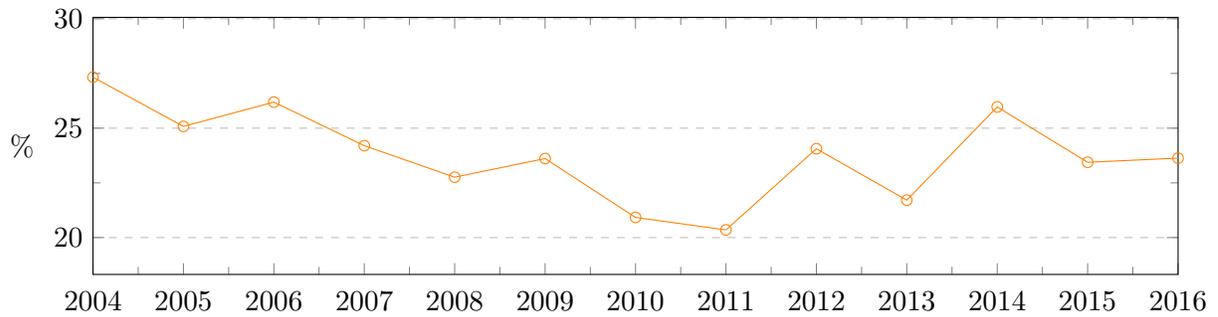


Figura 12: Variación interanual del porcentaje de nubosidad.

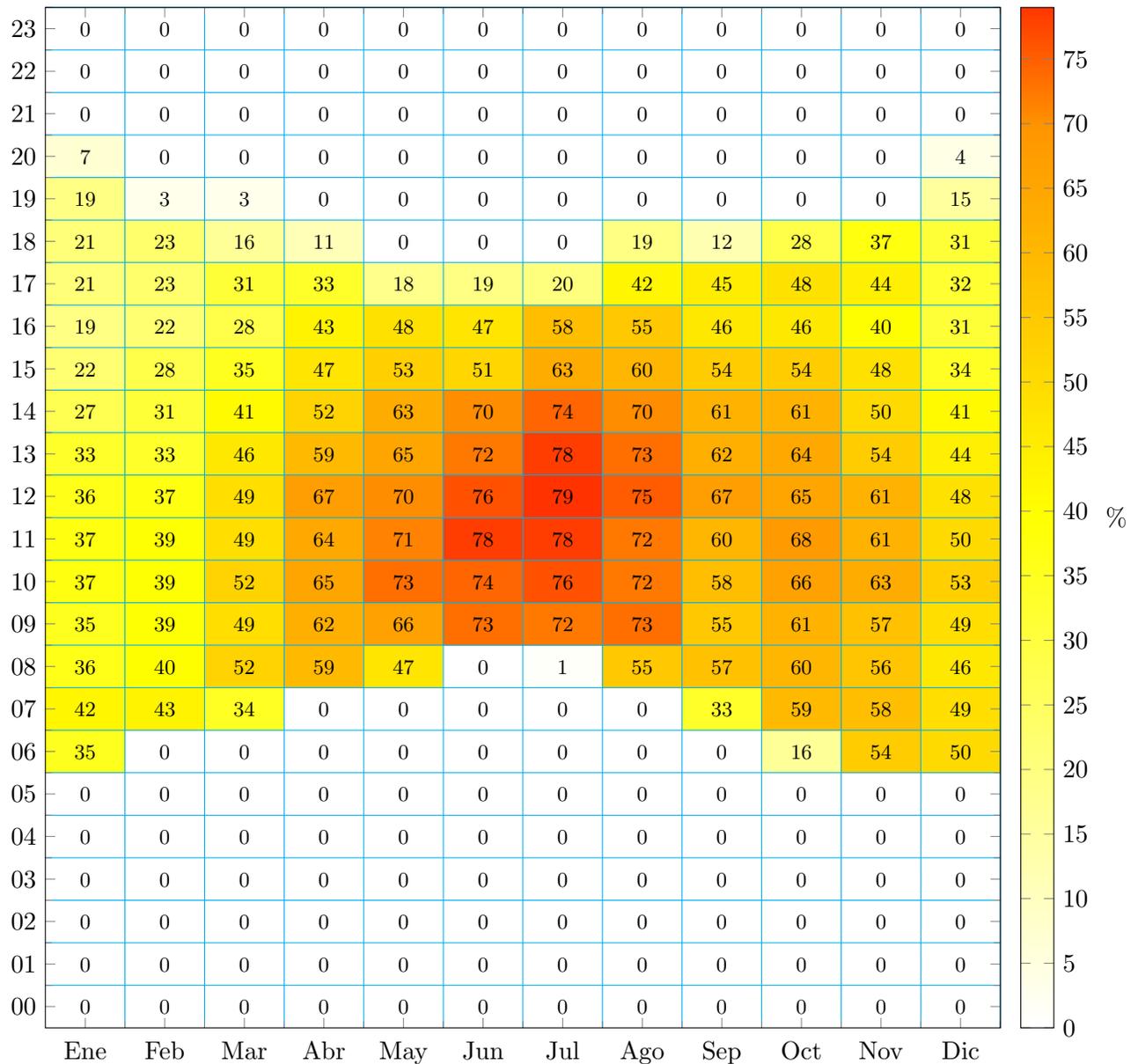


Figura 13: Porcentaje de tiempo con nubes para cada hora y mes.

3.5 Temperatura

La temperatura ambiental afecta la eficiencia de las celdas fotovoltaicas. Las estimaciones de temperatura que se muestran en este capítulo están basadas en los resultados del Explorador Eólico, los cuales se basan en las simulaciones hechas con el modelo meteorológico WRF a 1[km] de resolución para el año 2010.

Tabla 13: Temperatura media.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
°C	16.15	16.27	14.43	11.77	9.82	8.52	7.9	8.52	9.64	11.03	12.7	14.55

(a) Temperatura promedio mensual.

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
°C	9.68	9.3	8.96	8.66	8.4	8.16	8.01	8.15	8.73	9.93	11.56	13.29

Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
°C	14.81	15.99	16.74	16.96	16.59	15.74	14.59	13.38	12.25	11.37	10.69	10.15

(b) Temperatura promedio para cada hora.

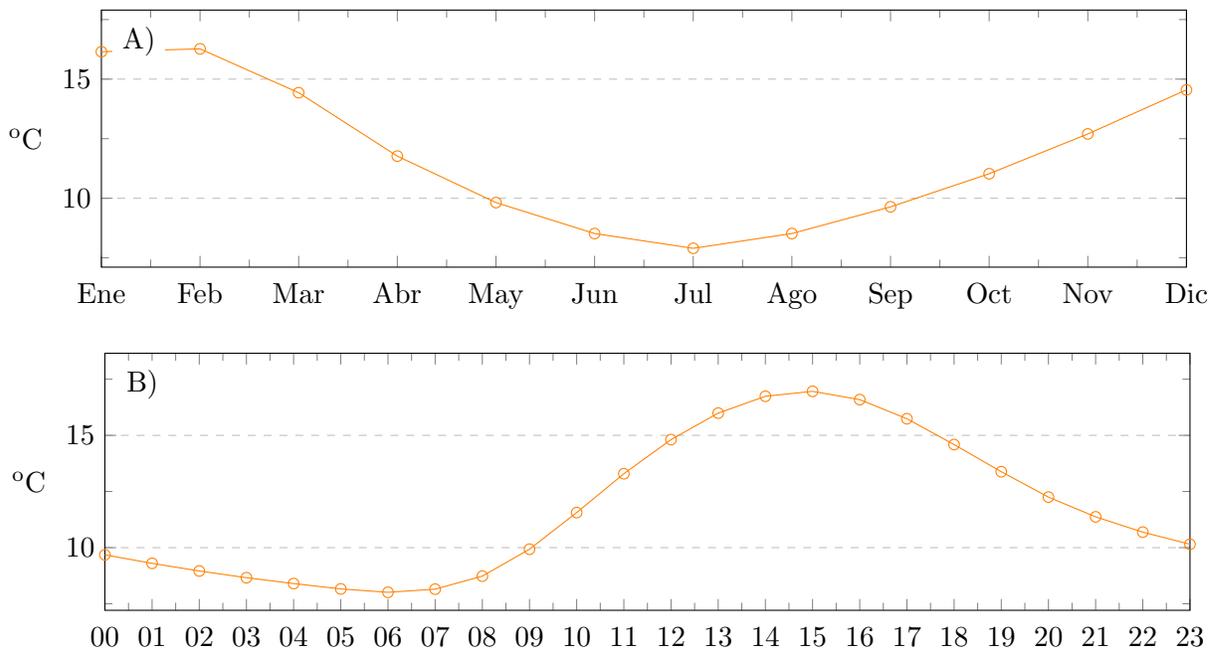


Figura 14: A) Ciclo diario de la temperatura media, B) Ciclo anual de la temperatura media.

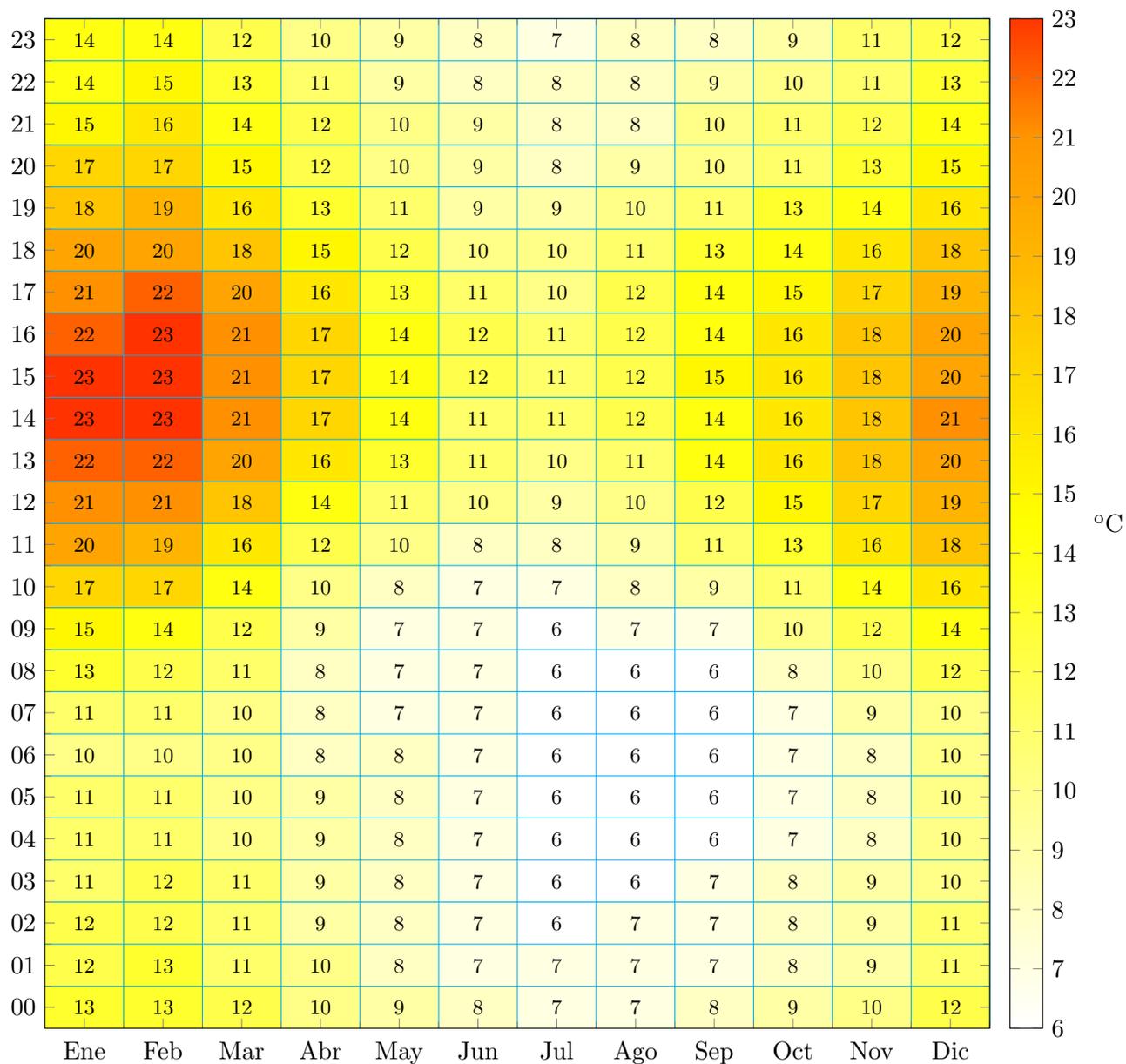


Figura 15: Promedio de la temperatura para cada mes y hora.

3.6 Viento

La velocidad del viento interviene en el enfriamiento de las celdas fotovoltaicas, y por lo tanto en su eficiencia, además puede afectar la integridad del montaje de los paneles. Las estimaciones de viento aquí presentadas corresponden a los resultados del Explorador Eólico para una altura de 5.5 metros, calculados con el modelo WRF a 1 [km] de resolución para el año 2010.

Tabla 14: Velocidad del viento a 5,5[m].

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
m/s	2.68	2.53	2.21	2.05	2.31	3.12	3.27	3.27	2.54	2.53	2.86	2.88

(a) Promedio mensual de la magnitud del viento.

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
m/s	2.0	1.87	1.82	1.75	1.73	1.75	1.74	1.81	1.93	2.11	2.38	2.78

Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
m/s	3.15	3.58	3.96	4.24	4.33	4.22	3.83	3.32	2.94	2.64	2.41	2.18

(b) Promedio de la magnitud del viento para cada hora.

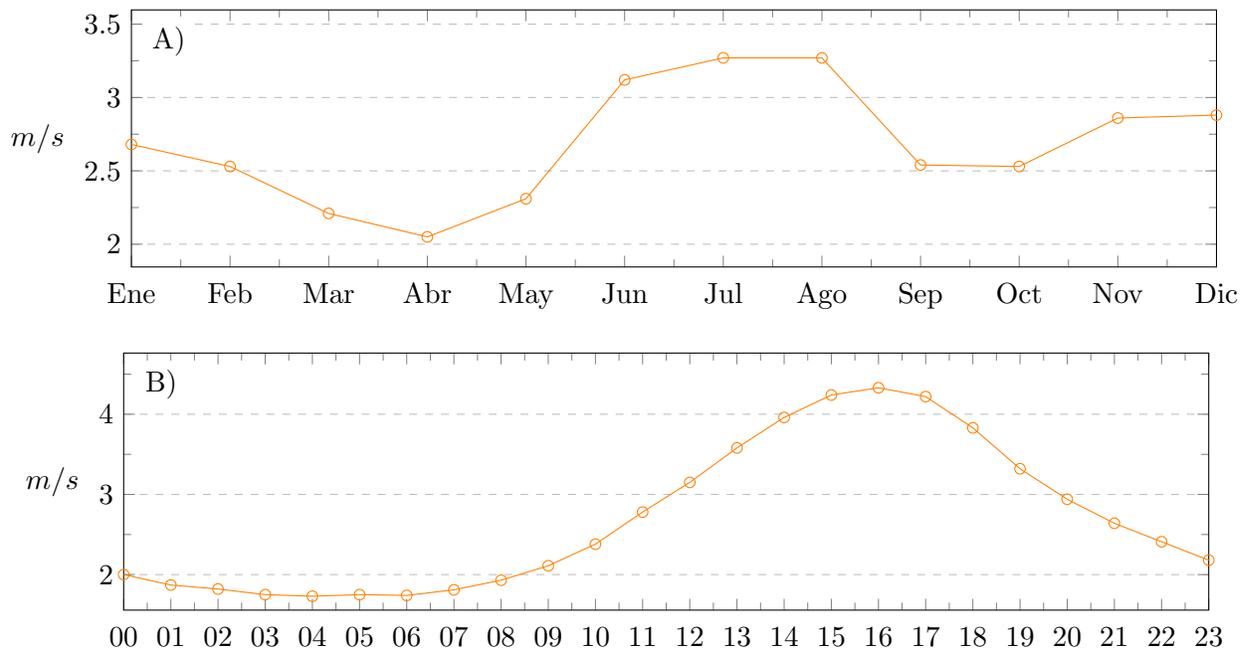


Figura 16: A) Ciclo diario de la magnitud del viento, B) Ciclo anual de la magnitud del viento.

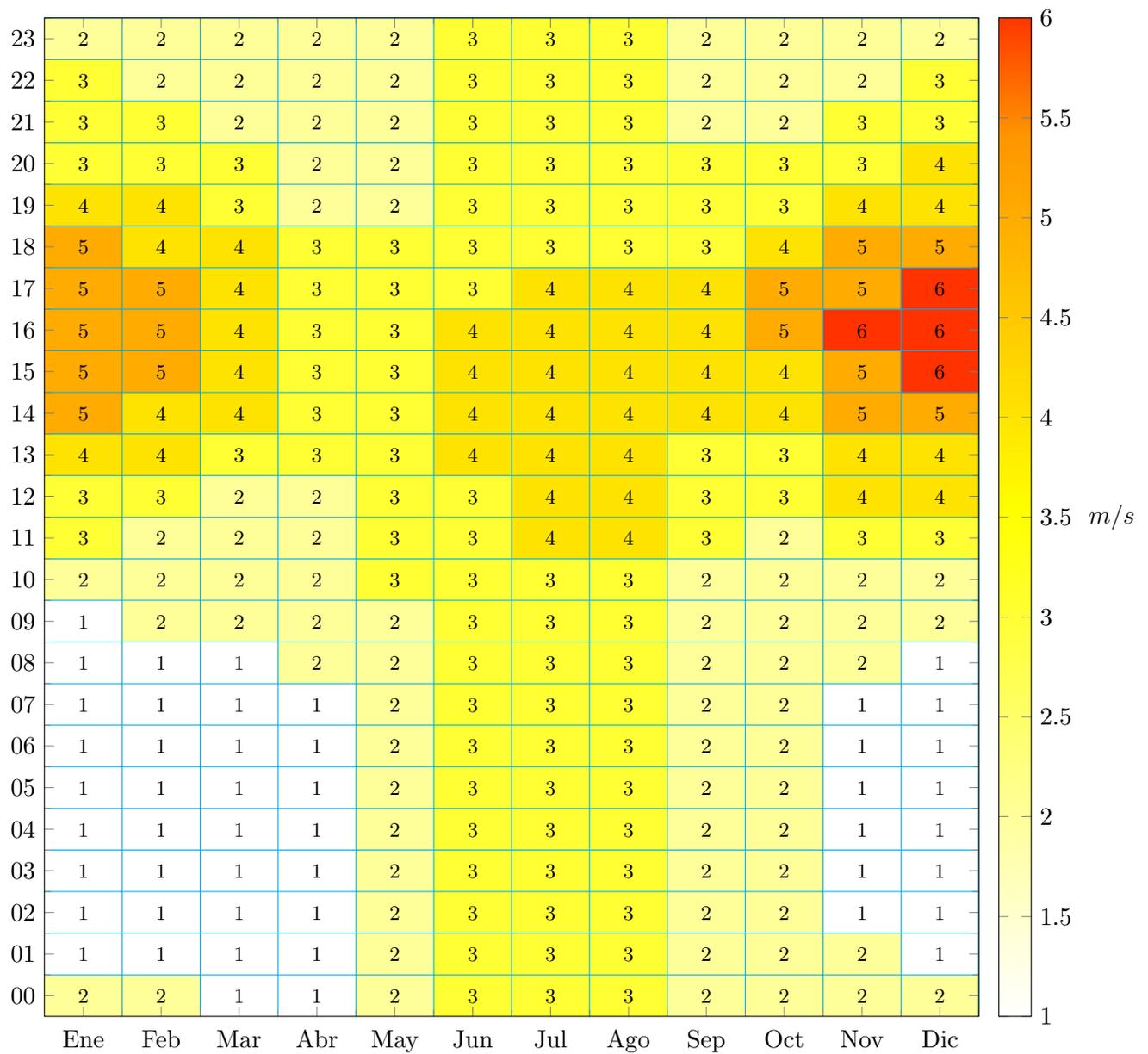


Figura 17: Promedio de la magnitud del viento para cada mes y hora.

E.4. Ficha técnica panel solar

ARCHIVO EN LA PÁGINA SIGUIENTE



SOLAR MODULES YI-20M

Specifications

Cell Type	Mono-Silicon solar Cells
Cell Size	125mm×31.25mm
No. of cells and connections	36
Dimension of module(mm)	280*580×25mm
Weight	2.5Kg

Electrical Characteristics

Model	YI-20M
Maximum power at STC(Pm)	20W
Open-circuit voltage(Voc)	21.85V
Short-circuit current(Isc)	1.27A
Voltage at Pmax(Vmp)	17.71V
Current at Pmax(Imp)	1.13A
Application	DC 12V system

(STC:Irradiance AM1.5, 1000W/m², 25°C)

Limits

Fuse rating	10A
Maximum system voltage	715VDC
Operating temperature	-40~+85°C

Temperature and Coefficients

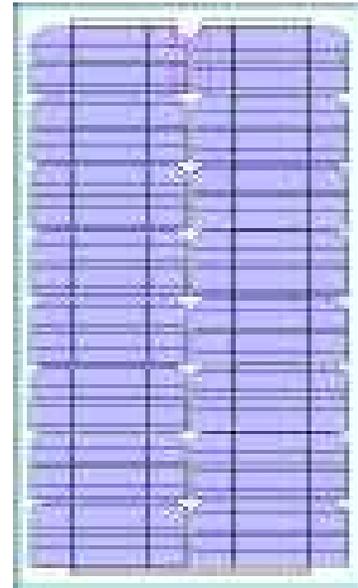
NOCT	45°C±2°C
Temp coefficient of Voc	-0.30%/°C
Temp coefficient of Isc	0.037%/°C
Temp coefficient of power	-0.45%/°C

NOCT:Nominal Operation Cell Temperature

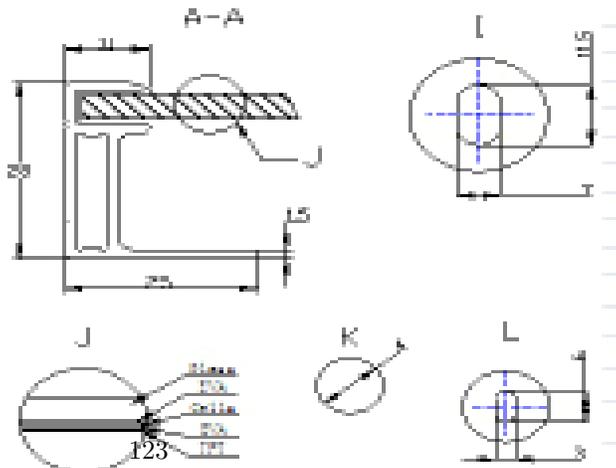
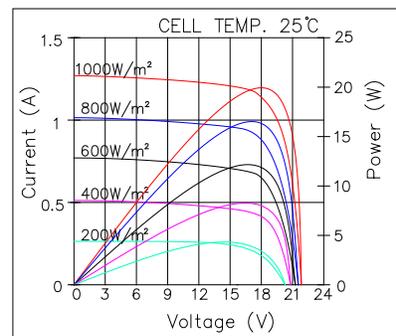
Output

Type of output terminal	Junction box IP65
Cable	4mm ²
Cable lengths	40mm
Connector	Plug type

Mechanical Characteristics



Characteristics Curve



E.5. Ficha técnica batería

ARCHIVO EN LA PÁGINA SIGUIENTE



12V 9Ah

The rechargeable batteries are lead-lead dioxide systems. The dilute sulfuric acid electrolyte is absorbed by separators and plates and thus immobilized. Should the battery be accidentally overcharged producing hydrogen and oxygen, special one-way valves allow the gases to escape thus avoiding excessive pressure build-up. Otherwise, the battery is completely sealed and is, therefore, maintenance-free, leak proof and usable in any position.



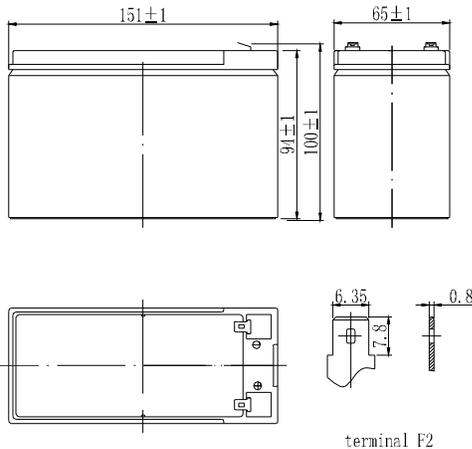
Construction Design life - 3~5 years

Component	Positive plate	Negative plate	Container	Cover	Safety valve	Terminal	Separator	Electrolyte
Raw material	Lead dioxide	Lead	ABS	ABS	Rubber	Copper	Fiberglass	Sulfuric acid

General Features

- Absorbent Glass Mat (AGM) technology for efficient gas recombination of up to 99% and freedom from electrolyte maintenance or water adding.
- Not restricted for air transport-complies with IATA/ICAO Special Provision A67.
- UL-recognized component.
- Can be mounted in any orientation.
- Computer designed lead, calcium tin alloy grid for high power density.
- Long service life, float or cyclic applications.
- Maintenance-free operation.
- Low self discharge.
- Case and cover available in both standard and flame retardant ABS.

Dimensions and Weight



Technology Parameter

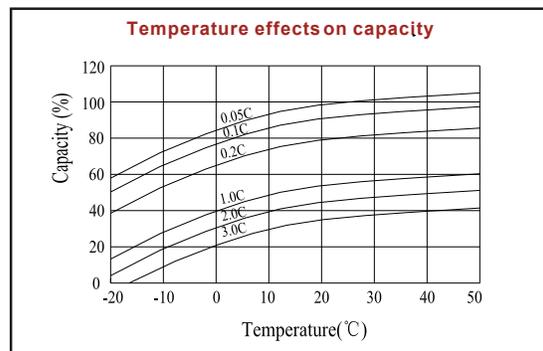
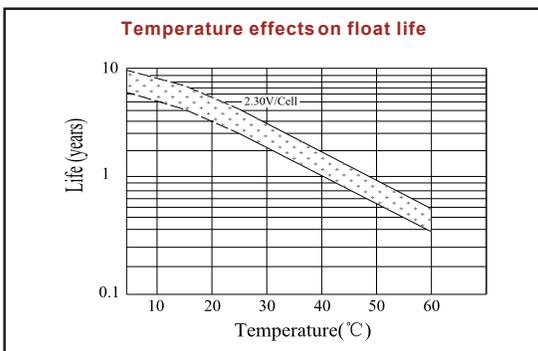
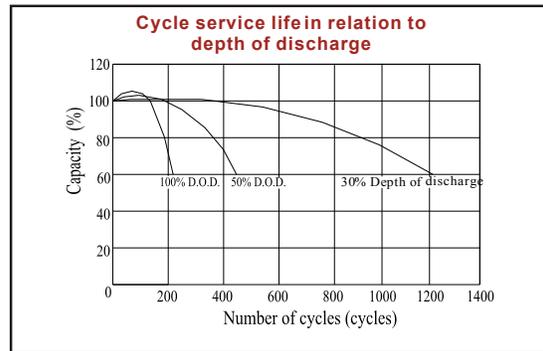
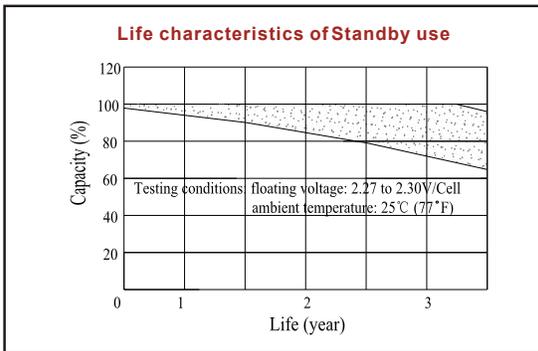
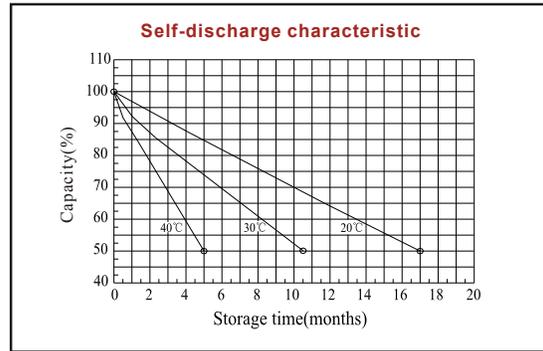
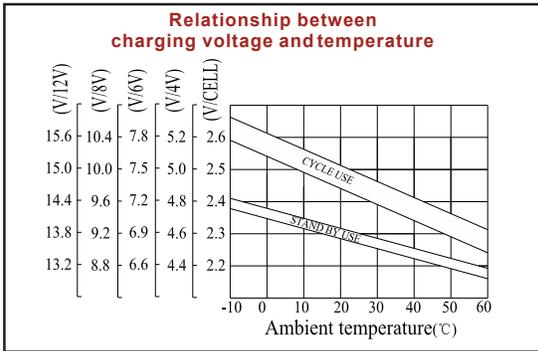
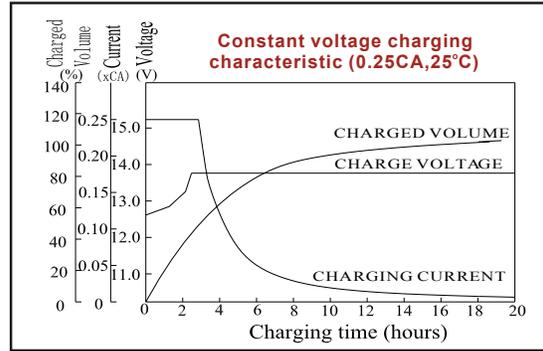
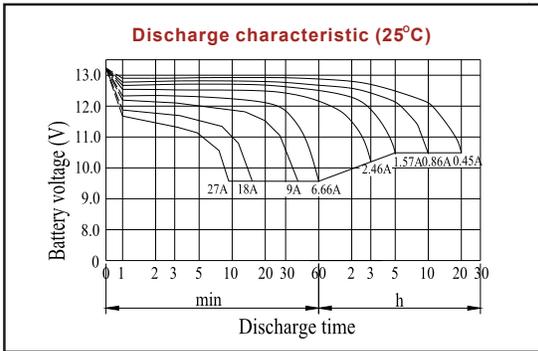
Battery model	KB12V9			
Nominal voltage	12V			
Number of cell	6			
Capacity (25°C)	20hR(0.45A, 10.5V)	10hR(0.86A, 10.5V)	5hR(1.57A, 10.5V)	1hR(6.66A, 9.60V)
	9Ah	8.6Ah	7.85Ah	6.66Ah
Dimensions	Length	Width	Height	Total Height
	151±1mm	65±1mm	94±1mm	100±1mm
Approx. weight	2.78Kg (6.13 lbs)			
Internal resistance	Full charged at 25°C: 11mOhms			
Self discharge	3% of capacity declined per month at 20°C (average)			
Operating temperature range	Discharge	Charge	Storage	
	-20~60°C	-10~60°C	-20~60°C	
Max. discharge current (25°C)	135A (5s)			
Short circuit current	450A			

Discharge Constant Current (Amperes at 77°F25°C)

End Point Volts/Cell	5min	10min	15min	30min	1h	3h	5h	10h	20h
1.60V	36.1	25.2	19.3	11.6	6.66	2.59	1.62	0.88	0.47
1.65V	34.6	24.3	18.5	11.1	6.42	2.53	1.61	0.87	0.47
1.70V	33.1	23.3	17.7	10.5	6.18	2.46	1.59	0.87	0.46
1.75V	31.6	22.2	16.9	9.86	5.94	2.39	1.57	0.86	0.45
1.80V	30	21.2	16.1	9.21	5.68	2.32	1.55	0.85	0.44

Discharge Constant Power (Watts at 77°F25°C)

End Point Volts/Cell	5min	10min	15min	30min	45min	1h	2h	3h	5h
1.60V	74.1	47.2	35.1	21.5	15.9	12.4	6.85	4.84	3.27
1.65V	70.5	45.6	34	20.8	15.3	12	6.72	4.79	3.24
1.70V	66.9	43.9	32.9	20.0	14.7	11.5	6.59	4.74	3.21
1.75V	63.3	42.2	31.8	19.2	14.1	11	6.46	4.69	3.18
1.80V	59.7	40.5	30.7	18.4	13.5	10.5	6.32	4.64	3.15



E.6. Manual regulador de carga

ARCHIVO EN LA PÁGINA SIGUIENTE

User's Manual (B version)

SAFETY INSTRUCTIONS

1. Make sure your battery has a high enough voltage for the controller to identify the battery type before the first installation.
2. Install the controller as close to the battery as possible to avoid voltage drop caused by too long wire, which will affect the normal voltage judgment of the equipment.
3. This controller is only applicable to all kinds of lead-acid batteries (including Open type, VRLA, GEL, etc.), do not charge other batteries (including lithium batteries, NiMH batteries, etc.).
4. This controller can only use PV panel as the charging power, do not use DC or other power as the charging power.

PRODUCT FEATURES

1. Industrial level master chip is adopted.
2. Large screen, LCD display, adjustable charging and discharging parameters.
3. Complete 3-stage PWM charging management.
4. Built in over-current protection, short circuit protection, open circuit protection and reverse connection protection are all self recovery type, without damaging the controller.
5. Dual MOS anti back flow circuit, ultra-low heat output

LCD DISPLAY / KEY

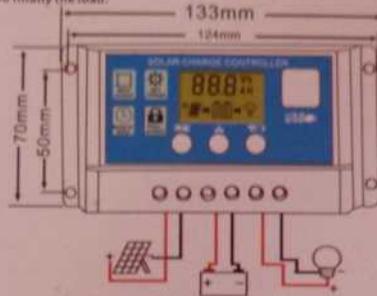


Menu key: switch parameter display interface, long press 3s-5s to enter or exit parameter setting.
 Page up: in the parameter setting interface, press once to increase the parameter by one gear.
 Page down: there are two functions: 1. in the parameter setting interface, press once to move the parameter up and down. 2. Turn load off or on.

SYSTEM CONNECTION

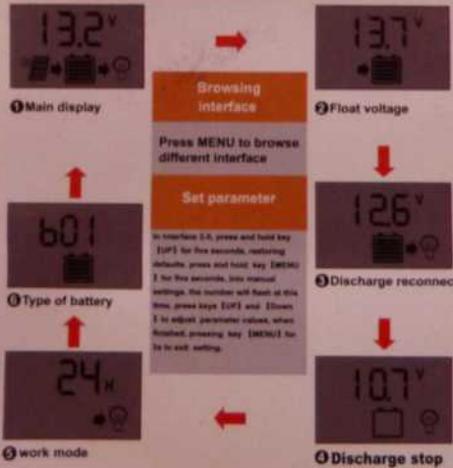
1. Connect the positive and negative terminals of the battery with the controller as shown in the diagram, and the controller will automatically detect the battery voltage.
2. After the load is closed. Connect the positive and negative terminals of the load with the controller as shown in the diagram, pay attention not to reverse connection, and open the load after connecting.

3. Connect the solar panel with the controller as shown in the diagram.
4. Wire removal standard: first remove the solar panel, then the battery, and finally the load.



Warning: Any operation that does not comply with the operation standards in this manual, will have no relation to the quality of this product.

LCD DISPLAY / SETTING



Setting of light control delay mode: 24h ON mode by default
 24h: Normal working mode of the load, no time limited, manually turn On/Off the DC output the load
 09h: There is no need to set parameters. By default, the DC output for load is automatically turned off when there is sunlight, and turned on automatically when there is no sunlight.
 1-23h: Turn off the load according to the set time.
 Setting: Press the menu key select the figure(S), long press the menu key for about 3 seconds, and the screen will flash. Press the up key to select (24h / 09h / 01h). Select the mode according to the demand, it will stay for about 3 seconds and then return to the main interface automatically.

TROUBLE SHOOTING

Abnormal situation	Possible causes	Methods of solution
Sunny but not charged	Open circuit or reverse connection of PV panel	Reconnect the PV panel
Load icon slowly flash	Mode setting wrongly	Reset
Controller is not on	Battery voltage too low or reversed	Replace the battery; check the reverse connection

TECHNICAL PARAMETER

Model	YJ5510	YJ5520	YJ5530
System volt	12V / 24V auto adapt		
Rated charging current	10A	20A	30A
Rated discharge current	10A	10A	10A
Max solar current	12V max solar current 23V; 24V max solar current 46V		
Charging completed volt	b01 Sealed 14.4V	b02 Gel 14.2V	b03 Flood 14.0V
Floating charging volt	13.7V (adjustable: 12.7V-15V)		
LVD	10.7V (adjustable: 9V-11.3V)		
LVR			
Standby current	< 10mA		
USB output	2 USB Output; 5V/2A (MAX)		
Operating temperature	-35~+60°C		
Size/Weight	133*70*35mm / 132g		

*The voltage marked in red font only corresponds to 12V system, if using 24V system, please x2
 *Product rules are subject to change without notice.