

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN - REY BALDUINO BÉLGICA**

**DISEÑO TECNIFICADO DE RIEGO PARA INVERNADEROS EN LA
REGIÓN DEL BIOBÍO, A TRAVÉS DE SISTEMA DE BOMBEO SOLAR
EN POZOS.**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN
MECÁNICA DE PROCESOS Y
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno: Luciano Alberto Inostroza Cabezas

Profesor guía: Víctor Hugo Valdebenito

ÍNDICE

ÍNDICE	2
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE GRÁFICOS	5
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	5
RESUMEN	7
DEDICATORIA	8
INTRODUCCIÓN	9
OBJETIVOS	10
OBJETIVO GENERAL	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
ANTECEDENTES	11
MOTIVACIÓN DE ESTUDIO	12
ALCANCE	12
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	13
1.1 BALANCE HÍDRICO NACIONAL	14
1.2 DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN CHILE	16
1.3 MARCO JURIDICO VIGENTE ACERCA DEL AGUA EN CHILE	16
1.4 EXTRACCIONES HÍDRICAS EN CHILE	21
1.5 AGRICULTURA E INFRAESTRUCTURA DEL RIEGO NACIONAL	23
1.6 MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL	27
1.7 MATRIZ ELÉCTRICA NACIONAL	29
1.8 ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA AGRICULTURA	30
1.9 NORMATIVA CHILENA PARA FOMENTAR LAS ERNC	32
1.10 ENERGÍA SOLAR	32
1.11 RADIACIÓN SOLAR	33
1.12 APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR	39
1.13 BOMBEO SOLAR	40
CAPÍTULO 2: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	43
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	44
2.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	45
CAPÍTULO 3: SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	47
3.1 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA	48
3.2 POSIBLES SOLUCIONES	49
3.3 DISEÑO SOLUCIÓN PLANTEADO	52
3.4 INVERNADERO Y CULTIVOS	54
3.5 CANTIDAD TOTAL DE AGUA REQUERIDA	59
3.6 SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO	61

3.7	MODELACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	66
3.8	PÉRDIDAS DE CARGA EN EL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	70
3.9	MATERIALES REQUERIDOS PARA EL SISTEMA DE RIEGO	77
3.10	CÁLCULO DE ALTURA REQUERIDA PARA LA TORRE DE ACUMULACIÓN.....	77
3.11	ESTRUCTURA TORRE DE ACUMULACIÓN.....	81
3.12	MATERIALES REQUERIDOS DESDE EL ESTANQUE AL SISTEMA DE RIEGO	86
3.13	POZO DE SUMINISTRO.....	86
3.14	TIPOS DE BOMBAS.....	87
3.15	SELECCIÓN DE EQUIPOS CON SOFTWARE COMPASS DE LORENTZ	89
3.16	ACCESORIOS ADICIONALES PARA EL SISTEMA DE BOMBEO.....	97
3.17	ESTRUCTURA PARA LA FIJACIÓN DEL PANEL SOLAR.....	99
3.18	CABLEADO DEL SISTEMA	100
3.19	PROTECCIÓN DE LA INSTALACIÓN MEDIANTE LA CONEXIÓN A TIERRA.....	104
3.20	PROCEDIMIENTO DE INSTALACION DEL SISTEMA DE BOMBEO SOLAR	107
3.21	CONSIDERACIONES IMPORTANTES.....	107
3.22	REDUCCION DE EMISIONES DE DIOXIDO DE CARBONO (CO ₂).....	109
CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE COSTOS.....		111
4.1	DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO DE COSTOS	112
4.2	COSTOS DEL SISTEMA DE BOMBEO	112
4.3	COSTOS DEL POZO DE SUMINISTRO	113
4.4	COSTOS DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN	113
4.5	COSTOS DEL SISTEMA DE RIEGO	114
4.6	COSTOS DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA	116
4.7	COSTO FINAL DEL PROYECTO	117
CONCLUSIONES		119
REFERENCIAS.....		121
	BIBLIOGRAFIA	121
	LINKOGRAFIA.....	121
ANEXOS.....		123
	ANEXO 1	123
	ANEXO 2	124
	ANEXO 3	125
	ANEXO 4.....	126
	ANEXO 5.....	127
	ANEXO 6.....	128
	ANEXO 7.....	129
	ANEXO 8.....	130

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1-1: PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL Y ESCORRENTÍA MEDIA ANUAL EN CHILE	15
TABLA 1-2: RECURSOS HÍDRICOS RENOVABLES EN CHILE	15
TABLA 1-3: DISPONIBILIDAD DE AGUA SEGÚN CAUDAL Y ESCORRENTÍA PERCÁPITA ANUAL	16
TABLA 1-4: CÓDIGO DE AGUAS Y ARTÍCULOS RELACIONADOS CON EL DERECHO DE APROVECHAMIENTO	18
TABLA 1-5: NÚMERO DE DERECHOS SUPERFICIALES OTORGADOS POR REGIÓN Y MACROZONA	19
TABLA 1-6: CAUDAL OTORGADO EN DERECHOS SUPERFICIALES POR REGIÓN Y MACROZONA	19
TABLA 1-7: NÚMERO DE DERECHOS SUBTERRÁNEOS OTORGADOS POR REGIÓN Y MACROZONA	20
TABLA 1-8: CAUDAL OTORGADO EN DERECHOS SUBTERRÁNEOS POR REGIÓN Y MACROZONA	20
TABLA 1-9: EXTRACCIONES DE AGUA Y FUENTES DE AGUA NO CONVENCIONALES EN CHILE	22
TABLA 1-10: EXTRACCIONES DE AGUA POR SECTOR Y SUBSECTOR EN CHILE	22
TABLA 1-11: TAMAÑOS DE LOS REGADÍOS EN CHILE	24
TABLA 1-12: TIPOS DE CULTIVOS Y SUPERFICIE DE RIEGO CON DOMINIO TOTAL EN CHILE	24
TABLA 1-13: SISTEMAS DE RIEGO OCUPADOS EN CHILE	25
TABLA 1-14: SUBTIPOS DE SISTEMAS DE RIEGO OCUPADOS EN CHILE	25
TABLA 1-15: SUPERFICIE REGADA EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO	26
TABLA 1-16: SISTEMAS DE RIEGO OCUPADOS EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO	26
TABLA 1-17: SUBTIPOS DE SISTEMAS DE RIEGO OCUPADOS EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO	26
TABLA 1-18: SUPERFICIE HORTÍCOLA POR ESPECIE EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO	27
TABLA 1-19: CAPACIDAD TOTAL SEN, GENERACIÓN RENOVABLE Y NO RENOVABLE	29
TABLA 3-1: TABLA DE MULTICRITERIO PARA ANALIZAR VIABILIDAD	51
TABLA 3-2: DISTANCIAS IDEALES ENTRE HORTALIZAS	57
TABLA 3-3: NÚMERO DE PLANTAS IDEALES POR METRO CUADRADO	58
TABLA 3-4: TABLA DE COEFICIENTE DE RUGOSIDAD	70
TABLA 3-5: LISTADO DE MATERIALES REQUERIDOS PARA EL SISTEMA DE RIEGO	77
TABLA 3-6: LISTADO DE MATERIALES REQUERIDOS DESDE EL ESTANQUE AL SISTEMA DE RIEGO	86
TABLA 3-7: LISTADO DE MATERIALES REQUERIDOS PARA LA CONEXIÓN A TIERRA	106
TABLA 4-1: COSTOS DEL SISTEMA DE BOMBEO	112
TABLA 4-2: COSTOS DEL POZO DE SUMINISTRO	113
TABLA 4-2: COSTOS DE MATERIALES PARA EL SISTEMA DE ACUMULACIÓN	113
TABLA 4-3: COSTOS DE MANO DE OBRA PARA EL SISTEMA DE ACUMULACIÓN	114
TABLA 4-4: COSTOS DE MATERIALES DESDE LA BOMBA AL SISTEMA DE ACUMULACIÓN	114
TABLA 4-5: COSTOS DE MATERIALES DESDE EL ESTANQUE AL SISTEMA DE RIEGO	114
TABLA 4-6: COSTOS DE MATERIALES PARA EL SISTEMA DE RIEGO EN EL INVERNADERO	115
TABLA 4-7: COSTOS DE MANO DE OBRA PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO	115
TABLA 4-8: COSTOS DE LA ESTRUCTURA PARA LA FIJACIÓN DEL PANEL SOLAR	116
TABLA 4-9: COSTOS DE CABLEADO ADICIONAL PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO	116
TABLA 4-10: COSTOS DE MATERIALES PARA LA CONEXIÓN A TIERRA	116
TABLA 4-11: COSTOS DE MANO DE OBRA PARA LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA	117
TABLA 4-12: COSTOS TOTAL DEL PROYECTO	117

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1-1 FUENTES DE EXTRACCIÓN DE AGUA EN CHILE, TOTAL: 35,45 KM ³	23
GRÁFICO 1-2: MATRIZ ENERGÉTICA PRIMARIA	28
GRÁFICO 1-3: MATRIZ ENERGÉTICA DE CONSUMO FINAL	28
GRÁFICO 1-4: FUENTES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DEL SEN, TOTAL: 25.222,8 MW	30
GRÁFICO 1-5: CONSUMO (GW/H) Y PARTICIPACIÓN DE LA ENERGÍA EN EL SECTOR AGRÍCOLA	31
GRÁFICO 1-6: COMPONENTES DE RADIACIÓN SOLAR, DÍA DESPEJADO Y NUBLADO.....	37
GRÁFICO 3-1: DATOS DEL CAUDAL ENTREGADO POR LA BOMBA	93
GRÁFICO 3-2: DATOS DE IRRADIACIÓN SOLAR Y ENERGÍA GENERADA POR EL PANEL SOLAR.....	96

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1-1: MAPA MUNDIAL DE IRRADIACIÓN Y POTENCIAL ELÉCTRICO FOTOVOLTAICO.....	33
ILUSTRACIÓN 1-2: TIPOS DE RADIACIÓN	34
ILUSTRACIÓN 1-3: ORBITA DESCRITA POR LA TIERRA ALREDEDOR DEL SOL.....	35
ILUSTRACIÓN 1-4: CARTA SOLAR	36
ILUSTRACIÓN 2-1: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	45
ILUSTRACIÓN 3-1: ÁRBOL DE POSIBLES SOLUCIONES	50
ILUSTRACIÓN 3-2: PROTOTIPO DE PROYECTO.....	52
ILUSTRACIÓN 3-3: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROYECTO	53
ILUSTRACIÓN 3-4: INVERNADERO REFERENCIAL	55
ILUSTRACIÓN 3-5: ESTANQUE DE ACUMULACIÓN 500 L.....	60
ILUSTRACIÓN 3-6: GOTEROS O EMISORES.....	62
ILUSTRACIÓN 3-7: VÁLVULA DE BOLA	63
ILUSTRACIÓN 3-8: FILTRO DE MALLA	64
ILUSTRACIÓN 3-9: KIT DE INYECTOR VENTURI	65
ILUSTRACIÓN 3-10: PROGRAMADOR DE RIEGO AUTOMÁTICO	66
ILUSTRACIÓN 3-11: GOTERO AUTOCOMPENSANTE 8 L/H.....	67
ILUSTRACIÓN 3-12: ESTRUCTURA TORRE DE ACUMULACIÓN	82
ILUSTRACIÓN 3-13: ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA TORRE DE ACUMULACIÓN.....	83
ILUSTRACIÓN 3-14: ANTICORROSIVO ESTRUCTURAL	85
ILUSTRACIÓN 3-15: BOMBA SUPERFICIAL	87
ILUSTRACIÓN 3-16: BOMBA SUMERGIBLE	88
ILUSTRACIÓN 3-17: INTERFAZ SOFTWARE COMPASS.....	89
ILUSTRACIÓN 3-18: INTERFAZ DEL SISTEMA CON BOMBA SUMERGIBLE COMPASS	90
ILUSTRACIÓN 3-19: SELECCIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO POR PARTE DEL SOFTWARE.....	92
ILUSTRACIÓN 3-20: HOJA DE DATOS DEL SISTEMA DE BOMBEO SELECCIONADO	93
ILUSTRACIÓN 3-21: MANGUERA SUCCIÓN Y DESCARGA 1”	94
ILUSTRACIÓN 3-22: ABRAZADERA ACERO INOXIDABLE 1”	94
ILUSTRACIÓN 3-23: CONEXIÓN DE LA MANGUERA A LA BOMBA	95
ILUSTRACIÓN 3-24: PANEL JINKO SOLAR JKM 330-72P.....	95
ILUSTRACIÓN 3-25: SONDA DE POZO LORENTZ.....	97
ILUSTRACIÓN 3-26: FIJACIÓN SONDA DE POZO LORENTZ.....	97
ILUSTRACIÓN 3-27: SENSOR FLOAT SWITCH LORENTZ.....	98

ILUSTRACIÓN 3-28: FUNCIONAMIENTO SENSOR FLOAT SWITCH LORENTZ.....	98
ILUSTRACIÓN 3-29: ESTRUCTURA PARA FIJACIÓN DEL PANEL SOLAR.....	99
ILUSTRACIÓN 3-30: APOYO DE HORMIGÓN	100
ILUSTRACIÓN 3-31: PERNO DE ANCLAJE	100
ILUSTRACIÓN 3-32: CORDÓN FLEXIBLE 2X0,75MM ²	101
ILUSTRACIÓN 3-33: CORDÓN FLEXIBLE 3X1,0MM ²	102
ILUSTRACIÓN 3-34: CONECTOR IMPERMEABLE DE TRES VÍAS IP68 TIPO MUFA.....	102
ILUSTRACIÓN 3-35: CABLE SOLAR 4 MM ²	103
ILUSTRACIÓN 3-36: ENTRADAS DEL CONTROLADOR LORENTZ PS2 100.....	103
ILUSTRACIÓN 3-37: DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL CONTROLADOR LORENTZ PS2 100	104
ILUSTRACIÓN 3-38: BARRA DE CONEXIÓN A TIERRA	104
ILUSTRACIÓN 3-39: FUNCIONAMIENTO BARRA DE CONEXIÓN A TIERRA	105
ILUSTRACIÓN 3-40: CABLE CPT H07Z1 PARA LÍNEA TIERRA 16 MM ²	105
ILUSTRACIÓN 3-41: TERMINAL DE OJO.....	106
ILUSTRACIÓN 3-42: PERNO AUTOPERFORANTE	106
ILUSTRACIÓN 3-43: EJEMPLO DE CONEXIÓN A TIERRA DE UNPANEL FOTOVOLTAICO.....	106

RESUMEN

Se sabe que el agua y la energía son dos de los pilares fundamentales para el desarrollo de la producción agrícola, es por esto que ante la creciente demanda energética y la cada día más frecuente escasez hídrica que azota al territorio nacional, es necesario tomar medidas concretas que impulsen el desarrollo de tecnologías que entreguen eficiencia en estas dos materias importantes.

Una de las formas de solucionar los problemas energéticos en la agricultura es la autogeneración de energía eléctrica, a partir del empleo de fuentes renovables tales como la tecnología solar fotovoltaica, la cual es una opción que cada día gana más adeptos dentro de los agricultores y que en Chile crece cada día gracias a las excelentes condiciones de radiación solar que posee el territorio nacional.

De esta manera surge este proyecto destinado netamente a la agricultura de baja escala en la región del Biobío, específicamente en invernaderos, en el cual se empleará la tecnología fotovoltaica para hacer funcionar una bomba hidráulica solar que permitirá extraer agua desde un pozo cercano con el objetivo almacenarla para posteriormente regar los cultivos a través de un sistema eficiente de riego por goteo. Esta solución conducirá a las personas a autogestionar eficientemente el recurso hídrico, disminuir la huella de carbono, obtener la solvencia alimenticia y producir un gran ahorro económico ante el alza constante de los alimentos.

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado a todas aquellas personas que estuvieron presentes durante mi etapa universitaria, principalmente:

*A **Dios** por darme salud y misericordia para llegar hasta este punto.*

*A **mis padres Alicia y Juan Carlos** que sin su sostén ni siquiera podría haber estado en esta situación. Además, siempre me brindaron su apoyo tanto emocional, con palabras de apoyo para nunca desistir, como económico para poder vivir en Concepción y poder sacar a delante este desafío universitario.*

*A **mis amigos generados dentro de la universidad**, fueron grandes momentos que vivimos con muchas anécdotas inolvidables, con un respeto mutuo y siempre con palabras de reconocimiento por los objetivos logrados.*

*A **los profesores** que a pesar de producirse la Pandemia, supieron reinventarse e impartir clases de manera efectiva, ayudando con grandes y sabios consejos para lo que será la vida como profesional.*

*A **mi novia Sofía** con la cual nos conocimos cuando comencé mi proceso universitario y siempre ha estado para apoyarme en los momentos más complicados y de mayor incertidumbre, siendo una gran compañera a lo largo de mi carrera.*

*Y por último y no menos importante, a **mis amigos de toda la vida** que siempre han sido un motor importante, y con los cuales me llenaba de energía cada vez que volvía a mi ciudad de Los Ángeles.*

INTRODUCCIÓN

Desde hace unos diez mil millones de años, en el Sol suceden reacciones nucleares que producen una gigantesca cantidad de energía, la cual es irradiada al espacio en forma de radiación electromagnética, permitiendo que una porción minúscula de dicha energía llegue a nuestro planeta. Gracias a esta energía, ha surgido, se ha reproducido y ha evolucionado la vida en la Tierra, y en los últimos instantes de la historia, la sociedad que conocemos. La energía radiante que el Sol proporciona puede colmar las necesidades energéticas del presente y del futuro. El flujo de energía procedente del Sol es unas 10.000 veces mayor que el consumo humano actual, o dicho en otras palabras, bastaría utilizar el 0,01% de ese flujo energético para cubrir la demanda. Por lo tanto, sería irracional no intentar aprovechar, esta fuente energética gratuita, limpia e inagotable, que puede ayudar a relegar la dependencia de los combustibles fósiles o de otras alternativas energéticas poco seguras, contaminantes o, simplemente, agotables y que hoy en día se encuentran en una serie de alzas, que afectan en gran medida el bolsillo de los consumidores.

Uno de los principales procesos que se podrían mejorar con el uso de la energía solar es la extracción de agua de napas subterráneas (acuíferos) mediante un sistema de bombeo solar fotovoltaico. Este sistema transforma la energía de los fotones de la luz solar, primero en energía eléctrica, luego en energía mecánica de tipo cinético, para terminar en forma de energía hidráulica elevando un volumen de agua a una cierta altura calculada.

En muchos lugares, el empleo del agua y su mala gestión han sido causantes de graves problemas de sequía, y se ha detectado sobreexplotación del recurso hídrico, es por esto que se debe iniciar una revolución en la tecnificación de la extracción del agua, procurando optimizar el uso del recurso y evitando al máximo el derroche de agua. En la agricultura el agua es un factor esencial para elevar la productividad de las cosechas y para aprovechar el potencial que posee la tierra. La gestión sostenible del agua contribuye a asegurar una producción mejor, tanto para el consumo directo como para el comercio, favoreciendo así la producción de los excedentes económicos necesarios para elevar las economías familiares, rurales y de los países.

El uso del agua debe ser optimizado y es aquí donde se ha encontrado una solución sustentable para realizar riegos en la agricultura, principalmente en invernaderos. Por medio de un sistema de bombeo solar se busca extraer agua de pozos con el fin de regar los cultivos, esto permitirá un desarrollo sustentable del sector agrícola y un aprovechamiento de la energía solar disponible en la región del Biobío. De esta manera, se puede generar un modelo de desarrollo sostenible para muchas personas que hoy en día buscan realizar sus propios proyectos de cultivos, sobre todo en invernaderos, en los cuales se pueden obtener cosechas en todas las estaciones del año. Permitiendo de esta forma el manejo y la conservación de los recursos naturales con el uso aplicado de la tecnología fotovoltaica, sin degradar el medio ambiente, económicamente viable y socialmente aceptable.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un sistema de bombeo con energía solar fotovoltaica que permita perfeccionar y tecnificar el riego de invernaderos en la región del Biobío.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar el estado del agua y la energía en Chile, principalmente en la región del Biobío.
- Determinar el requerimiento de agua necesario para obtener un riego óptimo en los cultivos de invernadero.
- Dimensionar un sistema de riego adecuado para un determinado invernadero utilizando la tecnología de bombeo solar fotovoltaico.
- Estimar los costos de inversión que conlleva la instalación de riego tecnificado con bombeo solar en un determinado invernadero. Además, analizar el impacto ambiental de la propuesta.

ANTECEDENTES

Existen varios proyectos en Chile, con respecto al uso de tecnología solar, para alimentar con energía eléctrica a distintas fuentes de consumo. Por ejemplo en la región del Biobío, se realizó un proyecto ON Grid (conectado a la red) en el Colegio Madre Paulina en Chiguayante, el cual consiste en paneles fotovoltaicos que proporcionan energía eléctrica para el colegio. En dicho proyecto ON Grid, si se produce un excedente de energía generada, esta se introduce en la red eléctrica del sistema interconectado central y la empresa de distribución le retribuye económicamente al colegio por este excedente. La potencia generada por los paneles alcanza los 59,9 kWp cuando el sol está en su máxima irradiación.

En Chillan, en la región de Ñuble, se llevó a cabo el proyecto de sistema de bombeo solar para alumnos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, el cual posee: una potencia peak de 1,28 kWp, generación de energía de 1935 kWh al año, logra un caudal promedio de 4 m³/día y reduce las emisiones a 619 kg de CO₂ por año.

En la región del libertador Bernardo O'Higgins, se realizó un proyecto fotovoltaico que consiste en ingeniería, suministro y construcción de un sistema de bombeo solar para riego tecnificado de la Pequeña Agricultura en Marchigüe, dicho proyecto consiste: en la obtención de 1,98 kWp de potencia en periodos de máxima irradiación, generación de 3110 kWh de energía anual, con caudal promedio de 3 m³/día y reducción de emisiones a 995 kg de CO₂ por año.

Así como estos proyectos existen muchos más que en el transcurso de los años se han ejecutado en diferentes zonas rurales del país, los cuales se han llevado a cabo gracias a cooperaciones, financiamientos, apoyo de instituciones municipales, organismos no gubernamentales u organizaciones con el propósito de mejorar la calidad de vida de la población, en zonas con condiciones desfavorables hídrica y energéticamente hablando.

MOTIVACIÓN DE ESTUDIO

La motivación de estudio pasa por entregar una solución distinta y sustentable para comunidades que se encuentren alejadas de las fuentes del suministro eléctrico, con la finalidad de que puedan desarrollar principalmente labores agrícolas, como también, otras labores donde se ocupe el recurso hídrico.

Además, el enfoque que se le busca dar a este proyecto es hacia los invernaderos, los cuales han venido en auge, debido a una cantidad importante de personas que buscan desarrollar sus propios proyectos de cultivos, para obtener sustento alimenticio durante todo el año. Hoy en día ha crecido el número de personas que quieren tener un desarrollo sustentable para ayudar al medio ambiente y dejar de depender de las fuentes eléctricas comunes. Es por estas razones que se ve factible el hecho de desarrollar este proyecto.

ALCANCE

El desarrollo de un proyecto que sea sustentable energéticamente hablando y que igualmente sea eficiente en el uso de recurso hídrico, es un excelente opción para poder entrar al mercado comercializando esta idea, por lo tanto, para la evaluación económica de este proyecto se hará un estudio de costos con todo lo necesario para realizar un sistema de riego tecnificado con extracción de agua en pozos, además a estos costos se le sumara una utilidad obtenida por venta del proyecto. El costo final obtenido será el precio que deberá pagar una persona para poder implementar el sistema de riego tecnificado.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1 BALANCE HÍDRICO NACIONAL

Chile es privilegiado en cuanto a recursos hídricos, gracias a que posee una gran disponibilidad del recurso hídrico de manera superficial y de manera subterránea, además, cuenta con una de las mayores reservas de este recurso en los Campos de Hielo Norte y Sur, en la zona austral, siendo esta la tercera reserva de agua dulce más importante del mundo. En promedio, Chile ocupa una posición aventajada respecto al mundo en recursos hídricos. Su escorrentía total media o cantidad de recursos hídricos internos renovables per cápita es de 51.218 m³/persona/año (DGA, 2016), ampliamente superior a la media mundial de 6.600 m³/persona/año, y muy superior al valor de 2.000 m³/persona/año considerado internacionalmente como el umbral para el desarrollo sostenible (Banco Mundial, 2016).

Sin embargo, cuando se analiza regionalmente este valor promedio, se hace evidente la heterogeneidad hídrica del país. De este modo, desde la Región Metropolitana hacia el norte, prevalecen condiciones de escasez, donde la escorrentía per cápita promedio está por debajo de los 500 m³/persona/año, mientras que las regiones de O'Higgins hacia el sur superan los 7.000 m³/persona/año, llegando a un valor de 2.950.168 m³/persona/año en la Región de Aysén.

El cambio climático ha afectado severamente la disponibilidad de recursos hídricos en el país. Los resultados del Balance Hídrico Nacional para las macrozonas norte y centro (DGA, 2018) muestran una tendencia sostenida a la baja en las precipitaciones y una disminución progresiva de los caudales en los ríos, lo cual se intensificará en los próximos 30 años según proyecciones de la Dirección General de Aguas (DGA). En conjunto, las alzas en temperaturas e isoterma cero, están produciendo deshielos prematuros y precipitaciones líquidas, que generan mayores escorrentías y disminuyen las reservas de agua en cordillera, principalmente de glaciares, los que han sufrido una baja del 8% en la última década (DGA, 2018). Es por esto que se torna imperioso el hecho de gestionar correcta y eficientemente el recurso hídrico, sin desperdiciarlo y aprovechándolo al máximo.

1.1.1 Recursos Hídricos Renovables

De acuerdo a la Dirección General de Aguas (DGA) en 2016, Chile cuenta con los siguientes recursos hidrográficos:

- 101 cuencas hidrográficas.
- 1.251 ríos.
- 24.114 glaciares (23.641 km²).
- 137 acuíferos.
- 375 sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC).
- 12.784 lagos y lagunas (11.048 km²).

- Precipitación media ponderada de 1.522 mm/año.
- Escorrentía promedio total de 29.245 m³/s.

Tanto en las zonas cordilleranas, como en la zona Sur y extremo Sur, las precipitaciones se acumulan en forma de nieve, lo que permite una regulación anual, en función de los deshielos. La precipitación media anual alcanza los 1.522 mm lo que supone un volumen anual de 1.151 km³ en todo su territorio. De este volumen total, 885 km³ se convierten en escorrentía y 266 km³ vuelven a la atmósfera, bien como evaporación directa de los lagos, lagunas naturales y embalses o evapotranspiración (Ministerio del Medio Ambiente, 2011). Las entradas de aguas procedentes de otros países se estiman en alrededor de 38 km³/año, lo que da un total de 922 km³/año de escorrentía media anual (Tabla 1-1 y Tabla 1-2).

Macrozona	Superficie (km²)	Precipitación media anual (mm/año)	Escorrentía media anual (km³/año) ²
Norte	301.371	110,63	1,17
Centro	78.411	839,75	35,20
Sur	135.784	2.264,66	247,22
Austral	241.058	2.988	639,29
Total	765.624 ¹	1522	922,89

1. La superficie total no coincide con la cifra oficial del país ya que los datos corresponden a referencias distintas
2. Se trata de la escorrentía media anual total, incluidos los aportes procedentes de los países limítrofes

Tabla 1-1: Precipitación media anual y escorrentía media anual en Chile
Fuente: Perfil de País – Chile FAO 2015, INE 2007.

Recursos hídricos renovables de agua dulce		
Precipitación (media a largo plazo)	1.522 (mm/año)	1.151 km ³ /año
Recursos hídricos renovables internos (media a largo plazo)	885 km ³ /año	
Recursos hídricos renovables totales	923 km ³ /año	
Tasa de dependencia	4,1%	
Recursos hídricos renovables totales por habitante	51.218 m ³ /año (año 2016, DGA)	
Capacidad total de represas	14,443 km ³	

Tabla 1-2: Recursos hídricos renovables en Chile
Fuente: Perfil de País – Chile FAO 2015 y DGA 2016

Si bien, las fuentes hídricas mencionadas anteriormente son las principales a nivel país, la escasez del recurso en la zona norte del país (XV, I, II, III y IV regiones) ha llevado a la búsqueda de nuevas fuentes. En esta línea, desde el año 1999 importantes empresas han trabajado en la desalinización del agua de mar, alcanzando hoy en día un volumen estimado de 0.17 km³/año.

1.2 DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN CHILE

La disponibilidad de agua en Chile según: el caudal (m³/s), la escorrentía per cápita (m³/persona/año), y subdivido por macrozonas y regiones se puede apreciar en la Tabla 1-3.

Macrozona	Región		Caudal (m ³ /s)	Escorrentía per cápita (m ³ /persona/año)
Norte	XV	Arica y Parinacota	5,5	725
	I	Tarapacá	6,4	599
	II	Antofagasta	0,9	47
	II	Atacama	1,9	190
	IV	Coquimbo	22,2	908
Centro	V	Valparaíso	41	703
	RM	Metropolitana	103	444
	VI	O'Higgins	205	7.037
	VII	Maule	767	23.191
Sur	VIII	Biobío	1.638	24.432
	IX	Araucanía	1.041	33.167
	XIV	Los Ríos	1.046	81.563
	X	Los Lagos	4.109	154.058
Austral	XI	Aysén	10.134	2.950.168
	XII	Magallanes	10.124	1.938.956
Total			29.245	5.216.188

Tabla 1-3: Disponibilidad de agua según caudal y escorrentía per cápita anual
Fuente: Adaptado de Atlas del Agua DGA 2015.

1.3 MARCO JURIDICO VIGENTE ACERCA DEL AGUA EN CHILE

1.3.1 Organización del Estado en materia de recursos hídricos.

La gestión de los recursos hídricos en Chile corresponde históricamente al Ministerio de Obras Públicas (MOP) a través de la Dirección General de Aguas (DGA), Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), Dirección de Riego, Dirección de Planeamiento y Departamento de Defensas Fluviales, entre otros. Además, está involucrado el Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, a través de la Comisión Nacional de Riego (CNR), existiendo una fuerte dispersión de las funciones del Estado en materia de aguas. Este conjunto de instituciones y agencias del Estado tienen bajo su responsabilidad el agua, y regulan las acciones de los usuarios dentro de una cuenca.

1.3.2 Legislación vigente para recursos hídricos vinculados al riego agrícola.

Las principales normas legales vigentes en el país en materia de recursos hídricos vinculados a la agricultura son:

- El Código de Aguas: es el principal cuerpo legal en materia de gestión de los recursos hídricos en el país, entró en vigencia en 1981 y ha sido objeto de reformas en los años 2005 y 2010.

Este código se encarga de regular un conjunto muy amplio de aspectos en materia de aguas y su aprovechamiento, abordando principalmente:

- Las aguas y los derechos de aprovechamiento (de aguas terrestres, ya sean superficiales o subterráneas) y su adquisición.
 - Los cauces de las aguas, naturales y artificiales.
 - Los derrames y drenajes de aguas.
 - Las aguas subterráneas, su exploración y explotación.
 - Las acciones posesorias sobre aguas y la extinción del derecho de aprovechamiento.
 - Protección de las aguas y cauces.
 - El pago de patentes por la no utilización de las aguas.
 - El conjunto de procedimientos administrativos asociados.
 - Juicios sobre aguas y los procedimientos judiciales asociados.
 - Organizaciones de usuarios: comunidades de aguas, comunidades de obras de drenaje, asociaciones de canalistas y otras organizaciones de usuarios, juntas de vigilancia.
-
- Ley 18.450 de Fomento de la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje: mediante esta ley, creada en el año 1985, el Estado ha buscado permanentemente incrementar el área de riego del país, mejorar el abastecimiento de agua en superficies regadas en forma deficitaria, mejorar la calidad y eficiencia de la aplicación del agua de riego, habilitar suelos agrícolas de mal drenaje y, en general, impulsar todas aquellas obras de puesta en riego u otros usos asociados directamente a las obras de riego bonificadas. Para ello, la ley establece una bonificación (subsidio) a proyectos de riego presentados en forma individual cuyo costo no supere las UF 12.000, y a proyectos presentados por organizaciones de regantes que no superen las UF 30.000. El monto del subsidio varía según la superficie de riego del postulante:
 - En el caso de pequeños productores agrícolas (de acuerdo con la definición de INDAP), el monto puede llegar hasta un máximo de 90% del costo del proyecto.
 - En el caso de postulantes con una superficie de riego hasta 40 hectáreas ponderadas, hasta un máximo de 80%.

- En el caso de postulantes con una superficie de riego ponderada superior a 40 hectáreas, hasta un máximo de 70%.

La operatoria del subsidio, tal como lo establece la ley, está a cargo de la Comisión Nacional de Riego (CNR).

Además, existen otras normas relacionadas con el agua de riego tales como:

- Código sanitario: fue promulgado en 1967 y modificado por última vez en el año 2011. Este código establece un conjunto de disposiciones vinculadas al agua de riego.
- Norma Chilena NCH N°1333 de 1978 modificada en 1987: establece los requerimientos requisitos de calidad del agua de acuerdo a su uso.
- Resolución DGA 186 del 11 de marzo de 1996: establece normas de exploración y explotación de aguas subterráneas abordando aspectos sobre las áreas de protección y las limitaciones a la explotación.
- Decreto 46 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 17 de enero de 2003: Corresponde a la norma de emisión de residuos líquidos en aguas subterráneas.

1.3.3 Derecho de aprovechamiento de agua través del Código de Aguas de 1981

El derecho de uso del agua se otorga a los particulares según las disposiciones establecidas en el Artículo 5 del Código de Aguas de 1981. En la legislación chilena, dicho derecho es un bien jurídico definido como un derecho real, es decir, un derecho que recae sobre las aguas y consiste en el uso y goce de ellas por parte del titular, con los requisitos y en conformidad a las reglas que establece el Código de Aguas.

Artículo	Texto
N° 5	Las aguas son bienes nacionales de uso público y se otorga a los particulares el derecho de aprovechamiento de ellas, en conformidad a las disposiciones del presente Código
N° 6	El derecho de aprovechamiento es un derecho real que recae sobre las aguas y consiste en el uso y goce de ellas, con los requisitos y en conformidad a las reglas que prescribe este Código. El derecho de aprovechamiento sobre las aguas es de dominio de su titular, quien podrá usar, gozar y disponer de él en conformidad a la ley.

Tabla 1-4: Código de aguas y artículos relacionados con el derecho de aprovechamiento
Fuente: Extracto Código de Aguas del 29 de octubre de 1981.

Las aguas terrestres se clasifican en superficiales y subterráneas. Por consiguiente, los derechos de aprovechamiento pueden ser también superficiales o subterráneos.

Los derechos de aprovechamiento de agua también se clasifican en consuntivos y no consuntivos. Los derechos consuntivos facultan al titular a consumir totalmente las aguas en

cualquier actividad. Por el contrario, los derechos no consuntivos, permiten emplear el agua sin consumirla y obligan a restituirla en la forma que lo determine el acto de adquisición o de constitución del derecho. Además de las características señaladas, la naturaleza del derecho también puede ser de ejercicio permanente o eventual, continuo o discontinuo o alternado con otras personas.

Los derechos de aprovechamiento subterráneos se clasifican en definitivos y provisionales, siendo estos últimos aquellos que se han otorgado en los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC) declarados como áreas de restricción, pudiendo la DGA limitar su ejercicio o dejarlos sin efecto, esto último en caso de constatar la afección a los derechos de aprovechamiento definitivos.

La DGA mantiene un registro denominado Catastro Público de Aguas (CPA) el que contiene datos, actas y antecedentes con relación al recurso hídrico. Según el Catastro Público de Aguas, el número total de derechos superficiales otorgados hasta agosto de 2015 es de 52.581, de los cuales 42.946 corresponden a consuntivos y 9.635 a no consuntivos. El caudal total otorgado para los derechos superficiales es de 40.007.713 L/s, de los cuales 2.958.936 L/s corresponden a consuntivos y 37.048.777 L/s a no consuntivos (Tabla 1-5 y Tabla 1-6).

Macrozona	Región	Número de Derechos Superficiales							
		Consuntivo	[N°]	[%]	No Consuntivo	[N°]	[%]	Total	[N°]
Norte	XV		777	1,8	7	0,1	844	784	1,5
	I		616	1,4	7	0,1	623	623	1,2
	II		379	0,9	32	0,3	411	411	0,8
	III		267	0,6	19	0,2	286	286	0,5
	IV		3.787	8,8	85	0,9	3.872	3.872	7,4
Centro	V		1.798	4,2	82	0,9	1.880	1.880	3,6
	RM		1.631	3,8	190	2,0	1.821	1.821	3,5
	VI		1.188	2,8	238	2,5	1.426	1.426	2,7
	VII		3.763	8,8	583	6,1	4.346	4.346	8,3
Sur	VIII		5.524	12,9	1.071	11,1	6.595	6.595	12,5
	IX		8.806	20,5	2.752	28,5	11.558	11.558	22,0
	XIV		5.387	12,5	1.604	16,6	6.991	6.991	13,3
	X		5.664	13,2	2.049	21,2	7.713	7.713	14,6
Austral	XI		2.442	5,7	736	7,6	3.178	3.178	6,0
	XII		917	2,1	180	1,9	1.097	1.097	2,1
Total			42.946		Total	9.635		52.581	

Tabla 1-5: Número de derechos superficiales otorgados por región y macrozona
Fuente: Extracto de Atlas del Agua DGA 2016 capítulo 4.

Macrozona	Región	Derechos Superficiales - Caudal Otorgado							
		Consuntivo	[l/s]	[%]	No Consuntivo	[l/s]	[%]	Total	[l/s]
Norte	XV		25.855	0,87	8.391	0,023	34.246	0,085	
	I		3.301	0,11	1.069	0,003	4.370	0,011	
	II		11.288	0,38	14.219	0,037	25.507	0,063	
	III		22.540	0,76	6.176	0,017	28.715	0,071	
	IV		98.162	3,32	144.415	0,39	242.576	0,61	
Centro	V		305.406	10,32	236.124	0,64	541.530	1,35	
	RM		261.720	8,85	1.041.694	2,81	1.303.413	3,26	
	VI		239.172	8,08	1.620.553	4,37	1.859.725	4,65	
	VII		425.691	14,39	3.141.572	8,48	3.567.263	8,92	
Sur	VIII		464.150	15,68	8.665.799	23,39	9.129.949	22,82	
	IX		445.951	15,07	5.710.330	15,41	6.156.282	15,39	
	XIV		121.541	4,11	4.747.909	12,82	4.869.451	12,17	
	X		178.301	6,03	5.316.543	14,35	5.494.844	13,73	
Austral	XI		204.178	6,90	6.328.141	17,08	6.532.319	16,33	
	XII		151.680	5,13	65.842	0,18	217.522	0,54	
Total			2.958.936		37.048.777		40.007.713		

Tabla 1-6: Caudal otorgado en derechos superficiales por región y macrozona
Fuente: Extracto de Atlas del Agua DGA 2016 capítulo 4.

En cambio el número total de derechos subterráneos otorgados es de 47.569, de los cuales 46.962 corresponden a definitivos y 607 a provisionales. El caudal otorgado total para los derechos subterráneos es de 467.306 L/s, de los cuales 452.841 L/s corresponden a definitivos y 14.465 L/s son provisionales (Tabla 1-7 y Tabla 1-8).































Macrozona	Región	Número de Derechos Subterráneos								
		Definitivo	[N°]	[%]	Provisional	[N°]	[%]	Total	[N°]	[%]
Norte	XV		558	1,2	7	1,2		565	1,2	
	I		877	1,9	9	1,5		886	1,9	
	II		545	1,2	17	2,8		562	1,2	
	III		970	2,1	56	9,2		1.026	2,2	
Centro	IV		6.147	13,1	58	9,6		6.205	13,0	
	V		8.496	18,0	119	19,6		8.615	18,1	
	RM		6.391	13,5	156	25,7		6.547	13,8	
	VI		5.951	12,7	185	30,4		6.136	12,9	
	VII		3.240	6,9	0	0		3.240	6,8	
Sur	VIII		5.951	12,7	0	0		5.951	12,5	
	IX		3.476	7,4	0	0		3.476	7,3	
	XIV		1.183	2,5	0	0		1.183	2,5	
	X		2.526	5,4	0	0		2.526	5,3	
Austral	XI		261	0,6	0	0		261	0,5	
	XII		390	0,8	0	0		390	0,8	
Total			46.962		Total	607		47.569		

Tabla 1-7: Número de derechos subterráneos otorgados por región y macrozona
Fuente: Extracto de Atlas del Agua DGA 2016 capítulo 4.































Macrozona	Región	Derechos Subterráneos - Caudal Otorgado								
		Definitivo	[l/s]	[%]	Provisional	[l/s]	[%]	Total	[l/s]	[%]
Norte	XV		3.491	0,77	36	0,25		3.527	0,75	
	I		6.426	1,42	212	1,47		6.638	1,42	
	II		14.123	3,12	181	1,25		14.304	3,06	
	III		28.381	6,27	385	2,66		28.766	6,16	
Centro	IV		26.115	5,77	1.780	12,31		27.895	5,97	
	V		65.220	14,40	910	6,29		66.130	14,15	
	RM		116.950	25,82	6.560	45,34		123.510	26,43	
	VI		53.980	11,92	4.401	30,43		58.381	12,49	
	VII		54.515	12,04	0	0		54.515	11,67	
Sur	VIII		29.220	6,45	0	0		29.220	6,25	
	IX		18.110	4,00	0	0		18.110	3,88	
	XIV		11.590	2,56	0	0		11.590	2,48	
	X		23.598	5,21	0	0		23.598	5,05	
Austral	XI		465	0,10	0	0		465	0,10	
	XII		657	0,15	0	0		657	0,14	
Total			452.841		Total	14.465		467.306		

Tabla 1-8: Caudal otorgado en derechos subterráneos por región y macrozona
Fuente: Extracto de Atlas del Agua DGA 2016 capítulo 4.

1.4 EXTRACCIONES HÍDRICAS EN CHILE

Para poder dar utilidad al agua es primeramente necesario poder extraer el recurso hídrico, estas extracciones se realizan mayormente a través de dos principales fuentes: las aguas superficiales y las aguas subterráneas.

- Aguas superficiales: son aquellas que se encuentran sobre la superficie del territorio nacional. Estas se producen por la escorrentía generada a partir de las precipitaciones o por el afloramiento de aguas subterráneas. Pueden presentarse en forma correntosa, como en el caso de ríos y arroyos, o quietas si se trata de lagos, reservorios, embalses, lagunas, humedales, estuarios y océanos.
- Aguas subterráneas: en Chile existen distintos tipos de reservorios de aguas subterráneas, o también llamados acuíferos, los cuales pueden ser encontrados a lo largo de Chile y de distintos tamaños, que en algunos casos logran almacenar cantidades importantes de agua, con la cual se logran abastecer las necesidades requeridas por la población.

Estos acuíferos pueden ser catalogados en:

- Confinados, es decir, encerrados entre capas de rocas o de algún otro sedimento sólido, que no permiten que el agua escape hacia la superficie situación que, a la vez, los protege de la percolación o infiltración desde la superficie de aguas contaminadas.
- Semiconfinados, con alguna medida de ingreso y salida de agua.
- Libres, también llamados saturados, cuyas aguas circulan bajo tierra siguiendo el ciclo hidrológico superficial y que pueden alcanzar niveles subsuperficiales, es decir, próximos a la superficie de la tierra y que, por lo tanto, pueden ser fácilmente contaminados desde la superficie.

Con respecto a la extracción hídrica, en Chile para el año 2007 (según Perfil de País – Chile, FAO 2015) alcanzó los 35,43 km³/año, de los cuales 29,42 km³ fueron extraídos por la agricultura, equivalente al 83% del total de las extracciones, 1,27 km³ por municipalidades, equivalente al 4% del total de las extracciones, y 4,74 km³ por la industria, equivalente al 13% del total de las extracciones. En el total no se incluyen los usos no consuntivos como el uso hidroeléctrico (Tabla 1-9).

Extracciones de agua	
Extracción total de agua:	35,43 km ³ /año
• Agrícola (riego, ganadería y acuicultura)	29,419 km ³ /año
• Municipal (agua potable)	1,257 km ³ /año
• Industrial	4,744 km ³ /año
Extracción de agua por habitante:	2,147 km ³ /año
Extracción de agua superficial y subterránea:	35,36 km ³ /año
• % sobre los recursos hídricos renovables totales	3,8%
Fuentes de agua no convencionales	
Agua residual municipal producida	1,112 km ³ /año
Agua residual municipal tratada	0,768 km ³ /año
Agua desalinizada producida	0,065 km ³ /año

Tabla 1-9: Extracciones de agua y fuentes de agua no convencionales en Chile
Fuente: Perfil de País – Chile FAO 2015, INE 2007.

El detalle de las extracciones de agua según el subsector puede observarse en la Tabla 1-10. En dicha tabla se identifica al riego de cultivos como el subsector que más agua extrae, llegando a los 16,52 km³/año equivalente al 46,6% de las extracciones totales.

Extracciones de agua por sector			
	Subsector	Extracciones (km³/año)	Porcentaje del total
Sector Agrícola	Riego de cultivos	16,522	46,6%
	Acuicultura	12,673	35,8%
	Riego de plantaciones forestales	0,123	0,3%
	Ganadería (abrevar y limpieza)	0,101	0,3%
	Total sector	29,419	83%
Sector Industrial	Industrial neto	2,646	7,5%
	Minería	1,981	5,6%
	Enfriamiento plantas térmicas	0,117	0,3%
	Total sector	4,744	13,4%
Sector Municipal	Total sector	1,267	3,6%
Total		35,430	100%

Tabla 1-10: Extracciones de agua por sector y subsector en Chile
Fuente: E. Propia con datos Perfil de País – Chile FAO 2015, INE 2007.

Del total hídrico extraído, 32.59 km³ (91,97%) proviene de aguas superficiales, 2.78 km³ (7,85%) de aguas subterráneas y 0.065 km³ (0.18%) agua desalinizada, aunque se estima que la desalinización ha llegado 0,17 km³ gracias a los megaproyectos impulsados en la Zona Norte del país, principalmente por la industria minera. Ver Gráfico 1-1.

La DGA reconoce que a la fecha no existen antecedentes completos y actualizados de la explotación de los recursos subterráneos en el país, pero en su opinión los datos disponibles muestran una subexplotación del agua subterránea, y que solamente algunos sectores del norte tendrían una situación preocupante en términos de la sobre explotación de los acuíferos: el valle de Azapa, la Pampa del Tamarugal, el valle del río Copiapó, la cuenca de Chacabuco-Polpaico y algunos acuíferos costeros.

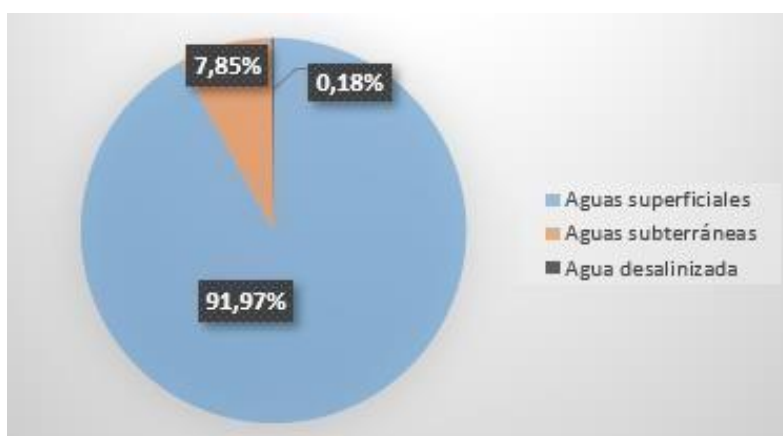


Gráfico 1-1 Fuentes de extracción de agua en Chile, total: 35,45 km³.
Fuente: Elaboración propia con datos INE 2007, FAO 2015.

Durante las últimas tres décadas, la presión sobre los recursos hídricos de Chile se ha intensificado considerablemente, producto de la estrategia de desarrollo que ha adoptado el país, la cual se basa fuertemente en las exportaciones de materia prima como el cobre, las frutas, la madera y su pulpa, el salmón y el vino, todas las anteriores con grandes demandas de agua en su proceso productivo, además, gran parte de estas actividades son producidas en las cuencas fluviales más pobres del país. Esta tendencia continuará en el corto a mediano plazo sin mayores variaciones y con un factor añadido relacionado con la calidad de las aguas, cada vez más deficitaria en algunas cuencas del país, además de los efectos del cambio climático que se proyectan más intensos en la zona centro norte del país (Banco Mundial, 2011).

1.5 AGRICULTURA E INFRAESTRUCTURA DEL RIEGO NACIONAL

A principios de los años 1900 no había más de 500.000 hectáreas regadas en Chile. Hacia el año 1970, habían más de un millón, como consecuencia de una fuerte inversión del Estado en infraestructura (Salazar, 2003). En las últimas dos décadas el área regada creció apenas en 30.000 hectáreas (3%), pues el esfuerzo privado y del Estado se focalizó en la tecnificación de los sistemas de riego. Desde los años 90, el área con riego tecnificado pasó del 9% al 28% del área regada (INE, 2007).

Desde el año 1985 la Comisión Nacional de Riego (CNR) ha fomentado la tecnificación a través de la Ley de Fomento al Riego (Ley N° 18.450), aportando subsidios para infraestructura y sistemas de riego tecnificado. Dicha ley concedía un subsidio sobre el costo de

las obras y equipos de riego y drenaje, que contribuyeran a incorporar nuevas superficies de riego, rehabilitar y mejorar sistemas con riego deficitario o habilitar suelos agrícolas mal drenados. En el año 1990 dicha ley fue modificada fruto de una nueva política nacional de fomento del riego, dirigiéndose los principales cambios a subsidiar (hasta el 75%) obras de riego rural en el país, con recursos complementarios, gracias al convenio entre la Comisión Nacional de Riego (CNR), el Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario (INDAP) y el Fondo de Solidaridad e Inversión Social (FOSIS).

De acuerdo al último VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal (INE, 2007), la superficie equipada para el riego con dominio total en la temporada agrícola 2006-2007 fue de 1.108.559 hectáreas, a la misma vez, la superficie efectivamente regada llegó a 1.093.813 hectáreas (98,7%) (Tabla 1-12). Prácticamente el 95% de la superficie equipada para el riego se concentra entre las regiones IV de Coquimbo y IX de la Araucanía (Tabla 1-13). Según la Comisión Nacional de Riego (CNR), considerando los factores clima, suelo y agua, así como consideraciones técnicas, económicas y ambientales, la superficie potencial de riego en Chile se estima en unos 2.5 millones de hectáreas.

Tipo de explotaciones para el riego con dominio total	Criterio	Superficie (ha)	Porcentaje
Regadíos pequeños	< 20 ha	217.495	19,62%
Regadíos medianos	> 20 ha y < 100 ha	281.140	25,36%
Regadíos grandes	> 100 ha	609.924	55,02%

Tabla 1-11: Tamaños de los regadíos en Chile
Fuente: Perfil de País – Chile FAO 2015, INE 2007.

Cultivos regados en superficies equipadas para el riego con dominio total		Superficie (ha)
		1.093.813
Cultivos temporales	Maíz	101.110
	Trigo	48.241
	Arroz	21.580
	Cebada	1.716
	Otros cereales	8.429
	Hortalizas	103.511
	Cultivos oleaginosos	5.741
	Papas	21.845
	Legumbres	9.930
	Remolacha	19.008
	Tabaco	2.737
	Forraje temporal	283.000
	Total	626.848
Cultivos permanentes	Frutales	246.166
	Uvas	104.212
	Cítricos	16.587
	Pastos permanentes	100.000
	Total	466.965

Tabla 1-12: Tipos de cultivos y superficie de riego con dominio total en Chile
Fuente: Perfil de País – Chile FAO 2015, INE 2007.

En el año 2007, del total de la superficie equipada para el riego, el 72,3% (801.332 hectáreas) corresponde a superficie regada a través de sistemas tradicionales o por superficie, tales como, tendido, surco u otro tradicional. El 27,7% restante (307.227 hectáreas) corresponde a superficie regada a través de sistemas tecnificados. Ver Tabla 1-14.

Región		Total	Sistema de riego por hectáreas (ha)						
			Tendido	Surco	Otro tradicional	Aspersión	Carrete	Goteo	Micro-aspersión
XV	Arica y Parinacota	11.179	7.130	1.483	380	29	0	2.017	139
I	Tarapacá	1.162	744	17	47	25	0	308	20
II	Antofagasta	2.347	2.193	35	73	27	0	18	1
II	Atacama	19.637	3.779	3.524	204	10	60	12.000	61
IV	Coquimbo	75.819	19.591	18.164	787	273	898	35.008	1.098
V	Valparaíso	86.893	16.727	19.152	535	1.765	1.085	32.926	14.703
RM	Metropolitana	138.695	33.187	57.548	1.141	882	3.023	38.080	4.835
VI	O'Higgins	213.182	48.637	102.547	2.588	1.155	1.658	51.296	5.302
VII	Maule	305.507	152.601	94.481	14.851	3.443	2.163	27.706	10.263
VIII	Biobío	168.599	127.696	14.037	2.781	5.980	11.499	5.477	1.130
IX	Araucanía	50.112	29.190	2.210	2.025	9.413	2.907	3.616	752
XIV	Los Ríos	8.202	331	41	118	3.906	2.367	1.291	148
X	Los Lagos	4.471	54	4	20	2.181	826	1.377	10
XI	Aysén	2.961	1.020	202	18	1.488	0	51	182
XII	Magallanes	19.794	16.355	3.062	24	338	0	14	2
Total		1.108.559	459.234	316.505	25.592	30.913	26.487	211.184	38.644

Tabla 1-13: Sistemas de riego ocupados en Chile
Fuente: Perfil de País – Chile FAO 2015, INE 2007.

Sistema de riego	Subtipo sistema de riego	Superficie (ha)	Porcentaje del total
Riego por superficie (tradicional)	• Riego tendido	459.234	41,4%
	• Riego por surco	316.505	28,5%
	• Otro riego tradicional	25.592	2,3%
	Subtotal	801.331	72,3%
Riego por aspersión (tecnificado)	• Aspersión	30.913	2,8%
	• Carrete	26.487	2,4%
	Subtotal	57.400	5,2%
Riego localizado (tecnificado)	• Goteo	211.184	19%
	• Micro-aspersión	38.644	3,5%
	Subtotal	249.828	22,5%
Total		1.108.559	100%

Tabla 1-14: Subtipos de sistemas de riego ocupados en Chile
Fuente: Perfil de País – Chile FAO 2015, INE 2007.

Estas cifras evidencian una importante tecnificación del riego en el país, al compararlas con las cifras registradas por VI Censo Nacional Agropecuario (INE, 1996). En efecto, de la superficie total regada en la temporada 1996-97, el 91% correspondía a riego por superficie, mientras que el 9% restante correspondió a riego tecnificado, siendo 3% por aspersión y el 6% riego localizado.

1.5.1 Agricultura e infraestructura de riego en la región del Biobío

Se debe considerar que esta información es la proporcionada por el VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal (INE, 2007), por lo tanto, la provincia de Ñuble se incluye en la región de Biobío. Hoy en día esta provincia no forma parte de la región.

Provincia	Superficie regada (ha)
Ñuble	88.093
Biobío	78.055
Concepción	1.344
Arauco	1.104
Total	168.596

Tabla 1-15: Superficie regada en la región del Biobío
Fuente: ODEPA 2018, INE 2007

Provincia	Total	Sistema de riego por hectáreas (ha)						
		Tendido	Surco	Otro tradicional	Aspersión	Carrete	Goteo	Micro-aspersión
Ñuble	88.093	64.508	10.667	1.616	2.764	4.741	3.051	747
Biobío	78.055	62.478	3.244	615	2.460	6.538	2.357	363
Concepción	1.344	387	116	518	180	91	46	7
Arauco	1.104	322	9	31	576	130	24	12
Total	168.596	127.696	14.036	2.780	5.979	11.499	5.477	1.130

Tabla 1-16: Sistemas de riego ocupados en la región del Biobío
Fuente: ODEPA 2018, INE 2007

Sistema de riego	Subtipo sistema de riego	Superficie (ha)	Porcentaje del total
Riego por superficie (tradicional)	• Riego tendido	127.696	75,7%
	• Riego por surco	14.036	8,3%
	• Otro riego tradicional	2.780	1,6%
	Subtotal	144.512	85,6%
Riego por aspersión (tecnificado)	• Aspersión	5.979	3,5%
	• Carrete	11.499	6,8%
	Subtotal	17.478	10,3%
Riego localizado (tecnificado)	• Goteo	5.477	3,2%
	• Micro-aspersión	1.130	0,6%
	Subtotal	6.607	3,8%
Total		168.596	100%

Tabla 1-17: Subtipos de sistemas de riego ocupados en la región del Biobío
Fuente: Perfil de País – Chile FAO 2015, INE 2007.

Por lo general en los invernaderos se cultivan distintos tipos de hortalizas, los cuales logran proveer alimentos durante la mayor parte del año. En este caso, se tiene que en la región del Biobío para el año 2016, se cultivó un 5,7% de la superficie total de hortalizas a nivel nacional. La hortaliza más sembrada en la región corresponde al espárrago con 994,5 hectáreas equivalente a un 50,8% del total nacional. Ver Tabla 1-18.

Especie	Region (ha)	Pais (ha)	Region/Pais (%)
Espárrago	994,5	1.957,1	50,8%
Arveja verde	689,1	2.002,9	34,4%
Zanahoria	411,8	3.194,9	12,9%
Choclo	405	10.009,4	4%
Tomate	251,2	4.936,1	5,1%
Lechuga	202,3	6.236,6	3,2%
Poroto verde	154,9	2.475,3	6,3%
Poroto granado	145,4	3.533,5	4,1%
Cebolla de guarda	79,6	4.689,5	1,7%
Acelga	74,2	822,8	9%
Otros	599,4	29.987,7	2%
Total	4.007,5	69.845,3	5,7%

Tabla 1-18: Superficie hortícola por especie en la región del Biobío
Fuente: ODEPA con información del INE, encuesta hortícola 2016.

1.6 MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL

A nivel mundial, en los últimos 40 años, el consumo y la producción energética se han duplicado. Los factores determinantes de este aumento son, entre otros, el crecimiento económico mundial, el incremento de la capacidad productiva de los países y un aumento de la población mundial. En relación con el abastecimiento de energía primaria en el período señalado, se observa que los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) han ido perdiendo participación moderadamente en la matriz energética primaria, para dar paso a una mayor presencia de energías renovables. En el caso de Chile, los principales energéticos primarios son el petróleo (32,9%), el carbón (24,4%) y la leña y biomasa (23,7%), siendo esta última preeminencia una característica particular del país, junto con una participación de la hidroelectricidad (6,4%) en la matriz mayor que en otros países. Es destacable que un 95% del petróleo es importado, mientras la biomasa es el principal energético local (Gráfico 1-2).

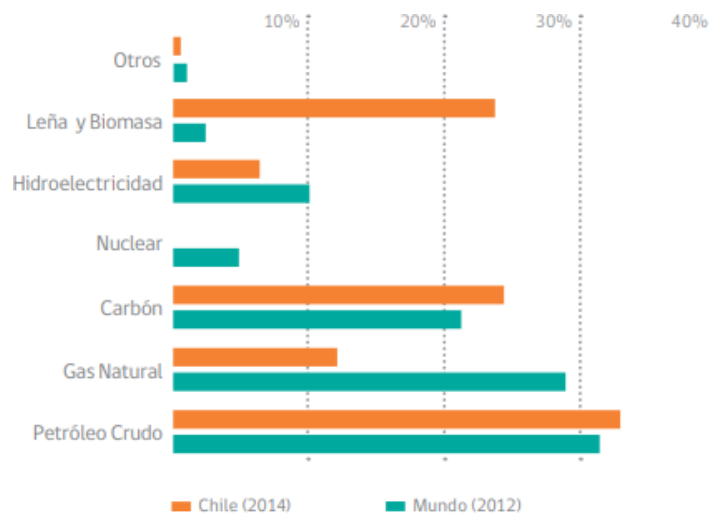


Gráfico 1-2: Matriz energética primaria
Fuente: Extracto Energía 2050, Ministerio de Energía.

Asimismo, a nivel mundial, la demanda de energía final ha visto un aumento considerable en la participación de la electricidad, la cual ha pasado de una participación de 9,4% en la matriz, a una participación del 18,1% en las últimas cuatro décadas. Junto con este aumento en la participación de la electricidad en la matriz de energía secundaria o de consumo final, en el período señalado, se ha producido una disminución en la participación de los combustibles fósiles de 75,9% de la matriz a 66%. En Chile, la participación de la electricidad en la matriz de consumo energético final también ha crecido (cerca de un 22%), pero aún continúa por debajo de los derivados del petróleo (Gráfico 1-3).



Gráfico 1-3: Matriz energética de consumo final
Fuente: Extracto Energía 2050, Ministerio de Energía.

1.7 MATRIZ ELÉCTRICA NACIONAL

El aumento del porcentaje de la electricidad en el consumo energético total ha propiciado un crecimiento considerable en la generación de energía eléctrica. Al año 2014, la generación eléctrica en Chile fue predominantemente térmica (Carbón 41% y Gas Natural 11%), siendo la hidroelectricidad la principal fuente renovable con un 34%. Históricamente, en Chile, la generación eléctrica en base a fuentes renovables (principalmente hidroeléctrica) ha tenido una participación importante, con un promedio cercano al 65% en la década de los sesenta, alcanzando el 80% en la década de los ochentas y pasando a un rango de 30% a 40% en la última década, dependiendo del año hidrológico.

En cuanto a la matriz de generación eléctrica al mes de enero 2020, el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) posee una potencia instalada de generación de 25.267,3 MW. Dicha capacidad corresponde a más del 99% de la capacidad instalada nacional, por otra parte, algunos sistemas medianos como Aysén y Magallanes y otros sistemas aislados corresponden a menos del 1% de la capacidad total instalada en el país.

Del total de capacidad instalada en el SEN, el 48,7% corresponde a tecnología de generación en base a recursos renovables (hidroeléctrica, solar FV, eólica, biomasa y geotermia), y el 51,3% corresponde a centrales termoeléctricas a gas natural, carbón o derivados del petróleo. Además, la demanda máxima del SEN asciende a los 10.892 MW y la demanda mínima llega hasta los 6.910 MW. En cuanto a la energía generada por el SEN, durante todo el año 2020, fue de 77.696 GWh/año, siendo el mes de más generación diciembre de 2020 con 6.867 GWh (según www.energiaabierta.cl). Ver Tabla 1-19 y Gráfico 1-4.

Capacidad total SEN (MW)		
RENOVABLE	• Hidro embalse	3.395,3
	• Hidro pasada	3.427,6
	• Biomasa	451,1
	• Eólico	2.161,8
	• Solar	2.813,4
	• Geotérmica	44,9
	Sub total	12.294,2
NO RENOVABLE	• Gas natural	4.843,4
	• Carbón	5.192,4
	• Deriv. del petróleo	2.892,8
	Sub total	12.928,6
Total		25.222,8

Tabla 1-19: Capacidad total SEN, generación renovable y no renovable
Fuente: Elaboración propia con datos de www.energiaabierta.cl.

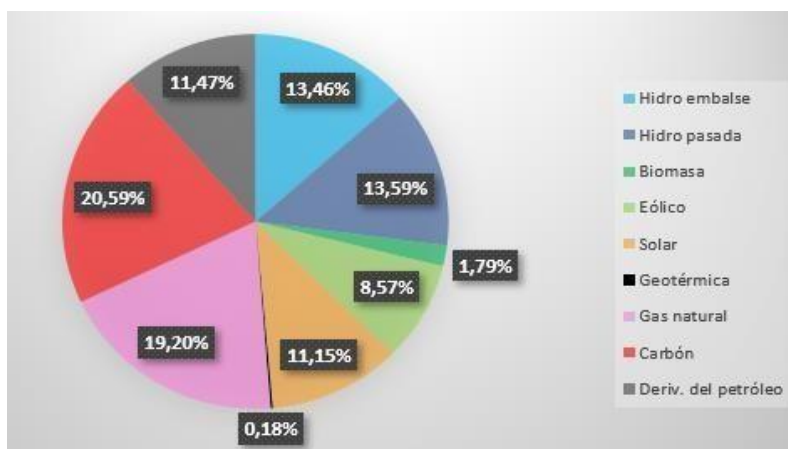


Gráfico 1-4: Fuentes de generación eléctrica del SEN, total: 25.222,8 MW
Fuente: Elaboración propia con datos de www.energiaabierta.cl.

En los últimos años se ha producido un gran crecimiento de las energías solar, eólica, biomasa y mini hidráulica. Al año 2005 existían en el país 286 MW de capacidad en dichas fuentes, mientras que a la fecha se ha alcanzado un total de 12.294,2 MW, siendo esta un 48,7% de la capacidad eléctrica total en los sistemas eléctricos nacionales. Los costos de estas fuentes de energía se han reducido considerablemente, lo que ha llevado a que puedan competir con los combustibles fósiles. El informe de la International Energy Agency (IEA) del año 2015 sobre "Projected Costs of Generating Electricity", indica que la tendencia es que las energías renovables tendrán costos de desarrollo cada vez menores, mientras que, para las tecnologías convencionales, los costos se mantendrán o aumentarán.

1.8 ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA AGRICULTURA

Según estudios de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, OCDE, la producción primaria del sector agropecuario representa cerca de 2% del consumo energético, sin embargo, al considerar el total de la cadena de valor del sector agroalimentario, en el caso de los países de la Unión Europea (UE), el consumo se elevaría a 20% (OCDE, 2016). En el caso chileno, el sector agroexportador estima que el costo energético representa, aproximadamente el 15% del costo total de producción (ASOEX, 2016). Entre 1997 y 2011 el consumo energético del sector, según el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), creció en 280%, incrementando su participación dentro del consumo de la economía desde 1,9% a 2,3% (Gráfico 1-5).

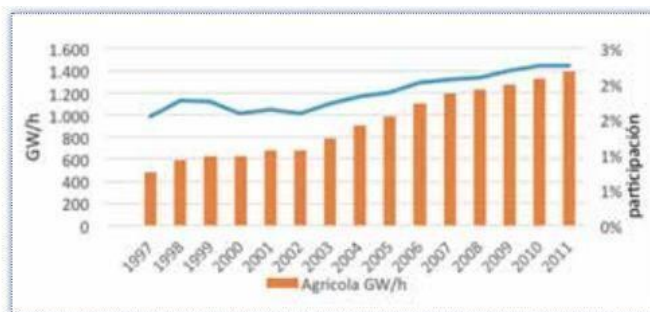


Gráfico 1-5: Consumo (GW/h) y participación de la energía en el sector agrícola
Fuente: ODEPA con datos del INE.

En este escenario de competencia por recursos, el sector agropecuario posee un triple rol: consumidor, transformador y productor de energía, lo que le otorgaría elementos de sustentabilidad, grados de independencia y estabilidad permitiéndole, de alguna manera, enfrentar de mejor forma los desafíos energéticos, ya que, se estima que al año 2030 la demanda por alimentos se incrementará en 50%, la de energía en 45%, y la de agua en 30% (Soini, 2016).

En la actual administración, el Estado vuelve a tener protagonismo en el tema energético a través del Ministerio de Energía, generando en forma participativa, el documento Energía 2050: Nueva Política Energética para Chile. En este documento se definen metas para el país hacia el año 2050, entre las cuales se establece que al menos el 70% de la generación eléctrica nacional provendrá de energías renovables, y que Chile deberá encontrarse entre los tres países de la OCDE con menores precios promedio de suministro eléctrico. Como complemento a esta política de largo plazo, ese ministerio elaboró una agenda de políticas y acciones para los próximos diez años en los diversos ámbitos de la transición energética, para lo cual construyó una agenda de siete puntos, dos de los cuales tienen una relación directa con la agroenergía, estos son:

- Levantar las barreras existentes para las ERNC, que permita que un 45% de la capacidad de generación eléctrica que se instalará en el país entre los años 2014 a 2025 provenga de este tipo de fuentes.
- Fomentar el uso eficiente de la energía, estableciendo una meta de ahorro de 20% al año 2025.

Dentro de los aportes más concretos a la temática energética del Ministerio de Agricultura, se pueden destacar, el direccionamiento que ha dado la Comisión Nacional de Riego (CNR), de incorporar ERNC en los proyectos que postulan a financiamiento a través de la Ley de Fomento al Riego (Ley N° 18.450). Además, la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) ha focalizado y priorizado recursos hacia el fomento de las ERNC en el sector. Finalmente, las políticas que lleva a cabo el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), disponiendo recursos en el fomento y aplicación de ERNC en los procesos productivos de la agricultura familiar.

1.9 NORMATIVA CHILENA PARA FOMENTAR LAS ERNC

Dentro de las normativas de mayor relevancia, muchas de reciente data, se destacan:

- Las Leyes N°20.257 del año 2008 y N°20.698 del año 2013: que establecen la obligación de incorporar las ERNC en la matriz energética de manera gradual a partir del año 2010, para llegar a 20% de la energía comercializada al año 2025. Esto ha forzado a las empresas generadoras y distribuidoras a revisar sus modelos de negocios.
- Ley N° 20.805 del año 2015: que perfecciona el sistema de licitaciones de suministro eléctrico para clientes sujetos a regulaciones de precios, lo que facilitó la participación de las ERNC en estas licitaciones, provocando una caída en los precios.
- Ley N° 20.571, de Generación Distribuida del año 2014: que favorece la autogeneración de energía con base en ERNC y cogeneración eficiente, permitiendo una mayor independencia de las empresas de las fuentes externas.

Junto con este marco legal se ha implementado una serie de instrumentos de apoyo directo a iniciativas de inversión y fomento para el desarrollo de las ERNC, cuya profundización aún no se alcanza, por ejemplo, el programa de financiamiento de la Corporación de Fomento (CORFO) y los subsidios a estudios y auditoría para medidas de eficiencia energética. Concordante con lo anterior y siguiendo las tendencias internacionales, en Chile se ha venido implementando una serie de iniciativas destinadas a fomentar y desarrollar las ERNC, así como medidas de eficiencia energética, tales como las estrategias Solar Térmica y Fotovoltaica, estudios sobre potencial de biogás en el sector lechero, inversiones para la producción de biogás a partir de residuos para la generación de electricidad, la hidrogenación, concurso de riego con energía fotovoltaica, formación de capital humano, líneas de financiamiento, entre otras.

1.10 ENERGÍA SOLAR

En el Sol, al igual que en otras estrellas, tienen lugar constantemente una serie de reacciones termonucleares que liberan gran cantidad de energía. Una ínfima parte de esa energía, irradiada en el espacio, llega a la superficie terrestre, pero esa parte acotada de energía supone un flujo extraordinario de energía solar, aproximadamente 10^{18} kWh anuales. Una cantidad que supera con creces, no solo el consumo mundial anual, sino que también la propia energía contenida en todas las reservas conocidas de combustibles fósiles

El Sol siempre ha estado presente en los ciclos energéticos de nuestro planeta, desde la utilización de este recurso para secar cualquier superficie hasta las vastas zonas de vegetación que hace millones de años se desarrollaron gracias al proceso de fotosíntesis y que hoy en día son los hidrocarburos que utilizamos como combustible. El Sol también está presente en otros fenómenos climáticos los cuales también se aprovechan como fuentes de energías renovables,

como por ejemplo los ciclos de viento que se aprovecha en forma de energía eólica y las corrientes marinas que están empezando a ser explotados como energía marea motriz y undimotriz. Por otro lado, el Sol también está presente en el ciclo del agua, principalmente a través del fenómeno de evaporación, en función de esto y conjunto a la tecnología de las centrales hidroeléctricas (de pasada, de embalse y mini hidro de pasada) representan el mayor porcentaje (29,2 %) de energía eléctrica generada en nuestro país.

1.11 RADIACIÓN SOLAR

Si bien se conoce cuanta es la cantidad de energía solar que recibe nuestro planeta cada día, la radiación que llega a un punto específico de nuestro planeta depende de varios factores. En particular, la localización geográfica juega un rol preponderante, por ejemplo, en el Desierto de Atacama existen condiciones de radiación ideales gracias a la baja cantidad de días nublados en el año, sumada a la nula contaminación ambiental en el sector y una altura geográfica que hace que la distancia recorrida por el haz de luz sea menor. En general, Chile tiene condiciones de radiación que lo hacen envidiable en comparación a países líderes en el desarrollo de estas tecnologías.

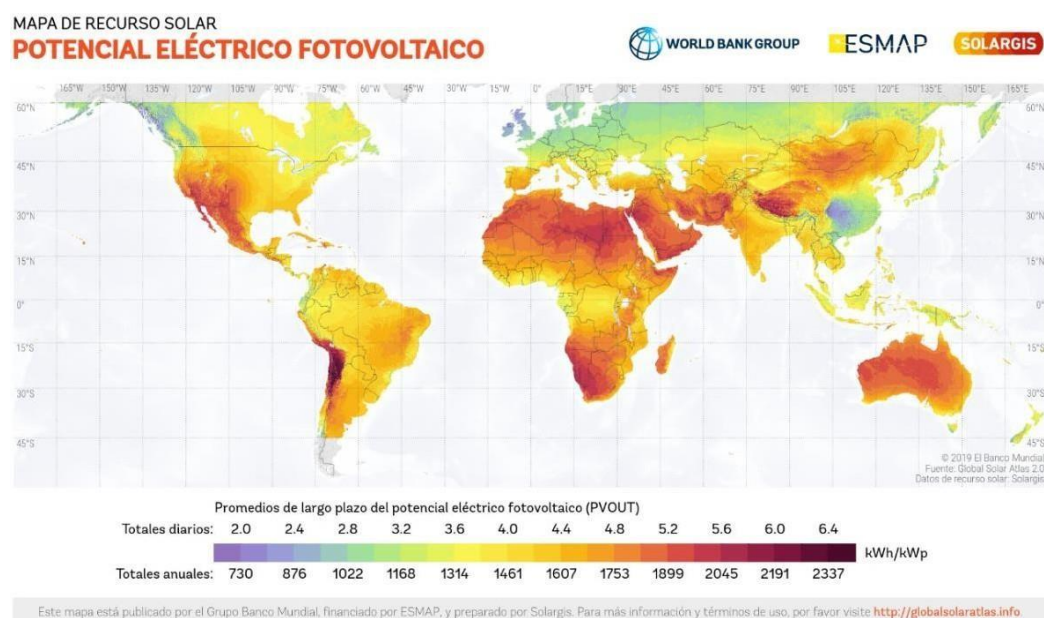


Ilustración 1-1: Mapa mundial de irradiación y potencial eléctrico fotovoltaico
Fuente: www.solargis.com.

La atmosfera afecta el flujo energético, actuando como un filtro para la radiación y también actúa como una superficie que refleja y refracta el haz de radiación o de luz. Fuera de la atmosfera, existe lo que se denomina constante de radiación solar o irradiación extraterrestre (I_0), medida en el borde de nuestra atmosfera alcanza un valor promedio de 1350 Watts por metro cuadrado. En la práctica este nivel de radiación varía según qué tan lejos (Afelio) o cerca (Perihelio) estemos del Sol. De manera más exacta podemos definir la constante solar de la siguiente manera:

$I_0 = 1.321 \text{ W/m}^2$, invierno

$I_0 = 1.412 \text{ W/m}^2$, verano

No toda esta energía llega a la superficie de la Tierra, puesto que parte de ella es reflejada y absorbida por la atmósfera. La radiación que alcanza la superficie terrestre se divide en radiación directa, radiación difusa y radiación de albedo o reflejada. Ver Ilustración 1-2.



Ilustración 1-2: Tipos de radiación
Fuente: www.sfe-solar.com.

1.12.1 Factores que afectan en la Radiación Solar

1.12.1.1 Movimiento terrestre

La Tierra describe una órbita ligeramente elíptica alrededor del Sol, que ocupa uno de los focos de dicha elipse. El punto en el que el Sol y la Tierra se encuentran más alejados entre sí (aproximadamente a 1,017 ua, equivalentes a 152.096.154 km) se denomina Afelio. En cambio, el punto en el que ambos se encuentran más cerca (aproximadamente a 0,983 ua, equivalentes a 147.099.586 km) se llama Perihelio. Este movimiento de la Tierra alrededor del Sol lleva el nombre de movimiento de traslación y dura aproximadamente un año (o con más precisión 365 días, 5 horas, 48 minutos y 46 segundos). Además, nuestro planeta gira alrededor de su eje, efectuando una vuelta por día gracias al movimiento de rotación.

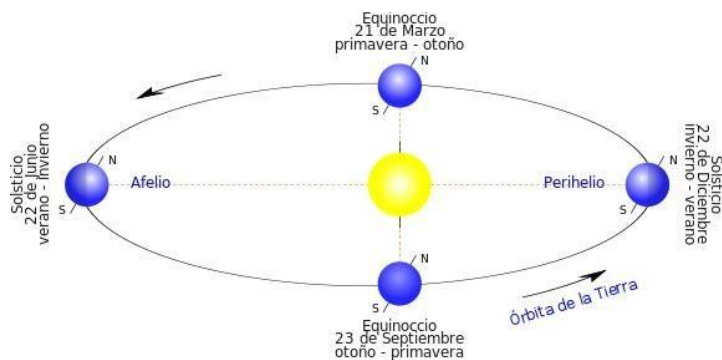


Ilustración 1-3: Órbita descrita por la tierra alrededor del Sol
Fuente: www.helioesfera.com.

- El movimiento de traslación impacta en la curva de generación de energía anual. Los meses de verano, al estar el hemisferio sur mostrando una cara más directa al sol, recibe mayor cantidad de energía por metro cuadrado que en los meses de invierno cuando el hemisferio sur está mostrando una cara más alejada a la trayectoria perpendicular de los rayos del Sol.
- El Sol al girar sobre su eje (movimiento de rotación), presenta la curva de radiación diaria. Cualquier sistema fotovoltaico comenzará a generar energía en pequeñas cantidades con los primeros haz de luz de la mañana, esta energía empezara a aumentar a medida que avanzan las horas del día, alcanzando el máximo de su valor al mediodía, para luego comenzar a disminuir nuevamente con las últimas luces del atardecer hasta dejar de generar cuando llega la noche.

En resumen, los movimientos de la tierra se traducen en diferentes recorridos del Sol durante cada día del año. Más precisamente, los puntos en el horizonte, por donde sale y se esconde el Sol y la altura a la que vemos el mismo, varia durante cada día del año en un proceso cíclico.

1.12.1.2 Posición del Sol relativa a nuestra ubicación

La posición del Sol en relación con cualquier punto de referencia se puede describir de manera trigonométrica, utilizando las coordenadas geográficas y las coordenadas solares.

- Coordenadas geográficas: es un sistema de coordenadas que permite que cada ubicación en la tierra se especifique mediante dos ángulos, latitud (ϕ) y la longitud (λ)
 - Latitud (ϕ): se define como el ángulo entre el plano ecuatorial, una línea del centro de la tierra y un lugar (T) en la superficie de la tierra. Por definición, la latitud es positiva en el hemisferio norte y negativa en el hemisferio sur.
 - Longitud (λ): la longitud de cualquier ubicación es determinada por el ángulo entre el meridiano cero y el meridiano que pasa por la ubicación (T), con valores

positivos para las localizaciones al oeste de Greenwich y valores negativos para las localizaciones al este de Greenwich.

➤ Coordenadas solares: el Sol siempre tendrá una posición que podemos definir mediante las denominadas coordenadas solares, que en este caso se representan en tres ángulos:

- Ángulo Cenital (θ_z) es el ángulo entre el Sol y la vertical. El ángulo cenital es similar al ángulo de elevación, con la diferencia de que se mide desde la vertical en lugar de desde la horizontal, por lo que el ángulo cenital = 90° - elevación.
- Altura Solar (α) La altura solar es el ángulo que forma el sol respecto del plano horizontal. Cambia a lo largo del día y tiene su altura máxima aproximadamente al mediodía. Esta altura máxima varía a lo largo del año entre el solsticio de invierno y el solsticio de verano.
- Azimut Solar (Φ_s): Corresponde al ángulo medido sobre el horizonte que forman el Norte y la proyección vertical del Sol sobre el horizonte

Una herramienta fundamental, aunque escasamente empleada en el sector de la energía solar, es la denominada “Carta Solar”, la cual consiste en una representación bidimensional de las diferentes trayectorias recorridas por el Sol vistas desde un punto fijo. En el eje horizontal se representa el azimut, y en el vertical la elevación. Por lo tanto, la carta solar es características de cada lugar.

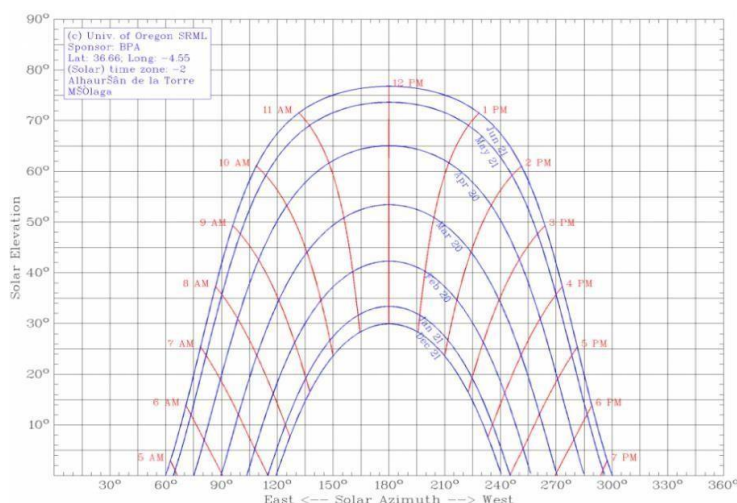


Ilustración 1-4: Carta Solar
Fuente: www.helioesfera.com.

Cada curva con forma de campana representa un día concreto. En esta Carta Solar, está representado el día 20 de cada mes (Julio = mayo, agosto = abril, etc.), para cualquier otro día es necesario interpolar entre las curvas correspondientes. Las líneas rojas representan la hora solar (no la hora local). Hoy en día, estas cartas solares ya no se emplean, debido a los numerosos software que existen y que facilitan la entrega de los datos de radiación de un determinado lugar.

1.12.1.3 Condiciones climáticas

En un día despejado, con cielo limpio, la radiación directa es preponderante sobre la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado casi no existe radiación directa y casi la totalidad de la radiación que incide es difusa. La radiación solar varía mucho más por factores atmosféricos que por factores geográficos. Cuando se adentra en el tema de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos, principalmente en sistemas aislados, veremos que es necesario tener en consideración la interacción del clima con nuestro sistema fotovoltaico, puesto que podría darse el caso en que una sucesión de días nublados se traduce en poca energía acumulada.

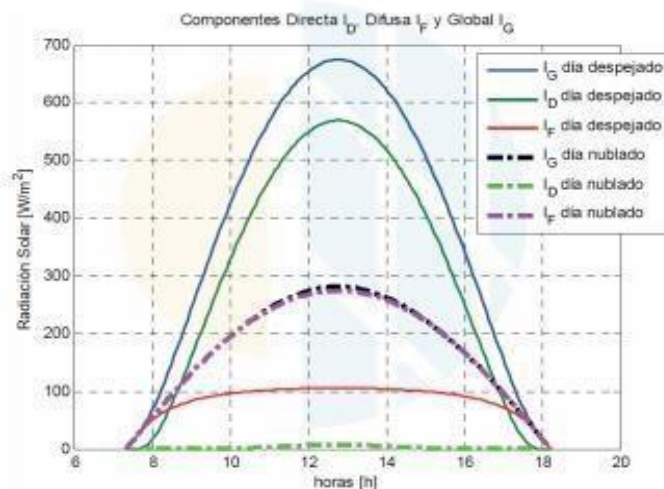


Gráfico 1-6: Componentes de Radiación Solar, día despejado y nublado
Fuente: Manual del curso de instalaciones FV, Estudio Solar.

1.12.2 Intensidad de radiación solar (I_s)

Es la fuerza con que llega la radiación y golpea sobre la superficie terrestre en un instante determinado, si bien esta se puede expresar en distintas unidades, cuando está relacionado a proyectos fotovoltaicos por lo general se expresa en “Watts por Metro Cuadrado”. En algunos proyectos, particularmente los de mayor escala, puede ser necesario conocer la potencia máxima de generación, con la intensidad de radiación podemos calcular esto. Designaremos esta unidad de la siguiente manera:

$$I_s = \frac{W}{m^2}$$

1.1 Energía solar (G_s)

Si bien el concepto anterior hace relación a una fuerza ejercida durante un tiempo determinado, pero cuando esta se sostiene en un periodo de tiempo, a lo largo del día, por ejemplo, como lo hace la radiación solar, puede ser medida como una unidad de energía. La

radiación solar es energía y se ha llegado a la convención de medirla por hora. Por lo tanto, esta unidad se designará de la siguiente manera:

$$G_S = \frac{Wh}{m^2}$$

1.12.4 Radiación en la superficie terrestre

La radiación que llega a la superficie terrestre, o aquella que recibe un panel solar posee 3 componentes:

- Radiación directa (G_D): corresponde a los rayos solares que provienen directamente del Sol. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.
- Radiación difusa (G_F): es la parte de la radiación solar que pierde su dirección original, a consecuencia de los procesos de absorción, reflexión y refracción en la atmosfera, como por ejemplo en nubes, y viene desde todas las direcciones.
- Radiación reflejada (G_R): es aquella reflejada por la superficie terrestre, también es conocida como albedo.

Por lo tanto, la radiación global (G_G) corresponde simplemente a la suma de las tres radiaciones anteriores dada por:

$$\text{Radiación global}(G_G) = G_D + G_F + G_R$$

Los módulos solares, ya sean fotovoltaicos o térmicos, aprovechan gran parte del espectro lumínico, desde los infrarrojos, pasando por la luz visible hasta el ultravioleta. Respecto a la radiación global, se podría decir que los módulos de cristal de silicio también aprovechan todos los tipos de radiación.

Dado que existen tecnologías de concentración solar, comúnmente utilizadas para generar calor, en cuanto a los módulos fotovoltaicos tradicionales no es bueno agregar radiación extra por algún tipo de superficie reflectante, o que condense la luz, dado que se ven afectados por la temperatura extra, bajando su eficiencia de forma drástica.

Lo mencionado hasta ahora se conjuga para obtener información relevante para el dimensionamiento de sistemas solares.

1.12 APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR

Existen dos grandes formas de aprovechar la energía generada por el Sol, una de estas es la tecnología Termosolar y la otra es la tecnología Solar Fotovoltaica. Esta última será de gran importancia para el estudio, ya que es uno de los ejes principales de este proyecto.

1.12.1 La tecnología Solar Fotovoltaica

Es una fuente de energía renovable variable en el tiempo, que consiste en un sistema que transforma la energía solar en energía eléctrica, en forma de corriente continua, mediante el efecto fotoeléctrico generado en los paneles fotovoltaicos. Estos paneles están compuestos por celdas que son fabricadas con materiales semiconductores, típicamente por silicio dopado. Las celdas fotovoltaicas no necesitan que la radiación solar incida perpendicularmente sobre ellas para operar, sino que pueden producir electricidad también bajo radiación difusa. Estas celdas están formadas, además del cristal de la celda, por una lámina transparente superior que les protege de la intemperie, y bajo esta, se encuentra encapsulado el sustrato conversor y sus conexiones eléctricas.

Los paneles o módulos fotovoltaicos se dividen en distintas categorías de acuerdo a su material constituyente, siendo las principales las de silicio monocristalino y policristalino. En tanto, en los últimos años han penetrado tecnologías de silicio de capa delgada (Thin film) con aplicaciones más versátiles que la tecnología tradicional cristalina, pero aún con menores niveles de eficiencia en la conversión fotoeléctrica. La eficiencia de conversión fotoeléctrica en la tecnología fotovoltaica se encuentra típicamente entre el 6 % y el 25 %.

En las instalaciones fotovoltaicas se distinguen paneles instalados en un ángulo fijo con respecto a la superficie del suelo, y también paneles con sistema de seguimientos (en uno o dos ejes) capaces de acomodar el ángulo de incidencia solar a medida que avanzan las horas del día para maximizar la generación. En el caso de estructuras fijas es importante instalar coherentemente los paneles fotovoltaicos en dirección a la trayectoria del Sol, de tal manera que les permita generar una mayor cantidad de energía.

Las instalaciones fotovoltaicas están formadas principalmente por módulos o paneles fotovoltaicos, los que se combinan con inversores de potencia, transformadores y sistemas de montaje (con o sin seguimiento), constituyendo así los componentes principales de esta tecnología. Una de las principales características de la tecnología fotovoltaica es la modularidad de los paneles, lo que permite conectarlos en configuraciones serie-paralelo de tal forma de alcanzar grandes capacidades instaladas, llegando a centrales generadoras del orden de los 100 MW.

En tanto, dentro del equipamiento eléctrico de la central fotovoltaica, se encuentran también los transformadores; los sistemas de protecciones y la puesta a tierra; los equipos de

medición, instrumentación, control, automatización y comunicación; además de los servicios auxiliares.

1.13 BOMBEO SOLAR

Los sistemas de bombeo de agua consisten en impulsar agua desde un punto A hasta un punto B. Normalmente el punto de destino tiene un nivel de energía potencial mayor que el punto en donde se encuentra la fuente de agua, es por esto, que se debe efectuar un trabajo para mover este fluido. Este trabajo es realizado por las bombas hidráulicas, las cuales existen en diversos modelos, para diferentes tipos de fluidos, aplicaciones, materiales, valores, tecnología, entre otros criterios. Respecto a la mecánica del fluido, se considera para todos los casos al agua como un fluido no compresible, que se le puede modificar su presión o altura y velocidad al agregarle energía. Este cálculo se realiza mediante el principio de Bernoulli.

El bombeo solar en palabras sencillas consiste en alimentar a las bombas hidráulicas mediante el uso de la energía solar. Existen cuatro maneras diferentes para realizar el bombeo solar, las cuales serán detalladas a continuación.

1.13.1 Tipos de Bombeo Solar

1.13.1.1 Bombeo con sistema On Grid

Son sistemas de generación eléctrica conectados a la red los cuales no son exclusivamente de bombeo solar, sino que pueden tener un uso domiciliario, industrial, o diferentes modelos económicos. Un sistema conectado a la red funciona como una pequeña planta generadora que permitirá satisfacer cualquier consumo que se tenga tales como bomba, iluminación, refrigeradores, entre otros, es decir, si no se utiliza la bomba el cliente de todas maneras podrá ahorrar sus consumos.

Estos sistemas son bastantes sencillos de diseñar e instalar, sin embargo posee sus desventajas tales como:

- Requerir de un proceso engorroso para declarar la instalación ante la SEC.
- Requerir de un técnico especialista para firmar la documentación.
- Los inversores On Grid son muy sensibles a las bajas o subidas de voltaje, lo que impedirá que el sistema funcione las horas estipuladas.

1.13.1.2 Bombeo con sistema Off Grid

Estos sistemas son capaces de cargar baterías durante las horas de mayor radiación y utilizar dicha energía en momentos en los que no se tenga generación fotovoltaica. Para sistemas de bombeo fotovoltaico, es factible usar estos sistemas Off Grid con baterías, sin embargo, el problema principal que se presenta es que al arrancar las bombas tiene un peak de consumo que puede ser 2,3 o hasta 7 veces la potencia nominal de la bomba (dependiendo del modelo, marca y punto hidráulico), por lo que es necesario tener un banco de baterías lo suficientemente grande para soportar esta alza de consumo, que aunque es por un corto periodo de tiempo, es necesario para que la bomba arranque. Esto provoca que el sistema sea muy costoso, y para ahorrar en baterías se instalan bancos con menos acumulación, lo que provoca constantes descargas profundas y por ende la batería tendrá menos ciclos de carga y descarga que lo esperado.

1.13.1.3 Sistema de bombeo solar directo con bombas solares (motor DC)

Las llamadas bombas solares son equipos de bombeo que hidráulicamente funcionan igual que una bomba convencional, sin embargo, el motor que poseen es de corriente continua. En la mayoría de los fabricantes, todo el sistema de control se encuentra en la misma bomba por lo que no requieren un controlador extra.

Los controladores tienen la función de limpiar y arreglar el voltaje y la corriente que se genera en los módulos, a valores que con los que pueda funcionar la bomba. Además, en estos controladores están las entradas para los sensores, ya sean básicos o avanzados.

1.13.1.4 Sistemas de bombeo solar directo con bombas convencionales (motor AC)

Es posible energizar una bomba convencional mediante módulos fotovoltaicos y un inversor con variador de frecuencia. Los motores al no estar diseñados para trabajar con bombeo solar suelen tener eficiencias menores que los equipos de corriente continua, sin embargo dado su menor costo, se puede asumir el valor de sobredimensionar con módulos fotovoltaicos.

Su principal desventaja, es que no es sencillo ni rápido (tampoco hay un software que ayude en esto) poder predecir cuanto será el caudal que será bombeado con un sistema con bomba convencional y un inversor específicos, ya que normalmente son diferentes los fabricantes.

1.13.2 Principales componentes de un Sistema de Bombeo Solar

- **Módulos fotovoltaicos:** es el lugar donde se produce el efecto fotoeléctrico (transformación parcial de la energía que llega a la superficie terrestre en energía eléctrica), actualmente el principal elemento de las celdas es el silicio. Existen dos principales tipos de paneles:
 - **Monocristalinos:** Son más eficientes (> 21%) que los policristalinos y tiene un mejor rendimiento en zonas costeras o de baja radiación, sin embargo son más costosos.
 - **Policristalinos:** Actualmente tienen eficiencia entre un 15% y un 18%, sin embargo, es el panel más común, por poseer la mejor relación \$/Wp.
- **Controlador/inversor:** dependiendo de la tecnología del motor de la bomba, se necesitará un controlador para motores de corriente continua o un inversor para motores tradicionales de corriente alterna.
- **Bomba:** existen diversos tipos de bombas, pero las más utilizadas para estos sistemas solares de levantamiento de agua son: las superficiales y las sumergibles. Aunque también existen bombas capaces de trabajar con otro tipo de fluidos como aceites, lixiviados, combustibles fósiles y fluidos no newtonianos.
- **Sistema de acumulación:** el sistema de acumulación es un simple estanque donde se acumula agua, y no tiene importancia por sí solo. El valor que tiene este equipo es en donde instalará, a mayor altura, mayor será la presión que se tendrá disponible para el sistema de bombeo pudiendo incluso lograr riegos gravitacionales.

CAPÍTULO 2: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La problemática que se presenta es la de extraer agua de pozos y utilizar el recurso hídrico en el riego de cultivos, con métodos poco eficientes energéticamente hablando.

Por lo general, en estos procesos se invierten importantes sumas de dinero para poder costear los requerimientos de elevación del fluido mediante bombas hidráulicas, ya sea a través del pago del suministro eléctrico o bien por el uso de técnicas convencionales, tales como las motobombas con motores a combustión, las cuales no contribuyen para nada en las emisiones de gases de efecto invernadero y que inclusive consumen una gran cantidad de combustibles fósiles, que por lo demás se encuentran en alza constante semana tras semana.

A su vez, en muchos casos se presenta que importantes cantidades de agua son extraídas y no están siendo utilizadas correctamente para el riego, debido a que los sistemas de regadío no son totalmente eficientes, por lo que en el transcurso del proceso de riego se produce un desperdicio significativo de agua que, en un futuro cercano, siendo rigurosos, podría llegar a producir una escasez hídrica y agotamiento del recurso.

Además, debido a la pandemia del Covid-19 muchas personas han buscado desarrollar proyectos de cultivos autosuficientes que les permitan obtener alimentos frescos y de calidad durante todo el año, por estas razones, lo primero que se viene a la mente son los invernaderos, los cuales permiten cumplir con los requerimientos de cultivo durante toda la temporada. A raíz de esto, muchos agricultores tanto expertos como novatos, buscan sistemas de riego que sean coherentes con la sustentabilidad que proporcionan los cultivos en invernaderos, por lo que la extracción de agua y posterior uso se transforma en un inconveniente, puesto que no es llegar, extraer el agua y realizar los riegos, sino que hay que hacer un estudio un poco más exhaustivo para conocer de donde se extraerá el recurso hídrico, como se extraerá, cuánta agua se requerirá y como se realizarán los riegos, de tal manera que la actividad de regadío sea totalmente eficiente y acorde a los requerimientos de los cultivos.

Paralelamente, aunque pareciera impensado, en muchas localidades de la región del Biobío y de Chile en general aún no se cuenta con conexión a la red eléctrica, por lo que la autogeneración de energía es indispensable para poder desarrollar tanto actividades cotidianas como actividades agrícolas, que permitan brindarle autonomía a las personas de estos sectores.

A pesar de que este proyecto no está destinado a un invernadero en específico, más bien está dirigido a cualquier invernadero que se encuentre en la región del Biobío, se tomara en consideración y como referencia para los posteriores cálculos un invernadero encontrado en la Parcela 14 de Campo Alegre, camino a El Peral en la comuna de Los Ángeles.

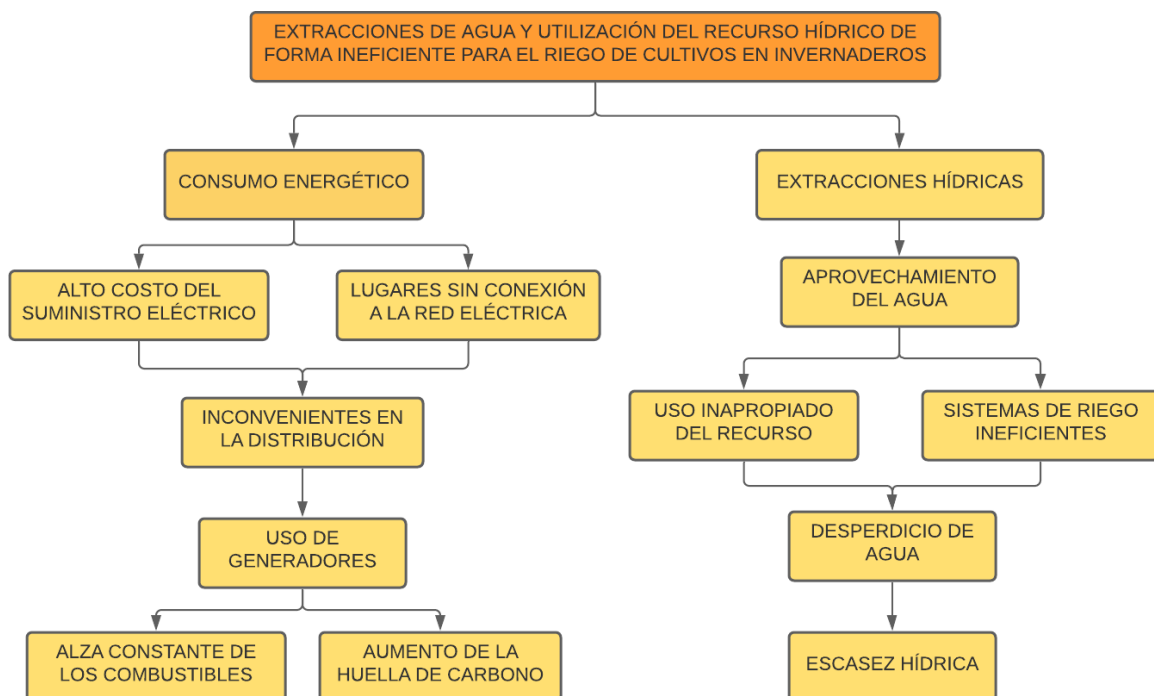


Ilustración 2-1: Definición del problema
Fuente: Elaboración propia.

2.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La justificación de este proyecto se basa principalmente en los siguientes puntos:

- La continua expansión del sector eléctrico, que pronostica un crecimiento sostenido de la demanda energética, la cual prácticamente se duplicará en los próximos 20 años. Así, mientras en 2018 la energía que se requirió fue de 70.282 GWh, para 2038 será de 128.776 GWh; es decir, 83% más. El crecimiento se debe principalmente al factor económico, es decir, entre más se desarrolla el país, mayor es la demanda. Por ende, se requiere ser más eficientes y aplicar técnicas de generación de energía renovable, para poder desacoplar la curva de crecimiento económico con la curva de consumo energético y posicionar a Chile como un país desarrollado.
- Debido a que Chile posee una matriz energética, que es principalmente importada, queda sometido a las fluctuaciones internacionales de precios de los combustibles. Esta dependencia, a comienzos de los años 90, estaba en torno al 50% y alcanzó un máximo de 84% el año 2004, mientras que en 2011 fue del 78%, cifra que sigue siendo alta. Esta cifra se pretende disminuir implementando las medidas necesarias para que las energías renovables constituyan el 60% de la matriz energética de Chile en el año 2035, y al menos un 70% de la generación eléctrica para el año 2050.
- El cambio climático, si bien Chile no es un emisor relevante a nivel mundial, ya que representa sólo el 0,26% de las emisiones de gases globales de efecto invernadero, éstas

están creciendo aceleradamente. El sector energía del país aporta en forma dominante y creciente a los valores de emisiones nacionales, teniendo un aumento del 124,6% entre 1990 y 2010, alcanzando un valor de 69,7 millones de toneladas de CO2 aproximadamente en el año 2010. Esto hace evidente el hecho de tener que incorporar energías renovables en grandes proyectos, como también en proyecto de uso domiciliario.

- La creciente escasez de agua dulce a lo largo del territorio en los últimos años, causada por la disminución paulatina de las precipitaciones y el alza de las temperaturas, así como la sobreexplotación del recurso, que comienza a limitar su uso vital, generando diversos efectos en distintas zonas. Por ello, es necesario cambiar el enfoque actual de la gestión del agua, esto implica que el recurso se use estratégicamente, asegurando los caudales ecológicos, el consumo humano a nivel urbano y rural, así como el uso del recurso por parte de pequeños productores, quienes son más vulnerables a la escasez de agua y mantienen un desarrollo productivo diversificado.
- Debido a la pandemia del coronavirus muchas personas se plantean la idea de poder obtener sus propios alimentos, a su vez, crece la tendencia de utilizar suelos orgánicos para realizar cultivos. Los números no mienten, en solo un año, la superficie de suelo orgánico en Chile aumentó un 28%, debido a que hay mucha demanda de estos alimentos orgánicos. La gente quiere productos más saludables y los suelos orgánicos se asocian con una producción en general más saludable, ya que aseguran buena capacidad de retención de agua, una buena alternativa de mitigación frente a los altos niveles de escasez hídrica que se va a enfrentar en un futuro cercano.

CAPÍTULO 3: SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

3.1 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

Ante la problemática expresada a lo largo del documento se definen tres ejes principales que se deben apuntar a solucionar. El primer eje consiste en la extracción del recurso hídrico para satisfacer las necesidades de los cultivos, con el fin de que estos sean óptimos y de calidad para el consumo humano, por lo tanto, se debe considerar que la extracción del agua debe ser de una fuente que este inmediata al cultivo. Generalmente la fuente hídrica que se encuentra más cercana a las superficies de cultivo son las aguas subterráneas o agua de pozo (en la región de Biobío hay gran disponibilidad de agua en el seno de la tierra), es por esto que la extracción deberá ser realizada por una bomba hidráulica, la cual puede ser superficial o sumergible, y que permitirá elevar el fluido desde el pozo hasta un estanque de acumulación en altura, con el objetivo de almacenar el agua para posteriormente realizar el riego de los cultivos con un sistema eficiente, en cualquier instante incluso cuando no esté funcionando la bomba hidráulica.

El segundo eje que se debe apuntar a solucionar es la energización de la bomba hidráulica. En muchos sectores rurales de la región del Biobío aún no se cuenta con un red eléctrica estable que facilite el proceso de distintos tipos de actividades productivas. Aunque también, en sectores rurales con suministro eléctrico, el cobro es excesivamente elevado, por lo que, se produce una disminución en la rentabilidad del negocio agrícola. Es por esto, que es común dentro de los agricultores utilizar técnicas convencionales conjuntas, como son las motobombas con motor a combustión, la cual si bien es un opción factible dentro del agro produce una disminución de la rentabilidad, debido a que hay que solventar el gasto significativo de los combustibles fósiles para poder operar, y además se produce un aumento importante en la huella de carbono producto de la combustión.

El tercer eje que se debe solucionar es la elección del sistema de riego que más se acomode a los requerimientos de los cultivos en invernadero, de tal manera que el recurso hídrico se ocupe de manera eficiente minimizando las pérdidas de agua.

Por estas razones, se deben buscar soluciones que apunten a los tres ejes mencionados anteriormente y que además proporcionen una sincronía en el desarrollo de las soluciones, con el fin de optimizar el riego de cultivos en invernaderos y poder solucionar este gran problema como es la extracción de agua de manera eficiente para las actividades agrícolas.

3.2 POSIBLES SOLUCIONES

3.2.1 Con respecto a las extracciones hídricas

Existen dos posibilidades para solucionar este eje de la problemática. Mas que solución es una elección y en este caso se debe elegir entre dos tipos de bombas, las bombas sumergibles y las bombas superficiales. Para conocer cual bomba se debe elegir primero que todo es necesario conocer la profundidad del pozo, el requerimiento de agua de los cultivos y la altura o distancia a la que se quiere hacer llegar el fluido. Es por esto que esta elección se realizara más adelante con ayuda del software COMPASS de Lorentz.

3.2.2 Con respecto a la energización de la bomba hidráulica

Las posibles soluciones que se pueden encontrar para poder resolver este eje de la problemática se basan principalmente en la autogeneración de energía de manera renovable como también de manera no renovable.

Dentro de la autogeneración de energía renovable podemos encontrar dos posibles soluciones, una es la energía solar fotovoltaica y la otra es la energía eólica. Ambas formas de generación son factibles de llevar a cabo en la región del Biobío, ya que las condiciones climáticas presentes en la región permiten realizar estos prototipos de proyectos.

Dentro de la autogeneración de energía de forma no renovable se puede encontrar una sola posible solución la cual consiste en motobombas con motor a combustión, dichas motobombas forman parte principal de las técnicas que poseen hoy en día los agricultores para elevar el agua y poder realizar los riegos en los cultivos, tanto en exterior como en invernaderos.

3.2.3 Con respecto al sistema de riego

Se debe elegir un sistema de riego que sea eficiente y que sea fácil de implementar en un invernadero, según el requerimiento de agua que los cultivos necesiten. Es necesario que el sistema de riego que se elija sea compatible con una entrada de agua a las líneas por gravedad, es decir, al tener el estanque de acumulación en altura este debe constar con una válvula en el fondo que permita que el agua fluya por gravedad y que alimente al sistema de regadío.

En este caso, el sistema de regadío que es coherente con los anteriores criterios es el riego por goteo, el cual se mencionara con mayor profundidad más adelante.

3.2.4 Árbol de posibles soluciones

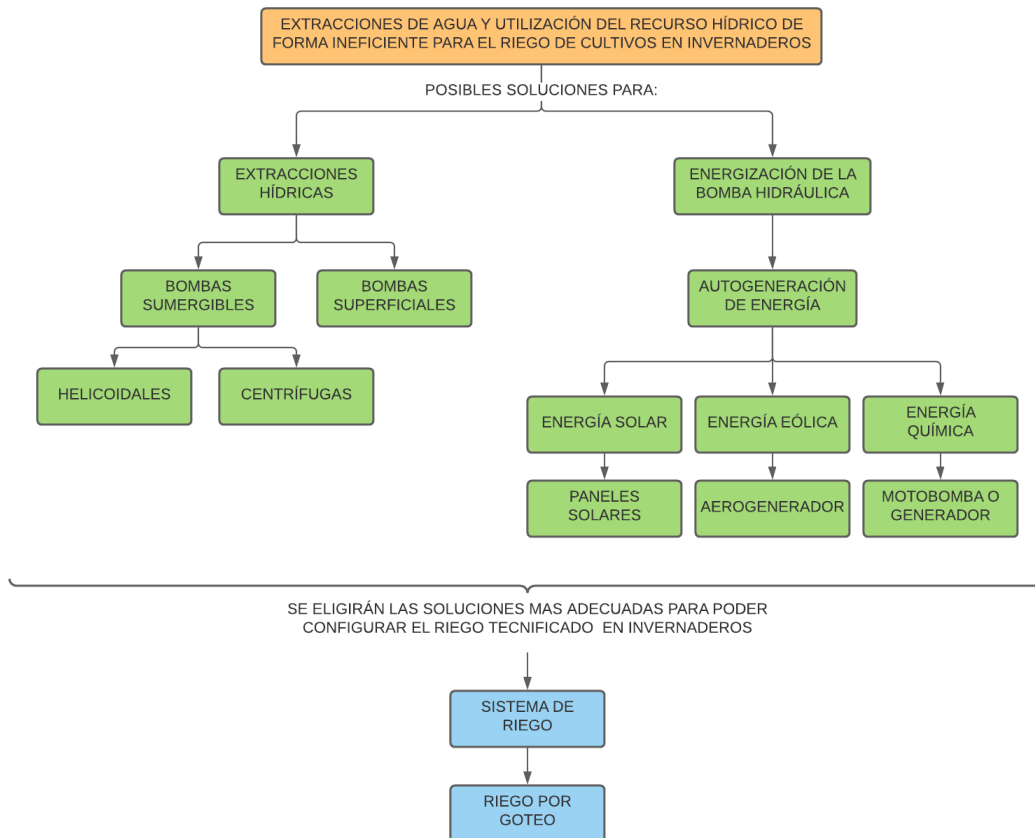


Ilustración 3-1: Árbol de posibles soluciones
Fuente: Elaboración propia.

3.2.5 Matriz de multicriterio para analizar la viabilidad de cada posible solución

Se ha definido que es necesario emplear una matriz de multicriterio para determinar el tipo de energía que será empleado en la energización de la bomba hidráulica, de tal manera de poder precisar la opción más viable para el desarrollo del proyecto.

En esta matriz se incluirán las tres posibles soluciones (energía solar, energía eólica y energía química), se definirán 6 criterios, los cuales tendrán un porcentaje de importancia que será multiplicado por la calificación otorgada, de modo que se pueda sacar un promedio total de cada posible solución. La solución que tenga el mayor promedio será la más viable y por ende la que finalmente será seleccionada para el desarrollo del proyecto.

Con respecto a la elección de la bomba no es necesario realizar una matriz de multicriterio, debido a que la bomba idónea para el desarrollo del proyecto será seleccionada posteriormente por catálogos y con la ayuda del software COMPASS.

CRITERIO	IMPORTANCIA	ENERGÍA SOLAR (PANELES SOLARES)		ENERGÍA EÓLICA (AEROGENERADOR)		ENERGÍA QUÍMICA (MOTOCICLO)
		Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación	
MANTENIBILIDAD	10%	7	0,70	3	0,30	
RENTABILIDAD	15%	5	0,75	5	0,75	
COSTO DE INVERSIÓN	20%	1	0,20	1		
GASTO DIARIO	15%	7	1,05	7		
SUSTENTABILIDAD	20%	7	1,40			
FACTIBILIDAD	20%	5	1,00			
Total	100%		5,10			

Tabla 3-1: Tabla de multicriterio para analizar viabilidad
Fuente: Elaboración propia.

3.2.5.1 Resultado de la matriz de multicriterio

La posible solución con mayor promedio total (5,10) resultó ser la energía solar, por lo tanto, el proyecto será configurado y diseñado con una bomba hidráulica energizada con paneles de energía solar fotovoltaica.

3.3 DISEÑO SOLUCIÓN PLANTEADO

3.3.1 Prototipo de proyecto

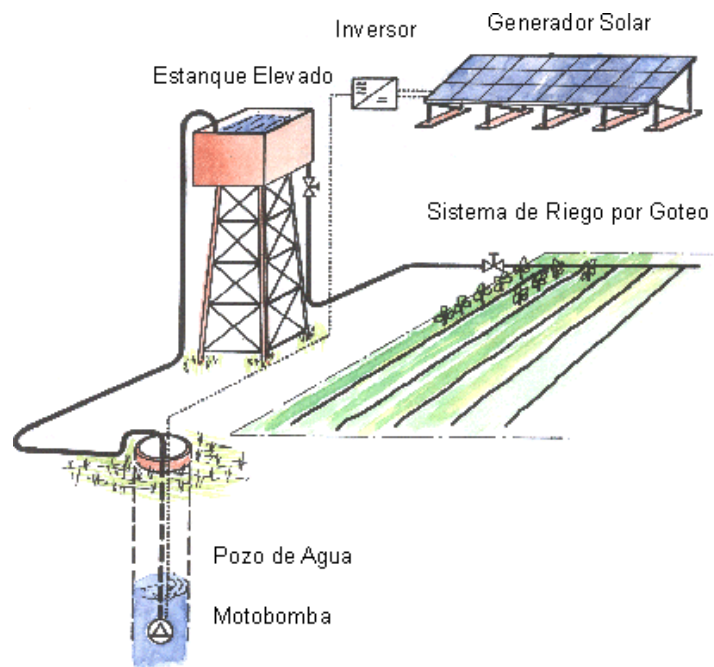
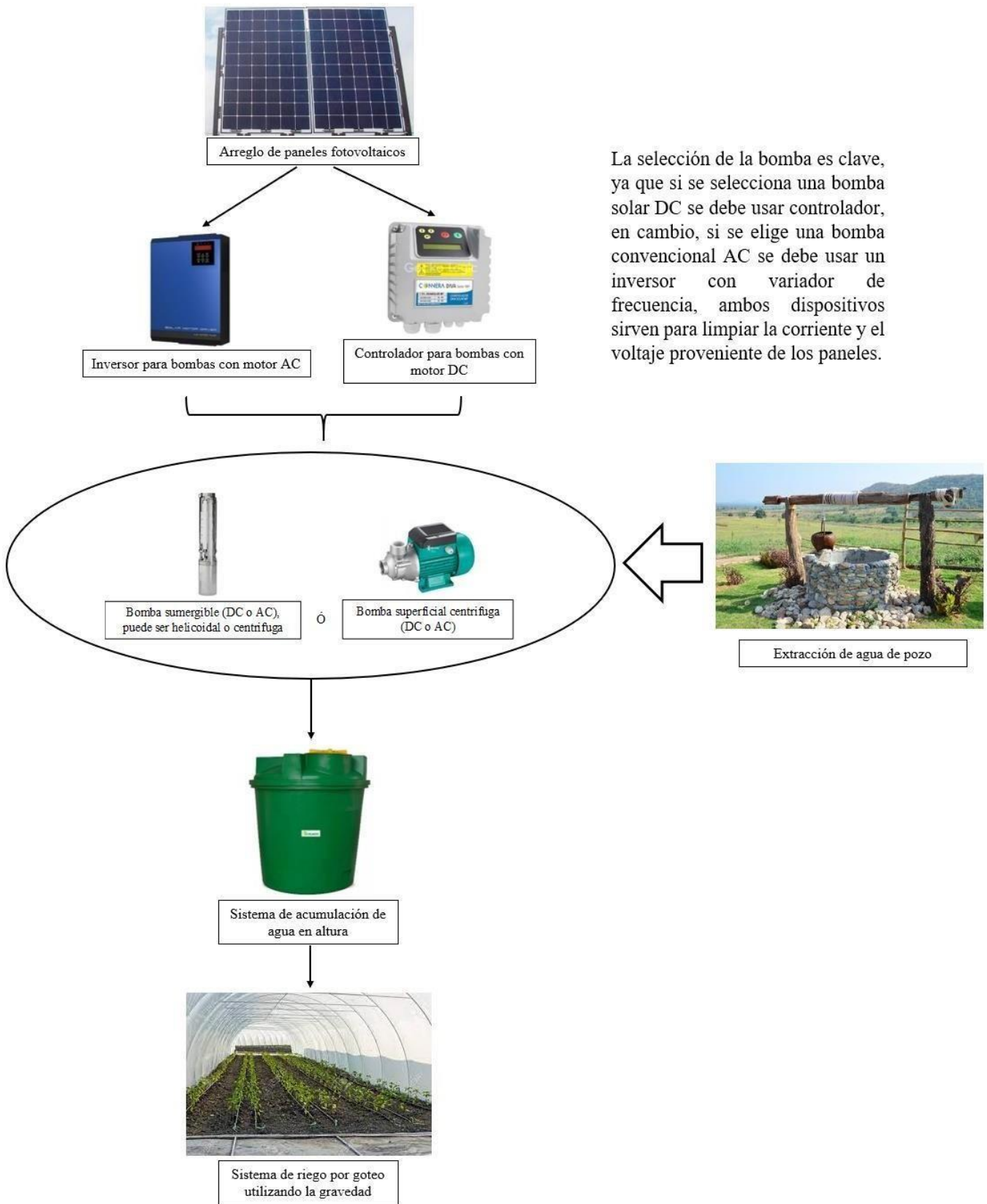


Ilustración 3-2: Prototipo de proyecto
Fuente: Bombeo Solar Lleida.

Según el prototipo, se busca extraer agua de un pozo con ayuda de una bomba solar que este energizada por paneles fotovoltaicos. Esta bomba debe tener la característica de poder elevar el fluido hasta un estanque de acumulación ubicado el cima de una torre, de tal forma de acumular agua para posteriormente realizar riegos por gravedad en el invernadero en cualquier momento incluso cuando no exista radiación solar, a una presión que será igual a la altura del sistema de acumulación.

3.3.2 Diagrama de flujo



La selección de la bomba es clave, ya que si se selecciona una bomba solar DC se debe usar controlador, en cambio, si se elige una bomba convencional AC se debe usar un inversor con variador de frecuencia, ambos dispositivos sirven para limpiar la corriente y el voltaje proveniente de los paneles.

Ilustración 3-3: Diagrama de flujo del proyecto
Fuente: Elaboración propia.

3.4 INVERNADERO Y CULTIVOS

Un invernadero es un lugar cerrado que se destina a la producción de cultivos para protegerlos de excesos de temperaturas, humedad y otros factores ambientales. Habitualmente está dotado de una cubierta exterior translúcida de vidrio o plástico, permitiendo un control más exhaustivo de las condiciones ambientales y favoreciendo el óptimo crecimiento de los cultivos en cuestión. La cubierta del invernadero impide el transporte del calor acumulado hacia el exterior y obstruye la salida de una parte de la radiación infrarroja. El efecto principal es la acumulación de calor y el aumento de la temperatura del recinto.

Existen variadas opciones para construir invernaderos, es por esto que a la hora desarrollar un proyecto de construcción se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Exigencias climáticas del cultivo.
- Características climáticas de la zona.
- Criterios de eficiencia y funcionalidad.
- Disponibilidad de mano de obra e insumos.

En relación con el régimen térmico a mantener en el interior del invernadero, este puede clasificarse en: frío, templado o caliente.

Según el material de cobertura utilizado en los invernaderos se pueden distinguir los rígidos (vidrio, policarbonato) o los flexibles (como el polietileno, cloruro de polivinilo). En cuanto a la estructura de soporte, se puede utilizar madera, metal (acero, aluminio, etc.), hormigón, o una combinación de estos materiales.

Otra variable se desprende de la forma de la estructura del invernadero, la cual puede ser tipo capilla, curvo, parral, inflables, etc.

En definitiva, las ventajas que se tienen en los cultivos de invernaderos son:

- Intensificación de la producción: permite establecer las condiciones óptimas para el buen desarrollo de la producción.
- Aumento de los rendimientos: se consigue un rendimiento por unidad de superficie hasta tres veces mayor comparado con el campo abierto.
- Menores riesgos en la producción: los daños causados por factores climatológicos se minimizan debido a la protección de la producción.
- Uso eficiente de los productos: optimización del agua y fertilizantes necesarios para cada etapa de desarrollo del cultivo con un sistema de riego más controlado, eficiente y preciso.
- Mayor control de plagas y enfermedades: facilidad en el control de plagas y enfermedades debido al aislamiento del cultivo con el exterior.

- Posibilidad de cultivar todo el año: el cultivo en invernadero tiene independencia del medio exterior, pues controla factores como las bajas temperaturas del invierno o las altas del verano, ya que aísla e implementa sistemas de calefacción, ventilación y enfriamiento.

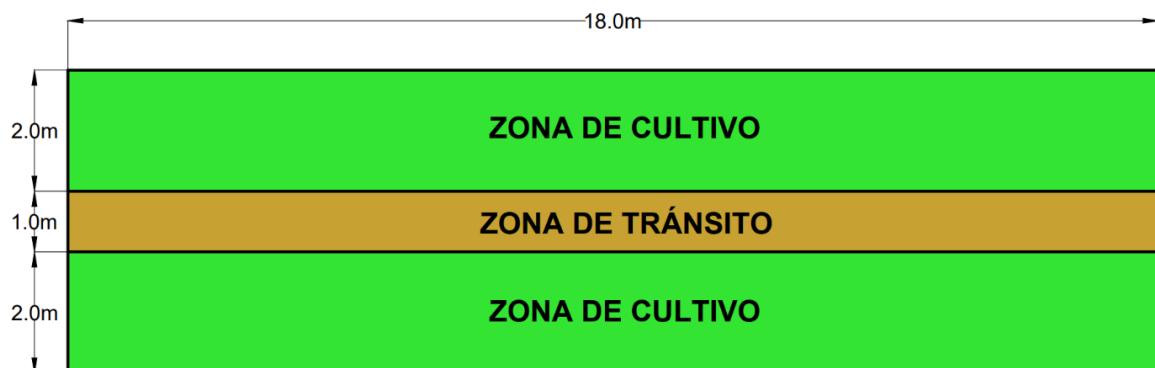
Finalmente, para efectos de cálculos en este proyecto, se utilizará un invernadero ubicado en la Parcela 14 de Campo Alegre, camino a El Peral en la comuna de Los Ángeles, Región del Biobío.



Ilustración 3-4: Invernadero referencial
Fuente: Fotografía propia.

3.4.1 Cálculo de la superficie de cultivo

El invernadero seleccionado para el desarrollo de los cálculos tiene las siguientes dimensiones: 18 m de largo por 5 m de ancho por 2 m de alto, por lo tanto, la superficie operativa para desarrollo los cultivos es de 90 m². De esta superficie operativa hay que descontar un espacio de 1 m de ancho, necesario para adaptar una zona de tránsito, con el fin de realizar constantemente el chequeo de los cultivos y del sistema de riego. Ver Plano 3-1.



Plano 3-1: Delimitación de zonas dentro del invernadero
Fuente: Elaboración propia AUTOCAD.

Por lo tanto, analizando el Plano 3-1, se puede definir que la superficie de cultivo o zona de cultivos en el invernadero será:

$$\text{Superficie de cultivo} = \text{Superficie total} - \text{Zona de tránsito}$$

$$\text{Superficie de cultivo} = 90 \text{ m}^2 - (18 \text{ m} * 1 \text{ m})$$

$$\text{Superficie de cultivo} = 90 \text{ m}^2 - (18 \text{ m}^2) = 72 \text{ m}^2$$

Para llevar adelante este proyecto se considerarán el cultivo de cuatro tipos de hortalizas, las cuales tendrán el espacio necesario para su correcto desarrollo y posterior cosecha fructífera. Es por esto, que la superficie operativa o zona de cultivos al interior del invernadero quedara subdividida en 4 cuadrantes. Estos cuadrantes gozaran de disponibilidad espacial de manera proporcional, con el fin de conseguir el crecimiento apropiado de las hortalizas al interior del invernadero. Por lo tanto, la superficie por cuadrante será:

$$\text{Superficie por cuadrante} = \frac{\text{Superficie operativa}}{4}$$

$$\text{Superficie por cuadrante} = \frac{72 \text{ m}^2}{4} = 18 \text{ m}^2, \text{ ver Plano 3-2.}$$



Plano 3-2: Delimitación de cuadrantes dentro del invernadero
Fuente: Elaboración propia AUTOCAD.

En consecuencia, la disponibilidad superficial para cada tipo de hortaliza será de 18 m², por lo que, se procederá a definir cuáles serán las hortalizas que se desarrollarán al interior del invernadero, para posteriormente calcular la densidad del cultivo en cada cuadrante.

3.4.2 Tipos de hortalizas en el invernadero

Dentro del invernadero, en el cual se pretende implementar el sistema de riego tecnificado mediante el bombeo solar, se simulará el cultivo de cuatro tipos de hortalizas temporales, a través de las cuales posteriormente se pretende estimar y definir la cantidad de agua necesaria, para lograr que estos cultivos sean óptimos y de calidad para el consumo humano. Las hortalizas seleccionadas serán las siguientes:

- Tomate
- Lechuga
- Cebolla de guarda
- Acelga

Nota: los cultivos pueden ser diferentes a los propuestos en este proyecto, dependiendo principalmente de la estación en la que se encuentre la región.

3.4.3 Densidad de cultivo de las hortalizas seleccionadas

La densidad de cultivo se define como el número de plantas por unidad de área de terreno. La densidad óptima de siembra en todos los cultivos debería orientarse a:

- Evitar densidades muy bajas que limiten el potencial de rendimiento por unidad de superficie. Las bajas poblaciones ocasionan pérdidas considerables de humedad en el suelo y favorecen el desarrollo de maleza.
- Evitar densidades muy altas que impliquen caídas importantes en la tasa de crecimiento de las plantas y, como consecuencia, del rendimiento. Las plantas tienden a competir más en crecimiento, captación de luz solar, penetración y expansión de su sistema radicular, aumentando así los problemas de desarrollo.

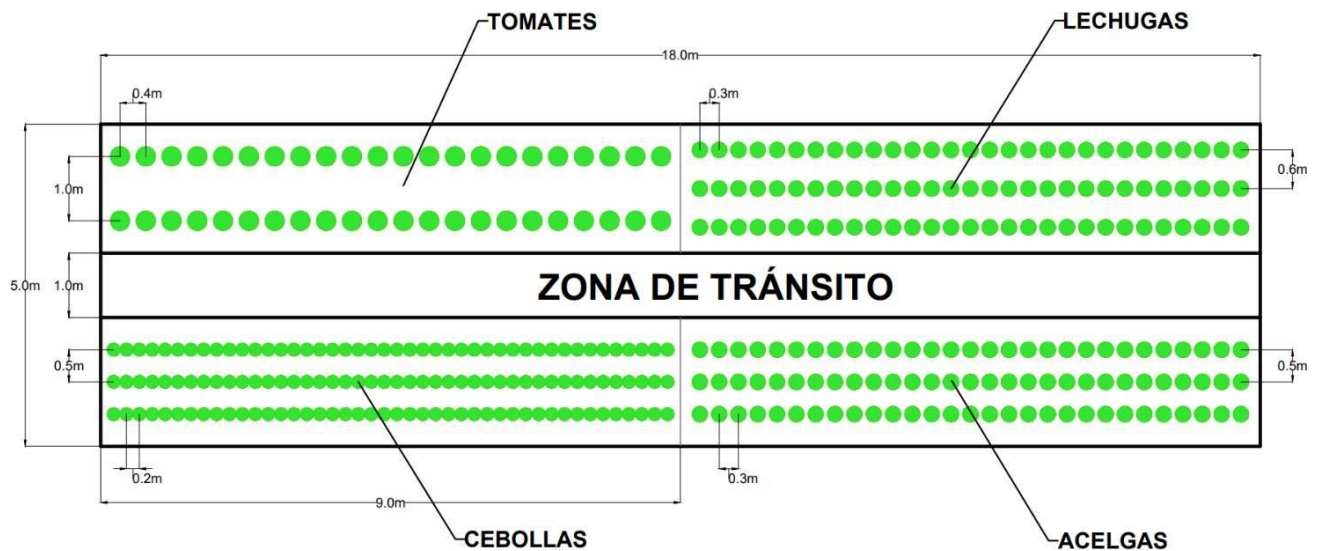
Por lo general, la selección de la densidad no es premeditada, más bien se da gracias a la correcta definición de la distancia entre plantas requerida para el crecimiento óptimo de los cultivos. En fases iniciales de los cultivos, se puede dar la particularidad que haya errores en la siembra, ya que, la mayoría de las veces esta se realiza al voleo, por lo que es necesario realizar un proceso de raleo que permita dejar a los cultivos con el espacio ideal, de tal forma que estos se desarrollen correctamente y que la producción se vea aumentada.

En el caso de las hortalizas seleccionadas se ha realizado la Tabla 3-2 , a través de datos recopilados de diferentes fuentes, con las distancias idóneas de cultivo (entre hileras y plantas de la misma hilera), con el fin de lograr cosechas productivas y de gran calidad.

Tipo de hortaliza	Distancia entre hileras	Distancia entre plantas de la misma hilera
Tomates	100 cm	40 cm
Lechugas	60 cm	30 cm
Cebollas de guarda	50 cm	20 cm
Acelgas	50 cm	30 cm

Tabla 3-2: Distancias ideales entre hortalizas
Fuente: Mundo Huerto, Info Agro, Seminis.

En base a la tabla anterior, con los datos de la distancia entre plantas, se ha podido modelar mediante el software AUTOCAD la distribución de los cultivos al interior del invernadero (ver Plano 3-3), de acuerdo a esto se puede confirmar que el tipo de riego más eficiente para las hortalizas son los sistemas por goteo.



Plano 3-3: Modelamiento de la densidad de los cultivos en el invernadero
Fuente: Elaboración propia AUTOCAD.

El Plano 3-3 de los cultivos del invernadero ayuda a conocer el número de ideal de plantas por cada cuadrante de hortalizas. En el caso que se realice una siembra inefectiva donde se vea aumentada la densidad de los cultivos, es necesario realizar un raleo de las plantas con tal de que el aire circule de forma adecuada dentro del invernadero para evitar la presencia de enfermedades, de tal forma que los cultivos logren el desarrollo óptimo, y por consiguiente una amplia producción.

En la Tabla 3-3 se puede apreciar, según el caso ideal planteado para este proyecto, el número de plantas por hortaliza, la superficie del cuadrante de cultivo y la densidad de cultivo.

Hortaliza	Número de plantas	Superficie de cultivo (m ²)	Densidad de cultivo (plantas/m ²)
Tomate	44	18	2,4
Lechuga	87	18	4,8
Cebolla de guarda	132	18	7,3
Acelga	87	18	4,8

Tabla 3-3: Número de plantas ideales por metro cuadrado
Fuente: Elaboración propia.

Conociendo estos datos, se puede comenzar a calcular el requerimiento de agua necesario para satisfacer las demandas de los cultivos.

3.5 CANTIDAD TOTAL DE AGUA REQUERIDA

El agua está presente en todos los procesos fisiológicos de las plantas, por lo que la frecuencia y oportunidad con la que el agua es aportada a las plantas es tan importante como la cantidad de agua, relacionada principalmente con la transpiración de la planta.

Los requerimientos de riego a cielo abierto se expresan usualmente en términos de lámina por unidad de tiempo mm/día o en volumen por unidad de superficie m³/ha. Sin embargo, en un invernadero lo más común es expresarlo en litros por planta L/planta o en unidad de superficie L/m².

En un invernadero donde las aportaciones de lluvia son nulas, los requerimientos de riego dependen de la demanda evapotranspirativa y de la fracción de drenaje requerida. En un invernadero de 1.000 m² se requieren cerca de 500 L/m² para completar el ciclo productivo, lo que indica un volumen total de 500 m³, equivalente a 5.000 m³/ha o una lámina total de 50 cm. Si consideramos además la fracción de drenaje (asumiendo un valor promedio del 30% de volumen adicional para drenaje) se requerirían 6,500 m³ o una lámina de 65 cm, la cual puede ser mayor que la aplicada en una parcela regada por riego por goteo, pero menor que la aplicada en sistemas de riego por gravedad a campo abierto. Lo anterior indica que los invernaderos demandan cantidades de agua equivalentes a las usadas en la producción a cielo abierto

Se debe tomar en cuenta que, en la época de mayor consumo de agua, es decir en la producción, se demandara la mayor cantidad de agua, cerca de 4,3 L por cada m² de invernadero diarios. Es por esto que 1.000 m² de invernadero, con cultivos en etapa de producción, demandarán 4.300 L diarios. Si, además se asume una fracción de drenaje del 30%, esta cantidad incrementa a 5.600 L, es decir, unos 5,6 L/m².

El volumen anterior es útil para dimensionar la capacidad del almacenamiento disponible para riego. Un día sin agua, por problemas en el suministro, puede ser una catástrofe para el cultivo, principalmente cuando se usan contenedores de bajo volumen.

3.5.1 Capacidad estanque de acumulación

Se debe calcular la capacidad que necesita tener el estanque de acumulación, de tal manera de poder almacenar el agua necesaria para el riego de cultivos en un día. Se asume que la máxima cantidad de agua diaria requerida, en etapa de producción de los cultivos es de 5,6 L/m², es decir, esta será la demanda máxima de agua posible en la etapa de mayor consumo hídrico por parte de las plantas en un día. Además, como la superficie operativa para los cultivos es de 72 m², la capacidad total de estanque de acumulación vendría dada por la siguiente fórmula:

$Capacidad\ total\ estanque = mayor\ demanda\ de\ agua * superficie\ operativa * fs$

Donde, $fs = factor\ de\ seguridad\ del\ 25\ \%$ adicional

$$Capacidad\ estanque = 5,6\ L \ / \ m^2 * 72\ m^2 * 1,25$$

$$Capacidad\ estanque = 504\ L \approx 500\ L$$

Por lo tanto, la capacidad adecuada que debe tener el estanque de acumulación para el desarrollo de este proyecto es de 504 L, pero se debe redondear a un estanque de 500 L para efectos de compra. De esta forma se ha elegido un estanque de acumulación Bioplastic de 500 L.



Ilustración 3-5: Estanque de acumulación 500 L
Fuente: Bioplastic

A medida que este estanque de acumulación vaya perdiendo agua, a través del riego de los cultivos, se ira recargando gracias a un bomba hidráulica solar que extraerá agua de un pozo y elevara el fluido hasta llegar al estanque de acumulación. Es por esto, que el siguiente paso es calcular el caudal necesario, que debe ser aportado por la bomba, para poder llenar y rellenar el estanque las veces que sea necesario en un tiempo determinado.

3.5.2 Caudal de bomba requerido para acumulación

De esta forma, se busca una bomba que permita que el estanque de acumulación de 500 L se llene en un tiempo de 30 minutos como máximo. La fórmula que permite conocer el caudal requerido por la bomba se da de la siguiente forma:

$$Q = \frac{volumen\ total\ estanque}{tiempo\ máximo\ de\ llenado}$$

$$Q = \frac{500L}{30 \text{ min}} = 16,7 L / \text{min}$$

$$Q = 16,7 L / \text{min} = 1 m^3 / h$$

Por consiguiente, la bomba que se necesita para llenar el estanque de acumulación en 30 minutos es una bomba cuyo caudal debe ser de 1 m³/h o bien, una bomba que entregue un caudal superior.

3.6 SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO

El riego por goteo o también conocido como riego localizado o gota a gota. Es un método de irrigación que permite una óptima aplicación de agua y abonos en los cultivos a cielo abierto y bajo invernadero. Este sistema es utilizado para localizar el agua al pie de cada planta con el fin de producir una infiltración en el suelo o sustrato. El agua se vierte en pequeños volúmenes por unidad de tiempo y a baja presión mediante emisores o goteros insertados en una tubería lateral de distribución, produciéndose la absorción del recurso hídrico por medio de las raíces de la planta, aprovechando el agua prácticamente en su totalidad. El espacio húmedo variará, según las características del suelo, la cantidad de agua y el tiempo que se haga durar ese constante goteo. Otra característica, de esta modalidad de riego, es que se produce un mayor aprovechamiento de las tierras, debido al alto grado de eficiencia por espacio que tiene este tipo de riego.

Las principales ventajas de este tipo de sistema son las siguientes:

- La eficiencia del riego por goteo es muy alta (90 a 95%), y la distribución del agua es muy uniforme.
- Ahorro entre el 40 y el 60% de agua respecto a los sistemas tradicionales de riego.
- Reducción significativa en mano de obra, así como también en la vigilancia del riego.
- Incremento en la producción.
- Posibilidad de regar frecuentemente con pequeñas cantidades de agua, de tal manera que el suelo esté siempre húmedo.
- El régimen de aplicación (intervalos entre riegos y cantidad de agua), puede ajustarse exactamente de acuerdo con las condiciones del suelo y del cultivo.
- Se aplica el agua que sólo las raíces del cultivo son capaces de absorber, por lo tanto, se evita mojar otras áreas de terreno, lo que significa un ahorro de agua, evita inundaciones, etcétera.
- Es posible ejecutar otras actividades agrícolas en el invernadero durante el riego.

- Los goteros dosifican su caudal, entregándolo gota a gota, de acuerdo con la capacidad de absorción del suelo y las necesidades del cultivo; así se minimizan las pérdidas por conducción y evaporación.
- Es un sistema de riego de alta eficiencia, aún en terrenos con topografía irregular, en suelos poco profundos o con problemas de infiltración o en predios en que el recurso hídrico sea escaso.

Las principales desventajas del riego por goteo son las siguientes:

- Facilidad de taponamiento de los emisores. (Principal desventaja).
- Complejidad en las instalaciones.
- Este tipo de riego no protege a las plantaciones sensibles contra heladas en zonas habitualmente frías.

3.6.1 Componentes de los sistema de riego por goteo

3.6.1.1 Emisores o goteros

Los emisores, también llamados goteros, son los dispositivos que van insertados en la tubería portagoteros y son los encargados de verter el agua al suelo en forma de gotas continuadas. Los goteros más utilizados son los de tipo botón, que van pinchados directamente sobre el propio ramal portagoteros, como se ve en la figura adjunta.



Ilustración 3-6: Goteros o emisores
Fuente: Ingemecanica.

Su funcionamiento se basa en hacer pasar el agua a través de pequeños orificios o laberintos por el interior del gotero lo que provoca una pérdida de carga por fricción del agua, y que hace que la presión del agua a la salida del gotero sea muy pequeña, prácticamente cero.

3.6.1.2 Red de distribución de tuberías

Dado que las presiones de trabajos en las instalaciones de riego por goteo no son muy elevadas, las tuberías de material plástico, en concreto, policloruro de vinilo (PVC) y de polietileno (PE) son las más utilizadas por su economía y facilidad de instalación.

Toda tubería de plástico debe llevar marcado sobre su superficie, la marca comercial y la normativa a la que hace referencia, además, la identificación del material del que está fabricada la tubería (PVC, PE, etc.), su presión nominal de diseño (PN) y su diámetro nominal (DN). En las tuberías de plástico el diámetro nominal (DN) coincide con el diámetro exterior de la tubería.

En el caso de este proyecto las líneas principales de la instalación serán de tuberías de PVC y las líneas secundarias de distribución serán mangueras de polietileno.

3.6.1.3 Válvulas de compuerta

Es un tipo de válvula que permite estrangular o interrumpir el paso del agua en un sistema de tuberías, además, facilita el redireccionamiento del flujo de agua.



Ilustración 3-7: Válvula de bola
Fuente: Sodimac.

Algunas válvulas de compuerta pueden ser cambiadas por electroválvulas, las cuales permitirán controlar el riego de los cultivos, de tal manera que se active el riego cuando se reúnan ciertas condiciones medidas por sensores, o simplemente se active según un programador de riego automático.

3.6.1.4 Cabezal de riego

3.6.1.4.1 Filtro

Uno de los mayores problemas que puede presentarse en los sistemas de riego por goteo son las obturaciones en la salida de los goteros, debido al reducido diámetro del orificio de salida

y la escasa velocidad que alcanza el agua ya en la salida del gotero. Entre los agentes que pueden causar las obturaciones en los goteros están: las partículas minerales (arenas y arcilla), las partículas orgánicas (como algas, restos vegetales y de animales) y los precipitados químicos (tales como sales y fertilizantes). Es por esto que es indispensable constar con un filtro en la instalación.

Básicamente, en los sistemas de riegos por goteo se pueden emplear tres tipos de filtros, según su función de filtrado:

- Filtros de hidrociclón: son empleados para separar las partículas más pesadas que lleva el agua en suspensión, tales como la arena presente en el flujo.
- Filtros de arena: sirven para retener las partículas de arcilla y materia orgánica presentes.
- Filtros de malla y filtros de anillas (o disco): son muy empleados sobre todo para flujos de agua procedente de pozos.

En este proyecto se utilizará el filtro de malla debido a que entrega mayores prestaciones para aguas extraídas de pozo.



Ilustración 3-8: Filtro de malla
Fuente: Mercado Libre.

3.6.1.4.2 Equipo de Fertirrigación (Inyector Venturi)

La fertirrigación es una técnica que permite aprovechar el sistema de riego por goteo para aplicar simultáneamente el agua con fertilizantes que van disueltos en la corriente. Esto permite conseguir un ahorro en fertilizantes, dado que tanto el agua como los fertilizantes se aplican localizados en la zona de las raíces de la planta, y además, se logra una mejor asimilación debido al elevado contenido de humedad del suelo, que permite la disolución del abono.

El inconveniente principal que existe con los equipos de fertirrigación es el riesgo latente de taponamiento en la salida de los goteros, que puede ser causado principalmente por una disolución insuficiente del fertilizante en la corriente de agua.

El equipo de fertirrigación que se ocupara en este proyecto será un inyector Venturi el cual consiste en un tubo con un estrechamiento que, gracias al efecto Venturi, crea una disminución de presión de la corriente en ese punto y a la vez un aumento de la velocidad del flujo. El otro extremo del Venturi estará conectado al depósito de abono que debe permanecer siempre a la presión atmosférica, es decir, en este caso el depósito no debe estar herméticamente cerrado para evitar que se forme el vacío. La depresión que origina el Venturi provoca una succión que permite extraer el líquido del depósito de abono e incorporarlo a la red.



Ilustración 3-9: Kit de inyector Venturi
Fuente: Mercado Libre.

La concentración de abono que se obtiene con este sistema es constante ya que solamente depende de la concentración existente en el depósito. No obstante, cuando se realice el abonado empleando este sistema se deberá controlar el proceso, porque una vez vaciado el depósito, si no se cierra la válvula del Venturi, el sistema continuará inyectando aire a la instalación de riego. Por lo tanto, si se utiliza el Venturi habrá que cerrar la válvula del inyector una vez que se vacíe en su totalidad el depósito de abono.

3.6.1.5 Programador de riego

Muchas veces ocurre el problema de no poder realizar los riegos de forma manual, ya que es normal que la gente salga de vacaciones o se ausente por varios días. Es por esto que es fundamental mantener el riego de los cultivos para evitar pérdidas de rendimientos en las cosechas. Para ello existe una solución sencilla y con grandes prestaciones como es el programador de riego el cual es una herramienta que se conecta a una salida del agua con el objetivo de permitir programar los días, las horas y la duración del riego. Existen distintos tipos de programadores dentro del mercado, pero para el caso de este proyecto el programador que más serviría es el de tipo válvula solenoide ya que se puede acoplar fácilmente a la tubería principal de PVC. Además, es importante que el programador funcione con pilas o baterías para otorgar autonomía al control del riego.

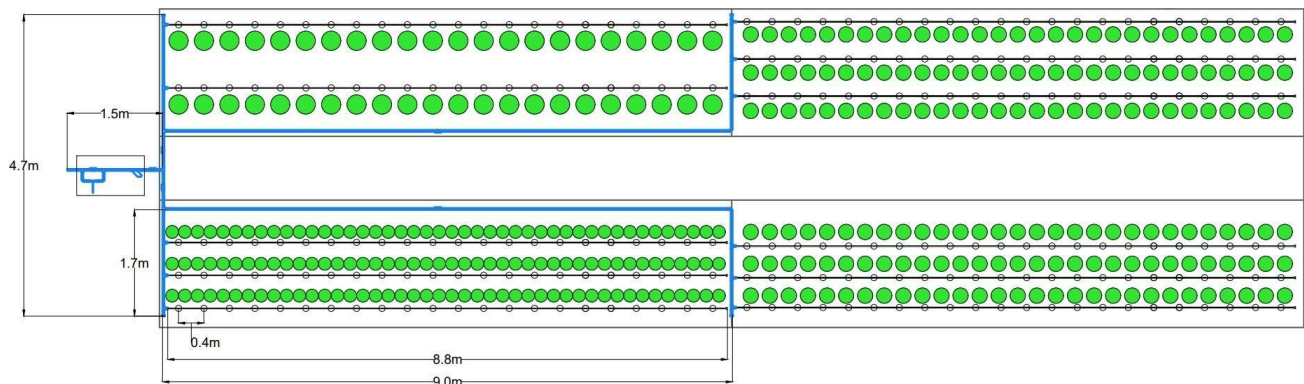
De esta forma se ha seleccionado un programador de riego con válvula solenoide a batería de 9 V con conector de diámetro requerido (según el resultado del cálculo del apartado [3.7.1.1](#)), para acoplarlo a la tubería de PVC, resistente a la intemperie y de instalación rápida sencilla, que además trabaja entre 1 y 7 Bar, lo cual es ideal para el desarrollo de este proyecto que trabaja con aproximadamente 1,7 Bar (17 mca) de presión.



Ilustración 3-10: Programador de riego automático
Fuente: Mercado Libre.

En el caso de este proyecto el programador debe instalarse antes del equipo de fertirrigación, para que se active el sistema de riego según el programa ingresado al controlador.

3.7 MODELACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO



Plano 3-4: Modelamiento del sistema de riego por goteo en el invernadero
Fuente: Elaboración propia AUTOCAD.

En el Plano 3-4 se puede apreciar claramente la estructura matriz que tendrá el sistema de riego, esta estructura será denominada como tuberías principales y serán de PVC, mientras que las líneas laterales o líneas de riego serán llamadas como tuberías portagoteros y serán

mangueras de polietileno. También se puede apreciar que los goteros o emisores serán 242 y estarán instalados cada 40 cm en la tubería portagoteros.

Además, el sistema de riego constará con unidad de fertirrigación gracias al inyector Venturi y un filtro de malla para impedir que el sistema se contamine con partículas indeseadas. A estos dos componentes se les dará el nombre de cabezal de riego. Cabe recalcar que será necesario instalar un programador de riego antes del cabezal de riego, de tal forma que se puedan automatizar el riego de los cultivos.

3.7.1 Selección de gotero y dimensionado de tubería

Para determinar el diámetro que deben tener las tuberías principales y tuberías portagoteros, es primeramente necesario conocer cuáles serán los goteros que estarán en el sistema de riego. De esta forma se ha seleccionado el gotero de 8 L/h autocompensante (comercializado por Diplas) para realizar los riegos.



Ilustración 3-11: Gotero autocompensante 8 L/h
Fuente: Diplas.

Según el Plano 3-4 el número total de goteros en el sistema de riego es de 242, es por esto que el caudal necesario para diseñar se puede calcular de la siguiente forma:

$$\text{Caudal total necesario} = N^{\circ} \text{ de goteros} * \text{Caudal goteros}$$

$$\text{Caudal total necesario} = 242 * 8 \text{ L} \quad \text{h} = 1.936 \text{ L} \quad \text{h}$$

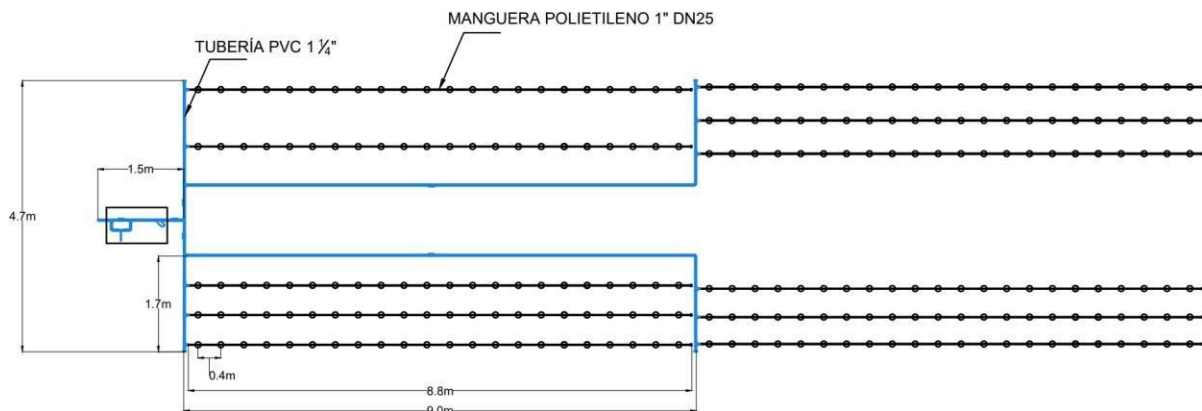
$$\text{Caudal total necesario} = 1.936 \text{ L} \quad \text{h} = 0,000537 \text{ m}^3 \quad \text{s}$$

Por lo tanto, el sistema necesitará $0,000537 \text{ m}^3/\text{s}$ de caudal. Este caudal debe permanecerá constante, tanto en las tuberías principales como en las tuberías portagoteros, según el principio de continuidad de los fluidos.

La elección del diámetro de las distintas tuberías que conforman la instalación de riego deberá realizarse con el objetivo de limitar en lo posible las pérdidas de carga originadas por el rozamiento del flujo de agua con las paredes interiores de la tubería, a la vez que se garantiza que el caudal previsto llegue a todos los goteros que conforman la instalación.

Como criterio de buena práctica se recomienda que para tuberías de naturaleza termoplásticas, la velocidad que alcance el flujo de agua por el interior de la tubería se encuentre en el rango de 0,5 a 3,5 m/s. Velocidades superiores a los 3,5 m/s darán lugar a problemas de arrastres, ruidos y fenómenos abrasivos en las paredes interiores que afectarían a la durabilidad de la tubería, mientras que velocidades inferiores a los 0,5 m/s podrían ocasionar problemas de sedimentación de partículas y residuos debida a la escasa velocidad de movimiento del agua.

Es por esto, que para las tuberías principales se ocuparan cañerías de PVC de 1 ¼” y para las tuberías portagoteros se utilizaran mangueras de polietileno 1” DN25. Ver Plano 3-5.



Plano 3-5: Red de tuberías del sistema de riego por goteo
Fuente: Elaboración propia AUTOCAD.

Una vez teniendo claro los tipos de tuberías, será necesario calcular, a modo de comprobación, la velocidad del flujo que pasará por las tuberías principales y portagoteros. Como ya se tiene el caudal, el cálculo se facilita.

3.7.1.1 Cálculo de velocidad en las tuberías principales PVC 1 ¼”

Como,

$$Q = v * A$$

Se tiene que,

$$v_{tuberia\ principal} = \frac{Q}{A_{flujo}}$$

Donde, $Q = 0,000537 \text{ m}^3 / \text{s}$

$A_{flujo} = 5,811 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, $D_{interior} = 27,2 \text{ mm}$ según “Dimensiones de tubería plástica a presión”, Robert Mott. Ver Anexo 1.

Por lo tanto, la velocidad en las tuberías principales será de:

$$v_{tuberia\ principal} = \frac{0,000537 \text{ m}^3 / \text{s}}{5,811 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 0,92 \text{ m} / \text{s}$$

3.7.1.2 Cálculo de velocidad en las tuberías portagotos polietileno 1”

$$v_{tuberia\ portagotos} = \frac{Q}{A_{flujo}}$$

Donde, $Q = 0,000537 \text{ m}^3 / \text{s}$

$A_{flujo} = 3,53 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, $D_{interior} = 21,2 \text{ mm}$ según “Dimensiones de tubería plástica a presión”, Robert Mott. Ver Anexo 1.

Por lo tanto, la velocidad en las tuberías portagotos será de:

$$v_{tuberia\ portagotos} = \frac{0,000537 \text{ m}^3 / \text{s}}{3,53 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 1,52 \text{ m} / \text{s}$$

De estos dos cálculos se puede concluir que los diámetro de las tuberías están correctamente seleccionado, ya que las velocidades se encuentran dentro del rango de 0,5 a 3,5 m/s que permite que el sistema de riego funcione correctamente.

3.8 PÉRDIDAS DE CARGA EN EL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

Se requiere calcular la altura manométrica a la que debe estar emplazado el estanque de acumulación, de tal manera que el riego llegue con la presión necesaria a todos los goteros de la instalación, con el objetivo de que estos puedan funcionar adecuadamente. Para poder conocer la altura manométrica primeramente se necesita calcular las pérdidas de carga que existen en el sistema de riego.

Con respecto a las pérdidas de carga, se pueden encontrar dos tipos de pérdidas de carga dentro de un sistema de tuberías.

- **Pérdidas de carga regulares:** se producen cuando el fluido se pone en contacto con la superficie de la tubería, esto provoca que se rocen unas capas con otras (flujo laminado) o de partículas de fluidos entre sí (flujo turbulento). Estas pérdidas se realizan solo en tramos de tuberías horizontal y de diámetro constante.

En este proyecto el cálculo de pérdida de carga regular dentro del sistema de riego se realizará siguiendo la “PAUTA PARA ELABORACIÓN DE PROYECTOS RIEGO LOCALIZADO DE ALTA FRECUENCIA” del Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP). Ver Anexo 2.

Dicha pauta utiliza el método de Hazen-Williams para calcular las pérdidas de carga regulares. Este método es uno de los más conocidos y empleados, ya que la fórmula es sencilla y su cálculo es simple debido a que el coeficiente de rugosidad “C” no es función de la velocidad ni del diámetro de la tubería.

Fórmula de pérdida de carga por unidad de longitud:

$$J = \left(\frac{105.190 * Q^{1,852}}{D^{4,87}} \right) * \left(\frac{150}{C} \right)^{1,852} \quad , \quad \text{Hazen-Williams}$$

Donde, J = Pérdida de carga por unidad de longitud (m/m)

Q = Caudal conducido por la tubería (m³/h)

D = Diámetro interior de la tubería (mm)

C = Coeficiente de rugosidad adimensional dado por el fabricante.

Material	Valor de C
PVC y HDPE	150
Polietileno	120
Aluminio	130
Acero	140
Ly Flat	120

Tabla 3-4: Tabla de coeficiente de rugosidad
Fuente: INDAP.

Formula de pérdida de carga por fricción en tuberías principales:

$$Hf = J * L$$

Donde, $Hf =$ Pérdida de carga por fricción

$J =$ Pérdida de carga por unidad de longitud (m/m)

$L =$ Longitud del tramo (m)

Fórmula de pérdida de carga por fricción en tuberías portagoteros:

$$Hf = J * L * F$$

Donde, $Hf =$ Pérdida de carga por fricción en tubería lateral

$J =$ Pérdida de carga por unidad de longitud (m/m)

$L =$ Longitud del tramo (m)

$F =$ factor de salidas múltiples

Factor de salidas múltiples (F): En los laterales de riego el caudal va disminuyendo a lo largo de la tubería a medida que los emisores van descargando el agua. En consecuencia, la pérdida de carga también disminuye por este efecto. Empíricamente, el factor de salidas múltiples se determina mediante la fórmula de Christiansen, Este factor depende del número de emisores y del régimen hidráulico, a través del coeficiente β , que en el caso de riego tecnificado INDAP es 1,75:

$$F = \frac{1}{1+\beta} + \frac{1}{2*n} + \frac{\sqrt{\beta-1}}{6*n^2}, \quad \text{Christiansen}$$

Donde, $F =$ factor de salidas múltiples

$n =$ número de emisores funcionando simultáneamente en la línea

$\beta = 1,75$ según INDAP

- **Pérdidas de carga singulares:** se producen en las transiciones de la tubería (estrechamiento o expansión) y en toda clase de accesorios (válvulas, codos, tees, etc.).

Formula de pérdidas de carga singulares:

$$H_v = \sum K_i \frac{v^2}{2g}$$

Donde, $H_v =$ Pérdida de carga localizada

$K_i =$ Coeficiente determinado en forma empírica para cada punto singular

$v =$ Velocidad media del fluido, antes de pasar por el punto singular

$g =$ Aceleración de gravedad

3.8.1 Cálculo de pérdida de carga regular en tuberías principales

Datos,

Tipo de tubería	Coficiente de rugosidad	Diámetro nominal	Diámetro interior (mm)	Caudal	Velocidad de flujo (m/s)
PVC	150	1 1/4"	27,2	5,37x10 ⁻⁴ (m ³ /s)	0,92
				1,93 (m ³ /h)	

$$J = \left(\frac{105.190 \cdot Q^{1,852}}{D^{4,87}} \right) \cdot \left(\frac{150}{C} \right)^{1,852}, \quad \text{Hazen-Williams}$$

$$J = \left(\frac{105.190 \cdot (1,93 \text{ m}^3/\text{h})^{1,852}}{(27,2 \text{ mm})^{4,87}} \right) \cdot \left(\frac{150}{150} \right)^{1,852} = 0,036 \text{ m} / \text{m}$$

$$H_f = J \cdot L$$

Donde, $L = 27,6(\text{m})$ de tubería de 1 1/4". Ver plano en Anexo 3.

Por lo tanto, la pérdida de carga debido a la fricción en las tuberías principales es:

$$H_{f_{\text{tuberías principales}}} = 0,036 \text{ m} / \text{m} \cdot 27,6 \text{ m} = 0,99 \text{ m}$$

3.8.2 Cálculo de pérdida de carga singular en tuberías principales

Datos,

Accesorios	Coefficiente K Singularidad**	Cantidad	Cantidad * K	Velocidad de flujo (m/s)
Válvula de compuerta 1 ¼"	5	5	25	0,92
Codos PVC 1 ¼" 90°	0,9	2	1,8	
Tee PVC 1 ¼"	0,1	14	1,4	
Tapa gorro PVC 1 ¼"	2,5	4	10	
ΣK_i			38,2	

**Obtenidos de tabla en Anexo 4.

$$H_v = \sum K_i \frac{v^2}{2g}$$

Donde, $g = \text{aceleración de gravedad } 9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$

Por lo tanto, la pérdida de carga localizada en las tuberías principales es de:

$$H_{v_{\text{tuberías principales}}} = 38,2 \cdot \frac{(0,92 \text{ (m/s)})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}} = 1,64 \text{ m}$$

3.8.3 Cálculo de pérdida de carga regular en tuberías portagotos

Datos,

Tipo de tubería	Coefficiente de rugosidad	Diámetro nominal	Diámetro interior (mm)	Caudal	Velocidad de flujo (m/s)
Poliétileno	120	1"	21,2	5,37x10 ⁻⁴ (m ³ /s)	1,52
				1,93 (m ³ /h)	

$$J = \left(\frac{105.190 \cdot Q^{1,852}}{D^{4,87}} \right) \cdot \left(\frac{150}{C} \right)^{1,852}, \quad \text{Hazen-Williams}$$

$$J = \left(\frac{105.190 * (1,93 \text{ m}^3 / h)^{1,852}}{(21,2 \text{ mm})^{4,87}} \right) * \left(\frac{150}{120} \right)^{1,852} = 0,18 \text{ m} / \text{m}$$

Se utiliza la fórmula de pérdida de carga por fricción en tuberías laterales de riego, según INDAP:

$$H_f = J * L * F$$

Donde, $L = 8,8 \text{ (m)}$ de tubería portagoteros de 1". Ver plano en Anexo 3.

$$F = \frac{1}{1+\beta} + \frac{1}{2*n} + \frac{\sqrt{\beta-1}}{6*n^2}$$

Donde, $n = 22$ goteros funcionando simultáneamente en la línea

$\beta = 1,75$ según INDAP

$$F = \frac{1}{1+\beta} + \frac{1}{2*n} + \frac{\sqrt{\beta-1}}{6*n^2}$$

$$F = \frac{1}{1+1,75} + \frac{1}{2*22} + \frac{\sqrt{1,75-1}}{6*22^2} = 0,386$$

Por lo tanto, la pérdida de carga debido a la fricción en una tubería portagotero es:

$$H_{f \text{ tubería portagotero}} = 0,18 \text{ m} / \text{m} * 8,8 \text{ m} * 0,386 = 0,61 \text{ m}$$

Como en este sistema de riego existen 11 tuberías portagoteros, la pérdida total del sistema en estas tuberías será de:

$$H_{f \text{ total tuberías portagoteros}} = 0,61 \text{ m} * 11 = 6,72 \text{ m}$$

3.8.4 Cálculo de pérdida de carga singular en tuberías portagoteros

Datos,

Accesorios	Coefficiente K Singularidad**	Cantidad	Cantidad * K	Velocidad de flujo (m/s)
Reductor 1 ¼" a 1"	0,35	11	3,85	1,52
Tapa gorro manguera 1"	2,5	11	27,5	
		ΣK_i	31,35	

**Obtenidos de tabla en Anexo 4.

$$H_v = \sum K_i \frac{v^2}{2g}$$

Donde, $g = \text{aceleración de gravedad } 9,81 (\text{m} / \text{s}^2)$

Por lo tanto, las pérdidas de carga localizadas en las tuberías portagoteros es de:

$$H_{v_{\text{tuberías portagoteros}}} = 31,35 \times \frac{(1,52 (\text{m} / \text{s}))^2}{2 \times 9,81 (\text{m} / \text{s}^2)} = 3,69 \text{ m}$$

3.8.5 Pérdida de carga en el cabezal de riego

El cabezal de riego del sistema consta de un inyector Venturi para agregar fertilizantes a los cultivos y un filtro de malla para retener las impurezas que puedan ingresar al sistema de riego. De esta forma, tanto el inyector Venturi como el filtro de malla producen pérdidas de carga.

Por lo general, la pérdida de carga en los filtros de malla se ubica entre los 1 a 3 m, mientras que las pérdidas en el inyector Venturi se ubican entre los 5 a 8 m. Para efectos de cálculo se ha decidido tomar la pérdida más baja para estos accesorios, por lo tanto, la pérdida de carga en el cabezal de riego será de:

$$H_{\text{cabezal de riego}} = 1 \text{ m} + 5 \text{ m} = 6 \text{ m}$$

3.8.6 Pérdida de carga total en el sistema de riego

La pérdida de carga total en el sistema de riego no es más que la sumatoria de todas las pérdidas previamente calculadas, por lo que la pérdida total se debe calcular de la siguiente forma:

$$H_{total} = H_{f_{tuberias\ principales}} + H_{v_{tuberias\ principales}} + H_{f_{tuberias\ portagotos}} + H_{v_{tuberias\ portagotos}} + H_{cabeza\ de\ riego}$$

$$H_{total} = 0,99\ m + 1,64\ m + 6,72\ m + 3,69\ m + 6\ m$$

Por lo tanto, la pérdida de carga total en el sistema es de:

$$H_{total} = 19,04\ m$$

3.9 MATERIALES REQUERIDOS PARA EL SISTEMA DE RIEGO

Finalmente, el listado de los materiales requeridos para realizar la instalación de sistema de riego por goteo quedara confeccionado de la siguiente manera:

Materiales	Cantidad
Goteros 8 L/h	242
Manguera polietileno 1" 100 m	1
Terminal para manguera Polietileno HI 1" Negro	11
Abrazadera Metálica Inoxidable (21-38 mm)	22
Terminal PVC He 32 mm x 1"	11
Tee PVC presión 32 mm	14
Tubo PVC hidráulico 32 mm x 6 m	5
Codo PVC presión 32 mm 90°	2
Tapa gorro PVC 32 mm	4
Válvula bola 32 mm PVC	5
Terminal polietileno plana HE 1"	11
Tapón Hi 1" (hilo Interno)	11
Filtro de malla 32 mm	1
Kit Inyector Venturi 32 mm Succión Máxima 550 L/h	1
Adhesivo PVC riego Vinilit 240 ml	1
Cinta de teflón 1/2" 10 m	1
Programador De Riego Hunter Node100 9v + solenoide	1

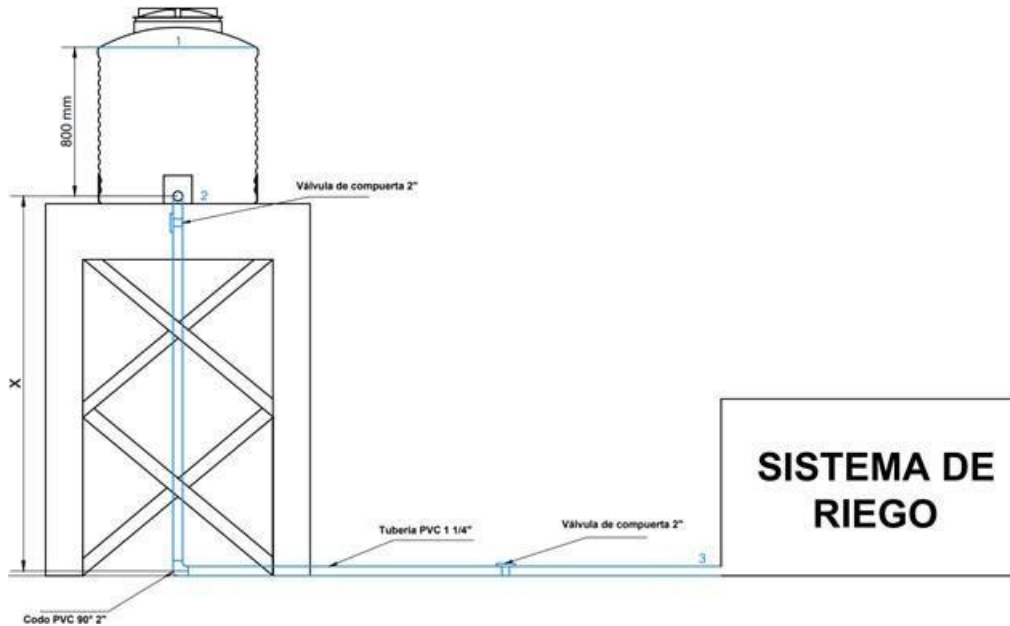
Tabla 3-5: Listado de materiales requeridos para el sistema de riego
Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, para realizar la instalación del sistema de riego se debe seguir el plano del Anexo 3.

3.10 CÁLCULO DE ALTURA REQUERIDA PARA LA TORRE DE ACUMULACIÓN

Una vez calculada la pérdida de carga total dentro del sistema de riego, es necesario evaluar la altura manométrica a la que debe estar emplazado el estanque de acumulación de tal manera que el agua llegue con la presión necesaria a los goteros para que estos puedan funcionar adecuadamente.

Para poder conocer la altura manométrica requerida se emplearán una serie de fórmulas que darán a conocer la información requerida para el correcto diseño del sistema.



Plano 3-6: Determinación de altura del sistema de acumulación
Fuente: Elaboración propia AUTOCAD.

Se necesita conocer la presión con la que saldrá el fluido desde el estanque de acumulación, para ello se necesita calcular la presión hidrostática a la salida del estanque por la parte inferior (punto 2 del Plano 3-6), entonces:

$$\text{Presión hidrostática de salida} = \rho * g * h$$

Donde, $\rho = \text{densidad del fluido}$

$g = \text{aceleración de gravedad } 9,81 \text{ m/s}^2$ $h =$

$\text{profundidad del fluido en el punto 2}$

Por lo tanto, sabiendo que el fluido es agua ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$), la presión hidrostática de salida del estanque será:

$$\text{Presión hidrostática de salida} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,8$$

$$\text{Presión hidrostática de salida} = P_2 = 7.848 \text{ Pa}$$

La velocidad de salida del agua por la parte inferior del estanque o en el punto 2 (según el Plano 3-6) se puede obtener mediante el principio de Torricelli.

$$v_2 = \sqrt{2 * g * h}, \quad \text{Torricelli}$$

Donde, $g = \text{aceleración de gravedad } 9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$ $h =$
 $\text{profundidad del fluido } 0,8 \text{ (m)}$

Por lo tanto,

$$v_2 = \sqrt{2 * 9,81 \text{ m/s}^2 * 0,8 \text{ m}}$$

$$v_2 = 3,96 \text{ m/s}$$

Finalmente, al tener la presión y velocidad de salida en el punto dos, además, sabiendo que la velocidad con la que sale el agua en los goteros es de 1,52 m/s y la presión de salida solamente es atmosférica, se puede aplicar la ecuación de Bernoulli para determinar la altura manométrica a la que debe estar el estanque de acumulación, de tal forma que el sistema de riego funcione correctamente. Conociendo lo anterior y teniendo en claro que las pérdidas de carga totales del sistema son 19,04 m, se puede realizar el cálculo deseado.

Entonces,

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 - H_{total} = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} + Z_3 \quad \text{ecuación de Bernoulli.}$$

Donde, $P = \text{presión en determinado punto del sistema}$

$v = \text{velocidad del fluido}$

$\gamma = \text{peso específico del fluido}$

$Z = \text{altura referencial}$

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 - H_{total} = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} + Z_3$$

Datos, $P_2 = 7.848 \text{ Pa}$, presión de salida del estanque.

$\gamma_{H_2O} = 9810 \text{ N/m}^3$, peso específico del agua

$v_2 = 3,96 \text{ m/s}$, velocidad de salida del estanque

$H_{total} = 19,04 \text{ m}$, pérdida de carga total del sistema

$P_3 = \text{presión atmosférica}$, presión de salida del gotero

$v_3 = 1,52 \text{ m/s}$, velocidad de salida del gotero

$Z_3 = 0$, a nivel del suelo.

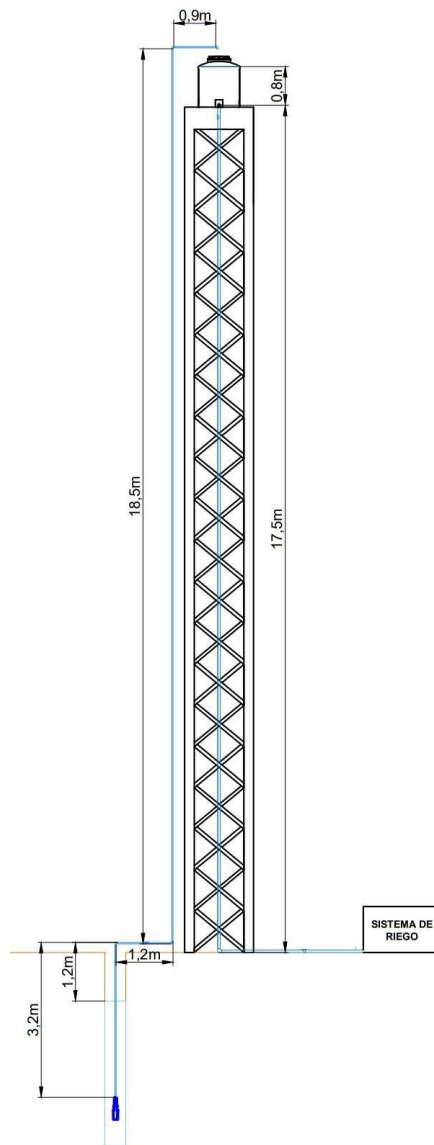
$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 - H_{total} = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} + Z_3 =$$

$$Z_2 = \frac{v_3^2}{2g} + H_{total} - \frac{P_2}{\gamma} - \frac{v_2^2}{2g}$$

$$Z_2 = \frac{(1,52 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} + 19,04 \text{ m} - \frac{7.848 \text{ Pa}}{9.810 \text{ N/m}^3} - \frac{(3,96 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$Z_2 = 17,5 \text{ m}$$

Finalmente, el estanque debe estar a una altura de 17,5 m para que el sistema de riego funcione correctamente. Ver Plano 3-7.



Plano 3-7: Extracción de agua y torre de acumulación
Fuente: Elaboración propia AUTOCAD.

3.11 ESTRUCTURA TORRE DE ACUMULACIÓN

La torre de acumulación es la estructura encargada de posicionar el depósito o estanque de agua a tal altura para que se facilite el proceso de riego por gravedad a los cultivos de un invernadero o, en general, para cual otra actividad que requiera agua por presión de altura.

La altura a la que debe emplazarse el estanque de acumulación se calculó anteriormente y da como resultado una altura de 17,5 m. Por la tanto, se debe fabricar una estructura de tal altura permitirá que el agua llegue a todos los goteros de la instalación, solamente por efecto de la gravedad. Además, se ha pensado en que la superficie de la torre pueda contener hasta 4 estanques de 500 L o bien un estanque de 2000 L, en caso de que se requiera una cantidad mayor de agua.

De esta manera, se ha decidido utilizar el software INVENTOR para diseñar la torre de acumulación, a través de la función generador de estructuras.



Ilustración 3-12: Estructura torre de acumulación
Fuente: Elaboración propia INVENTOR.

Para este diseño se ha pensado en que los perfiles de color rojo sean de 100x100x4 mm y los perfiles de color negro sean de 100x50x3 mm. Esta selección de materiales es fundamental para ejecutar el análisis de estructura del software, ya que este permitirá conocer si es factible construir el modelo planteado o no con los perfiles seleccionados.

Una vez diseñada la torre con el generador de estructuras en INVENTOR, se debe abrir la interfaz del análisis de estructura. Para poder ejecutar este análisis es necesario conocer la fuerza que generarían los cuatros estanques llenos de agua, y también conocer cómo se distribuirían las cargas en la superficie de la torre.

Para saber cuánta será la masa aproximada que generarían los cuatros estanques llenos se requiere conocer la densidad del agua en unidades del sistema internacional, esta resulta ser de 997 kg/m³. Entonces si se llenan los cuatro estanques de agua a su máxima capacidad, el volumen total sería de 2000 L o mejor dicho 2 m³. Por lo tanto, la masa que debe soportar la estructura viene dada por la siguiente formula:

$$m_{\text{estanques llenos}} = 997 \text{ kg} \cdot m^3 \cdot 2 = 1994 \text{ kg}$$

A su vez esta masa de 1994 (kg) genera una fuerza gracias a la aceleración de gravedad, que estará distribuida de manera uniforme por cada una de la siete vigas en la superficie de la torre. Por lo tanto, para determinar la magnitud de la carga o la fuerza que será solicitada a la estructura se debe calcular de la siguiente manera:

$$Carga_{\text{estanques llenos}} = m_{\text{estanques llenos}} \cdot g$$

Donde, $g = \text{aceleración de gravedad } 9,81 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-2}\text{)}$

$$Carga_{\text{estanques llenos}} = 1994 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} = 19.561 \text{ N}$$

Finalmente, la carga o fuerza que generan los estanques llenos de agua sobre la estructura será de 19.561 N.

La carga de 19.561 N debe ser distribuida de manera uniforme en las siete vigas de la superficie de la torre, por lo tanto, se debe calcular cuanta carga será soportada por cada una de las vigas. Entonces:

$$Carga_{por\ viga} = \frac{19.561\ N}{7} = 2.794\ N$$

Finalmente, el software solicita ingresar la magnitud de la carga distribuida a lo largo de la viga en N/mm, entonces como la fuerza aplicada por cada viga es de 2.794 N y cada viga mide aproximadamente 4000 mm, la magnitud de la carga distribuida por viga será:

$$Carga\ distribuida_{por\ viga} = \frac{2.794\ N}{4000\ mm} = 0,69\ N/mm$$

Por lo tanto, en el software se ingresa este valor de 0,69 N/mm para cada una de las siete vigas que componen la superficie de la torre.

Finalmente se ejecuta el análisis estructural según las cargas que serán solicitadas y se obtiene como resultado una tensión normal máxima de 116,6 MPa. En la Ilustración 3-13 se puede apreciar el detalle del ensayo.

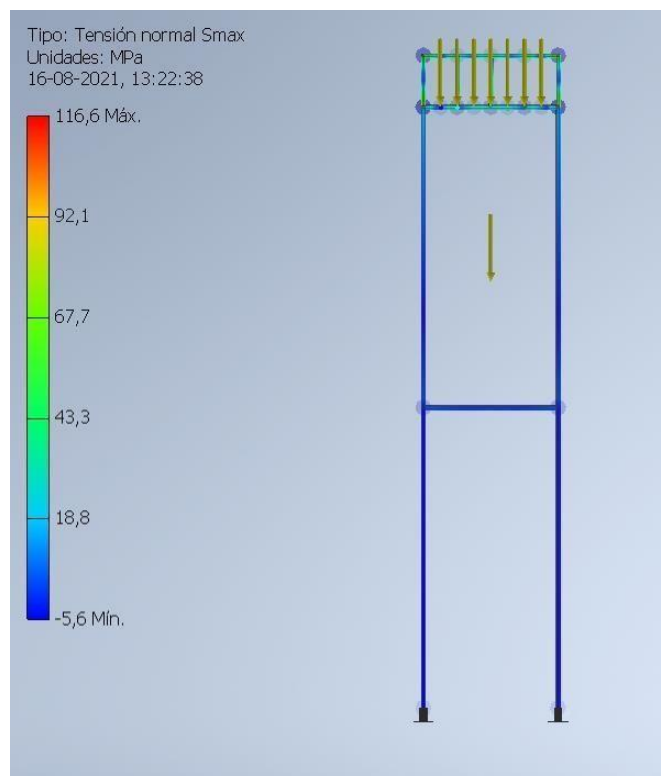


Ilustración 3-13: Análisis estructural de la torre de acumulación
Fuente: Elaboración propia INVENTOR.

Esta estructura al ser sometida a la carga de cuatro estanques llenos de agua genera una tensión normal máxima de 116,6 MPa. En la mayoría de los casos, los aceros estructurales comercializados tienen límites de fluencia de material entre 300 y 400 MPa, esto quiere decir, que el diseño de la torre de acumulación planteado en este proyecto tiene un excelente comportamiento al estar sometido a las cargas ya mencionadas, y no se produce una deformación estructural significativa, esto se debe a que la tensión normal máxima está muy por debajo del límite de fluencia, por lo que se puede deducir que el material se encuentra en su zona elástica.

En conclusión, los materiales requeridos para la fabricación de la estructura son:

- 15 tiras de perfil estructural tubular cuadrado 100x100x3 mm
- 12 tiras de perfil estructural tubular rectangular 100x50x3 mm

Además, será necesario contratar a un soldador capacitado que pueda fabricar la estructura según el modelo generado en INVENTOR.

3.11.1 Pintura anticorrosiva para la estructura

Se debe tener en consideración que la torre de acumulación estará siempre expuesta a la intemperie, es por esto que se comenzará a corroer y el material perderá sus propiedades mecánicas. Para evitar este fenómeno será necesario aplicar pintura anticorrosiva a toda la estructura, para ello será necesario calcular la cantidad de pintura requerida para pintar todos los perfiles previamente calculados.

Primeramente, se debe calcular el área superficial que ocupara la pintura en cada perfil:

- Perfil estructural tubular cuadrado 100x100x3 mm:

$$A_{\text{perfil cuadrado}} = 100\text{mm} * 6000\text{mm} * 4\text{caras}$$

$$A_{\text{perfil cuadrado}} = 2.400.000 \text{ mm}^2 = 2,4 \text{ m}^2$$

Como son 15 de estos perfiles, el área total de los perfiles cuadrados a pintar será de:

$$A_{\text{total perfil cuadrado}} = 2,4 \text{ m}^2 * 15 = 36 \text{ m}^2$$

- Perfil estructural tubular rectangular 100x50x3 mm:

$$A_{\text{perfil rectangular}} = 100 \text{ mm} * 6000 \text{ mm} * 2 \text{ caras} + 50 \text{ mm} * 6000 \text{ mm} * 2 \text{ caras}$$

$$A_{\text{perfil rectangular}} = 1.800.000 \text{ mm}^2 = 1,8 \text{ m}^2$$

Como son 12 de estos perfiles, el área total de los perfiles cuadrados a pintar será de:

$$A_{total\ perfil\ cuadrado} = 1,8\ m^2 * 12 = 21,6\ m^2$$

Finalmente, el área total a pintar será la suma de las áreas de los perfiles:

$$A_{total\ a\ pintar} = 36\ m^2 + 21,6\ m^2 = 57,6\ m^2$$

Una vez calculada la superficie total a pintar se debe buscar una pintura anticorrosiva para analizar cuanto rendimiento tiene, es decir, cuantos m² se pueden pintar con un galón de pintura. En este caso se ha seleccionado el anticorrosivo estructural verde opaco (1 gal) Ceresita, dicha pintura tiene un rendimiento de 30 ± 5 m²/gal/mano.



Ilustración 3-14: Anticorrosivo estructural
Fuente: Sodimac.

Este rendimiento indica que para dar una mano de pintura a la estructura se pueden pintar hasta 35 m² por galón, pero para efectos de cálculos en este proyecto se considerara un rendimiento solo de 30 m² por galón. De lo anterior se puede concluir que serán necesario 2 galones de anticorrosivo para darle una mano de pintura a la estructura. Pero para este proyecto se ha pensado en darle dos manos de pintura a la estructura de tal forma de evitar cualquier corrosión que se pueda presentar, por lo que se requerirán 4 galones de anticorrosivo.

3.12 MATERIALES REQUERIDOS DESDE EL ESTANQUE AL SISTEMA DE RIEGO

Finalmente, los materiales requeridos para guiar el agua desde el estanque de acumulación en altura hasta el sistema de riego son:

Materiales	Cantidad
Salida estanque 50 mm PVC	1
Tubería PVC 50 mm 6 m	4
Unión americana PVC 50 mm	3
Codo PVC presión 50 mm 90°	2
Válvula de bola PVC 50 mm	2
PVC reducción larga de 50 x 32 mm	1

Tabla 3-6: Listado de materiales requeridos desde el estanque al sistema de riego
Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, para realizar la instalación del sistema se debe seguir el plano del Anexo 5.

3.13 POZO DE SUMINISTRO

Un pozo de agua es una obra de captación vertical que permite la explotación del agua freática contenida en los intersticios o las fisuras de una roca del subsuelo, en lo que se denomina acuífero. El principio de funcionamiento es bastante simple: se perfora un agujero en una masa de agua subterránea y luego se extrae el agua infiltrada con la ayuda de una bomba accionada por fuerza humana o mecanizada. La construcción es rápida y varias técnicas simples de perforación están disponibles para la mayoría de las condiciones geológicas. Al perforar un pozo de captación de agua subterránea en un acuífero libre, el nivel freático es la distancia a la que se encuentra el agua desde la superficie del terreno, y en estos casos la presión de agua en la superficie del acuífero es igual a la presión atmosférica.

Además, es ideal que el pozo de suministro siempre quede cerca del requerimiento de agua con el objetivo de disminuir las pérdidas por fricción y por accesorios. En el caso de este proyecto se simulará un pozo a una distancia de 1,2 m de la torre de acumulación. El diámetro del pozo debe ser de al menos 4”.

En las localidades de la región del Biobío es muy común la extracción de agua de pozo y se puede afirmar que, al realizar una excavación en el suelo, el agua empieza aparecer a partir del metro de profundidad. Como ejemplo de lo anterior se puede mencionar un pozo de 7 m de profundidad ubicado en la misma parcela donde se encuentra el invernadero de referencia, cuyo

nivel freático medido es de 1,2 m. El ejemplo anterior servirá de guía para el desarrollo del cálculo de la bomba para este proyecto y para el cálculo de los costos asociados del proyecto.

3.14 TIPOS DE BOMBAS

Para seleccionar entre una bomba superficial y una bomba sumergible se necesita conocer la profundidad del pozo, la cual en este proyecto será de aproximadamente 8 m. Además, se debe conocer la distancia entre el nivel freático del pozo y el punto de succión de la bomba, en el caso de este proyecto dicha altura será de aproximadamente 4 m. Es por esto que desde el punto de vista de la factibilidad es posible ocupar cualquiera de los dos tipos de bombas, pero se debe hacer un análisis más exhaustivo para elegir entre una bomba superficial y una sumergible.

En el caso de seleccionar una bomba superficial, se deberá realizar la conexión hidráulica con tuberías de PVC tanto para la succión como para la descarga. En cambio, si se selecciona una bomba sumergible se puede utilizar una tubería rígida o una manguera de succión y descarga para llegar al estanque de acumulación, además, se debe utilizar una cuerda de polipropileno, a modo de seguridad, para dejar anclada la bomba a la superficie y también para que la manguera o tubería no quede tensionada.

3.14.1 Bombas superficiales



Ilustración 3-15: Bomba superficial
Fuente: Google.

Con respecto a las bombas superficiales se presenta un gran inconveniente a la hora de calcular la presión de succión, es aquí donde aparece el concepto NPSH del bombeo que por sus siglas en inglés significa “Net Positive Suction Head” cuya traducción sería altura neta positiva de succión. Hay dos NPSH distintos, el disponible y el requerido. Esta variable de las bombas es la que determina su adecuado funcionamiento y representa a la presión mínima requerida a la entrada de la bomba para evitar el fenómeno de cavitación. En resumen, la infrapresión en la

aspiración de una bomba puede hacer que el agua llegue a ebullición a baja temperatura, convirtiéndose en vapor. Cuando la presión aumenta en la salida del impulsor las burbujas de vapor implosionan liberando una gran energía que erosiona muy intensamente los impulsores de los equipos reduciendo rápidamente la vida útil de los instrumentos.

3.14.2 Bomba sumergibles



Ilustración 3-16: Bomba sumergible
Fuente: Google.

Como su nombre indica, una bomba sumergible está diseñada para funcionar con todo el conjunto, que consiste en una bomba y un motor, totalmente sumergidos en el fluido o medio a procesar. Este tipo de bomba tiene un motor herméticamente sellado que está acoplado al cuerpo de la bomba.

Cuando se sumerge una bomba, hay una presión de fluido positiva en la entrada de la bomba. Esta condición puede crear una mayor eficiencia debido a que se requiere menos energía para mover el fluido a través de la trayectoria del líquido de la bomba. Una bomba sumergible funciona empujando el fluido durante el proceso de bombeo. Esto es extremadamente eficiente porque la bomba utiliza la cabeza de líquido en la que está sumergida para funcionar y no se gasta energía en introducir el líquido en la bomba. Un efecto positivo de la bomba sumergible es que el motor se enfría con el líquido que lo rodea, evitando el sobrecalentamiento.

Si bien es posible realizar los cálculos del NPSH para una bomba superficial, se ha optado por elegir una bomba sumergible para el desarrollo de este proyecto, debido a que solo poseen una tubería de descarga y por ende no es necesario calcular el NPSH.

Para poder confeccionar de manera más fácil este proyecto, se utilizará el software COMPASS desarrollado por Lorentz.

3.15 SELECCIÓN DE EQUIPOS CON SOFTWARE COMPASS DE LORENTZ

Para la adecuada selección de la bomba sumergible, el controlador y los paneles solares, a fin de que el sistema de riego planteado en este proyecto funcione correctamente, se utilizará el software COMPASS de Lorentz.

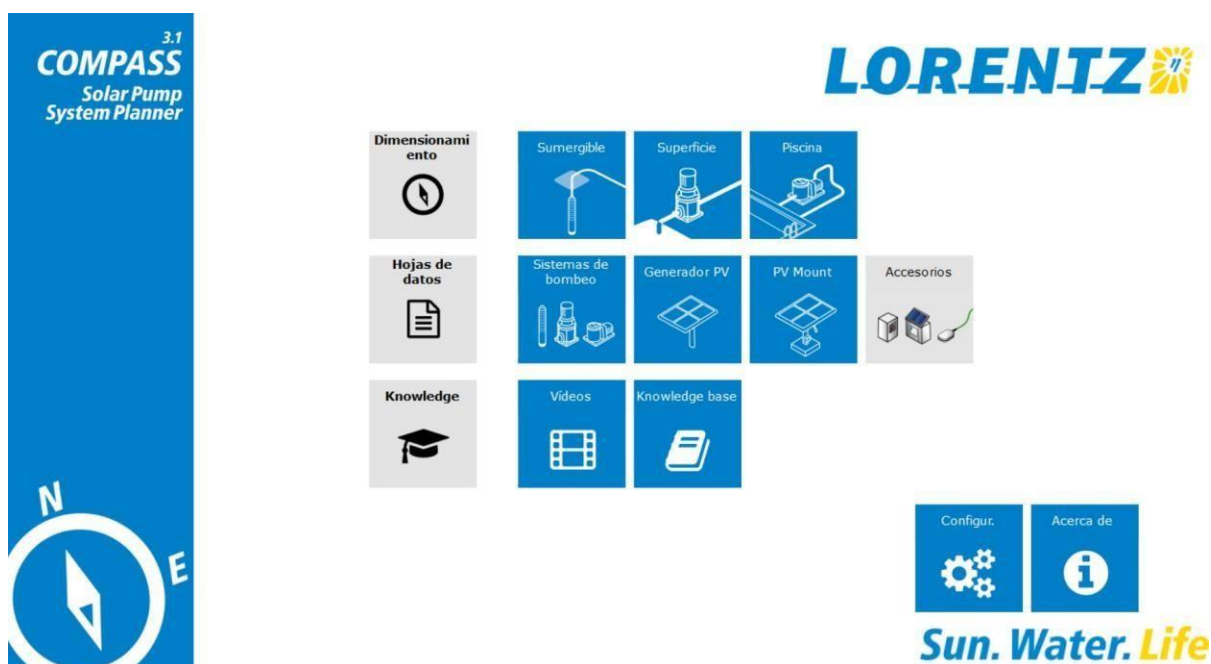


Ilustración 3-17: Interfaz software COMPASS
Fuente: COMPASS de Lorentz.

Este software presenta una interfaz sencilla y didáctica que permite conocer el rendimiento que tendrá un sistema de bombeo solar durante todos los meses del año, además, permite evaluar las mejores opciones técnicas para el desarrollo de un proyecto de bombeo solar. El software es muy completo ya que permite conocer tanto los datos hidráulicos que debe tener la instalación, como también los datos de radiación solar que existe en un determinado lugar. Es por esto que se ha decidido utilizar este software, de tal forma de poder simplificar los cálculos de diseño.

Hoy en día los diseñadores de instalaciones solares y también de bombeo, utilizan este tipo de softwares, debido a que desglosan una cantidad importante de información con tan solo conocer 3 simples datos. Es así como el software requiere los siguiente datos para que el cálculo del sistema se ejecute de forma inmediata:

- Lugar: COMPASS posee una base de datos de valores de irradiación solar para la totalidad del globo terrestre, con 1° de resolución de latitud y longitud. Si falta la ubicación de un proyecto se debe introducir la longitud y la latitud más cercanas.
- Altura dinámica (Presión): corresponde a la altura vertical desde el nivel dinámico de agua en el pozo hasta el punto más alto del suministro, además, se deben incluir las pérdidas de presión en la tubería, dadas como la altura de una columna de agua con la presión equivalente.

- Requerimiento diario de agua (Caudal): las bombas solares utilizan la totalidad del día solar para bombear la cantidad requerida de agua, por lo tanto, COMPASS dimensionara el sistema de bombeo para la demanda requerida de agua por día.

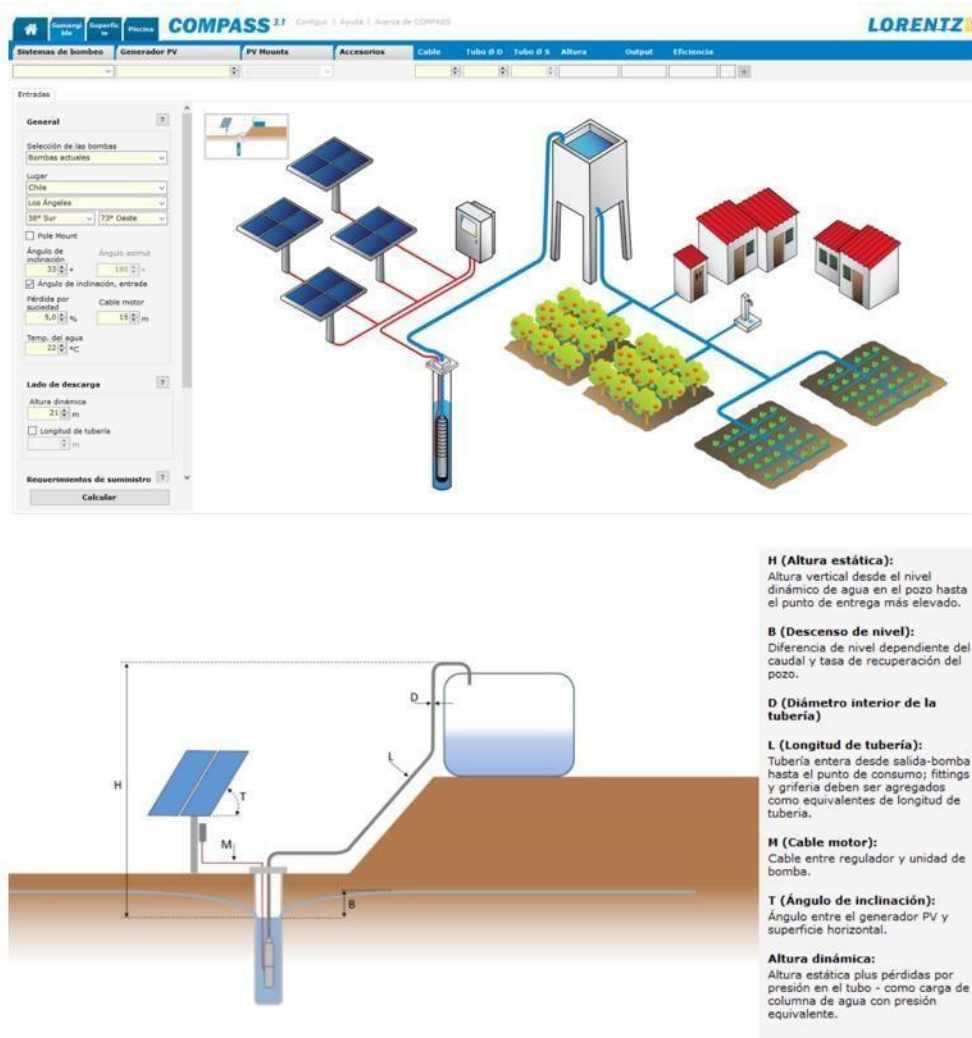


Ilustración 3-18: Interfaz del sistema con bomba sumergible COMPASS

Fuente: COMPASS de Lorentz.

3.15.1 Datos para ingresar al COMPASS

3.15.1.1 Lugar

Como ya se conoce el proyecto está enfocado para fines de cálculo a un invernadero encontrado en la Parcela 14 de Campo Alegre, camino a El Peral en la comuna de Los Ángeles. Teniendo este dato claro se ingresa al software el lugar más cercano al proyecto según la base de datos de Lorentz, en este caso sería la ciudad de Los Ángeles.

3.15.1.2 Inclinación de los paneles

Los grados de inclinación que deben tener los paneles es un dato que puede modificarse durante el análisis del software, de tal modo de lograr descubrir cual es la inclinación que entrega un mejor rendimiento a la instalación. En el caso de este proyecto el ángulo de inclinación será de 35° y el ángulo azimut de 0° (Norte).

3.15.1.3 Largo del cable motor

El largo del cable que va desde el motor al controlador debe ser de al menos 8 m. Ver plano del Anexo 5.

3.15.1.4 Altura dinámica (Presión)

La altura dinámica se debe medir desde el nivel freático de agua en el pozo hasta el punto más alto que se desea llegar, en este proyecto esta altura estática será de 19,7 m (ver plano del Anexo 5), a esta distancia se le deben sumar las pérdidas de presión en la tubería o manguera para obtener el valor requerido de altura dinámica para ingresar al software.

Se estima que las pérdidas de carga producida en la tubería o en la manguera no serán mayor a 2 m, ya que no habrá muchos accesorios ni menos cambios de diámetro. Por lo tanto, para obtener el valor de altura dinámica requerido por el software se suma la altura estática más los dos metros de pérdida de carga, obteniendo un valor de 21,7 m. Como el software no permite ingresar un valor con decimal se aproxima a 22 m.

3.15.1.5 Requerimiento diario de agua (Caudal)

El caudal nominal requerido, según el apartado [3.5.2](#) es de 1 m³/h, por lo tanto, cualquier bomba con un caudal nominal superior al calculado servirá para el desarrollo del proyecto. Aun así, la interfaz del software solicita el volumen diario requerido, en el caso de este proyecto en los días de mayor temperatura, es decir, en el verano, la demanda de agua por parte de los cultivos en el invernadero puede llegar a ser de hasta 3 riegos, esto provocaría que el estanque de acumulación deba ser llenado hasta en 3 oportunidades durante el mismo día. Como ya se revisó en el apartado [3.5.1](#) el estanque es de 500 L por lo que si se llena tres veces durante el día la suma de agua requerida ascendería a los 1500 L o bien 1,5 m³. Por lo tanto, se ha decidido ingresar al software un valor de 2 m³ para evitar cualquier tipo de inconveniente.

Una vez ingresados los datos a la interfaz del software, este se encargará de mostrar en la parte superior las bombas, los controladores y los paneles que satisfacen los requerimientos ingresados.

3.15.2 Bomba y controlador seleccionados

Sistemas de bombeo	Generador PV	PV Mounts	Accesorios	Cable	Tubo Ø D	Tubo Ø S	Altura	Output	Eficiencia
PS2-100 AHRP-07S	330 Wp (1x1 JKM 330-72P)			6 mm ²			5...40 m	8,5 m ³	26 l/Wp
PS2-100 AHRP-14S	250 Wp (1x1 ZHM 250)			2,5 mm ²			6...27 m	7,6 m ³	30 l/Wp
PS2-100 AHRP-07S	250 Wp (1x1 ZHM 250)			6 mm ²			5...40 m	7,8 m ³	31 l/Wp
PS2-100 AHRP-07S	250 Wp (1x1 ZHM 250)			6 mm ²			5...40 m	7,8 m ³	31 l/Wp
PS2-100 AHRP-07S	330 Wp (1x1 JKM 330-72P)			6 mm ²			5...40 m	8,5 m ³	26 l/Wp
PS2-100 AHRP-07S	250 Wp (1x1 ZHM 250)			6 mm ²			5...40 m	7,8 m ³	31 l/Wp
PS2-100 AHRP-07S	340 Wp (1x1 JKM 340-72MP)			6 mm ²			5...40 m	8,6 m ³	25 l/Wp

Ilustración 3-19: Selección del sistema de bombeo por parte del Software
Fuente: COMPASS de Lorentz.

Se ha decidido elegir el sistema de bombeo (bomba solar y controlador) PS2-100 AHRP-07S que, si bien tiene una eficiencia menor a los otros sistemas, entrega un caudal más regular durante todos los meses del año.

En este caso el conjunto bomba-motor sumergible y el controlador seleccionados son los siguientes:

- Controlador PS2-100
- Motor ECDRIVE 100-AHR-S
- Cabeza de bomba PE AHRP-07S (helicoidal)

Para ver con más detalle la selección del sistema de bombeo ver la Ilustración 3-20 y el Anexo 7.

PS2-100 AHRP-07S

Sistema de bomba inmersa para pozos de 3,5"

Características del sistema

Altura max. 40 m
Flujo max. 1,1 m³/h

Datos técnicos

Controlador PS2-100

- Controlar y supervisar
- Entradas de control para protección contra operación en seco, control remoto, etc.
- Protegido contra polaridad reversa, sobre carga y temperatura excesiva
- MPPT (Maximum Power Point Tracking) integrado
- Incl. MC4 to XT-60 adaptor cable / 0,5m of 4mm² PV cable

Potencia max. 0,15 kW
Voltaje de entrada max. 50 V
Óptimo Vmp** > 34 V
Corriente motor max. 6,0 A
Eficiencia max. 98 %
Temp. del ambiente -40...50 °C
Grado de protección IP68

Motor ECDRIVE 100-AHR-S

- Incl. 15m of 3x 2, 5 mm² plugged motor cable
- Motor CD sin escobillas - libre de mantenimiento
- Materiales Premium, acero inoxidable: AISI 304
- Sin elementos electrónicos en el motor

Potencia nominal 0,15 kW
Eficiencia max. 83 %
Revoluciones motor 700...2.500 rpm
Clase de aislamiento F
Grado de protección IP68
Inmersión max. 50 m

Cabeza de bomba PE AHRP-07S***

- Materiales Premium: PPS
- Bomba helicoidal

Eficiencia max. 61 %



Unidad de bomba PU100 AHRP-07S (Motor, Cabeza de bomba)

Diámetro de perforación min. 3,5 in
Temperatura del agua max. 50 °C

Normas



2006/42/EC, 2004/108/EC, 2006/95/EC

Ilustración 3-20: Hoja de datos del sistema de bombeo seleccionado
Fuente: COMPASS de Lorentz.

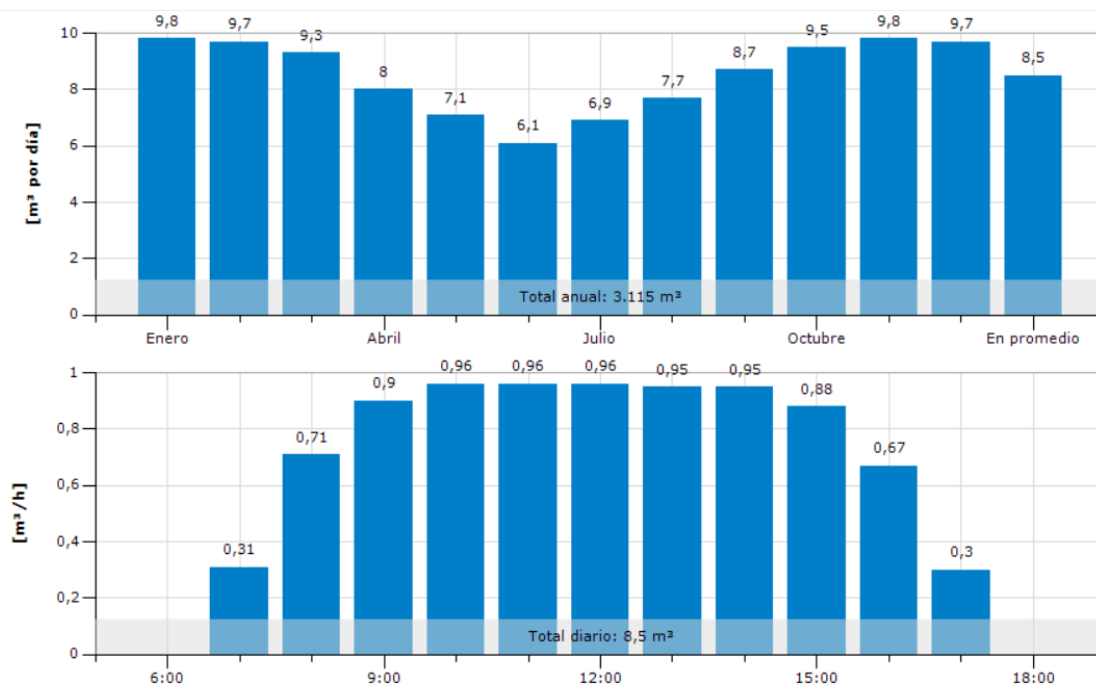
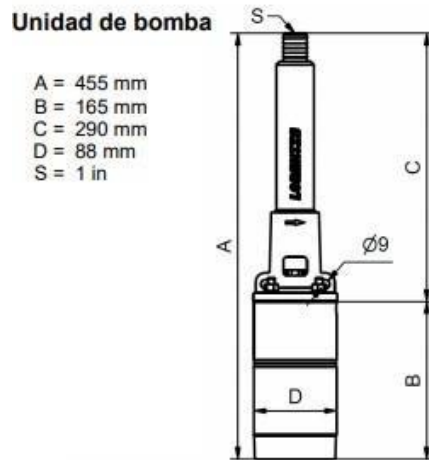


Gráfico 3-1: Datos del caudal entregado por la bomba
Fuente: COMPASS de Lorentz.

El caudal expuesto en el Gráfico 3-1 permite deducir que, en promedio, solamente a las 12:00 horas, se podría llenar el estanque de acumulación aproximadamente dos veces, lo cual resulta perfecto para el desarrollo de este proyecto.

3.15.2.1 Descarga de agua en estanque de acumulación



Plano 3-8: Bomba AHRP-07S
Fuente: COMPASS de Lorentz.

Como se puede apreciar en el Plano 3-8 la salida de descarga de la bomba tiene un diámetro de 1", por ende, para realizar la descarga de agua en el estanque de acumulación se puede utilizar tanto una tubería rígida con rosca de 1" como también una manguera de 1" fijada con dos abrazaderas.

En el caso de este proyecto se ha decidido realizar la instalación de descarga utilizando una manguera de succión y descarga de 1" y dos abrazaderas para fijarla a la bomba, tal como se muestra en la Ilustración 3-23.



Ilustración 3-21: Manguera succión y descarga 1"
Fuente: Diplas.



Ilustración 3-22: Abrazadera acero inoxidable 1"
Fuente: Megacenter.



Ilustración 3-23: Conexión de la manguera a la bomba.
Fuente: YouTube.

Además, como requisito de buena práctica se debe amarrar la bomba con una cuerda resistente al agua para dejarla fijada a algún soporte que se encuentre en la superficie con el objetivo de evitar tensiones en la manguera y también para mantener a salvo la bomba.

3.15.3 Panel solar fotovoltaico seleccionado

Con respecto a los paneles solares, solo se necesita uno para lograr satisfacer los requerimientos de consumo de la bomba solar y en este caso el seleccionado sería el panel JINKO SOLAR JKM 330-72P. Ver catalogo en Anexo 6.



Ilustración 3-24: Panel Jinko Solar JKM 330-72P
Fuente: Autosolar.

Además, el software entrega los valores de irradiación solar y los valores de energía generada por el panel solar. Ver Gráfico 3-2.

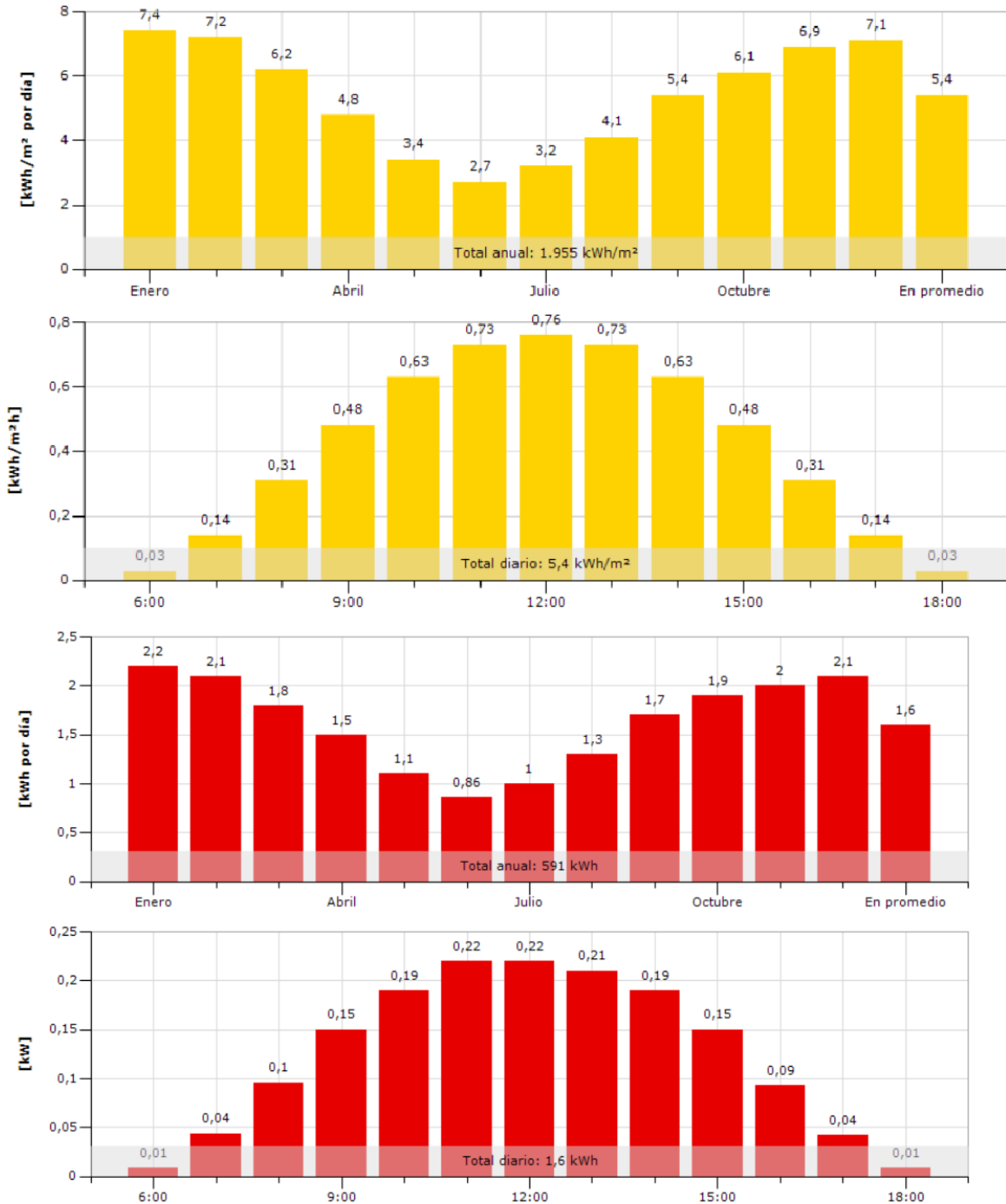


Gráfico 3-2: Datos de irradiación solar y energía generada por el panel solar
Fuente: COMPASS de Lorentz.

Finalmente, se ejecuta la opción de informe dentro del mismo software y descarga de forma instantánea un reporte con todas las variables tanto hidráulicas como fotovoltaicas, con los equipos que se seleccionaron. Para ver con más detalle el informe revisar el ANEXO 8.

Si bien este software plantea escenarios solamente con sistemas de bombeo solar de la marca Lorentz, estos datos pueden ser interpolados para elegir equipos de otras marcas. Pero en el caso de este proyecto se ha elegido mantener la selección de productos Lorentz, ya que entrega seguridad para el diseño.

3.16 ACCESORIOS ADICIONALES PARA EL SISTEMA DE BOMBEO

3.16.1 Sonda de pozo Lorentz

Es un dispositivo electromecánico de control que permite proteger a la bomba del funcionamiento en seco en aplicaciones de sistemas de bombeo solar. La sonda contiene un flotador mecánico con un imán interior que cuando se sumerge, el flotador sube y el imán acciona un interruptor que envía la señal al controlador PS2, de esta forma se indica la presencia de agua en el pozo. Si el nivel del agua en el pozo desciende por debajo de la sonda, el flotador cae y se abre el interruptor (se rompe el contacto), entonces el controlador PS2 detiene la bomba para evitar daños irreparables. Cuando el nivel de agua se recupera, el interruptor se cierra una vez más y el controlador retrasará el reinicio de la bomba en 15 minutos para permitir que el nivel de agua se recupere. La profundidad máxima de inmersión de la sonda de pozo es de 50 metros.



Ilustración 3-25: Sonda de pozo Lorentz
Fuente: Partnetnet Lorentz.

Cuando se instala la bomba en forma vertical, se debe fijar la sonda de pozo al tubo por encima de la salida de la bomba, tal como se muestra en la Ilustración 3-26.



Ilustración 3-26: Fijación sonda de pozo Lorentz
Fuente: Solarmat.

3.16.2 Sensor de depósito lleno Float Switch Lorentz

El sensor de depósito lleno Float Switch o también conocido como pera de nivel, es un dispositivo electromecánico de control que detecta el nivel de agua en estanques. Este sensor contiene un flotador mecánico que cuando el agua alcanza su valor máximo dentro del estanque, le envía una señal al controlador PS2 para detener la bomba indicando con un led la situación de estanque lleno.



Ilustración 3-27: Sensor Float Switch Lorentz
Fuente: Partnernet Lorentz.

Su funcionamiento consiste en que cuando el nivel de agua es alto, el sensor le enviará una señal al controlador PS2 para detener la bomba, en ese momento el indicador de interrupción remota del controlador se iluminará. Cuando el nivel de agua desciende en estanque de acumulación, el sensor le enviará la señal indicativa al controlador, en ese instante la luz del indicador se apagará, y la bomba se pondrá de nuevo en funcionamiento, obviamente si es que hay suficiente energía solar disponible. De este forma siempre se mantendrá un nivel básico de agua en el estanque, y se evitan desbordamientos de agua y desgastes innecesarios en la bomba.

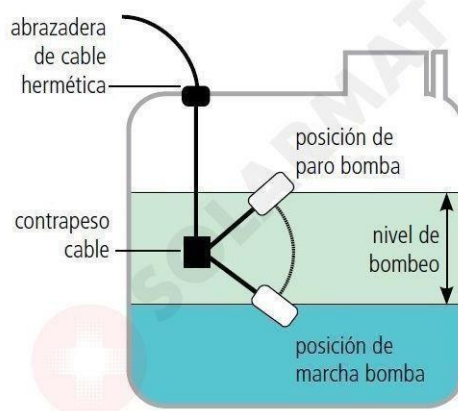


Ilustración 3-28: Funcionamiento sensor Float Switch Lorentz
Fuente: Solarmat.

3.17 ESTRUCTURA PARA LA FIJACIÓN DEL PANEL SOLAR

El panel seleccionado JINKO SOLAR JKM 330-72P es un panel que posee 72 celdas fotovoltaicas, por lo tanto, su tamaño es mayor en comparación a un panel de 60 celdas (ver Anexo 6). Es por esto que será necesario una estructura específica para paneles de 72 celdas.

Además, se debe seleccionar una estructura que pueda ser fijada sobre una superficie plana y que también le entregue un ángulo de inclinación al panel de 35° de tal forma que el sistema funcione correctamente según lo calculado por el software COMPASS de Lorentz.

Según estos datos, se debe buscar una estructura que reúna todas las características antes mencionada. Es así como buscando entre diversos proveedores, se ha logrado encontrar un sistema de montaje que reúne las condiciones necesarias para un correcto funcionamiento del panel.



Ilustración 3-29: Estructura para fijación del panel solar
Fuente: Mercado Libre.

La estructura seleccionada es vendida en un kit que incluye todo lo necesario para montar fácilmente 2 paneles de hasta 100 cm de ancho cada uno, con una inclinación ajustable entre 30 a 60°. El kit incluye:

- 2 rieles de aluminio anodizado de 210 cm cada uno
- 4 conectores terminal
- 2 conectores unión placa
- 3 conector L ajustable
- 3 base ajustable 30-60°

La instalación de esta estructura se debe realizar sobre una superficie sólida y permanente. En el caso de este proyecto se realizará sobre seis apoyos de hormigón enterrados de 10x20x30 cm y con 4 pernos de anclaje 3/8" x 3".



Ilustración 3-30: Apoyo de hormigón
Fuente: Sodimac.



Ilustración 3-31: Perno de anclaje
Fuente: Sodimac.

Se debe tener en consideración que la instalación del panel fotovoltaico debe quedar con 35° grados de inclinación y apuntando en dirección al norte (ángulo azimut 0°), tal como se calculó en el software COMPASS.

3.18 CABLEADO DEL SISTEMA

3.18.1 Cableado de la bomba al controlador

El cableado es un dato muy importante para tener en consideración en el diseño de sistemas solares, ya que, es indispensable conocer la distancia desde la bomba a los paneles y al controlador, en el caso de este proyecto los paneles estarán ubicados a máximo 4 metros del pozo, además, hay que contabilizar la distancia desde la salida del pozo hasta la bomba, esta distancia será máximo de 4 metros. De esta forma, se puede inferir que la longitud de cable debe ser de 8 metros.

El equipo de bombeo PS2-100 AHRP-07S seleccionado incluye un cable de 15 m para conectar la bomba al controlador, por lo tanto, no será necesario realizar la compra de la extensión de este cable.

3.18.2 Cableado de la sonda de pozo

La sonda de pozo por defecto viene con 2 cables $0,75 \text{ mm}^2$ o AWG 19 impermeabilizado con un largo de 1,5 m en ambos cables. Como ya se analizó anteriormente la distancia desde la bomba sumergible al controlador es de 8 m aproximadamente, por lo tanto, se necesitarán 7 m adicionales de cable $2 \times 0,75 \text{ mm}^2$ o AWG 19 impermeabilizado para la correcta operación de este sensor. Es por esto que se requiere comprar un cable cordón de goma impermeable, para ello se han buscado proveedores y se ha encontrado uno que ofrece Cordón H05vv-f $2 \times 0,75 \text{ mm}^2$ cable de cobre por metro.

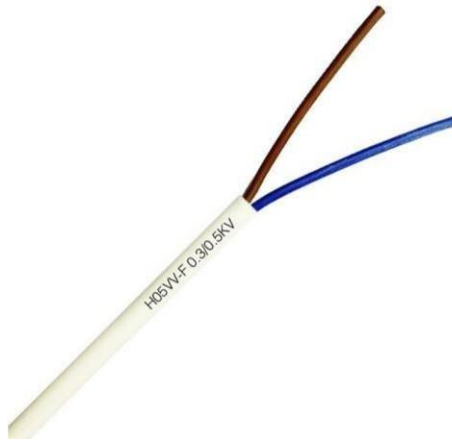


Ilustración 3-32: Cordón flexible $2 \times 0,75 \text{ mm}^2$
Fuente: Vitel

Con respecto al empalme eléctrico que se debe realizar en el cableado de la sonda de pozo, no es necesario comprar un kit de empalme, ya que, cuando se compra la sonda de pozo Lorentz por defecto incluye el kit de empalme, por lo tanto, solo será necesario el cordón de goma de la Ilustración 3-32.

3.18.3 Cableado del sensor Float Switch

El sensor de depósito lleno por defecto viene con tres cables de 1 mm^2 o AWG 18 con un largo de 3 m. Este sensor viene con estos tres cables por qué puede funcionar como sensor de llenado y también puede funcionar como sensor de vaciado, es por esto que solamente se conectan dos cables del sensor al controlador PS2.

Como se aprecia en el plano del Anexo 5, la distancia desde la superficie del estanque de acumulación al controlador de carga es de aproximadamente 23 m, es por esto que se necesitarán 20 m adicionales de cable $3 \times 1 \text{ mm}^2$ o AWG 18 para la correcta operación de este sensor. Considerando que el cable estará expuesto a la intemperie será necesario buscar un cable cordón de goma. De esta forma se ha encontrado un proveedor que vende Cordón H05vv-f $3 \times 1 \text{ mm}^2$ cable de cobre por metro.

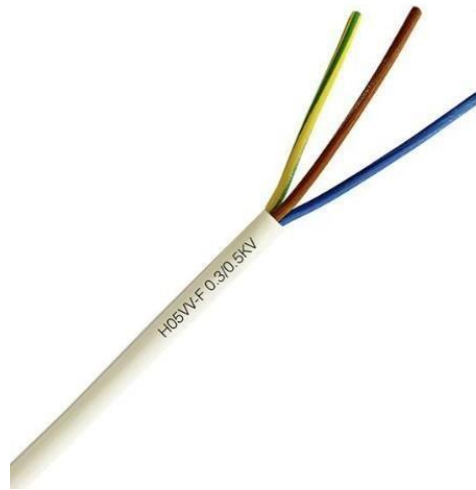


Ilustración 3-33: Cordón flexible 3x1,0mm²
Fuente: Vitel

Debido a que el cableado estará en constante contacto con la intemperie será necesario realizar el empalme eléctrico, de tal forma que el cableado del sensor Float Switch quede totalmente impermeabilizado. Para ello se requieren dos conectores impermeables de 3 vías IP68 tipo mufa.



Ilustración 3-34: Conector impermeable de tres vías IP68 tipo mufa
Fuente: Mercado Libre.

3.18.4 Cableado del panel solar al controlador

El cable de salida que tiene el panel JINKO SOLAR JKM 330-72P es de 4 mm² y la longitud de los cables positivo y negativo son de 900 mm. Por lo tanto, para poder llegar con facilidad al controlador se requiere de aproximadamente un metro más de cable, tanto para el positivo como para el negativo. En definitiva, se requerirá de 1 m de cable solar de 4 mm² de sección color rojo (positivo) y 1 m de cable solar de 4 mm² de sección color negro (negativo).



Ilustración 3-35: Cable solar 4 mm²
Fuente: Natura Energy.

Además, se requerirá dos pares de conectores MC4 macho y hembra que permitan conectar mediante un acople sencillo el metro de cable faltante con los cables de salida positivo y negativo para llegar al controlador PS2. Una vez que se llega al controlador se requiere un adaptador de conector MC4 a conector XT60F, dicho adaptador viene por defecto incluido en el sistema de bombeo Lorentz.

3.18.5 Diagrama de conexionado del controlador

El controlador Lorentz PS2 100 posee las siguientes entradas:



Ilustración 3-36: Entradas del controlador Lorentz PS2 100
Fuente: Partnernet Lorentz.

Por lo tanto, el conexionado del controlador PS2 debe quedar de la siguiente forma:

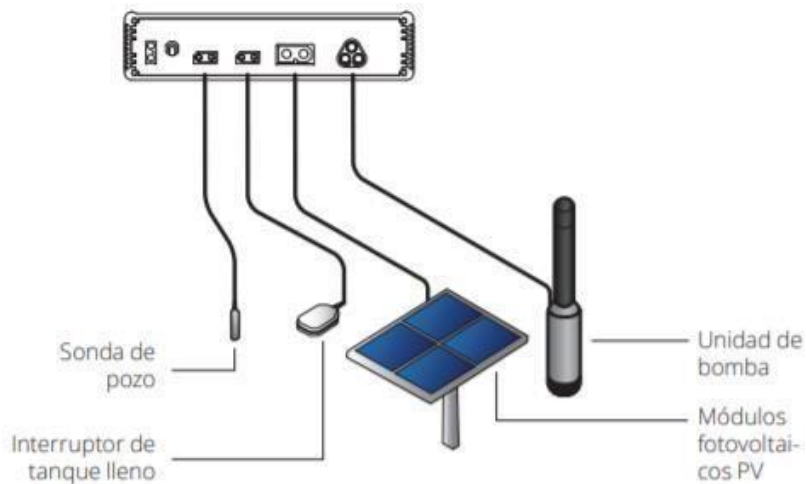


Ilustración 3-37: Diagrama de conexión del controlador Lorentz PS2 100
Fuente: Partnet Lorentz.

3.19 PROTECCIÓN DE LA INSTALACIÓN MEDIANTE LA CONEXIÓN A TIERRA

La conexión a tierra es un sistema obligatorio que asegura que, ante cualquier falla de aislamiento, las partes metálicas de todo los elementos descarguen la corriente eléctrica a tierra, sin afectar al usuario que entre en contacto con el aparato eléctrico, evitando así que sufra una descarga eléctrica potencialmente mortal. Esta conexión a tierra también protege contra cargas eléctricas o cortocircuitos dentro del dispositivo, y además, está indicada contra rayos indirectos y potenciales eléctricos inducidos durante el funcionamiento del sistema de bombeo.

Para instalaciones aisladas (como en el caso de este proyecto) se puede usar una barra de cobre para toma de tierra. La barra de conexión a tierra debe ser de 5/8" de diámetro y debe estar ubicada a una distancia inferior a unos 4 o 5 m del controlador y enterrada a unos 2,5 m por debajo del nivel del suelo.



Ilustración 3-38: Barra de conexión a tierra
Fuente: Mercado Libre.

El cable de conexión a tierra debe ser de cobre con una sección transversal de al menos 16 mm² (AWG 6), este cable se conecta a la varilla mediante sujeción mecánica con una bornera y no debe llevar cargas mecánicas.



Ilustración 3-39: Funcionamiento barra de conexión a tierra
Fuente: Wikipedia.

Antes de empezar a trabajar en el conexión del sistema de bombeo hay que asegurarse de que todos los componentes están desconectados de la fuente de alimentación. No se debe encender el sistema hasta que no se haya terminado la conexión a tierra.

3.19.1 Puesta a tierra del controlador

El soporte de fijación del controlador PS2 en la parte posterior posee un conector para el cable de tierra identificado con el símbolo de puesta a tierra. Es por esto que para poder aterrizar el controlador y el soporte de fijación a la tierra se debe utilizar 5 metros de Cable CPT H07Z1 de 16 mm² para línea tierra conectado desde el controlador a la barra de tierra mediante una bornera de 5/8".



Ilustración 3-40: Cable CPT H07Z1 para línea tierra 16 mm²
Fuente: Anyoelectric.

3.19.2 Puesta a tierra del panel solar

Como ya es sabido la estructura para la fijación del panel solar es de aluminio anodizado, por lo tanto, solo basta con realizar una perforación en cualquier parte de la estructura para fijar el cable de tierra con un terminal de ojo y un tornillo autoperforante, tal como se puede apreciar en la Ilustración 3-43. En este caso el cable que se ocupara para aterrizar el panel solar será el mismo que se ocupara para aterrizar el controlador y el sistema de bombeo (Cable CPT H07Z1 para línea tierra 16 mm²).



Ilustración 3-41: Terminal de ojo
Fuente: Conelectric.



Ilustración 3-42: Perno autoperforante
Fuente: Sodimac.

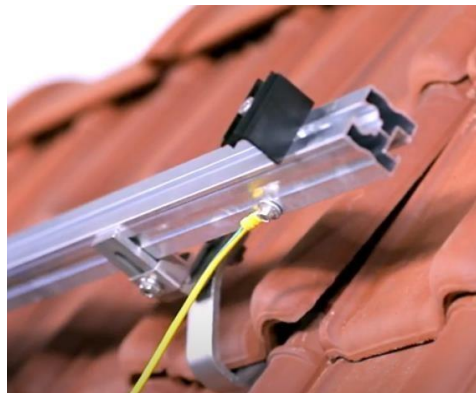


Ilustración 3-43: Ejemplo de conexión a tierra de un panel fotovoltaico
Fuente: Sodimac.

Una vez realizada esta conexión del cable de tierra a la estructura, se debe llegar con el otro extremo del cable a la barra de cobre vista anteriormente y fijar mediante una bornera de 5/8". Por lo tanto, se deduce que la longitud del cable debe ser de aproximadamente 5 m.

Finalmente, los materiales requeridos para realizar la conexión a tierra de todo el sistema serán:

Materiales	Cantidad
Barra Toma Tierra 5/8"	1
Conector de barra 5/8" bronce laminado	2
Cable CPT H07Z1 para línea tierra 16 mm ² por metro	10
Terminal de ojo 6 AWG	2
Perno hexagonal autoperforante calibre BWG 12	1

Tabla 3-7: Listado de materiales requeridos para la conexión a tierra
Fuente: Elaboración propia.

3.20 PROCEDIMIENTO DE INSTALACION DEL SISTEMA DE BOMBEO SOLAR

Los pasos a seguir para una correcta instalación del sistema de bombeo PS2-100 AHRP-07S son los siguientes:

- Conectar una manguera de succión y descarga de 1" a la salida de la bomba sumergible, se debe fijar con dos abrazaderas inoxidable.
- Realizar amarre de la bomba con cuerda de polipropileno resistente al agua para dejarla anclada a la superficie con el objetivo de quede asegurada, sumergida y que la manguera de descarga no quede tensionada.
- Armar la estructura para el panel solar, situando los módulos fotovoltaicos hacia el norte, frente al sol, evitando sombras y con 35° de inclinación según el software COMPASS.
- Colocar el controlador en la parte interna de la estructura que sostiene el panel solar, adhiriéndolo con el "Soporte de Fijación de Controlador". Este soporte de fijación garantiza que los cables permanezcan sujetos al controlador y con un cierto grado de protección contra el polvo y el agua.
- Conectar los cables del motor de la bomba al controlador.
- Realizar el empalme eléctrico para la sonda de pozo y para el sensor Float Switch.
- Fijar la sonda de pozo a la tubería de descarga con amarras plásticas por encima de la de la bomba, para evitar que esta trabaje en seco.
- Colocar el sensor Float Switch en el interior del estanque de acumulación.
- Conectar la sonda de pozo a la entrada A1 y el sensor Float Switch a la entrada A2 del controlador. (La entrada A1 por defecto tiene un retraso de 15 minutos en caso de que se detecte el funcionamiento en seco).
- Conectar el panel fotovoltaico a la entrada solar del controlador mediante el adaptador de conector MC4 a conector XT60F.
- Realizar conexión a tierra con los equipos totalmente desenergizados.

3.21 CONSIDERACIONES IMPORTANTES

3.21.1 Operación del sistema de bombeo

- Asegúrese de que la bomba esté completamente sumergida en agua.
- Revisar el conexionado del controlador.
- Encender la bomba desde el controlador.
- El sistema funcionará.

3.21.2 Consejos para aumentar la vida útil de la bomba

- Este controlador está diseñado para trabajar únicamente con su motor. No se debe aplicar la intercambiabilidad, de lo contrario el sistema de bombeo no funcionará. Solo conectar el equipo provisto por el fabricante o proveedor de esta bomba.
- El controlador debe tener un voltaje de entrada entre 24-50 V CC. No se debe intentar alimentar la bomba con baterías, generadores o una conexión a la red eléctrica.
- Mantener el controlador fuera del agua o la lluvia directa para reducir las posibilidades de cortocircuito en las conexiones de los cables.
- No desconectar los cables cuando la bomba esté funcionando. Primero se debe apagar la bomba y luego desconectar los cables.
- No dejar que la bomba funcione sin agua.
- Bombear agua sin objetos sólidos como arena, palos o mala hierba. Bombear agua con alto contenido de arena reducirá la vida útil del extremo de la bomba.
- Observar la temperatura máxima de agua recomendada para la bomba. Usar la bomba en agua más caliente la dañará irreparablemente.
- Para protección contra la marcha en seco y llenado de tanque (entrada A1 y A2), se debe utilizar la sonda de pozo y el interruptor de flotador para PS2-100 de LORENTZ.
- Situar el controlador fuera de la luz solar directa. Esto reducirá las posibilidades de que el controlador se apague por sobrecalentamiento.

3.21.3 Problemas comunes que provocan un funcionamiento deficiente

- En los módulos fotovoltaicos:
 - No hay irradiación suficiente.
 - Los módulos fotovoltaicos están sucios, expuestos a sombras o no están orientados hacia el sol.
 - El voltaje de entrada es inferior a 24 V.
- En el controlador y el cableado:
 - La luz roja está encendida permanentemente porque se ha activado la entrada A1 o A2.
 - La luz roja puede indicar funcionamiento en seco (relacionado con la entrada A1) en tal caso se reiniciará después de 15 minutos. El problema también podría estar relacionado con puentes faltantes.
 - Los enchufes están mojados o no se han insertado correctamente.
 - El controlador está demasiado caliente y necesita enfriarse.

- En la bomba y tuberías:
 - No hay suficiente agua disponible, la bomba está funcionando en seco.
 - La bomba está obstruida con barro o arena.
 - La manguera o tubería está bloqueada, doblada o enredada.
 - La temperatura del agua es demasiado alta.
 - La bomba estaba expuesta al sol y se calentó.

- Con respecto al agua:
 - El agua contiene objetos sólidos como arena, palos o mala hierba.
 - Si la temperatura del agua es demasiado alta, la bomba se detendrá o no arrancará.
 - Si la temperatura del agua es demasiado baja, el caudal se reduce.

3.22 REDUCCION DE EMISIONES DE DIOXIDO DE CARBONO (CO₂)

La prevención del dióxido de carbono (CO²) es una medida necesaria para contribuir a la protección climática y disminuir así el efecto invernadero. Durante la producción de energía eléctrica se expulsa CO² al ambiente como consecuencia de la quema de combustibles fósiles. Sin embargo, la electricidad originada mediante energías renovables (fotovoltaica, eólica, hidráulica, biomasa) no producen CO². Cuanto mayor sea la proporción de energías renovables en la matriz energética de un país, menor será el nivel de emisiones de CO². Por ejemplo si se suministra electricidad desde una instalación fotovoltaica a la red pública, se estará contribuyendo a la prevención de emisiones de CO² a nivel nacional.

La cantidad de CO² que, por ejemplo, una instalación fotovoltaica puede evitar depende del combustible o de las energías convencionales utilizadas en el país. De esta forma se crea el factor CO² (unidad: kg/kWh) el cual es concepto que indica la cantidad de CO² que se produce en un país por kilovatio/hora de energía eléctrica generado.

En función de la técnica y la eficacia, el factor CO² de una región puede variar de una compañía distribuidora de energía eléctrica a otra. En el caso de Chile este factor, para el año 2018, fue de 418,70 kg/MWh (equivalente a 0,418 kg/kWh), según los valores informados en la Comisión Nacional de Energía (CNE) por la emisión neta de gases de efecto invernadero generados por el Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Entonces, teniendo este factor se puede calcular la cantidad de CO² que se estaría reduciendo en el medio ambiente. Para ello lo primero que se debe hacer es calcular la energía (en kWh) que consume la bomba durante un año y posteriormente este valor de energía multiplicarlo por el factor CO² (en kg/kWh)

Entonces, suponiendo que la bomba operara hasta tres veces en el día en un régimen de 30 min, se podría deducir que la bomba funciona durante 90 min por cada día, lo que es equivalente a una hora y media (1,5 horas) de trabajo diario. Entonces, sabiendo que la bomba

consume una potencia nominal de 0,15 kW, la energía consumida por la bomba en un día de funcionamiento se puede conocer utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Energía consumida por la bomba} = \text{potencia nominal bomba} * \text{horas de trabajo}$$

$$\text{Energía consumida por la bomba}_{\text{por día}} = 0,15 \text{ kW} * 1,5 \text{ horas} = 0,225 \text{ kWh}$$

Entonces, la energía consumida por la bomba en un día es de 0,225 kWh.

Para determinar la cantidad de energía que será consumida por la bomba en un año, se debe realizar el siguiente cálculo:

$$\text{Energía consumida por la bomba}_{\text{por año}} = 0,225 \text{ kWh} * 365 \text{ días}$$

$$\text{Energía consumida por la bomba}_{\text{por año}} = 82 \text{ kWh}$$

Entonces, la energía consumida por la bomba en un año es de 82 kWh. Teniendo este dato, se puede calcular la cantidad de emisiones de CO² reducidas en un año aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{CO}_2 \text{ reducido}_{\text{por año}} = \text{Energía consumida por la bomba}_{\text{por año}} * \text{factor CO}_2$$

$$\text{CO}_2 \text{ reducido} = 82 \text{ kWh} * 0,418 \text{ kg} / \text{kWh} = 34,2 \text{ kg}$$

Finalmente, se define que la cantidad de dióxido de carbono que se puede reducir si se realiza este proyecto es de 34,2 kg/CO² por año.

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE COSTOS

4.1 DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO DE COSTOS

La idea de este proyecto surge realmente como una oportunidad de ofrecer este proyecto a ciertas personas que deseen tener invernaderos con sistemas de riego tecnificado, que les entregue una cierta autonomía alimenticia y que les permita disminuir sus gastos de alimentación. De esta forma se ha pensado en poder impulsar la idea al mercado y ofrecerlo a las personas que lo necesiten y lo puedan comprar. Para ello es necesario realizar un estudio de costos con absolutamente todos los materiales requeridos para llevar a cabo el proyecto, además en este estudio se debe incluir el capital humano requerido para desempeñar ciertas labores, principalmente de instalación y de puesta en marcha.

Este estudio de costos es esencial para poder ofrecer el proyecto, ya que permiten mostrarles a los posibles clientes de forma transparente, mediante el uso de tablas, el presupuesto detallado para poner en marcha el proyecto.

Por consiguiente, para realizar las tablas de costos de este proyecto se han tomado los precios de distintos proveedores encontrados por internet, algunos de ellos son: Lorentz, Diplas, Cosmoplas, Mercado Libre, Sodimac, Easy, entre otros. Cabe destacar que para algunos insumos no se han podido encontrar sus precios, por lo que se ha tomado la decisión de estimarlos. También, es necesario precisar que la mayoría de los precios cotizados ya tienen el IVA incluido.

El estudio de costos del proyecto será detallado según las etapas del sistema, de tal forma de poder lograr claridad a la hora de revisar el presupuesto de la instalación.

4.2 COSTOS DEL SISTEMA DE BOMBEO

SISTEMA DE BOMBEO			
Detalle	Precio unitario	Cantidad	Subtotal
Controlador PS2-100 Lorentz	\$ 1.265.652	1	\$ 1.265.652
Bomba AHRP-07S Lorentz			
Panel JINKO SOLAR JKM 330-72P	\$ 152.824	1	\$ 152.824
Sonda de pozo Lorentz	\$ 69.275	1	\$ 69.275
Sensor Float Switch	\$ 22.412	1	\$22.412
		Total	\$ 1.510.163

Tabla 4-1: Costos del sistema de bombeo
Fuente: Elaboración propia.

4.3 COSTOS DEL POZO DE SUMINISTRO

Por lo general, para hacer un pozo de suministro se requiere de alguien especializado y con los equipos necesarios para realizar la perforación en el suelo. El costo aproximado por metro de perforación es alrededor de \$30.000 chilenos, esto puede variar y en muchos casos existe un alto poder de negociación con el prestador del servicio.

POZO DE SUMINISTRO			
Detalle	Precio unitario	Cantidad	Subtotal
Costo del pozo por metro de perforación	\$ 30.000	7	\$ 210.000
		Total	\$ 210.000

Tabla 4-2: Costos del pozo de suministro
Fuente: Elaboración propia.

4.4 COSTOS DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN

4.4.1 Costos de materiales

SISTEMA DE ACUMULACIÓN (MATERIALES)			
Detalle	Precio unitario	Cantidad	Subtotal
Perfil tubular cuadrado 100x100x3 mm 6 m	\$ 78.250	15	\$ 1.173.750
Perfil tubular rectangular 100x50x3 mm 6 m	\$ 37.290	12	\$ 447.480
Electrodo 6011 3/32" 1 kg	\$ 4.590	2	\$ 9.180
Anticorrosivo estructural verde opaco 1 galón	\$ 16.590	4	\$ 66.360
Estanque de acumulación 500 L	\$ 100.000	1	\$ 100.000
Salida estanque 50 mm PVC	\$ 3.490	1	\$ 3.490
		Total	\$1.800.260

Tabla 4-3: Costos de materiales para el sistema de acumulación
Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Costos de mano de obra

Para conocer el costo económico del personal se debe conocer que labores se realizarán. En el caso de la fabricación de la torre de acumulación es necesario contratar a un maestro soldador que pueda hacer el trabajo, por lo general, el precio por hora de un soldador es entre \$20.000 y \$50.000 pesos chilenos, para este proyecto se fijará un precio de \$30.000 por hora para el maestro soldador, y se estima que no debe demorarse más de 8 horas en realizar el trabajo. A su vez será requerido un maestro pintor (con pistola y compresor) para realizar el

sellado anticorrosivo de la estructura, que máximo cobre \$20.000 pesos chilenos por hora y realice el trabajo en aproximadamente en 4 horas.

SISTEMA DE ACUMULACIÓN (PERSONAL)			
Detalle	Precio unitario	Cantidad	Subtotal
Costo por hora del maestro soldador	\$ 30.000	8	\$ 240.000
Costo por hora del maestro pintor	\$ 20.000	5	\$ 100.000
		Total	\$ 340.000

Tabla 4-4: Costos de mano de obra para el sistema de acumulación
Fuente: Elaboración propia.

4.5 COSTOS DEL SISTEMA DE RIEGO

4.5.1 Costos de materiales requeridos desde la bomba al estanque de acumulación

DE LA BOMBA AL ESTANQUE DE ACUMULACIÓN			
Detalle	Precio unitario	Cantidad	Subtotal
Manguera succión y descarga Liquiflex 1" por metro	\$ 2.290	25	\$ 57.250
Abrazadera Metálica Inoxidable (21-38 mm) Zincada	\$ 390	2	\$ 780
Cuerda Polipropileno Trenzado 10 mm 10 Metros	\$ 6.990	1	\$ 6.990
		Total	\$ 65.020

Tabla 4-5: Costos de materiales desde la bomba al sistema de acumulación
Fuente: Elaboración propia.

4.5.2 Costos de materiales requeridos desde el estanque de acumulación hasta el sistema de riego

DEL ESTANQUE AL SISTEMA DE RIEGO			
Detalle	Precio unitario	Cantidad	Subtotal
Tubería PVC 50 mm 6 m	\$ 11.190	4	\$ 44.760
Unión americana PVC 50 mm	\$ 2.490	3	\$ 7.470
Codo PVC presión 50 mm 90°	\$ 690	2	\$ 1.380
Válvula de bola PVC 50 mm	\$ 4.990	2	\$ 9.980
PVC reducción larga de 50 x 32 mm	\$ 490	1	\$ 490
		Total	\$ 64.080

Tabla 4-6: Costos de materiales desde el estanque al sistema de riego
Fuente: Elaboración propia.

4.5.3 Costos de materiales requeridos para el sistema de riego dentro del invernadero

SISTEMA DE RIEGO DENTRO DEL INVERNADERO			
Detalle	Precio unitario	Cantidad	Subtotal
Goteros 8 L/h	\$ 148	242	\$ 35.816
Manguera polietileno 1" 100 m	\$ 49.990	1	\$ 49.990
Terminal para manguera Polietileno HI 1" Negro	\$ 590	11	\$ 6.490
Abrazadera Metálica Inoxidable (21-38 mm) Zincada	\$ 390	22	\$ 8.580
Terminal PVC He 32 mm x 1"	\$ 200	11	\$ 2.200
Tee PVC presión 32 mm	\$ 790	14	\$ 11.060
Tubo PVC hidráulico 32 mm x 6 m	\$ 6.490	5	\$ 32.450
Codo PVC presión 32mm 90°	\$ 190	2	\$ 380
Tapa gorro PVC 32 mm	\$ 390	4	\$ 1.560
Válvula bola 32 mm PVC	\$ 1.990	5	\$ 9.950
Terminal polietileno plana HE 1"	\$ 430	11	\$ 4.730
Tapón Hi 1" (hilo Interno)	\$ 756	11	\$ 8.316
Filtro de malla 32 mm	\$ 8.900	1	\$ 8.900
Kit Inyector Venturi 1" Succión Máxima 550 L/h	\$ 33.990	1	\$ 33.990
Adhesivo PVC riego Vinilit 240 ml	\$ 4.890	1	\$ 4.890
Cinta de teflón 1/2" 10 m	\$ 401	1	\$ 401
Programador De Riego Hunter Node100 9v + solenoide	\$104.990	1	\$104.990
Total			324.693

Tabla 4-7: Costos de materiales para el sistema de riego en el invernadero
Fuente: Elaboración propia.

4.5.4 Costos de mano de obra

Para la instalación de todas las etapas del sistema de riego se debe contratar a una persona que conozca el trabajo y que monte con rapidez el sistema de tuberías junto con los accesorios. Se estima que el costo por hora del maestro instalador no debería ser superior a \$12.000 pesos chilenos por hora, ya que, es un trabajo más bien sencillo y puede ser realizado por cualquier persona que tenga un cierto grado de conocimiento. Este trabajo no debería ser superior a 6 horas.

SISTEMA DE RIEGO (MANO DE OBRA)			
Detalle	Precio unitario	Cantidad	Subtotal
Costo por hora del maestro instalador	\$ 12.000	6	\$ 72.000
Total			\$ 72.000

Tabla 4-8: Costos de mano de obra para la instalación del sistema de riego.
Fuente: Elaboración propia.

4.6 COSTOS DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

4.6.1 Costos de la estructura para la fijación del panel solar

ESTRUCTURA FIJACIÓN PANEL SOLAR			
Detalle	Precio unitario	Cantidad	Subtotal
Estructura Montaje 2 Paneles Solares, Ajust 30-60°	\$ 59.000	1	\$ 59.000
Apoyos de hormigón 10 x 20 x 30 (cm)	\$ 2.290	6	\$ 13.740
Perno de anclaje 3/8" x 3"	\$ 790	6	\$ 4.740
		Total	\$ 77.480

Tabla 4-9: Costos de la estructura para la fijación del panel solar
Fuente: Elaboración propia.

4.6.2 Costos del cableado adicional para el sistema de bombeo

CABLEADO ADICIONAL DEL SISTEMA DE BOMBEO			
Detalle	Precio unitario	Cantidad	Subtotal
Cable Solar Rojo 4mm2 por metro	\$ 890	1	\$ 890
Cable Solar Negro 4mm2 por metro	\$ 890	1	\$ 890
Par de conector MC4	\$ 1.290	2	\$ 2.580
Cordón flexible 2x0.75 mm2 H05VV-F por metro	\$ 582	7	\$ 4.074
Cordón flexible 3x1 mm2 H05VV-F por metro	\$ 904	20	\$ 18.080
Conector Recto Para Cordón Ip68 5 -10mm	\$ 3.490	2	\$ 6.980
		Total	\$ 33.494

Tabla 4-10: Costos de cableado adicional para la instalación del sistema de bombeo
Fuente: Elaboración propia.

4.6.3 Costos de la conexión a tierra

CONEXIÓN A TIERRA			
Detalle	Precio unitario	Cantidad	Subtotal
Barra Toma Tierra 5/8"	\$5.490	1	\$5.490
Conector de barra 5/8" bronce laminado	\$900	2	\$1.800
Cable CPT H07Z1 para línea tierra 16 mm2 por metro	\$1.360	10	\$13.600
Terminal de ojo 6 AWG	\$50	2	\$100
Perno hexagonal autoperforante calibre BWG 12	\$100	2	\$200
		Total	\$21.190

Tabla 4-11: Costos de materiales para la conexión a tierra
Fuente: Elaboración propia.

4.6.4 Costos de mano de obra

Para realizar la instalación de la parte eléctrica de este proyecto es necesario contratar a un electricista que principalmente tenga experiencia en instalación de sistemas fotovoltaicos, y que tenga nociones acerca de la instalación de bombas solares. El resto de los trabajos eléctricos requeridos no debería presentar dificultades para alguien con experiencia en área eléctrica. Se estima que el costo por hora del instalador eléctrico está entre \$15.000 y \$30.000 pesos chilenos, pero en el caso de este proyecto se tendrá un presupuesto de \$25.000 pesos chilenos por hora para el instalador. Este trabajo de instalación eléctrica no debería demorar más de 3 horas.

INSTALACIÓN ELÉCTRICA (MANO DE OBRA)			
Detalle	Precio unitario	Cantidad	Subtotal
Costo por hora del instalador eléctrico	\$ 25.000	3	\$ 75.000
		Total	\$ 75.000

Tabla 4-12: Costos de mano de obra para la instalación eléctrica
Fuente: Elaboración propia.

4.7 COSTO FINAL DEL PROYECTO

Finalmente, el costo total del proyecto no es más que la suma de todos los costos previamente vistos. Además, cabe recalcar que se debe sumar el desarrollo de la idea a los costos del proyecto, en este caso se ha determinado que el costo de la idea será de un 10% del total de los costos, por lo que este porcentaje será la utilidad que se estará logrando al vender este proyecto. Entonces, para calcular el precio final de venta de este proyecto se debe sumar el total de costos del proyecto más el porcentaje de utilidad que se quiere conseguir con el desarrollo de la idea. Por lo tanto, el costo final del proyecto será:

COSTO TOTAL DEL PROYECTO		
SISTEMA DE BOMBEO	Subtotal	\$ 1.510.163
POZO DE SUMINISTRO	Subtotal	\$ 210.000
SISTEMA DE ACUMULACIÓN (MATERIALES)	Subtotal	\$ 1.800.260
SISTEMA DE ACUMULACIÓN (MANO DE OBRA)	Subtotal	\$ 340.000
DE LA BOMBA AL ESTANQUE DE ACUMULACIÓN	Subtotal	\$ 65.020
DEL ESTANQUE AL SISTEMA DE RIEGO	Subtotal	\$ 64.080
SISTEMA DE RIEGO DENTRO DEL INVERNADERO	Subtotal	\$ 324.693
SISTEMA DE RIEGO (MANO DE OBRA)	Subtotal	\$ 72.000
ESTRUCTURA FIJACIÓN PANEL SOLAR	Subtotal	\$ 77.480
CABLEADO DEL SISTEMA DE BOMBEO	Subtotal	\$ 33.494
CONEXIÓN A TIERRA	Subtotal	\$ 21.190
INSTALACIÓN ELÉCTRICA (MANO DE OBRA)	Subtotal	\$ 75.000
	TOTAL	\$ 4.593.380

Tabla 4-13: Costos total del proyecto
Fuente: Elaboración propia.

Es necesario afirmar que los precios cotizados para proyecto pueden variar dependiendo del proveedor y de otros factores, por lo que el presupuesto es una estimación y tiene un margen de error.

Para calcular el 10% de utilidad que se desea conseguir es necesario realizar el siguiente calculo:

$$Utilidad = Costo\ total\ del\ proyecto * 0,10$$

Como el costo total del proyecto es de \$4.278.390 pesos chilenos, la utilidad será:

$$Utilidad = \$4.593.380 * 0,10 = \$459.338\ pesos\ chilenos$$

En definitiva, el costo final del proyecto para aquellas personas que quieran implementarlo se debe calcular de la siguiente forma:

$$Costo\ final\ del\ proyecto = Costo\ total + utilidad$$

$$Costo\ final\ del\ proyecto = \$4.593.380 + \$459.338 = \$5.052.718\ pesos\ chilenos$$

Por lo tanto, el costo final de proyecto para ser implementado será de \$5.052.718 pesos chilenos.

CONCLUSIONES

Finalizando este proyecto de bombeo solar, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- Chile, por su privilegiada climatología y ubicación geográfica, se ve particularmente favorecido respecto a la radiación solar, posicionándose incluso por sobre a países que tienen bien desarrollada esta forma de generar energía. Por lo tanto, se debe aprovechar esta fuente energética natural e inagotable para el desarrollo de más proyectos como este.
- Los sistemas de bombeo solar fotovoltaico para riego presentan características que los hacen muy atractivos y útiles para dueños de invernaderos en la región del Biobío. Son pequeños y autónomos, no consumen combustible, no contaminan, además, son silenciosos y sus gastos de mantenimiento son mínimos. Dichas razones, hacen que esta particular alternativa de riego siga creciendo en el mundo agrícola.
- El agua es un recurso natural no renovable y a la vez un recurso limitado, por ello se requiere un uso eficiente, que haga compatible la satisfacción de las demandas hídricas con el respeto al medio ambiente y a los demás recursos naturales. En este proyecto se da un enfoque de eficiencia máxima del uso de agua gracias al estanque que permite acumular agua para realizar el riego de los cultivos cuando se estime conveniente. Además, cabe recalcar que el sistema de riego por goteo expuesto en este proyecto tiene una eficiencia cercana al 90%, por lo cual se produce una gestión eficiente en el uso del recurso hídrico.
- El principal beneficio que se busca entregar a las personas con este proyecto es el hecho de aprovechar los recursos naturales de forma optimizada, con el fin primordial de obtener alimentos propios, saludables y de calidad.
- El sistema de riego con acumulación entrega un plus de autonomía, ya que permite realizar los riegos incluso cuando no exista radiación solar. Pero trae consigo un costo elevado por la fabricación de la torre de acumulación.
- Este proyecto también podría haberse realizado sin un estanque de acumulación, incluso utilizando la misma bomba seleccionada. De tal manera, se podría haber ahorrado el gasto significativo de la estructura de acumulación. Pero existiría el problema de no poder acumular agua ni menos realizar los riegos en periodos de baja radiación. Además, este sistema sin acumulación perdería la eficiencia en la gestión del agua.
- Es lógico afirmar que el sistema de riego con acumulación es más conveniente cuando el invernadero tiene menos metros cuadrados, ya que se necesitaría un caudal de agua y una presión menor, por lo tanto la torre de acumulación tendría que ser de menor altura, es decir, los costos estructurales y del sistema de riego en general se reducirían considerablemente en invernaderos más pequeños. Por el contrario si se requiriera regar una superficie de mayor tamaño los costos aumentarían y ya no sería tan rentable el sistema de acumulación.

- Si bien en este proyecto se calculó que la capacidad máxima que debe tener el estanque de acumulación, para la etapa de mayor demanda de agua por parte de los cultivos, es 500 L, la idea es poder acumular mayor cantidad de agua para hacer aún más eficiente el sistema, por lo que es recomendable en ciertos casos tener un estanque de mayor capacidad. Al fin y al cabo esto siempre dependerá del requerimiento y de la cantidad de dinero que se está dispuesto a invertir para un estanque de mayor capacidad.
- Con este proyecto, se estarían reduciendo 34,2 kg anuales de CO₂, lo cual es una cantidad baja, pero al fin y al cabo ayuda en la lucha contra el cambio climático.
- El costo final del proyecto para ser comercializado es de \$5.052.718 pesos chilenos.

REFERENCIAS

BIBLIOGRAFIA

- Miguel Moro Vallina. (2012). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. Paraninfo.
- Robert L. Mott. (2015). *Mecánica De Fluidos - 7ª Edición*. Pearson Educación.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP), & DGA. (2016). *ATLAS DEL AGUA CHILE*
- FUNDACIÓN CHILE (2019, junio). *TRANSICIÓN HIDRICA, el futuro del agua en Chile*. Escenarios hídricos 2030.
- FAO. (2015). *Perfil de País - Chile (versión 2015)*. Aquastat informes.
- ODEPA. (2017). *Agricultura Chilena, reflexiones y desafíos al 2030*.
- ODEPA. (2018). *Región del Biobío, Información regional 2018*.
- Ministerio de Energía. (2018). *Energía 2050, política energética de Chile*.
- Ministerio de Energía. (2012). *PLAN DE ACCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA 2020*.
- SMA. (2009). *Factor para calcular la prevención de CO2 durante la generación de corriente*. Información técnica.

LINKOGRAFIA

- METASOLAR. (2020). *Proyectos - METASOLAR*. <https://metasolar.cl/proyectos/>
- *EL AGUA Y LA AGRICULTURA*. (2002). FAO.
<http://www.fao.org/worldfoodsummit/sideevents/papers/y6899s.htm>
- *EL AGUA EN LA AGRICULTURA*. (2015). World Bank.
<https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>
- *Consumo eléctrico crecerá 83% en 20 años y las energías renovables tendrán un rol clave*. (2019). Generadoras de Chile. <http://generadoras.cl/prensa/consumo-electrico-crecera-83-en-20-anos-y-las-energias-renovables-tendran-un-rol-clave>

- *Instalación Solar Fotovoltaica para el Bombeo de Agua para Riego.* (2013). Ingemecanica. <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn193.html>
- *Riego por Goteo.* (2016). Ingemecanica. <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn207.html>
- I.A.E.M. (2014). *Invernaderos: aspectos básicos sobre estructura, construcción y condiciones ambientales.* https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_agricultura23_invernadero.pdf
- *La Densidad de Siembra.* (2017). Lamsa. <http://www.lamsa.com.mx/node/1418>
- *Distancia entre plantas de tomate.* (2012). MundoHuerto. <https://www.mundohuerto.com/cultivos/tomate/distancia-entre-plantas>
- *Agricultura. El cultivo de la acelga.* (2011). Infoagro. <https://www.infoagro.com/hortalizas/acelga.htm>
- Cruz, V. (2017, 8 noviembre). *Recomendaciones para el cultivo de lechuga.* Seminis. <https://www.seminis.mx/blog-recomendaciones-para-el-cultivo-de-lechuga/>
- *A qué distancia se plantan las cebollas.* (2013). MundoHuerto. <https://www.mundohuerto.com/cultivos/cebolla/distancia-plantar-cebollas>
- Dr. Jorge Flores-Velázquez. (2019). *Riego en cultivos de alto rendimiento.* Hortalizas. <https://www.hortalizas.com/cultivos/riego-en-cultivos-de-alto-rendimiento-a-campo-abierto-y-en-condiciones-protegidas/>
- *Indicadores Ambientales - Factor de emisiones GEI del Sistema Eléctrico Nacional | Ministerio de Energía.* (2018). Ministerio de energía. <https://www.energia.gob.cl/indicadores-ambientales-factor-de-emisiones-gei-del-sistema-electrico-nacional>

ANEXOS

ANEXO 1

**TABLA G.3 Dimensiones de tubería plástica de PVC a presión
—tamaños métricos**

Unidades del SI

Tubería plástica de PVC a presión —tamaños seleccionados

Diámetro exterior <i>OD</i> (mm)	Espesor de pared <i>t</i> (mm)	Diámetro interior <i>ID</i> (mm)	Área de flujo <i>A</i> (m ²)	Clasificación de presión <i>p</i> (bar)
16	1.5	13.0	1.327×10^{-4}	16
20	1.5	17.0	2.270×10^{-4}	16
25	1.9	21.2	3.530×10^{-4}	16
32	2.4	27.2	5.811×10^{-4}	16
40	3.0	34.0	9.079×10^{-4}	16
50	2.4	45.2	1.605×10^{-3}	10
50	3.7	42.6	1.425×10^{-3}	16
63	3.0	57.0	2.552×10^{-3}	10
63	4.7	53.6	2.256×10^{-3}	16
75	3.6	67.8	3.610×10^{-3}	10
75	5.6	63.8	3.197×10^{-3}	16
90	2.8	84.4	5.595×10^{-3}	6
90	4.3	81.4	5.204×10^{-3}	10
90	6.7	76.6	4.608×10^{-3}	16
125	3.1	118.8	1.108×10^{-2}	6
125	4.8	115.4	1.046×10^{-2}	10
125	7.4	110.2	9.538×10^{-3}	16
160	4.0	152.0	1.815×10^{-2}	6
160	6.2	147.6	1.711×10^{-2}	10
160	9.5	141.0	1.561×10^{-2}	16
200	4.9	190.2	2.841×10^{-2}	6
200	7.7	184.6	2.676×10^{-2}	10
200	11.9	176.2	2.438×10^{-2}	16
250	6.2	237.6	4.434×10^{-2}	6
250	9.6	230.8	4.184×10^{-2}	10
250	14.8	220.4	3.815×10^{-2}	16
400	9.8	380.4	1.137×10^{-1}	6
500	12.3	475.4	1.775×10^{-1}	6

Fuente: epco-plastics.com/pdfs/pvc

Notas: 1. Existen muchos otros tamaños y espesores de pared disponibles.
2. Equivalencias de presión:

- 6 bar = 600 kPa = 87 psi
- 10 bar = 1000 kPa = 145 psi
- 16 bar = 1600 kPa = 232 psi

Anexo 1: Dimensiones de tuberías
Fuente: Mecánica de Fluidos, Robert Mott.

ANEXO 2



**CHILE LO
HACEMOS
TODOS**

ANEXOS TÉCNICOS DE RIEGO
Versión 1.0

Página 1 de
12

**ANEXO
PAUTA PARA ELABORACIÓN DE PROYECTOS
RIEGO LOCALIZADO DE ALTA FRECUENCIA
RLAF**

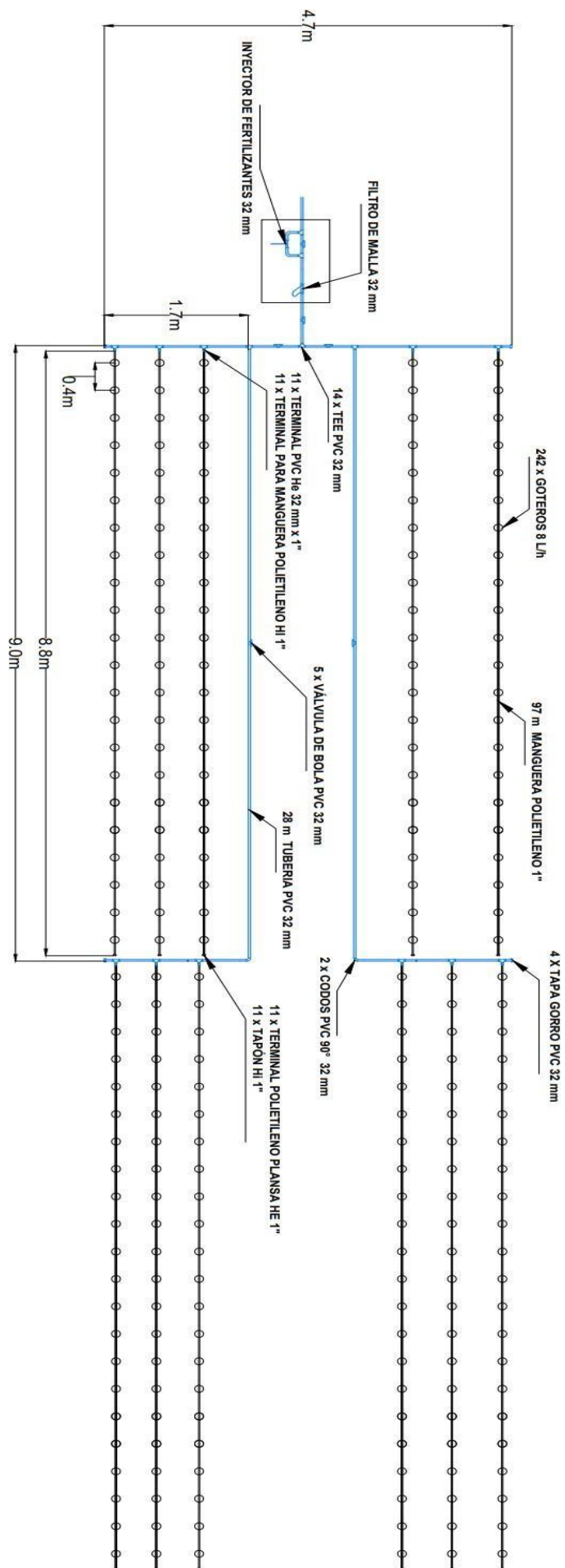
**INSTITUTO DE DESARROLLO AGROPECUARIO
INDAP**

MINISTERIO DE AGRICULTURA

Anexo 2: Pauta para elaboración de proyectos riego localizado de alta frecuencia
Fuente: INDAP.

<https://www.indap.gob.cl/docs/default-source/default-document-library/anexo-sobre-riego-localizado-de-alta-frecuencia.pdf>

ANEXO 3



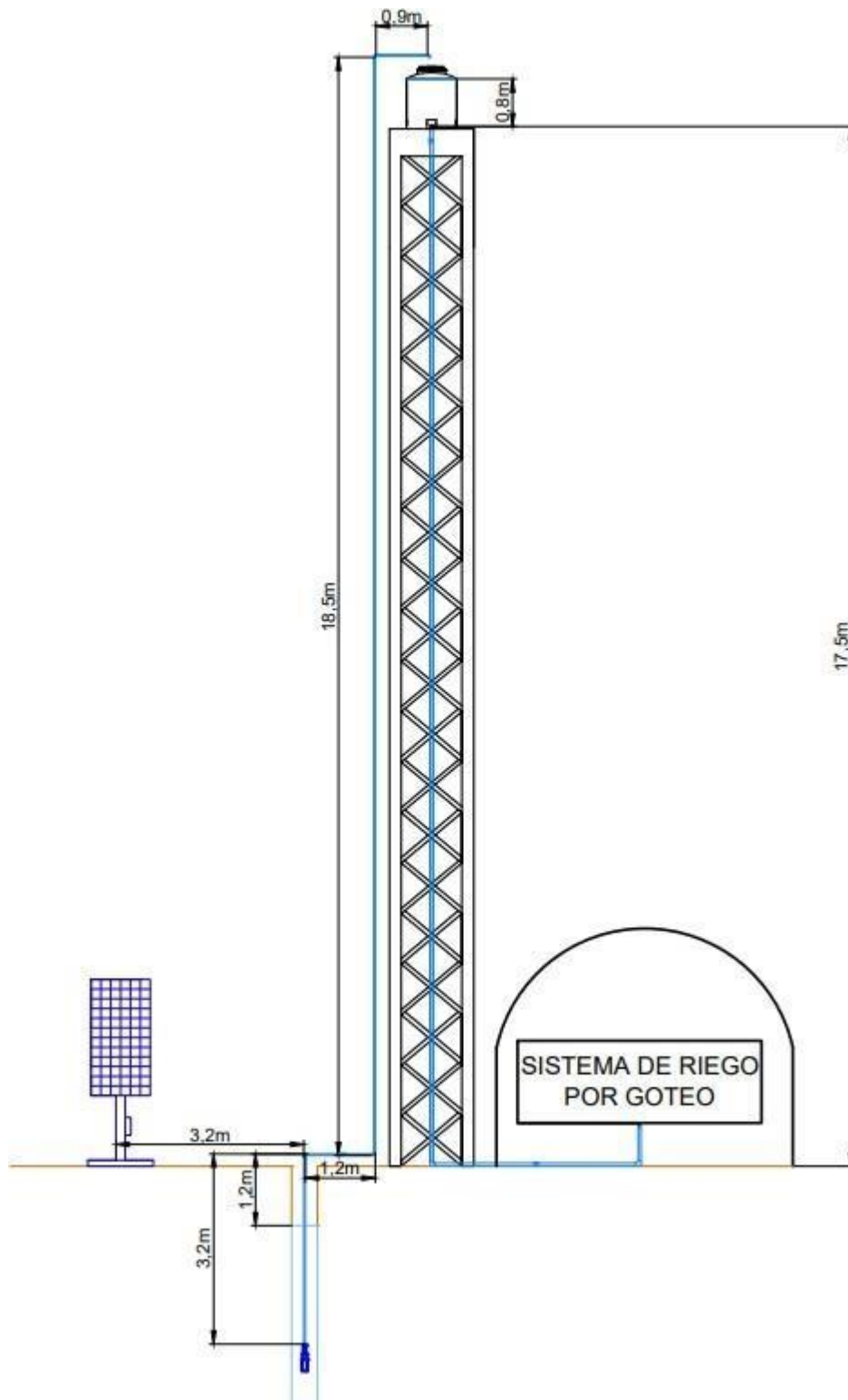
Anexo 3: Plano del sistema de riego por goteo
Fuente: Elaboración propia AUTOCAD.

ANEXO 4

Pieza, conexión o dispositivo	K_L
Rejilla de entrada	0.80
Válvula de pie	3.00
Entrada cuadrada	0.50
Entrada abocinada	0.10
Entrada de borda o reentrada	1.00
Ampliación gradual	0.30
Ampliación brusca	0.20
Reducción gradual	0.25
Reducción brusca	0.35
Codo corto de 90°	0.90
Codo corto de 45°	0.40
Codo largo de 90°	0.40
Codo largo de 45°	0.20
Codo largo de 22° 30'	0.10
Tee con flujo en línea recta	0.10
Tee con flujo en ángulo	1.50
Tee con salida bilateral	1.80
Válvula de compuerta abierta	5.00
Válvula de ángulo abierta	5.00
Válvula de globo abierta	10.0
Válvula alfallera	2.00
Válvula de retención	2.50
Boquillas	2.75
Controlador de gasto	2.50
Medidor Venturi	2.50
Confluencia	0.40
Bifurcación	0.10
Pequeña derivación	0.03
Válvula de mariposa abierta	0.24

Anexo 4: Pérdidas de carga localizadas o en accesorios
Fuente: www.hidraulicafacil.com

ANEXO 5



Anexo 5: Plano de la instalación de riego tecnificado
Fuente: Elaboración propia AUTOCAD.

ANEXO 6

Dibujos técnicos

Frontal Lateral Abajo

Rendimiento eléctrico y dependencia de la temperatura

Curvas de Intensidad-Tensión y potencia-luz (210W)

Coefficiente de temperatura según Isc, Voc y Pmax

Embalaje

(Dios, según = en pulgadas)

25 pzs./caja, 50 pzs./caja, 600 pzs./40 HQ contenedores

Características mecánicas

Tipo de célula	Policristalina	156x156 mm (6 pulgadas)
Nº de células	72 (6x12)	
Dimensiones	1956x992x40mm (77,01x39,05x1,57 pulgadas)	
Peso	26,5 kg (58,4 libras)	
Vidrio frontal	40mm, alta transmisión, bajo contenido en hierro, vidrio templado	
Estructura	Aleación de aluminio anodizado	
Caja de conexión	Clase IP67	
Cables de salida	TUV 1x4,0 mm ² , Longitud: 900mm	

ESPECIFICACIONES

Tipo de módulo	JKM10PP		JKM15PP		JKM20PP		JKM25PP		JKM30PP	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Potencia nominal (Pmáx)	310Wp	231Wp	315Wp	235Wp	320Wp	238Wp	305Wp	242Wp	330Wp	248Wp
Tensión en el punto Pmáx-VMPP (V)	37,2V	33,9V	37,2V	34,3V	37,4V	34,7V	37,8V	35,0V	37,8V	35,3V
Corriente en el punto Pmáx-IMPP (A)	8,38A	6,81A	8,48A	6,84A	8,56A	6,86A	8,06A	6,91A	8,74A	6,97A
Tensión en circuito abierto-VOC (V)	45,9V	42,7V	46,2V	43,2V	46,4V	43,7V	46,7V	44,0V	46,9V	44,1V
Corriente de cortocircuito-ISC (A)	8,96A	7,26A	9,01A	7,29A	9,05A	7,30A	9,15A	7,34A	9,14A	7,38A
Eficiencia del módulo (%)	15,08%		16,23%		16,49%		16,75%		17,01%	
Temperatura de funcionamiento (°C)					-40°C/+85°C					
Tensión máxima del sistema					1000VDC (IEC)					
VALORES máximos recomendados de los fusibles					15A					
Tolerancia de potencia nominal (%)					0/+3%					
Coefficiente de temperatura de PMAX					-0,40%/°C					
Coefficiente de temperatura de VOC					-0,30%/°C					
Coefficiente de temperatura de ISC					0,06%/°C					
TEMPERATURA operacional nominal de célula					46±2°C					

STC: ☀️ Radiación 1000 W/m² 🌡️ Célula módulo 25°C ☁️ AM=1,5

NOCT: ☀️ Radiación 800 W/m² 🌡️ Ambiente módulo 20°C ☁️ AM=1,5 🌀 Velocidad del viento 1m/s

• TOLERANCIA de medición de potencia: ± 3%

La empresa se reserva el derecho final de explicación de toda la información presentada por este medio. SP-MKT-330PP_rev2016

Anexo 6: Catalogo y especificaciones técnicas del panel solar JINKO SOLAR JKM 330-72P
Fuente: www.autosolar.es

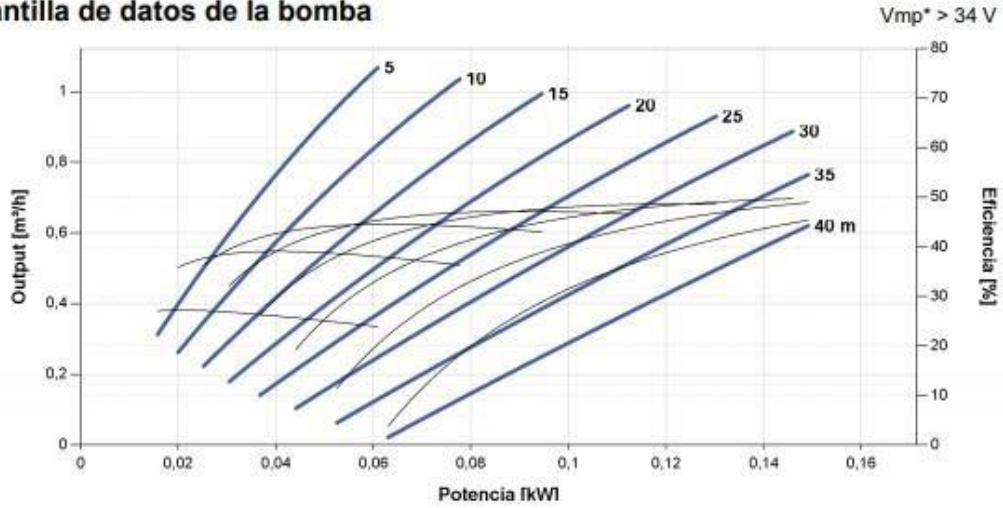
<https://autosolar.es/pdf/Ficha-Tecnica-Jinko-Solar-305-330W.pdf>



PS2-100 AHRP-07S

Sistema de bomba inmersa para pozos de 3,5"

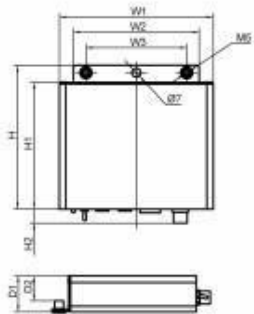
Plantilla de datos de la bomba



Dimensiones y pesos

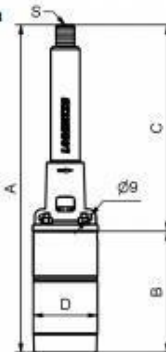
Controlador

- H = 115 mm
- H1 = 101 mm
- H2 = 11 mm
- W1 = 122 mm
- W2 = 100 mm
- W3 = 80 mm
- D1 = 29 mm
- D2 = 20 mm



Unidad de bomba

- A = 455 mm
- B = 165 mm
- C = 290 mm
- D = 88 mm
- S = 1 in



	Peso neto
Controlador	0.70 kg
Unidad de bomba	5.4 kg
Motor	4.5 kg
Cabeza de bomba	0.90 kg

*Vmp: Voltaje máximo de carga en STC

BERNT LORENTZ GmbH
 Siebenstuecken 24, 24558 Hensfeld-Ulzburg,
 Germany, Tel +49 (0)4193 8806-700, www.lorentz.de

Creado por LORENTZ COMPASS 3.1.0.200
 Todas las especificaciones e información están dadas con buenas intenciones. Los errores son posibles y los productos pueden estar sujetos a cambios sin ninguna notificación. Las fotografías pueden diferenciar de los productos actuales dependiendo de los requerimientos y regulaciones del mercado local.

Sun. Water. Life.

Anexo 7: Características de la bomba y el controlador seleccionados
 Fuente: COMPASS de Lorentz.

ANEXO 8



BERNT LORENTZ GmbH
 Siebenstuecken 24
 D-24558 Henstedt-Ulzburg
 www.lorentz.de

Tel: +49-(0)4193 8806-700
 Fax:
 info2018@lorentz.de

viernes, 13 de agosto de 2021

UTFSM

Proyecto de título, Bombeo Solar

Proyecto de bombeo solar

Parámetro

Lugar:	Chile, Los Ángeles (38° Sur; 73° Oeste)	Temperatura del agua:	10 °C
Rendimiento diario requerido:	1,5 m³; Dimensionamiento para mes promedio	Pérdida por suciedad :	5,0 % Cable motor: 8,0 m
Tipo de tubería:	-	Altura dinámica:	21 m Longitud de tubería: -

Productos

Cantidad	Detalles
1 pz.	Sistema de bomba sumergible, incluido regulador, motor y extremo de la bomba
1 pz.	330 Wp; 1 x 1 módulos PV; 35 ° inclinado
8,0 m	6 mm² Cable trifásico para la corriente y cable monofásico para la conexión a tierra
1 conjunto	PS2-100 Well Probe / Float Switch Extension Cable

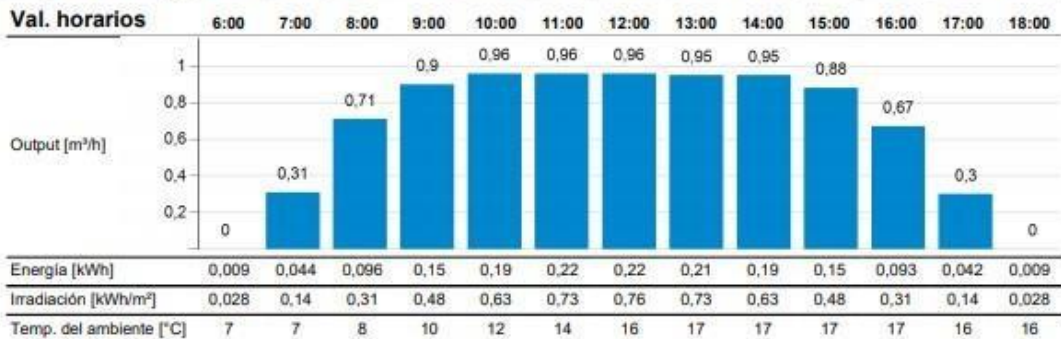
Rendimiento diario en mes promedio

8,5 m³

Val. diarios



Val. horarios



1/5



Creado por LORENTZ COMPASS 3.1.0.200
 Todas las especificaciones e información están dadas con buenas intenciones. Los errores son posibles y los productos pueden estar sujetos a cambios sin ninguna notificación.



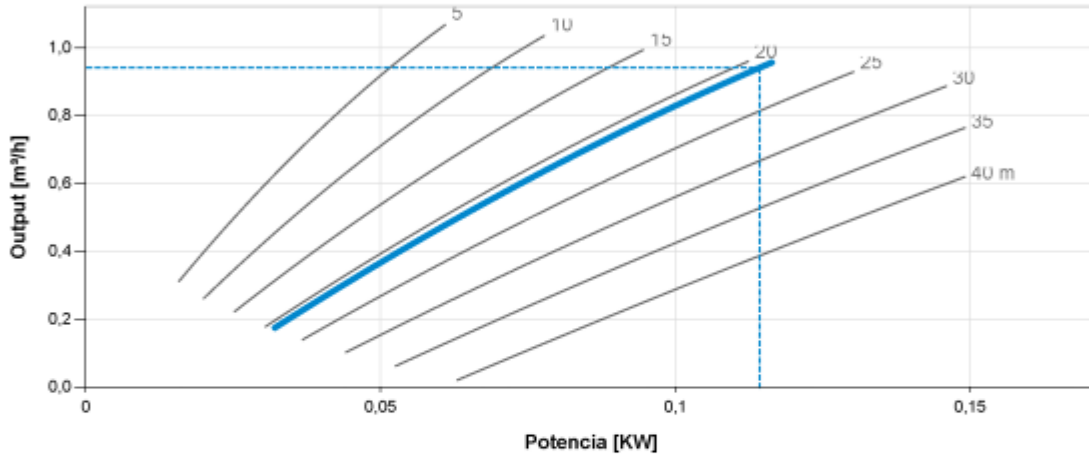
viernes, 13 de agosto de 2021

UTFSM

Proyecto de título, Bombeo Solar

Proyecto de bombeo solar

Característica del sistema



		Min.	800 W/m², 20 °C	Max./STC*
Generador PV	Temperatura de celda	[°C]	46	25
	Pérdida de temperatura	[%]	8,4	-
	Pérdida por suciedad	[%]	5,0	-
	Pmax	[Wp]	230	330
	Vmp	[V]	35	38
	Imp	[A]	6,6	9
	Voc	[V]	43	47
	Isc	[A]	7,0	9
	Pout	[W]	116	-
	Vout	[V]	41	-
	Iout	[A]	2,8	-
Cable motor	Pérdida de potencia	[%]	0,33	0,91
Sistemas de bombeo	Potencia motor	[W]	32	114
	Voltaje motor	[V EC]	13	40
	Corriente motor	[A]	2,5	2,8
	Revoluciones motor	[rpm]	710	2.460
	Flujo	[m³/h]	0,18	0,94
	Eficiencia	[%]	31	47

*STC: Condiciones estándares de prueba: 1.000 W/m², temperatura de célula 25 °C

Anexo 8: Informe de características del sistema de bombeo PS2-100 AHRP-07S
 Fuente: COMPASS de Lorentz.