

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA - SEDE CONCEPCIÓN – REY
BALDUINO DE BÉLGICA

SISTEMA DE BOMBEO UTILIZANDO ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniero en Mantenimiento Industrial.

Bladimir Ignacio Parra González

Profesor guía: Alex Eriz Soto

Jefe de carrera: Marcelo Quiroz Neira

Universidad Técnica Federico Santa María

Ingeniería en mantenimiento industrial

2024

Universidad Técnica Federico Santa María
Ingeniería en mantenimiento Industrial

Dedicatoria

A mi familia en especial a mis padres y mis abuelos, por ser un pilar fundamental en mi vida.

A mis profesores por todas las enseñanzas en estos 4 años.

A mis amigos por siempre estar ahí para ayudarme y apoyarme.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia en especial mis padres y mi abuela por el amor y apoyo que me han dado a lo largo de mi vida, por siempre estar presentes para mí, preguntándome como estaba, como me iba, que necesitaba, porque si no fuera por ellos no hubiera logrado llegar está acá.

Agradecer a mis profesores por todas sus enseñanzas y consejos que me ayudaron a crecer como persona y como profesional.

A mis amigos de la infancia que han estado ahí para mí desde casi toda mi vida y sé que puedo contar con ellos siempre, A mis amigos que conocido en el proceso especialmente a benjamín, Gabriela, Kevin, nicolas y Raúl donde todos aportaron con un granito de arena para que yo pudiera llegar hasta aquí, dándome su apoyo, su tiempo, risas, hacer que este último año en la universidad sea el mejor, gracias, por tanto.

Resumen

El propósito de este proyecto de título es implementar un sistema de riego fotovoltaico en la parcela El Peumo en la región de Bio-Bio, cuyo objetivo principal es mejorar la producción agrícola con incursión en el cultivo de paltas.

Se seleccionará una fuente de energía viable por medio de un análisis adecuado utilizando una tabla de multicriterio. Este modelo analizará la viabilidad de energía solar, eólica y química, sobre la base de cinco criterios esenciales, a saber, mantenibilidad, coste de inversión y rentabilidad, sustentabilidad y factibilidad.

cálculo y diseño de sistema de bombeo solar será realizado por software especializado en dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos PVsyst. Este software determinará los grados de inclinación de los paneles solares; calcular la cantidad óptima de paneles para cumplir con las necesidades de energía de la bomba, simular el rendimiento del bombeo sistema una vez instalado.

Adicionalmente se creará un plan de mantenimiento, para garantizar el óptimo funcionamiento del sistema de bombeo solar fotovoltaico.

Se realizará un cálculo para identificar la reducción de emisiones de CO2 gracias a la implementación del proyecto.

Se llevará a cabo una evaluación económica integral para analizar los costos de la adquisición del equipo y la mano de obra. Se realizará un flujo de caja para identificar y cuantificar el rendimiento de la inversión realizada en un tiempo específico para proporcionar una descripción detallada de cuándo el proyecto se volverá rentable. Por lo tanto, el objetivo no es solo mejorar la productividad agrícola sino también usarla de manera responsable, contribuyendo con el medio ambiente y asegurar la sostenibilidad a largo plazo del sistema implementado.

Índice

Introducción	1
Objetivo General	2
Objetivos específicos	3
CAPITULO I.....	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1 Planteamiento del problema	4
1.1 descripción de proyecto	5
1.2 justificación del proyecto.....	5
CAPITULO II.....	7
MARCO TEORICO	7
2. introducción a la energía fotovoltaica.	6
2.1 <i>Que es la energía fotovoltaica.</i>	6
2.2 <i>Efecto fotovoltaico</i>	6
2.3 <i>Como funciona la energía fotovoltaica.</i>	7
2.4 <i>Tipos de instalaciones fotovoltaicas</i>	8
2.5 <i>Tipos de paneles fotovoltaicos.</i>	9
2.6 <i>Monitoreo a sistema de paneles fotovoltaicos</i>	11
2.7 <i>Principales componentes de una instalación fotovoltaica.</i>	11
2.8 <i>Estructura panel fotovoltaico</i>	13
2.9 <i>Introducción al bombeo de agua con energía fotovoltaica.</i>	16
2.10 <i>Ventajas del uso de la energía fotovoltaica para el bombeo de agua.</i>	16
2.11 <i>Porque la energía fotovoltaica es la mejor opción</i>	18
2.12 <i>Sistema de bombeo.</i>	20
2.13 <i>Tipos de bombas de bombeo de agua.</i>	21
CAPITULO IV	25
DISEÑO Y SOLUCION	25
3.1 Demanda de agua	27
3.2 Perfil de pozo.	33
.....	33
.....	33
3.2 Dimensionamiento Bomba sumergible.	35

3.3 Elección de Bomba sumergible.	37
3.4 Dimensionamiento paneles fotovoltaicos.....	39
3.5 Orientación paneles fotovoltaicos.....	40
3.6 Dimensionamiento paneles fotovoltaicos por software.	42
3.7 Simulación de rendimiento sistema de bombeo fotovoltaico.	43
3.8 Línea de impulsión.....	45
3.9 Plan de mantenimiento.....	57
CAPÍTULO V: EVALUACIÓN ECONÓMICA	64
4.1 Matriz de presupuesto	66
.....	66
4.2 Flujo de caja	66
.....	67
CONCLUSION Y RECOMENDACIONES.....	68
Bibliografía	69

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1 panel monocristalino fuente: https://tritec-intervento.cl/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/	9
Ilustración 2 panel policristalino fuente: https://tritec-intervento.cl/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/	10
Ilustración 3 panel capa fina fuente: https://tritec-intervento.cl/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/	10
Ilustración 4 sistema de monitoreo a paneles fotovoltaicos fuente: https://redsolarmid.com/blog/f/%C2%BFc%C3%B3mo-monitorear-la-producci%C3%B3n-de-mis-paneles-solares	11
Ilustración 5 Inversor fuente: ggelectrics	11
Ilustración 6 Bateria paneles fotovoltaico fuente: klipartz.....	12
Ilustración 7 célula solar fuente: portal solar	12
Ilustración 8 controlador de carga fotovoltaico fuente: soliot CL.....	12
Ilustración 9 Estructura de montaje fuente: EMAT chile	13
Ilustración 10 Estructura panel fotovoltaico fuente; https://material-electrico.cdecomunicacion.es/opinion/ignacio-martil/2023/11/15/estructura-y-peculiaridades-de-los-paneles-fotovoltaicos-estandares	13
Ilustración 11 Perfil pozo fuente: creación propia	33
Ilustración 12 Perforación pozo fuente: elaboración propia	33
Ilustración 13 perforación pozo fuente: elaboración propia	34
Ilustración 14 Software PVsyst Fuente: https://www.pvsyst.com/download-pvsyst/	35
Ilustración 16 Dimensionamiento sistema de bombeo fuente: PVsyst	37
Ilustración 17 bomba sumergible fuente: koslan	37
Ilustración 18 Características bomba leo 4XRM4/14 fuente: koslan	38
Ilustración 19 curva de rendimiento bomba fuente: koslan.....	38
Ilustración 20 Ubicación geográfica proyecto fuente: googlemaps	39
Ilustración 21 Inclinación panel solar fuente: PVsyst	40
Ilustración 22 Dimensionamiento sistema fotovoltaico fuente: PVsyst.....	43
Ilustración 23 Simulación sistema fuente: PVsyst.....	43
Ilustración 23 Simulación sistema fuente: PVsyst.....	43
Ilustración 24 Simulación sistema fuente: PVsyst.....	44
Ilustración 25 Simulación sistema fuente: PVsyst.....	44
Ilustración 26 Tanque de agua fuente: adrien.cl	54
Ilustración 27 Estructura de almacenamiento de agua fuente: elaboración propia	54
Ilustración 28 matriz de criticidad de sistema de bombeo fotovoltaico elaboración propia	

Índice de tablas

Tabla 1 Tabla multicriterio fuente: elaboración propia	18
Tabla 2 Tabla multicriterio fuente: elaboración propia	18
Tabla 3 Tolerancia de espesor de pared en un punto extradico de https://es.scribd.com/document/520557227/NCh-399	23
Tabla 4 Tolerancia de espesor de pared en un punto extradico de https://es.scribd.com/document/520557227/NCh-399	23
Tabla 5 Espesores nominal de pared mínimos Fuente: https://es.scribd.com/document/520557227/NCh-399	24
Tabla 6 tabla consumo de agua árbol joven fuente: elaboración propia	31
Tabla 7 tabla consumo de agua árbol en desarrollo fuente: elaboración propia	32
Tabla 8 tabla consumo de agua árbol adulto fuente: elaboración propia	32
Tabla 9 Temperatura media mensual por año Fuente: PVGIS	41
Tabla 10 Temperatura media mensual por año Fuente: PVGIS	41
Tabla 11 Irradiacion directa mensual por año fuente: PVGIS	41
Tabla 12 Irradiacion horizontal mensual por año fuente: PVGIS	42
Tabla 13 tabla coeficiente de accesorios fuente: CONAGUA	47
Tabla 14 Norma nch 399 dimensiones tuberías fuente: https://es.scribd.com/document/520557227/NCh-399	51
Tabla 15 Norma nch 399 dimensiones tuberías fuente: https://es.scribd.com/document/520557227/NCh-399	51
Tabla 16 Tabla valores presión de vapor de agua fuente: Scribd	52
Tabla 17 Tabla gravedad especifica del agua fuente: Scribd	52
Tabla 18 Tabla presión atmosférica agua fuente: Scribd	53
Tabla 19 Matriz de criticidad fuente: elaboración propia	57

Glosario

Nivel estático:

Dimensión en altura del punto donde se ubica el líquido a bombear (pozo, tanque subterráneo, masa de agua, etc.) hasta el lugar de la bomba.

Nivel dinámico:

Altura total que la bomba superará para transportar el líquido desde donde se encuentra hasta su destino.

Abatimiento:

Disminución de nivel del agua en un pozo en comparación con su nivel original.

Altura estática:

Atura del líquido en reposo, sin considerar la presión adicional generada por una bomba u otro dispositivo.

Npsh:

Carga neta positiva de succión, es un parámetro clave en los sistemas de bombeo que investigan la presión disponible en la entrada de una bomba centrífuga que se puede utilizar para protegerla de la cavitación.

Simbología

ETO	//	Evotranspiración del cultivo.
Ha	//	Hectárea.
Kc	//	Coeficiente del cultivo.
ETC	//	Cantidad real de agua necesaria para el cultivo.
RR cultivo.	//	Cantidad de agua para satisfacer las necesidades del
F	//	Frecuencia de riego.
Sp	//	Distancia de plantas.
G	//	Agua necesaria por planta.
Np	//	Punto de emisión por planta.
Qa	//	Caudal nominal del gotero.
Ta	//	Horas de riego.
L	//	Longitud.
Hg	//	Altura estática.
Q	//	Caudal.
V	//	Velocidad.

PSI	//	Libra de fuerza por pulgada cuadrada.
Pa	//	Unidad de presión del sistema internacional de unidades.
Bar	//	Unidad de presión, pero no es parte del sistema internacional.
D	//	Diámetro.
Z	//	Altura.
A	//	Área.
MCA	//	Metros por columna de agua.
Hp	//	Horse power.
PT	//	Potencia requerida.
Lt	//	Litro.
Lt/s	//	Litro por segundo.
Lt/m	//	Litro por minuto.
Lt/h	//	Litro por hora.
Pulg	//	Pulgada.
M	//	Metro.
M2	//	Metro cuadrado.
M3	//	Metro cubico.
M3/s	//	Metro cubico por segundo.
M3/h	//	Metro cubico por hora.

V	//	Voltaje.
A	//	Amperaje
W	//	Volteos.
W/m ²	//	Volteos por metro cuadrado.
C	//	Coeficiente de tubería.
J	//	Perdida de carga de tubería m.
Hm	//	Perdida de carga tubería MCA
Hb	//	Perdida de carga bomba
K	//	Coeficiente de perdida accesorios.

Introducción

Dada la creciente demanda de agua para fines agrícolas y la incidencia del cambio climático en la disponibilidad de los recursos hídricos, se están buscando soluciones sostenibles y eficientes para el riego. La energía fotovoltaica se perfila como la opción más prometedora para alimentar los sistemas de bombeo solar utilizados en la agricultura.

Con su potencial para producir electricidad limpia sin depender de la red eléctrica convencional, la energía solar en la agricultura abre nuevas oportunidades para utilizar los recursos de manera eficiente y sostenible, mientras se reduce la presión sobre el medio ambiente. A medida que la tecnología fotovoltaica se desarrolla y los costos disminuyen, la producción de electricidad fotovoltaica y la utilización de energía solar en la agricultura ofrecen un enorme potencial para cambiar la forma en que se realiza esta actividad.

Objetivo General

Proponer e implementar un sistema de riego a goteo utilizando energía fotovoltaica en la parcela el Peumo ubicado en la región del Bio- Bio mejorando así la producción agrícola y optimizando los recursos hídricos y energéticos de la zona.

Objetivos específicos

- Proponer un sistema de bombeo fotovoltaico para minimizar los costos de operación e impacto ambiental.
- Dimensionar la bomba más adecuada para el proyecto, teniendo en cuenta la cantidad de agua a bombear, caudal, eficiencia energética.
- Dimensionar el sistema fotovoltaico, para determinar la cantidad optima de paneles solares a utilizar, para satisfacer las demandas de energía de la bomba.
- Estimar la inversión total del proyecto, estimando en cuantos años se puede amortizar el proyecto.

CAPITULO I
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1 Planteamiento del problema

En la parcela “el Peumo”, Ubicada en la región del Bio-Bio se plantea llevar a cabo un proyecto de sistema de bombeo utilizando energía fotovoltaica, para satisfacer las necesidades hídricas de un proyecto de plantación de paltos que abarca una hectárea, se ha identificado un limitante crucial que es la falta de un sistema de bombeo adecuado, esta carencia representa un obstáculo importante, ya que con un sistema inadecuado los gastos energéticos se elevarían considerablemente, lo que conlleva una pérdida de capital importante.

El riego desempeña el papel más importante en la producción agrícola, los árboles frutales y especialmente los paltos, requieren una cantidad de agua significativa para mantener su crecimiento, una producción y calidad adecuada

Un sistema de bombeo inadecuado puede ser perjudicial, debido a que puede llevar una distribución irregular de agua, afectado negativamente a la salud y rendimiento de los paltos. Sin un sistema de bombeo eficiente, el tiempo y los recursos invertidos en el proyecto podrían desperdiciarse. Aquí es donde la implementación de un sistema de bombeo basado en energía fotovoltaica puede ofrecer una solución eficiente y sostenible. Al utilizar paneles solares para generar energía, se puede impulsar un sistema de bombeo de agua que garantice un suministro constante y controlado de agua para el riego de los paltos

1.1 descripción de proyecto

El proyecto tiene como objetivo principal buscar la manera más eficiente y renovable de suministrar energía al sistema de bombeo, reduciendo los costos de operación y también reduciendo la contaminación hacia el medio ambiente, para suministrar la cantidad de agua necesaria para el proyecto de plantación de paltos en la parcela "El Peumo", mediante la implementación de un sistema alimentado por energía fotovoltaica. Para lograr esto, se plantea calcular y proponer un sistema de bombeo solar, seleccionar la bomba más adecuada, determinar la cantidad óptima de paneles solares gracias a la utilización de un software, y estimar los costos de inversión. La falta de un sistema de bombeo adecuado representa un gasto de capital innecesario que puede ser abordado gracias a la implementación de paneles fotovoltaicos, para garantizar un riego eficiente y sostenible de los cultivos.

1.2 justificación del proyecto

La motivación principal es aprovechar al máximo la radiación solar existente en Chile, según estudios Chile es el país con más radiación solar en el planeta y desgraciadamente esto no es aprovechado a nivel país, siendo la electricidad o el uso de generadores a combustión los más utilizados para este tipo de actividades, cualquier energía renovable sería una opción viable teniendo en cuenta, el gasto de operación y la reducción de CO₂ en el medio ambiente.

CAPITULO II
MARCO TEORICO

2. introducción a la energía fotovoltaica.

2.1 Que es la energía fotovoltaica.

La energía fotovoltaica, es una de las energías renovables más eficientes, y más accesibles que hay en el mercado. Se obtiene de la conversión directa de la luz solar en electricidad. Este proceso se lleva a cabo mediante los paneles fotovoltaicos.

Hay materiales como el silicio que, como semiconductores, se comportan de manera diferente en relación con la electricidad. Los semiconductores reaccionan de manera diferente cada vez que son conmutados por una fuente de energía extranjera. En los paneles fotovoltaicos, es la energía producida por el sol y su radiación.

2.2 Efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico resulta de la generación de corriente eléctrica cuando dos objetos que no están hechos del mismo material entran en contacto con una radiación electromagnética, como la luz.

La energía solar fotovoltaica es la encargada de aprovechar este efecto. Los paneles solares se benefician de este evento gracias a sus células solares que generan energía.

El elemento principal de los dispositivos es el silicio, un fotón (partícula de radiación solar) cambia un electrón en el material, comienza el fenómeno fotovoltaico. Con la energía producida por los fotones, los electrones deben superar la fuerza que los atrae hacia el núcleo, también conocida como energía de valencia. La cuestión es que el electrón se desprende del átomo y se libera, se transporta y se mueve a través del material.

2.3 Como funciona la energía fotovoltaica.

Una celda fotovoltaica es un dispositivo electrónico que produce energía eléctrica a partir de la luz. En otras palabras, absorbe los fotones de la luz y libera electrones para convertirlos en una corriente eléctrica. Los paneles solares son solo varias celdas que trabajan juntas para generar más energía. Algunos paneles tienen 36 celdas o más.

La celda hace que los electrones libres se muevan de un material semiconductor a otro en busca de un "hueco" para llenar. Esto crea una variación de potencial y, por lo tanto, una corriente eléctrica. En otras palabras, la electricidad fluirá del punto de mayor potencial al de menor potencial hasta que el potencial en ambos puntos sea igual.

El material semiconductor que elija el fabricante es uno de los muchos factores que afectan la eficiencia de una celda o panel. La latitud en la que se instalen los paneles determina la cantidad de energía solar que se puede aprovechar. La orientación y la inclinación del dispositivo hacia la luz solar determinarán la eficiencia de una instalación.

Para convertir la corriente continua generada por los paneles solares en corriente alterna senoidal, los inversores solares son uno de los componentes más cruciales de una instalación solar. Esto significa que la instalación solar puede usar toda la corriente; la bomba en el caso del proyecto puede usar la corriente continua que se transforma en corriente alterna.

En cuanto a la eficiencia de los paneles solares, podemos decir que los módulos tienen una eficiencia promedio del 17 % al 19 %, aunque hay paneles en el mercado que pueden alcanzar casi el 23 %. Esto significa que, si un módulo tiene un 19 % de eficiencia, puede convertir el 19 % de la luz solar que recibe en ene

2.4 Tipos de instalaciones fotovoltaicas

Instalación solar aislada

Permite proporcionar energía a lugares donde no es posible acceder a la red eléctrica debido a que no es posible acceder ella por algún motivo en específico, es ideal para lugares remotos o para quienes desean independencia energética.

Estos kits incluyen paneles solares, inversores off grid, baterías y un controlador de carga solar. Se almacena la energía generada por el panel fotovoltaico en las baterías, para su uso en días nublados o por la noche.

Instalación de conexión a red

Estos kits están listos para ser instalados en lugares con acceso a red eléctrica y suministrados directamente a través de ella. El principal objetivo es reducir el consumo de electricidad y ahorrar en la energía eléctrica. A diferencia de la instalación solar aislada este usa un inversor on grid, ya que estos están optimizados para sincronizarse con la frecuencia y el voltaje de la red eléctrica.

2.5 Tipos de paneles fotovoltaicos.

Existe una variedad de tipos de paneles solares que se diferencian en su composición, eficiencia, costo. Los principales tipos de paneles solares son;

Paneles monocristalinos.

Está compuesto por silicio cristalino puro, son más oscuros que los otros tipos de paneles, esto conlleva a que tenga una mayor absorción de luz, tiene los bordes redondeados. Es el tipo de panel con mayor rendimiento que existe actualmente en el mercado con un 17% a 20% de rendimiento.

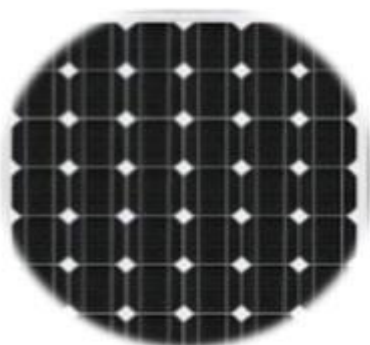


*Ilustración 1 panel monocristalino
fuente: <https://tritec-intervento.cl/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/>*

Paneles Policristalino.

Está compuesto por silicio solidificado en múltiples cristales, tienen un menor valor que los paneles monocristalinos debido a su costo de fabricación menos elevado y tiene un mejor rendimiento a altas temperaturas. Tiene un rendimiento de 13 a 15%.

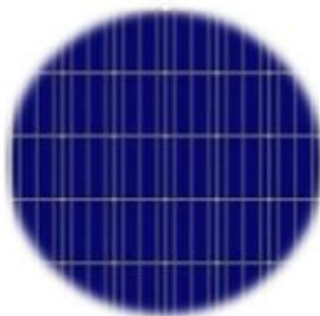


Ilustración 2 panel policristalino fuente: <https://tritec-intervento.cl/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/>

Paneles capa fina o amorfo.

Este compuesto por silicio amorfo, que es una forma de silicio no cristalino. su costo de fabricación es mucho menor a los de demás, lo que conlleva a que tenga un precio de mercado mucho más accesible, pero a costo de menor rendimiento. Su rendimiento es del 7% a 9%.



Ilustración 3 panel capa fina fuente: <https://tritec-intervento.cl/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/>

2.6 Monitoreo a sistema de paneles fotovoltaicos

El monitoreo a nuestro sistema de paneles fotovoltaicos es fundamental, para saber el rendimiento y prosperidad de este. Usualmente los inversores vienen con un sistema de monitoreo, que permiten visualizar rendimiento y las estadísticas del sistema a tiempo real. También existen plataformas de monitoreo y software, que funcionan a través de paginas web o aplicaciones móviles que permite a los usuarios recibir datos a tiempo real, alertas sobre estado de sistema, generar informes etc.

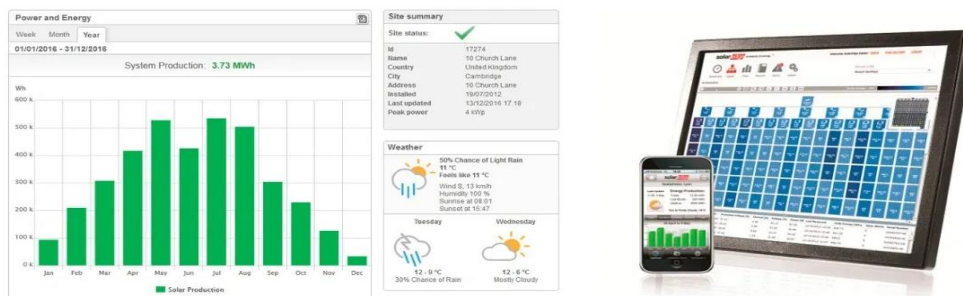


Ilustración 4 sistema de monitoreo a paneles fotovoltaicos fuente:

<https://redsolarmid.com/blog/f/%C2%BF%C3%B3mo-monitorear-la-producci%C3%B3n-de-mis-paneles>

2.7 Principales componentes de una instalación fotovoltaica.

Inversor.

Los inversores solares fotovoltaicos son dispositivos que transforman la energía generada por una instalación fotovoltaica, que se transmite en forma de corriente continua, en corriente alterna, lo que permite que los electrodomésticos y otros dispositivos eléctricos funcionen normalmente



*Ilustración 5 Inversor
fuente: ggelectrics*

Batería.

La energía adicional generada por las placas solares de nuestro tejado para que podamos usarla cuando la necesitemos. Esto nos permite usar la energía eléctrica durante las noches, cuando nuestros paneles solares no producen energía.



Ilustración 6 Bateria paneles fotovoltaico fuente: klipartz

Celda fotovoltaica.

Dispositivos que transforman directamente la energía solar en electricidad. El silicio cristalino y el silicio monocristalino, dos materiales semiconductores, son los componentes principales que los componen.



Ilustración 7 célula solar fuente: portal solar

Controlador de carga.

Un controlador de carga solar es un dispositivo electrónico que conecta la salida de CC de un panel solar a una batería. Controla el voltaje y la corriente para evitar sobrecargar o descargar la batería. También detecta cuando la corriente está baja y desconecta la carga para evitar que la batería se agote por completo.



Ilustración 8 controlador de carga fotovoltaico fuente: soliot CL

Estructura del montaje.

Actúa como soporte de los paneles y asegura que los paneles estén correctamente posicionados y orientados. Este hecho de acero inoxidable o acero galvanizado.

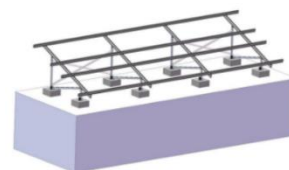


*Ilustración 9 Estructura de montaje
fuente: EMAT chile*

2.8 Estructura panel fotovoltaico

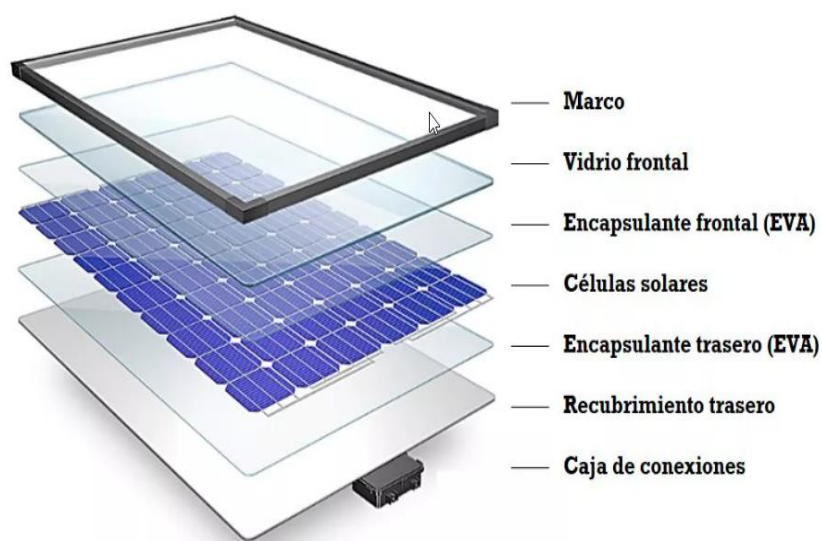


Ilustración 10 Estructura panel fotovoltaico fuente; <https://material-electrico.cdecomunicacion.es/opinion/ignacio-martil/2023/11/15/estructura-y-peculiaridades-de-los-paneles-fotovoltaicos-estandares>

Vidrio fotovoltaico.

Su función es ser un escudo vital, protegiendo las células solares de impactos de granizo, humedad, golpes etc. Capta de mayor manera la luminosidad, captando hasta un 93,5% mejorando la eficiencia en la conversión de la energía.

Captura la luz en un rango de 380 a 1100 nanómetros, refleja los rayos infrarrojos para reducir la absorción de calor y así mantener la eficiencia.

Existen diferentes espesores para estos tipos de vidrios, teniendo un espesor de 3,22 mm y una lámina posterior para los paneles monocristalinos, y para los paneles de doble vidrio suele tener un espesor de 2 mm para la parte frontal o trasera. Mejorando la producción y calidad de los paneles.

Lámina de encapsulado.

Sus principales funciones son la protección de los paneles solares, asegurando la estabilidad estructural, permite una excelente transmisión de luz, previenen la entrada de humedad, protegiendo así a componentes de corrosión

Celular solar.

Convierten la luz solar en energía, existen diferentes tipos de células solares como los son;

Tipo P, los agujeros (vacante en la estructura de electrones en un semiconductor) actúan como portadores de energía cuando son alcanzados por un campo eléctrico, generando una corriente eléctrica.

Tipo N, los electrones adicionales se mueven bajo un campo eléctrico, creando así una corriente eléctrica.

Lamina posterior.

Su función es proteger el modulo solar de factores ambientales como lo podrían ser, humedad, congelación, calor. Este compuesto por tres capas, un revestimiento exterior, un sustrato PET intermedio, y un revestimiento interior, con materiales como flúor y PVDF para protección UV.

Vidrio trasero.

Cumple con la función de seguridad contra incendios, barrera contra la humedad. También tiene propiedades aislantes que permiten manejar voltajes más altos.

Marco panel solar.

Está compuesto por aleación de aluminio que es un metal ligero. Cumple con la función de soporte estructural, protección de bordes, reducción de contaminación y humedad.

J-box

Su función es ser un conector entre los paneles solares y los circuitos externos, transmitiendo la energía eléctrica generada a sistemas de almacenamiento. También tiene una funcionalidad de monitoreo remoto, apagado inteligente y optimización de potencia, para mejorar la eficiencia.

2.9 Introducción al bombeo de agua con energía fotovoltaica.

El bombeo de agua con energía fotovoltaica es una solución sostenible y eficiente para obtener agua en áreas donde no hay electricidad o suministro un buen suministro de agua. Para este proyecto se va a requerir bombear una cantidad de agua considerable, para esto necesitamos una bomba sumergible que se adapte a los requisitos de caudal necesario el cual se va a bombear diariamente. y tener una cantidad de paneles solares que puedan suministrar la cantidad necesaria de energía a la bomba seleccionada.

Existen distintos tipos de bombas para este tipo de actividades, como lo son; bombas centrífugas, bombas sumergibles, bomba de agua de superficie, bomba de tornillo, entre otras. En este proyecto se va a utilizar una bomba sumergible dada las características del pozo, al cual se realizará la extracción de agua hacia la superficie.

Se puede utilizar un sistema de almacenamiento, como en este caso un tanque de agua para almacenar el agua bombeada durante el día, y utilizarla para el riego de los cultivos, además se pueden utilizar reguladores de carga y controladores para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema.

2.10 Ventajas del uso de la energía fotovoltaica para el bombeo de agua.

El bombeo de agua utilizando energía fotovoltaica tiene muchas ventajas, en el ámbito económico como también medio ambiental. La energía fotovoltaica es la solución ideal en este caso, la luz solar alimenta a la bomba, esto permite el riego eficiente y sostenible en los cultivos.

Capacidad de funcionar sin depender de una red

Esto lo convierte en una solución ideal para el proyecto, ya que este está ubicado en un lugar remoto sin acceso directo a energía eléctrica.

Rentabilidad

La inversión inicial de un sistema de bombeo solar puede ser alto a comparación de lo tradicional. Pero si lo vemos a largo plazo el ahorro de costo de energía pueden hacer el sistema de bombeo solar la opción más económica, a comparación de otras energías renovables o la misma energía eléctrica.

Funcionamiento

El funcionamiento de los sistemas de bombeo fotovoltaicos es relativamente simple, los paneles fotovoltaicos se montan sobre una plataforma, y se conectan a una bomba de agua. A medida que los paneles convierten la luz solar en electricidad la bomba se activa.

Vida útil

Los paneles fotovoltaicos tienen una vida útil mayor a 25 años, y le sistema de bombeo fotovoltaico pueden funcionar de manera confiable durante años. Con un plan de mantenimiento adecuado.

Bajo impacto ambiental

La energía fotovoltaica, como toda energía renovable produce energía de forma limpia, no produce contaminantes ni residuos peligrosos, lo que contribuye a la preservación del medio ambiente.

2.11 Porque la energía fotovoltaica es la mejor opción

Existen otras alternativas, que podrían ser factibles para la realización de este proyecto como lo podrían ser la energía eólica, química y la fotovoltaica, que es la escogida para realizar la función de suministrar energía al sistema.

Se realizó una tabla multicriterio para demostrar por que la energía fotovoltaica es la mejor opción para realizar este proyecto. se evaluaron los siguientes parámetros; costo de inversión, mantenibilidad, rentabilidad, gasto diario y factibilidad.

Criterio	Importancia	Energía Solar		Energía Eólica		Generador a Combustión	
		Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
Costo de Inversión	30	3	0.90	2	0.60	4	1.20
Mantenibilidad	25	4	1	3	0.75	2	0.50
Rentabilidad	20	5	1	3	0.60	2	0.40
Gasto Diario	15	5	0.75	4	0.60	2	0.30
Factibilidad	10	4	0.40	3	0.30	4	0.40
Total	100		4.05		2.85		2.80

ESCALA DE VALORIZACION		
ESCALA	DEFINICION	EXPLICACION
1	Inaceptable	Amenaza la ejecucion del proyecto
2	Deficiente	Perjudica la ejecucion del proyecto
3	Intermedio	Impacto medio en el proyecto
4	Suficiente	Beneficia al proyecto
5	Sobresaliente	Alta viabilidad al proyecto

Tabla 1 Tabla multicriterio fuente: elaboración propia

la tabla multicriterio demostró que la energía fotovoltaica es la mejor opción debido a estos puntos;

Mantenibilidad

La energía fotovoltaica es la mejor opción debido a que requiere menor mantenimiento. El mantenimiento hacia un sistema de paneles fotovoltaicos requiere menos inversión, esto porque el mantenimiento es más sencillo lo que resulta en una mano de obra más barata.

Rentabilidad

La energía fotovoltaica es generalmente la opción más rentable a largo plazo, esto debido a los bajos costos operacionales y la larga vida útil del sistema.

Costos de inversión

La energía fotovoltaica tiene un costo inicial bastante más accesible a comparación de las demás opciones.

Gasto diario

El gasto diario de un sistema de paneles fotovoltaicos es nulo, ya que no usa componentes externos como combustible para su funcionamiento.

Sustentabilidad

La sustentabilidad un panel fotovoltaico es muy bueno, ya que tiene impacto ambiental nulo durante su operación. Su fabricación implica una huella de carbono y ciertos impactos ambientales, pero no son significativos a comparación de otros procesos de fabricación.

Factibilidad

La energía fotovoltaica es muy factible, hablando económicamente, debido al bajo costo de inversión y a la rápida amortización que hay en este. Ambientalmente, es una opción atractiva debido a su nulo impacto ambiental a la hora de su operación, contribuyendo así a la reducción de CO₂ en la atmósfera. Técnicamente los paneles fotovoltaicos se benefician de una tecnología duradera, eficiente y adaptable.

2.12 Sistema de bombeo.

En este proyecto se utilizará una bomba sumergible. Las bombas sumergibles son un tipo de bomba hidráulica, diseñadas para operar bajo el agua, lo que permite bombear agua de manera más eficiente. Es una opción ideal para realizar bombeo en pozos profundos de manera efectiva a altos y bajos caudales.

Que es una bomba hidráulica.

Una bomba hidráulica es una máquina que transforma energía en fluido. A través de la presión, se logra trasladar una cantidad de agua de un lugar a otro para su uso.

La función de una bomba hidráulica es generar presión en el sistema, que luego permite que el fluido se mueva a través de tuberías y cilindros. Un pistón que es accionado por un motor eléctrico o una palanca manual produce esta presión.

2.13 Tipos de bombas de bombeo de agua.

Bomba sumergible

Estas bombas están diseñados para operar dentro de un pozo, bombeando agua desde bajo del agua hacia la superficie.

Bomba centrífuga

Estas bombas utilizan la fuerza centrífuga generada por un impulsor o rodete para mover agua de un lugar a otro. Son utilizados especialmente en la industria.

Bomba de engranajes

Esta bomba depende del uso de la fuerza de sus engranajes para transferir fluidos. Los engranajes y la carcasa de la bomba producen una fuerza de succión en la entrada que hace que el fluido se aspire.

Bomba de agua manual

Una bomba de agua manual consta de una válvula de pie, un pistón y un tubo de succión. El agua se eleva a través de la válvula de pie y del tubo de descarga después de que el tubo de succión se coloque en el agua y se mueva hacia arriba y hacia abajo para crear un vacío parcial. Dependiendo del diseño de la bomba, el pistón se puede accionar manualmente mediante una palanca o una manivela.

Bomba de diafragma

Esta bomba funciona mediante el movimiento de un diafragma flexible que permiten el bombeo de un fluido.

Bomba de paletas

Como dice el nombre esta bomba funciona a base de movimiento de paletas rotativas deslizantes o flexibles, para transportar un fluido.

Bomba rotativa

Se caracteriza por poseer un rotor que gira dentro del cuerpo de la bomba, una carcasa estacionaria. Este rotor puede tener lóbulos, dientes o paletas que se mueven para crear un vacío parcial que permite que el líquido ingrese a la cámara de bombeo.

2.9 Normas utilizadas en el proyecto.**Norma Nch399.**

Esta norma especifica las características de las tuberías de pared compacta de policloruro de vinilo no plastificado (PVC- U) para el suministro de agua bajo presión, enterrado o superficial.

También especifica los parámetros de ensayo para los métodos de ensayo a los que hace referencia la norma. Esta norma aplica a tuberías extruidas de PVC-U y sin campana (integrada o no) destinadas a utilizarse en las aplicaciones siguientes:

- a) Conducciones de agua en matrices y derivados enterradas (agua potable o riego)
- b) Transporte de agua en conducciones en superficie en el exterior y en el interior de edificios (agua potable o riego)

Esta norma también especifica una gama de dimensiones de tubería y de clases de presión, y establece requisitos respecto a colores.

Tabla 3 Tolerancia de espesor de pared en un punto extradido de
<https://es.scribd.com/document/520557227/NCh-399>

Dimensiones en milímetros

Espesor nominal de pared (mínimo)		Tolerancia para el espesor de pared	Espesor nominal de pared (mínimo)		Tolerancia para el espesor de pared
e_n			e_n		
>	≤		>	≤	
1,0	2,0	0,4	21,0	22,0	2,4
2,0	3,0	0,5	22,0	23,0	2,5
3,0	4,0	0,6	23,0	24,0	2,6
4,0	5,0	0,7	24,0	25,0	2,7
5,0	6,0	0,8	25,0	26,0	2,8
6,0	7,0	0,9	26,0	27,0	2,9
7,0	8,0	1,0	27,0	28,0	3,0
8,0	9,0	1,1	28,0	29,0	3,1
9,0	10,0	1,2	29,0	30,0	3,2
10,0	11,0	1,3	30,0	31,0	3,3
11,0	12,0	1,4	31,0	32,0	3,4
12,0	13,0	1,5	32,0	33,0	3,5
13,0	14,0	1,6	33,0	34,0	3,6
14,0	15,0	1,7	34,0	35,0	3,7
15,0	16,0	1,8	35,0	36,0	3,8
16,0	17,0	1,9	36,0	37,0	3,9
17,0	18,0	2,0	37,0	38,0	4,0
18,0	19,0	2,1	—	—	—
19,0	20,0	2,2	—	—	—
20,0	21,0	2,3	—	—	—

NOTAS

1)

La tolerancia aplica al espesor nominal de pared (mínimo) y se expresa en forma $^{+x}_0$ mm, donde x es el valor de la tolerancia para el espesor medio de pared, e_m .

2)

La tolerancia para el espesor de pared, e , en un punto cualquiera, se ajusta al grado W de ISO 11922-1^[2].

Tabla 5 Espesores nominal de pared mínimos Fuente: <https://es.scribd.com/document/520557227/NCh-399>

Dimensiones en milímetros							
Diámetro exterior nominal d_n	Series de tuberías S						
	Espesor nominal de pared (mínimo)						
	S 20 (SDR 41)	S 16 (SDR 33)	S 12,5 (SDR 26)	S 10 (SDR 21)	S 8 (SDR 17)	S 6,3 (SDR 13,6)	S 5 (SDR 11)
	Presión nominal PN basada en el coeficiente de diseño C = 2,5						
		PN 6	PN 8	PN 10	PN 12,5	PN 16	PN 20
12		-	-	-	-	-	1,5
16		-	-	-	-	-	1,5
20		-	-	-	-	1,5	1,9
25		-	-	-	1,5	1,9	2,3
32		-	1,5	1,6	1,9	2,4	2,9
40		1,5	1,6	1,9	2,4	3,0	3,7
50		1,6	2,0	2,4	3,0	3,7	4,6
63		2,0	2,5	3,0	3,8	4,7	5,8
75		2,3	2,9	3,6	4,5	5,6	6,8
90		2,8	3,5	4,3	5,4	6,7	8,2
	Presión nominal PN basada en el coeficiente de diseño C = 2,0 ¹⁾						
	PN 6	PN 8	PN 10	PN 12,5	PN 16	PN 20	PN 25
110	2,7	3,4	4,2	5,3	6,6	8,1	10,0
125	3,1	3,9	4,8	6,0	7,4	9,2	11,4
140	3,5	4,3	5,4	6,7	8,3	10,3	12,7
160	4,0	4,9	6,2	7,7	9,5	11,8	14,6
180	4,4	5,5	6,9	8,6	10,7	13,3	16,4
200	4,9	6,2	7,7	9,6	11,9	14,7	18,2
225	5,5	6,9	8,6	10,8	13,4	16,6	-
250	6,2	7,7	9,6	11,9	14,8	18,4	-
280	6,9	8,6	10,7	13,4	16,6	20,6	-
315	7,7	9,7	12,1	15,0	18,7	23,2	-
355	8,7	10,9	13,6	16,9	21,1	26,1	-
400	9,8	12,3	15,3	19,1	23,7	29,4	-
450	11,0	13,8	17,2	21,5	26,7	33,1	-
500	12,3	15,3	19,1	23,9	29,7	36,8	-
560	13,7	17,2	21,4	26,7	-	-	-
630	15,4	19,3	24,1	30,0	-	-	-
710	17,4	21,8	27,2	-	-	-	-
800	19,6	24,5	30,6	-	-	-	-
900	22,0	27,6	-	-	-	-	-
1 000	24,5	30,6	-	-	-	-	-
a) Para aplicar un coeficiente de diseño de 2,5 (en vez de 2,0) para tuberías con diámetros nominales mayores que 90 mm, se debe seleccionar la serie de presiones, PN, inmediatamente superior.							
NOTAS							
1) Los espesores nominales de pared cumplen con ISO 4065 ¹⁾ .							
2) Los valores de PN 6 para S 20 y S 16 se calculan con el número normal 6,3.							

CAPITULO IV
DISEÑO Y SOLUCION

3.1 Demanda de agua

La plantación de árboles frutales no está definida, por lo cual se va a calcular la cantidad de plantas que caben en un terreno de 10000 m², para determinar la cantidad de agua que va a ser bombeada. Para el dimensionamiento del sistema de bombeo fotovoltaico.

Teniendo en cuenta que la distancia **óptima** para un árbol de palto es de 5 m, esto quiere decir que la distancia entre cada árbol es de 25m², lo que conlleva al siguiente calculo:

$$10000 / 25 = 400$$

En un espacio de 10000 m² caben 400 árboles de palto. teniendo este dato se puede calcular la evapotranspiración de cultivo para determinar la cantidad de agua que se va a ser consumida por planta.

Para calcular la evapotranspiración de cultivo se realiza el siguiente calculo;

$$ETC = Eto \times KC$$

Donde;

Eto = Evapotranspiración de referencia.

Kc = Coeficiente de cultivo.

Se realizo el cálculo mediante Excel, tomando los siguientes parámetros, temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima, radiación, datos sacados de un mes cualquiera de la región del bio – bio.

Se tomaron las constantes 0,0023 que es una constante utilizada en el método de Hargreaves-Samani para calcular la evapotranspiración de referencia (ET_o), y 17,8 es una constante utilizada en el método de Hargreaves-Samani para calcular la evapotranspiración de referencia (ET_o).

El coeficiente de cultivo del árbol de palto es de 0,75, esto se calculo mediante la ecuación del balance hídrico y considerando la condición hídrica del suelo en los tratamientos analizados en este estudio, se propone un valor de K_c de 0.70 para todos los meses del año.

Eto	Datos	Unidades
Temp media	13,5	°c
temp max	19	°c
Temp min	8	°c
Radiacion (Rs)	280	wh/m ²
Constante	17,8	
Constante	0,0023	

$$Eto = 0.0023 \times (T_{med} + 17.8) \times \sqrt{(T_{max} - T_{min} \times R_s)}$$

Eto	66,85386922	mm/día
-----	-------------	--------

Realizado el cálculo, se determina que la evapotranspiración de referencia es de 66,8 mm/ día por planta, para obtener la evapotranspiración de cultivo se realiza este cálculo.

$$ETC = 66,8 \times 0,75$$

Etc	50,14040192	mm/dia
-----	-------------	--------

Realizado el cálculo se obtiene como resultado, que la evapotranspiración de cultivo es de 50,13 mm/día.

Para conocer el requerimiento de riego por planta se usa esta fórmula;

$$RR = ETC / \text{Eficiencia de riego} \times 100 \text{ Lamina Bruta de Riego (db)}$$

Un porcentaje de eficiencia de riego del 70% al 95% se considera aceptable.

$$RR = 50,14 / 95 \times 100$$

RR	52,7793704	mm
----	------------	----

El requerimiento de riego es de 52,7 mm equivalen a 52,7 litros por m², esto quiere decir que se regaran el área donde estén las raíces del árbol. Como en este caso el árbol es nuevo se tomará en cuenta un área de 1 m² para realizar el calculo de riego total a la planta.

$$\text{Riego total} = \text{RR} / \text{Frecuencia de riego (días)} \times \text{área raíces}$$

$$\text{Riego total} = 52,77 / 3 \times 1 \text{ m}^2$$

$$\text{Riego total} = 18 \text{ l} \times 2 \text{ (Frecuencia semanal)}$$

$$\text{Riego total} = 32 \text{ l/semana}$$

Con una frecuencia de 2 veces a la semana conlleva a que el consumo semanal por planta sea de 36 l/semana.

La cantidad total de agua requerida por el árbol de palto al día es de 18 litros teniendo en cuenta que se va a realizar su riego con una frecuencia de 2 días a la semana. Un árbol de palto de una edad de 1 a 2 años necesita alrededor de 30 a 40 litros de agua a la semana.

La cantidad de agua necesaria la vamos a separar en 3 etapas, "Árbol joven" que es de 1 a 3 años. "Árbol en desarrollo" 3 a 6 años y "árbol adulto" más de 6 años.

$$\text{Riego total} = \text{RR} / \text{Frecuencia de riego (días)} \times \text{área raíces}$$

$$\text{Riego total} = 52,77 / 3 \times 3 \text{ m}^2$$

$$\text{Riego total} = 53 \text{ l} \times 2 \text{ (Frecuencia semanal)}$$

$$\text{Riego total} = 106 \text{ l/semana}$$

Con una frecuencia de 2 veces a la semana conlleva a que el consumo semanal por planta sea de 106 l/semana.

A la edad de 2 a 4 años, las raíces crecen exponencialmente, por lo cual también aumenta la cantidad de agua requerida. Se estima que las raíces a esa edad llegan a ocupar un área de 3 m².

Árbol con más de 6 años "Árbol adulto" puede llegar a consumir una cantidad de agua entre 150 y 250 litros a la semana. A esa edad puede llegar a tener unas raíces que ocupen entre 5 – 7 m².

$$\text{Riego total} = \text{RR} / \text{Frecuencia de riego (días)} \times \text{área raíces}$$

$$\text{Riego total} = 52,77 / 3 \times 7 \text{ m}^2$$

$$\text{Riego total} = 123 \times 2 \text{ (Frecuencia semanal)}$$

$$\text{Riego total} = 246 \text{ l/semana}$$

Con una frecuencia de 2 veces a la semana conlleva a que el consumo semanal por planta sea de 246 l/semana.

Se estima que en los primeros dos años habrá un consumo total al año de 1320 m³

Consumo de agua total		
Datos	Valores	Unidades
Ha	10000	m ²
Distanciamiento entre surco	5	m
Distanciamiento entre planta	5	m
Número de surcos	20	Cant
Número de plantas por surco	20	Cant
Total de plantas por hectarea	400	Cant
Consumo de agua por planta	32	l/semana
Requerimiento total de agua del cultivo en 1 Ha	12800	l/semana/ha
Calculo en m ³	12,80	m ³ /semana/ha
Consumo diario por planta	3,7	m ³ /semana/ha
Calculo en m ³	1320	m ³ /año/ha

Tabla 6 tabla consumo de agua árbol joven fuente: elaboración propia

Se estima que después de los primeros dos años un árbol en desarrollo consumirá un total al año de 4373 m³.

Consumo de agua total		
Datos	Valores	Unidades
Ha	10000	m ²
Distanciamiento entre surco	5	m
Distanciamiento entre planta	5	m
Número de surcos	20	Cant
Número de plantas por surco	20	Cant
Total de plantas por hectarea	400	Cant
Consumo de agua por planta	106	l/semana
Requerimiento total de agua del cultivo en 1 Ha	42400	l/semana/ha
Calculo en m ³	42,40	m ³ /semana/Ha
Consumo diario por planta	12,1	m ³ /semana/Ha
Calculo en m ³	4373	m ³ /año/ha

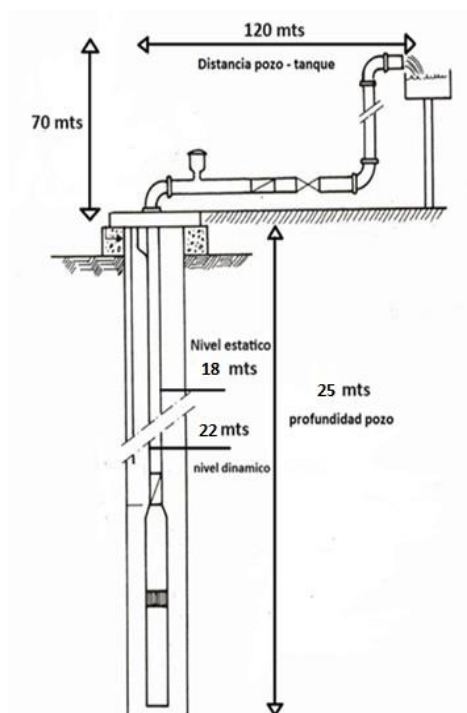
Tabla 7 tabla consumo de agua árbol en desarrollo fuente: elaboración propia

Se estima que después de los primeros dos años un árbol en desarrollo consumirá un total al año de 10562 m³.

Consumo de agua total		
Datos	Valores	Unidades
Ha	10000	m ²
Distanciamiento entre surco	5	m
Distanciamiento entre planta	5	m
Número de surcos	20	Cant
Número de plantas por surco	20	Cant
Total de plantas por hectarea	400	Cant
Consumo de agua por planta	256	l/semana
Requerimiento total de agua del cultivo en 1 Ha	102400	l/semana/ha
Calculo en m ³	102,40	m ³ /semana/Ha
Consumo diario por planta	29,3	m ³ /semana/Ha
Calculo en m ³	10562	m ³ /año/ha

Tabla 8 tabla consumo de agua árbol adulto fuente: elaboración propia

3.2 Perfil de pozo.



Descripcion	metros
Profundidad de pozo	25
Nivel estatico	18
Altura de Descarga	15
Nivel Dinamico	22
Abatimiento	4
Distancia pozo - Tanque	120

Ilustración 11 Perfil pozo fuente: creación propia

El pozo tiene una profundidad de 25 a nivel estático el agua se encuentra a 18 metros lo que indica la altura del nivel freático en condiciones de no extracción, durante operación el nivel dinámico se encuentra a 22 metros lo que genera un abatimiento de 4 metros, lo que refleja la caída del nivel del agua en el pozo debido a la extracción.



Ilustración 15 perforación pozo fuente: elaboración propia

3.2 Dimensionamiento Bomba sumergible.

Para realizar el dimensionamiento del sistema de bombeo, se va a utilizar el software PVsyst, especializado en el diseño y análisis de sistemas fotovoltaicos y de bombeo solar.



Ilustración 17 Software PVsyst Fuente: <https://www.pvsyst.com/download-pvsyst/>

Se introdujeron los datos del pozo en el software, incluyendo la cantidad de agua diaria y anual la cual se va a bombear.

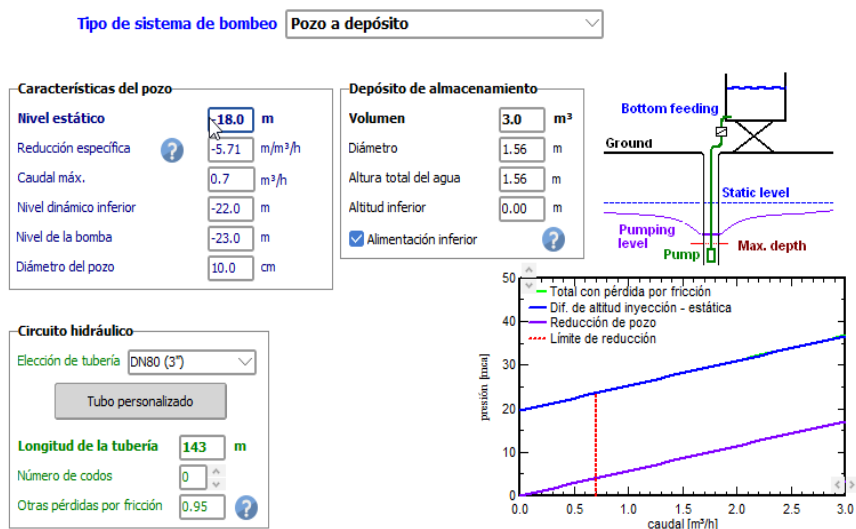


Ilustración 18 Dimensionamiento sistema de bombeo fuente: PVsyst

Necesidades de agua

☒ Promedio anual

☐ Valores estacionales

☐ Valores mensuales

Necesidades de todo el año: 29.3 m³/día

Unidades hidráulicas

Caudal: m³/h

Presión: mca

Resumen anual

Necesidades de agua promedio: 29.3 m³/día

Necesidades anuales de agua: 10695 m³

Presión anual promedio: 42.0 mca

Energía Hidráulica: 1224 kWh

Necesidades FV (muy aprox.): 4134 kWh

Variaciones de profundidad estática de pozo

☒ Constante anual

☐ Valores estacionales

☐ Valores mensuales

Año completo: 37.0 mca

Presiones adicionales

Altitud de alimentación: 5 m

Presiones dinámicas Tubos: 0.3 mca

(a caudal = 5.9 m³/h) Reducción: 1.8 mca

Ilustración 19 Dimensionamiento sistema de bombeo fuente: PVsyst

Como resultado, el software calculo que se necesita una bomba sumergible con una potencia mínima de 964 w que equivalen a 1,3 hp, para realizar el proyecto.

Potencia de bomba sugerida 964 W

3.3 Elección de Bomba sumergible.

Se seleccionará una bomba de acuerdo con lo dimensionado por el software, teniendo en cuenta que la potencia mínima requerida para la bomba es de 1,3 hp, se seleccionara una bomba sumergible de 1.5 hp para llevar a cabo el proyecto, esto teniendo en cuenta que a largo plazo el requerimiento de agua aumentara y esto conllevara a tener una bomba más potente que pueda succionar más agua a más velocidad.

La bomba escogida para este proyecto es una bomba sumergible leo BOMBA POZO LEO 4XRm4/14-1.1 1.5HP 220V



Ilustración 20 bomba sumergible fuente: koslan

Características bomba escogida

- Altura max (mts): 101
- Descarga Diam PLG: 1 1/4"
- Eficiencia energética: Sí
- Flujo max (lts/min): 100
- Garantía Producto: 24 meses
- HP: 1.5
- Hz: 50
- KW / Wats: 1.1
- Modelo / Descripción: 4XRm4/13-1,1
- Paso solidos (mm): 1.5
- Voltaje: 220

Ilustración 22 Características bomba leo 4XRM4/14
fuente: koslan

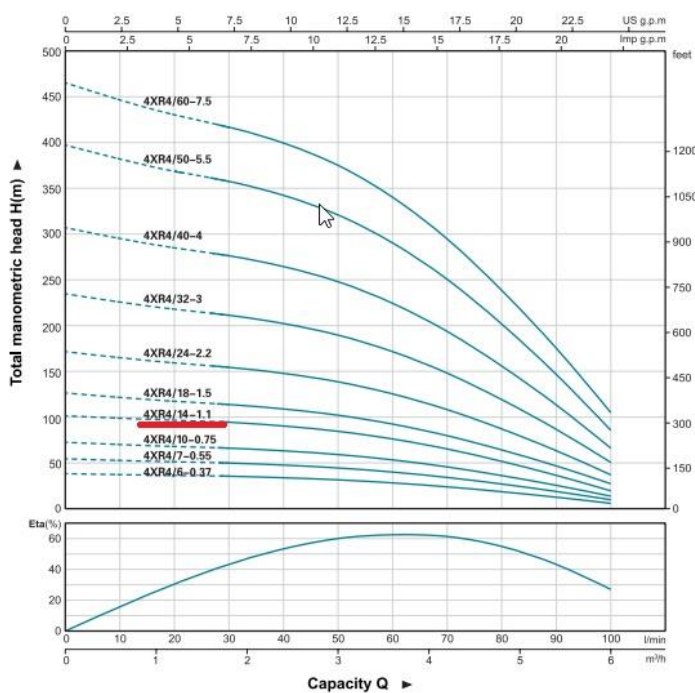


Ilustración 23 curva de rendimiento bomba fuente: koslan

3.4 Dimensionamiento paneles fotovoltaicos.

Ubicación proyecto.



Ilustración 24 Ubicación geográfica proyecto fuente: googlemaps

3.5 Orientación paneles fotovoltaicos.

Una buena orientación de los paneles solares es fundamental para maximizar la eficiencia y rendimiento. El software PVsyst nos deja orientar nuestro panel fotovoltaico de una forma precisa, orientándolo de una forma o Angulo al cual sea más óptimo en el punto de referencia donde se encuentra el proyecto.

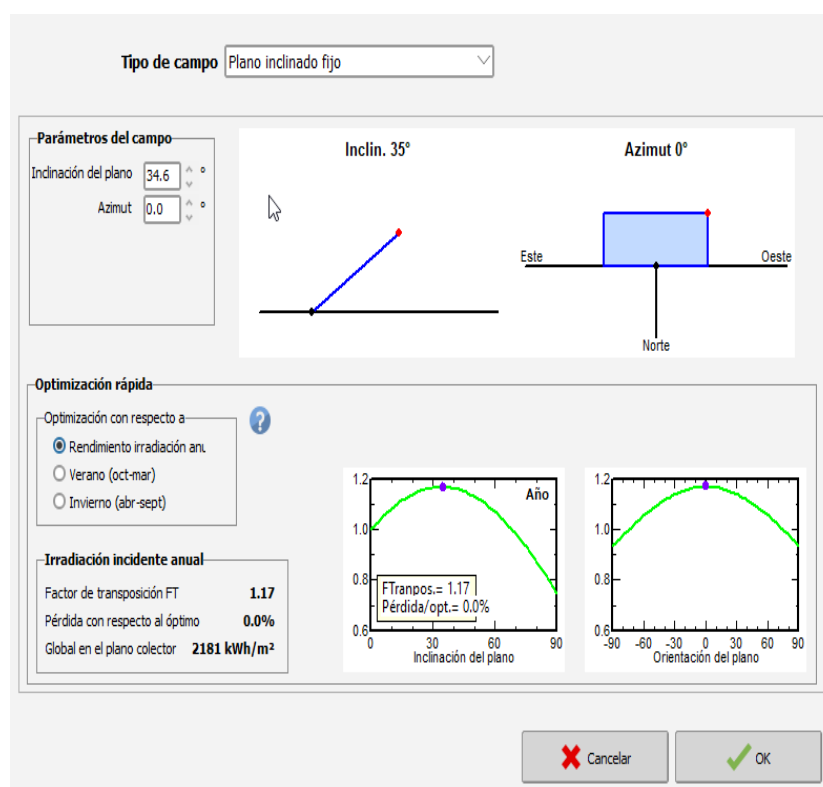


Ilustración 25 Inclinación panel solar fuente: PVsyst

Se determino a través de software que se necesita una inclinación de 35° para tener una eficiencia optimo, con el fin de tener una perdida con respecto al óptimo de 0.0%.

Se obtuvieron los datos de temperatura media anual, irradiación directa media y horizontal anual en el punto de referencia donde se va a realizar el proyecto.

Temperatura media mensual por año.

Temperatura media mensual

Month	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Enero	19.4	19	18.9	19.4	19.9	18.7	18.5	18.9	19.8	19.3	20.3	19.6	20.9	19.7	18.8	19.9
Febrero	19.6	18.9	16.9	20	18.3	16.4	18.2	18	18.6	18.2	19.2	19.1	19.7	19.5	19.2	19
Marzo	16.4	15.8	16.8	17.1	18.2	16.9	15.7	17.6	16.7	16	18	17.8	16.5	15.7	16.4	17.6
Abril	13.3	13.3	12.7	13.1	15	13	13	13.3	13.7	12.2	14.5	12.3	13.8	12.2	13.9	14.4
Mayo	9.8	10.7	9.1	10.5	11	9.8	10.2	11.1	10.8	10.9	11.1	12.1	10	10.6	11	11.6
Junio	8.8	10.5	7.2	8.7	8.6	9.2	9	9.6	8.7	8.6	9.3	8.1	8.8	7.8	8.8	8.9
Julio	8.6	9.1	6.9	9.1	7.3	6.8	6.9	7.1	8	8.4	8.5	8.7	7.6	7.6	8.7	8.3
Agosto	8.5	9.5	6.2	8.4	9	7.9	8	8.2	8.1	9.3	9.5	9.5	8.2	8.6	8.8	8.6
Septiembre	9.6	10.4	9	10.5	9.3	9.3	10.2	10.6	9.4	10.1	9.5	11.8	9.5	10.2	9.9	10.1
Octubre	12.2	11.5	11.2	12.7	11.5	12.2	11.5	11.9	12.3	12.6	11.3	12.5	11.2	11.2	11.7	12.3
Noviembre	14.8	14.7	14.3	16.2	12.1	14.3	14.7	15.4	14.8	14.8	14.2	16.4	15	14.6	16	15.4
Diciembre	17.4	16	17.2	18.8	16.3	16	19	15.5	18.8	16.8	17.4	17.3	17.7	17.3	18.3	16.7

Tabla 9 Temperatura media mensual por año Fuente: PVGIS

Irradiación directa mensual por año.

Irradiación directa normal

Mes	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Enero	351.21	326.15	328.66	334.52	353.01	343.92	325.47	310.67	322.75	326.55	369.07	303.6	355.13	318.1	335.75	339.91
Febrero	258.14	257.02	260.29	272.67	259.72	240.42	255.39	247.68	246.96	270.33	282.05	294.84	235.07	271.52	250.59	291.04
Marzo	232.47	262.43	228.68	247.62	267.02	232.46	225.14	243.23	255.18	249.91	266.3	252.49	240.76	253.94	262.08	241.3
Abril	207.98	174.75	145.89	186.82	179.11	200.81	190.36	177.07	163.47	171.18	175.27	155.11	171.14	146.54	171.53	171.58
Mayo	89.09	126.48	134.86	122.15	104.48	127.73	142.22	92.02	118.23	100.51	113.33	94.13	123.85	112.3	113.27	133.39
Junio	69.29	51.63	114.98	97.61	108.23	84.27	87.38	78.81	128.28	96.33	111.7	135.03	81	100.57	66.28	68.81
Julio	110.09	96.75	100.17	65.03	113.02	106.08	120.52	144.11	110.88	96.42	89.51	81.34	128.67	112.2	94.03	98.89
Agosto	106.44	124.11	166.6	113.49	91.35	150.81	112.4	123.17	147.66	134.16	104.08	132.53	120.07	131.83	136.38	156.8
Septiembre	180.43	180.12	173.2	199.61	215.52	201.12	183.14	182.17	169.9	151.89	153.78	189.24	185.68	161.68	188.03	180.8
Octubre	263.79	233.74	211.77	270.33	201.57	222.7	254.97	224.92	248.88	259.45	242.94	200.04	211.8	214.57	221.03	286.46
Noviembre	257.67	301.47	294.53	300.48	239.67	281.29	279.24	288.24	288.39	297.79	278.8	296.78	281.79	264.04	281.31	306.92
Diciembre	331.84	284.48	320.51	317.3	304.67	326.3	360.47	279.64	363.82	317.88	338.17	303.58	316.11	330.43	323.55	333.19

Tabla 11 Irradiación directa mensual por año fuente: PVGIS

Irradiación global horizontal

Mes	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Enero	271.68	261.78	262.82	266.7	274.43	268.57	281.11	254.58	261.5	258.77	280.04	251.55	273.9	258.03	265.28	265.29
Febrero	207.5	205.68	206.88	215.64	205.97	196.49	203.86	203.16	198.83	209.52	215.66	224.51	195.99	211.8	202.86	222.63
Marzo	175.49	185.18	174.77	180.32	188.77	175.52	168.66	175.17	183.15	180.53	188.86	183.47	176.03	181.86	188.45	178.41
Abril	130.12	115.94	107.58	122.01	121.17	129.58	124.48	120.3	116.29	117.64	120.04	113.59	116.75	108.17	120.92	118.47
Mayo	62.04	80.38	82.21	74.79	67.76	83.11	85.96	69.87	74.64	69.71	74.63	70.19	78	73.57	74.55	80.24
Junio	47.69	41.08	64.42	59.16	60.83	53.91	54.21	50.46	65.04	56.64	60.85	70.6	51.7	57.06	49.01	45.6
Julio	68.12	62.85	63.69	51.76	70.12	64.65	71.29	78.89	67.35	62.7	59.78	56.94	74.9	68.82	61.13	64.54
Agosto	85.16	88.25	102.9	83.94	77.78	96.76	83.19	90.03	97.84	94.85	82.21	94.74	87.36	94.47	97.98	101.2
Septiembre	138.84	140.09	135.31	147.9	152.42	145.25	141.16	139.06	131.08	122.43	125.81	145.56	140.13	126.08	140.39	139.05
Octubre	207.41	191.22	183.32	210.26	179.13	184.51	202.16	186.42	200.37	206.5	194.6	175.11	178.42	180.7	189.67	213.59
Noviembre	222.23	244.3	241.24	242.53	213.46	231.94	232.54	236.81	239.06	242.15	234.88	242.63	232.96	223.35	235.99	246.7
Diciembre	269.06	246.05	263.38	262.21	256.43	264.63	281.37	244.61	282.77	264.37	273.85	255.94	258.96	267.43	269.42	267.15

Tabla 12 Irradiación horizontal mensual por año fuente: PVGIS

3.6 Dimensionamiento paneles fotovoltaicos por software.

Como resultado del dimensionamiento, el software determinó que la cantidad necesaria de energía para satisfacer las necesidades energéticas de la bomba seleccionada es de 1094wp

Potencia FV sugerida **1229 Wp (nom.)**

Para el proyecto se seleccionó un módulo de 330 wp monocristalino. Por lo que el diseño fotovoltaico va a constar de dos cadenas de dos módulos en serie de 330 wp que van a proporcionar una cantidad de energía de 1300 wp, ocupando un área de 7 m².

Seleccione el módulo FV

Disponble ahora

Auxin Solar 330 Wp 29V Si-mono AXNG1M330C Desde 2021 **Abrir**

Módulos necesarios aprox. **7** Dimensiona. voltaje : Vmpp (60°C) **29.8 V**
Voc (-10°C) **44.1 V**

Seleccione el modo de control y el controlador

☒ Controlador universal **modo de control** Convertidor MPPT-CC **Abrir**

Todos los fabricantes 1000 W Convertidor MPPT-CC Universal MPPT - DC Converter Generic device Adaptabl **Abrir**

Los parámetros de funcionamiento del controlador genérico predeterminado se ajustarán automáticamente de acuerdo con las propiedades del sistema.

Diseño generador FV

Número de módulos y cadenas debe ser/estar:

Mód. en serie 2 ☐ única posibilidad 3

2 ☐ entre 2 y 5

núm. de módulos 4 Área 7 m²

Condiciones de operación

Vmpp (60°C) 60 V
Vmpp (20°C) 69 V
Voc (-10°C) 88 V

Irradia. plano **1000 kWh/m²**

Imp 19.7 A
Isc 20.5 A
Isc (en STC) 20.5 A

Potencia de funcionamiento máx. 1.2 kW
(en 1000 W/m² y 50°C)

Potencia nom. conjunto (STC) 1.3 kWp

El caudal de la bomba está ligeramente sobredimensionado con respecto a las necesidades de agua.

Ilustración 26 Dimensionamiento sistema fotovoltaico fuente: PVsyst

3.7 Simulación de rendimiento sistema de bombeo fotovoltaico.

Se realizó una simulación del sistema de bombeo fotovoltaico, dando como resultado los siguientes datos;

Resultados principales			
Agua bombeada	10641 m³/año	Energía en la bomba	1107 kWh/año
Necesidades de agua	10695 m³/año	Energía no utilizada	50 kWh/año
Agua faltante	0.5 %	Fracción no utilizada	11.3 % de EarrMpp
Energía específica	0.22 kWh/m³		
Eficiencia del sistema	83.2 %		
Eficiencia de la bomba	80.8 %		

Ilustración 27 Simulación sistema fuente: PVsyst

La simulación dio como resultado que la eficiencia de la bomba es de 80.8%, El porcentaje de rendimiento de una bomba sumergible suele estar en el rango de 60% a 85%. Lo que sitúa a la bomba en un rango aceptable de funcionamiento.

El porcentaje de eficiencia del sistema fotovoltaico es de 83,2%, Un valor de rendimiento del sistema típico para una instalación fotovoltaica residencial suele estar entre el 70% y el 85%. Esto significa que entre el 70% y el 85% de la energía solar disponible se convierte en electricidad utilizable después de tener en cuenta todas las pérdidas. Por lo cual el rendimiento de la bomba según la simulación está dentro de lo aceptable, porque asegura el buen rendimiento del sistema.

La simulación fue hecha teniendo en cuenta que después de los primeros 2 años la cantidad de agua a bombear se cuatricula hasta se quintuplica.

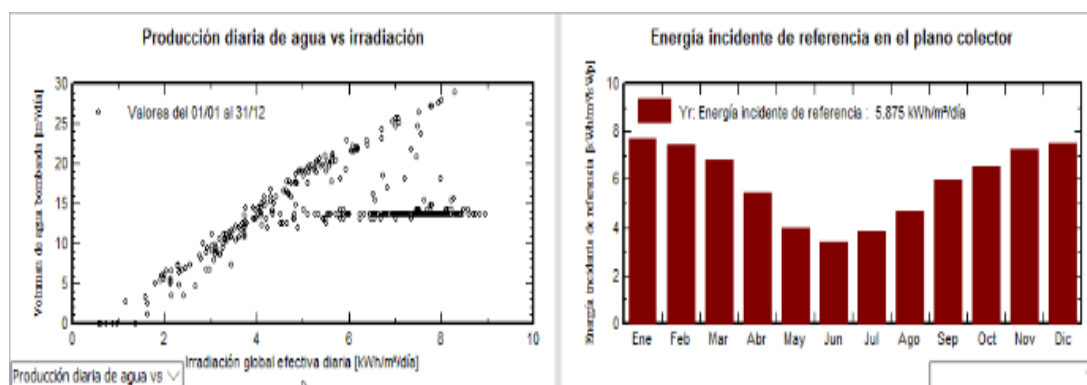


Ilustración 29 Simulación sistema fuente: PVsyst

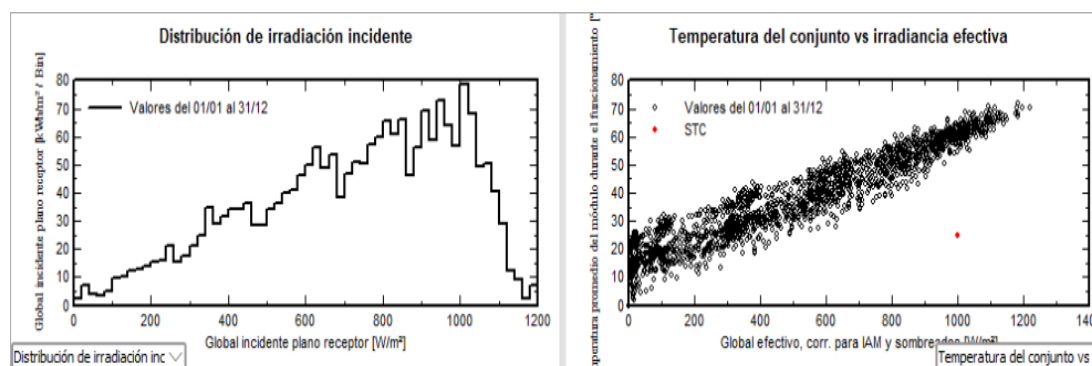


Ilustración 30 Simulación sistema fuente: PVsyst

3.8 Línea de impulsión.

Para realizar este cálculo, se usará una tubería ficticia para obtener los datos de presión de tubería, para seleccionar la tubería a utilizar para la impulsión de agua hacia la superficie. La cual va a hacer de 50mm de espesor.

Cálculo de presión de tubería utilizando la fórmula de Bernoulli.

DN	Diámetro int.	mm	50
L	Longitud	m	146
Q	Caudal	lt/s	1,66
v	Velocidad	m/s	0,85

La elevación desde la bomba hasta el depósito es de 72 metros, el diámetro de la tubería es 50mm. la velocidad en el punto 1 y el punto 2 es de 0.85 m/s,

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1}{2G} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2}{2G} + z_2$$

$$(72 \text{ m}) = \frac{P_2}{9810 \frac{n}{m^2}}$$

$$= (72) * \left(9810 \frac{n}{m^2}\right)$$

$$= 7.06 \text{ Bar}$$

Perdida de carga tubería.

Saber cuál es la pérdida de carga de nuestro sistema de tuberías es importante, para identificar el NPSH requerido de la bomba seleccionada, para evitar la cavitación que genera corrosión, por lo tanto, problemas a largo plazo en nuestra bomba sumergible.

El cálculo se realizó a través de una hoja de cálculo en Excel. Para el cálculo se usaron los siguientes parámetros; caudal, longitud sistema de tuberías, diámetro interior, rugosidad absoluta tubería, velocidad de fluido, viscosidad cinemática y coeficiente K de accesorios utilizados.

Q =	1,66	l / s
L recta total =	143,00	m
D interior =	50,00	mm
ε =	0,010	mm
Temperatura =	25,0	(° C)
v =	0,0092	cm ² / s

0,85	m/ s
-------------	------

Cada accesorio utilizado en el sistema de tuberías causa una pérdida de carga lo cual se calcula gracias a las tablas de coeficiente K, con la siguiente formula;

$$\Delta P = k \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

Tabla coeficiente K accesorios.

Tabla 1. Coeficientes de accesorios (CONAGUA, 2002)

Pieza, conexión o dispositivo	K _c
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

Tabla 13 tabla coeficiente de accesorios fuente: CONAGUA

Perdida de carga por accesorios.

Codos rectos (radio largo)		0,60	0,00
Codos rectos (radio medio)		0,80	0,00
Codos rectos (radio corto)	5	0,90	10,25
Codos de 45°		0,36	0,00
Válvulas compuerta	1	0,19	0,43
Válvulas de globo		10,00	0,00
Válvulas de ángulo		5,00	0,00
Válvulas de mariposa			0,00
Válvulas de retención		2,50	1,14
Entrada desde depósito	1	0,50	2,28
Salida de la tubería	1	1,00	0,00
Ensanchamiento brusco			0,00
Estrechamiento brusco			0,00
Otros		0,15	0,00
Otros			0,00
		I equiv. accesorio total 1 (m) :	14,10

Se determino a través de una hoja de cálculo que la perdida de carga total por accesorios en el sistema de tubería es de 14,10 metros.

Perdida de carga tubería.

V =	0,85	m/ s
$v^2 / 2g =$	0,04	m
$R_e =$	46.026	adim.
f =	0,0220	adim.
FUNCION-OBJ.	-0,001	
I equiv. acc. total =	18,20	m
L equiv. Total =	161,20	m
$\Sigma h_f =$	2,58	m

A través de cálculo realizado en Excel se determinó que la perdida en la tubería sin contar accesorios es de 2,58 metros.

Factor fricción,

Identificar el factor fricción de la tubería es fundamental para el diseño de la tubería, saber las pérdidas por fricción en el sistema de tuberías. Para el cálculo del factor fricción se utilizó una hoja de cálculo Excel, que es lo mismo que la siguiente fórmula de Colebrook-White.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{\frac{k}{D}}{3,71} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right]$$

Factor fricción ecuación colebrook-white		
Datos	Valores	Unidades
Velocidad del flujo (v)	0,85	m/s
Diametro tubería (D)	0,05	m
Densidad del fluido (p)	1,18	kg/m ³
Viscosidad absoluta (n)	0,000018	Pa*s
Re	2786,11111	
Rugosidad promedio (e)	0,0002	m
Factor fricción (f)	0,04791271	

Se determinó a través de la hoja de cálculo que el factor fricción del sistema de tuberías es de 0,047.

Perdidas por fricción.

Para calcular la pérdida por fricción se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach.

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{\rho V^2}{2}$$

$$\frac{L}{D};$$

$$\frac{143}{0.05} = 2860$$

$$V^2;$$

$$(0.85)^2 = 0.7225$$

$$\frac{\rho V^2}{2};$$

$$\frac{1000 \times 0.7225}{2} = 361.25$$

$$\Delta P:$$

$$\Delta P = 0.04 \times 2860 \times 361.25 = 41,209 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = \frac{41,209}{100,000} = 0.412 \text{ bar}$$

En sistemas de tuberías donde se transporta agua como fluido, lo aceptable es que las pérdidas de presión no superen el 5 - 10%, este rango ayuda a garantizar un rendimiento eficiente.

A través de la ecuación de Bernoulli se determinó que la presión de la tubería es de 7 bar, con este dato se puede determinar el porcentaje de pérdida de presión.

$$\left(\frac{0.412}{7} \right) \times 100 = 5.89\%$$

La pérdida de presión en el sistema de tuberías se encuentra en lo aceptable, teniendo en cuenta que los rangos aceptables son de 5-10%, esto demuestra que el sistema está bien diseñado.

Selección de tubería.

La tubería será seleccionada según la norma NCH 399, como se mencionó anteriormente Esta norma especifica las características de las tuberías de pared compacta de policloruro de vinilo no plastificado (PVC- U) para el suministro de agua bajo presión, enterrado o superficial.

Dimensiones según NCH 399

Diámetro Nominal mm	SDR 33 PN 6		SDR 26 PN 8		SDR 21 PN 10		SDR 17 PN 12,5		SDR 13.6 PN 16	
	Espesor medio mm	Peso kg/tira 6m	Espesor medio mm	Peso kg/tira 6m	Espesor medio mm	Peso kg/tira 6m	Espesor medio mm	Peso kg/tira 6m	Espesor medio mm	Peso kg/tira 6m
20									1.7	0.80
25							1.7	1.10	2.1	1.30
32			1.7	1.40	1.8	1.40	2.1	1.70	2.7	2.10
40	1.7	1.70	1.8	1.80	2.1	2.10	2.7	2.60	3.3	3.20
50	1.8	2.30	2.3	2.90	2.7	3.30	3.3	4.00	4.0	4.90
63	2.2	3.60	2.8	4.40	3.3	5.20	4.1	6.40	5.1	7.80
75	2.6	4.90	3.2	6.00	3.9	7.40	4.9	9.00	6.0	11.00
90	3.1	7.00	3.8	8.70	4.7	10.50	5.8	13.00	7.2	15.70

Presión nominal PN basada en el coeficiente de diseño C = 2,5

Tabla 14 Norma nch 399 dimensiones tuberías fuente:
<https://es.scribd.com/document/520557227/NCH-399>

Se escogió una tubería de 50 mm de diámetro nominal PN 10, soporta hasta 10 bar de presión.

Calculo Npsh bomba

Calcular el Npsh de la bomba es crucial para garantizar una operación eficiente, asegurar que la bomba funciona sin cavitación, protegiendo la integridad del equipo y mantenimiento la eficiencia operativa.

Valores de la presión de vapor del agua	
Temperatura °C	Presión de vapor H_{vap} (m)
0	0.06
5	0.09
10	0.12
15	0.17
20	0.25
25	0.33
30	0.44
35	0.58
40	0.76
45	0.98
50	1.25
55	1.61
60	2.03
65	2.56
70	3.2
75	3.96
80	4.85
85	5.93

Tabla 16 Tabla valores presión de vapor de agua fuente: Scribd

Gravedad específica del agua	
Temperatura °C	Presión de vapor H_{vap} (m)
18	0.9936
19	0.9984
20	0.9982
21	0.998
22	0.9978
23	0.9975
24	0.9973
25	0.997
26	0.9968
27	0.9965
28	0.9962
29	0.9959
30	0.9956

Tabla 17 Tabla gravedad específica del agua fuente: Scribd

Presion atmosferica	
Altitud (m)	Presion (atm)
0	1
250	0,971
500	0,942
750	0,914
1000	0,887
1250	0,86
1500	0,834
1750	0,809
2000	0,785
2250	0,756
2500	0,737
2750	0,714
3000	0,692
3250	0,67
3500	0,649
3750	0,628
4000	0,608
4250	0,589
4500	0,57
4750	0,551
5000	0,553

Tabla 18 Tabla presión atmosférica agua
fuente: Scribd

$$NPSH_A = \frac{P_{atm} - P_v}{\rho \cdot g} - h_{suc} - h_{f, totales} - Seguridad$$

La pérdida de carga total (h_f) es 16,68 la altura de succión ($h_{succion}$) es 23 metros y la altura de succión (h_e) es de 2m.

$$NPSH_A = \frac{10.03 - 0.33}{0.997} - 2 - 2.4 - 0.5$$

$$NPSH_A = 9.73 - 2 - 2.4 - 0.5$$

$$NPSH_A = 4.82 \text{ metros}$$

La bomba debe tener un N_{psh} requerido de 4,32 m o menos para que no cavite, y tenga un buen funcionamiento.

Sistema de almacenamiento.

Para almacenar toda el agua bombeada por la bomba, se requiere un sistema de almacenamiento. Para esto se va a comprar un estanque de agua de 2 m³, que va a estar montado sobre una estructura elevada, asegurando un suministro de agua constante y confiable para los árboles frutales.



Ilustración 32 Estructura de almacenamiento de agua fuente: elaboración propia



Ilustración 31 Tanque de agua fuente: adrien.cl

3.8 Consumo energético anual.

Nuestro sistema al ser potenciado por energía fotovoltaica, ayuda al medio ambiente reduciendo el co₂. Para saber cuánto co₂ se reducen al año gracias a nuestro sistema de bombeo;

Datos;

Potencia de la bomba seleccionada: 1.5 hp = 1.12 kw

Tiempo de operación: 72 minutos al día, teniendo en cuenta que el tanque de agua es de 2 m³ y el requerimiento de agua diario es de 7.2 m³.

Frecuencia de operación: 2 veces a la semana.

Numero de semanas al año: 52.

$$\text{Horas de operación por sesión} = \frac{72 \text{ minutos}}{60 \text{ minutos/hora}} = 1.2 \text{ horas}$$

Operación por semana = 1.2 horas x 2 sesiones por semana = 2.4 h/semana

Operación al año = 2.4 horas x 52 semanas = 124.8 horas al año

Energía consumida (kWh/Año) = Potencia x horas de operación al año

Energía consumida (Kwh/año) = 1.12 kW x 124,8 horas/año = 139.4 kWh/año

El consumo energético en los primeros dos años de funcionamiento es de 139.4k kWh/año. Después de este periodo se cuatriplica, debido al aumento de consumo de agua de la plantación, por lo tanto, se triplica la cantidad de horas operativas del sistema también.

Energía consumida (Kwh/año) = 139.4 kWh/año x 3

Energía consumida (Kwh/año) = 418.2 (Kwh/año)

Cuando el árbol está en su tercera de "Árbol adulto" llega a consumir una cantidad 7 veces más grande, que cuanto estaba en su etapa de crecimiento, por lo tanto, la energía consumida es mayor.

Energía consumida (Kwh/año) = 139.4 kWh/año x 7

Energía consumida (Kwh/año) = 975,8 (Kwh/año)

Con los cálculos realizados, determinamos la cantidad de energía consumida esto varia, en las 3 etapas de crecimiento del cultivo, porque no siempre va a hacer la misma, finalmente el gato a largo plazo de nuestro sistema de bombeo es de 975,8 al año.

3.9 Reducción de CO2.

El factor CO2 (unidad: kg/kWh) es un concepto que indica la cantidad de CO2 que se produce en un país por kilovatio/hora de energía eléctrica generado. En el caso de Chile este factor, para el año 2018, fue de 418,70 kg/MWh (equivalente a 0,418 kg/kWh).

La fórmula para calcular la reducción de CO2 es la siguiente;

$$\text{Reducción de CO2 (kg/Año)} = 58.27 \text{ kg CO2/Año}$$

$$\text{Reducción de CO2 (Kg/año)} = 139.4 \text{ kWh/año} \times 0.418 \text{ kg CO2/kWh}$$

$$\text{Reducción de CO2 (Kg/año)} = 58.27 \text{ kg/año}$$

hay que tener en cuenta que, en la segunda etapa de crecimiento del cultivo, el consumo de agua aumenta considerablemente, por lo cual el gasto energético y la reducción de CO2 también aumentan.

$$\text{Reducción de CO2 (kg/Año)} = 58.27 \text{ kg/año} \times 3$$

$$\text{Reducción de CO2 (kg/Año)} = 174,81 \text{ kg/Año}$$

Ya en su tercera etapa de crecimiento, el consumo se multiplica por siete a comparación de su primera etapa, multiplicando así su consumo y su reducción de CO2.

$$\text{Reducción de CO2 (kg/Año)} = 58.27 \text{ kg/año} \times 7$$

$$\text{Reducción de CO2 (kg/Año)} = 407,89 \text{ kg/Año}$$

Finalmente, se define que la cantidad de dióxido de carbono que se puede reducir si se realiza este proyecto en la primera etapa de crecimiento del cultivo es de 58.27 kg/año, la segunda etapa es de 174,81 kg/año y en la tercera etapa de crecimiento es de 407,89.

3.9 Plan de mantenimiento.

Un plan de mantenimiento es fundamental para el buen funcionamiento del sistema, para planificar el mantenimiento del sistema de bombeo fotovoltaico hay que identificar equipos críticos, componentes, frecuencia promedio de falla, vida útil. Con apoyo de manuales o expediente de falla de otros sistemas ya instalados.

Matriz de criticidad.

Componente	Probabilidad de Falla	Severidad del Impacto	Riesgo Potencial	Acciones Recomendadas
Paneles Solares	Baja	Alta	Moderado	Inspecciones regulares para detectar daños en los paneles; limpieza regular para mantener eficiencia.
Inversor	Moderada	Alta	Alto	Monitoreo constante del rendimiento y condiciones de operación del inversor; mantenimiento preventivo anual.
Cables y Conectores	Moderada	Media	Moderado	Inspección visual periódica de conexiones; reemplazo de cables en mal estado.
Estructura de Montaje	Baja	Alta	Moderado	Inspección anual de la integridad estructural; reajuste si es necesario.
Baterías	Baja	Alta	Moderado	Verificación periódica de la capacidad y estado de carga; reemplazo según el ciclo de vida recomendado.
Sistema de Monitoreo	Baja	Media	Bajo	Verificación regular de la precisión de los datos de monitoreo; calibración anual.
Bomba	Media	Alta	Moderado	Inspección y limpieza anual de la bomba
Sistema Tubulacion	Baja	Alta	Moderado	Revisar las tubulaciones para detectar fugas, bloqueos u otros daños que puedan afectar el flujo de agua.
Controlador de carga	Media	Alta	Moderado	Inspeccionar, verificar conexiones y componentes, actualización de firmware cada 6 meses
Estructura estanque	Baja	Alta	Moderado	Inspección anual de la integridad estructural; reajuste si es necesario.

Tabla 19 Matriz de criticidad fuente: elaboración propia

Se realizo una matriz de criticidad de los componentes principales del sistema; Paneles solares, inversor, cables y conectores, estructura de montaje, batería, sistema de monitoreo, bomba, sistema de tabulación. Identificando la probabilidad de falla y severidad del impacto de avería, esto teniendo en cuenta, manuales, historiales de falla investigado de otros sistemas de bombeo ya instalados.

Planificación de mantenimiento.

Panel fotovoltaico.

Preventivo.

- Limpiar superficie de paneles.
- Inspección visual.
- Verificar conexiones eléctricas.
- Frecuencia: Mensual.

Predictivo.

- Medir rendimiento sistema fotovoltaico
- Frecuencia: Anual

Correctivo.

- Reparar/cambiar paneles dañados.
- Ajustar Angulo de inclinación.

Inversor.**Preventivo.**

- Inspección visual.
- Limpiar filtros.
- Frecuencia: Mensual

Predictivo.

- Realizar pruebas de funcionalidad
- Frecuencia: Anual

Correctivo.

- Reparar/cambiar inversor.

Cables y conexiones.**Preventivo.**

- Inspección visual.
- verificar que los cables estén correctamente sujetos y que no tengan desgaste).
- Limpiar conexiones.
- Frecuencia: 6 meses.

Predictivo.

- Medición aislación.

- Frecuencia: Anual.

Correctivo.

- Reparar/cambiar conectores y cables.

Estructura de montaje.**Preventivo.**

- Inspección visual (signos de corrosión o daño, componentes ajustados).
- Frecuencia: Anual.

Correctivo.

- Reparar/ cambiar estructura de montaje

Baterías.**Preventivo.**

- Inspeccionar conexiones y terminales.
- Limpieza baterías.
- Frecuencia: Mensual.

Predictivo.

- Comprobar voltaje.
- Frecuencia: 3 meses.

Correctivo.

- Cambiar conexiones.
- Cambiar baterías.

Bomba.**Preventivo.**

- Inspección visual.
- Limpiar bomba.
- Verificar y ajustar componentes mecánicos.
- Frecuencia: 6 meses

Predictivo.

- Análisis de vibraciones
- Análisis de aceite
- Análisis Termográfico
- Frecuencia: Anual

Correctivo.

- Cambiar bomba

Sistema de tuberías.**Preventivo.**

- Inspección visual.
- Frecuencia: 3 meses.

Correctivo.

- Cambiar tuberías.

Controlador de carga.**Preventivo.**

- Inspeccionar conexiones.
- Verificar y limpiar componentes.
- Actualizar firmware (si existen nuevas actualizaciones).
- Frecuencia: 6 meses.

Correctivo.

- Reparar/cambiar controlador de carga.

Estructura de montaje.**Preventivo.**

- Inspección visual (signos de corrosión o daño).
- Frecuencia: 6 meses.

Correctivo.

- Reparar/ cambiar partes dañadas estructura.

CAPÍTULO V:
EVALUACIÓN ECONÓMICA

4.1 Matriz de presupuesto

Sistema de bombeo de agua utilizando energia fotovoltaica matriz de costo				
Equipo	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
KIT de energia Solar Off-grid 1.5 kw (Instalacion incluida)	C/U	1	\$ 1.750.000	\$ 1.750.000
Bomba de Agua Sumergible LEO 1.5 HP 104282 para Pozo Profundo	C/U	1	\$ 278.000	\$ 278.000
Plataforma para estanque (Mano de obra incluida)	C/U	1	\$ 600.000	\$ 600.000
ESTANQUE VERTICAL ESTANDAR 2 m2	C/U	1	\$ 180.000	\$ 180.000
Tubería fusion 25 mm 6 m PN-10 Hoffens.	C/U	25	\$ 4.990	\$ 124.750
Entrada y salida	C/U	2	\$ 1.200	\$ 2.400
Codo recto	C/U	5	\$ 1.200	\$ 6.000
Valvula compuerta	C/U	1	\$ 14.125	\$ 14.125
			Total	\$ 2.955.275
Sistema de bombeo de agua utilizando energia fotovoltaica matriz de costo				
Mano de obra	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Flete (plataforma de estanque)	Unidad	1	\$ 150.000	\$ 150.000
Instalacion bomba sumergible	Unidad	1	\$ 500.000	\$ 500.000
			Total	\$ 650.000
Sistema de bombeo de agua utilizando energia fotovoltaica matriz de costo				
Mano de obra	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
		1	\$ 650.000	\$ 650.000
Materiales y equipos	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
	C/U	1	\$ 2.955.275	\$ 2.955.275
			Total	\$ 3.605.275

Tabla 20 Matriz de costos fuente: elaboracion propia

A través de la matriz de presupuesto se determinó que el costo total del sistema de bombeo fotovoltaico es de 3.605.275 millones de pesos chilenos, se decantó por un kit solar off Grid de 1.5 Kw, por temas de presupuesto y fácil instalación.

4.2 Flujo de caja

Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversion sistema	\$ 2.955.275	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversion mano de obra	\$ 650.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Mantenimiento	\$ -	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000
Reemplazo componentes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Ahorro energetico (anual)	\$ 28.298	\$ 28.298	\$ 28.298	\$ 84.895	\$ 84.895	\$ 84.895	\$ 198.087	\$ 198.087	\$ 198.087	\$ 198.087
Ahorro energetico (anual) Acumulado	\$ 28.298	\$ 56.596	\$ 84.894	\$ 169.789	\$ 254.684	\$ 339.579	\$ 537.666	\$ 735.753	\$ 933.840	\$ 1.131.927
Total	\$ -3.576.977	\$ -271.702	\$ -271.702	\$ -215.105	\$ -215.105	\$ -215.105	\$ -101.913	\$ -101.913	\$ -101.913	\$ -101.913

Tabla 21 flujo de caja fuente: elaboracion propia

11	12	13	14	15	20	23
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 1.500.000	\$ 900.000
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ 198.087	\$ 198.087	\$ 198.087	\$ 198.087	\$ 198.087	\$ 990.435	\$ 594.261
\$ 1.330.014	\$ 1.528.101	\$ 1.726.188	\$ 1.924.275	\$ 2.122.362	\$ 3.112.797	\$ 3.707.058
\$ -101.913	\$ -101.913	\$ -101.913	\$ -101.913	\$ -101.913	\$ -509.565	\$ -305.739

Tabla 22 flujo de caja fuente: elaboracion propia

Se identifico que la cantidad de años que se va a demorar el proyecto en amortizar la inversión total es de 23 años, y la inversión del sistema fotovoltaico es de 13 años.

El costo de mantenimiento es de 300.000 mil pesos chilenos, es un precio que puede variar según sea la severidad o tipo de mantenimiento a realizar.

Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversion sistema	\$ 2.955.275	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversion mano de obra	\$ 650.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Mantenimiento	\$ -	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000
Reemplazo componentes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Gasto energetico (generador)	\$ 330.720	\$ 330.720	\$ 330.720	\$ 992.160	\$ 992.160	\$ 992.160	\$ 2.315.040	\$ 2.315.040	\$ 2.315.040	\$ 2.315.040
	\$ 330.720	\$ 661.440	\$ 992.160	\$ 1.984.320	\$ 2.976.480	\$ 3.968.640	\$ 6.283.680	\$ 8.598.720	\$ 10.913.760	\$ 13.228.800
Total	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -

Tabla 23 flujo de caja fuente: elaboracion propia

11	12	13	14	15	20	23
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 1.500.000	\$ 900.000
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ 2.315.040	\$ 2.315.040	\$ 2.315.040	\$ 2.315.040	\$ 2.315.040	\$ 11.575.200	\$ 6.945.120
\$ 15.543.840	\$ 17.858.880	\$ 20.173.920	\$ 22.488.960	\$ 24.804.000	\$ 36.379.200	\$ 43.324.320
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -

Tabla 24 flujo de caja fuente: elaboracion propia

Se realizo una caja de flujo para comparar los gastos, si hubiéramos usado un generador a combustión, el equipo más usado para bombear agua en ese sector. Se determino una diferencia abismal, el gasto total es de 43.234.320 millones de pesos chilenos a los 23 años de uso, los sistemas fotovoltaicos no consumen capital por operación solo tiene gastos de mantenimiento.

CONCLUSION Y RECOMENDACIONES

- Los sistemas de bombeo solar fotovoltaico para almacenamiento y riego son pequeños y autónomos, no consumen combustible, no contaminan, y sus gastos de mantenimiento son mínimos.
- Con este proyecto, se estarían reduciendo 407,89 kg anuales de CO₂, en su máximo funcionamiento del sistema, lo cual es una cantidad bastante buena, pero al fin y al cabo ayuda en la lucha contra el cambio climático.
- Implementar sistema de monitoreo, como lo podría ser un sistema de monitoreo en la nube, accediendo a información en tiempo real de manera remota, asegurando una operación óptima.
- La evaluación económica indica, que, a pesar de la inversión inicial significativa, el proyecto se amortizara en un periodo de tiempo razonable.
- Es importante tener un plan de mantenimiento, a nuestro sistema teniendo un plan correctivo, predictivo y preventivo para tener un plan de acción preparado para enfrentar posibles problemas potenciales.
- Realizar inspecciones regulares dentro de nuestro plan de mantenimiento de todos los componentes críticos del sistema es vital para prevenir posibles fallos a futuro.
- Evaluar la posibilidad de escalar el sistema a otras áreas, en el futuro, la experiencia obtenida con este proyecto podría servir como modelo de implementación de sistemas similares.

Bibliografía

García-Linares, J. M., & García-Calero, J. L. (2019). Hidráulica de máquinas y sistemas de bombeo. Madrid, España: Editorial Paraninfo.

Qué es una bomba hidráulica, para qué sirve y qué tipos existen. (2023, March 29). Retrieved August 4, 2024, from Todoagua website: <https://www.todoagua.es/que-es-bomba-hidraulica-tipos-para-que-sirve/>

Gómez-Martínez, J. C. (2019). Energía Solar Fotovoltaica: Fundamentos y Aplicaciones. Madrid, España: Editorial Paraninfo.

son. (2024). ¿Cuáles son los principales componentes de los paneles solares? Retrieved August 4, 2024, from ¿Cuáles son los principales componentes de los paneles solares? website: <https://www.maysunsolar.es/blog/cuales-son-los-principales-componentes-de-los-paneles-solares>

Martínez-Salazar, E., González-Alonso, J. A., & Peña-Alonso, A. (2022). Evaluación de la viabilidad de sistemas de bombeo solar fotovoltaico para el suministro de agua potable en zonas rurales de Chile. Revista Iberoamericana de Energía, 7(1), 1-13.

¿Qué tipos de instalaciones solares existen? | AutoSolar Blog. (2024). Retrieved August 4, 2024, from Autosolar.co website: <https://autosolar.co/aspectos-tecnicos/que-tipos-de-instalaciones-solares-existen>

Celdas Fotovoltaicas, Qué Son Y Cómo Funcionan - Led Solar. (2024, January 9). Retrieved August 4, 2024, from Led Solar website: <https://www.ledsolar.com.mx/celdas-fotovoltaicas-y-paneles-solares/>

Solar Power International. (2023). Sistemas de bombeo solar fotovoltaico: Guía de diseño y construcción. Wilmington, DE: Solar Power International.

Ministerio de Energía de Chile (2022). Estudio de factibilidad para el desarrollo de sistemas de bombeo solar fotovoltaico en Chile. Santiago, Chile: Ministerio de Energía.

The Hydraulic Institute. (2019). The Hydraulic Institute Pump Handbook. Alexandria, VA: The Hydraulic Institute.

Bomba De Agua Manual: Qué Son, Cómo Funcionan, Para Qué Te Pueden Servir. (2023, March 31). Retrieved August 4, 2024, from EcoInventos website: <https://ecoinventos.com/bomba-de-agua-manual/>

tritecadm. (2017, August 18). TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS - Tritec Intervento. Retrieved August 4, 2024, from Tritec Intervento website: <https://tritec-intervento.cl/tipos-de-paneles-fotovoltaico>

Instituto Nacional de Normalización. (2011). Norma Chilena NCh399. Tuberías de poli (cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U) para conducción de fluidos a presión. Requisitos. Santiago, Chile: INN.

¿Cómo funcionan las celdas fotovoltaicas? | Iluminet revista de iluminación. (2016, October 25). Retrieved August 4, 2024, from Iluminet revista de iluminación website: <https://iluminet.com/funcionamiento-paneles-fotovoltaicos-energia-solar/>

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome, Italia: FAO.

Centro de Energía Solar de Chile. (2021). Sistemas de bombeo solar fotovoltaico: Guía para el diseño y dimensionamiento. Santiago, Chile: Centro de Energía Solar de Chile.

White, F. M. (2018). Fluid Mechanics (8th ed.). New York, NY: McGraw-Hill Education.