



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“PROPUESTA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA
BOMBEO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA PROVINCIA
DE CELENDÍN-CAJAMARCA”**

Autor:

Bach. GABRIEL ALEXANDER SÁNCHEZ MONTENEGRO

Asesor:

Ing. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA

LAMBAYEQUE – PERÚ

Febrero del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



TESIS DE INGENIERÍA

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“PROPUESTA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA
BOMBEO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA PROVINCIA DE
CELENDÍN-CAJAMARCA”**

Autor:

Bach. GABRIEL ALEXANDER SÁNCHEZ MONTENEGRO

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE: Msc. SEGUNDO ABELARDO HORNA TORRES.

SECRETARIO: Dr. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO

VOCAL: Ing. TEOBALDO EDGAR JULCA OROZCO

ASESOR: Ing. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA.

LAMBAYEQUE – PERÚ

Febrero del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS DE INGENIERÍA

TITULO

“PROPUESTA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA BOMBEO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA PROVINCIA DE CELENDÍN-CAJAMARCA”

CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES.

Bach. GABRIEL ALEXANDER SÁNCHEZ MONTENEGRO

PRESIDENTE

SECRETARIO

VOCAL

ASESOR

LAMBAYEQUE – PERÚ

Febrero del 2019

DEDICATORIA

A Dios por guiar mis pasos para culminar una de mis metas y permitirme vivir para seguir adelante en el camino hacia el éxito profesional, así también por haberme dado el regalo más grande en la vida que es la familia.

A mis padres: Luis Alberto Sánchez Rosado y Liliana Irene Montenegro Callacna, por tener la paciencia de enseñarme y guiarme por el buen camino. A mis hermanos por ser personas únicas y a mi familia en general.

Bach: Gabriel Alexander Sánchez

Montenegro

AGRADECIMIENTO

A mi asesor de tesis Ing. Carlos Javier Cotrina Saavedra por su apoyo y colaboración incondicional en la elaboración y desarrollo de esta TESIS y así mismo por los conocimientos aprendidos.

A la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica y docentes por haberme brindado los conocimientos y valores necesarios para mi formación académica.

Bach: Gabriel Alexander Sánchez

Montenegro

RESUMEN

El objetivo general de la tesis fue Proponer un sistema fotovoltaico para el bombeo de agua subterránea en la provincia de Celendín – Cajamarca.

La investigación en esta tesis fue aplicada pues en base a los conocimientos de ingeniería se trata de dar soluciones a problemas de la vida real, como es en este caso solucionar el problema de déficit de agua en el periodo de sequía. Luego de investigar y elaborar la tesis podemos indicar lo siguiente: Con los datos de radiación solar de NASTEC se ha obtenido una radiación solar mínima de $4,50 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ para el periodo de sequía, también se ha obtenido datos de radiación solar del atlas solar del Perú con un valor de $4,50 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$. Se determinó el consumo diario de agua para animales el cual es de 3 457 litros o $3,457 \text{ m}^3$ y también se calculó la cantidad de agua necesaria para el riego de 2 hectáreas de terreno con un consumo diario de $114,88 \text{ m}^3$, considerando un 10% adicional y un 10 % para el llenado de tanque de almacenamiento el total de agua diaria requerida es de $143,19 \text{ m}^3$. El sistema de bombeo fotovoltaico estará conformado por 01 bomba sumergibles LORENTZ PS2-4000C-SJ30-2, 16 paneles fotovoltaicos de la marca SIMAX de 240 Wp. El presupuesto referencial del sistema de bombeo fotovoltaico es de S/. 113 611,61. Se realizó la evaluación económica obteniéndose que para una tasa de interés del 19% obteniéndose el de VAN = S/. 217 284,37 > 0 y la TIR de 47 %. Y para una tasa de descuento de 25,75 % el VAN es de S/. 104 973,91 > 0 y la TIR= 43 % por lo que la propuesta es aceptable.

Palabras clave: Irradiación solar, evapotranspiración, panel fotovoltaico.

ABSTRACT

The general objective of the thesis was to propose a photovoltaic system for the pumping of groundwater in the province of Celendín - Cajamarca.

The research in this thesis was applied because based on the knowledge of engineering it is about giving solutions to problems of real life, as in this case it is necessary to solve the problem of water deficit in the period of drought. After investigating and developing the thesis, we can indicate the following: With the NASTEC solar radiation data, a minimum solar radiation of $4,50 \text{ kWh} / \text{m}^2 / \text{day}$ has been obtained for the period of drought, solar radiation data has also been obtained of the solar atlas of Peru with a value of $4,50 \text{ kWh} / \text{m}^2 / \text{day}$. The daily consumption of water for animals was determined, which is 3 457 liters or $3,457 \text{ m}^3$ and the amount of water needed for the irrigation of 2 hectares of land with a daily consumption of $114,88 \text{ m}^3$ was also calculated, considering 10% additional and 10% for the filling of storage tank the total daily water required is $143,19 \text{ m}^3$. The photovoltaic pumping system will consist of 01 submersible pump LORENTZ PS2-4000C-SJ30-2, 16 photovoltaic panels of the SIMAX brand of 240 Wp. The reference budget of the photovoltaic pumping system is S / . 113 611,61. The economic evaluation was carried out, obtaining that for an interest rate of 19%, obtaining the $\text{VAN} = \text{S} / . 217\,284.37 > 0$ and the IRR of 47%. And for a discount rate of 25,75%, the NPV is $\text{S} / . 104\,973,91 > 0$ and the $\text{IRR} = 43\%$, so the proposal is acceptable.

Keywords: Solar irradiation, evapotranspiration, photovoltaic panel.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Realidad Problemática	2
1.2. Formulación del Problema	3
1.3. Delimitación de la Investigación	4
1.3.1. Delimitación espacial	4
1.3.2. Delimitación temporal	11
1.4. Justificación e Importancia de la TESIS	11
1.5. Limitaciones de la TESIS	12
1.6. Objetivos de la TESIS	13
1.6.1. Objetivo General	13
1.6.2. Objetivo Específicos	13
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	13
2.1. Antecedentes de Estudios	14
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado	18
2.2.1. Energía solar	18
2.2.2. Radiación solar	25
2.2.3. Principio fotoeléctrico.....	31
2.2.4. Panel fotovoltaico.....	36
2.2.5. Bombas solares	49
2.2.6. Evapotranspiración	80
2.2.7. Coeficiente de cultivo	81

2.2.8. Evaluación económica de proyectos de inversión	82
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.....	85
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	90
3.1. Tipo y diseño de investigación	90
3.2. Población y muestra.....	90
3.3. Hipótesis	90
3.4. Variables - Operacionalización.....	91
3.5. Métodos y Técnicas de investigación.....	93
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados	93
3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos	94
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	95
4.1. Descripción del sistema propuesto	95
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	96
5.1. Irradiación solar en la zona del proyecto.....	97
5.1.1. Irradiación solar con NASTEC	97
5.2. Calculo del volumen de agua.....	100
5.2.1. Calculo del volumen de agua requerido por los animales.....	101
5.2.2. Calculo del volumen de agua necesario para riego	103
5.2.3. Volumen total de agua	108
5.3. Dimensionamiento del sistema de bombeo fotovoltaico de agua	110
5.3.1. Calculo de la altura equivalente de bombeo	110
5.3.2. Dimensionamiento de la bomba sumergible	111
5.3.3. Dimensionamiento del generador fotovoltaico	114
5.4. Costo de inversión del propuesta.....	126
5.4.1. Costo del sistema de bombeo fotovoltaico	126
5.5. Estudio de viabilidad técnico económica.....	127
5.5.1. Flujo de caja proyectado.....	127
5.5.2. Estructura del flujo de caja.....	127
5.5.3. Valor actual neto (VAN)	129
5.5.4. Tasa Interna de Retorno (TIR).....	130
CAPITULO VI: CONCLUSIONES	133
6.1. Conclusiones.....	133
BIBLIOGRAFÍA	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Ubicación geográfica de Cruz Conga	4
Tabla N° 2: Vías de acceso a Cruz Conga-Celendín	5
Tabla N° 3: Tabla climática- Celendín	8
Tabla N° 4: Diferencias entre los paneles según la tecnología de fabricación	43
Tabla N° 5: Consumo estimado para satisfacer las necesidades diarias de agua	67
Tabla N° 6: valores de la constante K usando la fórmula de Maning	72
Tabla N° 7: Coeficiente K para diferentes tipos de accesorios en tuberías ...	73
Tabla N° 8: Operacionalización de variables.....	92
Tabla N° 9: Instrumentos para cada técnica	94
Tabla N° 10: Irradiación en Celendín	98
Tabla N° 11: tipo y número de animales	101
Tabla N° 12: Necesidades hídricas de animales	103
Tabla N° 13: Factor mensual de latitud	105
Tabla N° 14: eficiencia según el tipo de riego	107
Tabla N° 15: Caudal de agua requerido para cada mes del año.....	109
Tabla N° 16:Relacion de Bombas LORENTZ.....	112
Tabla N° 17: Potencia requerida por los paneles fotovoltaicos para cada mes	115
Tabla N° 18: Costo del arreglo del generador fotovoltaico	116
Tabla N° 19: Porcentajes de caída de tensión	119
Tabla N° 20: Conductores eléctricos NYY.....	119
Tabla N° 21: datos técnicos del motor de las bombas LORENTZ.....	121
Tabla N° 22: Sección mínima de conductores de protección	123
Tabla N° 23: Selección del conductor de protección	123
Tabla N° 24: Selección de fusibles de protección	125
Tabla N° 25: Costo de inversión de un sistema de bombeo fotovoltaico.....	126
Tabla N° 26: Costo de inversión de la propuesta	126
Tabla N° 27: Depreciación de equipos	128
Tabla N° 28: Tasa activa anual	129
Tabla N° 29: Resultados de cálculo del VAN	129
Tabla N° 30: Resultados del cálculo de TIR	130
Tabla N° 31:Flujos de caja proyectados (tasa de descuento: 19 %) para un horizonte de 20 años (Elaboración propia).....	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1:Árbol de problemas	3
Figura N° 2: Ubicación de la Localidad Cruz Conga de Celendín	6
Figura N° 3: Humedad relativa en Celendín	8
Figura N° 4: Velocidad del viento	10
Figura N° 5: Precipitación anual en Celendín	11
Figura N° 6: Mapa de irradiación horizontal en Latinoamérica y el caribe	22
Figura N° 7: Mapa solar del Perú	24
Figura N° 8: Radiación solar.....	25
Figura N° 9: Componentes de la radiación solar	27
Figura N° 10: Componentes de la radiación solar terrestre total	28
Figura N° 11: Balance energético sobre un cuerpo.....	29
Figura N° 12: Horas solares pico.....	30
Figura N° 13: Célula Fotoeléctrica.....	31
Figura N° 14: Efecto fotovoltaico	32
Figura N° 15: Pirheliómetro autocalíbrable de cavidad absoluta	34
Figura N° 16: Piranómetro con banda de sombra	35
Figura N° 17: Piranómetro.....	36
Figura N° 18: Funcionamiento célula de Silicio	37
Figura N° 19: Silicio.....	37
Figura N° 20: Partes de un panel fotovoltaico	39
Figura N° 21:Panel fotovoltaico policristalino	40
Figura N° 22: Características i-V y p-v de una célula fotoeléctrica.....	41
Figura N° 23: Efectos de la temperatura	42
Figura N° 24: Conexión en serie de módulos fotovoltaicos	45
Figura N° 25: Conexión en paralelo de módulos fotovoltaicos	46
Figura N° 26: Conexión serie/paralelo de módulos fotovoltaicos	46
Figura N° 27: Estructura Fija	47
Figura N° 28: Instalación de Seguidor Solar	48
Figura N° 29: Detalle de componentes adicionales para Seguidor Solar	49
Figura N° 30: Bombeo fotovoltaico.....	50
Figura N° 31: Panel fotovoltaico	52
Figura N° 32: Efecto de la temperatura de trabajo en la curva I-V	53
Figura N° 33: Variación de la curva I-V , con la irradiación solar incidente ..	54
Figura N° 34: Bombas centrifugas de succión superficial	59
Figura N° 35: Bomba centrifuga superficial	60
Figura N° 36: Bomba centrifuga sumergible.....	61
Figura N° 37: Bomba volumétrica de cilindro	62
Figura N° 38: Caudal vs carga dinámica del sistema	69
Figura N° 39: Componentes hidráulicos de un sistema de bombeo de agua ..	70

Figura N° 40: Diagrama esquemático mostrando la idea intuitiva de variación de nivel del agua en un pozo de bombeo.....	75
Figura N° 41: Deposito de almacenamiento de agua en un sistema de bombeo de agua	80
Figura N° 42: Componentes de la evapotranspiración	81
Figura N° 43: Coeficiente de cultivo según las diferentes clases de cultivo ..	81
Figura N° 44: Flujograma de la propuesta.....	96
Figura N° 45: Irradiación solar en el departamento de Cajamarca	99
Figura N° 46: Comparación entre las fuentes de datos de irradiación solar..	100
Figura N° 47: Ganado vacuno en Cruz Conga	101
Figura N° 48: Becerros en la localidad de Cruz Conga	102
Figura N° 49: Ganado vacuno alimentándose de rey gras.....	107
Figura N° 51: Bomba LORENTZ PS2-4000 C-SJ30-2	113
Figura N° 52: Curva característica le bomba LORENTZ PS2- 4000 C-SJ30-2	113
Figura N° 53: Características técnicas del controlador PS 4000	116
Figura N° 54: Fusibles para aplicaciones fotovoltaicas	124

INTRODUCCIÓN

El objetivo de la presente tesis fue proponer el dimensionamiento de un sistema de bombeo de agua.

Se inicia con descripción de la realidad problemática actual en la localidad Cruz Conga determinando ciertas observaciones de la realidad que me permite describir mi árbol de causas y efectos que me delimitan el problema central, llegando a los objetivos del presente en el capítulo I; con la finalidad de llevar a cabo la propuesta.

En el siguiente capítulo, se presenta los estudios anteriores y proyectos aplicados en otra realidad, que sustentan y avalan el uso de energías no convencionales para los sistemas de bombeo con tecnología fotovoltaica de punta que un alto rendimiento y pruebas exitosas; se tomara en cuenta los tópicos teóricos que respalden el presente trabajo de investigación.

En el Capítulo III, se describe la metodología a seguir con la finalidad de alcanzar los objetivos desde la recolección de datos hasta el procesamiento y obtención de los resultados. A continuación, en el siguiente capítulo; se aborda la propuesta que va dar una solución a la realidad problemática existente, la cual es viable técnica y económica.

En el Capítulo Final se presenta los resultados obtenidos que da viabilidad técnica y económica que nos permite la selección de equipos y su factibilidad económica.

Por último, se describe las conclusiones a las que se llegó de acuerdo a los objetivos planteados inicialmente en este trabajo de investigación, respaldados por cálculos y hojas técnicas las cuales se adjunta en los anexos.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

La principal actividad de los pobladores de la localidad Cruz Conga en Celendín es la producción de leche en base a ganado vacuno (vacas lecheras) y siendo el agua un elemento vital para el consumo de los animales. Sin embargo debido a la geografía no permite que todos los pobladores sean beneficiados igualmente con el recurso hídrico y ellos se ven en la necesidad de realizar viajes diarios para conseguir el agua.

Los terrenos son productivos todo el año, pero lo que pasa es que las tierras más alejadas solo producen en época de lluvia y en los meses de sequía que son los meses de mayo a septiembre tiene problemas con el agua afectando así la productividad agrícola y la muerte de animales en consecuencia afectando su economía, este panorama es crítico para estos pobladores.

En el Perú promueve el uso de las energías no convencionales con su plan Nacional de Energías Renovables el cual incluye aquellas estrategias, programas y proyectos a desarrollarse utilizando energías renovables (energía eólica, energía solar, energía geotérmica, energía mareomotriz), que tiende a mejorar la calidad de vida de la población y proteger el medio ambiente (Según el Artículo 11° de DLEG-1002-2008).

La población de la localidad Cruz Conga tiene desconocimiento del uso de tecnologías de bombeo de agua con sistema fotovoltaico.

Esta situación problemática es el punto de partida para realizar esta tesis y proponer soluciones que aprovechen el uso de las energías no convencionales las cuales no afectan al medio ambiente.

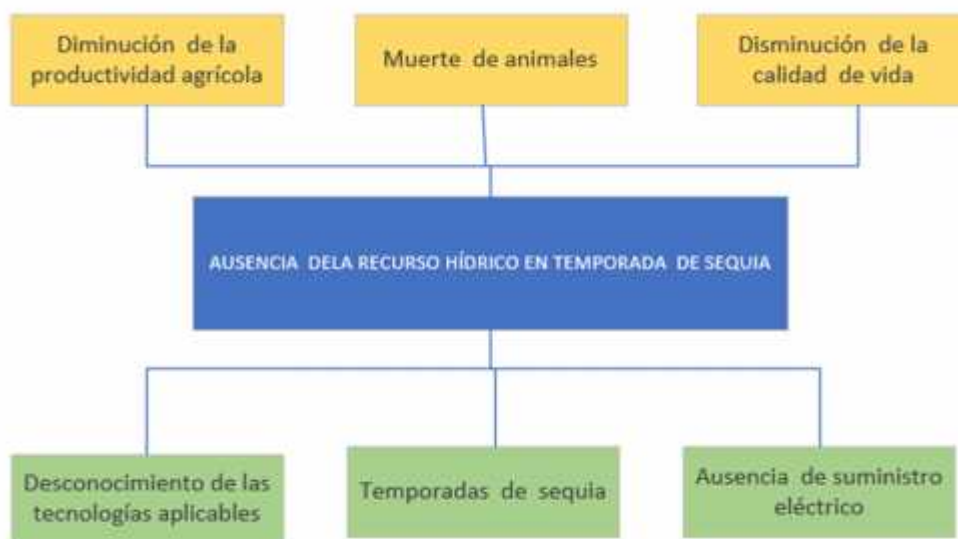


Figura N° 1:Árbol de problemas¹

1.2. Formulación del Problema

¿Tendremos la radiación solar suficiente para el bombeo de agua subterránea en la localidad de Cruz Conga ubicado en la provincia de Celendín.?

¹Adaptado de

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/7792/1/LandaetaChinchillaLauraRocio.pdf>

1.3. Delimitación de la Investigación

1.3.1. Delimitación espacial²

El estudio se realizó en el centro poblado Cruz Conga que se encuentra ubicado³ en las coordenadas UTM 809595 E 9224750 N Datum: WGS84, Zona 17 sur jurisdicción de Sucre. Cruz Conga esta al sur este dela provincia de Celendín a una distancia de 40 minutos utilizando la carretera afirmada Celendín Cajamarca. En la propiedad de la señora Eudocia fidela Sánchez delgado.

Ubicación geográfica

Tabla N° 1: Ubicación geográfica de Cruz Conga⁴

Región	Cajamarca
Provincia	Celendín
Distrito	Sucre
Localidad	Cruz Conga

Vías de acceso

²https://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Celend%C3%ADn

³<http://dt.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/documentos/categorizaciones/celendin/Resolucion%20y%20Expediente%20de%20Caserio%20Cruz%20Conga-Sucre-Celendin.PDF>

⁴Elaboracion propia

El acceso al lugar donde se desarrolló el estudio es la siguiente:

Tabla N° 2: Vías de acceso a Cruz Conga⁵-Celendín

Desde	Hacia	Distancia (km)	Tiempo (Hora: minuto)	Tipo de vía
Cajamarca	Celendín	107,00	03:00	Asfaltada
Celendín	Cruz Conga	18,00	00:40	Trocha

La Provincia de Celendín es una de las trece que conforman el Departamento de Cajamarca, bajo la administración del [Gobierno Regional de Cajamarca](#), en el Perú.

Limita al norte con la provincia de Chota, al este con la Región Amazonas, al sur con las provincias de San Marcos y Cajamarca, y al occidente con la provincia de Hualgayoc.

⁵ Fuente: <http://zonasegura.seace.gob.pe/mon/docs/procesos/2012/000640/480629472radFB1DD.PDF>



Figura N° 2: Ubicación de la Localidad Cruz Conga de Celendín⁶

Historia⁷

La provincia se encuentra en la cordillera occidental, flanco oriental de los Andes, al norte del Perú. La historia moderna de Celendín empieza con la fundación política de la ciudad, el 19 de diciembre de 1802, gracias a los esfuerzos previos del obispo de Trujillo Baltazar Jaime Martínez de Compañón y Bujanda, quien empujó el proceso de compra de una hacienda por sus

⁶http://www.perutoptours.com/index06ca_mapa_departamento.html

⁷https://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Celend%C3%ADn

arrendatarios formados por Familias Españolas y Portuguesas, lo que culminó con el surgimiento de la actual población en una hermosa planicie al nororiente de [Cajamarca](#).

La ciudad fue levantada sobre un trazado "a cordel" del ingeniero José Comesana, quien planificó calles rectas y manzanas de 80 varas por lado, lo que dio como resultado una ciudad hermosa y serena, de calles impecablemente regulares; tanto así, que Celendín ha sido tantas veces comparada con el famoso damero o tablero de ajedrez. Es un misterio el origen de muchos de los fundadores del pueblo. Por los apellidos y rasgos culturales, se sabe que en muchos casos se trataba de descendientes de familias Galaico-Portuguesas de raíz judía o judío conversa.

Durante la época colonial, desde fines del siglo XVII y a lo largo del siglo XVIII, muchos judíos sefarditas que habían sido expulsados de España y Portugal pasaron a América, ya sea por su cuenta o por cuenta de Holanda, que tenía planes de colonización en América del Sur e intentaba apoderarse de Brasil, empresa que fracasó. Muchos Holandeses se quedaron en estas tierras mestizándose con los judíos e indígenas de la zona.

Según antiguas historias y tradiciones familiares en torno a los orígenes étnicos y culturales de Celendín, un grupo de judíos portugueses llegó hasta la zona en el siglo XVIII, se enamoró de la región y decidió quedarse.

Clima promedio en Celendín

En Celendín, los veranos son largos, cómodos y nublados y los inviernos son cortos, fríos, secos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 5 °C a 21 °C y rara vez baja a menos de 3 °C o sube a más de 24 °C.(ver Tabla N° 3)

En base a la puntuación de turismo, las mejores épocas del año para visitar Celendín para actividades de tiempo caluroso son desde mediados de mayo hasta principios de junio y desde mediados de julio hasta mediados de octubre

Tabla N° 3: Tabla climática- Celendín⁸

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	14.8	14.3	14.2	14.2	13.9	13.1	13.1	13.3	13.8	14.5	14.5	14.5
Temperatura mín. (°C)	8.5	8.1	8.1	7.9	6.5	4.9	4.9	5.3	6.4	7.7	7.2	7.3
Temperatura máx. (°C)	21.2	20.6	20.4	20.6	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.4	21.8	21.7
Temperatura media (°F)	58.6	57.7	57.6	57.6	57.0	55.6	55.6	55.9	56.8	58.1	58.1	58.1
Temperatura mín. (°F)	47.3	46.6	46.6	46.2	43.7	40.8	40.8	41.5	43.5	45.9	45.0	45.1
Temperatura máx. (°F)	70.2	69.1	68.7	69.1	70.3	70.3	70.3	70.3	70.3	70.5	71.2	71.1
Precipitación (mm)	88	101	125	87	40	22	20	18	47	100	88	88

Humedad relativa

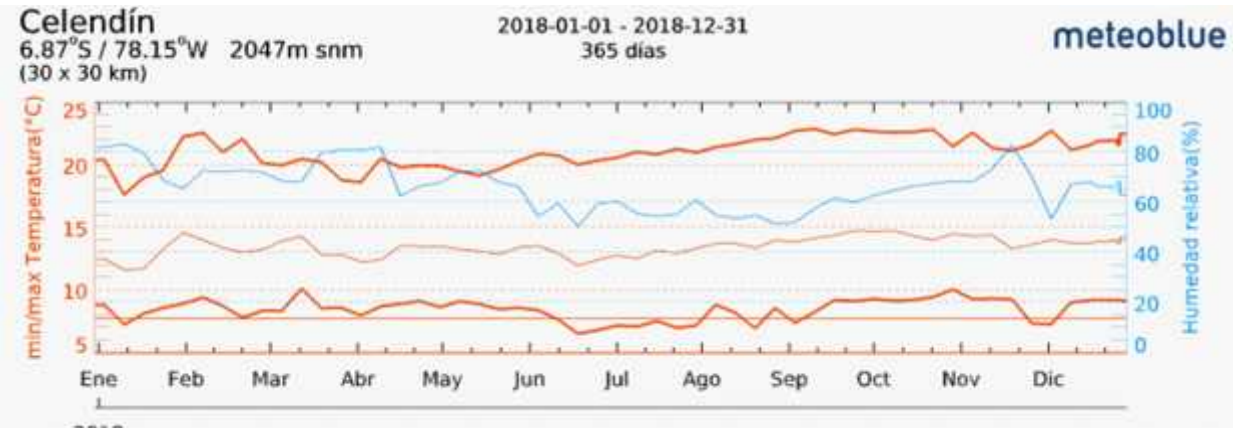


Figura N° 3: Humedad relativa⁹ en Celendín

Viento¹⁰

⁸<https://es.climate-data.org/americas-del-sur/peru/cajamarca/celendin-51364/>
⁹https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/archive/celend%C3%ADn_per%C3%BA_3698608?fcstlength=1y&year=2018&month=2

Esta sección trata sobre el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a *10 metros* sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora.

La velocidad promedio del viento por hora en Celendín tiene variaciones estacionales *leves* en el transcurso del año.

La parte *más ventosa* del año dura *3,9 meses*, del *13 de junio* al *9 de octubre*, con velocidades promedio del viento de más de *8,9 kilómetros por hora*. El día *más ventoso* del año es el *18 de agosto*, con una velocidad promedio del viento de *10,4 kilómetros por hora*..(ver Figura N° 3)

El tiempo *más calmado* del año dura *8,1 meses*, del *9 de octubre* al *13 de junio*. El día *más calmado* del año es el *31 de marzo*, con una velocidad promedio del viento de *7,3 kilómetros por hora*.

¹⁰ <https://es.weatherspark.com/y/19981/Clima-promedio-en-Celend%C3%ADn-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

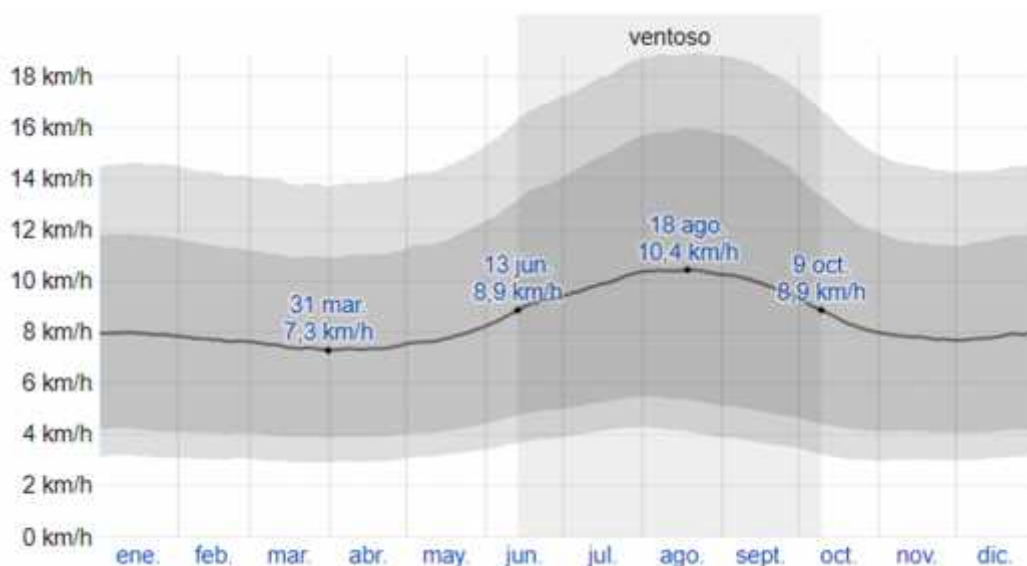


Figura N° 4: Velocidad del viento¹¹

Precipitación¹²

Un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en Celendín varía considerablemente durante el año.

La temporada más mojada dura 6,9 meses, de 6 de octubre a 2 de mayo, con una probabilidad de más del 19 % de que cierto día será un día mojado. La probabilidad máxima de un día mojado es del 36 % el 28 de marzo.

La temporada más seca dura 5,1 meses, del 2 de mayo al 6 de octubre. La probabilidad mínima de un día mojado es del 1 % el 23 de julio.

Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen solamente lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos. En base a esta

¹¹<https://es.weatherspark.com/y/19981/Clima-promedio-en-Celend%C3%ADn-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

¹²<https://es.weatherspark.com/y/19981/Clima-promedio-en-Celend%C3%ADn-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 36 % el 28 de marzo.



Figura N° 5: Precipitación anual en Celendín¹³

1.3.2. Delimitación temporal

Este trabajo de tesis tuvo una duración de 08 meses.

1.4. Justificación e Importancia de la TESIS

Justificación técnica

¹³ <https://es.weatherspark.com/y/19981/Clima-promedio-en-Celend%C3%ADn-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

La presente tesis es importante porque permite el acercamiento tecnológico de la localidad Cruz Conga y fomenta el uso de energías renovables, contribuyendo así al estudio de esta línea de investigación.

Justificación económica

Con el sistema de bombeo fotovoltaico, se tendrá el agua suficiente para todos los animales, las cuales son el sustento de los habitantes de la localidad evitando así que los vendan, además se logrará cultivar el alimento y con ello evitar que los animales enfermen o mueran de hambre. Es decir como consecuencia mejorará la calidad de vida.

Justificación ambiental

Debido a que el presente trabajo de investigación hace uso de la energía no convencional (energía solar fotovoltaica), entonces contribuirá a la reducción de CO₂ que se genera debido a otros tipos de energía que provienen de la quema de combustibles fósiles.

Justificación social

Con el dimensionamiento del Sistema de bombeo de agua fotovoltaico posibilitará beneficios provechosos en cuanto al aumento de la calidad de vida de los habitantes que en los periodos de sequía tienen un déficit del líquido elemento, solucionando el problema de estas familias ubicadas en lugares inaccesibles dando lugar al inicio de expectativas de progreso y desarrollo para la comunidad, brindándoles así un mejor futuro para sus familias.

1.5. Limitaciones de la TESIS

Con respecto de los datos de radiación solar el estudio se ha limitado a 2 fuentes, las cuales son: el atlas solar del Perú y NASTEC.

La tesis desarrollada abarca el sistema fotovoltaico para el riego de terreno de cultivo, así como el suministro de agua para animales cuyo propietario no tiene acceso al recurso hídrico en los meses de sequía. en la localidad de Cruz Conga en Celendín.

1.6. Objetivos de la TESIS

1.6.1. Objetivo General

Proponer un sistema fotovoltaico para el bombeo de agua subterránea en la provincia de Celendín – Cajamarca.

1.6.2. Objetivo Específicos

- a) Obtener los datos de irradiación solar en la zona del proyecto.
- b) Determinar el requerimiento de agua para consumo de animales y para riego de cultivos.
- c) Dimensionar el sistema bombeo fotovoltaico para agua subterránea
- d) Determinar el costo de inversión del sistema de bombeo fotovoltaico.
- e) Realizar una evaluación económica que indique la viabilidad de la implementación de la propuesta (VAN, TIR.)

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

Contexto Internacional

Cabrera Peña & Fermin Montiel(2003, pág. 12)en su tesis titulado “Celdas fotovoltaicas para energizar un sistema de bombeo de agua”, en esta tesis explica que se realizó un análisis para la producción de la energía eléctrica a partir de los rayos del sol, que está basada en el fenómeno físico denominado “Efecto Fotovoltaico”, que básicamente consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de unos dispositivos semiconductores denominados celdas fotovoltaicas. Se da a conocer que una de las aplicaciones de gran importancia de la energía solarfotovoltaica es el bombeo solar de agua, ya que estos están diseñados para el suministro de agua y riego en áreas retiradas donde no se dispone de un suministro de energía convencional, o esta no es fiable.

Con estos sistemas el agua puede ser bombeada durante el día y almacenada en tanques, con lo que estará disponible durante la noche y en los días nublado. La capacidad de almacenar el agua elimina la necesidad de baterías en el sistema. Esta configuración del sistema le da una característica más fiable y económica.(Cabrera Peña & Fermin Montiel, 2003)

Además, se realizó un análisis energético de un sistema de bombeo solar de agua con una potencia pico de 75 W, acoplado a una bomba monofásica, lo que permitió establecer las condiciones bajo las cuales el

sistema se desempeña mejor (Carga Dinámica Total y litros producidos por día). Se llevaron a cabo mediciones de las variables involucradas en el sistema de bombeo fotovoltaico, tales como: voltaje y corriente consumida por la bomba, irradiancia incidente y el flujo de agua producido por día. (Cabrera Peña & Fermin Montiel, 2003)

Cerdán Cabrea (2011) en su tesis titulada “DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO SOLAR-EÓLICO PARA CONSUMO DE AGUA EN CABAÑAS ECOTURÍSTICAS EN LA PITAYA, VERACRUZ, MÉXICO” nos expresa que: Uno de los parámetros para medir la calidad de vida de una sociedad son los servicios con los que cuentan sus pobladores. Dos de los principales servicios son el agua potable y la luz eléctrica. A pesar de la importancia de estos servicios muchas personas a nivel mundial no cuentan con alguno de ellos y en ocasiones con ninguno de los dos. Esta problemática es más notoria en los países en desarrollo y se complica cuando la orografía del país es abrupta. Ambas condiciones se presentan en el caso de la República Mexicana, por lo que al año 2005 el 2.46% de su población no contaba con energía eléctrica, el 12,12% no tenía acceso a las redes públicas de distribución de agua y el 1,68% carecía de ambos servicios. El agua es un recurso necesario para el desarrollo y para la vida del hombre. Desgraciadamente hay muchos lugares en el mundo donde el acceso al vital líquido es complicado, en ocasiones debido a la falta del mismo, pero en otros casos debido a la dificultad para trasladarlo del lugar en que se encuentra (lagos, ríos, pozos o redes de distribución) a las zonas donde se necesita. En este último caso, los habitantes de estos lugares se ven obligados a ir a la fuente de agua y acarrear el agua hasta sus hogares, tarea que la mayoría de las veces se realiza a pie.

Una solución al problema del traslado de agua son los sistemas de bombeo pero para que las bombas realicen este trabajo requieren energía. Si al lugar llegan las redes de distribución de energía eléctrica, el sistema de bombeo puede ser instalado sin mayores complicaciones. Sin embargo, en el caso de los lugares que además de falta de suministro de agua carecen de electricidad las opciones son más limitadas.

Natanael Elenes (2012, pág. 73) expresa en su trabajo de tesis “Análisis de factibilidad de un sistema de bombeo de agua con energía solar como propuesta de adaptación para riego en rayón, Sonora” da a conocer que “El análisis de mercado, expresa cuantitativamente el interés de buscar alternativas por parte de un grupo de agricultores, que les provea una solución a la problemática del alto consumo de energía eléctrica, derivado de su aplicación para el bombeo de agua de los pozos. así mismo, el interés por invertir en el desarrollo de un sistema de bombeo de agua a partir de la energía solar si la propuesta es económicamente viable”.

Contexto nacional

Josue Eliezer (2015, pág. 2) en su tesis titulado: “DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BOMBEO CON PANELES SOLARES – CASO UNALM” En el resumen expresa que el bombeo de agua con energía solar fotovoltaica se ha vuelto una gran alternativa en las comunidades rurales y los sistemas aislados del país. Las primeras instalaciones en el Perú se remontan a 1978 donde se utilizaban motores de corriente continua de media y baja potencia

(menores a 800W) directamente acoplados al generador fotovoltaico utilizando bombas centrífugas. Posteriormente, la inclusión de los motores de corriente alterna en la aplicación del bombeo fotovoltaico ofreció un avance en la tecnología de la electrónica, incrementando la fiabilidad y el rango de potencia de operación. Pero a pesar de las cuantiosas mejoras introducidas como convertidores AC/DC o inversores DC/AC todavía se sigue buscando la manera de optimizar los sistemas de bombeo fotovoltaico, su rendimiento, fiabilidad, el rango de potencia y una reducción en los costos.

Hoy en día, las necesidades básicas de agua establecen un consumo humano en áreas rurales en 20 litros/día aproximadamente. En las zonas rurales el mayor consumo de agua se produce para los sistemas de cultivos agrícolas así como en la alimentación de animales.(Alata Rey, 2015)

En resumen, el presente trabajo consiste en el dimensionamiento de un sistema de bombeo con paneles solares fotovoltaicos para una estación de bombeo de agua. La aplicación del presente estudio se desarrollará como un programa piloto para abastecer con agua a los servicios higiénicos de un pabellón de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Posteriormente se aplicará en todo el campus y como referencia para las comunidades rurales en donde la universidad tiene un convenio establecido.(Alata Rey, 2015)

Hernández Quijaite, en su trabajo de tesis “Bombeo de agua con energía solar en el departamento de Ica” da a conocer qué el principal limitante de los sistemas convencionales es que el combustible suele tener continuos

incrementos en su precio de venta, sea esto le suma el costo por transporte y los gastos operativos que supone la instalación, el costo resulta mayor respecto a lo obtenido con la energía solar. Aunque la inversión inicial se estima relativamente alta, los gastos operativos (operador, mantenimiento, etc.) no son significativos. Se debe tener en cuenta que el precio de los módulos solares ha disminuido en los últimos años, haciendo que los sistemas de bombeo solar resulten económicos.

Además, sostiene que los sistemas de bombeo de agua con energía solar requieren de una alta inversión inicial, pero el costo de mantenimiento y operación es muy bajo, en contraste con los sistemas que utilizan combustible, donde su inversión inicial es baja y un alto costo de operación y mantenimiento. Por otro lado, la larga vida útil y alta confiabilidad. La vida útil de un panel fotovoltaico se estima alrededor de 20 años y durante ese periodo el porcentaje de fallas es extremadamente bajo, lo que hace un sistema de alta confiabilidad (Hernandez Quijate).

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

2.2.1. Energía solar¹⁴

El sol es una fuente primaria de energía, que puede ser usada directa o indirectamente. El sol produce constantemente energía electromagnética que llega directamente a la tierra. La energía solar se puede transformar de dos maneras: La primera consisten en utilizar parte del espectro

¹⁴(Alata Rey, 2015, pág. 7)

electromagnético de la energía del sol para producir calor; a la energía obtenida se le llama energía solar térmica.

La segunda, utiliza la otra parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir electricidad; a la energía obtenida se le llama energía solar fotovoltaica. (Alata Rey, 2015)

Dimensionamiento de un sistema de bombeo con paneles solares - caso UNALM

2.2.1.1. Energía solar en el mundo¹⁵

“El aumento extraordinario en la inversión solar muestra cómo el mapa de energía global está cambiando y, lo que es más importante, cuáles son los beneficios económicos de ese cambio”, dijo Erik Solheim, Director Ejecutivo de ONU Medio Ambiente. “Las inversiones en energías renovables atraen a más personas a la economía, ofrecen más empleos, trabajos de mejor calidad y empleos mejor remunerados. La energía limpia también significa menos contaminación, lo que significa un desarrollo más saludable y feliz”.

En general, China fue el mayor país inversor en energías renovables, con un récord de US\$ 126,6 mil millones, 31% más que en 2016.

También hubo amplios incrementos en la inversión en Australia (147%, hasta US\$8.5 mil millones), México (810%, hasta US\$6 mil millones) y en Suecia (127%, hasta \$3,7 mil millones).

¹⁵ <https://www.unenvironment.org/es/news-and-stories/comunicado-de-prensa/la-energia-solar-agrego-mas-capacidad-de-generacion-electrica>

El año pasado se comisionó un récord de 157 gigavatios de energía renovable, frente a los 143 gigavatios de 2016, y se superó ampliamente los 70 gigavatios de capacidad generadora añadida de combustibles fósiles (tras el ajuste por el cierre de algunas plantas existentes).

"El mundo agregó más capacidad solar que las plantas de carbón, gas o nucleares combinadas", dijo Nils Stieglitz, presidente de la Escuela de Finanzas y Administración de Fráncfort. "Esto muestra hacia dónde nos dirigimos. Aunque las energías renovables todavía están lejos de proporcionar la mayoría de las necesidades eléctricas, eso significa que tenemos un largo camino por recorrer".

Algunos grandes mercados vieron disminuciones en la inversión en energías renovables. En Estados Unidos la inversión cayó un 6%, llegando hasta US\$40,5 mil millones. En Europa hubo una caída de 36%, hasta los US\$40,9 mil millones, con grandes caídas en el Reino Unido (65%, con US\$ 7,6 mil millones) y Alemania (35%, con US\$10,4 mil millones). La inversión en Japón cayó 28%, hasta los US\$13,4 mil millones.

Angus McCrone, editor jefe de Bloomberg New Energy Finance y autor principal del informe, dijo: "En los países que registraron una menor inversión generalmente ocurrió una mezcla entre cambios en el respaldo de políticas, el calendario de financiamiento de grandes proyectos, como los de energía eólica marina, y menores costos de capital por megavatio".

Las inversiones mundiales en energías renovables entre 2007 y 2017 (11 años) -US\$2,7 billones- han aumentado de 5,2% a 12,1% la proporción mundial de electricidad generada por energía eólica, solar, geotérmica, marina, de biomasa o por conversión de residuos a energía, y de pequeñas centrales hidroeléctricas.

El nivel actual de electricidad generado por las energías renovables corresponde a aproximadamente 1,8 gigatoneladas de emisiones de dióxido de carbono, lo que equivale a las emisiones producidas por todo el sistema de transporte de Estados Unidos.

2.2.1.2. Radiación solar en Latinoamérica

El Perú es uno de los países que cuenta con mayor radiación solar en el mundo, por ello cuenta con un gran potencial de desarrollo en el sector de energía fotovoltaica. Dentro de la región, solo Chile lo supera. Esto se puede observar en la Figura N°5.



Figura N° 6: Mapa de irradiación horizontal en Latinoamérica y el caribe¹⁶

¹⁶Valdiviezo Salas, Paulo Daniel. «Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP.» Lima, 2014

2.2.1.3. Energía Solar en el Perú¹⁷

A diferencia de los países nórdicos, el territorio peruano, por estar mucho más próximo al Ecuador, cuenta con sol durante la mayor parte del año. Según el Atlas Solar del Perú elaborado por el Ministerio de Energía y Minas, el Perú tiene una elevada radiación solar anual siendo en la sierra de aproximadamente 5,5 a 6,5 kWh/m²; 5,0 a 6,0 kWh/m² en la Costa y en la Selva de aproximadamente 4,5 a 5,0 kWh/m² (ver Figura N° 6).

En el Perú hay tres ámbitos donde se ha desarrollado el uso de energía solar en el Perú. El primer ámbito (y más tradicional) es el uso como fuente térmica a través de termas de agua en zonas del sur peruano, principalmente Arequipa y Puno, departamentos en los que existe cerca de 30 empresas dedicadas a la fabricación y mantenimiento de estos aparatos. No obstante, aún es amplio el camino a recorrer para masificar el uso de paneles solares tanto para áreas urbanas como rurales destinados al uso térmico el cual implicaría menor consumo de la red eléctrica en los hogares (una terma eléctrica es uno de los principales consumidores de energía eléctrica en un hogar). Es interesante que los avances, en este último caso, generen el desarrollo tecnológico y la difusión de esta fuente de energía renovable en el país. Una característica primordial de la energía solar es su capacidad para adecuarse a proyectos de mediana y pequeña envergadura para usuarios individuales. Por ejemplo, en ámbitos urbanos se pueden desarrollar instalaciones fotovoltaicas que se integren a grandes superficies expuestas como estacionamientos, edificios, marquesinas.

¹⁷<http://gruporural.pucp.edu.pe/nota/el-desarrollo-de-la-energia-solar-en-el-peru/>



Figura N° 7: Mapa solar del Perú¹⁸

¹⁸(SENAMHI, 2003)

2.2.2. Radiación solar

El sol es una estrella en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del sol se transmite al exterior mediante la denominada radiación solar (Alata Rey, 2015).

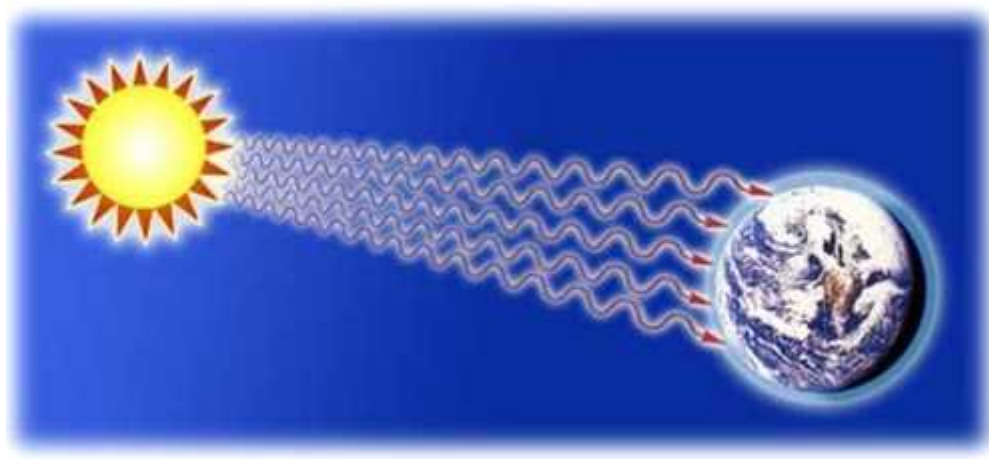


Figura N° 8: Radiación solar¹⁹

2.2.2.1. Tipos de radiación solar

Según como llegue la luz solar a la superficie de la tierra, podemos clasificar la radiación en tres tipos diferentes: directa, dispersa o difusa y albedo. (Chona Suarez, 2013)

Radiación solar directa. Es la que incide sobre cualquier superficie con un ángulo único y preciso. La radiación solar viaja en línea recta, pero los gases y partículas en la atmósfera pueden desviar esta energía, lo que se llama dispersión. Esto explica que un área con sombra o pieza sin luz

¹⁹ <http://misistemasolar.com/radiacion-solar/>

solar está iluminada: le llega luz difusa o radiación difusa. (Chona Suarez, 2013)

Los gases de la atmósfera dispersan más efectivamente las longitudes de onda más cortas (violeta y azul) que las longitudes de onda más largas (naranja y rojo). Esto explica el color azul del cielo y los colores rojo y naranja del amanecer y atardecer. Cuando amanece o anochece, la radiación solar recorre un mayor espesor de atmósfera y la luz azul y violeta es dispersada hacia el espacio exterior, pasando mayor cantidad de luz roja y naranja hacia la Tierra, lo que da el color del cielo a esas horas. (Chona Suarez, 2013)

Se llama albedo a la fracción de la radiación reflejada por la superficie de la tierra o cualquier otra superficie. El albedo es variable de un lugar a otro y de un instante a otro, por ejemplo, para un cuerpo negro, su valor es igual a cero, pero para la nieve es de 0,9; para un suelo mojado es 0,18; etc.

Las proporciones de radiación directa, dispersa y albedo recibida por una superficie dependen:

De las condiciones meteorológicas: en un día nublado la radiación es prácticamente dispersa en su totalidad mientras que en un día despejado con clima seco predomina, en cambio, la componente directa, que puede llegar hasta el 90% de la radiación total.

De la inclinación de la superficie respecto al plano horizontal: una superficie horizontal recibe la máxima radiación dispersa -si no hay alrededor objetos a una altura superior a la de la superficie- y la mínima reflejada. Al aumentar la inclinación de la superficie de

captación disminuye la componente dispersa y aumenta la componente reflejada.

De la presencia de superficies reflectantes (debido a que las superficies claras son las más reflectantes, la radiación reflejada aumenta en invierno por efecto de la nieve y disminuye en verano por efecto de la absorción de la hierba o del terreno).



Figura N° 9: Componentes de la radiación solar²⁰

2.2.2.2. Componentes de la radiación solar

Para especificar la Radiación Solar Terrestre, es necesario definir los siguientes conceptos:

Radiación Solar Directa: Es la radiación que incide directamente del sol.

Radiación Solar Difusa: Es la radiación dispersada por los agentes atmosféricos (nubes, polvo, etc.)

²⁰ http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/02_radiacion/01_basico/2_radiacion_08.htm

Radiación Solar Reflejada(albedo): Es la radiación reflejada por el suelo o por los objetos cercanos

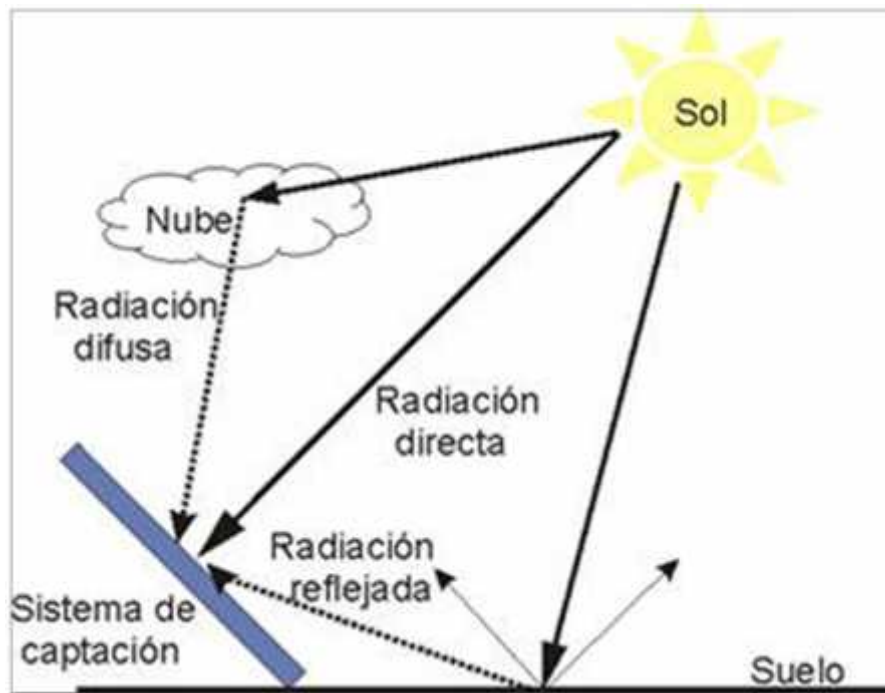


Figura N° 10: Componentes de la radiación solar terrestre total²¹

La radiación solar total sobre la superficie terrestre, es la suma de estas tres componentes y es la que se mide con un medidor de radiación solar llamado piranómetro. A continuación, definiremos los componentes de la radiación solar:

Coefficiente de Absorción: Es el porcentaje de la energía incidente que absorbe el cuerpo.

Coefficiente de Reflexión: Es el porcentaje de la energía incidente que refleja el cuerpo.

Coefficiente de Transmisión: Es el porcentaje de la energía incidente que es transmitida a través del cuerpo.

²¹<https://pedrojhernandez.com/2014/03/08/radiacion-directa-difusa-y-reflejada/>

Luego, por el Principio de Conservación de la Energía:

$$G = G_{\text{reflexión}} + G_{\text{absorción}} + G_{\text{transmisión}} \dots (1)$$

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \dots (2)$$

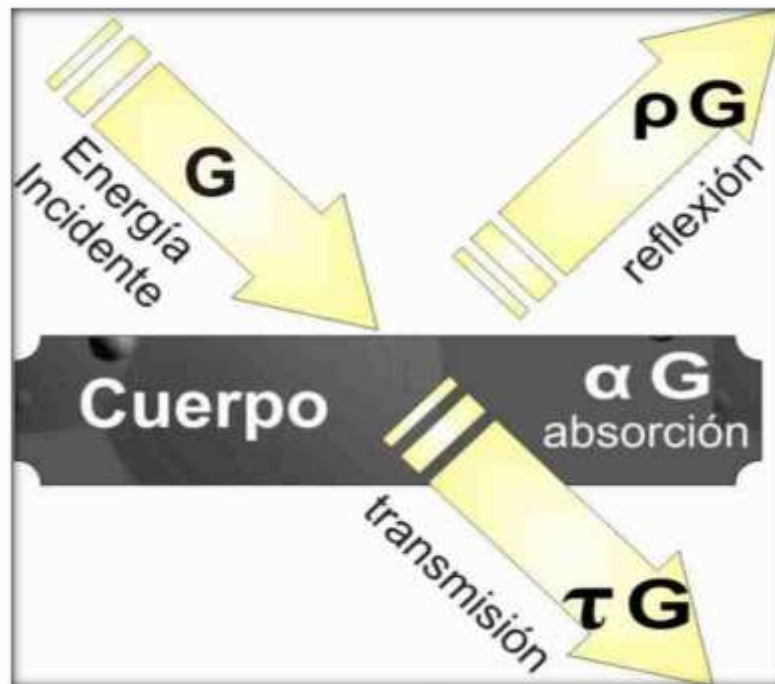


Figura N° 11: Balance energético sobre un cuerpo²²

Para un cuerpo negro: $\alpha = 1$; $\rho = \tau = 0$

Para un cuerpo opaco: $\tau = 0$; $\alpha + \rho = 1$

En general, α , ρ y τ ; dependen de la temperatura del cuerpo, pero para fines prácticos, se pueden considerar como constantes características de cada material.

²² <http://www.monografias.com/trabajos72/demanda-electrica-vivienda-energia-solar/demanda-electrica-vivienda-energia-solar2.shtml>

2.2.2.3. Horas del sol pico (HSP)²³

Las “**horas de sol pico**” que pueden definirse como el número de horas al día con una hipotética irradiancia de $1\,000\text{ W/m}^2$ que en conjunto suman la misma irradiación total que la real de ese día.

Una hora solar pico “HPS” equivale a 1 kWh/m^2 o, lo que es lo mismo, $3,6\text{ MJ/m}^2$. Dicho en otras palabras, es un modo de contabilizar la energía recibida del sol agrupándola en paquetes, siendo cada “paquete” de 1 hora recibiendo $1\,000\text{ W/m}^2$.

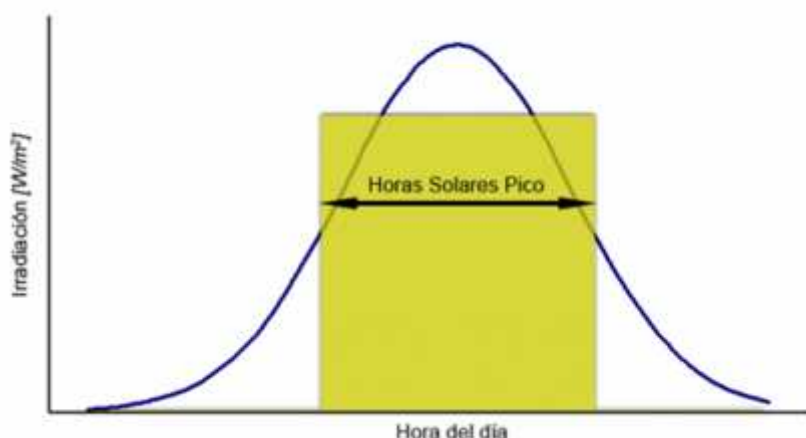


Figura N° 12: Horas solares pico²⁴

Para calcular entonces el valor de HPS se debe dividir el valor de la irradiación incidente entre el valor de la potencia de irradiancia en condiciones estándar de medida (STC), pues es en esas condiciones donde se cumplen las características eléctricas de los módulos fotovoltaicos. Ese valor de irradiancia en condiciones estándar de medida es de 1000 W/m^2 . Es decir, si se dispone de los datos de

²³<https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>

²⁴<https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>

irradiación solar de un determinado día y se divide entre 1000, se obtienen las HSP.

Por ejemplo, si tenemos una irradiación de $3,800 \text{ Wh/m}^2$, para pasarla a HSP, se divide entre $1\,000 \text{ W/m}^2$, con lo que obtenemos 3,8 HPS.

2.2.3. Principio fotoeléctrico²⁵

a base sobre la cual se fundamenta los actuales sistemas fotovoltaicos comerciales es el denominado principio fotoeléctrico, mediante el cual las radiaciones de la luz solar se pueden transformar en energía eléctrica (ver figura N° 12). Este efecto tiene lugar en las llamadas células fotoeléctricas, unidad básica que componen los módulos o paneles fotovoltaicos.



Figura N° 13: Célula Fotoeléctrica

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

Toda radiación de luz solar está compuesta por partículas elementales, llamadas fotones. Estas partículas llevan asociada un valor de energía

²⁵<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

(E), que depende de la longitud de onda (λ) de la radiación, y cuyo valor cuantitativo viene expresado de la forma siguiente:

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \dots (3)$$

donde (h) es la constante de Planck 6.63×10^{-34} J·s y (c) es la velocidad de la luz.

Cuando un módulo fotovoltaico recibe radiación solar, los fotones que componen dicha radiación inciden sobre las células fotovoltaicas del panel tal como se muestra en la Figura N° 12. Éstos pueden ser reflejados, absorbidos o pasar a través del panel, y sólo los fotones que quedan absorbidos por la célula fotovoltaica son los que, finalmente, van a generar electricidad.

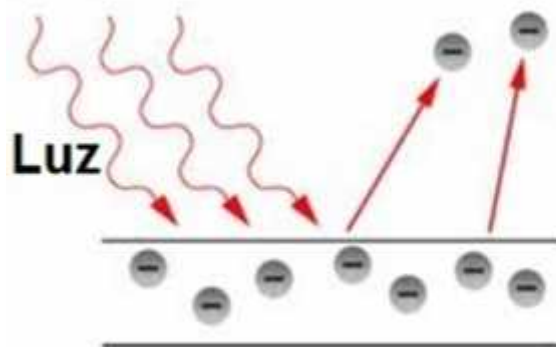


Figura N° 14: Efecto fotovoltaico

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

En efecto, cuando el fotón es absorbido por la célula, la energía que porta el fotón es transferida a los átomos que componen el material de la célula fotovoltaica. Con esta nueva energía transferida, los electrones que están

situados en las capas más alejadas son capaces de saltar y desprenderse de su posición normal asociada al átomo y entrar a formar parte de un circuito eléctrico que se genera.

Por lo tanto, un factor crucial para que pueda generarse el efecto fotovoltaico es que las células de los paneles solares estén compuestas por un tipo determinado de material, tales que sus átomos sean capaces de liberar electrones para crear una corriente eléctrica al recibir energía.

2.2.3.1. Medición de radiación Solar

Los medidores de radiación solar le ayudan a la hora de seleccionar la ubicación o de comprobar módulos fotovoltaicos. Existen varios Instrumentos para medir los parámetros.

Medida de radiación directa: Se realiza con un instrumento denominado pirheliómetro. Mide la radiación solar, en función de la concentración de un punto de luz. Utilizan generalmente termopilas como detectores. Se emplean para un registro continuo de la radiación solar.



Figura N° 15: Pirheliómetro autocalíbrable de cavidad absoluta²⁶

Medición de la radiación difusa: Para medir la radiación difusa (o la radiación solar procedente de la dispersión de los rayos por los constituyentes atmosféricos) también se puede emplear lo piranómetros. Para eliminar que la componente directa de la radiación incida sobre el sensor, se instala un sistema que consiste en una banda o un disco para-sol que evita la radiación solar directa del mismo.

²⁶ <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/pirheliometro-80217.html>



Figura N° 16: Piranómetro con banda de sombra²⁷

Medida de la radiación global: Para este caso se emplea el piranómetro, también llamado solarímetro y actinómetro, es un instrumento con el que se mide la radiación solar global (difusa y directa), que se recibe en todas las direcciones, pero que usualmente se usa para medir la que se recibe sobre una superficie horizontal. Es un instrumento sencillo que no requiere la incorporación de mecanismos de seguimiento solar.

²⁷<http://www.kippzonen.es/Product/235/Espira-de-Sombra-CM121B-C>



Figura N° 17: Piranómetro²⁸

2.2.4. Panel fotovoltaico

2.2.4.1. Célula fotoeléctrica

El componente principal de los paneles fotovoltaicos es la célula, su funcionamiento es el que hace posible la obtención de electricidad a partir de luz solar. (Valdiviezo Salas, 2014)

Las células fotovoltaicas son sensibles a la luz, están hechas de un material semiconductor, silicio (ver Figura N° 18) en la mayoría de los casos, el cual se excita ante la presencia de radiación (aumento de temperatura) y los electrones pueden fluir del tipo P (positivo) al tipo N (negativo), esto ocasiona un voltaje interno, el cual ante la presencia de una resistencia se produce una corriente (Figura N° 17).

²⁸(Sanchez Quiroga, 2012)

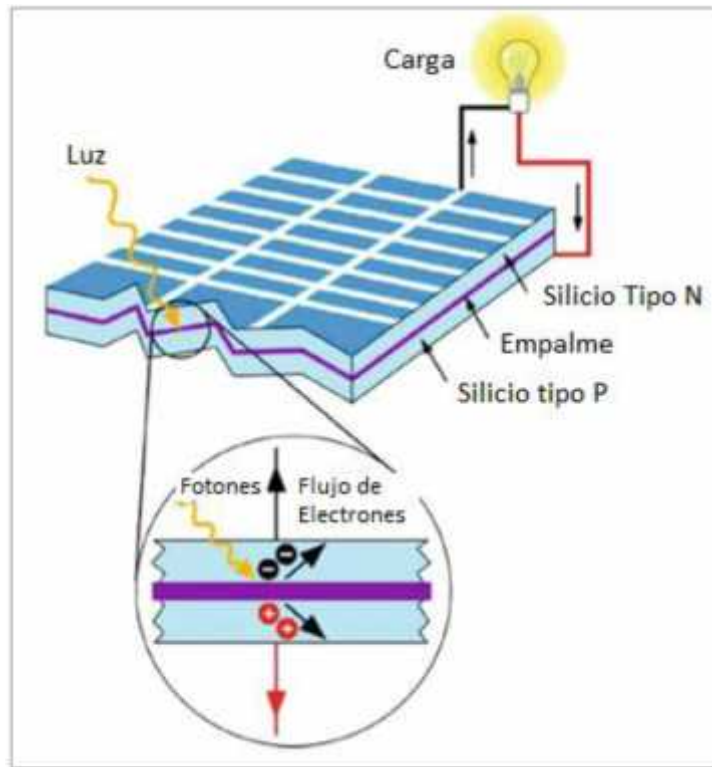


Figura N° 18: Funcionamiento célula de Silicio
fuente: (Valdiviezo Salas, 2014)



Figura N° 19: Silicio
Fuente: (Gimenes, 2010)

Los átomos de silicio tienen cuatro electrones en su orbital de valencia, electrones que forman una red cristalina con otros átomos de silicio, tal como muestra la figura. Los átomos comparten cada uno de sus cuatro electrones con los demás átomos que los rodean, formando poderosos enlaces que mantienen unida la estructura. Al compartir dichos electrones con sus cuatro átomos vecinos, el átomo de silicio adquiere su configuración de gas noble. (Valdiviezo Salas, 2014)

Una célula fotovoltaica por si sola solo es capaz de darnos un mínimo de tensión (0,5 V) e intensidad (2 A) por lo que es necesario juntar muchas células para tener valores suficientemente altos para trabajar. También son muy frágiles, no aisladas eléctricamente y sin un soporte mecánico. El módulo fotovoltaico tiene como misión captar la energía solar incidente y transformarla en energía eléctrica. Para eso tiene que tener una cantidad de células conectadas entre sí en serie y paralelo, de esta forma aumentará la tensión e intensidad y se podrá conectar a elementos de consumo para su uso posterior. La composición del panel fotovoltaico es la siguiente:

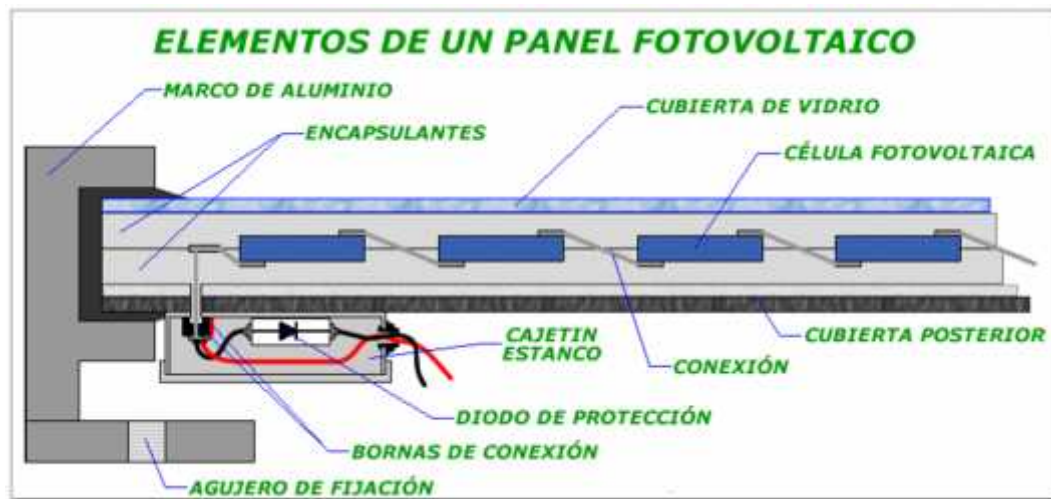


Figura N° 20: Partes de un panel fotovoltaico

Fuente: (Gimenes, 2010)

Las células están ensambladas entre dos capas de sostén. Las células se quedan entre dos capas en la llamada estructura “sándwich”, consiste en dos capas plásticas de protección, una traslúcida en la parte superior y protegida contra los UV. Otra inferior para aumentar la rigidez del “sándwich” (encapsulantes, EVA). Por encima de la capa superior se coloca un cristal de vidrio templado, con bajo contenido en plomo para no reducir la transmisividad de la luz a través del mismo, y en la capa inferior la cubierta posterior de material plástico (Tedlar). Estando preparado de esta forma se mete en un horno de alta temperatura al vacío. Cuando se saca del horno queda un único bloque laminado en el que las células están unidas al material plástico fundido. A continuación, se añade el marco de aluminio anodizado o acero inoxidable para envolver el conjunto del módulo. Esta estructura es estanca con goma butílica entre el marco y el módulo. El marco debe tener de fábrica agujeros de fijación para así evitar utilizar máquinas de perforar que puedan dañar el panel fotovoltaico. Una perforación es para la toma de tierra. (Gimenes, 2010)



Figura N° 21: Panel fotovoltaico policristalino

Fuente: (Gimenes, 2010)

Por último, se le añade la caja de conexiones, donde se instalarán los diodos by-pass correspondientes para evitar el efecto “punto caliente”, y donde se incluirá de fábrica los cables de conexión con sus conectores homologados. (Figura N° 20) El terminal positivo con el símbolo (+), o una marca de color rojo; y el terminal negativo con el símbolo (-), o una marca de color negro. Dependiendo del modelo puede tener una o dos cajas de conexión, con los conductores juntos en una sola, o separados en dos. (Giménez, 2010)

2.2.4.2. Curvas características

a) Curvas Intensidad vs Tensión y Potencia vs Tensión

La figura 21 muestra puntos característicos en los catálogos de paneles, usualmente se expresa la potencia del panel en el Punto de Máxima Potencia (Valdiviezo Salas, 2014) aunque para el cálculo del cableado es recomendable utilizar el punto de corto circuito (I_{cc}).

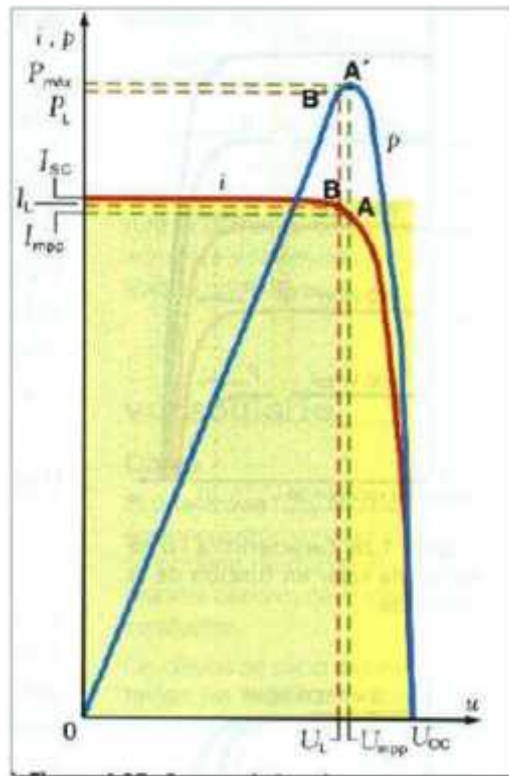


Figura N° 22: Características i-V y p-v de una célula fotoeléctrica

fuelle: (Castejon, 1998)

b) Efecto de la temperatura

Al igual que la irradiancia para la intensidad, la temperatura afecta a la tensión del panel, aunque no en igual medida. La temperatura de trabajo de la célula según las CEM es de 25° C, (Figura N° 22), si varía esta temperatura en el interior del panel, es decir en la célula, el valor de la tensión también se ve afectado, la intensidad aumenta levemente (Gimenes, 2010)

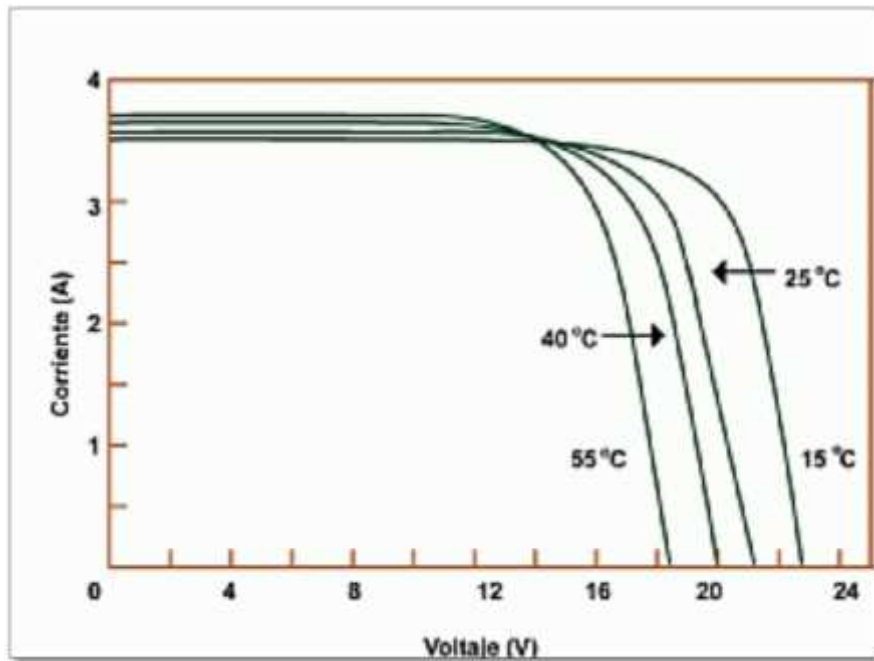


Figura N° 23: Efectos de la temperatura

Fuente: (Gimenes, 2010)

2.2.4.3. Tipos de paneles solares

Los tipos de paneles solares vienen dados por la tecnología de fabricación de las células, y son fundamentalmente:

- a) Silicio cristalino (monocristalino y multicristalino).
- b) Silicio amorfo.

En la Tabla N° 4, podemos observar las diferencias que existen entre ellos.

Tabla N° 4: Diferencias entre los paneles según la tecnología de fabricación

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocrystalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Fuente: Componentes de una instalación solar fotovoltaica.pdf

2.2.4.4. Conexión de módulos fotovoltaicos

La intensidad y la tensión de un módulo fotovoltaico no siempre satisfacen los recursos de tensión e intensidad de un sistema. Es necesario agrupar varios módulos para conseguir valores adecuados, teniendo en cuenta que conectando módulos en serie aumenta la tensión del sistema y conectando módulos en paralelo se aumenta la intensidad de corriente del sistema más características de tensión y de corriente no siempre satisfacen²⁹.

Se pueden realizar tres tipos de conexiones en función de las necesidades que se detallan a continuación:

Conexión serie para elevar la tensión del generador.

Conexión paralela para elevar la intensidad de corriente del generador.

Conexión serie/paralela para elevar la tensión y la intensidad de corriente del generador.

c) Conexión de módulos Serie

Al conectar los paneles en serie, lo que estamos haciendo es conectar un polo positivo de un módulo con el polo negativo del siguiente módulo. Con ello se consigue aumentar la tensión y mantener el mismo valor de corriente generada (Figura N° 23).

La tensión generada es igual a la suma de todas las tensiones por cada módulo fotovoltaico, o lo que es lo mismo al producto de la

²⁹(Castejon 1998)

tensión de un módulo por el número de módulos fotovoltaicos (ya que se supone que tienen las mismas características).



Figura N° 24: Conexión en serie de módulos fotovoltaicos³⁰

d) Conexión de módulos en paralelo

Cuando conectamos los paneles en paralelo, lo que estamos haciendo es conectar todos los polos positivos y por separado todos los polos negativos. Con ello conseguimos aumentar la corriente generada (sumar la intensidad eléctrica de los paneles) y mantener fijo el voltaje, tal como se muestra en la Figura N° 24

La corriente generada es igual a la suma de todas las corrientes generadas por cada módulo, o lo que es lo mismo al producto de la corriente generada por un módulo por el número de módulos (ya que se supone que tienen las mismas características).

³⁰ <http://www.conermex.com.mx/blog-sombrasenpaneles.html>

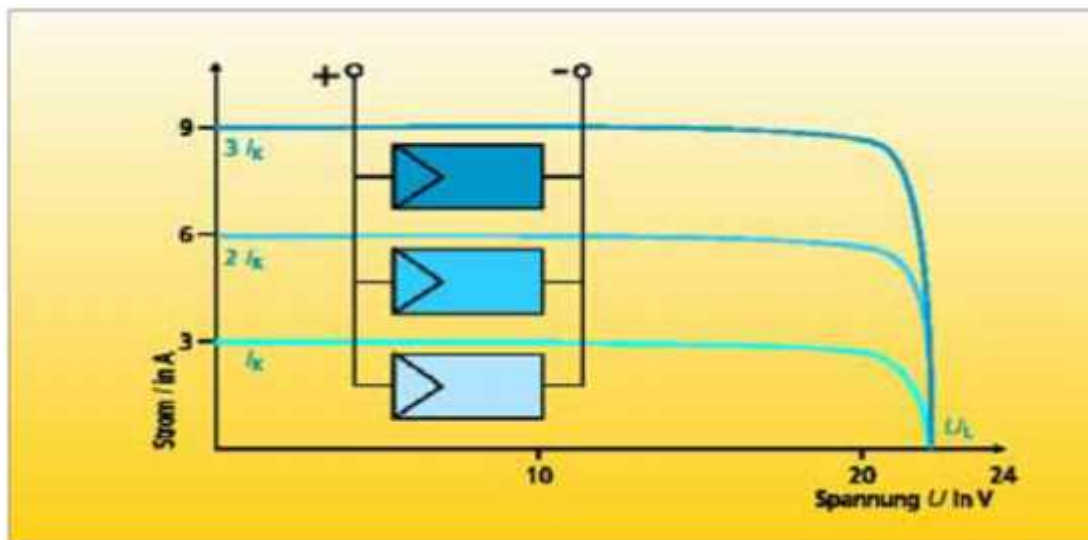


Figura N° 25: Conexión en paralelo de módulos fotovoltaicos³¹

3. Conexión de módulos en serie/paralelo

La tensión del generador es la tensión del módulo se obtiene sumando la tensión de los paneles solares en serie y la corriente eléctrica se obtiene sumando la corriente eléctrica de cada rama de paneles.

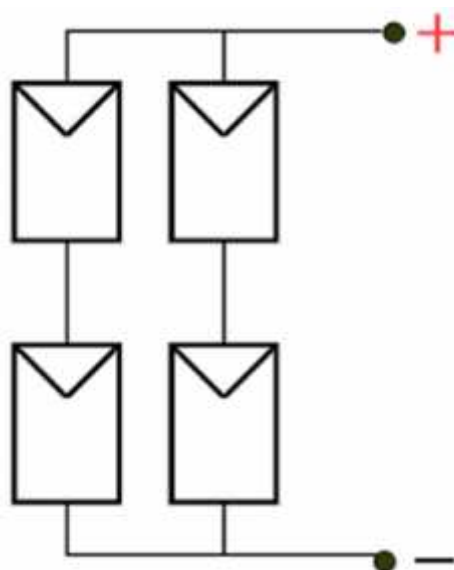


Figura N° 26: Conexión serie/paralelo de módulos fotovoltaicos³²

³¹FOTOVOLTAICA, ENERGIA. «manual sobre tecnologias, projecto e instalacao .» s.f.

2.2.4.5. Montaje de paneles solares³³

El tipo de estructura depende de las condiciones climatológicas, la aplicación y los requerimientos específicos de cada proyecto. Para nuestro caso, analizaremos si se debe utilizar **seguidores solares** o **un sistema fijo**.

Sistema Fijo

Este sistema está fijo y para ello se debe realizar un estudio de determinación de la inclinación adecuada. El mantenimiento es mínimo, es la estructura que genera menor eficiencia pero es la más económica.

El sistema fijo tiene mayor duración y casi no requiere mantenimiento. Debido a que no puede variar la inclinación, se debe considerar la lluvia y efecto de sombras en la elección de la inclinación.



Figura N° 27: Estructura Fija³⁴

³²(Agustin Castejon s.f.)

³³(Valdiviezo Salas 2014)

Seguidores Solares

Especialmente en cielos despejados, con alto efecto de radiación directa (nubosidad baja), se suele utilizar seguidores solares. Estos incrementan los costos iniciales, ya que se necesitan sistemas de control para modificar la inclinación (seguir al sol), un motor, engranajes y demás elementos mecánicos. Además, se necesitan realizar un mantenimiento a estos equipos mecánicos. Sin embargo, al seguir al sol en su trayectoria, suelen incrementar las potencias generadas. Existen diversos tipos de seguidores solares en la actualidad.

1. Seguidores de un solo eje: Horizontal, vertical, polar.
2. Seguidores doble eje



Figura N° 28: Instalación de Seguidor Solar³⁵

³⁴(Valdiviezo Salas 2014)

³⁵(Valdiviezo Salas 2014)

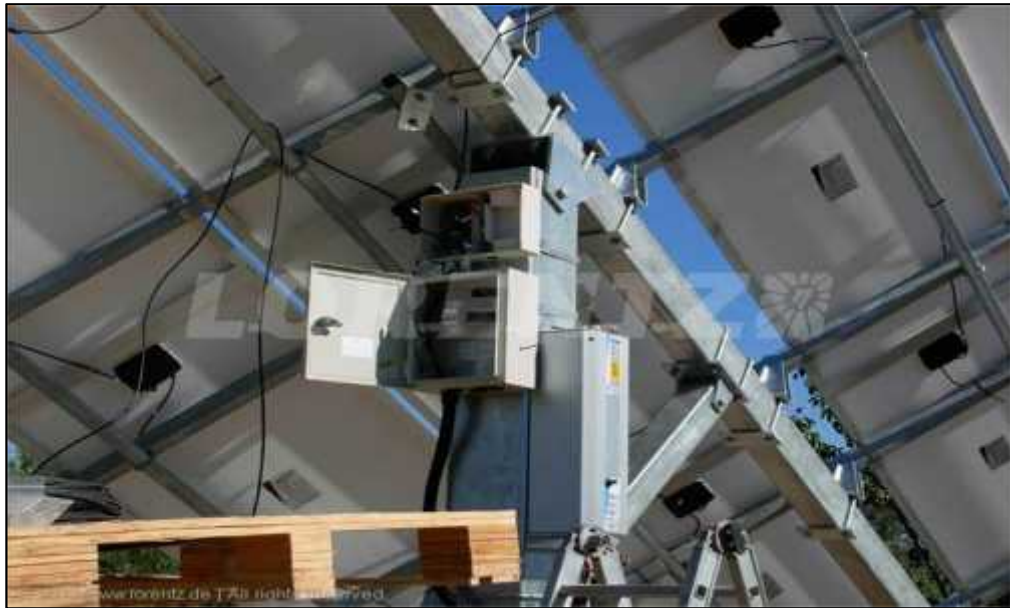


Figura N° 29: Detalle de componentes adicionales para Seguidor Solar³⁶

2.2.5. Bombas solares

2.2.5.1. Descripción de un sistema de bombeo fotovoltaico

Una instalación de bombeo fotovoltaico está compuesta principalmente por un generador FV, un motor/bomba, un pozo, un sistema de tuberías y un depósito de acumulación. Se puede disponer de un sistema de acondicionamiento de potencia (controladores DC/DC, inversores DC/AC u otros dispositivos electrónicos) de acoplo entre el generador FV al motor, para poder operar motores AC o para incrementar el rendimiento medio diario en sistemas con motores DC que accionen bombas de desplazamiento positivo. El sistema ha de estar debidamente

³⁶³⁶ (Valdiviezo Salas 2014)

instalado y protegido, utilizando sensores de nivel en el pozo y en el depósito de acumulación para evitar el desperdicio del agua y la operación en vacío (Figura N°29). A pesar de que se instalan bombas de superficie o flotantes, la configuración más habitual es un sistema motobomba sumergible instalada en un pozo de sondeo. (Alonso Alabella & Chenlo Romero, pág. 6)

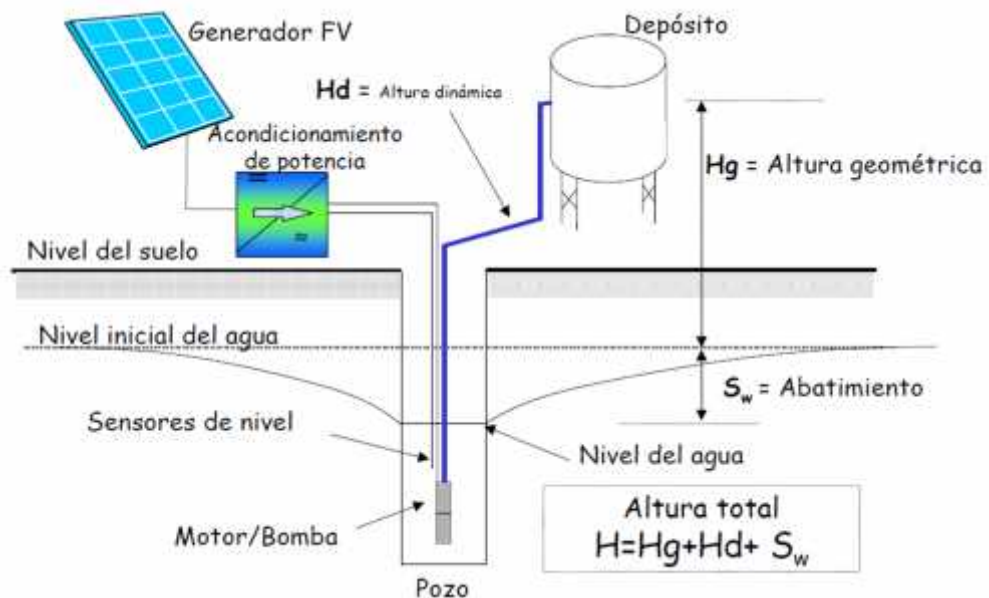


Figura N° 30: Bombeo fotovoltaico

Fuente: (Alonso Alabella & Chenlo Romero, pág. 7)

Los principales factores que determinan la configuración de un sistema de bombeo fotovoltaico son:

Las condiciones hidráulicas

- La profundidad del nivel del agua en el pozo bajo la superficie.

La altura estática de elevación del agua por encima de la superficie del suelo (por ejemplo, hasta un depósito de almacenamiento).

Las pérdidas adicionales de presión en tuberías y accesorios (altura dinámica).

b) La energía suministrada por el generador fotovoltaico a lo largo del día, determinada por la radiación solar y las condiciones climatológicas.

De acuerdo con estos factores, se pueden definir varias configuraciones de un sistema de bombeo fotovoltaico: sumergible, flotante, con bomba centrífuga o de desplazamiento positivo, con motor de corriente continua o de corriente alterna, etc.

2.2.5.2. Generador fotovoltaico

Cabrera peña & Fermin Montiel(2003, pág. 52)nos explica:

El subsistema de captación está constituido por los paneles solares Figura N° 30, los cuales transforman la radiación solar en electricidad, para ello han de instalarse sobre unas estructuras adecuadas con la debida orientación e inclinación para maximizar la producción. Un panel solar está constituido por varias celdas iguales, conectadas electrónicamente entre sí, en serie y paralelo de forma que la tensión y la corriente suministrada por el panel se incrementen hasta ajustarse al valor deseado.

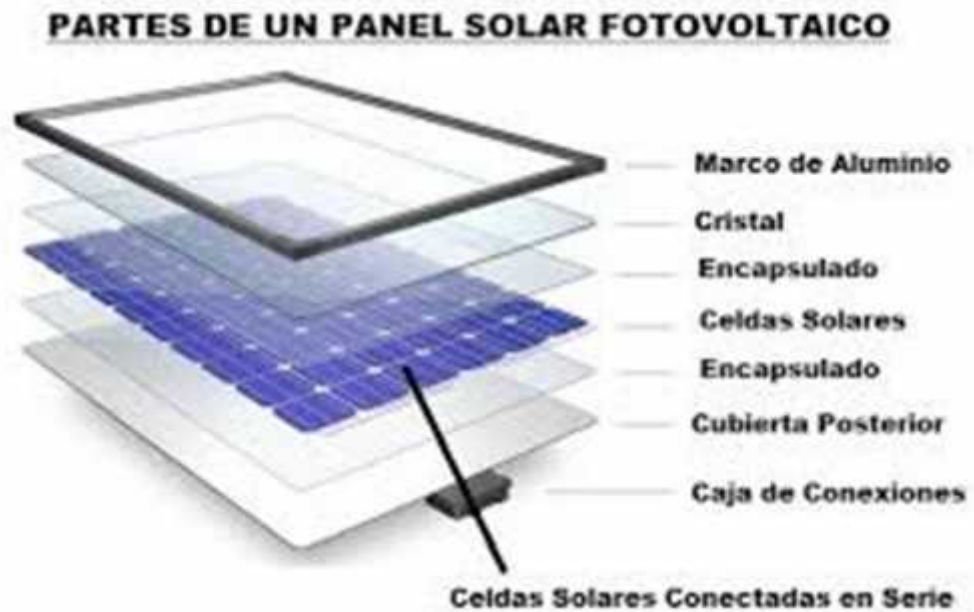


Figura N° 31: Panel fotovoltaico³⁷

El panel contiene otros elementos que hacen posible la adecuada protección del conjunto frente a los agentes exteriores, aseguran una rigidez suficiente posibilitando la sujeción a las estructuras que los soportan y permiten la conexión eléctrica.

La eficiencia de conversión de módulos en general, es siempre menor que la eficiencia de las celdas solares individuales por varias razones: No toda el área del módulo está cubierta por celdas, pérdidas en la cubierta anterior y el relleno encapsulante y variaciones en las características eléctricas de celda a celda. Es aceptado que la eficiencia de los módulos que hoy se comercializan es 10 ó 20 % menor que la de las celdas individuales empleadas.

³⁷<https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>

El coeficiente de expansión térmica de los materiales protectores, tanto el superior como el inferior, debe ser similar y compatible además con el de las celdas. Los módulos solares fotovoltaicos se construyen para una vida útil al menos de 20 años. Las causas principales de las fallas de los módulos son la rotura de las celdas, la de laminación del encapsulante, que permite la entrada de la humedad y la rotura de las interconexiones de las celdas. La corriente y el voltaje entregados por un módulo varían con la temperatura ambiente y con la intensidad de la luz incidente. Las curvas típicas de corriente y voltaje de un módulo solar se muestran en la Figura N° 31 y Figura N° 32.

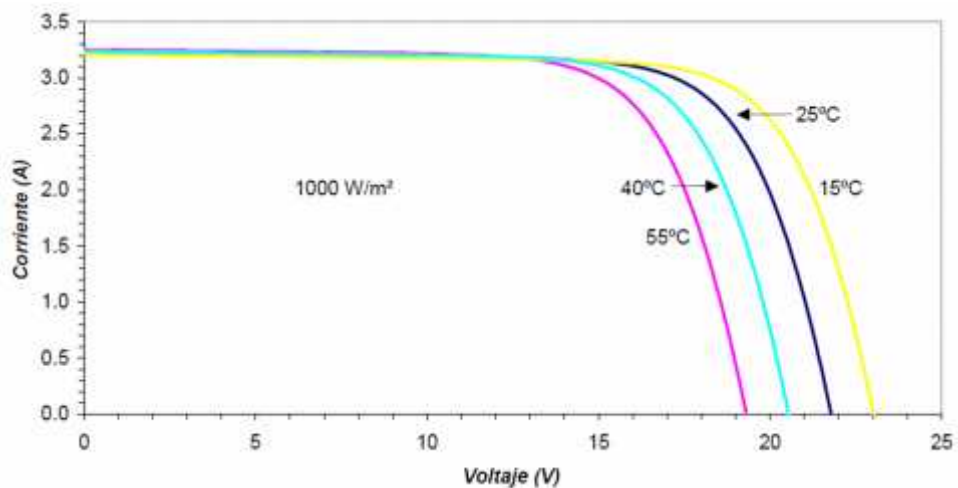


Figura N° 32: Efecto de la temperatura de trabajo en la curva I-V

Fuente: (Alonso Alabella & Chenlo Romero, pág. 10)

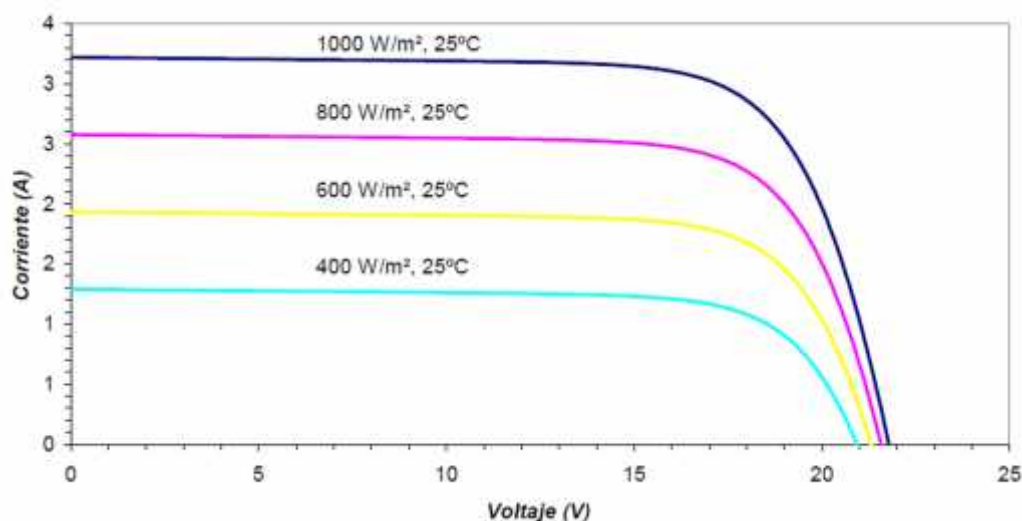


Figura N° 33: Variación de la curva I-V , con la irradiancia solar incidente

Fuente: (Alonso Alabella & Chenlo Romero, pág. 10)

Estas variaciones son de suma importancia para el diseño óptimo de un SFV. Además, causan problemas para la comparación entre módulos, por lo que se ha definido el Watt- pico como aquel Watt de potencia entregado por un módulo FV cuando este recibe una insolación de 1000 W/m^2 a una temperatura ambiente de 25°C . Por lo anterior no es posible comparar directamente la potencia instalada de un SFV con un generador convencional. Es necesario la energía entregada en un determinado período de tiempo.

2.2.5.3. Motor- Bomba

a. Motores.

Los motores son los encargados de transformar la energía eléctrica suministrada por el sistema generador en energía mecánica. Los motores que se precisan en aplicaciones de bombeo fotovoltaico

deben ser de pequeña potencia y deben tener rendimientos elevados. Este tipo de motores no son habituales por lo que pueden ser más costosos. Dependiendo del tipo de alimentación eléctrica los motores podemos distinguir entre motores de corriente continua y motores de corriente alterna. Dentro de los motores de corriente continua podemos distinguir entre motores de imanes permanentes con escobillas y sin escobillas, motores serie, motor Shunt o motores compound. Dentro de los motores de corriente alterna podemos distinguir entre motores monofásicos y motores trifásicos en función del tipo de corriente para el que estén diseñados y, por otro lado, también pueden ser motores síncronos o motores asíncronos.

Las partes fundamentales de un motor de corriente continua son el inductor o estator que es la parte fija de la máquina, el inducido o rotor que es la parte giratoria, el colector que va montado sobre el mismo eje que el rotor y giran simultáneamente, las escobillas que son unos contactos a presión que rozan sobre el colector y tienen como misión la entrada y salida de la corriente del rotor.

Los motores de corriente continua se caracterizan por su voltaje, potencia y velocidad nominal y por el par motor. La potencia que puede desarrollar un motor es proporcional al par motor y a la velocidad. El par motor es proporcional al flujo inductor y a la intensidad de carga. La velocidad de giro del motor varía con el voltaje e intensidad de funcionamiento así como el flujo magnético.

Las principales ventajas de los motores de corriente continua son sus altos rendimientos, el no necesitar un inversor y se

adaptan bien para su acoplamiento directo al generador fotovoltaico.

Los motores de corriente alterna están más extendidos siendo más fácil de encontrarlos en potencias mayores. Son más baratos y eficientes que los de corriente continua, pero obligan a la instalación de un sistema inversor y a dispositivos que permitan proporcionar o reducir las altas corrientes que suelen requerir en el arranque lo que encarece el sistema fotovoltaico.

Los motores de corriente alterna constan igualmente de dos partes de rotor y estator. En el inducido, que suele estar en el estator, las corrientes alternas que lo recorren producen un campo magnético giratorio como consecuencia de la superposición de tres campos magnéticos alternantes desfasados en el espacio y el tiempo o por descomposición de un campo magnético alternante senoidal en dos campos magnéticos giratorios en sentidos contrarios.

Los motores de corriente alterna se caracterizan generalmente por sus tensiones nominales, la intensidad nominal, la potencia nominal, por su velocidad de giro en función de la frecuencia de alimentación, y por su par motor.

b. Bombas.

Una bomba es la máquina que transforma la energía mecánica en energía hidráulica. Se puede distinguir dos tipos principales de bombas: bombas de desplazamiento positivo o volumétricas y bombas dinámicas o de intercambio de cantidad de movimiento.

Las bombas de desplazamiento positivo poseen una cavidad cuyo volumen varía como consecuencia del movimiento de una parte móvil, obligando al líquido que las llena a moverse en un sentido determinado por la apertura y cierre de válvulas. La más usada en bombeo fotovoltaico de este tipo bombas es la bomba de pistón. Las bombas de pistón son apropiadas para los valores elevados de altura manométrica y bajos caudales.

Las bombas dinámicas le transfieren al fluido una cantidad de movimiento mediante paletas o alabes giratorios. La más utilizada es la bomba centrífuga. Las bombas centrífugas se diseñan para alturas manométricas determinadas y proporcional más caudal que las bombas de desplazamiento positivo. No son recomendables para alturas de aspiración mayores de 5 -6 metros y pueden tener uno o varios cuerpos dependiendo de la altura de impulsión necesaria.

Para caracterizar las bombas se utilizan curvas características que relacionan el caudal con la altura manométrica que pueden suministrar para un régimen de revoluciones determinado. Además, el rendimiento de las bombas centrífugas disminuye rápidamente con la velocidad de giro, las bombas centrífugas reúnen una serie de ventajas entre las que destacamos su simplicidad, con pocas partes móviles, su bajo costo, su robustez y la tolerancia a los pequeños pares de arranque.

También podemos clasificar las bombas en función de su forma de instalación en sumergibles, flotantes y de superficie. Las bombas

sumergibles son apropiadas para los pozos de poco diámetro donde las variaciones de nivel son importantes para la acumulación de agua se hace en altura. Las bombas flotantes se instalan en ríos, lagos o pozos de gran diámetro permitiendo una altura de aspiración constante y proporcionando un gran caudal con poca altura manométrica. Las de superficie se instalan en aquellos lugares en los que los niveles de agua de aspiración no sufre grandes oscilaciones, permitiendo la altura de aspiración dentro de un rango admitido por la bomba, generalmente < 6 m. en algunos casos las bombas son auto aspirantes como las utilizadas en piscinas que no requieren cebado de la tubería de aspiración (generalmente, h aspiración < 3 m).

2.2.5.4. Equipo de bombeo compatible con sistemas fotovoltaicos.

Las bombas comunes disponibles en el mercado han sido desarrolladas pensando en que hay una fuente de potencia constante. Por otro lado, la potencia que producen los módulos FV es directamente proporcional a la disponibilidad de la radiación solar. Es decir, a medida que el sol cambia su posición durante el día y al variar la disponibilidad de potencia también cambia la disponibilidad de potencia de la bomba. Por esta razón se han creado bombas especiales para la electricidad fotovoltaica las cuales se dividen desde el punto de vista mecánico en **centrifugas y volumétricas**³⁸.

³⁸(Paredes Rubio, 2001)

A. Bombas centrífugas³⁹.

Tienen un impulsor que por medio de la fuerza centrífuga de su alta velocidad arrastran agua por su eje y la expulsan radialmente. Estas bombas pueden ser sumergibles o de superficie son capaces de bombear el agua a 60 metros o más, dependiendo del número y tipo de impulsores. Están optimizadas para un rango estrecho de cargas dinámicas totales y la salida de agua se incrementa con su velocidad rotacional.

Las bombas de succión superficial se instalan a nivel del suelo y tienen ventaja de que se les puede inspeccionar y dar servicio fácilmente. Tienen la limitante de que no trabajan adecuadamente si la profundidad de succión excede los 8 metros. (ver figura N° 33).

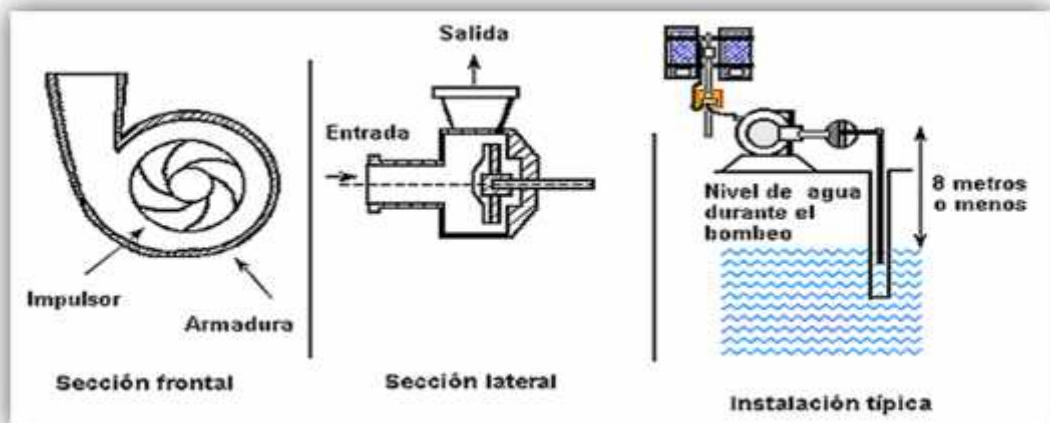


Figura N° 34: Bombas centrífugas de succión superficial

Fuente: (Paredes Rubio, 2001)

³⁹(Paredes Rubio, 2001)



Figura N° 35: Bomba centrifuga superficial

Fuente: (Paredes Rubio, 2001)

Hay una gran variedad de bombas centrifugas sumergibles. Algunas de estas bombas tienen el motor acoplado directamente a los impulsores y se sumergen completamente. Otras, tienen el motor en la superficie mientras que los impulsores se encuentran completamente sumergidos y unidos por una flecha. Generalmente las bombas centrifugas sumergibles tienen varios impulsores y por ello, se les conoce como bombas de paso múltiple.(Paredes Rubio, 2001).

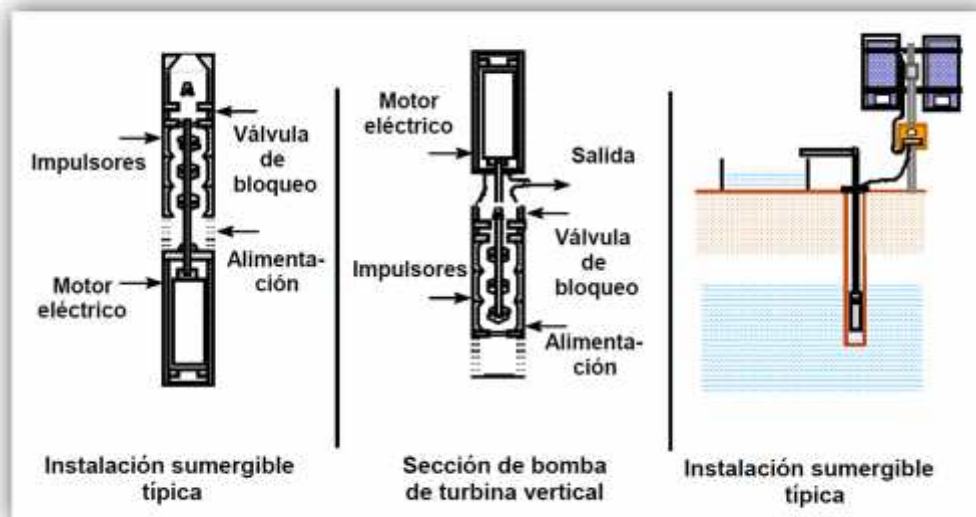


Figura N° 36: Bomba centrífuga sumergible

Fuente: (Paredes Rubio, 2001)

Todas las bombas sumergibles están selladas y tienen el aceite de lubricación contenido para evitar contaminación del agua. Otras bombas utilizan el agua misma como lubricante. Estas bombas no deben operarse en seco por que sufren sobrecalentamiento.(Paredes Rubio, 2001).

B. Bombas volumétricas.

Las bombas volumétricas o de desplazamiento positivo son adecuadas para el bombeo de bajos caudales y/o donde la profundidad es grande. Algunas de estas bombas usan un cilindro y un pistón para mover paquetes de agua a través de una cámara sellada. Otras utilizan un pistón con diafragmas. Cada ciclo mueve una pequeña cantidad de líquido hacia arriba. El caudal es proporcional al volumen de agua. Esto se traduce a

un funcionamiento eficiente en un amplio intervalo de cargas dinámicas. Cuando la radiación solar aumenta también aumenta la velocidad del motor y por lo tanto el flujo de agua bombea es mayor, ver figura N° 36.

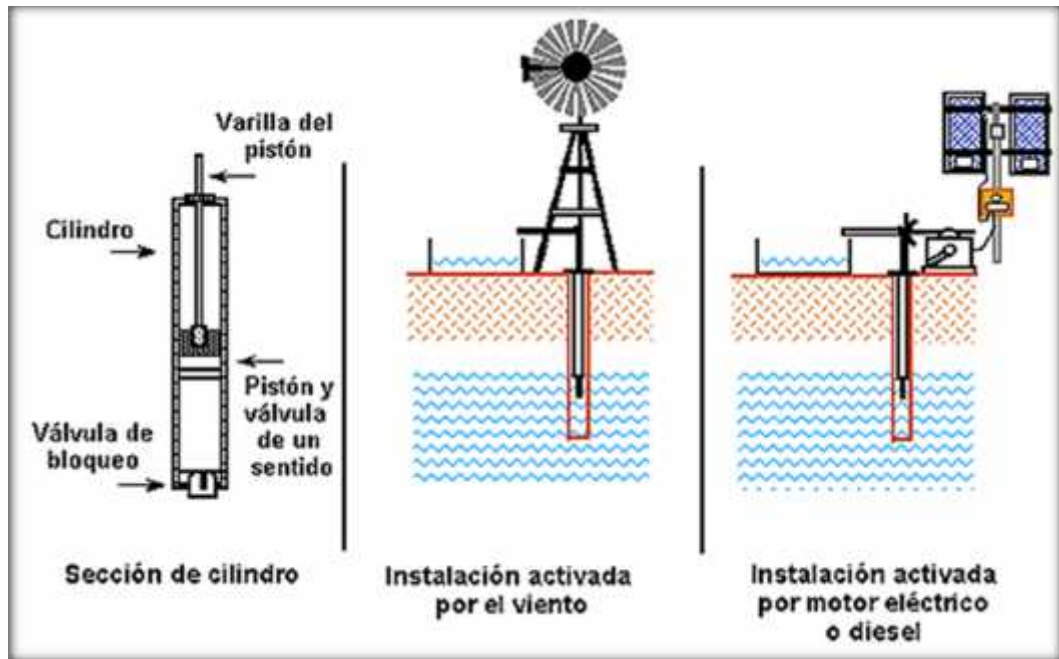


Figura N° 37: Bomba volumétrica de cilindro

Fuente: (Paredes Rubio, 2001)

C. Bombas de cilindro:

Las bombas de cilindro han sido muy populares en aplicaciones de bombeo mecánico activadas por el viento, tracción animal o humana. Su principio consiste en que cada vez que el pistón baja, el agua del pozo entra a su cavidad y cuando este sube, empuja el agua a la superficie. La energía eléctrica requerida para hacerla funcionar se aplica solo durante una parte del ciclo de bombeo. Las bombas de esta categoría deben estar siempre conectadas a un controlador de

corriente para aprovechar al máximo la potencia otorgada por el arreglo fotovoltaico.(Paredes Rubio, 2001).

D. Bombas de diafragma:

Las bombas de diafragma desplazan el agua por medio de diafragmas de un material flexible y resistente. Comúnmente los diafragmas se fabrican de caucho reforzado con materiales sintéticos. En la actualidad, estos materiales son muy resistentes y pueden durar de dos a tres años de funcionamiento continuo antes de requerir reemplazo dependiendo de la calidad del agua. Los fabricantes de estas bombas producen un juego de diafragmas para reemplazo que pueden adquirirse a un precio razonable. Existen modelos sumergibles y no sumergibles. Las bombas de diafragma son económicas. Cuando se instala una bomba de este tipo siempre se debe considerar el gasto que representa el reemplazo de diafragmas una vez cada dos o tres años. Más aun, muchas de estas bombas tienen un motor de corriente continua con escobillas. Las escobillas también deben cambiarse periódicamente. Los juegos de reemplazo incluyen los diafragmas, escobillas, empaques y sellos. La vida útil de este tipo de bomba es aproximadamente 5 años del uso.(Paredes Rubio, 2001).

2.2.5.5. Dimensionado del sistema de bombeo fotovoltaico.

El dimensionado de sistemas de bombeo fotovoltaico se puede abordar mediante diferentes

métodos dependiendo su complicación, del número de variables consideradas y del grado de optimización en la obtención de los resultados.

En general, existen tres pasos que es necesario seguir:

- a)** Evaluación de la energía hidráulica necesaria
- b)** Evaluación de la energía solar disponible
- c)** Definición del equipo de bombeo necesario

El método de dimensionado expuesto a continuación está basado en cálculos sobre valores medios mensuales de la energía hidráulica necesaria y de la radiación solar disponible, así como en las definiciones de rendimiento pico del subsistema motor-bomba y rendimiento energético diario. Una vez determinadas las energías medias mensuales se calcula el balance energético de cada mes para determinar el mes en el cual la demanda de agua es mayor en relación con la energía solar disponible. Este mes será el mes de dimensionado.

El dimensionado de los elementos del sistema se calcula para satisfacer la demanda en este mes de dimensionado o "*mes peor*", asegurando un excedente de agua en el resto del año.

Al diseñar un sistema de bombeo hay dos aspectos que se deben tener en cuenta:

La selección de los componentes del sistema es crucial para proporcionar al sistema un bajo mantenimiento, larga vida útil y alta fiabilidad.

El acoplo de los componentes del sistema requiere un alto conocimiento y experiencia y de él dependerá el rendimiento final del sistema.

Determinación de las necesidades de energía hidráulica

a) Determinación de las necesidades de agua

En primer lugar, es necesario conocer el volumen de agua diario medio mensual necesario para satisfacer la demanda de la aplicación.

Las diferentes demandas pueden ser:

Agua para consumo humano.

Agua para consumo de animales domésticos.

Agua para riego de cultivos.

Es muy importante realizar un estudio previo de la capacidad del manantial del que se va a bombear y realizar un estudio de las variaciones estacionales del agua para proveer la situación de la bomba y que no trabaje en vacío. Normalmente se suelen colocar interruptores que cortan la alimentación del motor en el caso de que el nivel del agua en el pozo descienda por debajo del nivel de aspiración de la bomba. Por otro lado, determinadas bombas, no pueden situarse con una columna de

agua demasiado grande (p.e. la bomba solarjack no puede trabajar sumergida más de 30 m.c.a.).

Para seleccionar el sistema adecuado hay que tener en cuenta el tipo de consumo que se va a realizar:

Consumo continuo, como es el caso de abastecimiento de agua para casas de campo o chalets, en las que el consumo puede ser tanto por el día como por la noche, en invierno o en verano. En este caso es necesario determinar las necesidades diarias por persona y, en su caso, por cada animal que vaya a consumir agua del sistema y la capacidad del depósito de almacenamiento. Para asegurar un suministro continuo es necesario contar con un depósito de acumulación que suministre agua durante la noche y en días nublados. Su capacidad se calcula estimando las necesidades diarias y multiplicándolas por el número de días de reserva.

Consumo estacional, como en el caso de los sistemas de riego, en los que las necesidades de agua son aproximadamente proporcionales a la intensidad de la radiación solar, y habitualmente localizadas en el verano. En este caso es necesario conocer las necesidades máximas diarias de agua del cultivo en el que se va a implantar el sistema de riego.

Las necesidades humanas y de animales de granja se pueden estimar multiplicando el consumo diario individual por la población total. Determinar las necesidades de agua para el consumo

humano no es sencillo ya que interviene de forma directa el modo de vida de la población a la que va destinado el sistema. **Generalmente se acepta que el consumo medio diario por persona es de 40 litros/persona/día, aumentando a 100 litros/persona/día en ciudades grandes**(Alonso Abella & Chemlo Romero).

En el caso de animales domésticos su consumo medio estimado se muestra en la tabla N° 5 siguiente:

Tabla N° 5: Consumo estimado para satisfacer las necesidades diarias de agua

CONSUMO ESTIMADO DE AGUA PARA ANIMALES	
Tipo de animal	litros/día/animal
Caballo	40
Buey	20
Ganado vacuno	50
Vaca lechera	140
Cerdo	20
Oveja	5
Cabra	5
Aves de corral	0.1

Fuente: (Alonso Abella & Chemlo Romero)

Una vez definidas las necesidades de volumen de agua para cada mes del año se puede calcular la energía hidráulica mensual necesaria mediante la expresión:

$$E_r = \frac{V_o}{3} \frac{H}{n_{bt}} \dots (7)$$

Donde:

$$E_r : W.h$$

$$V_o : \text{Litros}$$

$$H: m$$

b) Determinación de la altura hidráulica de bombeo (H)

Antes de determinar el tamaño del sistema de bombeo de agua, es necesario entender los conceptos básicos que describen las condiciones hidráulicas de una obra. El tamaño del sistema está en relación directa con el producto de la Carga Dinámica Total (CDT) y el volumen diario necesario. Este producto se conoce como ciclo hidráulico. La carga dinámica total es la suma de la carga estática (CE) y la carga dinámica (CD). (Paredes Rubio 2001).

$$C = C_e + C_d \dots (8)$$

Donde:

$$C_e = N \cdot e + A \cdot d = 50m + 5m = 55m$$

$$C_d = A + F$$

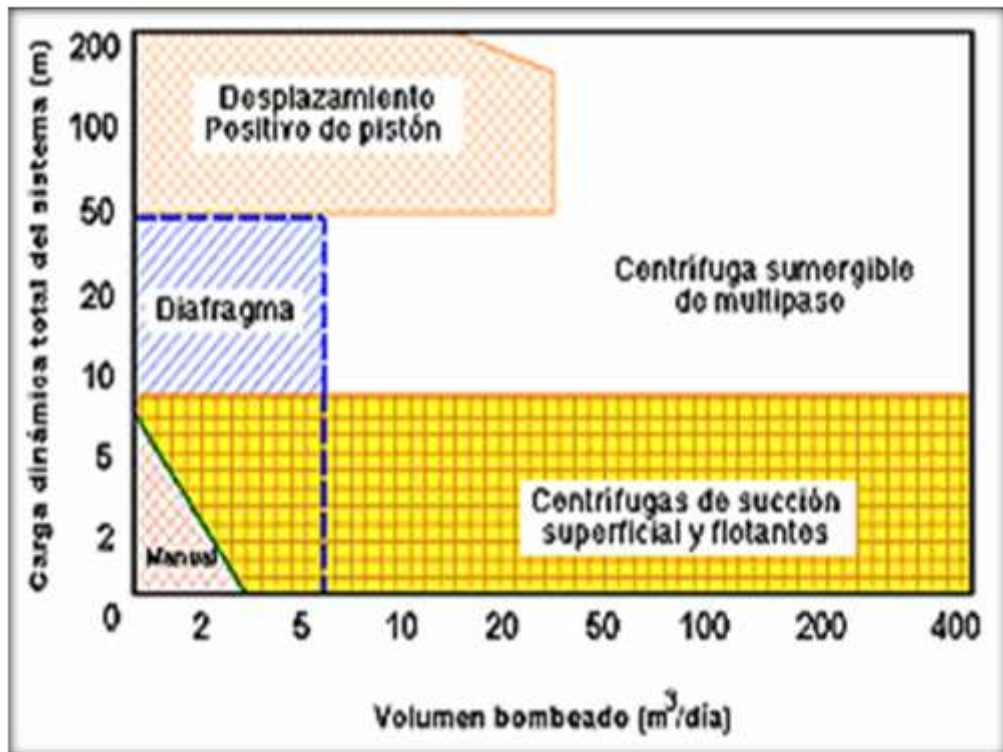


Figura N° 38: Caudal vs carga dinámica del sistema

Fuente: (Paredes Rubio 2001).

Carga estática.

La primera parte, la carga estática, puede obtenerse con mediciones directas. Se trata de la distancia vertical que el agua se desplaza desde el nivel de abatimiento del pozo hasta la altura en que se descarga el agua. La carga estática es entonces la suma del abatimiento, el nivel estático y la altura de descarga. Todos los pozos experimentan el fenómeno de abatimiento cuando se bombea el agua. Es la distancia que baja el nivel del agua debido a la constante extracción de agua. La figura N° 39 muestra estos componentes hidráulicos que forman carga estática. (Paredes Rubio 2001).



Figura N° 39: Componentes hidráulicos de un sistema de bombeo de agua

Fuente: (Paredes Rubio 2001).

Carga dinámica (Fricción).

La carga dinámica, es el incremento en la presión causado por la resistencia al flujo al agua debido a la rugosidad de las tuberías y componentes como codos y válvulas. Esta rugosidad depende del material usado en la fabricación de las tuberías. Los tubos de acero producen una fricción diferente a la de los tubos de plástico PVC de similar tamaño. Además, el diámetro de los tubos influye en la fricción. Mientras más estrechos mayor resistencia producirá.

Para calcular la carga dinámica, es necesario encontrar la distancia que corre el agua desde el punto en que el agua entra a la bomba

hasta el punto de descarga, incluyendo las distancias horizontales, así como el material de la línea de conducción y su diámetro. Con esta información se puede estimar la carga dinámica de varias maneras⁴⁰.

Valor por omisión.

La carga dinámica es aproximadamente el 2 % de la distancia de recorrido del agua. Por lo general el resultado es una estimación conservadora si se asume que los sistemas de bombeo solar típicos tienen flujos de menos de 1 L/s y las bombas recomendadas se conectan a tuberías de diámetro amplio.

Tablas de fricción.

Existen tablas publicadas por fabricantes que indican el porcentaje de fricción que debe añadirse en base al caudal, diámetro y material de las tuberías.

Formula de Manning.

Este es un método matemático que se puede realizar fácilmente con una calculadora de bolsillo. La fórmula de Manning se expresa así:

$$H_f = k Q^2 \dots (9)$$

Donde:

H_f: es el incremento en la presión causada por la presión y expresada en la distancia lineal (m).

⁴⁰Paredes Rubio, Arturo Romero. «Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica.» Mexico, 2001

K: es una constante empírica con unidades de $(\text{m}^3/\text{s})^{-2}$.

L: es la distancia total recorrida por el agua por las tuberías. Su unidad es metros (m).

Q: es el flujo expresado en metros cúbicos por segundo (m^3/s) .

Tabla N° 6: valores de la constante K usando la fórmula de Maning

Material	Diámetro en pulgadas				
	0.5	0.75	1	1.5	2
PVC	9,544,491	1,261,034	291,815	31,282	7,236
Galvanizado	19,909,642	2,631,046	608,849	65,263	15,097

fuelle: (Paredes Rubio 2001).

La altura manométrica h es la suma de la altura estática o geométrica y la altura dinámica debida a las pérdidas de presión cuando el líquido se desplaza en el interior de una tubería.

La altura geométrica o estática es la diferencia de cotas entre el agua en la fuente que puede variar cuando se bombea, y el agua en la salida.

La altura dinámica se puede determinar mediante la siguiente expresión

$$h_f = f\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{V^2}{2}\right) \dots (1)$$

Dónde: f es el coeficiente de fricción, L es la longitud de la tubería (m), d el diámetro hidráulico (m), v la velocidad media del fluido (m/s) y g es la aceleración de la gravedad (m/s^2).

En el caso que se encuentre en el circuito otro tipo de accesorios como codos, válvulas, etc., se podrá emplear para ellos la siguiente expresión para el cálculo de las pérdidas de cargas en estos accesorios

$$h_s = k \left(\frac{v^2}{2} \right) \dots (1)$$

Siendo K un coeficiente que depende del tipo de accesorio.

Tabla N° 7: Coeficiente K para diferentes tipos de accesorios en tuberías

<i>Pérdidas de carga en accesorios</i>		$H_d = K \frac{v^2}{2g}$
<i>Accesorio</i>		<i>Coeficiente K</i>
Unión de depósito a tubería. Conexión a ras de pared		0.5
Unión de depósito a tubería. Tubería rasante		1.0
Unión de depósito a tubería. Conexión abocinada		0.005
De tubería a depósito		1.0
codo 45°		0.35 → 0.45
codo 90°		0.50 → 0.75
Tés		1.50 → 2.00

Fuente: (Alonso Abella & Chemlo Romero)

Es frecuente usar tablas en las que se indica las pérdidas de carga en función del caudal y el diámetro de la tubería.

Abatimiento del pozo⁴¹

Cuando se bombea agua de un pozo, el nivel del agua en su interior no permanece constante, si no que varía en función del caudal bombeado y el tiempo de bombeo. La diferencia entre el nivel en condiciones de reposo (nivel estático del agua) y el nivel instantáneo en unas determinadas condiciones de bombeo (nivel dinámico del agua) se le conoce como abatimiento, s_w . En pozos de sondeo el abatimiento puede llegar a ser muy importante.(Alonso Abella & Chemlo Romero)

Normalmente el dimensionado del sistema de bombeo se realiza en función de la altura manométrica de bombeo en la que se consideran dos contribuciones: por un lado, la altura geométrica estática, desde la superficie del agua del pozo en condiciones estacionarias hasta la superficie libre del agua en el depósito de bombeo, y por el otro la altura debida a las pérdidas de carga en las tuberías hidráulicas de impulsión (altura dinámica). No obstante, también es necesario considerar como otra contribución a la altura dinámica el incremento de altura dinámica originado en el abatimiento del pozo.(Alonso Abella & Chemlo Romero)

En los sistemas de bombeo convencionales operados mediante una fuente de potencia constante, el abatimiento del agua en el pozo sufre un descenso importante en los primeros momentos llegando a estabilizarse en un nivel determinado (variación como el logaritmo del

⁴¹(Alonso Abella & Chemlo Romero)

tiempo). En estas condiciones se puede estimar que la altura dinámica de bombeo es prácticamente constante.

En el caso de sistemas fotovoltaicos de bombeo de agua la potencia disponible varía con la radiación solar con lo que no se alcanzan unas condiciones de abatimiento de equilibrio, existiendo una interacción entre el sistema de bombeo y la respuesta del acuífero que alimenta el pozo. Es por ello que el correcto dimensionado y la simulación detallada de un sistema fotovoltaico de bombeo de agua debe considerar el abatimiento.

Resulta intuitivo (ver Figura 40) considerar que en función de la capacidad de suministro o de almacenamiento de agua de un determinado acuífero, puede darse el caso de que el nivel de la superficie del agua de un pozo varíe cuando se extrae agua de él mediante bombeo. Esta variación estará ligada tanto a las características del acuífero como al caudal bombeado.

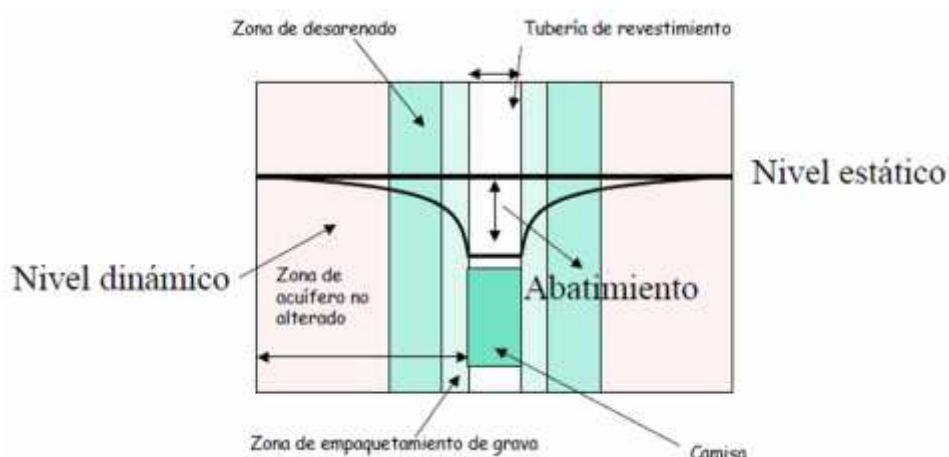


Figura N° 40: Diagrama esquemático mostrando la idea intuitiva de variación de nivel del agua en un pozo de bombeo⁴²

⁴²(Alonso Abella & Chemlo Romero)

Se define el abatimiento como el descenso del nivel del agua en el espacio interior del pozo desde un nivel estacionario, en el que el caudal extraído es nulo (y no se está en ningún proceso de recuperación), hasta un determinado nivel, cuando el caudal extraído es Q.

Se puede obtener una relación matemática entre el abatimiento producido en un pozo, el caudal bombeado y el tiempo transcurrido desde el inicio del bombeo. A esta relación se le denomina *ecuación característica del pozo*:

$$s_w = \frac{l_1}{4} Q + K_w Q + D_w Q^2 \dots (1)$$

donde:

s_w , abatimiento dentro del pozo de bombeo.

K_w , constante que representa la suma de los coeficientes de las componentes lineales constantes del abatimiento debidas a las características del acuífero no alterado, los efectos de la zona de desarenado, los efectos del empaque de grava y los efectos de las pérdidas de carga en la rejilla y la camisa.

D_w , constante que representa la suma de los coeficientes constantes de las componentes cuadráticas (no lineales o turbulentas) del abatimiento, debidas a los mismos efectos que se han señalado para K_w

T, es el coeficiente de trasmisividad del acuífero

t, es el tiempo de bombeo

Q, es el caudal

Las bombas centrífugas y volumétricas ofrecen diferentes alternativas para diferentes rangos de aplicación. El proceso de selección de la bomba para un proyecto es de suma importancia. Todas las bombas tienen que usar la energía eficientemente ya que, en un sistema fotovoltaico, la energía cuesta dinero. Este proceso de selección de la bomba se complica debido a la multitud de marcas y características de una bomba. Un solo fabricante puede ofrecer más de 20 modelos de bombas y cada una tiene un rango óptimo de operación.

Las bombas más eficientes son las desplazamiento positivo de pistón, pero no son recomendables para los gastos medianos y grandes a baja carga dinámica total.

2.2.5.6. Subsistema de acumulación

(Alonso Alabella & Chenlo Romero, pág. 26) explica que:

Un sistema de bombeo alimentado mediante energía solar fotovoltaica únicamente suministra agua durante las horas de sol (en las cuales se supere la irradiancia umbral) a no ser que se incluyan en el sistema acumuladores electroquímicos o baterías o depósitos de almacenamiento de agua. Las baterías pueden almacenar la energía excedente en las horas de sol para suministrarla cuando ésta no sea suficiente para bombear el agua demandada y pueden mejorar el acoplo generador- motor. La inclusión de baterías en el sistema, en general, no es recomendable ya que disminuyen la fiabilidad del sistema, aumentan el coste del sistema de bombeo y las necesidades de

mantenimiento, aunque en ciertos casos es beneficioso porque aprovecha mejor la energía fotogenerada y el motor opera en sus condiciones nominales.

Una forma alternativa de almacenar energía es mediante el uso de depósitos de almacenamiento de agua (ver Figura N° 43), los cuales, dependiendo de su capacidad, pueden proporcionar el déficit de agua en aquellos momentos en que el caudal bombeado no alcance el consumo demandado.

La inclusión en el sistema de un depósito de almacenamiento hace que se pueda disminuir la potencia pico del generador.

En aplicaciones de riego agrícola se pueden distinguir dos tipos de almacenamiento de agua: Almacenamiento a largo plazo, en el cual se almacena el agua de un mes para otro. Almacenamiento a corto plazo, permitiendo almacenar agua de un día para otro, lo que permite evitar la falta de agua en determinados días de baja radiación solar.

El almacenamiento a largo plazo necesita depósitos de gran volumen que lo hacen económicamente no aconsejables en la mayoría de los casos a no ser que ya estén disponibles por otras razones. Por contra, se aconseja el uso de pequeños depósitos de almacenamiento a corto plazo.

En aplicaciones de suministro de agua potable es esencial incluir un depósito de almacenamiento para asegurar varios días de autonomía. Para evitar el aumento de la altura manométrica con la

inclusión del depósito es necesario cuidar la relación entre el diámetro y la altura del mismo. Además, éste debería estar cubierto con el objeto de minimizar las pérdidas por evaporación y entrada de suciedad.

Si se opta por el uso de un depósito de almacenamiento de agua se puede disminuir la potencia pico del generador y del grupo motor -bomba hasta un punto en el que el caudal bombeado más el volumen de agua almacenado no sean suficientes para satisfacer la demanda de agua.

BOMBEO DE POZOS CON ENERGIA SOLAR

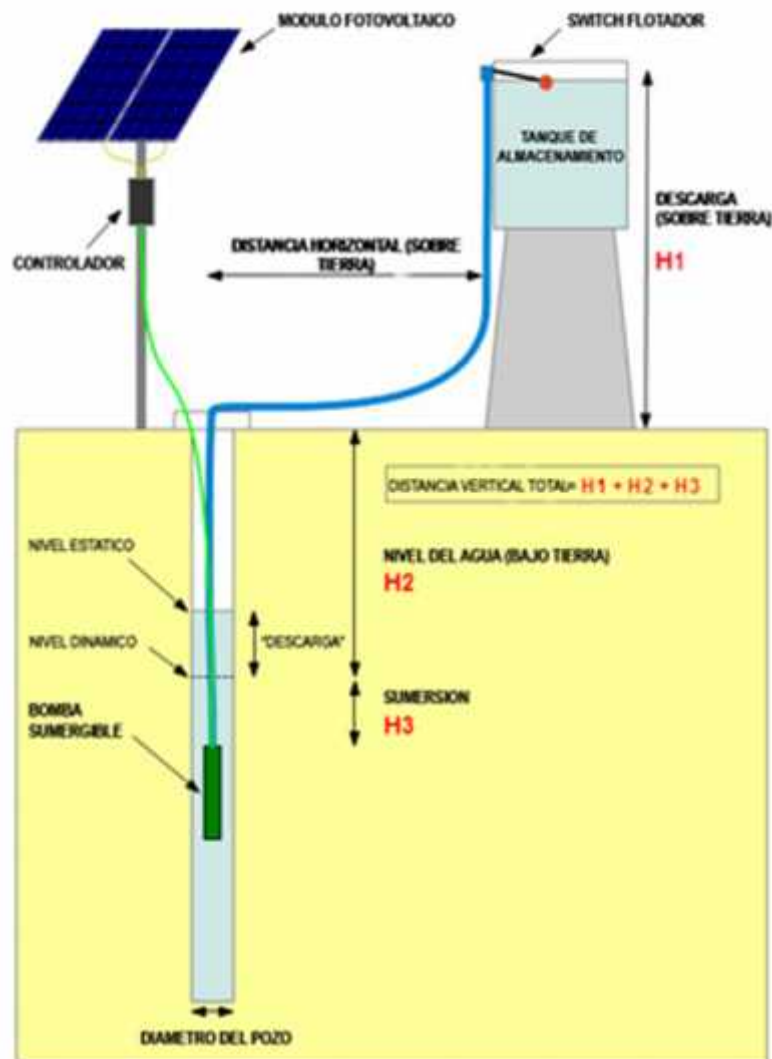


Figura N° 41: Deposito de almacenamiento de agua en un sistema de bombeo de agua

Fuente: <http://www.geckologicmexico.com/bomba-de-agua-sumergible/>

2.2.6. Evapotranspiración

La cantidad de agua que supone ambos procesos, transpiración y evaporación, suele considerarse de forma conjunta simplemente porque es muy difícil calcularla por separado. Por lo tanto, se considera que las necesidades de agua de los cultivos están representadas por la suma

de la evaporación directa de agua desde el suelo más la transpiración de las plantas, en lo que se denomina **evapotranspiración**



Figura N° 42: Componentes de la evapotranspiración⁴³

2.2.7. Coeficiente de cultivo

El **coeficiente de cultivo** (K_c) describe las variaciones en la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección.



Figura N° 43: Coeficiente de cultivo según las diferentes clases de cultivo⁴⁴

⁴³Manual de riego para agricultores Modulo 1

⁴⁴Manual de riego para agricultores Modulo 1

2.2.8. Evaluación económica de proyectos de inversión

Los sistemas fotovoltaicos tienen actualmente múltiples aplicaciones (en el sector doméstico, industrial y agropecuarias, pero es necesario un análisis de viabilidad económica y factibilidad técnica para determinar si es la más apropiada para tal fin.

2.2.8.1. Indicadores

El VAN y el TIR son dos herramientas financieras procedentes de las matemáticas financieras que nos permiten evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión, entendiéndose por proyecto de inversión no solo como la creación de un nuevo negocio, sino también, como inversiones que podemos hacer en un negocio en marcha, tales como el desarrollo de un nuevo producto, la adquisición de nueva maquinaria, el ingreso en un nuevo rubro de negocio, etc⁴⁵.

Valor Actual Neto (VAN)⁴⁶

El Valor Actual Neto (VAN) es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión. También se conoce como Valor neto actual (VNA), valor actualizado neto o valor presente neto (VPN).

⁴⁵ Llauce Chozo, A. J. (2016). *Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica en el restaurant el Cruceño, ubicado en el km 901, carretera Lambayeque – Piura.*

⁴⁶ <http://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>

Para ello trae todos los flujos de caja al momento presente descontándolos a un tipo de interés determinado. El VAN va a expresar una medida de rentabilidad del proyecto en términos absolutos netos, es decir, en número de unidades monetarias (euros, dólares, pesos, etc.).

Se utiliza para la valoración de distintas opciones de inversión. Ya que calculando el VAN de distintas inversiones vamos a conocer con cuál de ellas vamos a obtener una mayor ganancia⁴⁷.

$$VA = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \dots (1)$$

F_t : son los flujos de dinero en cada periodo t

I_0 : es la inversión realiza en el momento inicial (t = 0)

n : es el número de periodos de tiempo

k : es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

El VAN sirve para generar dos tipos de decisiones: en primer lugar, ver si las inversiones son efectuales y en segundo lugar, ver qué inversión es mejor que otra en términos absolutos. Los criterios de decisión van a ser los siguientes:

VAN > 0 : el valor actualizado de los cobro y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios.

⁴⁷<http://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>

VAN = 0: el proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, siendo su realización, en principio, indiferente.

VAN < 0 : el proyecto de inversión generará pérdidas, por lo que deberá ser rechazado.

Tasa Interna de Retorno (TIR)⁴⁸

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto.

Es una medida utilizada en la evaluación de proyectos de inversión que está muy relacionada con el Valor Actualizado Neto (VAN). También se define como el valor de la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero, para un proyecto de inversión dado.

La tasa interna de retorno (TIR) nos da una medida relativa de la rentabilidad, es decir, va a venir expresada en tanto por ciento. El principal problema radica en su cálculo, ya que el número de periodos dará el orden de la ecuación a resolver. Para resolver este problema se puede acudir a diversas aproximaciones, utilizar una calculadora financiera o un programa informático.

⁴⁸<http://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + T)^t} \dots (1)$$

F_t : son los **flujos de dinero** en cada periodo t

I_0 : es la inversión realiza en el momento inicial ($t = 0$)

n : es el número de periodos de tiempo

Criterio de selección de proyectos según la Tasa interna de retorno

El criterio de selección será el siguiente donde “ k ” es la tasa de descuento de flujos elegida para el cálculo del VAN:

Si $TIR > k$, el proyecto de inversión será aceptado. En este caso, la tasa de rendimiento interno que obtenemos es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.

Si $TIR = k$, estaríamos en una situación similar a la que se producía cuando el VAN era igual a cero. En esta situación, la inversión podrá llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa y no hay alternativas más favorables.

Si $TIR < k$, el proyecto debe rechazarse. No se alcanza la rentabilidad mínima que le pedimos a la inversión.

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.

Carga: Cualquier dispositivo o aparato que demanda potencia. Esta depende de cada aparato y varía durante el día de acuerdo a la manera en que ésta opera.

Celda solar o celda fotovoltaica: Elemento que transforma la luz solar (fotones) en electricidad. Es el insumo fundamental de los módulos solares fotovoltaicos.

Celdas de película delgada: Celdas fabricadas de películas del orden de los micrones de material sensible a la radiación solar.

Condiciones de prueba estándar: Condiciones en las cuales se prueban los módulos fotovoltaicos en laboratorio (1 kWh/m² de radiación solar, 25°C de temperatura de la celda solar y espectro solar correspondiente a una masa de aire de 1,5)

Conexión en paralelo: Método de conexión en el cual todos los bornes positivos y negativos se juntan. Si los módulos son todos iguales, la corriente se suma y la tensión permanece igual.

Conexión en serie: Método de conexión en el cual el borne positivo de un módulo se conecta al borne negativo del siguiente y así sucesivamente. Si los módulos son todos iguales, el voltaje se suma y la corriente permanece igual.

Consumo eléctrico: Número de Watts hora (Wh) o Kilowatts hora (kWh) utilizados para que funcione un aparato eléctrico durante un tiempo. Depende de la potencia del aparato y del tiempo que esté funcionando.

Corriente alterna: En la corriente alterna (CA o AC, en inglés) los electrones, a partir de su posición fija en el cable (centro), oscilan de un lado al otro de su centro, dentro de un mismo entorno o amplitud, a una frecuencia determinada (número de oscilaciones por segundo)

Corriente continua: La corriente continua (CC o DC, en inglés) se genera a partir de un flujo continuo de electrones (cargas negativas) siempre en el mismo sentido, el cual va desde el polo negativo de la fuente al polo positivo. Al desplazarse en este sentido los electrones, los huecos o ausencias de electrones (cargas positivas) lo hacen en sentido contrario, es decir, desde el polo positivo al negativo.

Corriente de corto circuito: Corriente que se mide en condiciones de corto circuito en los terminales de un módulo.

Corriente de máxima potencia: Corriente correspondiente al punto de máxima potencia.

Cortocircuito: Conexión accidental de dos conductores de distinta fase, o de éstos con el neutro.

Horas de sol pico: Número equivalente de horas a 1 kWh/m^2 de radiación solar que produce la misma cantidad de energía solar que bajo las condiciones reales de insolación.

Instalación eléctrica: Conjunto de aparatos y de circuitos asociados, en previsión de un fin particular: producción, conversión, transformación, transmisión, distribución o utilización de la energía eléctrica.

Intensidad eléctrica: Magnitud eléctrica definida como la cantidad de electricidad que pasa a través de la sección de un cable conductor en un segundo. Se mide en Amperios (A)

NOCT (Nominal Operation Cell Temperature): Es la temperatura que alcanza la celda cuando ésta se expone a 800 W/m^2 de radiación en un ambiente con aire a 20°C de temperatura y circulando a una velocidad de 1 m/s , cuando la celda está en circuito abierto.

Tensión eléctrica: Diferencia de potencial eléctrico que tiene que existir entre los bornes de conexión o entre dos partes activas de una instalación, para que la corriente eléctrica circule por dicha instalación. La unidad de medida es el Voltio (V)

Voltaje de circuito abierto: Voltaje que se mide en los terminales sin carga de un sistema fotovoltaico.

Voltaje de máxima potencia: Voltaje correspondiente al punto de máxima potencia.

Watt pico: Unidad de medida de un módulo solar fotovoltaico, que significa la cantidad de potencia máxima que puede generar el módulo a condiciones estándar de funcionamiento (1000 W/m^2 , 25°C y $1,5$ de masa de aire)

Radiación solar. Energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas

Irradiancia. Densidad de potencia incidente en una superficie o la energía incidente en una superficie por unidad de tiempo y unidad de superficie. Se mide en kW/m^2

Célula solar o fotovoltaica. Dispositivo que transforma la energía solar en energía eléctrica

Módulo fotovoltaico. Conjunto de células solares interconectadas entre si y encapsuladas entre materiales que las protegen de los efectos de la intemperie.

Rama fotovoltaica. Subconjunto de módulos fotovoltaicos interconectados en serie o en asociaciones serie-paralelo, con voltaje igual a la tensión del generador.

Generador fotovoltaico. Asociación en paralelos de ramas fotovoltaicas

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada⁴⁹

En este tipo de investigación el énfasis del estudio está en la resolución práctica de problemas. Se centra específicamente en cómo se pueden llevar a la práctica las teorías generales. Su motivación va hacia la resolución de los problemas que se plantean en un momento dado.

En este caso utilizaremos la teoría sobre sistemas fotovoltaicos y de bombeo, para aplicarlos y solucionar problemáticas de la vida real

Diseño

El tipo de diseño será no experimental que tiene por definición⁵⁰: Es aquel que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Se basa fundamentalmente en la observación de fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos.

3.2. Población y muestra

La presente tesis ha sido aplicada a un lugar específico, donde la población involucrada no tiene acceso al recurso hídrico en los meses de sequía. en la localidad de Cruz Conga en Celendín.

3.3. Hipótesis

⁴⁹<https://www.lifeder.com/investigacion-aplicada/>

⁵⁰https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Presentaciones/licenciatura_en_mercadotecnia/fundamentos_de_metodologia_investigacion/PRES38.pdf

Con el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para bombeo de agua subterráneas en la provincia de Celendín, permitirá abastecer el agua y el pasto para el ganado en tiempos de sequía.

3.4. Variables - Operacionalización

Tal como se muestra en la Tabla N° 8, se identifican las variables y se operacionalizan

X: Variable independiente:

Irradiación solar

Y: Variable dependiente:

Sistema de bombeo fotovoltaico

Tabla N° 8: Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
Irradiación solar	Es la energía por unidad de superficie a los largo de un tiempo ⁵¹	Determinar la irradiación solar	Irradiación solar promedio diaria (kWh./m ² /día)
sistema de bombeo fotovoltaico	El sistema de bombeo tiene como objeto elevar la presión del fluido térmico para vencer la resistencia que opondrá el circuito a su circulación. ⁵²	Sistema de bombeo fotovoltaico: Selección y especificación de los equipos.	Dimensionamiento de la bomba. Dimensionamiento de paneles fotovoltaicos. Dimensionamiento de conductores eléctricos.

Fuente. Elaboración propia a partir de conceptos extraídos

⁵¹<https://eliseosebastian.com/radiacion-solar-irradiancia-e-insolacion/>

⁵²<http://www.sistemahtf.com/index.php/el-sistema-de-bombeo>

3.5. Métodos y Técnicas de investigación

Técnicas

Observación directa

Se realizarán visitas técnicas al lugar donde se va a desarrollar la investigación iré al lugar para realizar las observaciones sobre la problemática.

Análisis de documentos

Se tendrá en cuenta libros, tesis, revistas, etcétera que sean referentes a la investigación relacionadas con sistemas de bombeo fotovoltaico.

Entrevista

Se podrá definir que la entrevista consiste en obtención de información oral de parte de una persona (entrevistado) lograda por el entrevistador directamente, en una situación de cara a cara, a veces la información no se transmite en un solo sentido, sino en ambos, por lo tanto, una entrevista es una conversación entre el investigador y una persona que responde a preguntas orientadas a obtener información exigida por los objetivos específicos de un estudio⁵³.

Se entrevistó al dueño de la vivienda para que nos brinde información sobre el número de animales y la extensión del terreno, el tipo de riego que utilizan.

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

⁵³ <http://manuelgalan.blogspot.com/2009/05/la-entrevista-en-investigacion.html>

En La presente Tesis los instrumentos utilizadosde acuerdo ala técnica se muestran a continuación.

Tabla N° 9: Instrumentos para cada técnica⁵⁴

Técnicas	Instrumento de Registro
Observación	Papel, lápiz, cámara fotográfica
Análisis documental	Libros, revistas, páginas de internet, software
Entrevista	Cuaderno de apuntes, lapicero

3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos

Con los datos extraídos se procedió a calcular a demanda de agua en base a documentos de información, los resultados se muestran en tablas y gráficos. Para el procesamiento se utilizó la estadística descriptiva, que nos permitió obtener valores promedio de irradiación solar, con los resultados devolumen de agua diario y la altura dinámica total (altura equivalente de la bomba) se dimensiona los paneles solares, el dimensionamiento de la bomba. Para el procesamiento de la información en una hoja de cálculo Excel para la diagramación de barras, columnas y otros.

⁵⁴Elaboracion propia del autor

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción del sistema propuesto

En vista de la problemática existente en la localidad para los pobladores que se encuentran en zonas alejadas e inaccesibles y por lo tanto sin suministro de agua en los meses de sequía.

Entonces es necesario bombear el agua a un tanque de almacenamiento para luego ser utilizado para el riego y consumo de animales.

Se propone entonces un sistema de bombeo de agua con tanque de almacenamiento que cumpla con los requerimientos de necesidades de agua.

Se propone los siguientes equipos y/o componentes:

Proponemos usar una bomba superficial LORENTZ, por ser una marca recomendada

Paneles fotovoltaicos SIMAX; con la potencia necesaria para accionar el sistema de bombeo.

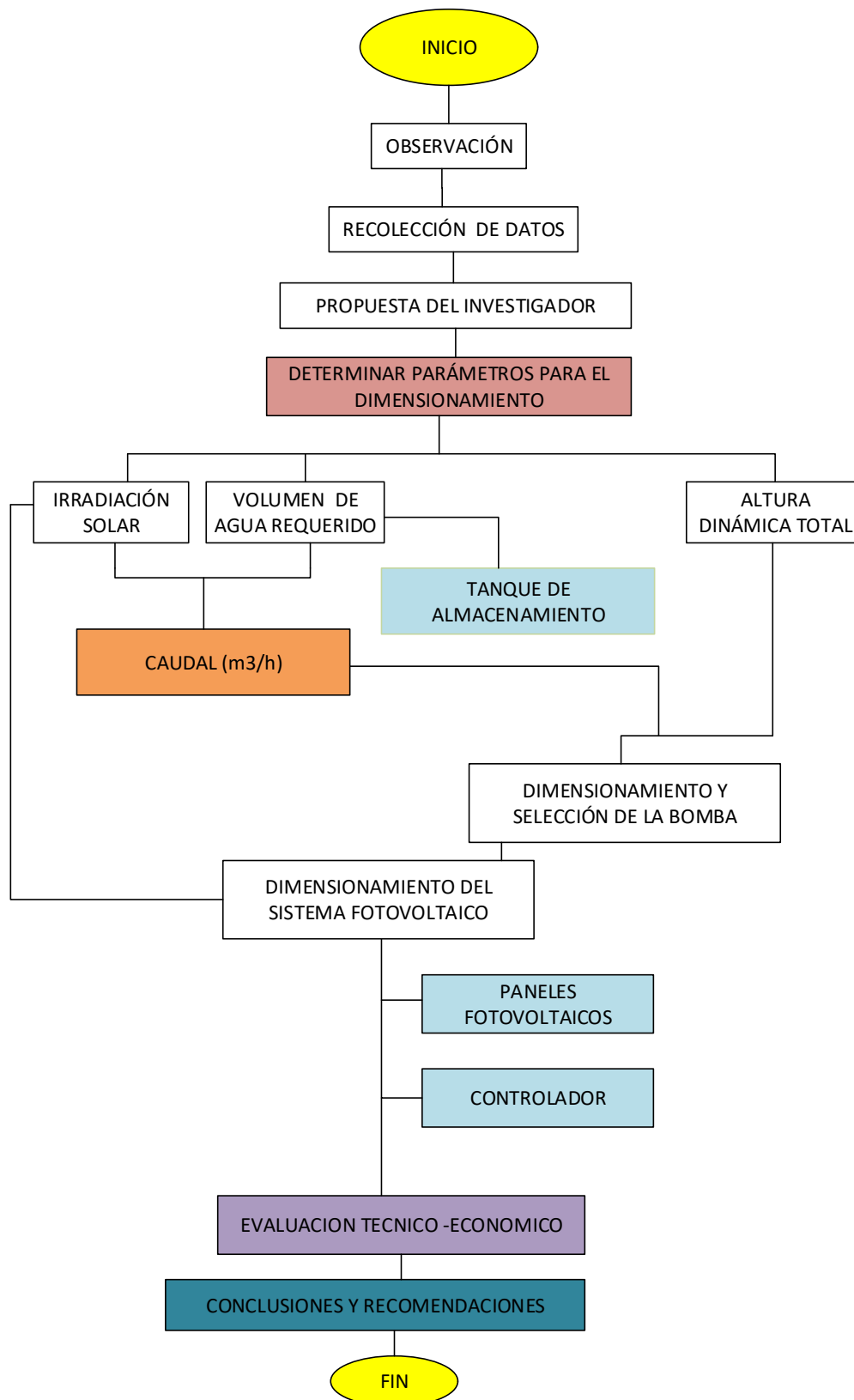


Figura N° 44: Flujograma de la propuesta⁵⁵

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

⁵⁵ Elaboracion propia

El lugar de estudio es la localidad Cruz Conga en Celendín perteneciente al departamento de Cajamarca.

5.1. Irradiación solar en la zona del proyecto

Para determinar la irradiación solar promedio en la zona del proyecto se ha consultado 2 fuentes las cuales se detallan a continuación con sus datos

5.1.1. Irradiación solar con NASTEC

De la Tabla N°10 podemos observar que la irradiación solar mínima para los meses de sequía de mayo a septiembre con un valor mínimo de $4,50 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$. También podemos observar que la radiación solar máxima es de $5,03 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ (ANEXO 01)

Tabla N° 10: Irradiación en Celendín⁵⁶

Selected months for operation	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	AVG
Average daily solar irradiance [kWh/m ² /day] for latitude tilted panels	4.43	4.18	4.26	4.34	4.50	4.56	4.58	4.68	4.75	4.70	5.03	4.75	4.56
Max daily ambient temperature [°C]	22.79	21.97	22.23	21.86	22.08	22.19	22.41	23.70	24.75	25.35	24.84	23.51	23.14
Mn daily ambient temperature [°C]	16.44	15.95	16.10	15.33	14.36	13.27	12.41	13.08	14.72	16.07	16.46	16.62	15.07
Average daily temperature [°C]	19.62	18.96	19.17	18.60	18.22	17.73	17.41	18.39	19.74	20.71	20.65	20.07	19.10

⁵⁶NASTEC

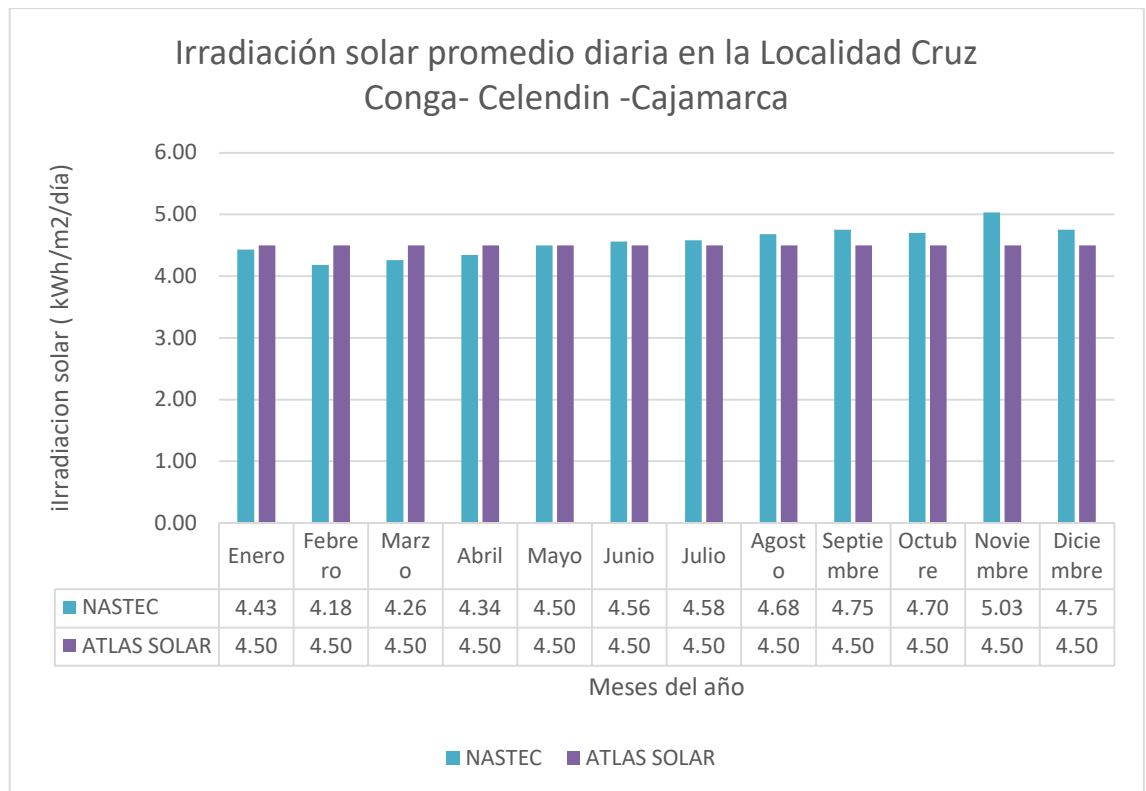


Figura N° 46: Comparación entre las fuentes de datos de irradiación solar⁵⁸
 se observa que el menor valor de irradiación para el periodo de sequía
 es de 4,50 kWh/m²/día

Pa e di d s d b t f
 c l r s d 4,5 k /m /d

5.2. Calculo del volumen de agua

⁵⁸Fuente: elaboración propia a partir de los datos de las fuentes de irradiación solar

5.2.1. Calculo del volumen de agua requerido por los animales

Para determinar la cantidad de agua necesaria para los animales se ha recopilado información la cual se encuentra resumida en la Tabla N° 11

Tabla N° 11: tipo y número de animales⁵⁹

Tipo de animal	Cantidad
vaca lechera	20
Toro	2
becerros	8
ovejas	5
Cerdos	2
Aves de corral	20
Caballos	4
Burros	5



Figura N° 47: Ganado vacuno en Cruz Conga⁶⁰

⁵⁹Elaboracion propia a partir de entrevista

⁶⁰Fuente: elaboracion propia



Figura N° 48: Becerros⁶¹ en la localidad de Cruz Conga

Teniendo la cantidad de animales a los cuales se les va a suministrar agua entonces nos faltaría saber el consumo de cada uno y a partir de ello calcular el volumen total, para esto hacemos uso del documento pdf : energía solar fotovoltaica escuela de organización industrial⁶² y a partir de estos datos elaboramos la Tabla N° 12 que se muestra a continuación:

⁶¹Fuente: elaboración propia

⁶² Energía solar fotovoltaica escuela de organización industrial

Tabla N° 12: Necesidades hídricas⁶³ de animales

Consumo estimado de agua para animales			
Tipo de animal	Cantidad	Litros/día/animal⁶⁴	Total de litros
vaca lechera	20	140	2800
toro	2	60	120
becerros	8	20	160
ovejas	5	5	25
Cerdos	2	20	40
Aves de corral	20	0,1	2
Caballos	4	40	160
Burros	5	30	150
Total (Litros)			3457

De la tabla N° 12, obtenemos que el volumen de agua que se necesita suministrar a los animales es de 3 457 litros o 3,457 m³ de agua diario

5.2.2. Calculo del volumen de agua necesario para riego

Se necesita regar 2 hectáreas de terreno donde generalmente se siembra rey gras, para determinar la cantidad de agua necesaria para se ha considerado el mes de agosto con menor precipitación (ver Tabla N°1) que es agosto con los siguientes datos:

precipitación por mes (P)=18 mm/mes

Latitud⁶⁵ =Latitud Sur:7° 0' 18.2" S (-7.00505890000)

Altura⁶⁶= 3 320msnm

Temperatura promedio (TMF)=55,9 °F (tabla N°1)

Humedad relativa promedio⁶⁷ (HR)= 60 %

⁶³Elaboracion propia a partir de datos de consumo de agua

⁶⁴Energía solar fotovoltaica escuela de organización industrial

⁶⁵<https://www.deperu.com/centros-poblados/cruz-conga-32690>

⁶⁶<http://dt.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/documentos/categorizaciones/celendin/Resolucion%20y%20Expediente%20de%20Caserio%20Cruz%20Conga-Sucre-Celendin.PDF>

⁶⁷Figura N° 3

Con los datos anteriores procedemos a calcular el factor de:

a) evapotranspiración potencial

$$E = M \dots (4)$$

Dónde: ETP: Evapotranspiración potencial [mm/mes].

MF: Factor mensual de latitud,

TMF: Temperatura media mensual [°F].

CH: Factor de corrección para la humedad relativa.

CE: Factor de corrección para la altura o elevación del lugar.

$$C = 0,1 \frac{1}{1 - H} \dots (5)$$

Dónde:

HR: Humedad Relativa media mensual [%].

La fórmula anterior se emplea para valores de HR mayores de 64%, pero para HR < 64%, CH = 1.

$$C = 1 + 0,0 \left(\frac{E}{20} \right) \dots (6)$$

Dónde: E: Altitud o Elevación del lugar [m.s.n.m].

El factor mensual de latitud (MF)

Sabiendo que la latitud sur de la zonas es de 7° entonces haciendo uso de la tabla N° 13, tenemos que MF=2,078

Tabla N° 13: Factor mensual de latitud⁶⁸

LAT. SUR	M E S E S											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	2,788	2,117	2,354	2,197	2,137	1,990	2,091	2,216	2,256	2,350	2,234	2,265
2	2,371	2,136	2,357	2,182	2,108	1,956	2,050	2,194	2,231	2,372	2,263	2,301
3	2,353	2,154	2,360	2,167	2,079	1,922	2,026	2,172	2,246	2,386	2,290	2,337
4	2,385	2,172	2,362	2,191	2,090	1,888	1,993	2,150	2,240	2,398	2,318	2,372
5	2,416	2,189	2,363	2,134	2,020	1,854	1,980	2,125	2,234	2,411	2,345	2,407
6	2,447	2,205	2,363	2,117	1,900	1,820	1,976	2,105	2,220	2,422	2,371	2,442
7	2,478	2,221	2,363	2,089	1,859	1,785	1,893	2,078	2,218	2,435	2,397	2,476
8	2,508	2,237	2,362	2,081	1,827	1,750	1,858	2,054	2,210	2,443	2,423	2,510
9	2,538	2,251	2,360	2,062	1,806	1,715	1,824	2,028	2,201	2,453	2,446	2,544
10	2,567	2,265	2,357	2,043	1,854	1,679	1,789	2,003	2,191	2,462	2,473	2,577
11	2,596	2,279	2,354	2,023	1,832	1,644	1,754	1,975	2,180	2,470	2,497	2,610
12	2,625	2,292	2,350	2,002	1,799	1,608	1,719	1,950	2,169	2,477	2,520	2,643
13	2,652	2,305	2,345	1,981	1,767	1,572	1,684	1,922	2,157	2,484	2,543	2,673
14	2,680	2,317	2,340	1,959	1,733	1,536	1,648	1,895	2,144	2,490	2,566	2,706
15	2,707	2,328	2,334	2,937	1,700	1,500	1,612	1,867	2,131	2,495	2,588	2,738
16	2,734	2,339	2,317	1,914	1,666	1,464	1,576	1,830	2,117	2,500	2,610	2,769
17	2,760	2,349	2,319	1,891	1,632	1,427	1,540	1,809	2,103	2,504	2,631	2,799
18	2,785	2,359	2,311	1,867	2,598	1,391	1,504	1,780	2,088	2,508	2,651	2,830
19	2,811	2,368	2,302	1,843	1,564	1,354	1,467	1,750	2,072	2,510	2,671	2,859

CH: Factor de corrección para la humedad relativa

$$C = 0,1 \quad \overline{1 - H} \dots (7)$$

$$C = H < 64 e \quad C = 1$$

CE: Factor de corrección para la altura o elevación del lugar.

$$C = 1 + 0,04x \left(\frac{E}{2000} \right)$$

$$C = 1 + 0,04x \left(\frac{3\,320}{2\,000} \right) = 1,066$$

Luego tenemos que:

$$E = 2,0 \quad ,9 \quad ,0 = 1 \quad ,8 \text{ m /m}$$

⁶⁸(Auccacusi Montejó, 2014)

b) Factor de cultivo

De los datos recopilados a los habitantes lo que siembran es rey gras (heno) lo que a su vez sirve de alimento para el ganado tiene un factor de cultivo de⁶⁹1,05

Entonces la evotranspiración real (ETA) es de:

$$E = K_e x \dots (8)$$

$$E = 1,05 x 123,83 = 130,02 \text{ m /m}$$

Precipitación efectiva: para determinar la precipitación efectiva (PE)

teniendo como dato la precipitación mensual de 18 mm/mes

$$P = 0,6 - 1 \dots (8)$$

$$P = 0,6 x 18 - 10 = 0,8 \text{ m /m}$$

Demanda de agua: mediante la siguiente ecuación:

$$D = E - P \dots (1)$$

Reemplazando:

$$D = 130,02 - 0,8 = 129,22 \text{ m /m}$$

$$D = 4,17 \frac{\text{m}}{\text{d}} = 4,17 x 0,1157 = 0,482 \text{ l/s ha}$$

Como se trata de 2 hectáreas entonces:

Nota: el 0,1157 es el factor de conversión de mm/día a L/s.ha

$$D = 2 x 0,482 = 0,964 \text{ l/s}$$

Sin embargo, el caudal que necesitamos es mayor debido a la eficiencia del riego. Con respecto del tipo de riego los agricultores utilizan el riego superficial haciendo surcos

⁶⁹http://www.inia.org.uy/online/img/gras/FAO_kc.pdf

Tabla N° 14: eficiencia según el tipo de riego⁷⁰

Eficiencia de aplicación (Ea) esperable con distintos métodos de riego	
Método de riego	Eficiencia de aplicación (%)
Riego por superficie	55 – 90 (1)
Riego por aspersión	65 – 90
Riego localizado	75 – 90 (2)

El tipo de riego que utilizan es superficial porque les resulta más económico entonces consideramos el valor promedio que es de 72,5%

$$Q_t = \frac{0,9}{0,7} = 1,3 \quad l/s = 45 \quad l/h = 1,8 \quad m/d$$



Figura N° 49: Ganado vacuno alimentándose de rey gras⁷¹

⁷⁰ https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941Fundamento_del_riego_1.pdf

⁷¹ Fuente: elaboración propia

5.2.3. Volumen total de agua

Ya calculado el volumen de agua necesario para los animales y para el riego de 2 hectáreas de rey gras entonces el volumen total mínimo de agua diario que se necesita es de:

$$V_{m-a} = V_a + V_r \dots (1)$$

$$V_{m-a} = 3,46 + 114,88 = 118,34 \text{ m}^3/\text{d}$$

Como este es el mínimo valor mínimo de agua que necesitamos es necesario agregar un 10% y además debido a que se va a utilizar un tanque de almacenamiento es necesario un 10 % adicional se vaya llenando

$$V_{t-a-a} = 1,1 \times 1,1 \times 118,34 = 143,19 \text{ m}^3$$

Con respecto a la irradiación solar consideraremos el valor del mes en estudio es decir del mes de agosto

$$\text{La cauda sería de: } Q = \frac{1 \cdot 1}{4,6} = 30,60 \text{ m}^3/\text{h}$$

El procedimiento que se ha hecho para el mes de agosto se repite para cada uno de los meses del año obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla N° 15: Caudal de agua⁷² requerido para cada mes del año

	Meses del año											
Parametros	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiemb	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura (°F)	58,6	57,7	57,6	57,6	57	55,6	55,6	55,9	56,8	58,1	58,1	58,1
humedad relativa	80	68	70	82	70	60	60	60	50	60	70	50
Factor mensula de latitud (MF)	2,47	2,22	2,36	2,099	1,939	1,765	1,893	2,078	2,21	2,433	2,397	2,476
Precipitacion (mm/mes)	86	101	125	87	40	22	20	18	47	100	86	86
irradiacion solar (kwh/m2/dia)	4,43	4,18	4,26	4,34	4,5	4,56	4,58	4,68	4,75	4,7	5,03	4,75
RESULTADOS												
DIAS del mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MF	2,47	2,22	2,36	2,099	1,939	1,765	1,893	2,078	2,21	2,433	2,397	2,476
TMF	58,6	57,7	57,6	57,6	57	55,6	55,6	55,9	56,8	58,1	58,1	58,1
CH	0,742375	0,939038	0,909219	0,704278	0,909219	1	1	1	1	1	0,90921945	1
CE	1,066	1,066	1,066	1,066	1,066	1,066	1,066	1,066	1,066	1,066	1,066	1,066
ETP	114,54	128,22	131,75	90,77	107,12	104,61	112,2	123,83	133,81	150,69	134,98	153,35
ETA	120,27	134,63	138,34	95,31	112,48	109,84	117,81	130,02	140,5	158,22	141,73	161,02
PE	41,6	50,6	65	42,2	14	3,2	2	0,8	18,2	50	41,6	41,6
DA(MES)	78,67	84,03	73,34	53,11	98,48	106,64	115,81	129,22	122,3	108,22	100,13	119,42
DA(DIA)	2,54	3	2,37	1,77	3,18	3,55	3,74	4,17	4,08	3,49	3,34	3,85
factor deconversion :0,1157	0,294	0,347	0,274	0,205	0,368	0,411	0,433	0,482	0,472	0,404	0,386	0,445
DA(l/s) para las 2 ha	0,588	0,694	0,548	0,41	0,736	0,822	0,866	0,964	0,944	0,808	0,772	0,89
Consumo para riego (m3/dia)	70,07	82,71	65,31	48,86	87,71	97,96	103,2	114,88	112,5	96,29	92	106,06
Consumo de animales (m3/dia)	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46
Consumo total (m3/dia)	73,53	86,17	68,77	52,32	91,17	101,42	106,66	118,34	115,96	99,75	95,46	109,52
con reserva	88,97	104,27	83,21	63,31	110,32	122,72	129,06	143,19	140,31	120,7	115,51	132,52
m3/h	20,08	24,94	19,53	14,59	24,52	26,91	28,18	30,60	29,54	25,68	22,96	27,9

⁷² Elaboracion propia a partir de datos

5.3. Dimensionamiento del sistema de bombeo fotovoltaico de agua

5.3.1. Cálculo de la altura equivalente de bombeo

La altura equivalente de bombeo o altura hidráulica de bombeo, es la presión efectiva que debe vencer la bomba para su correcto funcionamiento.

$$H_E = H_E + H_D + A_P \dots (1)$$

Donde:

HEB: Altura equivalente de bombeo (m)

He: Altura estática (m)

Hd: Altura dinámica (m)

Ap: Abatimiento del pozo (m)

He: Altura estática (m)

Donde la altura estática, es la distancia desde el nivel del agua en el pozo hasta el punto más elevado donde desea bombearse el agua, como la profundidad del pozo es de 12 m y la altura de descarga está a 3 m por lo tanto, la altura estática será de 15 m.

Hd: Altura dinámica (m)

El fluido al circular en el interior de la tubería produce una caída de presión debido a la fricción. Esta pérdida de carga se puede calcular:

La carga dinámica (CD) se puede obtener por omisión⁷³

a) Altura dinámica por omisión: Para determinar las pérdidas por fricción en la tubería usaremos el criterio de obtenerlos por omisión es decir considerando el 2 % de la longitud total de tubería, entonces tenemos que es:

⁷³http://www.solartronic.com/download/guia_bombeo.pdf

$$H = 0,02 (L + 40) \quad (1)$$

$$H = 0,02x(15 + 40)$$

$$H = 1,1 \text{ m}$$

b) Para el abatimiento consideraremos 1,5 m

Entonces

$$H_E = 15 + 1,1 + 1,5 = 17,60 \text{ m}$$

5.3.2. Dimensionamiento de la bomba sumergible

Con los datos de caudal y de la altura equivalente de la bomba:

$$Q = 30,60 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_{EB} = 17,60 \text{ m.}$$

Usaremos las bombas marca LORENTZ por se marca comercial bastante conocida y recomendada, en el anexo 02 se encuentra la relación de las bombas LORENTZ de donde podemos apreciar que la bomba LORENTZ que cumple con los requerimiento de caudal y altura efectiva de bombeo es la PS2-4000 C-SJ30-2,pero hay que obtener información más detallada de esta bomba.

Tabla N° 16:Relacion de Bombas LORENTZ⁷⁴

Articulo			PVP
PS4000 HR-05HHL-x,	24,4 0 kg	(0.93m³, 450m, 4kW, 375 V, 15A)	4.962,00 €
PS4000 HR-14HL-x,	23,3 0 kg	(2.5m³, 180m, 4kW, 375 V, 15A)	4.962,00 €
PS4000 C-SJ3-32,	31,5 0 kg	(4.2m³, 160m, 4kW, 375 V, 15A)	4.848,00 €
PS4000 C-SJ5-25,	30,5 0 kg	(7m³, 140m, 4kW, 375 V, 15A)	4.848,00 €
PS4000 C-SJ8-15,	32,5 0 kg	(14m³, 80m, 4kW, 375 V, 15A)	4.848,00 €
PS4000 C-SJ17-4,	31,0 0 kg	(25m³, 45m, 4kW, 375 V, 15A)	4.848,00 €
PS4000 C-SJ30-2,	29,5 0 kg	(45m³, 22m, 4kW, 375 V, 15A)	4.848,00 €
PS4000 C-SJ42-1,	28,5 0 kg	(73m³, 12m, 4kW, 375 V, 15A)	4.848,00 €
PS4000 C-SJ42-2,	30,5 0 kg	(62m³, 16m, 4kW, 375 V, 15A)	4.848,00 €
PS4000 C-SJ60-1,	29,0 0 kg	(79m³, 10m, 4kW, 375 V, 15A)	4.848,00 €
PS4000 C-SJ60-2-B,	31,0 0 kg	(61m³, 16m, 4kW, 375 V, 15A)	4.848,00 €

⁷⁴Extraído del anexo 02



Figura N° 50: Bomba LORENTZ⁷⁵ PS2-4000 C-SJ30-2

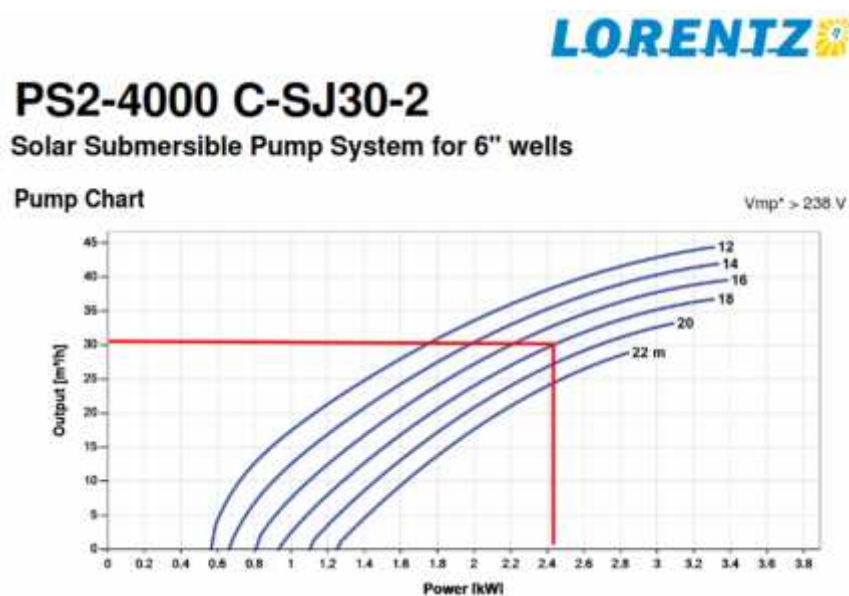


Figura N° 51: Curva característica le bomba⁷⁶ LORENTZPS2- 4000 C-SJ30-2

⁷⁵ <https://lorentzpumps.co.za/wp-content/uploads/2017/10/PS2-4000-C-SJ30-2.pdf>

⁷⁶ http://ian.kr/wordpress/wp-content/uploads/2014/03/PS4000_c-sj30-2_pi_en_ver301051.pdf

Observando la ficha técnica de la bomba LORENTZ PS2- 4000 C-SJ30-2(ANEXO 03) que esta cumple con los requerimientos hídricos solicitados

5.3.3. Dimensionamiento del generador fotovoltaico

Se dimensionará el equipamiento fotovoltaico para la bomba

5.3.3.1. Consumo energético estimado

Con la finalidad de dimensionar el sistema fotovoltaico es necesario conocer el consumo de energía diario de la bomba.

$$E_h = \frac{V \cdot X_E}{3} \dots (1)$$

Donde:

V: Volumen de agua (143,19 m³)

HEB: Altura equivalente de bombeo (17,60 m)

Reemplazando los datos

$$E_h = \frac{143,19 \cdot 17,60}{3} = 6,8 \text{ k /d}$$

La potencia pico del generador fotovoltaico este dado por la siguiente ecuación:

$$P_p = \frac{E_h}{n_{bt}} \cdot \frac{G_0}{F_m[1-\delta(T_c-25)].G_m} \dots (1)$$

$$F_m[1-\delta(T_c-25)].G_m = 0,9[1-0,01(5-25)] \cdot 6$$

$$F_m[1-\delta(T_c-25)].G_m = 3,7$$

$$P_p = \frac{6,8}{0,5} \cdot \frac{1}{3,7} = 3,6 \text{ k}$$

Tabla N° 17: Potencia requerida⁷⁷ por los paneles fotovoltaicos para cada mes

	Meses del año											
Parametros	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiemb	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura (°F)	58,6	57,7	57,6	57,6	57	55,6	55,6	55,9	56,8	58,1	58,1	58,1
humedad relativa	80	68	70	82	70	60	60	60	50	60	70	50
Factor mensula de latitud (MF)	2,47	2,22	2,36	2,099	1,939	1,765	1,893	2,078	2,21	2,433	2,397	2,476
Precipitacion (mm/mes)	86	101	125	87	40	22	20	18	47	100	86	86
irradiacion solar (kwh/m2/dia)	4,43	4,18	4,26	4,34	4,5	4,56	4,58	4,68	4,75	4,7	5,03	4,75
RESULTADOS												
Consumo de animales (m3/dia)	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46
Consumo total (m3/dia)	73,53	86,17	68,77	52,32	91,17	101,42	106,66	118,34	115,96	99,75	95,46	109,52
con reserva	88,97	104,27	83,21	63,31	110,32	122,72	129,06	143,19	140,31	120,7	115,51	132,52
m3/h	20,08	24,94	19,53	14,59	24,52	26,91	28,18	30,60	29,54	25,68	22,96	27,9
energia de paneles (kW.h)	4,27	5	3,99	3,04	5,29	5,89	6,19	6,87	6,73	5,79	5,54	6,36
Potencia de paneles (kWp)	2,41	3	2,35	1,75	2,94	3,23	3,38	3,68	3,55	3,08	2,76	3,35

⁷⁷Elaboracion del autor de la tesis

Para determinar el arreglo de paneles fotovoltaicos y potencia se ha considerado las marcas comerciales SIMAX de 240 Wp (ANEXO 04)

Tabla N° 18: Costo del arreglo del generador fotovoltaico⁷⁸

Marca	potencia del modulo fotovoltaico	Costo del modulo fotovoltaico	Total de modulos fotovoltaicos	Isc	Imp	Vmp	Vco	costo total (S/.)	potencia del generador fotovoltaico
simax	150	660,22	28	8,88	8,11	18,1	22,6	18486,16	4,20
simax	190	733,6	21	5,52	5,21	36,5	44,5	15405,60	3,99
simax	250	993,67	16	8,85	8,2	30,5	37,8	15898,72	4,00
simax	240	993,67	16	8,65	8	30	37,2	15898,72	3,84

Características técnicas del controlador PS 4000

Technical Data

Controller PS2-4000

- Controlling and monitoring
- Control inputs for dry running protection, remote control etc.
- Protected against reverse polarity, overload and overtemperature
- Integrated MPPT (Maximum Power Point Tracking)
- Integrated Sun Sensor

Power	max. 4,0 kW
Input voltage	max. 375 V
Optimum Vmp**	> 238 V
Motor current	max. 14 A
Efficiency	max. 98 %
Ambient temp.	-40...50 °C
Enclosure class	IP68

Figura N° 52: Características técnicas del controlador⁷⁹ PS 4000

El número de paneles solares que hay que colocar en serie Para determinar el número de paneles solares en serie hay que considerar la bomba superficial LORENTZ tiene una tensión mínima V_m .debe ser mayor a 238 V y menor a 375 V (Ver figura N°53).

⁷⁸Elaboracion propia a partir de: <https://www.proviento.com.pe/panelesolares.html>

⁷⁹<https://lorentzpumps.co.za/wp-content/uploads/2017/10/PS2-4000-C-SJ30-2.pdf>

Entonces tenemos lo siguiente:

A partir de la siguiente ecuación:

$$N_p = \frac{V_{ds}}{V_{m,m}} \dots (1)$$

$$N_{rc} = \frac{V_{ds}}{V_{m,m}} > 238/30,0 = 7,93 \text{ 8 paneles solares}$$

Entonces el número mínimo de paneles solares conectados en serie serán. 8.

El número de ramas en paralelo de módulos se calculará con la siguiente ecuación:

$$N_{pm} = 36 / (2) = 1,9 \text{ 2 rcs e p}$$

E	e	g	f	e	c	f
p	1	p	s	Sl	d	2
					W	

Verificación de la potencia del controlador

La potencia del generador fotovoltaico debe ser menor que la máxima capacidad de potencia del regulador

Pmax del regulador= 4 kW (De la figura N° 53)

Potencia del generador fotovoltaico=16x240=3,840kW

De donde 4 kW>3,840 kW

5.3.3.2. Dimensionamiento de los conductores eléctricos

Debemos tener en cuenta que los paneles fotovoltaicos suministran energía eléctrica en corriente y el motor de la bomba también consume energía en corriente continua

Para calcular la sección del conductor eléctrico usaremos la siguiente ecuación:

$$S = \frac{L \cdot I^2}{K \cdot \Delta U} \quad (1)$$

Donde:

S : es la sección del conductor del cable en continua, en mm^2

L : es la longitud del tramo de conductor que se esté considerando, en m

I : es la intensidad de corriente que circula por el conductor, en amperios (A)

U : es la caída de tensión máxima permitida en el tramo, en voltios (V)

K : es la conductividad del conductor del cable (56 Cu; 35 Al)

En la tabla N° 19, siguiente se muestra la caída de tensión máximas y recomendadas para cada tramo de una instalación de bombeo de agua utilizando sistema fotovoltaico.

Tabla N° 19: Porcentajes de caída de tensión⁸⁰

Tramo	Caída de tensión máxima	Caída de tensión recomendada
Panel -regulador	3 %	1 %
Regulador-bomba Superficial	5 %	3%

Consideramos trabajar con conductores eléctricos NYY, cuyas características se muestran a continuación (Tabla N° 20)

Tabla N° 20: Conductores eléctricos⁸¹NYY



TABLA DE DATOS TECNICOS NYY DUPLEX

CALIBRE N° x mm²	N° HILOS	ESPESORES		DIÁMETRO EXTERIOR mm	PESO (Kg/Km)	CAPACIDAD DE CORRIENTE (*)		
		AISLAMIENTO mm	CUBIERTA mm			ENTERRADO A	AIRE A	DUCTO A
2x1x6	1	1	1.4	15.4	218	77	58	62
2x1x10	1	1	1.4	17	307	105	80	85
2x1x16	7	1	1.4	19.3	454	136	108	112
2x1x25	7	1.2	1.4	22.5	672	170	140	140
2x1x35	7	1.2	1.4	24.6	880	205	175	170

Los conductores eléctricos se usan en 2 tramos : primero el tramo desde el generador fotovoltaico hasta el controlador y el segundo tramo desde el controlador hasta la bomba.

⁸⁰ <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

⁸¹ <http://www.promelsa.com.pe/pdf/1000668.pdf>

Tramo 1: desde los paneles fotovoltaicos hasta el regulador de carga.

En primer lugar calcularemos la tensión que prevalece en este tramo para ello utilizaremos la tensión V_{mp} del panel fotovoltaico que es de: 36,5 V y el número de paneles fotovoltaicos en serie es 7, por lo tanto la tensión en el tramo paneles al controlador es de:

$$V_p = V_{mp} \times N_p \quad \dots (1)$$

$$V_p = 36,5 \times 7 = 255,5 \text{ V}$$

por lo tanto la caída de tensión en este tramo no deberá ser mayor de: 2,40V Los valores que toman para este tramo los distintos parámetros que se emplearán para el cálculo de la sección mínima de cable conductor, serán los siguientes:

Consideraremos una longitud de 10 m, esta es la longitud que recorre el cable desde la salida de la caja de conexión de los módulos solares hasta el regulador de carga.

$$I_d = 1,2 \times I_{Cm} \times N_{rc} \quad \dots (1)$$

$$I_d = 1,2 \times 2,1 = 2,52 \text{ A}$$

$$S_d = \frac{I_d \times L}{\sigma \times \Delta T} = \left(\frac{2,52 \times 10}{5 \times 4} \right)$$

$$S_d = 12,6 \text{ mm}^2$$

De la tabla N° 18, la seleccionamos el conductor de **6 mm²**.

Tramo 2: Este tramo comprende desde el controlador hasta el motor eléctrico de la bomba.

La tensión de que se considera en este tramo es la tensión del motor de la bomba que según la tabla N° 21 es de 240 V

Tabla N° 21: datos técnicos del motor de las bombas LORENTZ⁸²

ECDRIVE (motor) Technical Data

Model	ECDRIVE 150	ECDRIVE 200	ECDRIVE 600	ECDRIVE 1800	ECDRIVE 4000
Power (max)	300 W	300 W	700 W	1,800 W	4,000 W
Input voltage	18 V	45 V	45 V	95 V	240 V
Physical	Insulation class F, Max submersion 150 m, Enclosure class IP68, EN 1.4301 / AISI 304 stainless steel				

Como la caída de tensión recomendada es de 3% entonces este tomara un valor de 7,2 V

Consideraremos una longitud de 20 m, es la longitud que recorre el cable de caída desde la salida del controlador hasta los bornes de entrada al motor eléctrico de la bomba.

La corriente eléctrica de salida del controlador a la bomba esta dado por la siguiente ecuación:

$$I_{d \text{ } \tilde{n}u} = 1,5 \left(\frac{P_D}{V} \right) \cdot (2)$$

siendo,

⁸² https://partnetnet.lorentz.de/files/lorentz_ps2_product-brochure_es.pdf

P_{DC} la potencia de las cargas en continua (o corriente directa) que haya que alimentar, que en este caso es la potencia nominal de la bomba, de valor $4,0 \text{ kW}$ (Tabla N° 21).

V_B la tensión nominal de la bomba, de valor $240V_{DC}$ según la tabla N° 21.

1,5 es un factor de seguridad para tener en cuenta los picos de corriente que puedan producirse en el arranque de la bomba⁸³.

Sustituyendo en la ecuación tenemos un valor de:

$$I_{dn} = 1,5 \left(\frac{40}{2} \right) = 2 \text{ A}$$

$$S_{dc} - t_1 = \left(\frac{2}{5,2} \right)$$

$$S_{dc} - t_1 = 2,4 \text{ mm}$$

la sección normalizada de la Tabla N° 20 es el inmediatamente superior a la calculada es decir 6mm^2 .

5.3.3.3. Dimensionamiento de protecciones

a) Cable de protección

Para proteger y darle seguridad a la instalación propuesta se instalará un cable adicional que servirá para conectar las masas metálicas de la instalación con el sistema de tierra, con el objetivo de evitar que aparezcan voltajes peligrosos y/o permitir al mismo tiempo enviar a tierra las corrientes originadas por las descargas de origen atmosférico. De acuerdo a la norma del CNE (Tabla N° 22)

⁸³<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn206.html>

Tabla N° 22: Sección mínima de conductores de protección⁸⁴

Sección de los conductores activos de la instalación, $S \text{ (mm}^2\text{)}$	Sección mínima de los conductores de protección, $S_p \text{ (mm}^2\text{)}$
$S \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

cuando la sección del conductor activo es menor o igual a 16 mm^2 , el cable a tierra deberá ser de la misma sección del conductor, por lo tanto:

Tabla N° 23: Selección del conductor de protección

Tramo	Sección mínima del conductor seleccionado	Sección del conductor de protección
Generador fotovoltaico Regulador	6 m^2	6 m^2
Regulador-bomba	6 m^2	6 m^2

Fuente: elaboración propia

b) Fusibles⁸⁵

Una sobrecarga ocurre cuando existe un valor excesivo de intensidad ocasionado por un defecto de aislamiento, una avería o una demanda excesiva de carga. Existe la posibilidad de sobrecarga en los cables y ello produce calentamiento excesivo de los mismos, lo que provoca su daño prematuro, reduciendo su vida útil. Además, una sobrecarga que

⁸⁴ Instalación solar fotovoltaica para el bombeo de agua para riego.pdf

⁸⁵ <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

En este caso se elegirán cartuchos de fusibles de cuchilla de tipo *gPV* 1000V DC de uso específico para instalaciones fotovoltaicas, de la marca **DF Electric** (ANEXO 06).

Para que el fusible seleccionado sea efectivo, se debe cumplir que:

$$I_b \leq I_n \leq 0,9 I_{adm} \quad \dots (2)$$

Siendo:

I_b la intensidad de corriente que recorre la línea.

I_n la intensidad nominal del fusible asignado a la línea.

I_{adm} es la máxima intensidad admisible del cable conductor de la línea.



Figura N° 53: Fusibles para aplicaciones fotovoltaicas⁸⁶

⁸⁶ <http://www.df-sa.es/documentacion/documentos-fotovoltaicos/fusibles-y-bases-fotovoltaicos.pdf>
(ANEXO 06)

Tabla N° 24: Selección de fusibles de protección⁸⁷

Generador fotovoltaico - Regulador	$I_b \quad I_n \quad 0,9 \cdot I_{adm}$ Reemplazando: $13,80 \quad I_n \quad 0,9 \cdot (62)$ $13,80 \quad I_n \quad 55,80$, entonces $I_n=15 \text{ A}$
Regulador- Bornes del motor	$I_b \quad I_n \quad 0,9 \cdot I_{adm}$ Reemplazando: $25,00 \quad I_n \quad 0,9 \cdot (62)$ $25 \quad I_n \quad 55,80$ entonces $I_n=30 \text{ A}$

Fuente: elaboración propia

5.3.3.4. Angulo óptimo de inclinación

explica lo siguiente:

Para determinar la inclinación óptima de una superficie fija se la ecuación (Agustin Castejon, pág. 13)

$$\beta_o = 3,7 + (0,6 \times |\varphi|) \dots (2)$$

Donde

β_o :Angulo de inclinación optimo

$|\varphi|$: Latitud del lugar sin signo

La latitud de la localidad Cruz Conga en Celendín⁸⁸ es de: 7° 0' 18.2" S (-7.00505890000)

Reemplazando en la ecuación anterior tenemos:

⁸⁷Elaboración propia

⁸⁸<https://www.deperu.com/centros-poblados/cruz-conga-32690>

$$\beta_o = 3,7 + (0,69 \times |-7,00^\circ|)$$

$$\beta_o = 8,53^\circ$$

luego el ángulo óptimo es de 8,53°.

5.3.3.5. Tanque de almacenamiento

Considerando un tanque de base cuadrada, su volumen está dado por:

$$V = L^2 \cdot h \dots (2)$$

donde L es la longitud del lado del 143,19 m³

Si la altura del tanque es de 3 m entonces la longitud del lado de la base es de 6,90 m

5.4. Costo de inversión del propuesta

5.4.1. Costo del sistema de bombeo fotovoltaico

Tabla N° 25: Costo de inversión de un sistema de bombeo fotovoltaico

DESCRIPCIÓN	Costo/unitario (S/.)	Costo (S/.)
01 bomba sumergible LORENTZ PS2-4000C-SJ30-2+CONTROLADOR	19 303,47	19 303,47
16 paneles solares SIMAX 240 Wp	931,56	14 904,96
Estructura para 16 paneles fotovoltaicos	3 455,83	3 455,83
Tanque de almacenamiento	30 000	30 000
Accesorios	1 000	1000
Total, del Suministro		68644,26

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 26: Costo de inversión de la propuesta

DESCRIPCIÓN	TOTAL (S/.)
--------------------	--------------------

SUMINISTRO	68 664,26
TRANSPORTE	2 746,57
MONTAJE ELECTROMECAÁNICO	6 866,43
COSTO DIRECTO	78 277,26
GASTOS GENERALES	6 262,18
UTILIDADES	11 741,59
SUB TOTAL SIN IGV	96 281,03
IGV	17 330,58
COSTO TOTAL	113 611,61

Fuente: elaboración propia

5.5. Estudio de viabilidad técnico económica

5.5.1. Flujo de caja proyectado

Consideraremos un horizonte de 20 años flujo. El flujo de caja permitirá observar los ingresos y/o egresos netos que tendrá el proyecto durante el horizonte.

5.5.2. Estructura del flujo de caja

Los componentes del flujo de caja:

Los ingresos: está dado por la venta de leche la cual se realiza a la empresa GLORIA, de las conversaciones realizadas con los habitantes se ha obtenido que el número de litros de leche por vaca al día es de 15 litros en promedio.

Para el horizonte de estudio consideraremos que las vacas que producen leche son 18, debido a que algunas enferman (la vida de las vacas lecheras en promedio⁸⁹ es de 20 años), el precio de la compra del litro de leche es de S/. 1,0

$$\begin{aligned} \text{Ingreso por la venta de leche} &= N_v \times L_v \times N_d \times \text{año} \times \text{precio litro de leche} \dots (24) \\ \text{Ingreso por la venta de leche} &= 18 \times 15 \times 365 \times 1,0 \\ &= \text{S/.} 98\,550 \end{aligned}$$

Los egresos están dados por la depreciación de equipos, los paneles fotovoltaicos, bomba; gastos en mantenimiento de los mismos y además gastos en los animales (control de enfermedades, etc.)

Tabla N° 27: Depreciación de equipos

Equipos	Vida Útil	Costo total. (S/.)	Depreciación(S/.)
Paneles solares	20	14 904,96	745,25
Bomba LORENTZ+controlador	10	19 303,47	1 930,35

Fuente: elaboración propia

La vida útil de las bombas LORENTZ es de 10 a 12 añosos entonces se considerará en el año 10 la compra de la bomba con su controlador y más los gastos de instalación

Se considerará gastos en manteamiento de S/. 800 mensuales

⁸⁹<https://cuantoviven.net/vacas/>

Se consideran otros gastos de S/. 5 000 anuales en los cuales se considera: vacunas para los animales, visita del veterinario, mejoramiento del terreno, etc.

Tasa de descuento

para la evaluación económica se considerará un préstamo de: S/.120 000,00 pagaderas en 5 cuotas anuales fijas. Los flujos de caja se descontarán a una tasa de descuento igual a la tasa de interés activa vigente en el mercado. se ha utilizado el simulador de préstamo de 2 entidades financieras los cuales arrojan una tasa de interés de:

Tabla N° 28: Tasa activa anual⁹⁰

Entidad financiera	Tasa de interés
Interbank ⁹¹	25,75 %
Banco de la nación ⁹²	19,0 %

5.5.3. Valor actual neto (VAN)

Con la ayuda de una hoja de cálculo en Excel se ha procedió a calcular el VAN con las 2 tasa de interés, cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 29: Resultados de cálculo del VAN

Tasa de descuento	VAN	Decisión
25,75 %	S/. 104 973,91	Se acepta la

⁹⁰Elaboracion a partir de datos de simuladores bancarios

⁹¹<https://interbank.pe/prestamo-efectivo>

⁹²<https://zonasegura1.bn.com.pe/SIMU/simulador01.htm>

		propuesta
19,0 %	S/. 217 284,37	Se acepta la propuesta

Fuente: elaboración propia del autor

De la tabla N° 29 observamos que el VAN es mayor que cero para ambos caso por lo cual la propuesta se acepta.

5.5.4. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Además del cálculo del VAN es necesario hacer un cálculo de la TIR con la finalidad de saber si la TIR es mayor o menor de la tasa de descuento y tomar la decisión. Los resultados se muestran en la siguiente Tabla

Tabla N° 30: Resultados del cálculo de TIR

Tasa de descuento	TIR	Decisión
25,75 %	43 %	Se acepta la propuesta
19,0 %	47 %	Se acepta la propuesta

Fuente: elaboracion propia del autor

De la tabla N° 30 observamos que la TIR es mayor que la tasa de descuento para ambos casos por lo cual la propuesta se acepta.

Tabla N° 31:Flujos de caja proyectados (tasa de descuento: 19 %) para un horizonte de 20 años (Elaboración propia)

		Año 00	Año 01	Año 02	Año 03	Año 04	Año 05	Año 06	Año 07	Año 08
	Inversion inicial	120 000								
	Anualidad del prestamo		39 246,02	39 246,02	39 246,02	39 246,02	39 246,02			
INGRESOS	Fondos generados		98550,00	98550,00	98550,00	98550,00	98550,00	98550,00	98550,00	98550,00
	OTROS GASTOS		5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
	Mantenimiento		800	800	800	800	800	800	800	800
	Depreciacion de equipos		2675,60	2675,60	2675,60	2675,60	2675,60	2675,60	2675,60	2675,60
	Panel solar		745,25	745,25	745,25	745,25	745,25	745,25	745,25	745,25
	Bomba solar		1930,35	1930,35	1930,35	1930,35	1930,35	1930,35	1930,35	1930,35
	Flujo de efectivo Neto	-120000	50828,39	50828,39	50828,39	50828,39	50828,39	90074,41	90074,41	90074,41

		Año 09	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
	Inversion inicial												
	Anualidad del prestamo												
INGRESOS	Fondos generados	98550,00	98550,00	98550,00	98550,00	98550,00	98550,00	98550,00	98550,00	98550,00	98550,00	98550,00	98550,00
	OTROS GASTOS	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
	Mantenimiento	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
	Depreciacion de equipos	2675,60	745,25	2675,60	2675,60	2675,60	2675,60	2675,60	2675,60	2675,60	2675,60	2675,60	2675,60
	Panel solar	745,25	745,25	745,25	745,25	745,25	745,25	745,25	745,25	745,25	745,25	745,25	745,25
	Bomba solar	1930,35	19303,47	1930,35	1930,35	1930,35	1930,35	1930,35	1930,35	1930,35	1930,35	1930,35	1930,35
	Flujo de efectivo Neto	90074,41	77701,28	90074,41	90074,41	90074,41	90074,41	90074,41	90074,41	90074,41	90074,41	90074,41	90074,41

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones

- a) Con los datos de radiación solar de NASTEC se ha obtenido una radiación solar mínima de $4,18 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$, también se ha obtenido datos de radiación solar del atlas solar del Perú con un valor de $4,50 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$. Para los cálculos del sistema de bombeo fotovoltaico se ha considerado los valores de radiación solar para cada mes teniendo prioridad el periodo de sequía comprendido entre los meses de mayo a septiembre.
- b) Se determinó el consumo diario de agua para animales el cual es de $3\,457$ litros o $3,457 \text{ m}^3$ y también se calculó la cantidad de agua necesaria para el riego de 2 hectáreas de terreno con un consumo diario de $114,88 \text{ m}^3$, considerando un 10% adicional y un 10 % para el llenado de tanque de almacenamiento el total de agua diaria requerida es de $143,19 \text{ m}^3$.
- c) El sistema de bombeo fotovoltaico estará conformado por 01 bomba sumergibles LORENTZ PS2-4000C-SJ30-2, 16 paneles fotovoltaicos de la marca SIMAX de 240 Wp.
- d) El presupuesto referencial del sistema de bombeo fotovoltaico es de S/. 113 611,61.
- e) Se realizó la evaluación económica obteniéndose que para una tasa de interés del 19% obteniéndose el $\text{VAN} = \text{S/. } 217\,284,37 > 0$ y la TIR de 47 % . Y para una tasa de descuento de 25,75 % el VAN es de S/. 104 973,91 > 0 y la TIR= 43 % por lo que la propuesta es aceptable.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Alata Rey, J. E. (2015). *Dimensionamiento de un sistema de bombeo con paneles solares - caso UNALM*. Lima.
- 2) Alonso Alabella, M., & Chenlo Romero, F. (s.f.). *Sistemas de bombeo fotovoltaico*.
- 3) Auccacusi Montejó, D. F. (2014). *Análisis técnico y económico para la selección del equipo óptimo de bombeo en Muskarumi-Pucyura-cusco usando fuentes renovables de energía*. Lima.
- 4) Cabrera Peña, I., & Fermin Montiel, R. (2003). *Celdas fotovoltaicas para energizar un sistema de bombeo de agua*. Mexico.
- 5) Castejon, A. (1998). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España.
- 6) Diaz Corcobado, T. (2008). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Mexico.
- 7) Energía Innovadora. (2017). *Cotización del sistema fotovoltaico de bombeo de agua*.
- 8) Escosa Gonzales, J. L., & German Bes, L. A. (2015). *Guía técnica para la utilización de la energía solar fotovoltaica en instalaciones de abastecimiento de agua potable*. Zaragoza.
- 9) Heras Sanchez, M. A. (2017). *Análisis de un sistema de riego automatizado alimentado por energía fotovoltaica utilizando PLC*. Ecuador.
- 10) Hernandez Quijaite, L. E. (s.f.). *Bombeo de agua con energía solar en el departamento de Ica*. Ica.
- 11) Indeco. (s.f.). *Catálogo de cables NYY -DUPLEX*.
- 12) Ixtebe Portabelle, C. (2010). *Proceso de creación de una planta solar fotovoltaica conectada a red*. Barcelona.
- 13) Josue Eliezer, A. R. (2015). *"DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BOMBEO CON PANELES SOLARES – CASO UNALM"*. Lima.
- 14) Lara Yevenes, F. A. (2007). *Diseño de un sistema de riego por medio de energía solar, través de paneles FV*. Chile.
- 15) Llauce Chozo, A. J. (2016). *Implementación de sistema fotovoltaico para reducir el consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica en el restaurant el Cruceño, ubicado en el km 901, carretera Lambayeque – Piura*. Lambayeque.

- 16) Natael Elenes, F. (2012). *Análisis de factibilidad de un sistema de bombeo de agua con energía solar como propuesta de adaptación para riego en rayón, Sonora*. Sonora.
- 17) Orbezo, C., & Aribilca, R. (2010). *Energía solar fotovoltaica*.
- 18) Paredes Rubio, A. R. (2001). *Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica*. Mexico.
- 19) Sanchez Barboza, M. (2016). *Diseño de un suministro eléctrico con energía solar fotovoltaica para mejorar la productividad de equipos de bombeo agrícola del establo Gesa - Lambayeque, 2016*. Trujillo.
- 20) Sapag Chain, N., & Sapag Chain, R. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos*. Colombia.
- 21) SENAMHI. (2003). *Atlas de energía solar del Perú*.
- 22) solar, G. d. (2016). *Guía de la energía solar*. 2006.
- 23) Valdiviezo Salas, P. D. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP*. Lima.

ANEXOS

ANEXO N°01. RADIACIÓN SOLAR EN CELENDÍN-NASTEC

ANEXO N°02. RELACIÓN DE BOMBAS SUMERGIBLES LORENTZ

ANEXO N°03. FICHA TÉCNICA DELA BOMBA LORENTZ PS2-4000 C-SJ30-2

**ANEXO N°04. FICHA TÉCNICA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS SIMAX
DE240 Wp**

ANEXO N°05. CONDUCTORES ELÉCTRICOS NYY

ANEXO N°06. FUSIBLES

ANEXON°07. SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO