



# **MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

## **TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO SOLAR PARA EL ABASTECIMIENTO  
DE AGUA EN ANDAHUAYLILLAS, PERÚ**

**Autor: Gabriela Martínez Fernández-Valdés,**

**Director: Iñigo Sanz**

**Madrid**

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Diseño de un sistema de bombeo solar para el abastecimiento de agua en Andahuaylillas,  
Perú

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2023/24 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Gabriela Martínez

Fecha: 16/ 08/ 2024



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Iñigo Sanz

Fecha: ...../ ...../ .....





# **MÁSTER EN INGENIERIA INDUSTRIAL**

## **TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO SOLAR PARA EL ABASTECIMIENTO  
DE AGUA EN ANDAHUAYLILLAS, PERÚ**

**Autor: Gabriela Martínez Fernández-Valdés**

**Director: Iñigo Sanz**

**Madrid**



# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO SOLAR PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN ANDAHUAYLILLAS, PERÚ**

**Autor: Martínez Fernández-Valdés, Gabriela.**

Director: Sanz, Iñigo.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

El proyecto propuesto consiste en un sistema de bombeo solar que tiene el objetivo de garantizar un suministro de agua sostenible y continuo en la comunidad de Andahuaylillas en Perú. La comunidad jesuita de Andahuaylillas comunicó los problemas de acceso a agua que sufrían, y a partir de ahí se siguieron varios pasos clave para llegar a una solución: primero, se llevó a cabo un análisis detallado de la situación hídrica y la disponibilidad solar en la región; luego, se diseñó un sistema de bombeo alimentado por energía solar, seleccionando cuidadosamente los componentes más adecuados para las condiciones locales, y finalmente se llevó a cabo un análisis económico del proyecto.

**Palabras clave:** Recurso hídrico, agua, pozo, bomba, panel solar, radiación solar

### **1. Introducción**

El acceso a agua potable es un desafío en prácticamente todos los países del mundo, desarrollados y subdesarrollados. Esto ocurre en muchas regiones de Perú, pero especialmente en áreas rurales y remotas situadas en la zona amazónica o de los andes, como es el caso de la comunidad de Andahuaylillas. Andahuaylillas es una comunidad ubicada en los Andes, específicamente en la provincia de Quispicanchi, en el departamento de Cuzco, a una altitud de 3.121 metros sobre el nivel del mar.

Esta comunidad enfrenta condiciones climáticas adversas que agravan la situación hídrica, con largos periodos de sequía y una infraestructura insuficiente para garantizar un suministro de agua constante. La escasez de agua no solo afecta la calidad de vida de los habitantes, sino que también limita su capacidad para llevar a cabo actividades agrícolas y otras tareas esenciales para su subsistencia.

### **2. Definición del proyecto**

El proyecto consiste en el diseño de un sistema de bombeo solar. Para iniciar el proyecto, se llevó a cabo un análisis de la necesidad de agua en la comunidad de Andahuaylillas. La comunidad cuenta con una población total de 5,299 habitantes, de las cuales aproximadamente el 20% de esta población, es decir, alrededor de 1,060 personas, se ven afectadas por la escasez de agua. Con el fin de asegurar que el sistema propuesto pueda cubrir tanto la demanda actual como futura, se proyectó un crecimiento demográfico anual del 2.5%, lo que permite prever las necesidades hídricas hasta el año 2035, cuando la demanda diaria se estima en 109 m<sup>3</sup>/día.

La bomba extraerá el agua de un pozo situado a 1 kilómetro de la zona de la instalación y posee una profundidad de 64 metros. El diseño se ha llevado a cabo con el fin de optimizar su viabilidad a largo plazo, teniendo en cuenta las condiciones locales y la facilidad de mantenimiento del sistema.

### 3. Descripción del sistema

El sistema consta de dos partes principales: la instalación hidráulica y la instalación solar. La instalación hidráulica contará con una bomba situada en las profundidades del pozo que se encargará de bombear el agua hasta un depósito situado a aproximadamente 1 kilómetro. La red hidráulica se diseñará para ser resistente y minimizar el mantenimiento.

La instalación solar contará con un inversor y placas solares situadas en estructuras flotantes en el depósito con el fin de evitar la evaporación del agua y reducir el impacto medioambiental de la zona.



Figura 1. Mapa ubicación del sistema

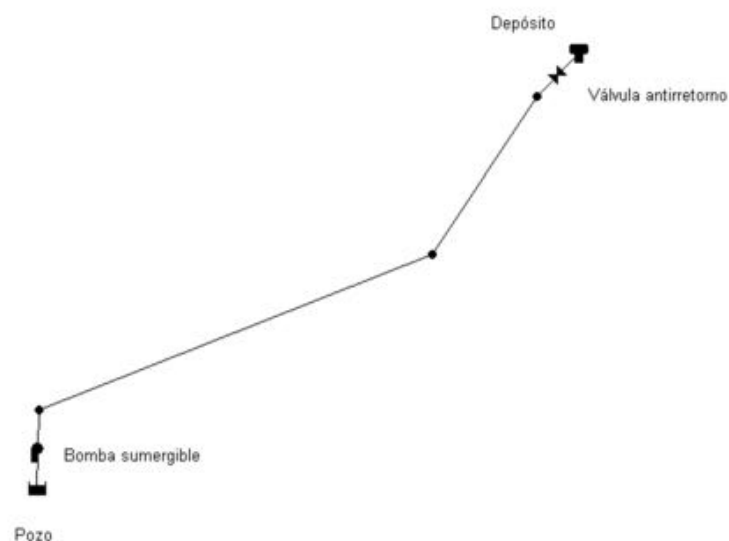


Figura 2. Red hidráulica. Fuente: EPANET

#### **4. Resultados**

El sistema se ha diseñado para operar con una demanda horaria de 18.17 m<sup>3</sup>/h, considerando que las horas de bombeo coinciden con las horas pico de sol. La ubicación del aljibe se ha escogido a una altitud de 3,356 metros para aprovechar la distribución por gravedad y minimizar las pérdidas de carga. La distancia entre el pozo y el aljibe es de 1,041.83 metros, lo cual permite un diseño eficiente de la red hidráulica usando tuberías de polipropileno de 50 mm, que garantizan una velocidad de flujo adecuada y minimizan las pérdidas por fricción y componentes del sistema.

Para garantizar el suministro constante de agua, se ha previsto un depósito con una capacidad de 153 m<sup>3</sup>, que ofrece un margen de seguridad adicional y la posibilidad de almacenar el agua de la lluvia. La selección de la bomba se ha realizado utilizando el software ABSEL de SULZER, recomendando la bomba VMS 15 con una potencia de 7.5 kW. El sistema de bombeo también incluye un sensor de nivel para proteger la bomba contra la falta de agua y una válvula antirretorno para evitar el flujo inverso y mantener la eficiencia del sistema. La energía para el sistema se suministrará mediante paneles solares, con una potencia necesaria de 7.27 kW. Se han seleccionado paneles solares monocristalinos de 550W con una alta eficiencia del 21.3%, sumando un total de 14 paneles para alcanzar la potencia requerida. Las estructuras flotantes se utilizarán para montar los paneles solares en la ladera de la montaña, optimizando así la captación solar. En cada estructura flotante caben 8 paneles por lo que solo harán falta dos estructuras flotantes.

Finalmente se analizó el coste del ciclo de vida (LCC) de cada componente del sistema, incluyendo costes iniciales, instalación, operación, mantenimiento y retirada. Los costes totales fueron con una proyección de 15 años fueron: 12.340€ para la bomba, 8.800€ para la red hidráulica, 15.000€ para el depósito y 19.237,14€ para la instalación solar. Comparado con el coste de 49.899,15€ de la energía eléctrica de la red en 15 años, la opción solar resulta más económica.

#### **5. Conclusiones**

El proyecto cumple con los objetivos establecidos, ya que el diseño realizado satisface las necesidades hídricas de la comunidad y lo hace de manera limpia y sostenible al utilizar la radiación solar. Además, mejora la calidad de vida al ofrecer acceso regular a agua segura y facilita las actividades diarias. Finalmente, el proyecto es viable económicamente.



# **DESIGN OF A SOLAR PUMPING SYSTEM FOR WATER SUPPLY IN ANDAHUAYLILLAS, PERU**

**Author: Martínez Fernández-Valdés, Gabriela.**

Supervisor: Sanz, Iñigo.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

## **ABSTRACT**

The proposed project involves a solar pumping system aimed at ensuring a sustainable and continuous water supply for the Andahuaylillas community in Peru. The Jesuit community of Andahuaylillas communicated the issues they were facing with water access, and several key steps were followed: first, a detailed analysis of the water situation and solar availability in the region was conducted; then, a solar-powered pumping system was designed, carefully selecting the most suitable components for the local conditions; and finally, an economic analysis of the project was performed.

**Keywords:** Water resource, water, well, pump, solar panel, solar radiation

## **1. Introduction**

Access to potable water is a challenge in nearly every country in the world, both developed and developing. This is true in many regions of Peru, particularly in rural and remote areas situated in the Amazon or Andean zones, such as the Andahuaylillas community. Andahuaylillas is in the Andes, specifically in the Quispicanchi province of the Cusco department, Peru, at an altitude of 3,121 meters above sea level.

This community faces adverse climatic conditions that exacerbate the situation, with long periods of drought and insufficient infrastructure to ensure a constant water supply. Water scarcity not only affects the quality of life for residents but also limits their ability to engage in agricultural activities and other essential tasks for their livelihood.

## **2. Project definition**

The project involves designing a solar pumping system. To start the project, an analysis of the water needs in the Andahuaylillas community was conducted. The community has a total population of 5,299 inhabitants, of which approximately 20%, or about 1,060 people, are affected by water scarcity. To ensure that the proposed system can meet both current and future demand, an annual population growth rate of 2.5% was projected, allowing for water needs to be forecasted until 2035, when daily demand is estimated to be 109 m<sup>3</sup>/day.

The pump will extract water from a well located 1 kilometer from the installation site, with a depth of 64 meters. The design has been carried out to optimize long-term viability, considering local conditions and ease of system maintenance.

## **3. Descripción del modelo/sistema/herramienta**

The system consists of two main parts: the hydraulic installation and the solar installation. The hydraulic installation will feature a pump located at the well's depth, responsible for pumping water to a reservoir situated approximately 1 kilometer away.

The hydraulic network will be designed to be durable and minimize maintenance. The solar installation will include an inverter and solar panels mounted on floating structures in the reservoir to prevent water evaporation and reduce the environmental impact of the area.



Figura 3. Location of the installation

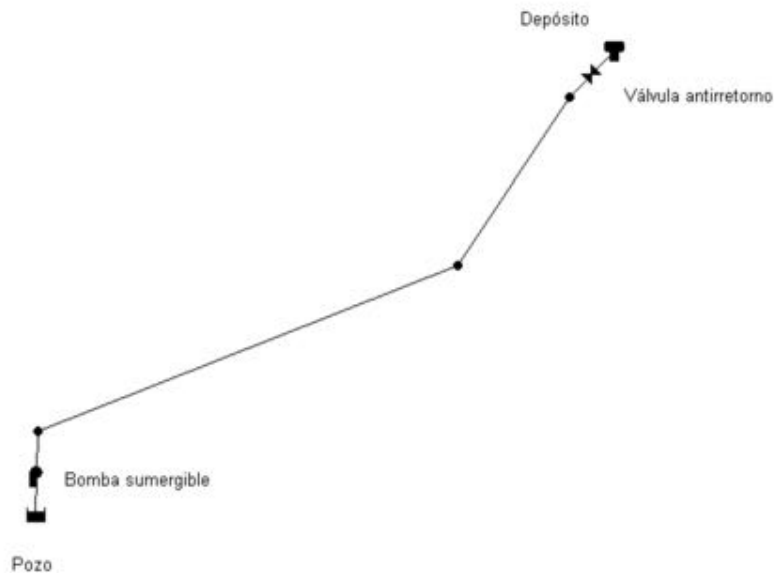


Figura 4. Water System. Source: EPANET

#### **4. Results**

The system has been designed to operate with an hourly demand of 18.17 m<sup>3</sup>/h, considering that pumping hours coincide with peak sunlight hours. The reservoir location has been chosen at an altitude of 3,356 meters to take advantage of gravity distribution and minimize head loss. The distance between the well and the reservoir is 1,041.83 meters, allowing for an efficient hydraulic network design using 50 mm polypropylene pipes, ensuring adequate flow velocity and minimizing friction losses and system components.

To ensure a constant water supply, a reservoir with a capacity of 153 m<sup>3</sup> has been planned, providing an additional safety margin. The pump selection was made using SULZER's ABSEL software, recommending the VMS 15 pump with a power of 7.5 kW. The pumping system also includes a level sensor to protect the pump against dry running and a check valve to prevent backflow and maintain system efficiency. Energy for the system will be supplied by solar panels, requiring a total power of 7.27 kW. Monocrystalline solar panels of 550W with an efficiency of 21.3% have been selected, totaling 14 panels to meet the required power. Floating structures will be used to mount the solar panels on the mountainside, optimizing solar capture. Each floating structure accommodates 8 panels, so only two floating structures will be needed.

Finally, the life cycle cost (LCC) of each system component was analyzed, including initial costs, installation, operation, maintenance, and decommissioning. The total costs projected over 15 years are: €12,340 for the pump, €8,800 for the hydraulic network, €15,000 for the reservoir, and €19,237.14 for the solar installation. Compared to the cost of €49,899.15 for grid electricity over 15 years, the solar option proves to be more economical.

#### **5. Conclusions**

The project meets the established objectives, as the design satisfies the water needs of the community in a clean and sustainable manner using solar radiation. Additionally, it improves the quality of life by providing regular access to safe water and facilitates daily activities. Ultimately, the project is economically viable.



## *Índice de la memoria*

<b>1. Motivación del proyecto.....</b>	<b>8</b>
1.1 Motivación.....	8
1.2 Objetivos .....	9
1.3 Metodología.....	10
<b>2. El derecho al agua.....</b>	<b>12</b>
2.1 Derecho al acceso a agua limpia y segura .....	12
2.2 actualidad del acceso al agua en el mundo.....	13
2.3 Perú.....	15
2.3.1 Situación geográfica.....	15
2.3.2 Demografía.....	16
2.3.3 Clima .....	18
2.3.4 Acceso al agua en Perú .....	19
2.4 Comunidad de Andahuaylillas .....	21
<b>3. Situación energética en Perú .....</b>	<b>23</b>
3.1 Fuentes de Energía en Perú .....	24
3.2 Fuentes de energía renovable en Perú .....	26
<b>4. Sistema de bombeo solar .....</b>	<b>28</b>
4.1 Sistema de Bombeo .....	28
4.2 Componentes del Sistemas de Bombeo Solar .....	30
4.2.1 Paneles Solares .....	31
4.2.2 Soporte de los paneles solares .....	32
4.2.3 Cuadro de Protección.....	34
4.2.4 Controlador de bomba o inversor de bombeo solar .....	34
4.2.5 Pica de puesta a tierra .....	35
4.2.6 Sensor de agua de bajo nivel.....	36
4.2.7 Bomba sumergible.....	36
4.2.8 Aljibe.....	38
4.3 Funcionamiento del Sistema .....	38
<b>5. Diseño del Sistema de Bombeo .....</b>	<b>40</b>

5.1	Datos de partida.....	40
5.1.1	<i>Necesidad diaria de agua.....</i>	40
5.1.2	<i>Horas pico de sol en Andahuaylillas.....</i>	41
5.1.3	<i>Dimensiones del pozo.....</i>	42
5.1.4	<i>Rendimiento seguro del pozo.....</i>	43
5.1.5	<i>Ubicación del aljibe.....</i>	44
5.2	Consideraciones y conceptos de diseño.....	46
5.3	Capacidad del aljibe.....	47
5.4	Diseño sistema bombeo.....	47
5.4.1	<i>Caudal.....</i>	47
5.4.2	<i>Red Hidráulica.....</i>	48
5.4.3	<i>Selección de la Bomba.....</i>	54
5.5	Almacenaje.....	56
5.6	Sensor agua bajo nivel en el pozo.....	58
5.7	Potabilizador móvil.....	60
5.8	Diseño instalación solar.....	61
5.8.1	<i>Selección placas solares.....</i>	62
5.8.2	<i>Selección estructuras flotantes.....</i>	66
5.9	Inversor.....	67
<b>6.</b>	<b><i>Mantenimiento.....</i></b>	<b>70</b>
6.1	Mantenimiento preventivo.....	70
6.2	Mantenimiento correctivo.....	70
<b>7.</b>	<b><i>Análisis económico.....</i></b>	<b>71</b>
7.1	Instalación hidráulica.....	72
7.1.1	<i>Bomba.....</i>	72
7.1.2	<i>Red Hidráulica.....</i>	74
7.1.3	<i>Depósito.....</i>	75
7.2	Instalación solar.....	76
7.3	Costes de diseño.....	77
7.4	Coste total.....	78
<b>8.</b>	<b><i>Análisis de resultados.....</i></b>	<b>80</b>

---

<b>9. Conclusiones y trabajos futuros.....</b>	<b>82</b>
<b>10. Objetivos de Desarrollo Sostenible.....</b>	<b>84</b>
10.1 Agenda 2023.....	84
10.2 Alineación del Proyecto con los ODS.....	85
<b>11. Bibliografía.....</b>	<b>87</b>
<b>12. ANEXO 90</b>	
12.1 Ficha Técnica Tubería PPR (Repolen).....	91
12.2 Ficha Técnica Bomba VMS SULZER .....	93
12.3 Grifo .....	95
12.4 Ficha técnica válvula antirretorno .....	96
12.5 Ficha Técnica Placa 550W Monocristalino (Tensite) .....	97
12.6 Ficha Técnica Placa Inversor Grundfos .....	99

## *Índice de figuras*

Figura 1. Mapa ubicación del sistema .....	7
Figura 2. Red hidráulica. Fuente: EPANET .....	7
Figura 3. Location of the installation.....	10
Figura 4. Water System. Source: EPANET.....	10
Figura 5. Personas sin acceso a agua limpia y segura [4].....	14
Figura 6. Mapa ubicación Perú en el mapa mundial [6].....	15
Figura 7. Mapa regiones de Perú [8] .....	16
Figura 8. Pirámide población de Perú 2020 [9].....	17
Figura 9. Pirámide población de Perú 2020 [9].....	17
Figura 10. Mapa con los distintos tipos de clima. Fuente: ResearchGate .....	18
Figura 11. Porcentaje población que utiliza agua limpia y segura [11] .....	20
Figura 12. Ubicación provincia Quispicanchi. Fuente: Wikipedia .....	21
Figura 13. Consumo de energía mundial por fuente [13].....	23
Figura 14. Mix energético en Perú [15].....	24
Figura 15. Proporción del consumo de energía por fuente. Fuente: WorldInData.....	25
Figura 16. Evolución de la producción de electricidad según tipo de fuente .....	25
Figura 17. Producción de energía eléctrica nacional - febrero 2023 .....	26
Figura 18. Sistema de bombeo solar. Fuente: Suministros del Sol .....	28
Figura 19. Esquema sistema de bombeo. Fuente: IOP Conference of Series .....	30
Figura 20. Esquema bomba sumergible. Fuente: Blog Evans. ....	37
Figura 21. Mapa insolación anual en Perú. Fuente: World Bank.....	42
Figura 22. Altitud ubicación del pozo [25].....	44
Figura 23. Altitud ubicación aljibe [25] .....	45
Figura 24. Distancia Pozo-Aljibe. Fuente: Google Earth.....	46
Figura 25. Mapa con cotas y distancias. Fuente: Google Earth .....	48
Figura 26. Polipropileno PP Duraflon Corporación emacin.....	49
Figura 27. Representación Red. Fuente propia.....	51
Figura 28. Bomba VMS 15. Fuente: SULZER .....	55



---

Figura 29. Flotador clásico con varilla plana .....	57
Figura 30. Válvula antirretorno Leroy Merlin.....	58
Figura 31. Bomba y sonda Grundfos.....	59
Figura 32. Sensor nivel pozo DARRERA .....	59
Figura 33. Ptabilizador Móvil SETA PHT .....	61
Figura 34. Panel solar monocristalino AutoSolar.es .....	63
Figura 35. Placa policristalina Autosolar.es .....	63
Figura 36. Panel Solar 550W Monocristalino PERC Tensite .....	65
Figura 37. Estructura Isifloating.....	67
Figura 38. Inversor Grundfos .....	68
Figura 39. Esquema inversor .....	68
Figura 40. Tabla resumen costes del depósito.....	75
Figura 41. Diagrama de sectores de los costes .....	79
Figura 42. Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	84

## *Índice de tablas*

Tabla 1. Características acuífero [23].....	43
Tabla 2. Tabla propiedades agua saturada.....	52
Tabla 3. Tabla resumen costes de la bomba.....	73
Tabla 4. Tabla resumen costes de la red hidráulica.....	75
Tabla 5. Tabla resumen coste inicial instalación solar.....	76
Tabla 6. Tabla resumen costes de la instalación solar.....	77
Tabla 7. Resumen total de costes.....	78

## *Índice de ecuaciones*

Ecuación 1. Población afectada .....	40
Ecuación 2. Número de habitantes .....	40
Ecuación 3. Demanda de agua diaria.....	41
Ecuación 4. Rendimiento de diseño .....	44
Ecuación 5. Caudal .....	47
Ecuación 6. Longitud del circuito.....	50
Ecuación 7. Área de la tubería.....	50
Ecuación 8. Velocidad del flujo .....	51
Ecuación 9. Ecuación de Bernuilli .....	51
Ecuación 10. Ecuación pérdidas primarias.....	53
Ecuación 1. Ecuación de Colebrook.....	53
Ecuación 12. Ecuación pérdidas secundarias .....	54
Ecuación 13. Potencia del inversor.....	67
Ecuación 14. Ecuación coste del ciclo de vida.....	71

# 1. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

En este capítulo, se va a explicar la motivación y el porqué de llevar a cabo este proyecto. Además, se detallarán los objetivos que se pretenden alcanzar y la metodología que se ha seguido.

## *1.1 MOTIVACIÓN*

La ingeniería desde mi percepción tiene como objetivo primordial mejorar la sociedad y resolver los problemas existentes en ella, atendiendo sus necesidades. Por ello, hace seis años decidí estudiar ingeniería Industrial y más tarde el máster de ingeniería industrial, y convertirme en ingeniera con la firme intención de contribuir de manera significativa en el bienestar social. A pesar de las grandes responsabilidades que tiene un ingeniero, el hecho de poder aportar algo significativo en la sociedad y tener un impacto, aunque sea pequeño, siempre ha sido mi mayor motivación.

En el mes de octubre, un compañero de la universidad, quien ya había colaborado durante su trabajo de fin de grado en un proyecto social me propuso realizar el trabajo de fin de máster con el objetivo de ayudar a la comunidad de Andahuaylillas en Perú. No lo dude ni un segundo. La oportunidad de poder aplicar los conocimientos adquiridos durante los seis años de mis estudios para ayudar a esta comunidad fue una motivación adicional.

Rápidamente nos pusimos en contacto, con la ayuda de Susana Ortiz, con la comunidad jesuita de Andahuaylillas. Tras una hora de llamada hablando con ellos, nos detallaron las necesidades que sufría la comunidad. Tras ello, salí con una propuesta. Durante la llamada manifestaron la escasez de agua que estaba sufriendo debido a la falta de recurso para recogerla y captarla. Por ello, propuse elaborar un proyecto de diseño de un sistema de bombeo mediante energía solar.

Además de contribuir a solucionar el problema del acceso de agua en Andahuaylillas, este proyecto tiene el potencial también de ayudar a reducir la pobreza de la comunidad y del país. El acceso constante y confiable del agua, ayuda significativamente a numerosos aspectos de la comunidad como la salud pública, aumentar la productividad económica, etc. Contribuir a las personas necesitadas, en este caso a las personas de Andahuaylillas, en la búsqueda de un desarrollo sostenible y un bienestar esencial es una motivación personal enorme.

## ***1.2 OBJETIVOS***

El principal objetivo del proyecto es el diseño de un sistema de bombeo de agua mediante energía solar que garantice un suministro de agua suficiente para cubrir las necesidades de la población, y sostenible para la comunidad andina de Andahuaylillas.

**1. Proporcionar acceso al agua:** Dimensionar un sistema de bombeo mediante energía solar eficiente que garantice un suministro continuo de agua tanto para uso doméstico como agrícola en la comunidad andina de Andahuaylillas.

**2. Mejorar la calidad de vida de la comunidad:** Contribuir a la mejora de la calidad de vida de la sociedad de Andahuaylillas al proporcionar un acceso seguro y regular a agua, facilitando las actividades diarias.

**3. Fomentar la seguridad alimenticia:** Contribuir en la seguridad alimenticia de la comunidad al proponer un sistema de regadío regular y seguro, aumentando la producción local y su calidad.

**4. Promover un desarrollo sostenible:** Al implementar un sistema de bombeo y suministro mediante energía limpia, se fomenta el desarrollo sostenible de la comunidad, reduciendo la dependencia de fuentes de energía no renovables y minimizando el impacto ambiental negativo.

**5. Garantizar la durabilidad de la instalación:** Diseñar un sistema de bombeo solar que sea altamente resistente a las condiciones climáticas de la zona y que sea duradero al desgaste natural. Además, diseñarlo de tal manera que el mantenimiento rutinario sea lo más sencillo posible, para que pueda ser llevado a cabo por los habitantes de la comunidad.

### **1.3 METODOLOGÍA**

Para alcanzar con los objetivos propuesto en este proyecto de fin de grado, se seguirá una detallada metodología y estructura. La estructura contara con diversas secciones, desde la evaluación inicial de las necesidades hídricas de la comunidad y la recopilación de los datos técnicos necesarios, hasta el diseño detallado de la instalación de bombeo y la instalación de placas solares y su debido mantenimiento. A continuación, se detalla la metodología que se va a seguir a lo largo del proyecto:

En primer lugar, se llevará a cabo una investigación contextual para conocer el estado del acceso al agua tanto en Perú como en el resto del mundo. Esta fase inicial incluye un análisis exhaustivo de la situación geográfica, demográfica y climática de Perú, con el fin de conocer y tener un a comprensión completa del entorno donde se va a llevar a cabo el proyecto. Además, se analizará en concreto el entorno de Andahuaylillas, lugar exacto donde se diseñará el sistema de bombeo.

A continuación, se procederá con un análisis de la situación energética de Perú. Este análisis identificara las fuentes de energía predominantes en el mundo y en el país, y evaluara su disponibilidad y accesibilidad en la región de Andahuaylillas.

El siguiente paso será un estudio teórico del sistema de bombeo mediante energía solar. A través de este estudio se detallarán los componentes esenciales del sistema y su funcionalidad, con el fin de proporcionar una base teórica para llevar a cabo el diseño. Debido a la falta de comunicación directa con la comunidad de Andahuaylillas, no se han podido recopilar los datos realistas de las necesidades de la comunidad. No obstante, después de una labor extensa de investigación, se han utilizado datos obtenidos de proyectos similares, como el sistema de bombeo situado en las orillas del río Vilcanota.

Con los datos recopilados y desarrollados los cálculos necesarios, se utilizará el software ABSEL para seleccionar la bomba adecuada. Este software permite una selección precisa y eficiente de la bomba, asegurando que el sistema sea capaz de manejar las demandas de agua de la comunidad. Para el diseño y selección de las placas solares, se empleará el software PVGIS.

Finalmente, se realizará un análisis económico del proyecto. Este análisis evaluará la viabilidad financiera y la sostenibilidad del proyecto, asegurando que la solución propuesta no solo sea técnicamente viable, sino también económicamente accesible para la comunidad.



## 2. EL DERECHO AL AGUA

El acceso a agua potable es un derecho humano fundamental. En este capítulo, se va a discutir los principios y marcos legales que garantizan este derecho, así como las implicaciones sociales, económicas y ambientales que suponen su implicación. Además, se analizará el impacto que tiene la falta al acceso al agua en el bienestar y salud de las comunidades, destacando lo vital que es garantizar este derecho para el desarrollo sostenible de la sociedad. Por último, se examina la situación de Perú, lugar donde se va a llevar a cabo el proyecto.

### **2.1 DERECHO AL ACCESO A AGUA LIMPIA Y SEGURA**

El acceso al agua potable, el saneamiento y la higiene son derechos humanos reconocidos internacionalmente. El 28 de julio del 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció el derecho al agua potable y al saneamiento como un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los derechos humanos. Unos años más tarde, en 2015, se reconocieron tanto el derecho al agua potable como el derecho al saneamiento como derechos humanos estrechamente relacionados pero distintos. [1]

El acceso a agua es fundamental, no solo para la salud, sino también para la agricultura, la industria y el desarrollo económicos de los países. Únicamente el 3% del agua disponible en la tierra se trata de agua dulce, y de ese 3%, el 70% se utiliza para la agricultura. Esta cifra subraya la importancia crítica del acceso al agua potable no solo para el consumo humano, sino también para garantizar la seguridad alimentaria y el sustento de las comunidades en todo el mundo. Además, el agua es un recurso indispensable para la industria y el desarrollo económico, ya que se utiliza en una amplia gama de actividades industriales, desde la producción de alimentos hasta la fabricación de productos electrónicos.

El consumo de agua aumenta cada año, pero el recurso disponible sigue siendo el mismo o incluso menor. Según las estimaciones de la ONU, por cada incremento de 1°C en la



temperatura global, los recursos hídricos experimentan una reducción del 20%. Paralelamente, el consumo de agua continúa aumentando, aumentando aproximadamente un 1% anual a nivel mundial en las últimas cuatro décadas. Se proyecta que este crecimiento se mantendrá constante hasta el año 2050. Si este ritmo persiste, se prevé que la demanda de agua dulce supere la disponibilidad en un alarmante 40% para el año 2030. [2]

El derecho al acceso al agua limpia y potable es crucial para prevenir enfermedades transmitidas por el agua, como la diarrea, el cólera y la fiebre tifoidea, que representan una carga significativa para la salud, especialmente en comunidades vulnerables y en desarrollo. Según la OMS, la falta de agua potable e higiene causa la muerte de unos 1,4 millones de personas.

## ***2.2 ACTUALIDAD DEL ACCESO AL AGUA EN EL MUNDO***

Aproximadamente 2000 millones de personas en todo el mundo enfrentan la dura realidad de no disponer de servicios de agua potable seguros, 3600 millones carecen de sistemas de saneamiento adecuados, y unos 2300 millones de personas no tienen acceso a instalaciones básicas para lavarse las manos. [3] Los principales factores que hacen que el acceso agua suponga un riesgo para el progreso económico, el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza son, entre otros, el uso intensivo y sin control del agua, el crecimiento demográfico, la mayor variabilidad de las precipitaciones y la contaminación.

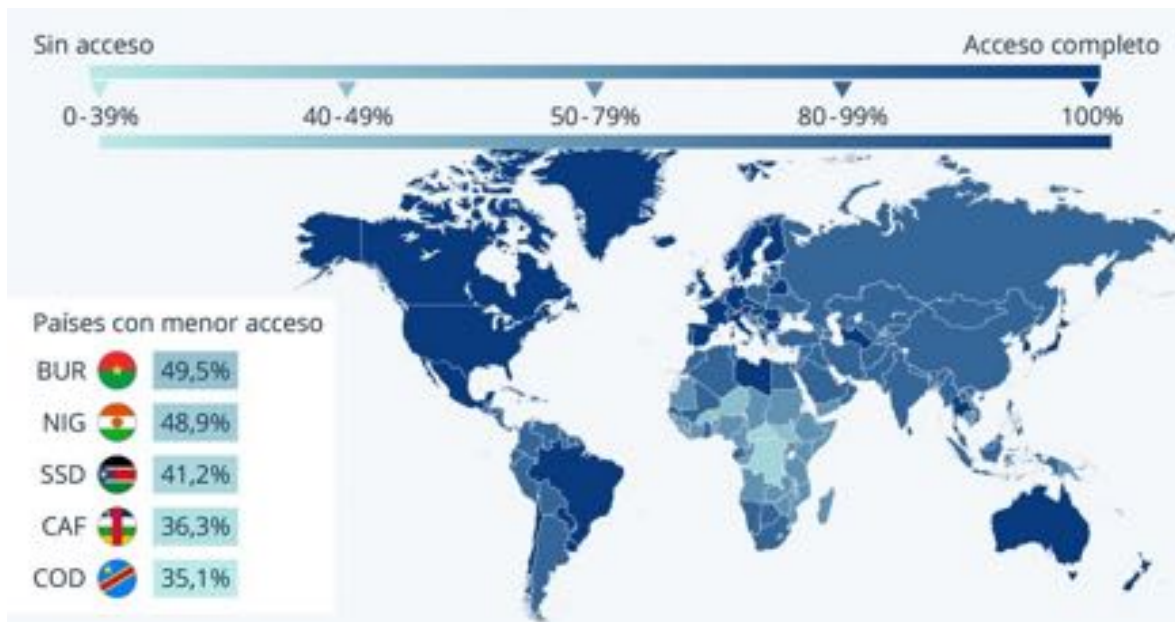


Figura 5. Personas sin acceso a agua limpia y segura [4]

En la imagen anterior, se puede observar como el acceso al agua no es igual en todos los países. En 2022, África Subsahariana fue la región con el peor porcentaje de acceso al agua potable entre su población, con apenas dos tercios de ella que disfrutaron de acceso básico de agua. Se entiende como acceso básico a que las personas tengan una fuente de agua para consumo en su vivienda o por lo menos cerca de ella con un tiempo máximo de recogida de 30 minutos.

Cabe destacar que, aunque muchos países superan el 90% de acceso básico al agua potable, la mayoría de ellos enfrentan desafíos constantes para abastecer a sus poblaciones con recursos hídricos renovables limitados. Esta situación hace evidente la necesidad urgente de abordar la gestión sostenible de agua y desarrollar soluciones innovadoras para garantizar un suministro adecuado y seguro para todos.

## 2.3 PERÚ

Perú, oficialmente República de Perú, es un país situado en la parte occidental e intertropical de América Latina. Limita al norte con Ecuador y Colombia, al sur con Chile y al oeste con el océano Pacífico. [5]



*Figura 6. Mapa ubicación Perú en el mapa mundial [6]*

Con una superficie de 1.285.215 kilómetros cuadrados, Perú se ubica como el tercer país más extenso de América del Sur, después de Brasil y Argentina. Esta posición lo coloca entre los 20 países más grandes del mundo en términos de extensión territorial.

### 2.3.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA

Perú se encuentra situada entre la línea ecuatorial y el trópico de Capricornio, en la zona tropical. A pesar de ello, no posee las características de sus países vecinos debido a la cordillera de los Andes y la fría corriente marina.

La extensión de Perú se distribuye entre diferentes regiones: la región costera ocupa 136.232,85 kilómetros cuadrados (10,6%), la región andina abarca 404.842,91 kilómetros cuadrados (28,4%) y la región amazónica representa el 62% restante, con 782.880,55 kilómetros cuadrados. [7]



gran medida a las acciones dirigidas a combatir enfermedades que demandan atención primaria.[9]

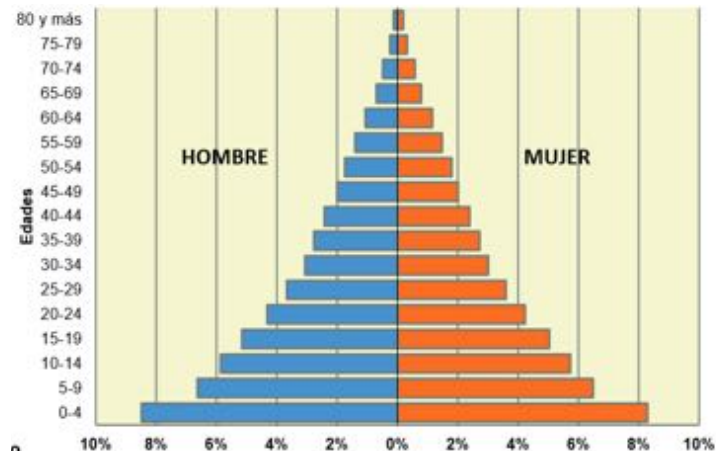


Figura 8. Pirámide población de Perú 2020 [9]

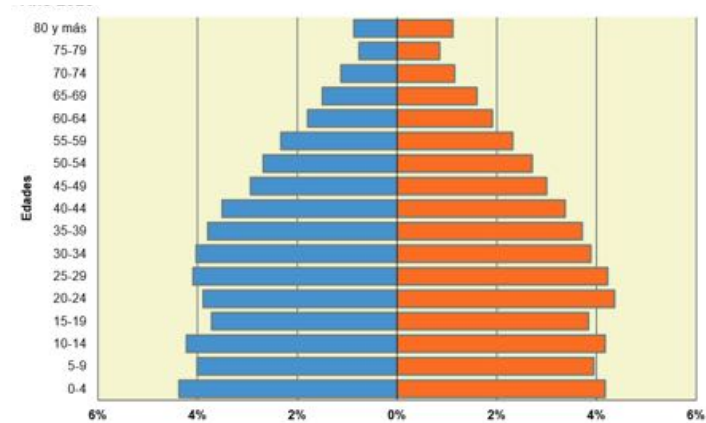


Figura 9. Pirámide población de Perú 2020 [9]

En las pirámides de población anteriores, podemos observar cómo ha ido transformándose la estructura demográfica tanto en términos de edad como de género. Estos cambios presentan importantes desafíos en el ámbito social y económico del país.

### 2.3.3 CLIMA

Según la clasificación del Método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite, Perú cuenta con una diversidad de 38 tipos de climas. Esto se debe a la interacción de diversos factores climáticos y a su posición geográfica. Entre la variedad de climas que presenta Perú, entre los más predominantes se encuentra el árido y templado en la zona de la costa, el lluvioso y frío en la sierra andina, y el muy lluviosos y cálido en la selva amazónica.



*Figura 10. Mapa con los distintos tipos de clima. Fuente: ResearchGate*

En la región costera, nos encontramos con climas semicálidos muy secos, caracterizados por temperaturas de 19°C de media, y una ausencia de lluvias durante todo el año debido a la influencia de la corriente peruana de aguas frías. Al norte de la zona costera, se presenta un clima más cálido y seco con fuertes lluvias estacionales.

En la zona de la sierra andina, predominan climas templados subhúmedos en los valles, con lluvias estacionales y temperaturas promedio de 20°C. A mayores altitudes, se encuentran climas fríos- con veranos lluviosos e inviernos secos y helados, así como climas de nieve con temperaturas medias bajo cero.

Por último, en la selva alta amazónica, se presenta un clima semicálido muy húmedo con precipitaciones permanentes durante todo el año y temperaturas medias de 22°C. En la parte baja de la selva, el clima es cálido y húmedo, con temperaturas promedio de 25°C y lluvias torrenciales, principalmente en los meses de verano. [10]

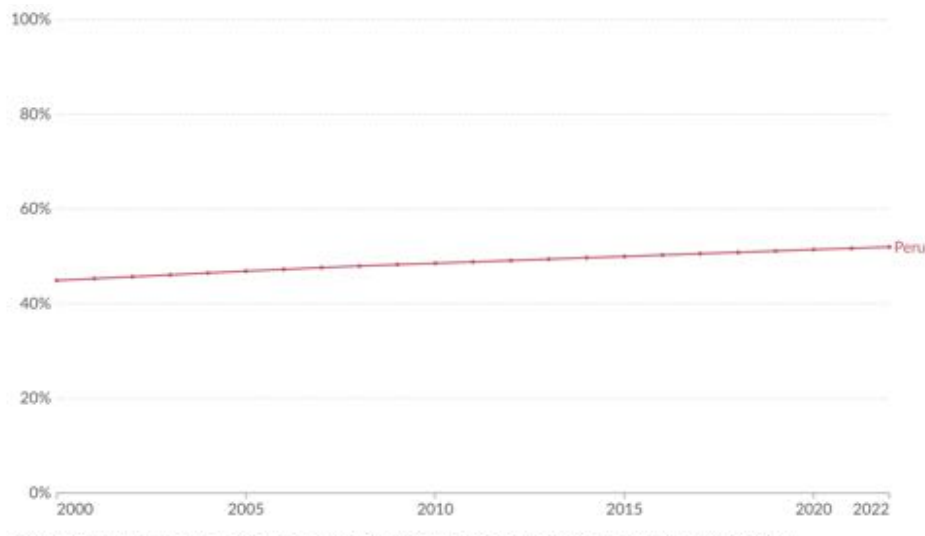
#### **2.3.4 ACCESO AL AGUA EN PERÚ**

Perú está entre 20 países más ricos en agua del mundo, aunque la distribución de este recurso es heterogénea y no siempre se encuentra donde se necesita. La costa peruana, que alberga más del 70% de la población, solo cuenta con el 1,8% del total del agua disponible en el país.

En Perú, entre 7 y 8 millones de personas carecen de aun de agua potable, siendo Lima la ciudad más vulnerable, situada en un desierto donde llueve en contadas ocasiones al año. Además, el río Rímac, principal fuente de agua para Lima y Callao, está altamente contaminado. [11] En la ciudad de Lima, alrededor de 1,5 millones de personas no tienen acceso a agua potable ni alcantarillado, afectando sobre todo a los asentamientos periurbanos de la ciudad. Los habitantes de estos asentamientos dependen de camiones cisterna con un coste muy elevado, pagando incluso el doble de lo que pagan las personas con distribución de agua a sus casas.

Perú es un país en el que una de cada cuatro personas vive de la agricultura, y depende de la lluvia y el riego para subsistir y generar ingresos. En cuanto al acceso al agua y saneamiento existe una gran brecha entre el sector urbano y el sector rural. Aunque se han implementado planes y programas de saneamiento rural a diferentes niveles, el 25.3% de la población rural aun no tienen acceso a las redes públicas de suministro de agua.

En cuanto al saneamiento, las diferencias entre el sector urbano y rural son aún más pronunciadas ya que, aunque el 89% de los habitantes de las ciudades viven en hogares conectados a sistemas de alcantarillado público, únicamente el 17% de la población rural dispone de tales conexiones.



*Figura 11. Porcentaje población que utiliza agua limpia y segura [11]*

En la gráfica anterior, podemos observar que la situación de falta de acceso a agua limpia se ha incrementado ligeramente en los últimos años, pero siguen siendo unos valores preocupantes.

Las mujeres y los niños son especialmente perjudicados por la falta de acceso adecuada a agua y saneamiento. En las áreas rurales del país, las mujeres suelen asumir la responsabilidad de recoger, transportar, almacenar y purificar el agua. Esta implica que dedican de media 10 horas más a la semana que los hombres a estas tareas, lo que hace que a menudo las mujeres estén limitadas de tiempo a tener una educación y empleos remunerados. Por otro lado, la educación de los niños también se encuentra gravemente afectada. Únicamente 2 de cada 3 escuelas públicas cuentan con instalaciones sanitarias adecuadas.



## 2.4 COMUNIDAD DE ANDAHUAYLILLAS

Andahuaylillas es una comunidad ubicada en los Andes, específicamente en la provincia de Quispicanchi, en el departamento de Cuzco, Perú. Situada a una altitud de 3.121 metros sobre el nivel del mar, esta ciudad se encuentra en un entorno montañoso impresionante. Está atravesada por el río Vilcanota, que proporciona recursos hídricos vitales para la vida y la agricultura en la región. Con una población de alrededor de 5.000 habitantes, Andahuaylillas es conocida por su rica historia, su arquitectura colonial bien conservada y su importante patrimonio cultural.



*Figura 12. Ubicación provincia Quispicanchi. Fuente: Wikipedia*

La zona de Andahuaylillas presenta un clima de tundra, lo que significa que las temperaturas permanecen notablemente bajas, incluso durante los meses de verano. Los registros estadísticos indican que la temperatura media en Andahuaylillas es de aproximadamente 7,3°C. Noviembre es el mes más cálido, con una media de 8,6 °C, mientras que julio es el más frío, con temperaturas promedio de 5,7 °C. En cuanto a las precipitaciones, se registra un promedio anual de 1.212 mm siendo junio el mes con menor precipitaciones (27mm) y enero con la mayor cantidad de lluvia (216mm). [12]

Andahuaylillas enfrenta desafíos significativos en términos de acceso al agua. Aunque cuenta con abundantes fuentes naturales de agua, la distribución y calidad del suministro son

inconsistentes. Muchas familias aun dependen de pozos y manantiales locales, lo que supone un riesgo para la salud y el bienestar de la población.

### 3. SITUACIÓN ENERGÉTICA EN PERÚ

Uno de los principales desafíos del siglo XXI radica en asegurar un uso sostenible de la energía. En todas las sociedades contemporáneas, la economía se fundamenta en la energía. La solidez de la estructura energética de un país está estrechamente ligada a su crecimiento económico. La actividad económica resulta inviable sin políticas eficaces para el suministro y la distribución de energía en sus múltiples formas. Un estudio realizado por el Banco Mundial en julio de 2020, titulado "Energía", resalta esta íntima conexión y cómo el desarrollo de ambos aspectos está interrelacionado.

Es relevante destacar que los Objetivos de Desarrollo Sostenible promovidos por la Organización de las Naciones Unidas reconocen la importancia del entorno natural y de sus recursos para el bienestar humano, impulsando así los gobiernos a asegurar un uso responsable de la energía.

Es importante reconocer que, a pesar de los esfuerzos y las leyes promulgadas por los gobiernos, el camino hacia un uso sostenible de la energía sigue siendo arduo y está lejos de completarse. A nivel mundial, el panorama energético sigue dominado por las fuentes de energía no renovable, tal y como se puede observar en la gráfica a continuación.

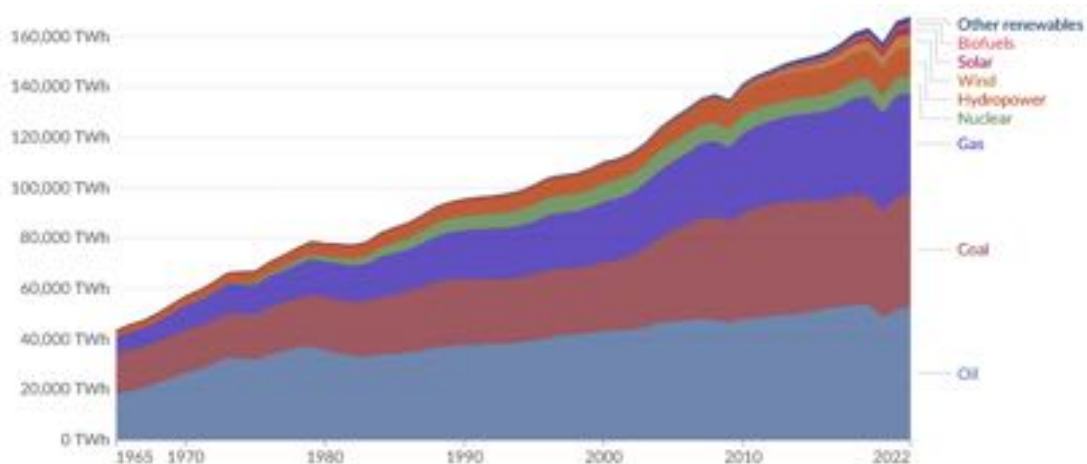


Figura 13. Consumo de energía mundial por fuente [13]

### 3.1 FUENTES DE ENERGÍA EN PERÚ

En Perú, la potencia efectiva de la matriz energética está mayoritariamente conformada por un 52,76% de energía térmica, impulsada principalmente por gas natural y diésel. La generación hidroeléctrica representa un 40,19% de la misma, mientras que la energía solar constituye un 2,19% y la energía eólica un 4,85%. [14]

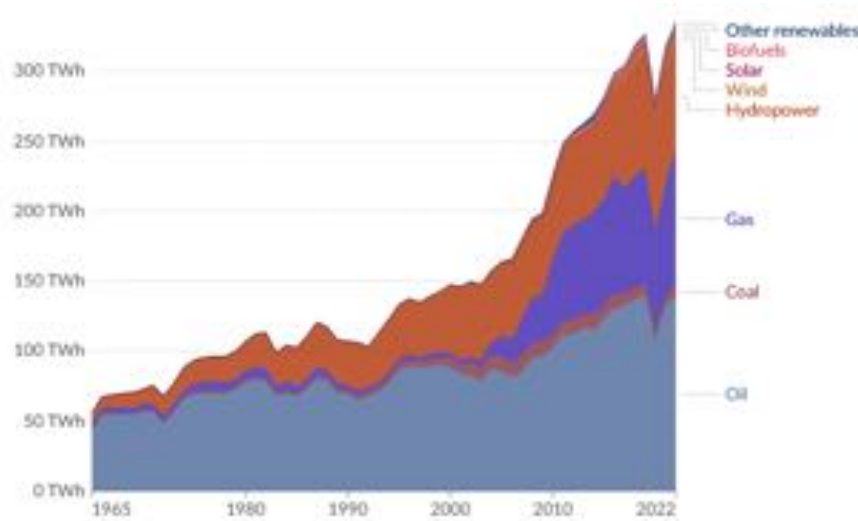


Figura 14. Mix energético en Perú [15]

La mayor parte de las centrales térmicas del país que no están en funcionamiento continuo ni operan constantemente a su capacidad máxima. Por ejemplo, las centrales alimentadas por diésel suelen funcionar de manera intermitente, activándose cuando la generación hidroeléctrica disminuye debido a la escasez de lluvias y es necesario cubrir la demanda energética. Sin embargo, se busca limitar el tiempo de funcionamiento de estas centrales al mínimo necesario, ya que su operación tiende a elevar los precios de la energía a nivel generalizado.

La gráfica inferior muestra la evolución del uso de diversas fuentes de energía disponibles en Perú a lo largo del tiempo. Se destaca en el gráfico que el uso de combustibles está disminuyendo gradualmente con el paso de los años, mientras que el uso de gas está experimentando un crecimiento notable. El gas natural se considera un combustible más

limpio, ya que su combustión genera menos contaminantes atmosféricos convencionales, como dióxido de azufre y material particulado, en comparación con la combustión de carbón o petróleo.

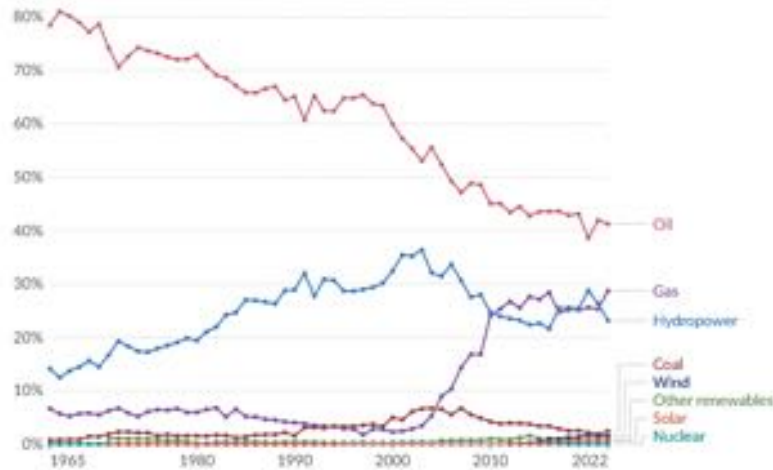


Figura 15. Proporción del consumo de energía por fuente. Fuente: WorldInData

En la figura 13 podemos observar el consumo de energía por fuente en Perú. Es evidente que la mayor proporción se la lleva los combustibles. No obstante, las fuentes usadas para la producción de electricidad en Perú se pueden observar en la siguiente figura.

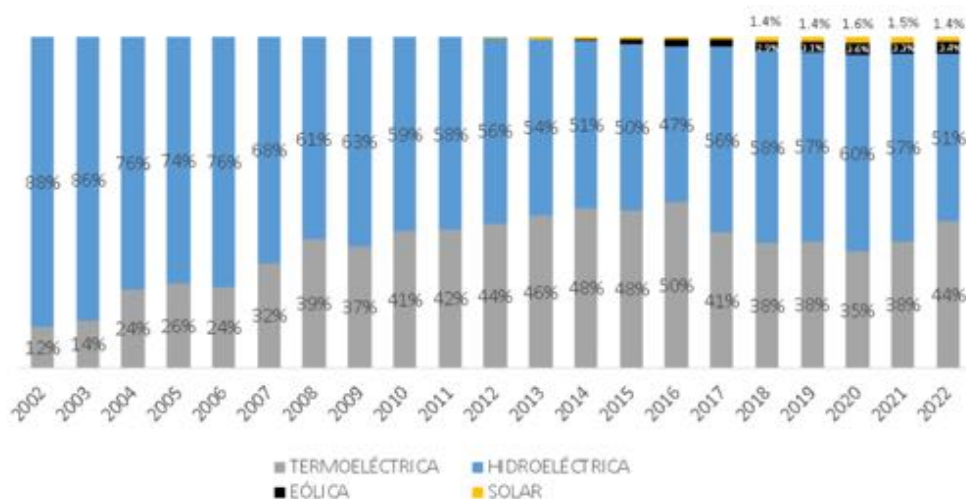


Figura 16. Evolución de la producción de electricidad según tipo de fuente

Cabe destacar que la matriz energética peruana ha experimentado diversos cambios a lo largo de los últimos 20 años. A principio de este periodo, la principal fuente renovable para la generación de electricidad era la hidroeléctrica, generando de media el 70% de la electricidad del mercado. No obstante, esta proporción se ha ido reduciendo hasta representar el 50%.

### 3.2 FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN PERÚ

A pesar del gran potencial que posee Perú para generar energía a partir de fuentes de carácter renovable, la producción vinculada a este tipo de recursos sigue siendo un reto. Según estimaciones del Organismo Supervisor de la Inversión de Energía y Minería (Osinergim), Perú cuenta con un potencial solar de aproximadamente 25,000MW ya que se encuentra en una posición geográfica muy favorable al encontrarse cerca del ecuador. No obstante, hasta la fecha, el país solo utiliza el 1,14% de la capacidad solar disponible.

Mercado Fuente	Mercado Eléctrico	Uso Propio	Total	Part.
Hidráulico	2 984	52	3 037	63%
Térmico	1 522	117	1 639	34%
Eólico	106		106	2%
Solar	54		54	1%
Total Nacional	4 666	169	4 836	
	97%	3%		

Figura 17. Producción de energía eléctrica nacional - febrero 2023

según destino y fuente (GWh) [16]

El gran potencial que tiene Perú en cuanto a los recursos hidráulicos hace que la situación alrededor de las energías renovables sea defendible. Como se puede observar en la tabla anterior, en el mes de febrero, el 63% de la energía eléctrica proviene de esta fuente. No obstante, existe un gran margen de mejora en cuanto al resto de energías renovables como puede ser la solar o eólica. En particular, la energía eólica y la biomasa solo utilizan el 1,83% y el 7,88% de sus capacidades respectivamente.

El posible impulso en el país de una mayor adopción de energías renovables se ve obstaculizado por la falta de una política nacional clara, así como la falta de inversión en proyectos renovables y, por otro lado, la continua inversión en proyectos basados en combustibles fósiles. Aunque si se han promulgado varios decretos legislativos destinados a fomentar la inversión en energías renovables, su impacto ha sido muy limitado. [17]

Por ejemplo, el Decreto Legislativo N.º 1002, promulgado en 2008, tenía como objetivo principal incentivar la inversión en proyectos de energías renovables. Sin embargo, desde su promulgación, las renovables siguen representando una pequeña fracción de la energía producida en el país. Asimismo, el Decreto Legislativo N.º 1221, aprobado en 2015, que propone la generación distribuida de energía, aún espera la aprobación del reglamento que permita su implementación.

Para que Perú avance hacia una mayor adopción de energías renovables, es necesario un compromiso más sólido por parte del gobierno, así como políticas públicas coherentes y consistentes que fomenten la inversión en este sector. Además, se requiere una mayor colaboración entre los diferentes actores del gobierno, la industria y la sociedad civil para superar los obstáculos y aprovechar plenamente el potencial de las energías renovables en el país.

## 4. SISTEMA DE BOMBEO SOLAR

El uso de sistemas de bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica es particularmente relevante en áreas remotas sin acceso a la red eléctrica. A lo largo del tiempo, esta tecnología ha mostrado ser una forma eficaz de proporcionar agua potable tanto a individuos como a comunidades rurales, además de aplicaciones en sectores agrícola para riego y en ganadería para bebederos. En este capítulo se explicará teóricamente en que consiste un sistema de bombeo, los elementos que lo forman, ventajas e inconvenientes.

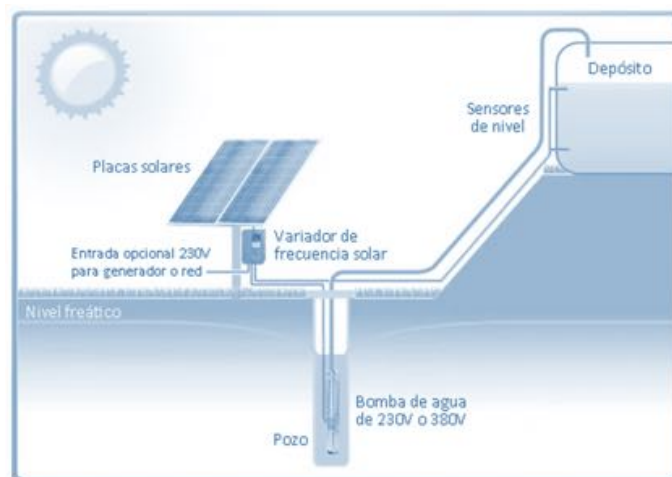


Figura 18. Sistema de bombeo solar. Fuente: Suministros del Sol

### 4.1 SISTEMA DE BOMBEO

Un sistema de bombeo es un conjunto de elementos y equipos diseñados para transportar y distribuir agua de un lugar a otro utilizando diferentes tipos de energía, como puede ser la eléctrica, solar o eólica. Estos tipos de sistemas son fundamentales para numerosas aplicaciones.

En este proyecto, se va a diseñar un sistema de bombeo para la extracción de agua de un pozo para el abastecimiento de agua en la comunidad de Andahuaylillas. En comunidades



rurales y más humildes como Andahuaylillas, donde el acceso al agua está limitado y las fuentes de agua se encuentran a cierta profundidad, los sistemas de bombeo solares son una solución práctica y sostenible.

El bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica ofrece una solución sostenible y eficiente, especialmente en áreas remotas donde el acceso a la red eléctrica es limitado. A continuación, se presentan las principales ventajas e inconvenientes de estos sistemas.

Ventajas:

- Costes operativos reducidos: el sistema de bombeo no requiere de combustible.
- Bajo mantenimiento: Los paneles solares y los inversores no tienen partes móviles, lo que disminuye la necesidad de mantenimiento regular.
- Ausencia de contaminación y ruido: El sistema no produce emisiones ni ruidos.
- Larga vida útil: Los paneles solares de alta calidad suelen tener una garantía de 25 años, mientras que los inversores tienen una vida útil típica de 6 a 8 años.
- Modularidad: La solución es fácilmente expandible mediante la adición de más módulos y otros accesorios.

Inconvenientes:

- Alta inversión inicial: Los costos iniciales suelen ser más altos que los de las soluciones equivalentes a diésel, aunque los precios están disminuyendo.
- Necesidad de mayor capacidad de almacenamiento de agua: La mayoría de las aplicaciones requieren una capacidad de almacenamiento de agua mayor que las soluciones equivalentes a diésel o a la red eléctrica.
- Riesgo de robo de paneles: En algunas localidades, los paneles solares pueden ser vistos como bienes valiosos y ser objeto de robo.
- Dependencia de la radiación solar: El sistema depende de la disponibilidad de radiación solar, lo que puede ser una limitación en ciertas regiones o temporadas.

- Disponibilidad de repuestos y técnicos capacitados: Los repuestos y los técnicos especializados suelen estar disponibles solo en las principales ciudades, lo que puede ser un desafío en áreas rurales.
- Experiencia técnica limitada: La experiencia técnica en sistemas de bombeo solar sigue siendo baja entre muchas organizaciones humanitarias y de desarrollo.

## 4.2 COMPONENTES DEL SISTEMAS DE BOMBEO SOLAR

A continuación, se van a enumerar los componentes que van a formar el sistema de bombeo solar propuesto.

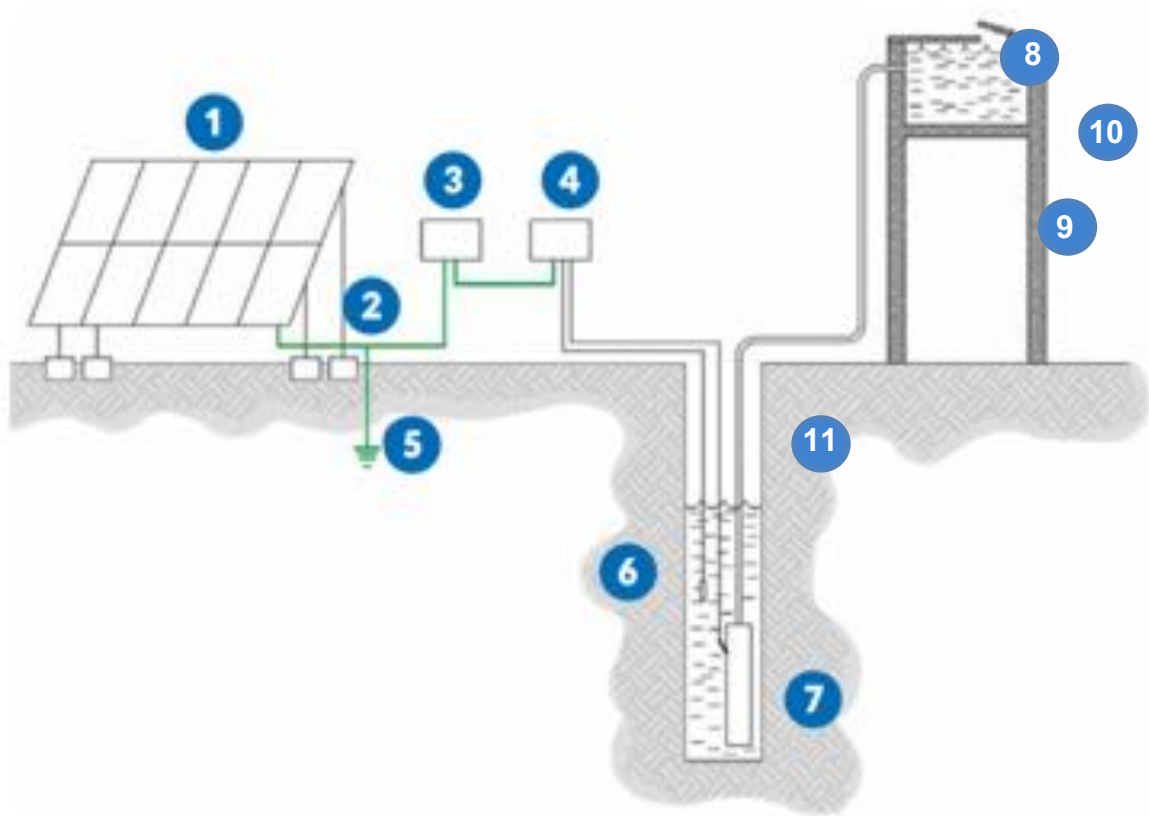


Figura 19. Esquema sistema de bombeo. Fuente: IOP Conference of Series

1. Paneles solares
2. Soporte de paneles.

3. Cuadro de protección con fusibles, contactor principal y dispositivo protector contra sobretensiones (protección contra rayos).
4. Controlador de bomba o inversor de bombeo solar.
5. Pica de puesta a tierra conectada al sistema de puesta a tierra, incluidos paneles, soportes, cuadros, controlador y bomba.
6. Sensor de agua de bajo nivel (detiene inmediatamente la bomba si el pozo está vacío de agua).
7. Bomba sumergible
8. Aljibe
9. Sensor de nivel de agua en el tanque
10. Dispositivo potabilizador
11. Tubería de impulsión

#### **4.2.1 PANELES SOLARES**

Existen muchos tipos de paneles solares, cada uno con sus propias características y aplicaciones distintas. Entre los distintos tipos podemos encontrar los paneles monocristalinos, policristalinos, los paneles de Teluro de Cadmio, CIGS, CIGSS y silicio amorfo (a-SI). Cada tipo de panel tiene sus ventajas e inconvenientes, con diferentes costes y eficiencias.

Los paneles más comunes son los paneles monocristalinos y los paneles policristalinos. Ambos tipos de paneles, tanto el policristalino como el monocristalino, son bastante similares. Ciertamente es que, el panel policristalino es algo más económico que el monocristalino, su rendimiento es ligeramente inferior. Para alcanzar la misma potencia, se requiere una superficie mayor de paneles policristalinos, lo que puede compensar el menor costo inicial. En términos de rendimiento y precio, ambas soluciones son prácticamente equivalentes, por lo que la disponibilidad en los proveedores suele ser un criterio más relevante que las diferencias en el rendimiento.

## 4.2.2 SOPORTE DE LOS PANELES SOLARES

Las estructuras que soportan los paneles solares son fundamentales para garantizar que una instalación fotovoltaica sea eficiente y efectiva. Estas estructuras no solo proporcionan un soporte físico para los paneles, sino que además determinan la orientación e inclinación óptimas para maximizar la captación de la radiación solar. La correcta inclinación y orientación de los paneles solares juegan un papel crucial para reducir el potencial de la instalación, lo que mejora el rendimiento y eficacia.

### 4.2.2.1 Soporte fijo en la ladera

Los soportes fijos para paneles solares presentan una serie de características que los convierten en una opción viable para proyectos de energía solar, especialmente en regiones como los Andes peruanos.

Una de las principales ventajas de este tipo de soportes es su ventaja económica. Comparados con los sistemas de seguimiento solar, que siguen la trayectoria del sol a lo largo del día para maximizar la captación de luz, los soportes fijos son significativamente más baratos de fabricar e instalar.

Además de ser más económicos, los soportes fijos son también más fáciles de instalar. En términos de mantenimiento, los soportes fijos ofrecen una ventaja considerable. La ausencia de partes móviles significa que hay menos riesgo de fallos mecánicos y menos necesidad de reparaciones frecuentes. Esto es crucial en lugares remotos donde el acceso a servicios de mantenimiento puede ser complicado y costoso.

Otra característica importante de los soportes fijos es su estabilidad estructural. En regiones montañosas como los Andes, donde las condiciones climáticas pueden ser extremas con fuertes vientos y variaciones de temperatura, los soportes fijos proporcionan una base sólida y resistente para los paneles solares. Esto asegura que los paneles permanezcan en su lugar y funcionen de manera eficiente, sin riesgo de desplazamientos o daños. [18]

#### ***4.2.2.2 Soporte de seguimiento solar***

Los sistemas de seguimiento solar son estructuras que permiten maximizar la generación de energía eléctrica fotovoltaica. Esto es posible gracias al ajuste automático del ángulo de los paneles solares, lo que permite captar la máxima radiación posible. [19]

Principalmente, existen dos tipos de sistemas de seguimiento solar:

- 1. Sistema de un eje:** este tipo de sistema permiten que los paneles solares se muevan en una dirección, generalmente de este a oeste, siguiendo el recorrido del sol. Estos se caracterizan por ser más sencillos y económicos.
- 2. Sistema de dos ejes:** permiten un seguimiento al sol más preciso ya que el movimiento en dos direcciones es posible en este tipo de sistemas.

#### ***4.2.2.3 Soporte flotante***

Utilizar el aljibe para colocar las placas solares flotantes es una oportunidad destacada, ya que evita la ocupación de áreas terrestres que podrían destinarse a otras actividades como la agricultura o el pastoreo.

A pesar de algunos inconvenientes puntuales, es esencial comprender las ventajas de las placas solares flotantes. A continuación, se detallan las ventajas:

- Eficiencia superior de los paneles: Generalmente, la temperatura alrededor del agua es más baja que en la superficie terrestre. Dado que el calor afecta la eficiencia de los paneles solares, se estima que las placas solares flotantes pueden obtener un rendimiento hasta un 10-15% superior.
- Aprovechamiento de espacios sin uso: Las placas solares flotantes utilizan áreas que generalmente solo se destinan al almacenamiento de agua. Además, estos terrenos suelen ser más económicos que los terrenos terrestres disponibles para instalaciones solares.
- Reducción de sombras y suciedad: Al no haber obstrucciones alrededor, las placas solares flotantes no están expuestas al polvo ni a sombras que puedan disminuir su rendimiento.

- Reducción de la evaporación: La instalación de placas solares flotantes ayuda a reducir la evaporación del agua al mantener su temperatura más baja. Esto contribuye a mitigar los riesgos de sequía o escasez de agua.

Los principales inconvenientes de las placas solares flotantes son:

- Mayor inversión inicial: aunque el espacio ocupado por las placas es más económico que el terreno terrestre, la tecnología requerida para su instalación es más cara.
- Mantenimiento complejo: el acceso a las placas solares flotantes para su mantenimiento puede ser más complicado que en las instalaciones terrestres. [20]

#### **4.2.3 CUADRO DE PROTECCIÓN**

La caja de protección es esencial en todas las instalaciones de bombeo donde el voltaje de funcionamiento (en la bomba) es superior a 120 V. El cuadro de protección garantiza la seguridad tanto de los equipos como de las personas que interactúan con el sistema. El cuadro gestiona el flujo de electricidad y asegura que la instalación funcione de forma segura y eficiente. Los aspectos a tener en cuenta son:

1. Función de protección: garantiza la seguridad del sistema ante sobrecargas, cortocircuitos, sobre temperatura y otras condiciones adversas. Incluye dispositivos de protección como interruptores de circuito y fusibles.
2. Gestión de la energía: también puede incluir dispositivos de gestión de la energía, como medidores de energía, controladores de carga y dispositivos de monitoreo.
3. Normativas: La instalación y el diseño del cuadro de protección deben cumplir con las normativas y estándares de seguridad eléctrica aplicables en la región.

#### **4.2.4 CONTROLADOR DE BOMBA O INVERSOR DE BOMBEO SOLAR**

El controlador de la bomba o inversor juegan también un papel fundamental en los sistemas de bombeo mediante energía solar. Su función principal es regular el funcionamiento de la bomba para garantizar un suministro eficiente y controlado.

El uso del inversor o del controlador en un sistema de bombeo solar depende del tipo de bomba que se vaya a utilizar:

- **Inversor:** se utiliza cuando la bomba de agua funciona con corriente alterna (CA). El inversor, por tanto, convierte la energía solar generado por los paneles en corriente continua (CC) a alterna para poder alimentar a la bomba.
- **Controlador:** Se utiliza cuando la bomba de agua funciona con corriente continua (CC), como es el caso de muchas bombas sumergibles y de superficie de bajo consumo. El controlador por tanto regula directamente la velocidad y funcionamiento de la bomba utilizando corriente continua generada por los paneles solares.

Las funciones básicas de estos dispositivos son:

1. Regular flujo de caudal: controla la velocidad y el flujo de caudal de la bomba para adaptarse a las condiciones cambiantes, como la intensidad de radiación solar y la demanda de agua.
2. Gestión de la energía solar: el controlador o inversor se encargan de gestionar la energía producida por los paneles solares y utilizar de forma eficiente para alimentar la bomba de agua.
3. Control remoto y monitoreo: en ocasiones, se pueden colocar controladores o inversores con la capacidad de control remoto a través de sistemas de telemetría, lo que permite supervisar y controlar el funcionamiento del sistema.

#### **4.2.5 PICA DE PUESTA A TIERRA**

La pica de puesta a tierra es un elemento fundamental en todo sistema eléctrico, incluyendo los sistemas de bombeo solares. Se encarga de proporcionar una baja resistencia para la descarga de corriente hacia la tierra con el fin de proteger tanto el sistema como a las personas de posibles descargas eléctricas.

Las principales funciones de la pica de puesta a tierra son:

1. Protección contra sobretensiones: permite disipar las sobretensiones para proteger los componentes de sistema como los inversores o controladores, de daños producidos por picos de tensión.
2. Seguridad del personal: la pica de puesta a tierra protege a los trabajadores y usuarios del sistema al proporcionar un camino seguro para la descarga de la corriente.
3. Normativa: en muchos lugares, instalar una pica de puesta a tierra es un requisito normativo para garantizar la seguridad eléctrica de las instalaciones.

#### **4.2.6 SENSOR DE AGUA DE BAJO NIVEL**

Este dispositivo es opcional en los sistemas de bombeo, pero puede llegar a tener un papel crucial en él. El sensor de nivel de agua en el pozo permite monitorizar en nivel de agua que hay disponible en el pozo y activar la bomba o desactivarla según convenga.

Algunos puntos destacables son:

1. El dispositivo puede detectar el nivel del agua del pozo según como este diseñado. Por un lado, puede estar los dispositivos que detectan el nivel del agua de forma continua: mientras que otros diseños detectan cuando el agua ha alcanzado un umbral específico.
2. El sensor de nivel de agua en el aljibe permite controlar el funcionamiento de la bomba y es fundamental para evitar que la bomba funcione en seco, lo que produce daños y acorta la vida útil de la bomba. Además, este sensor ayuda a minimizar los costes de mantenimiento y reparación.

#### **4.2.7 BOMBA SUMERGIBLE**

Existe una gran variedad de tipos y modelos de bombas según la aplicación de esta, desde el bombeo de agua en pozos hasta el tratamiento de líquidos en instalaciones industriales. Las bombas sumergibles, presentan un diseño peculiar que las distingue de las bombas superficiales. En ellas, el motor se encuentra estrechamente integrado con el cuerpo de la bomba, y generalmente la carcasa está llena de aceite que actúa como capa de protección, lo que impide la entrada de cualquier líquido que pueda producir un cortocircuito.



El funcionamiento de las bombas sumergibles implica impulsar en vez de aspirar el líquido durante el proceso de bombeo. Esto supone que la bomba sea mucho más eficiente ya que utiliza la presión del propio líquido en el que esta sumergida para funcionar, evitando así la pérdida de energía necesaria para atraer el líquido hacia la bomba. Además, el hecho de que el motor esté inmerso en el líquido proporciona un efecto de enfriamiento a sus componentes, lo cual no solo evita el sobrecalentamiento, sino que también promueve un funcionamiento más seguro y prolongado.



Figura 20. Esquema bomba sumergible. Fuente: Blog Evans.

Las bombas sumergibles son una de las mejores opciones para la instalación en pozos para la extracción de aguas subterráneas. Al estar sumergidas completamente, tienen la capacidad de extraer el agua desde niveles muy profundos haciéndolas ideales para este tipo de instalación. [21] Además, el estar sumergidas también las hace más silenciosas que otros tipos de bombas y producen menos vibraciones.

Otra ventaja significativa de este tipo de bombas es que tienen menos probabilidad de experimentar cavitación, lo que mejora su eficiencia y vida útil. No obstante, este tipo de bombas también tienen algunas desventajas a considerar. Por un lado, su coste inicial tiende a ser mayor que el de las bombas de superficie ya que tienen un diseño más complejo. Además, al estar sumergidas, el mantenimiento es algo más complejo ya que acceder a la bomba puede ser una tarea complicada al requerir de equipos especializados y personal capacitado. [22]

#### **4.2.8 ALJIBE**

Se ubicará estratégicamente un aljibe a una elevación ligeramente superior a la de la comunidad de Andahuaylillas para poder distribuir por gravedad cuando fuera necesario. El aljibe tendrá como función ser el depósito para almacenar el agua bombeada desde el pozo y simultáneamente, como captador de agua durante la época de lluvias.

### **4.3 *FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA***

Un sistema de bombeo mediante energía solar se basa en la conversión de la radiación del sol en energía eléctrica, para posteriormente utilizarla para alimentar una bomba de agua.

El sistema comienza con la instalación de paneles solares que captan la radiación del sol y la transforman en electricidad en corriente continua. Es importante que estos paneles estén diseñados correctamente para maximizar la captación de energía solar teniendo en cuenta diversos factores como pueden ser las condiciones meteorológicas, la hora del día o la época del año.

La corriente continua generada por los paneles solares es dirigida a un variador de velocidad. Este dispositivo es el encargado de convertir la corriente continua en corriente alterna. La tensión generada por los paneles solares varía según la cantidad de radiación solar disponible. El variador de velocidad mide esta tensión y ajusta la velocidad de la bomba para adaptarse a la potencia entregada en cada momento por los paneles solares.

Para asegurar un suministro continuo de agua, incluso durante periodos sin sol, se puede acumular agua en un depósito o balsa. Este almacenamiento permite disponer de agua durante la noche o en días nublados, garantizando que la comunidad tenga acceso constante al recurso hídrico.

## 5. DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO

### 5.1 DATOS DE PARTIDA

Para poder comenzar con el diseño del sistema de bombeo, es fundamental conocer los datos clave de partida que guiarán la planificación y diseño. En este apartado, se van a detallar los datos esenciales que servirán de punto de partida para el diseño del sistema de bombeo, incluyendo la demanda estimada de agua, la ubicación de la instalación, profundidad de la fuente de agua subterránea, la altitud y elevación del terreno, las condiciones climáticas...

#### 5.1.1 NECESIDAD DIARIA DE AGUA

Para poder estimar la necesidad de agua diaria en la comunidad de Andahuaylillas, primero hay que conocer el número de habitantes. La comunidad de Andahuaylillas cuenta con una población total de 5.299 habitantes. Sin embargo, no toda la comunidad se encuentra afectada por la falta de agua. El porcentaje de la población afectada por la escasez de agua se puede redondear al 20%, por tanto:

$$Poblacion\ afectada = 5.299 * 0.2 = 1.059,8 \approx 1.060\ habitantes$$

*Ecuación 1. Población afectada*

Para anticipar el aumento de demanda futura debida al crecimiento demográfico, se va a estimar un crecimiento anual de la población del 2,5%. De esta manera podemos prever la población prevista en la región en los próximos años y así adecuar el diseño del sistema de bombeo. Se va a realizar el diseño de la instalación para la población correspondiente al año 2035, es decir, dentro de 11 años.

El número de habitantes resultante se calculará de la siguiente forma:

$$N^{\circ} habitantes = poblacion * (1 + tasa\ de\ crecimiento\ anual)^n$$

*Ecuación 2. Número de habitantes*

$$N^{\circ} \text{habitantes} = 1.060 * (1 + 0,025)^{11} = 1.089,3 \approx 1.090 \text{ habitantes}$$

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estipula que una persona necesita aproximadamente 190 litros de agua al día, lo que equivale a unas 5 o 6 cubetas grandes, para cubrir sus necesidades básicas de consumo e higiene. Sin embargo, considerando que los habitantes afectados tienen acceso parcial al suministro de agua, se estima que experimentan una escasez de 100 litros por persona. Por tanto, la cantidad necesaria de agua para satisfacer las necesidades de la comunidad sería:

$$\text{Demanda de agua diaria} = 100 * 1.090 = 109.000 \frac{l}{\text{día}} = 109 \text{ m}^3/\text{día}$$

*Ecuación 3. Demanda de agua diaria*

### 5.1.2 HORAS PICO DE SOL EN ANDAHUAYLILLAS

En el mapa de la figura 19 se puede observar que la zona de Andahuaylillas tiene una insolación anual aproximadamente de  $2.045 \text{ kWh/m}^2$ , lo que significa, una insolación diaria de  $5,6 \text{ kWh/m}^2$ . Esto es, la comunidad de Andahuaylillas recibe  $21.000 \text{ W/m}^2$  durante un periodo de tiempo de 5,6 horas al día. De esta manera se va a suponer que, de media al año, el tiempo de funcionamiento diario del sistema es de 6 horas.

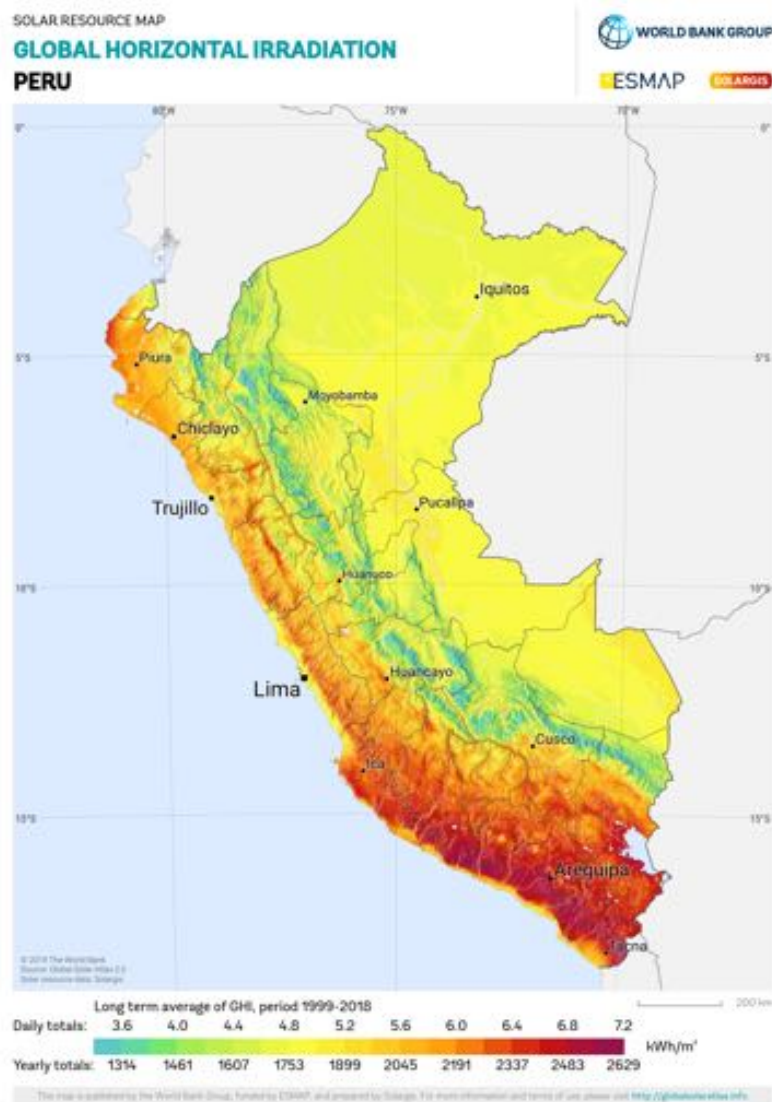


Figura 21. Mapa insolación anual en Perú. Fuente: World Bank

### 5.1.3 DIMENSIONES DEL POZO

Para el dimensionamiento del pozo, se utilizarán como referencia las características de pozos cercanos al área de emplazamiento. En particular, se tomará como modelo el pozo ubicado a orillas del río Vilcanota a 3.083 metros sobre el nivel del mar, en el sector denominado Piñipampa, perteneciente a las comunidades campesinas de Secsencalla y Querohuasi del distrito de Andahuaylillas. Este pozo alcanza el acuífero a una profundidad de 64 metros.

Esta referencia permitirá asegurar que el nuevo pozo se diseñe de manera adecuada para alcanzar un acuífero similar, garantizando así una fuente de agua confiable y sostenible para la comunidad.

El agua de este acuífero tiene las siguientes características:

Cloro Residual	0		Cloruros	98.90	mg/lt
Temperatura	13.30	°C	Sulfatos	182.36	mg/lt
Turbiedad	0.70	NTU	Sólidos totales disueltos	794	mg/lt
Color	2.00	UC	Conductividad	838	uS/cm
pH	7.31		Salinidad	0.20	%
Alcalinidad total	158.68	mg/lt CaCO <sub>3</sub>	Hierro	0.010	mg/lt
Alcalinidad Fenol	0	mg/lt CaCO <sub>3</sub>	Manganeso	0.009	mg/lt
Dureza Total	443.22	mg/lt CaCO <sub>3</sub>	Aluminio	0.011	mg/lt
Calcio	137.22	mg/lt Ca	Nitratos	2.468	mg/lt
Magnesio	24.49	mg/lt Mg	Índice de Langeelieer	IS = 0.55*	

Tabla 1. Características acuífero [23]

Es crucial colocar la bomba de forma que la toma de agua quede ubicada aproximadamente a un metro por encima del fondo del pozo para asegurar una extracción eficiente y evitar la aspiración de sedimentos del fondo. De esta manera se protegerá tanto la bomba como la calidad del agua extraída.

De esta manera la bomba sumergible se colocará a una **profundidad de 60 metros**. Además, el pozo este revestido para garantizar su integridad estructural y prevenir la contaminación. El revestimiento del pozo, generalmente realizado con tubos de acero o PVC, ayuda a mantener las paredes del pozo estables y evita el colapso. También actúa como una barrera contra la entrada de contaminantes del suelo circundante, asegurando que el agua extraída sea de alta calidad.

#### 5.1.4 RENDIMIENTO SEGURO DEL POZO

La demanda diaria se convierte en un caudal horario dividiendo por las horas de bombeo. Para los sistemas de bombeo solar autónomos (SPWSs), las horas de bombeo son

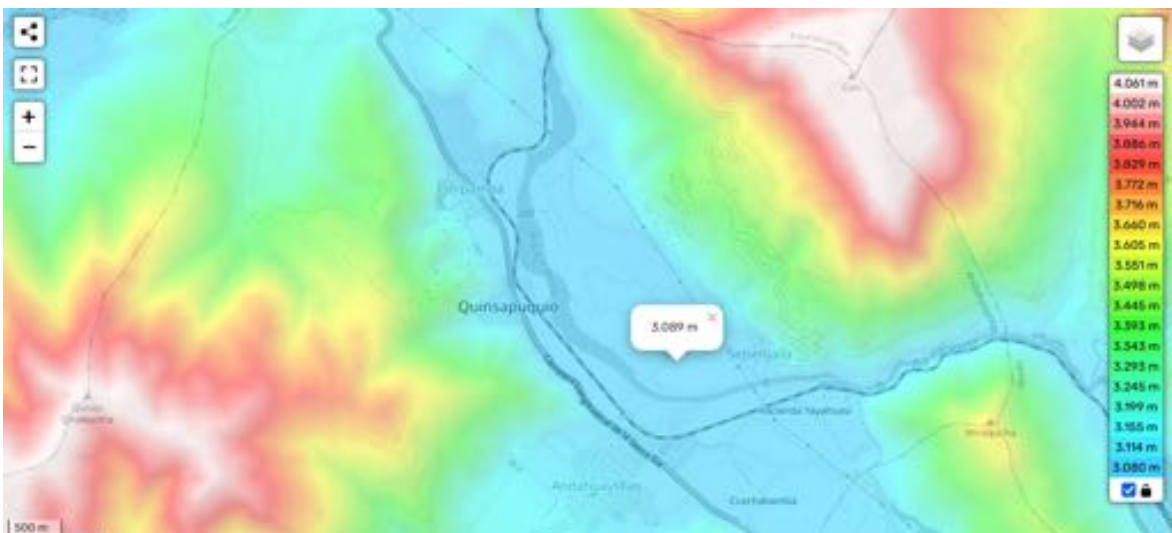
equivalentes a las horas pico de sol, mientras que, para los sistemas híbridos, este es el número total de horas de bombeo combinado.

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento de diseño} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) &= \frac{\text{Demanda diaria} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)}{\text{Horas de operacion}} = \frac{109 \text{ m}^3/\text{dia}}{6 \text{ horas}} \\ &= 18,17 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

*Ecuación 4. Rendimiento de diseño*

### 5.1.5 UBICACIÓN DEL ALJIBE

La ubicación del aljibe es crucial para garantizar que el sistema de distribución del agua sea efectivo. Por ello, para maximizar la eficiencia, se ha decidido situar el aljibe lo más cerca posible tanto del pozo como de la población que se desea abastecer, en este caso la comunidad de Andahuaylillas. Además, se va a situar a una altitud ligeramente superior a la de Andahuaylillas, para poder distribuir el agua mediante gravedad y facilitar el acceso al agua.



*Figura 22. Altitud ubicación del pozo [25]*



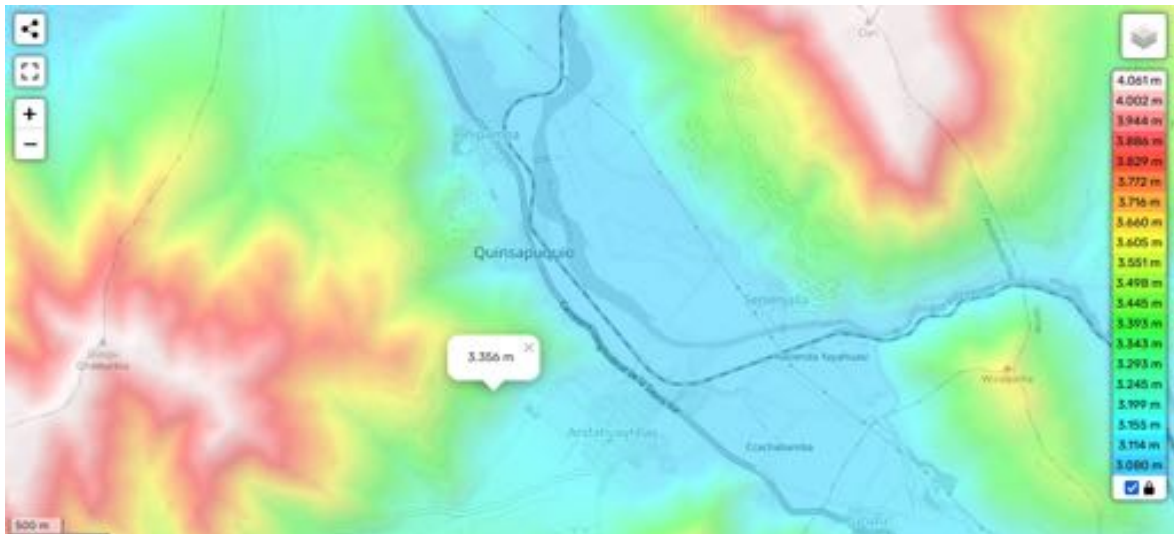


Figura 23. Altitud ubicación aljibe [25]

Para determinar la altitud de la ubicación del aljibe, se ha utilizado el mapa interactivo del portal “Mapa Topográfico” [25]. Como se muestra en la figura 24, el pozo está situado a una altitud de 3.090 metros sobre el nivel del mar. En la figura 25, se observa que el aljibe se ha colocado a una altitud de 3.356 metros, lo que resulta una diferencia de altitud de 266 metros. Esta diferencia asegura una presión suficiente para que el agua pueda fluir por gravedad hacia la población.

El siguiente dato necesario para poder dimensionar el sistema de bombeo es determinar la distancia entre el pozo y el aljibe. Para ello, se va a utilizar la aplicación desarrollada por Google, Google Earth. Esta aplicación va a permitir hacer las mediciones necesarias en la superficie, proporcionando unos valores muy exactos respetando los desniveles.



*Figura 24. Distancia Pozo-Aljibe. Fuente: Google Earth*

Observando la figura 24, la distancia entre el pozo y el aljibe es de 1.041,83 metros, lo cual es una distancia razonable que minimiza las pérdidas de carga y facilita la gestión del sistema de tuberías.

## **5.2 CONSIDERACIONES Y CONCEPTOS DE DISEÑO**

Antes de diseñar un sistema de bombeo mediante energía solar, es necesario tener en cuenta varios conceptos importantes. En primer lugar, a diferencia del bombeo tradicional que se puede realizar las 24 horas del día, el diseño de un sistema de bombeo solar se basa en la cantidad de agua bombeada al día en vez de por hora. Esto significa que es necesario considerar la demanda de agua durante todo el día y diseñar un sistema de bombeo que satisfaga toda esa demanda durante el periodo de bombeo solar que está limitado a las horas de luz solar disponibles.

Una de las opciones a valorar para poder ampliar el periodo de bombeo solar sería utilizar baterías para almacenar la energía. No obstante, incorporar baterías en estos sistemas tienen más desventajas que ventajas, como ineficiencias, costes elevados, peso y vida útil. Por el contrario, se recomienda incorporar “baterías naturales”, es decir, almacenar el agua en tanques elevados, lo que supone almacenar la energía de manera efectiva y simplificar el sistema. Es crucial considerar una capacidad de almacenamiento del tanque adecuada y

suficiente para satisfacer la demanda diaria y almacenar la mayor cantidad de agua posible durante las horas de luz solar.

Por último, no se aconseja el uso de seguimiento solar debido a su elevado coste y requisitos de mantenimiento y operación. En lugar de invertir en este tipo de sistemas, es más común y recomendable sobredimensionar un generador PV fijo para compensar las pérdidas debidas a la orientación del conjunto fotovoltaico en relación con el sol. [26]

### **5.3 CAPACIDAD DEL ALJIBE**

Para poder garantizar un suministro de agua constante acorde a la demanda diaria necesaria, el depósito o aljibe seleccionado para almacenar el agua bombeada desde el pozo debe tener una capacidad suficiente para cubrir tanto las necesidades diarias de la comunidad, como un margen de seguridad en caso de fallos de la bomba o en caso de lluvias poder almacenar esa agua. Sabiendo que el caudal diario necesario es de  $109 \text{ m}^3$ , se ha considerado que el aljibe tendrá un 40% más de capacidad, esto es, un depósito de capacidad de  $153 \text{ m}^3$ .

### **5.4 DISEÑO SISTEMA BOMBEO**

#### **5.4.1 CAUDAL**

El caudal que circula a través de las tuberías varía a lo largo del día, ya que depende de la radiación solar. No obstante, la presión o la altura manométrica se mantiene constante ya que dependen únicamente de las características de la instalación, en concreto, de la distancia entre la bomba y el depósito.

El caudal de agua que circulara por la tubería es:

$$\text{caudal} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] = \frac{109 \text{ m}^3/\text{dia}}{6 \text{ horas}} = 18,17 \text{ m}^3/\text{h}$$

*Ecuación 5. Caudal*

### 5.4.2 RED HIDRÁULICA

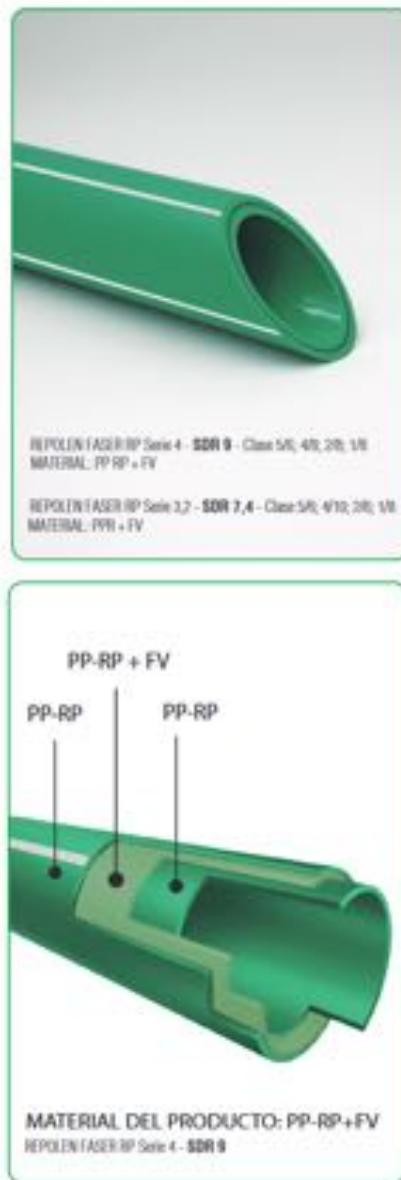
Una vez se conoce el dato del caudal. El siguiente paso es diseñar la red hidráulica del sistema de bombeo. Con la ayuda de la herramienta Google Earth, se ha podido representar en el mapa de la figura 23 las diferentes distancias y cotas entre el pozo y aljibe. De esta manera, se puede tener una visión más clara de las distancias y alturas a tener en cuenta para calcular las pérdidas de carga a lo largo de la red.



Figura 25. Mapa con cotas y distancias. Fuente: Google Earth

Se ha elegido el polipropileno como material para las tuberías debido a sus numerosas ventajas. Este material es resistente a la corrosión, lo que garantiza una larga vida útil incluso en condiciones adversas. Además, su ligereza facilita el transporte e instalación, reduciendo los costos y el tiempo de trabajo. También es un material duradero y flexible, lo que lo hace ideal para aplicaciones de suministro de agua, ya que puede soportar las variaciones de presión y temperatura sin sufrir daños.

Las características técnicas del polipropileno (PPR) se han incluido en el anexo, al final del proyecto. Destaca su alta resistencia mecánica, bajo coeficiente de fricción y excelente capacidad de aislamiento térmico. Adicionalmente, el polipropileno tiene un precio competitivo, lo que contribuye a la viabilidad económica del proyecto.



*Figura 26. Polipropileno PP Duraflon Corporación emacin*

A la hora de seleccionar la tubería de la instalación, hay que tener en cuenta la velocidad que alcanza el caudal de agua transportada a través de ella. Por un lado, valores inferiores a 0,5 m/s puede provocar sedimentación y formación de depósitos, provocando obstrucciones. Además, velocidades bajas suponen un diámetro de la tubería excesivo, lo que hace que aumenten los costes de diseño. Por otro lado, velocidades muy altas (superiores a 3 m/s) puede provocar pérdidas de carga excesivas, favorecer la corrosión por erosión y producir golpes de ariete que podrían provocar roturas.

Para poder seleccionar la bomba, es necesario conocer tanto el caudal como la altura manométrica total. El caudal requerido ya ha sido calculado en el apartado anterior, por lo que a continuación se procederá a obtener la altura manométrica total necesaria para el sistema de bombeo.

$$\text{Longitud del circuito} = 912,87 + 188,05 = 1.100,92\text{m} = 1101\text{ m}$$

*Ecuación 6. Longitud del circuito*

$$\text{Caudal (Q)} = 18,17\text{m}^3/\text{h}$$

Se ha seleccionado un diámetro nominal de tubería de 50 mm. Posteriormente, se verificará si con este valor de diámetro, la velocidad del fluido se mantiene dentro de los valores adecuados (1 m = 4,71 €)

$$\text{Diámetro (DN)} = 50\text{mm} = 0,05\text{ m}$$

El área de la tubería se obtiene como:

$$\text{Área (A)} = \pi * r^2 = \pi * \left(\frac{0,05}{2}\right)^2 = 0,00196\text{ m}^2$$

*Ecuación 7. Área de la tubería*

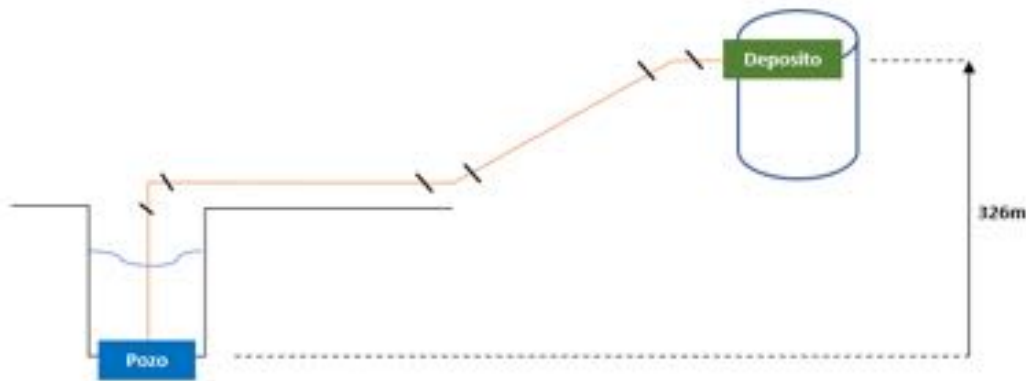
Con los valores de caudal y área, se puede obtener la velocidad del flujo utilizando la siguiente expresión:

$$Q = A * v \rightarrow \text{Velocidad } (v) = \frac{18,17 \frac{m^3}{h}}{0,00196 m^2} = 9.253,9 \frac{m}{h} = 2,57 m/s$$

*Ecuación 8. Velocidad del flujo*

Resulta una velocidad del fluido es de 2,57 m/s. Este valor de diámetro (50mm) es aceptable para el diseño del sistema, asegurando que la velocidad del fluido se mantenga en un rango adecuado para el correcto funcionamiento del sistema hidráulico.

El siguiente paso es aplicar la ecuación de Bernoulli para determinar la altura manométrica necesaria para seleccionar la bomba adecuada. En la figura se ha representado la red de tuberías desde el pozo hasta el depósito.



*Figura 27. Representación Red. Fuente propia*

$$\frac{P_{\text{pozo}}}{\rho g} + \frac{v_{\text{pozo}}^2}{2g} + z_{\text{pozo}} + H = \frac{P_{\text{deposito}}}{\rho g} + \frac{v_{\text{descarga}}^2}{2g} + z_{\text{descarga}} + h_f + h_L$$

*Ecuación 9. Ecuación de Bernoulli*

Donde:

$$\frac{v_{\text{pozo}}^2}{2g} = 0 \rightarrow \text{Agua en reposo } (v_{\text{pozo}} = 0)$$

$$z_{\text{pozo}} = 0$$

$$\frac{P_{\text{deposito}}}{\rho g} = 0 \rightarrow \text{Deposito abierto a la atmosfera } (P_{\text{deposito}} = 0)$$

De esta manera, la expresión de la altura queda de la siguiente manera:

$$H = \frac{P_{\text{pozo}}}{\rho g} + \frac{v_{\text{descarga}}^2}{2g} + z_{\text{descarga}} + h_f + h_L$$

La temperatura del agua del pozo es de 13.3 grados Celsius. Con el dato de la temperatura, podemos consultar la tabla de las propiedades del agua saturada para obtener el valor de la viscosidad dinámica.

Temp. T, °C	Presión de saturación P <sub>sat</sub> , kPa	Densidad ρ, kg/m <sup>3</sup>		Entalpia de vaporización h <sub>g</sub> , kJ/kg		Calor específico c <sub>p</sub> , J/kg · K		Conductividad térmica k, W/m · K		Viscosidad dinámica μ, kg/m · s		Número de Prandtl Pr		de expansión volumétrica β, 1/K		Tensión superficial, N/m
		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Líquido			
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2.501	4.217	1.854	0.561	0.0171	1.792 × 10 <sup>-3</sup>	0.922 × 10 <sup>-5</sup>	13.5	1.00	-0.068 × 10 <sup>-3</sup>	0.0756		
5	0.8721	999.9	0.0068	2.490	4.205	1.857	0.571	0.0173	1.519 × 10 <sup>-3</sup>	0.934 × 10 <sup>-5</sup>	11.2	1.00	0.015 × 10 <sup>-3</sup>	0.0749		
10	1.2276	999.7	0.0094	2.478	4.194	1.862	0.580	0.0176	1.307 × 10 <sup>-3</sup>	0.946 × 10 <sup>-5</sup>	9.45	1.00	0.733 × 10 <sup>-3</sup>	0.0742		
15	1.7051	999.1	0.0128	2.466	4.186	1.863	0.589	0.0179	1.138 × 10 <sup>-3</sup>	0.959 × 10 <sup>-5</sup>	8.09	1.00	0.138 × 10 <sup>-3</sup>	0.0735		

Tabla 2. Tabla propiedades agua saturada

De la tabla de la figura, iterando se obtiene una densidad de 999,5 kg/m<sup>3</sup> y una viscosidad dinámica de 1,212 × 10<sup>-3</sup>  $\frac{kg}{m \cdot s}$ . Con esto, se obtiene:

$$\frac{P_{\text{pozo}}}{\rho * g} = \frac{\rho * g * h}{\rho * g} = \frac{\frac{999,5kg}{m^3} * \frac{9,81m}{s^2} * 60m}{\frac{999,5kg}{m^3} * \frac{9,81m}{s^2}} = 60m$$

$$\frac{v_{\text{descarga}}^2}{2g} = \frac{2,57^2}{2 * 9,8} = 0,337 m$$



Además, sabemos que:

$$z_{descarga} = 326 \text{ m}$$

A continuación, con la siguiente expresión se obtienen las pérdidas por primarias:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

*Ecuación 10. Ecuación pérdidas primarias*

El factor de fricción se puede calcular con la ecuación de Colebrook:

$$f = \frac{1}{\left(2 \log \left( \frac{\epsilon}{3,7 * D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)\right)^2}$$

*Ecuación 11. Ecuación de Colebrook*

Donde:

- El valor de rugosidad del polipropileno es  $\epsilon=0,007$  mm.
- Número de Reynolds:  $Re = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{999,5 * 2,57 * 0,05}{1,212 * 10^{-3}} = 105.970,091 \rightarrow$

*Flujo turbulento*

Al tratarse de flujo turbulento, podemos calcular el factor de fricción mediante la ecuación de Colebrook. Sustituyendo e iterando, obtenemos  $f = 0,0041$ . Con este valor de coeficiente de fricción, obtenemos las siguientes pérdidas primarias:

$$h_f = 0,0041 * \frac{1041,83}{0,05} * \frac{2,57^2}{2 * 9,81} = 28,76 \text{ m}$$

Por último, además de las pérdidas primarias, es necesario calcular las pérdidas secundarias. Estas pérdidas ocurren debido a componentes del sistema como codos, válvulas, conexiones

y otras obstrucciones que no son tramos rectos de tubería. Se calculan utilizando la siguiente fórmula:

$$h_s = k * \frac{v^2}{2g}$$

*Ecuación 12. Ecuación pérdidas secundarias*

Para poder calcular las pérdidas secundarias, el primer paso es identificar los componentes de la red que van a contribuir a estas pérdidas, y determinar sus coeficientes de pérdida(k):

- Codo 1 de 90°: k= 0,9
- Codo 2 de 120°: k= 1,2
- Codo 3 de 230°: k= 2
- Válvula: k=1,5

De esta manera, la k resultante es:

$$k = 0,9 + 1,2 + 2 + 1,5 = 5,6$$

Las pérdidas secundarias del sistema resultan en:

$$h_s = 5,6 * \frac{2,57^2}{2g} = 1,89 \text{ m}$$

Una vez calculados todos los datos necesarios, la altura total se obtiene a continuación:

$$H = 60 + 0,337 + 28,76 + 1,89 = 90,987 \text{ m}$$

### 5.4.3 SELECCIÓN DE LA BOMBA

Con los cálculos de caudal y alturas ya realizados, el siguiente paso es seleccionar la bomba adecuada para nuestro sistema. Para ello, se va a emplear la herramienta ABSEL que

proporciona la empresa SULZER. A la hora de seleccionar la bomba hay que tener en cuenta diferentes requisitos para identificar la bomba más óptima que cumpla con las necesidades del sistema de bombeo.

El primer paso al entrar en la herramienta es ir a “Selección hidráulica”. A continuación, el sistema nos ha recomendado una serie de modelos al introducir una altura total de 90,987 metros y caudal de  $18,17 \text{ m}^3/\text{h}$ : Serie VMS.

Las bombas de la serie VMS se caracterizan por su versatilidad y gran resistencia en condiciones operativas exigentes. Además, cabe destacar entre sus características que el motor eléctrico no requiere de mantenimiento.

La bomba recomendada ha sido la VMS 15 y presenta las siguientes características:

- Velocidad: 2.915 rpm
- Rendimiento: 0,6856
- P2: 6,16 KW
- Potencia Motor: 7,5 KW



Figura 28. Bomba VMS 15. Fuente: SULZER

## **5.5 ALMACENAJE**

El agua extraída del pozo y el agua recogida en época de lluvias se va a almacenar en un depósito. Este depósito, como se ha mencionado en capítulos anteriores, tendrá una capacidad de  $153 \text{ m}^3$ .

Además, al contar con un depósito de esta capacidad, una vez lleno, se puede detener la bomba durante algunas horas para ahorrar energía, optimizando así el consumo energético del sistema. Además, a la salida de la tubería, se colocará un grifo con boya que permitirá cerrar el paso de agua al alcanzar un nivel específico. Su funcionamiento se basa en un mecanismo de flotación que abre o cierra el flujo de agua dependiendo del nivel del agua en el depósito. Cuando el nivel del agua en el depósito baja, la boya desciende, lo que abre la válvula y permite que más agua fluya desde la tubería al depósito. A medida que el agua llena el depósito y el nivel del agua sube, la boya asciende, cerrando gradualmente la válvula hasta detener el flujo de agua completamente cuando se alcanza el nivel deseado.



*Figura 29. Flotador clásico con varilla plana*

Por otro lado, la llegada al depósito contara con una válvula antirretorno. Las válvulas antirretorno, también conocidas como válvulas de retención, son componentes esenciales en los sistemas de bombeo de agua. Su función principal es impedir el flujo inverso del agua, asegurando que una vez que el agua ha sido bombeada al depósito, no pueda regresar hacia el pozo o la fuente de bombeo. Esto es crucial para mantener la eficiencia del sistema, ya que evita que la bomba tenga que re-bompear el agua ya subida, lo cual puede causar un desgaste innecesario y reducir la vida útil de la bomba.



*Figura 30. Válvula antirretorno Leroy Merlin*

## **5.6 SENSOR AGUA BAJO NIVEL EN EL POZO**

Todas las bombas deben de estar protegidas contra la falta de agua. Para garantizar la seguridad contra la falta de agua, se utiliza comúnmente un sensor de nivel que se coloca entre 10 y 30 cm por encima de la bomba. [22]

En la mayoría de los casos este sensor de nivel es una sonda separada que se fija con collares de acero inoxidable o de plástico a la tubería de descarga. Cabe destacar, que el sensor no debe estar conectado al cable de alimentación de la bomba. Existen otras opciones, como la que proporciona el proveedor Grundfos, que integra el sensor directamente en el cable de suministro de la bomba.



*Figura 31. Bomba y sonda Grundfos*

Para el proyecto, se ha decidido incorporar el medidor de nivel de agua HT010 de la empresa DARRERA.



*Figura 32. Sensor nivel pozo DARRERA*

Este dispositivo está diseñado específicamente para medir con exactitud el nivel de aguas subterráneas, incluso en condiciones de baja conductividad, lo que lo convierte en una opción ideal para su uso en pozos y depósitos de agua.

El mecanismo para medir el agua es el siguiente: La sonda del dispositivo se desciende manualmente mediante una manivela hasta que entra en contacto con el agua. En ese momento se encenderá una luz de aviso. Con la ayuda de la cinta métrica, se hará la lectura de la medida.

### **Especificaciones técnicas**

- **Especificaciones eléctricas**
  - Voltaje de alimentación: 6 VDC
  - Tipo de pila: 4 x C
  - Duración de la pila: 1 año (aprox.)
- **Especificaciones mecánicas**
  - Temperatura de funcionamiento: 5°C a 30°C
  - Material: acero inoxidable y latón cromado (sonda)
  - Dimensiones: Ø 15 x 195 mm (sonda)
  - Peso: 4,7 Kg (con cinta métrica de 100 m)

## **5.7 POTABILIZADOR MÓVIL**

Para potabilizar el agua que sale del depósito, se va a emplear un potabilizador móvil de uso fácil. Se ha decidido utilizar los potabilizadores móviles de la empresa SETA PHT. Este tipo de potabilizadoras se caracterizan por su fácil adaptación y están pensadas para funcionar de manera autónoma, sin necesidad de personal especializado.





*Figura 33. Ptabilizador Móvil SETA PHT*

Se pueden utilizar en cualquier tipo de agua, y su funcionamiento es el mismo que el de cualquier planta potabilizadora. Las fases que sigue son:

1. Prefiltración
2. Precloración
3. Filtración
4. Ósmosis inversa
5. Postcloración

Este tipo de elementos tienen numerosas ventajas como la facilidad de transporte e instalación, mantenimiento sencillo, alta resistencia a agentes externos y climáticos, bajo coste de inversión, larga vida útil...

## **5.8 DISEÑO INSTALACIÓN SOLAR**

El siguiente paso en el diseño del sistema de bombeo es la instalación de placas solares. Este sistema debe proporcionar una potencia de 6,16kW para poder bombear el agua necesaria desde el pozo al aljibe.

Debido a la distancia considerable que existe entre el pozo y la ubicación de las placas solares, las tuberías presentan una extensa longitud, lo que puede generar elevadas pérdidas

de energía. Para compensar estas posibles pérdidas y asegurar el suministro de energía, se ha aplicado un 18% de margen, resultando en una potencia de 7,27kW. Esto garantizará que el sistema cumpla con los requisitos de demanda de agua de la comunidad.

### **5.8.1 SELECCIÓN PLACAS SOLARES**

Se ha usado PVGIS calculator. Primero se ha introducido la localización del sistema de placas solares. En este caso en la ciudad de Andahuylillas, en Peru.

A continuación, una vez se tiene la ubicación, se debe de mantener por default la base de datos de la herramienta “PVGIS-NSRDB”. El siguiente paso es seleccionar el material de los paneles solares. La herramienta no diferencia entre paneles monocristalinos o policristalinos, sino que recoge ambos como cristalinos. Se va a seleccionar esta opción ya que ofrecen una muy buena eficiencia y rendimiento en condiciones de poca luz. Además, son relativamente económicos.

A pesar de que la herramienta no diferencia entre paneles monocristalinos y paneles policristalinos, estas son las principales diferencias: [24]

- El panel solar monocristalino, está formado por células de un único cristal de silicio, lo cual significa que tiene mayor eficiencia y rendimiento que el panel solar policristalino, resultando en una mayor generación de energía con la misma cantidad de luz solar. Cabe destacar también, que el panel solar monocristalino tiende a ser más duradero que el policristalino y ofrece una mayor resistencia en condiciones adversas. Todo ello conlleva a un menor mantenimiento a largo plazo y tiene menos probabilidad de degradarse con el paso del tiempo.



*Figura 34. Panel solar monocristalino AutoSolar.es*

- Por otro lado, el panel solar policristalino está formado por células con múltiples partículas de silicio cristalizados. Las mayores diferencias y ventajas que tienen estos tipos de placas con las monocristalinas es el precio.



*Figura 35. Placa policristalina Autosolar.es*

Se ha decidido instalar paneles solares suministrado por la empresa AutoSolar de 550W Monocrystalino PERC. El panel solar es un módulo de la marca Tensite, un fabricante

puntero en el diseño de estos productos del sector fotovoltaico. Las Placas Solares 550W cuentan con unas características técnicas excelentes puesto que las células de silicio con las que está creado le dotan de una máxima eficiencia de 21,3%.

Las características principales de la Placa Solar 550W Monocristalino PERC Tensite según el fabricante se detallan a continuación. No obstante, la ficha técnica completa se puede encontrar en el anexo:

- **Máxima eficiencia:** Las placas solares son capaces de captar mejor la radiación solar debido a la tecnología PERC instalada en ellas. Esto conlleva a una eficiencia superior (21,3%) al resto de paneles convencionales.
- **Rendimiento en condiciones de luz baja:** la placa solar 550W Monocristalino Tensite ofrece un rendimiento máximo incluso en condiciones de luz baja y/o poca radiación solar.
- **Diseño ligero y compacto:** las dimensiones que ofrece este panel (2279x1134x35mm) y su peso (27,2 kg) hacen que el Panel Solar 550W Monocristalino Tensite sea un módulo muy versátil, que se adapta a distintos tamaños y voltajes de las instalaciones.
- **Mayor potencia de salida:** Potencia de salida de la placa solar 500W aumentada entre un 5% y un 25%.
- **Garantía:** El Panel Solar 550W Monocristalino Tensite ofrece una garantía de producto de 12 años y garantiza una vida útil máxima de 25 años.

Además, las especificaciones técnicas son:

- Potencia máxima (P<sub>MAX</sub>): 550W.
- Voltaje a máxima potencia (V<sub>MPP</sub>): 41.95V.
- Intensidad a máxima potencia (I<sub>MPP</sub>): 13.12<sup>a</sup>.
- Voltaje en circuito abierto (V<sub>OC</sub>): 49.80V.
- Intensidad en cortocircuito (I<sub>SC</sub>): 13.98<sup>a</sup>.
- Eficiencia del módulo: 21.3%.
- Protección: IP68.

El precio por unidad del panel solar seleccionado es de 96,26€.



**96,26€** SIN IVA 79,55 € ★★★★★ 51 Opiniones

Envío: **Gratis** en compras superiores a 3.500€ o más de 31 paneles

Fabricante: **Tensite** | Cod. Artículo: 1002128

Cantidad:

Financiación: [Calcular cuota](#)

**Panel Solar 550W Monocrystalino PERC Tensite opiniones** [Ver más opiniones](#)

**Jose F** ★★★★★ 18.06.2024

Muy satisfecho. Montado y funcionando!!!!

ASESORAMIENTO → FINANCIACIÓN → INSTALACIÓN → LEGALIZACIÓN → SURVENCIONES → MANTENIMIENTO → SAT

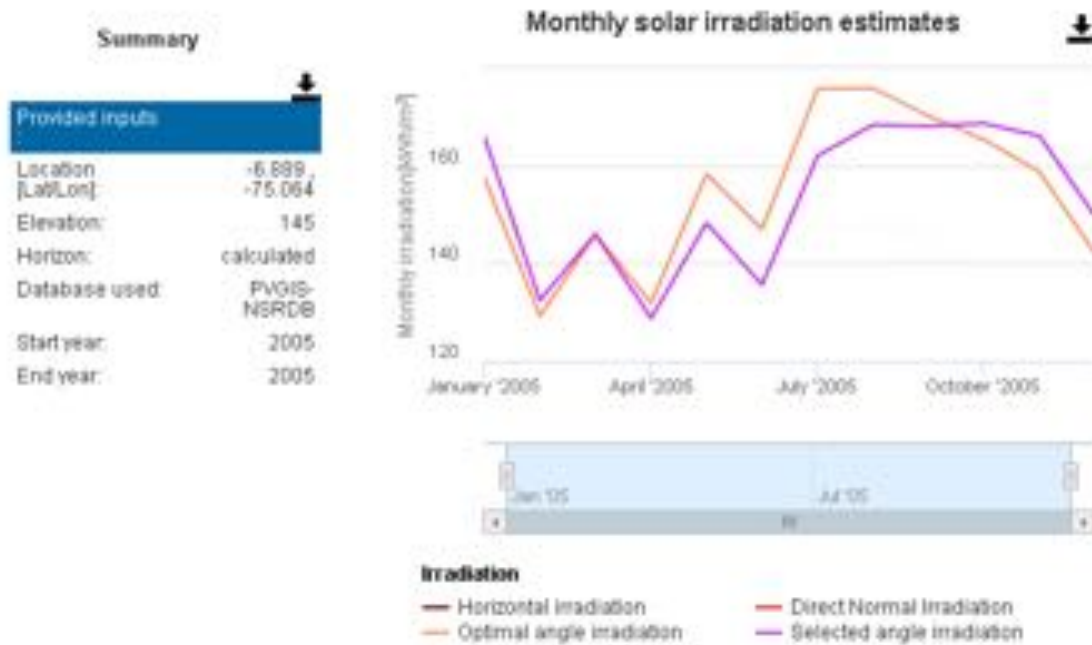
Figura 36. Panel Solar 550W Monocrystalino PERC Tensite

Como se ha mencionado anteriormente, las placas solares deberán proporcionar un 18% más de la potencia verdaderamente necesaria para bombear el pozo. Esto es:

$$P = 1,18 * 6,16 = 7,27 \text{ kW}$$

Esto significa que se van a necesitar 14 placas de las seleccionadas anteriormente, y así disponer de una potencia pico de 7,7 kWp.

Introduciendo todos los datos en la herramienta



## 5.8.2 SELECCIÓN ESTRUCTURAS FLOTANTES

Para la selección de las estructuras flotantes de las placas solares se ha acudido a la empresa española Isigenere. Se ha decidido utilizar estructuras flotantes para la instalación de las placas solares. Para la selección de estas estructuras, se ha optado por acudir a la empresa española Isigenere, reconocida por su experiencia y fiabilidad en el diseño y suministro de soluciones de energía solar flotante.

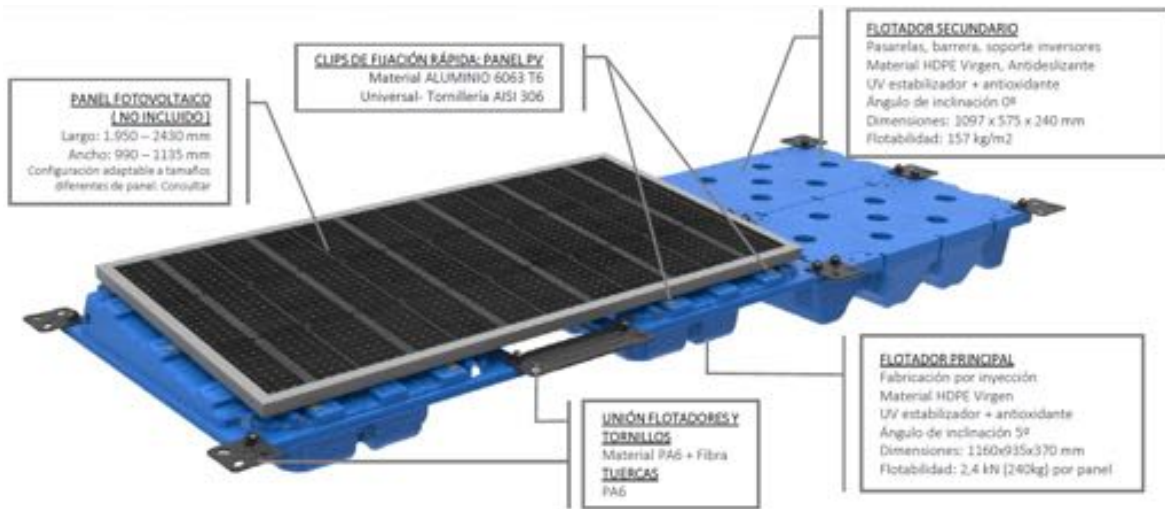


Figura 37. Estructura Isifloating

Las estructuras flotantes de Isigenere ofrecen diversas ventajas, tales como una mayor eficiencia energética debido a la reducción de la temperatura de los paneles y el aprovechamiento óptimo del espacio disponible en cuerpos de agua. Además, estas estructuras son robustas y duraderas, diseñadas para soportar condiciones ambientales adversas, lo que garantiza un rendimiento continuo y fiable de la instalación solar.

## 5.9 INVERSOR

El último paso en el diseño de la instalación es la selección del inversor. La correcta selección de este elemento es crucial para garantizar la eficiencia y fiabilidad del sistema de bombeo.

A la hora de elegir el inversor, este debe ser capaz de soportar la potencia máxima generada por los paneles solares y la requerida por la bomba de agua. Para garantizar la seguridad, se va a diseñar el inversor para soportar potencias mayores del 150% de la potencia máxima del motor y así poder hacer frente a los picos de arranque.

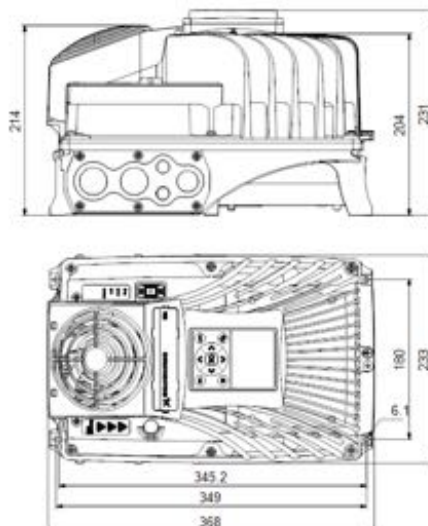
$$P = 1,5 \times P_2 = 1,5 \times 6,16 = 9,24 \text{ kW}$$

Ecuación 13. Potencia del inversor

Para este proyecto, se ha decidido selección el inversor de la empresa Grundfos. El modelo elegido ha sido el RSI 3x380-440V IP66 11kW 23<sup>a</sup>. Según el fabricante, “El inversor de energía solar renovable (RSI) es un dispositivo que no requiere conexión a la red eléctrica y permite ampliar la familia de sistemas de bombeo accionados por energía solar. El inversor RSI puede utilizarse con bombas sumergibles, de varias etapas y de una sola etapa”.



*Figura 38. Inversor Grundfos*



*Figura 39. Esquema inversor*



Las características del inversor seleccionado son:

- Potencia máxima nominal: 11kW
- Frecuencia de red: 50 / 60 Hz
- Tensión nominal: 3 x 380 - 440 V
- Grado de protección: (IEC 34-5) IP66
- Tensión nominal salida: AC 380 V
- Tensión entrada: CC 800 V
- Corriente nominal salida :AC 23 A

## 6. MANTENIMIENTO

### 6.1 *MANTENIMIENTO PREVENTIVO*

El mantenimiento preventivo tiene el objetivo de evitar los posibles fallos o deterioros de los equipos, máquinas y sistemas. Para ellos, se busca anticipar problemas mediante un conjunto de acciones programadas y planificadas.

Las bombas podrán tener un mantenimiento preventivo realizado por una persona no cualificada. Este se encargará de revisar la temperatura y soporte de los cojinetes, limpiar la suciedad, verificar el anclaje de la bomba...

El aljibe necesitara también revisiones periódicas. Entre las acciones correspondientes esta la limpieza de partículas sedimentadas, detección de posibles fugas, limpieza y desinfección anual del embalse según reglamento... También se recomienda realizar una analítica del agua mensual.

En cuanto a la instalación solar, también será convenientes llevar a cabo acciones de mantenimiento preventivo como la limpieza de las superficies de los paneles. Para el inversor, existen diferentes acciones a realizar según el tiempo de uso. Lecturas de datos y memoria de fallos mensuales, limpieza de filtro de entrada de aire, comprobar el sellado de las carcasas y limpieza de polvo, suciedad, humedad y filtraciones de agua.

### 6.2 *MANTENIMIENTO CORRECTIVO*

El mantenimiento correctivo se realiza una vez se haya producido un fallo o avería. En este caso, si se produce una avería habría que reemplazar o solucionar la avería o fallo.

## 7. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para evaluar la viabilidad del proyecto, es fundamental realizar un análisis económico detallado del proyecto. Este análisis se enfocará en calcular el coste del ciclo de vida (LCC, por sus siglas en inglés) de cada uno de los componentes de la instalación de bombeo solar. El objetivo es determinar no solo el coste inicial de implementación, sino también los costes asociados a la operación, mantenimiento y eventual sustitución de los componentes a lo largo de su vida útil.

A continuación, se va a desglosar los diferentes elementos que contribuyen al coste total del proyecto. Este desglose permitirá una comprensión detallada de cada componente individual y su impacto en el coste global, proporcionando una base sólida para el análisis económico y la toma de decisiones.

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{amb} + C_d$$

*Ecuación 14. Ecuación coste del ciclo de vida*

Donde:

- $C_{ic}$ : Coste inicial
- $C_{in}$ : Coste de instalación y puesta en marcha
- $C_e$ : Coste energético
- $C_o$ : Coste de operación
- $C_m$ : Coste de mantenimiento
- $C_s$ : Coste por tiempo de avería
- $C_{amb}$ : Costes medioambientales
- $C_d$ : Coste de retirada

## 7.1 *INSTALACIÓN HIDRÁULICA*

### 7.1.1 BOMBA

- **Coste inicial ( $C_{ic}$ )**

El coste inicial de la bomba es equivalente al coste de la bomba. Según la información proporcionada por SULZER, el coste de la bomba seleccionada es de 8.000€.

- **Coste de instalación y puesta en marcha ( $C_{in}$ )**

El coste de instalar una bomba es de alrededor de 500€.

- **Coste energético ( $C_e$ )**

Las bombas alimentadas por energía solar, tienen un coste operativo que pueden considerarse prácticamente cero una vez ya está instalada, ya que la energía solar es una fuente renovable y gratuita.

- **Coste de operación ( $C_o$ )**

De la misma manera, el coste de operación también se puede considerar nulo.

- **Coste de mantenimiento ( $C_m$ )**

Se ha determinado que para el mantenimiento de la bomba se necesitarán aproximadamente 6 horas al año. Un operario será el encargado del mantenimiento y se le pagará una tarifa de 20€ la hora.

$$\text{Por tanto: } C_m = \frac{6h}{\text{año}} \times \frac{20\text{€}}{\text{operario}} \times 1\text{operario} = 120\text{€/año}$$

- **Coste por tiempo de avería ( $C_s$ )**

El tiempo estimado de una avería es de dos días. Durante esos dos días, la alternativa que se va a considerar es agua embotellada. Se va a considerar que el coste de agua embotellada es de 1€/m<sup>3</sup>. Por tanto, el coste alternativo de suministro sería:

$$\text{Coste alternativo} = 2 \text{ dias} \times 1 \text{ €/m}^3 \times 109 \text{ m}^3/\text{dia} = 218\text{€}$$

Además, el coste de reparación se va a suponer de 100€.

De esta manera, el coste total por tiempo de avería es de:

$$\text{Coste por tiempo de avería} = 218 + 100 = 318\text{€/3años.}$$

- **Coste medioambiental ( $C_{amb}$ )**

Coste de retirada del embalaje: 100€.

- **Coste de retirada ( $C_d$ )**

Se va a considerar que el coste de retirada de la bomba es de 350€.

	<b>COSTE 15 AÑOS</b>
$C_{ic}$	8.000,00 €
$C_{in}$	500€
$C_e$	0€
$C_o$	0€
$C_m$	1.800,00€
$C_s$	1.590,00€
$C_{amb}$	100€
$C_d$	350€
<b>LCC</b>	<b>12.340,00€</b>

Tabla 3. Tabla resumen costes de la bomba

### 7.1.2 RED HIDRÁULICA

- **Coste inicial ( $C_{ic}$ )**

El coste inicial del circuito se obtiene según la longitud en metros de la red y el número de codos. Sabemos que el precio por unidad de metro es de 4.71 €. Por otro lado, la utilización de cada codo tendrá un precio adicional de 0.3 €. De esta forma:

$$C_{ic} = \frac{4.71\text{€}}{m} \times 1,101m + \frac{0.30\text{€}}{\text{codo}} \times 2 \text{ codos} = 5,185.71 + 0.6 = 5.186,31\text{€}$$

- **Coste de instalación y puesta en marcha ( $C_{in}$ )**

El coste de instalar una bomba es de alrededor de 800€.

- **Coste energético ( $C_e$ )**

El coste energético de la red es nulo.

- **Coste de mantenimiento ( $C_m$ )**

Se considera mantenimiento nulo hasta que se produzca un fallo.

- **Coste medioambiental ( $C_{amb}$ )**

Se considera un coste medioambiental por retirada de embalajes de 80€.

	<b>COSTE 15 AÑOS</b>
$C_{ic}$	8.000,00 €
$C_{in}$	800€
$C_e$	0€

$C_m$	0€
$C_{amb}$	0€
<b>TOTAL</b>	<b>8.800,00€</b>

Tabla 4. Tabla resumen costes de la red hidráulica

### 7.1.3 DEPÓSITO

- **Coste inicial e instalación ( $C_{ic} + c_{in}$ )**

Para conocer un coste orientativo del depósito, se ha recurrido a la empresa BESTAGRAR y en concreto se ha seleccionado el precio del depósito de agua de chapa sin funda que tiene un precio de 3.411,27€. La instalación tendrá un coste de aproximadamente el precio del depósito, 3892,30€.

- **Coste de mantenimiento ( $C_m$ )**

Se considera un coste de operación y mantenimiento de 400€/año.

- **Coste medioambiental ( $C_{amb}$ )**

Se considera un coste medioambiental por retirada de embalajes de 1.000€.

	<b>COSTE 15 AÑOS</b>
$C_{ic} + c_{in}$	8.000,00 €
$C_m$	6.000€
$C_{amb}$	1.000€
<b>TOTAL</b>	<b>15.000,00€</b>

Figura 40. Tabla resumen costes del depósito

## 7.2 INSTALACIÓN SOLAR

- **Coste inicial ( $C_{ic}$ )**

Los paneles tienen un coste unitario de 96,26€. Además, sabemos que la estructura flotante tiene un precio de unitario de 308€. En cada flotador caben 8 paneles, por lo que se necesitaran 2 flotadores. Por otro lado, se va a considerar una longitud del cableado igual al de la red hidráulica.

ELEMENTO	COSTE
Paneles	1.347,64€
Estructura flotante	608€
Inversor	3.651,00€
Cableado	1.100,00€
<b>TOAL</b>	<b>6.706,64€</b>

Tabla 5. Tabla resumen coste inicial instalación solar

- **Coste instalación ( $C_{in}$ )**

INTALACIÓN	COSTE UNIT	CANTIDAD	COSTE
Paneles	15,20 €	14	212,80€
Estructura	15,20€	2	30,40€
Inversor	19,35€	1	19,35€
Cableado	-	-	218€



<b>TOTAL</b>	-	-	<b>480,5€</b>
--------------	---	---	---------------

- **Coste de mantenimiento ( $C_m$ )**

Se va a suponer que se va a necesitar un mantenimiento anual de 25 horas. De esta manera:

$$c_m = 25 \text{ horas} \times 30 \text{ €/hora} = 750 \text{ €/año}$$

- **Coste medioambiental ( $C_{amb}$ )**

Únicamente, se va a considerar coste medioambiental por la retirada de embalaje: 800€.

	<b>COSTE 15 AÑOS</b>
$C_{ic}$	6.706,64 €
$C_{in}$	480,5€
$C_m$	11.250,00€
$C_{amb}$	800€
<b>LCC</b>	<b>19.237,14€</b>

Tabla 6. Tabla resumen costes de la instalación solar

### 7.3 COSTES DE DISEÑO

Es importante tener en cuenta los costes por las horas de diseño de la instalación. Para poder calcular este coste, hay que tener en cuenta diversos factores como la experiencia de la persona encargada del diseño, el país, el tipo de proyecto...

En primer lugar, hay que conocer el total de horas invertidas en el diseño. En este caso, se han invertido un total de 100 horas.

Se ha decidido que por la experiencia profesional y el nivel de complejidad reducido del proyecto en comparación con grandes diseños de instalaciones, el precio por hora de diseño es de 15€.

Por tanto, el coste total se calcula como:

$$\text{Coste horas de diseño} = 100 \text{ horas} \times \frac{15\text{€}}{\text{hora}} = 1.500 \text{ €}$$

*Ecuación 15. Ecuación coste de diseño*

## 7.4 COSTE TOTAL

El coste total del proyecto es de 55.377,14€. A continuación, se muestra una tabla con el resumen de los costes por partida y un diagrama de sectores.

	<b>COSTE</b>
<b>Instalación hidráulica</b>	36.140,00 €
<b>Instalación solar</b>	19.237,14€
<b>Diseño</b>	1.500,00€
<b>Total</b>	<b>56.877,00€</b>

*Tabla 7. Resumen total de costes*

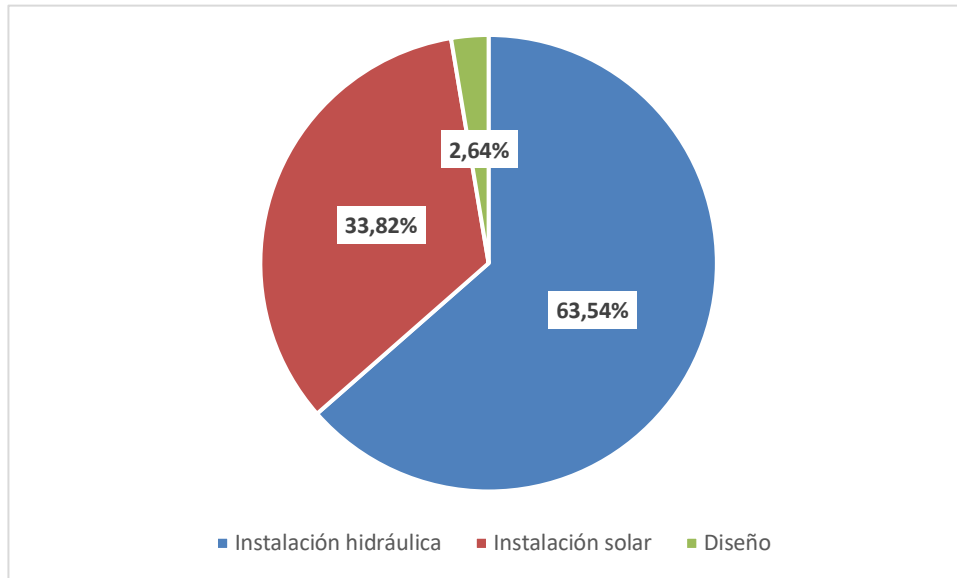


Figura 41. Diagrama de sectores de los costes

## 8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado, se va a realizar un análisis comparativo entre el uso de energía solar y la energía eléctrica proveniente de la red. Analizar la rentabilidad de utilizar energía solar en comparación con la energía eléctrica de la red requiere un enfoque que considere varios factores clave.

En el apartado anterior, se han calculado todos los costes involucrados en la instalación solar. Estos incluyen el coste inicial de implementación, coste de inversión, el mantenimiento y operación a lo largo del tiempo, la vida útil de los sistemas, y el impacto ambiental asociado. En la tabla 6, se recogen unos costes totales de la instalación durante los próximos 25 años de **19.237,14€**.

A continuación, se va a realizar el mismo calculo suponiendo el uso de la energía procedente de la red eléctrica:

- **Coste de la energía eléctrica en Perú**

En primer lugar, para calcular el consumo anual de energía del motor con una potencia de 6,2 kW, se necesita conocer cuántas horas al año estará en funcionamiento:

$$\text{Consumo anual (kWh)} = \frac{7h}{\text{día}} \times 365 \text{días} \times 6,2 \text{kW} = 15.841,00 \text{ kWh/año}$$

A continuación, necesitamos conocer el coste por kWh en la regio de Cuzco. De los datos proporcionados por la empresa Enel Perú, el coste de la electricidad en Cuzco en 2024 es aproximadamente 0,21 euros por kWh. De esta forma:

$$\text{Coste energia electrica} = 15.841,00 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times \frac{0,21\text{€}}{\text{kWh}} = \frac{3.326,61\text{€}}{\text{año}}$$

El coste durante los próximos 15 años de la instalación solar es de **19.237,14€** suponiendo que no haya que reponer ningún elemento. Por otro lado, únicamente el coste de la energía eléctrica de la red suponiendo un precio constante de 0,21 euros por kWh, sería:

$$\text{Coste energía 15 años} = \mathbf{49.899,15€}$$

Es evidente que la instalación solar es mucho más rentable que abastecer el sistema de bombeo con energía de la red eléctrica.

## 9. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El proyecto propuesto consiste en un sistema de bombeo solar y tiene como principal objetivo extraer agua de un pozo y bombearla hasta un depósito para abastecer a la comunidad de Andahuylillas en Perú.

Después de analizar las necesidades de la comunidad, se ha obtenido el caudal y altura necesarias para poder diseñar la bomba. El caudal obtenido ha sido de  $18.17 \text{ m}^3/\text{h}$  y la altura de  $90.987 \text{ m}$ . Con estos datos se ha seleccionado la bomba multietapa vertical de SULZER VMS 15. Para poder obtener los datos del pozo, se ha recurrido a los datos obtenidos de un pozo ya existente en la zona. Además, la red hidráulica se ha diseñado pensando en un diseño simple y resistente para evitar fallos y averías, y con el objetivo de que personas no cualificadas puedan llevar a cabo el mantenimiento del sistema.

Una vez seleccionada la bomba, el siguiente paso ha sido determinar el número de placas solares necesarias. Con la ayuda de PVGIS, se han seleccionado paneles solares suministrados por la empresa AutoSolar de 550W Monocristalino PERC. Uno de los principales objetivos del trabajo era emplear energía limpia y renovable para fomentar el uso de estas energías en la comunidad de Andahuylillas que ya posee severos problemas de contaminación en sus aguas.

Por otro lado, el agua bombeada se va a recoger en un depósito situado a una altura superior a la del poblado para poder distribuir el agua con más facilidad. Sabiendo que parte de esta agua se evaporará, se ha decidido colocar los paneles flotando sobre el depósito.

El coste del proyecto se ha obtenido calculando según el esquema del coste de ciclo de vida (LCC). Tras realizar un análisis comparativo entre el uso de energía solar y la electricidad comprada de la red, se puede concluir que la energía solar resulta ser más rentable a largo plazo. Aunque la instalación inicial de un sistema de bombeo solar tiene un coste más elevado que conectar el sistema a la red eléctrica, los gastos operativos son

considerablemente menores, ya que la energía solar es gratuita. En cuanto a posibles trabajos futuros, se proponen dos ideas que podrían aumentar los beneficios del proyecto:

1. Implementación de Sistemas de Almacenamiento de Energía

Una opción de mejora del sistema de bombeo sería incorporar baterías o sistemas de almacenamiento de la energía para poder garantizar el suministro continuo de agua durante los días nublados o en días donde la radiación solar es baja.

2. Implementar red de distribución a las casas

El proyecto propuesto puede mejorar su eficiencia desarrollando una red de distribución que permita llevar el agua del depósito hasta los puntos de consumo final.

3. Vertido a la red eléctrica

Por último, otra propuesta para trabajos futuros podría ser conectar el sistema solar a la red y así poder inyectar la energía sobrante. Durante los periodos de baja demanda de bombeo, si se inyecta la energía sobrante podría generar ingresos adicionales a la comunidad, así como aumentar la rentabilidad del proyecto.

## 10. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

### 10.1 AGENDA 2030

En septiembre de 2015, la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) adoptó la denominada Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Esta agenda recogía un plan de acción basado en cinco pilares principales: las personas, el planeta, la prosperidad, la paz y la participación colectiva.

La agenda plantea 17 objetivos:



Figura 42. Objetivos de Desarrollo Sostenible



## 10.2 ALINEACIÓN DEL PROYECTO CON LOS ODS



Acabar con la pobreza es el objetivo fundamental de la agenda 2030. Al proporcionar acceso sostenible a agua potable, el proyecto contribuye a mejorar las condiciones de vida de la comunidad. Esto, además, ayudara al progreso de la aldea y la mejora de la calidad de vida.



El acceso a agua es la necesidad humana más básica. Este objetivo busca garantizar que todas las personas tengan disponibilidad del recurso hídrico para el cuidado de la salud y el bienestar. El proyecto propuesto busca alcanzar este objetivo y mejorar el uso eficiente de este recurso.

## 7 ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE



Una de las principales consecuencias de no tener acceso a la energía es que, en muchas zonas marginales, mujeres y niñas pasan horas buscando agua. Además, los combustibles fósiles y carbón son todavía en muchos lugares las principales fuentes de energía eléctrica,

contribuyendo al denominado cambio climático. La instalación de un sistema de bombeo alimentado mediante energía solar lucha contra estas consecuencias para alcanzar el objetivo de acceder a agua mediante energía limpia, fiable y sostenible.



Al mejorar la infraestructura básica y promover el uso de energías renovables, el proyecto contribuye a un desarrollo urbano más resilientes, sostenible y menos contaminante.



Implementar un sistema de bombeo solar, al tratarse de energía limpia y renovable, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Naciones Unidas. *Acerca del agua y el saneamiento*. <https://www.ohchr.org/es/water-and-sanitation/about-water-and-sanitation>
- [2] Corresponsables. (febrero, 2024). *Más de 673 mil personas mueren cada año por enfermedades debidas a la falta de acceso a agua potable, saneamiento e higiene*. <https://www.corresponsables.com/actualidad/mas-673000-personas-mueren-por-ano-falta-acceso-agua-potable-saneamiento-higiene/>
- [3] Banco Mundial. (Julio, 2023). *Agua*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview>
- [4] WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply, Sanitation and Hygiene (JMP) (2024)
- [5] Plataforma del estado peruano. *Información general del Perú*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1893016/Informaci%C3%B3n%20general.pdf>. pdf
- [6] <https://es.vecteezy.com/arte-vectorial/7491067-portugal-mapa-enfoque-aislado-mundo-mapa-aislado-sobre-fondo-blanco-vector-ilustracion>
- [7] Wikipedia. *Geografía del Perú*. [https://es.wikipedia.org/wiki/Geograf%C3%ADa\\_del\\_Per%C3%BA](https://es.wikipedia.org/wiki/Geograf%C3%ADa_del_Per%C3%BA)
- [8] <https://www.istockphoto.com/es/vector/ilustraci%C3%B3n-aislada-vectorial-del-mapa-administrativo-simplificado-del-per%C3%BA-gm1163061061-319242125>
- [9] INEI, 2020. *Estado de la población peruana*. [https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1743/Libro.pdf](https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1743/Libro.pdf)

- [10] Gobierno de Perú, MIDAGRI. *Clima*. <https://www.midagri.gob.pe/portal/datero/53sector-agrario/el-clima>
- [11] Banco Mundial. (Junio 2023). *Perú Acciones Estratégicas para la Seguridad Hídrica*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/publication/peru-strategic-actions-toward-water-security>
- [12] Climate Data. Andahuylillas. <https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/cuzco/andahuaylillas-294853/>
- [13] Our World in Data. *Energy Mix*. <https://ourworldindata.org/energy-mix>
- [14] FRI ESAN. (Diciembre 2023). *Aspectos relevantes en la estructuración de la matriz energética del Perú*. <https://www.linkedin.com/pulse/aspectos-relevantes-en-la-estructuraci%C3%B3n-de-matriz-energ%C3%A9tica-maufc/>
- [15] Our World in Data. *Peru: Energy Country Profile*. <https://ourworldindata.org/energy/country/peru>
- [16] Gobierno de Perú. <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/2%20Cifras%20preliminares%20del%20Sector%20Elctrico%20-Febrero%202023a%20Rev5.pdf>
- [17] Ojo Público. (Septiembre 2023). *Perú sin una ruta clara hacia las energías renovables no convencionales*. <https://ojo-publico.com/ambiente/peru-sin-una-ruta-clara-hacia-las-energias-renovables>
- [18] Solarix. *Estructuras para placas solares*. <https://www.solarix.es/blog/estructuras-placas-solares-guia/>
- [19] Sotysolar. (Septiembre 2020). *Seguidores solares: todo lo que necesitas saber*. <https://sotysolar.es/placas-solares/seguidores-solares>

- [20] Tunergia. (Julio 2022). *Placas solares flotantes: Que son, ventajas, ejemplos y más.*  
<https://www.tunergeria.es/post/placas-solares-flotantes>
- [21] HydroLOGICA. *Lo que tienes que saber sobre bombas para pozo.*  
<https://hydrologica.com/es/lo-que-tienes-que-saber-sobre-bombas-para-pozo/>
- [22] Eddypump. *Lo que necesitas saber sobre las bombas sumergibles.*  
<https://eddyump.com/es/educacion/lo-que-necesita-saber-sobre-las-bombas-sumergibles>
- [23] EPS Sedacuso. (2018). *Memoria Anual.*  
<https://www.sedacusco.com/transparencia/memoria/2018.pdf>
- [24] Acción Contra el Hambre Internacional. (marzo 2019). *Pautas para el diseño del sistema eléctrico en la instalación de bombas solares.*
- [25] Topographic-map. *Mapa topográfico Altura.* <https://es-es.topographic-map.com/map-3d214/Altura/>
- [26] Autosolar. <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/diferencias-entre-silicio-monocristalino-y-multicristalino-o-policristalino> )

## 12. ANEXO

En este último capítulo, se incluyen anexos de algunos de los elementos y dispositivos incluidos en el sistema de bombeo.

## 12.1 FICHA TÉCNICA TUBERÍA PPR (REPOLEN)

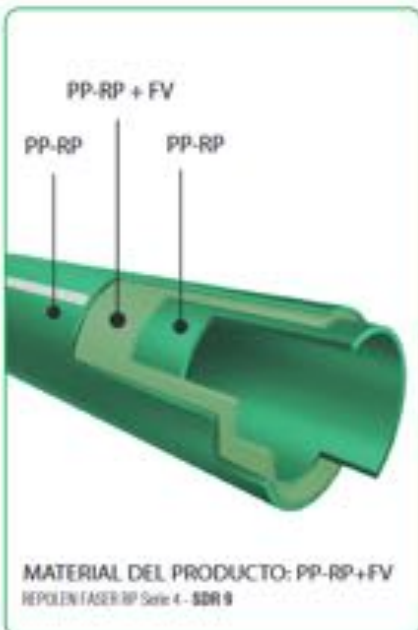
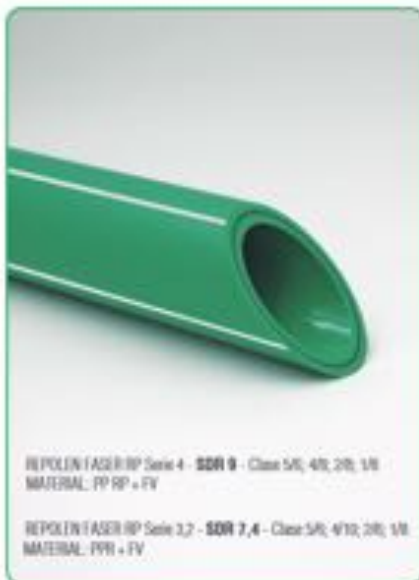
### FICHA TÉCNICA TECHNICAL SHEET



Tuberías PPR interior 

TUBERÍA REPOLEN FASER RP

Dim: 20 - 160 mm



#### DESCRIPCIÓN

Tubos de Polipropileno Random con estructura cristalina modificada y fibra de vidrio PP-R RP, SERIE 4 - SDR 9 para instalaciones de agua caliente y fría en el interior de la estructura de los edificios.



#### NORMATIVA

El Sistema socket de tuberías de PPR REPOLEN cumple las siguientes normas:

- **UNE EN 15874:** Sistema de canalización en materiales plásticos para instalaciones de agua caliente y fría. Polipropileno (PP).
- **DIN 8077:** Tuberías de polipropileno. Dimensiones.
- **DIN 8078:** Tuberías de polipropileno. Requerimientos generales de calidad y prueba.
- **RP 001.78:** Reglamento particular del Certificado de Conformidad AENOR para sistemas de canalización en Polipropileno Random con estructura PP-RCT y FV.
- **UNE EN ISO 21003:** Sistemas de canalización multicapa para instalaciones de agua caliente y fría en el interior de edificios.
- **RD 140 / 2003:** Establece criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MATERIAL

Material	PPRCT + FV
Densidad	905 kg/m <sup>3</sup> según ISO 1183
Índice de flujo en masa	0,3 g/10 min según ISO 1133
Coefficiente de dilatación térmica lineal	0,025 mm/m °C
Módulo de elasticidad	900 MPa según ISO 527
Coefficiente de conductividad térmica	0,15 w/mK según DIN 52612

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PRODUCTO

Material	PP-RP/PP-RP+FV/PP-RP
Color	Verde con 4 franjas blancas
Retracción longitudinal	≤ 2%
Resistencia al impacto método escalera	Sin rotura < 0,5 m
Contenido en fibra de vidrio	18% en la capa intermedia 6% en el total
Opaco	Si
Resistencia química y bacteriana	Si
Característica especial RP	Elevada resistencia a la presión
Resistencia a la presión interna	
25°C 1h 15MPa	Sin roturas
95°C 22h 4,2MPa	Sin roturas
95°C 165h 4MPa	Sin roturas
95°C 1000h 3,6MPa	Sin roturas
Estabilidad térmica mediante ensayo de presión	
110°C 8760h 2,6MPa	Sin roturas

## TUBERÍA REPOLEN FASER RP

SERIE 3.2 - SOR 7.4

SERIE 4 - SOR 9

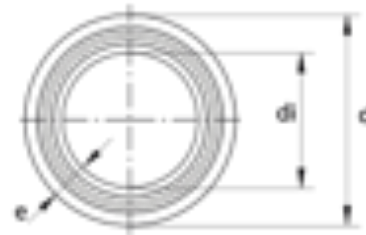
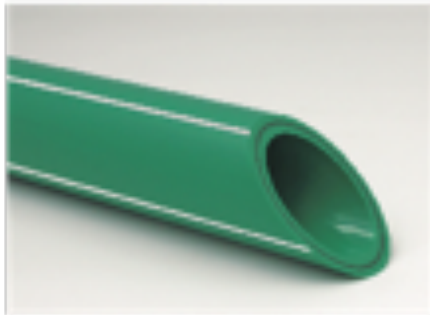
### SISTEMAS DE UNIÓN

Terminación socket, electrosoldadura, soldadura a tope...

### APLICACIONES

Conducción de agua fría, conducción agua caliente (ACS), calefacción por radiadores, climatización circuito de frío y de calor, sales de caldera, piscinas, transporte de fluidos industriales, sistemas de bombeo inversa, aire comprimido, frío industrial...

### DIMENSIONES



\* FASER RP 55.2 SOR 7.4 clases de aplicación / presión de diseño: 5/6, 4/5, 3/4, 1/4

Código	Estado exterior (mm Ø)	Estado interior (mm Ø)	Espesor (mm)	Espesor capa FI (mm)	Peso (kg/m)	Capacidad (lit)
--------	------------------------	------------------------	--------------	----------------------	-------------	-----------------

400200005	26	14,6	2,8	>= 0,700	0,166	0,160
400200006	28	16,2	3,5	>= 0,875	0,236	0,234

FASER RP 54 SOR 9 clases de aplicación / presión de diseño: 5/6, 4/5, 2/3, 1/3

Código	Estado exterior (mm Ø)	Estado interior (mm Ø)	Espesor (mm)	Espesor capa FI (mm)	Peso (kg/m)	Capacidad (lit)
--------	------------------------	------------------------	--------------	----------------------	-------------	-----------------

400200006	32	24,8	3,8	>= 0,900	0,326	0,483
400200004	40	31,0	4,5	>= 1,125	0,611	0,766
400200009	50	38,8	5,8	>= 1,400	0,791	1,182
400200010	60	48,8	7,1	>= 1,775	1,261	1,870
400200011	75	58,2	8,4	>= 2,100	1,711	2,680
400200012	90	68,8	10,1	>= 2,525	2,603	3,806
400200013	110	85,4	12,3	>= 3,075	3,789	5,729
400200014	125	97,0	14,0	>= 3,600	4,896	7,360
400200016	160	124,2	17,9	>= 4,475	7,987	12,116

\*\* Estado del tubo REPOLEN 16000 57 1000 1,2 1000 1,6 1016 1,75 6 + 15 1,75 6

### PRESIONES CON 50 AÑOS DE FUNCIONAMIENTO: CIRCUITO CERRADO (SEGÚN DIN 8077)

NOMINAL	5/6	4/5	3/4	2/3	1/3	1/4	
PPRc+FY (pie. 20-200 mm)	3,2	25,00	24,50	14,70	12,10	8,10	6,20
PPRcT+FY (pie. 20-160 mm)	4	26,70	23,10	14,00	12,20	10,20	8,80

\* Para otro funcionamiento ver 20 años.\*



## 12.2 FICHA TÉCNICA BOMBA VMS SULZER

### Bomba multietapa vertical VMS

**SULZER**

Gama de bombas centrífugas verticales, mono- o multi-etapa indicada para el bombeo independiente de agua limpia doméstica, urbana y de proceso, y para grupos de presión.

#### Aplicaciones

- La bomba VMS está diseñada para un funcionamiento fiable en una gran variedad de aplicaciones, como son:
- Suministro de agua potable doméstica y urbana.
- Industrias alimentarias, de productos químicos y de proceso.
- Recirculación en aplicaciones de agua caliente y refrigeración.
- Sistemas de extinción de incendios.
- Instalaciones de limpieza y lavado.

Allowable temperature range of the medium is -20 - +140 °C (VMS 125 @ PN16 max. +80 °C, VMS 125 @ PN25 max. +120 °C, VMS H 6: -15 - +80 °C) .

#### Certificación para uso con agua potable

Su construcción en acero inoxidable 1.4301 ó 1.4401, conforme a las certificaciones WRAS, ACS y NSF, permite su utilización para el bombeo de agua potable.

#### Motor

Motores de inducción AC, de jaula de ardilla, encapsulados TEFC, trifásicos y monofásicos, 50 Hz, de 2 y 4 polos. Rendimiento del motor ( $\geq 0.75$  kW): IE2 ó IE3 en función del modelo seleccionado.

**Clase de aislamiento:** F

**Tipo de protección:** IP 55

**Clase de incremento de temperatura:** B

**Clase de servicio:** S1 (máximo 20 arranques por hora)

**Nivel de ruido:** conforme a IEC 60034-9

#### Rodamientos

Rodamientos lubricados por el líquido bombeado, carburo de tungsteno/cerámica.

#### Control de la temperatura

> 2,2 kW estándar con 3 x PTC.

#### Conexiones hidráulicas

Opciones de rosca exterior con válvula de retención integrada, contrabrida, brida victaulica, 'Triclamp' o redonda, en acero inoxidable 1.4301 ó 1.4401, para clases de presión PN 10, 25 ó 40.

#### Cierre mecánico

Configuraciones de sellado: fijo, 'easy access' o cartucho, para adaptarse a la aplicación y al punto de operación específicos de la bomba.

Componente del cierre	Materiales y opciones
Material de construcción	Acero inoxidable CrNiMo (1.4571)
Material del muelle	Acero inoxidable CrNiMo (1.4571)
Material de las caras	Grafito de carbono impregnado con antimonio Grafito de carbono impregnado con resina SiC, carburo de silicio, sinterizado Carburo de tungsteno, NiCrMo-binder
Elastómeros	Caucho etileno-propileno (EPDM) Caucho fluorocarbono (FKM) Caucho de nitrilo hidrogenado (HNBR)



#### Características

- Construcción modular que ofrece una amplia variedad de materiales, cierres mecánicos, conectores, motores, etc.
- Fácil acceso para tareas de mantenimiento, incluso sin necesidad de desmontar la bomba o el motor, ni el uso de herramientas especiales.
- Distintas opciones de bases, conexiones y cierres mecánicos.
- La base y la hidráulica en acero inoxidable garantizan la conservación de la calidad del agua durante su bombeo.
- Base y aspiración de la bomba especialmente diseñadas para favorecer unas condiciones favorables de paso del fluido, consiguiendo un elevado rendimiento energético y una larga vida útil.
- Distintos orificios para purga y drenaje en aspiración negativa, así como para medición de la presión de aspiración y descarga.
- Configuración de aspiración y descarga en línea para facilitar la instalación.

#### Datos de funcionamiento

Descripción	Rango
Temperatura ambiente [°C]	-20 hasta +40
Presión de entrada mínima	$NPSH_{req} + 1$ m
Viscosidad [cSt]	1-100
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1000 - 2500
Refrigeración	Refrigeración por ventilación forzada
Frecuencia mínima [Hz]	30
Frecuencia máxima [Hz]	60
Tamaño de sólidos bombeados	5 µm to 1 mm
Altura (H)	3 - 254 mwc (VMS H 6 = 400 m)
Caudal (Q)	0.2 - 160 m <sup>3</sup> /h

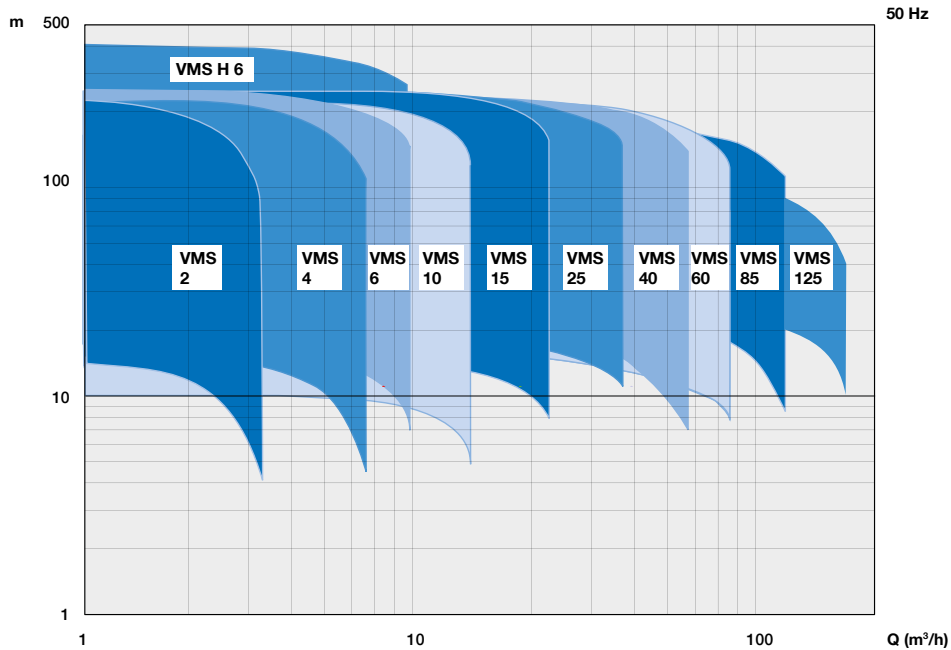
**Datos técnicos (50 Hz)**

	VMS 2	VMS 4	VMS 6	VMS H 6	VMS 10 2P	VMS 10 4P	VMS 15 2P	VMS 15 4P	VMS 25 2P
Rango de caudales [m <sup>3</sup> /h]	0,2 - 3,3	0,4 - 6,5	0,6 - 9	0,6 - 8,6	1,0 - 13,2	0,5 - 6,6	1,8 - 22,5	1,8 - 11,3	2,8 - 35
Caudal nominal a Q <sub>opt</sub> [m <sup>3</sup> /h]	1,9	4	6,3	6,5	10	5	19,7	9,1	28
Presión nominal	PN 10 - 25 - 40								
Presión máx. bombeo [m]	229	234	256	402	239	58	259	65	246
Presión máxima a Q <sub>opt</sub> [m]	187	193	200	325	179	43	198	51	185
NPSH a Q <sub>opt</sub> [m]	2,2	1,2	1,2	2,0	1,2	0,9	1,8	4,2	3,0
Rendimiento máximo	54 %	62 %	68 %	60 %	68 %	68 %	73 %	66 %	77 %

	VMS 25 4P	VMS 40 2P	VMS 40 4P	VMS 60 2P	VMS 60 4P	VMS 85	VMS 85 4P	VMS 125
Rango de caudales [m <sup>3</sup> /h]	1,4 - 17,5	4 - 54	2 - 27	6 - 76	3 - 38	8,5 - 112,8	4,3 - 54	13,1 - 162
Caudal nominal a Q <sub>opt</sub> [m <sup>3</sup> /h]	14	40	19	54	26,5	85,7	40,0	125,0
Presión nominal	PN 10 - 25 - 40							
Presión máx. bombeo [m]	59	239	59	251	71	176	42	128
Presión máxima a Q <sub>opt</sub> [m]	45	194	50	193	55	132	33	88
NPSH a Q <sub>opt</sub> [m]	0,8	2,5	0,6	2,7	0,7	2,2	0,6	5,0
Rendimiento máximo	77 %	76 %	76 %	78 %	78 %	79 %	79 %	80 %

**Rango de trabajo**



www.sulzer.com  
es (12.12.2022). Copyright © Sulzer Ltd 2022  
Este documento no constituye ni proporciona ningún tipo de garantía. Contacte con nosotros si desea información sobre las garantías de nuestros productos.  
Las instrucciones de seguridad y uso se facilitan por separado. Toda la información contenida en este documento está sujeta a cambios sin previo aviso.

## 12.3 GRIFO



Ref: 19493254  
**Flotador guías boya esférica ORFESA 1/2 R.6**  
★★★★★ 6 opiniones

Envío gratis en pedidos +35€

**9.99 €**

Ver condiciones envío estándar GRATIS +35€

Vendido y enviado por LEROY MERLIN

Cantidad:

En 28223 Pozuelo de Alarcón

**Compra en tienda**  
Disponibles bajo pedido en Majadahenda  
[Selecciona esta u otra tienda](#)

**Compra online**  
Recogida en tienda entre 1 y 3 días laborables GRATIS en Majadahenda

**3**  
Años

Flotador guías para boya esférica de 1 a 2 milímetros de diámetro y R 6/100 a granel.

Tipo de producto	Flotador
Marca del producto	ORFESA
Composición del equipamiento	Guía roscada
Altura (en cm)	3
Modelo comercial	R 6
Garantía del proveedor (en años)	3

Todos los productos vendidos por Leroy Merlin y por otros vendedores tienen una garantía de tres años a partir de la fecha de compra.

Encontrará las condiciones y las modalidades de uso en las condiciones generales de nuestro sitio web, en la entrada de nuestras tiendas Leroy Merlin o en la página de cada vendedor en el caso de los artículos señalados con la leyenda «Vendido por».

## 12.4 FICHA TÉCNICA VÁLVULA ANTIRRETORNO



Ref: 84534061  
**Válvula retencion 1"**  
★★★★★ 3 opiniones  
Envío gratis en pedidos +35€  
**6.20 €**  
Ver condiciones envío estándar GRATIS +35€  
Vendido y enviado por LEROY MERLIN

Cantidad:

En 28223 Pozuelo de Alarcón

- Compra en tienda
  - 3 en stock en Majadahonda
  - Selecciona esta u otra tienda
- Compra online
  - Recogida en 2 h en tienda GRATIS en Majadahonda

### Características

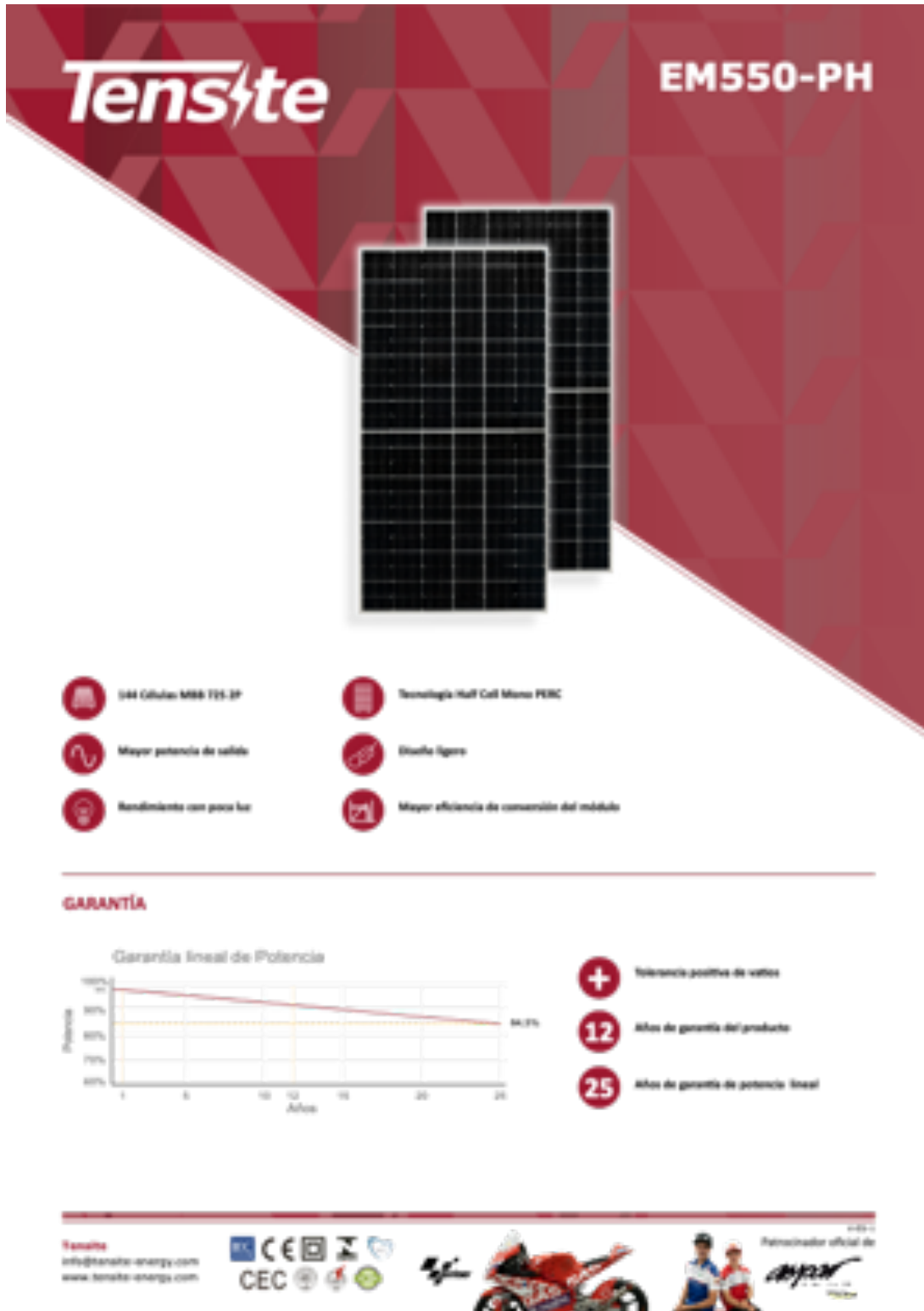


Válvula de retención ligera pn16 con obturador fabricado en plástico H-H de 1". Ofrece 3 años de garantía.

Roscado de entrada (en pulgada)	1
Roscado de salida (en pulgada)	1
Material principal	Latón
Tratamiento del cuerpo	En bruto
Longitud (en mm)	56
Acabado del producto	De latón
Tipo de producto	Válvula de retención
Garantía del proveedor (en años)	3

Todos los productos vendidos por Leroy Merlin y por otros vendedores tienen una garantía de tres años a partir de la fecha de compra.  
Encontrará las condiciones y las modalidades de uso en las condiciones generales de nuestro sitio web, en la entrada de nuestras tiendas Leroy Merlin o en la página de cada vendedor en el caso de los artículos señalados con la leyenda «Vendido por».

## 12.5 FICHA TÉCNICA PLACA 550W MONOCRISTALINO (TENSITE)



**Tensite** EM550-PH

144 Células MBB TES-SP

Mayor potencia de salida

Rendimiento con poca luz

Tecnología Half Cell Mono PERC

Diseño ligero

Mayor eficiencia de conversión del módulo

**GARANTÍA**

Garantía lineal de potencia

100%  
90%  
80%  
70%  
60%

0 5 10 15 20 25

Años

94.2%

+ Tolerancia positiva de vatios

12 Años de garantía del producto

25 Años de garantía de potencia lineal

Tensite  
info@tensite-energy.com  
www.tensite-energy.com

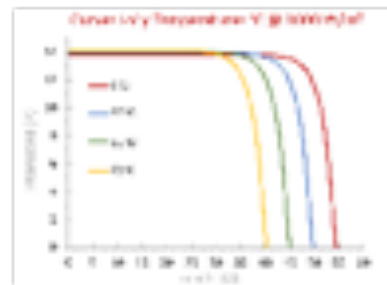
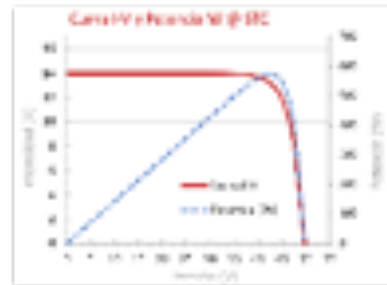
CEC

Patrocinador oficial de



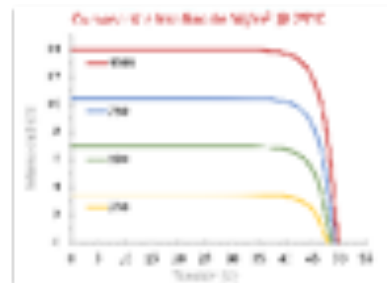
Datos Eléctricos ETC		EM550-PH
Tipo de módulo	550W half cell Mono PERC	
Máxima potencia (P <sub>max</sub> )	550 Wp	
Corriente de potencia máxima (I <sub>sc</sub> )	11,11 A	
Voltaje de potencia máxima (V <sub>mp</sub> )	41,95 V	
Corriente de cortocircuito (I <sub>cc</sub> )	11,98 A	
Voltaje de circuito abierto (V <sub>oc</sub> )	46,80 V	
Eficiencia del módulo	20%	
Fusible de serie máxima	25 A	
Número de Diodos	3	
Tolerancia positiva de potencia	0-0%	
Condiciones de prueba estándar	1.000 W/m <sup>2</sup> , 20 °C, AM 1.5	
Voltaje máximo del sistema DC	1.500 V	
Coefficiente de temperatura I <sub>sc</sub>	0,046% / °C	
Coefficiente de temperatura V <sub>oc</sub>	-0,270% / °C	
Coefficiente de temperatura P <sub>max</sub>	-0,350% / °C	
Rango temperatura funcionamiento	-40°C / +85°C	
Temperatura operación célula (T <sub>0</sub> DC)	49°C ±2	
Capacidad carga frontal del módulo	5.400 Pa (IEC61215 (new))	
Capacidad carga trasera del módulo	2.400 Pa (IEC61215 (new))	

\*Condiciones estándar de prueba ETC: irradiancia 1.000 W/m<sup>2</sup>, ángulo 40°, célula a 25°C.

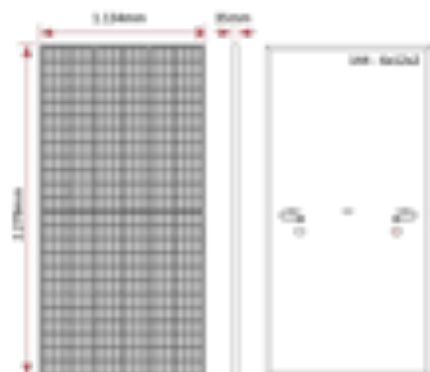


Valores en condiciones T0DC**	
Potencia máxima T0DC (P <sub>max</sub> )	434 W
Voltaje de potencia máxima (V <sub>mp</sub> T0DC)	39,83 V
Corriente de potencia máxima (I <sub>sc</sub> T0DC)	10,11 A
Voltaje de circuito abierto (V <sub>oc</sub> T0DC)	46,80 V
Corriente de cortocircuito (I <sub>cc</sub> T0DC)	11,11 A

\*\*Condiciones T0DC: irradiancia de 800 W/m<sup>2</sup>, AM1.5, temperatura ambiente 25°C, ángulo de 40°.



Características mecánicas	
Cubierta frontal (material/espesor)	Módulo templado / 3,2mm
Peso del módulo	27,2 kg
Dimensiones del módulo (L / W / H)	2.179 x 1.134 x 35mm
Lamina de protección posterior	TPT en blanco
Células (cantidad/material)	144 (6x12x2) / Silicio mono
Marco (material/color)	Aluminio anodizado / Plata
Grado protección-caja de conexiones	3 IP68
Cables y conectores	4mm <sup>2</sup> , long. 3.400mm
Clasificación de calidad	Clase A
Clase de protección eléctrica	Clase II
Clase de seguridad contra incendios	Clase C



## 12.6 FICHA TÉCNICA PLACA INVERSOR GRUNDFOS

Producto	RSI 3x380-440V IP66 11kW 23A	<b>Instalación</b>	
Código	99044363	Rango de temperaturas ambientes	-10 .. 60 °C
Número EAN	5712605678687	Humedad relativa	100 %
Precio	EUR 3651		
<b>Técnico</b>		<b>Datos eléctricos</b>	
Homologaciones y marcado	CE	Potencia nominal - P2	11 kW
		Frecuencia de red	50 / 60 Hz
		Tensión nominal	3 x 380 - 440 V
		Grado de protección (IEC 34-5)	IP66
		Tensión nominal salida AC	380 V
		Tensión entrada CC	800 V
		Corriente nominal salida AC	23 A
		Udc	400 V
		<b>Otros</b>	
		Peso neto	14.9 kg
		Peso bruto	16.3 kg
		País de origen.	IT
		Tarifa personalizada n.º	85044086