



MÁSTER EN INGENIERÍA EN INDUSTRIAL

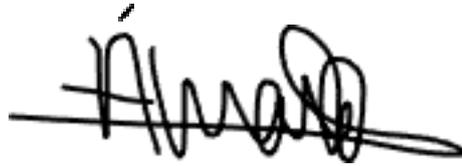
TRABAJO FIN DE MÁSTER INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES EN UNA GRANJA LECHERA EN PERÚ

Autor: Álvaro Chapela Ureña
Director: Álvaro Guzmán Zotes Orcajo

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES EN UNA GRANJA LECHERA EN 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.: Álvaro Chapela Ureña

Fecha: 28/08/2024

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Álvaro Guzmán Zotes Orcajo

Fecha: 31/08/2024

Agradecimientos

Agradecimientos a todas las personas que me han ayudado a llegar hasta aquí.

INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES EN UNA GRANJA LECHERA EN PERÚ

Autor: Chapela Ureña, Álvaro.

Director: Zotes Orcajo, Álvaro Guzmán.

Entidad Colaboradora: ICAI-Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

El proyecto consiste en el diseño y dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para una granja productora de leche en Andahuaylillas, Perú. Se realizará un análisis detallado de la demanda energética, selección de componentes adecuados y un estudio de viabilidad económica que garanticen el correcto funcionamiento de la planta fotovoltaica.

Palabras clave: Energía solar, fotovoltaica, granja, baterías, sostenibilidad, energía renovables, dimensionamiento de sistemas.

1. Introducción

El presente proyecto de energía fotovoltaica tiene como objetivo el diseño y dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para una granja lechera ubicada en el área rural de Perú, más concretamente, en el poblado de Andahuaylillas. Esta iniciativa busca aprovechar la alta irradiación solar de la zona para reducir la dependencia de las fuentes de energía convencionales, promover la sostenibilidad y mejorar la eficiencia energética de la granja. El proyecto se enmarca en una colaboración con la asociación Comillas Solidaria, subrayando el compromiso con el desarrollo sostenible y el apoyo a comunidades rurales desfavorecidas.

2. Definición del proyecto

El proyecto trata de un sistema fotovoltaico aislado que pretende proporcionar la energía suficiente para que la granja lechera opere de manera independiente de la red eléctrica. Para la realización se incluye el diseño del sistema desde la selección de los paneles solares, inversores y baterías hasta un análisis de la producción de la instalación y su viabilidad económica. La región de Andahuaylillas es ideal para este tipo de proyectos debido a su alta exposición a la radiación solar, lo que garantiza una producción energética eficiente.



Ilustración 1. Situación donde se va a llevar a cabo el proyecto

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

El sistema propuesto se compone de varios elementos clave: paneles solares monocristalinos, un inversor de alta eficiencia y un sistema de baterías de plomo-ácido para almacenar la energía. Se utilizarán 44 paneles TSM-NEG9R.25 de Trina Solar, dos inversores Quattro 15 kVA de Victron combinado con un sistema de 56 baterías de Rolls Battery. El diseño ha sido optimizado para asegurar que pueda manejar picos de demanda energética durante los meses de invierno, que es cuando la granja lechera tiene más necesidades energéticas.

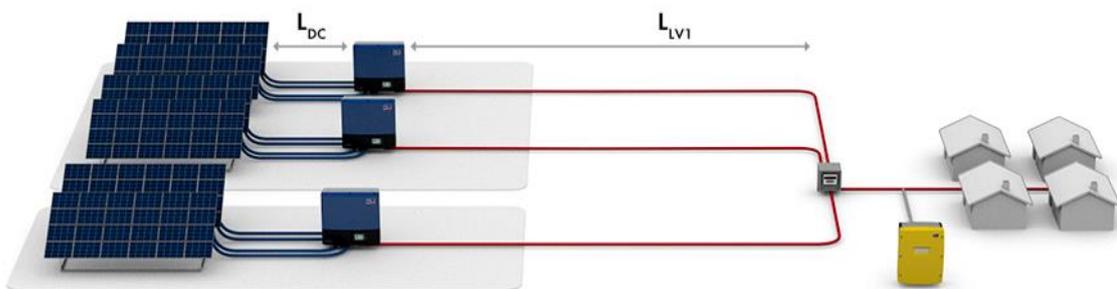


Ilustración 2 - Esquema del sistema

4. Resultados

La instalación propuesta se estima que producirá en el primer año 33.174 kWh, cubriendo con creces las necesidades energéticas de la granja con un margen de seguridad. Se espera que la vida útil del sistema sean unos 30 años, por lo que el sistema supondrá un ahorro significativo durante todos esos años de operación. Según el análisis económico realizado, se tardarán unos 10 años en rentabilizar la inversión.

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SoIFrac ratio
January	162.4	147.9	2464	352.3	39.12	2070	2109	0.982
February	149.2	140.8	2334	234.9	42.32	1863	1905	0.978
March	160.6	159.9	2668	504.3	0.00	2109	2109	1.001
April	152.4	160.2	2675	453.0	0.00	2041	2041	1.000
May	159.0	178.9	2989	716.4	0.00	2109	2109	1.001
June	148.5	171.3	2905	792.4	0.00	2041	2041	1.001
July	157.5	179.4	3040	691.1	0.00	2109	2109	1.001
August	164.0	178.4	2976	735.4	0.00	2109	2109	1.001
September	163.8	167.8	2822	643.3	0.00	2041	2041	1.001
October	176.1	170.5	2841	610.5	0.00	2109	2109	1.000
November	180.9	167.7	2843	662.7	0.00	2041	2041	1.001
December	174.5	157.3	2619	388.8	0.00	2109	2109	1.000
Year	1949.0	1980.1	33174	6785.1	81.45	24754	24835	0.997

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	E_User	Energy supplied to the user
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	E_Load	Energy need of the user (Load)
E_Avail	Available Solar Energy	SoIFrac	Solar fraction (EUsed / ELoad)
EUnused	Unused energy (battery full)		
E_Miss	Missing energy		

Ilustración 3 - Simulación de la instalación en un año

5. Conclusiones

El sistema fotovoltaico propuesto para la granja lechera de Andahuaylillas es técnicamente viable y económicamente rentable a largo plazo. La instalación busca lograr la autosuficiencia energética, minimizando la dependencia de la red eléctrica convencional. La producción de energía estimada no solo cubre la demanda anual de la granja, sino que también considera los picos de consumo durante todo el año. Se ha optado por un sistema aislado, con almacenamiento en baterías para garantizar un suministro constante, incluso durante los periodos de menor generación. Este proyecto podría servir como modelo para otros negocios y hogares en la región, promoviendo el uso de energía renovable.

INSTALLATION OF PV PLANT IN A DAIRY FARM IN PERU

Author: Chapela Ureña, Álvaro.

Supervisor: Zotes Orcajo, Álvaro Guzmán.

Collaborating Entity: ICAI-Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

The project involves the design and sizing of a photovoltaic system for a dairy farm in Andahuaylillas, Peru. A detailed analysis of the energy demand will be conducted, along with the selection of appropriate components and an economic feasibility study to ensure the proper functioning of the photovoltaic plant.

Keywords: Solar energy, photovoltaic, farm, batteries, sustainability, renewable energy, system sizing.

1. Introduction

The objective of this photovoltaic energy project is to design and size a photovoltaic system for a dairy farm located in the rural area of Peru, specifically in the town of Andahuaylillas. This initiative aims to harness the high solar irradiance of the region to reduce dependence on conventional energy sources, promote sustainability, and improve the farm's energy efficiency. The project is part of a collaboration with the Comillas Solidaria association, underscoring the commitment to sustainable development and supporting disadvantaged rural communities.

2. Project definition

The project involves an off-grid photovoltaic system intended to provide sufficient energy for the dairy farm to operate independently from the electrical grid. The implementation includes the design of the system, from the selection of solar panels, inverters, and batteries to an analysis of the installation's energy production and its economic feasibility. The region of Andahuaylillas is ideal for such projects due to its high exposure to solar radiation, ensuring efficient energy production.



Ilustración 4. Project's exact location

3. System description

The proposed system consists of several key components: monocrystalline solar panels, a high-efficiency inverter, and a lead-acid battery system for energy storage. The setup will include 44 TSM-NEG9R.25 panels from Trina Solar, two 15 kVA Quattro inverters from Victron, combined with a system of 56 batteries from Rolls Battery. The design has been optimized to ensure it can handle peak energy demand during the winter months, when the dairy farm has the highest energy needs.

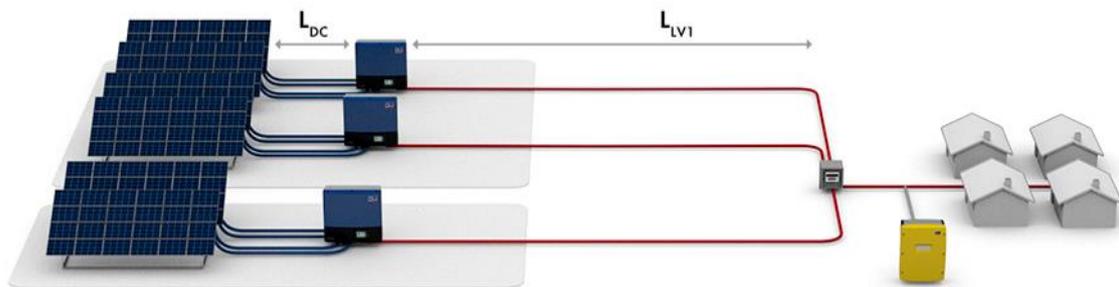


Ilustración 5 – System architecture

4. Results

The proposed installation is estimated to produce 33,174 kWh in the first year, more than adequately covering the farm's energy needs with a safety margin. The system is expected to have a lifespan of around 30 years, resulting in significant savings throughout its operational life. According to the economic analysis conducted, it will take approximately 10 years to recoup the investment.

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	162.4	147.9	2464	352.3	39.12	2070	2109	0.982
February	149.2	140.8	2334	234.9	42.32	1863	1905	0.978
March	160.6	159.9	2668	504.3	0.00	2109	2109	1.001
April	152.4	160.2	2675	453.0	0.00	2041	2041	1.000
May	159.0	178.9	2989	716.4	0.00	2109	2109	1.001
June	148.5	171.3	2905	792.4	0.00	2041	2041	1.001
July	157.5	179.4	3040	691.1	0.00	2109	2109	1.001
August	164.0	178.4	2976	735.4	0.00	2109	2109	1.001
September	163.8	167.8	2822	643.3	0.00	2041	2041	1.001
October	176.1	170.5	2841	610.5	0.00	2109	2109	1.000
November	180.9	167.7	2843	662.7	0.00	2041	2041	1.001
December	174.5	157.3	2619	388.8	0.00	2109	2109	1.000
Year	1949.0	1980.1	33174	6785.1	81.45	24754	24835	0.997

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	E_User	Energy supplied to the user
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	E_Load	Energy need of the user (Load)
E_Avail	Available Solar Energy	SolFrac	Solar fraction (EUsed / ELoad)
EUnused	Unused energy (battery full)		
E_Miss	Missing energy		

Ilustración 6 – Simulation of the system in one year

5. Conclusions

The proposed photovoltaic system for the dairy farm in Andahuaylillas is technically viable and economically profitable in the long term. The installation aims to achieve energy self-sufficiency, minimizing dependence on the conventional electrical grid. The estimated energy production not only meets the farm's annual demand but also accounts for peak consumption throughout the year. An off-grid system was chosen, with energy storage in batteries to ensure a constant supply, even during periods of lower generation. This project could serve as a model for other businesses and households in the region, promoting the use of renewable energy.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	71.1	Motivación del proyecto	71.2	Objetivo del proyecto
	81.3	Metodología	8	Capítulo 2. Contexto
	112.2	Contexto histórico, población y sociedad	122.3	Economía
Energética en Perú	13	Capítulo 3. Energía Renovable y Solar	153.1	Energía
renovable	153.2	Energía renovable en Perú	163.3	Energía solar
<i>solar Térmica</i>	183.3.2	<i>Energía solar fotovoltaica</i>	193.4	Sistema fotovoltaico
<i>Paneles Solares</i>	213.4.2	<i>Sistema de almacenamiento de energía</i>	243.4.3	<i>Inversor</i>
<i>Regulador</i>	263.4.5	<i>Baterías</i>	263.4.6	<i>Soportes</i>
fotovoltaicos	303.5.1	<i>Sistemas conectados a la red</i>	303.5.2	<i>Sistemas Aislados</i>
<i>Sistemas Híbridos</i>	313.5.4	<i>Decisión sobre el tipo de instalación</i>	32	Capítulo 4.
		Parámetros de la instalación solar	334.1	Radiación solar
			334.2	Irradiancia
			344.3	Geometría solar
			354.4	Inclinación y azimut del panel solar
			36	Capítulo 5.
			39	Dimensionamiento de la instalación
			395.1	Demanda energética de la granja
			395.1.1	<i>Estudio de consumos en invierno</i>
			415.1.2	<i>Estudio de consumos en verano</i>
			425.2	Resultados gráficos de estudio de consumos
			445.3	Conclusión
			45	Capítulo 6. Diseño de la instalación
			466.1	Cálculos necesarios
			466.1.1	
			466.1.2	<i>Cálculo de potencia pico (kWp)</i>
			476.2	Elección de elementos
			496.2.1	<i>Paneles solares</i>
			496.2.2	<i>Inversor</i>
			506.2.3	<i>Batería</i>
			536.2.4	
			546.2.5	<i>Cableado</i>
			556.3	Resumen de la instalación
			57	Capítulo 7. Simulación de la planta solar
			587.1	Orientación
			587.2	
			597.3	Elección de elementos de la instalación
			597.4	Informe de resultados
			607.5	Conclusiones de la simulación
			65	Capítulo 8. Viabilidad económica
			668.1	Costes iniciales
			668.2	Análisis económico
			678.3	Conclusión
			70	Capítulo 9. Conclusiones y Trabajos Futuros
			72	Capítulo 10.
			74	Bibliografía
			76	ANEXO I: Hojas de características de equipos
			76	Anexo II. Hojas de características PV
			83	

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de la región de Cusco y población de Andahuaylillas	10
Figura 2. Localización exacta granja lechera	11
Figura 3. Capacidad renovable en Perú. Fuente: IRENA	15
Figura 4. Capacidad renovable por tecnología en Perú. Fuente: IRENA	15
Figura 5. Consumo de energía renovable en Perú. Fuente: IRENA	16
Figura 6. Diferentes tipos de paneles solares.	17
Figura 7. Capacidad instalada de energía solar eléctrica [11]	18
Figura 8. Costes de generación de solar fotovoltaica	19
Figura 9. Componentes de un sistema fotovoltaico	20
Figura 10. Efecto fotoeléctrico en paneles solares. Fuente: SolarReviews [13]	21
Figura 11. Tipos de paneles solares. Fuente: Ecofener	22
Figura 12. Ejemplo de soporte fijo en tejado plano	28
Figura 13. Ejemplo de soporte móvil	29
Figura 14. Irradiancia y temperatura en Andahuaylillas en 2020-22. Fuente: NASA Power	33
Figura 15. Gráfica de datos irradiación	34
Figura 16. Geometría del sol	35
Figura 17. Inclinación y azimut solar. Fuente: Global Solar Atlas	36
Figura 18. Estudio de consumos en invierno y verano	43
Figura 19. Consumo de energía horario en invierno y verano	43
Figura 20. Orientación del sistema PV en PVSYST	58
Figura 21. Perfil de consumos en PVSYST	59
Figura 22. Elección de elementos en PVSYST	60
Figura 23. Resumen de resultados	60
Figura 24. Resultados económicos de la instalación	69

Índice de tablas

Tabla 1. Consumos granja lechera	39
Tabla 2. Estudio de consumos en invierno	40
Tabla 3. Resumen del estudio de consumos en invierno	41
Tabla 4. Estudio de consumos en verano	41
Tabla 5. Resumen de estudio de consumos en verano	42
Tabla 6. Comparativa paneles solares	48
Tabla 7. Comparativa de inversores	50
Tabla 8. Comparación de baterías	53
Tabla 9. Datos técnicos estructura soporte	54
Tabla 10. Datos cálculos sección de cable	55
Tabla 11. Resumen sistema fotovoltaico	56
Tabla 12. Presupuesto inicial de la instalación	65
Tabla 13. Producción del sistema fotovoltaico	66
Tabla 14. Proyección de producción energética en 30 años	67
Tabla 15. Análisis económico del sistema fotovoltaico	68

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

En el mundo actual en el que vivimos, las energías renovables han cobrado una importancia creciente en el contexto energético global ya que cada vez es más importante reducir la dependencia de combustibles fósiles y mitigar los efectos del cambio climático. En este esfuerzo por reducir el uso de combustibles fósiles en favor de la energía renovable, los países desarrollados llevan la delantera y Perú aún depende bastante de fuentes de energía convencionales. Es por eso por lo que se propone la instalación de energía solar fotovoltaica en esta granja lechera ya que ofrece una solución viable y sostenible para generar electricidad, especialmente en regiones con alta irradiación solar como Andahuaylillas, Perú.

Andahuaylillas, ubicada en la región de Cusco, presenta buenas condiciones para la implementación de paneles solares debido a su alta exposición a la radiación solar durante una buena parte del año. En esta región, la agricultura, y en particular láctea, juegan un papel importante en la economía de la región, además de que la integración de energía solar en la granja lechera tendrá un impacto positivo en el medio ambiente y la comunidad rural cercana.

Este proyecto también tiene un componente solidario, ya que se colabora con la asociación Comillas Solidaria, iniciativa de la Universidad Pontificia Comillas que busca promover proyectos de desarrollo sostenible en comunidades donde se presentan necesidades que se pueden complacer desde la ingeniería. Se busca proporcionar acceso a energía renovable en una zona rural que enfrenta desafíos significativos para acceder a tecnologías limpias y sostenibles.

La colaboración con Comillas Solidaria además de reforzar el compromiso con la sostenibilidad resalta la importancia de la solidaridad y la cooperación internacional para

avanzar en la implementación de energías renovables en lugares donde son necesarios. Este proyecto es un buen ejemplo de cómo las instituciones académicas junto con jóvenes dispuestos a causar un buen impacto en la sociedad pueden llegar a desempeñar un papel importante en el desarrollo sostenible de regiones desfavorecidas.

1.2 OBJETIVO DEL PROYECTO

El principal objetivo de este proyecto es diseñar e implementar un sistema de energía solar fotovoltaica en una granja lechera en la región montañosa de Andahuaylillas, Perú. Se pretende reducir la dependencia que la granja lechera tiene con las fuentes de energía tradicionales y ayudar al desarrollo energético con energías renovables para que la actividad económica local sea más sostenible y esté alineada con los avances tecnológicos actuales.

Aprovechando la alta irradiación solar de la región, se busca generar energía eléctrica con un sistema fotovoltaico, mejorando así la eficiencia energética de la granja y reduciendo su dependencia de la red eléctrica convencional con el consiguiente ahorro de costes que conlleva. Este proyecto marcará el camino para el uso de energías limpias en la economía local y servirá como modelo replicable para el resto de las comunidades rurales con difícil acceso a fuentes de energía renovables.

En última instancia, este proyecto pretende también demostrar como la ingeniería y la cooperación internacional pueden ser de gran ayuda a la misión del desarrollo sostenible y el acceso a fuentes de energías renovables en regiones más desfavorecidas.

1.3 METODOLOGÍA

El proyecto se va a llevar a cabo en distintas etapas, con la siguiente organización: En la primera etapa, se llevará a cabo un análisis del enclave en el que se va a realizar el proyecto, incluyendo la recopilación de datos geográficos, condiciones climáticas y datos relevantes para el diseño de una instalación fotovoltaica. También se llevarán a cabo reuniones y discusiones sobre las necesidades y expectativas del impacto del proyecto en la granja lechera para asegurarse que el diseño final cumple con las necesidades de la granja.

En la segunda etapa, se diseñará el sistema fotovoltaico a partir de la información recopilada. Este diseño incluye desde el dimensionamiento de la instalación fotovoltaica hasta la selección de los componentes del sistema, que son los paneles solares de alta eficiencia, baterías para almacenar la energía producida e inversores apropiados. Se realizarán también cálculos de eficiencia y rendimiento esperado para calcular los beneficios del sistema, junto con una evaluación de los costes y un presupuesto del proyecto.

En la siguiente etapa, se realizará un estudio económico para comprobar la viabilidad del proyecto. Este estudio comparará los costos iniciales de instalación con los ahorros proyectados en las facturas de la electricidad y los beneficios económicos que se obtengan a largo plazo para determinar si la inversión que se pretende realizar es rentable.

1.4 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

El proyecto se alinea con los siguientes objetivos de desarrollo sostenible (ODS):

1. **ODS 7 – Energía asequible y no contaminante:** Garantizar el acceso a energía limpia, asequible, segura, sostenible y moderna para todos. Este proyecto contribuye directamente al uso de energías renovables, reduciendo fuentes de energía contaminantes.
2. **ODS 9 – Industria, innovación e infraestructura:** Implementar tecnología innovadora como la energía solar en un entorno rural, fomentando la innovación en sectores menos desarrollados tecnológicamente.
3. **ODS 11 – Ciudades y comunidades sostenibles:** Aunque esta pequeña comunidad peruana no sea equiparable a una gran ciudad, implantar soluciones energéticas sostenibles contribuye a la adaptación de prácticas que mejoran la vida de los habitantes y reducen el impacto ambiental.
4. **ODS 12 – Producción y consumos responsables:** Este proyecto promueve formas de producir y consumir más sostenibles dentro del mundo agrícola mejorando la eficiencia de sus operaciones.

5. **ODS 13 – Acción por el clima:** Este proyecto también lucha contra el cambio climático ya que previene la emisión de gases de efecto invernadero o la utilización de energía basada en combustibles fósiles.

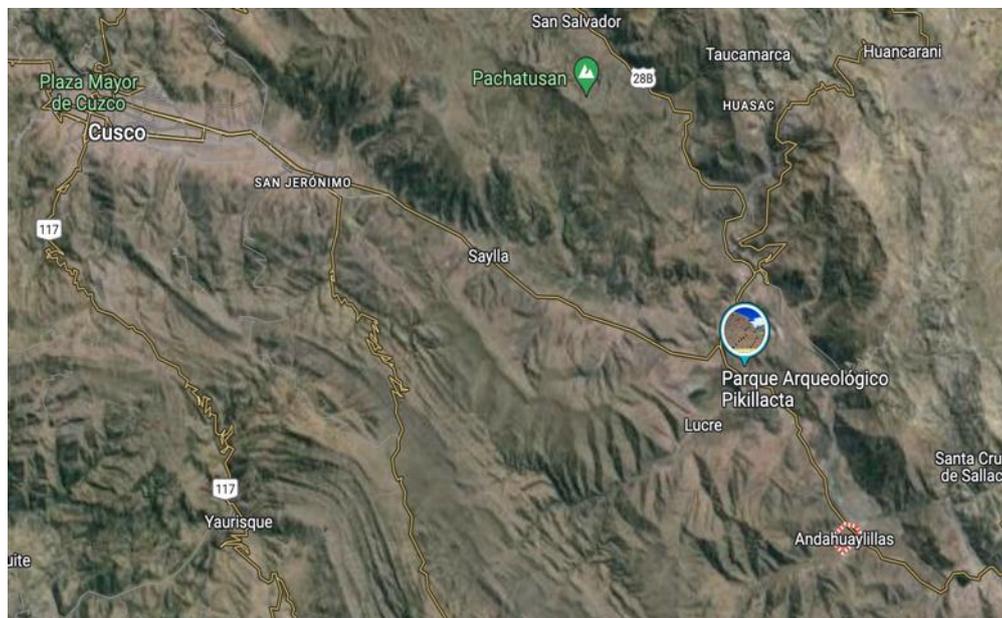
6. **ODS 17 – Alianzas para lograr los objetivos:** Aunque no es un objetivo directo de este proyecto, la exitosa realización de este puede resultar en fomentar colaboraciones entre diferentes actores.

Capítulo 2. CONTEXTO

2.1 REGIÓN/GEOGRAFÍA

Perú se caracteriza por ser un país poseedor de una gran biodiversidad y de una importante cantidad de recursos minerales. Gracias a estos recursos, Perú ha experimentado un gran crecimiento económico en las últimas décadas, pero, sin embargo, el país presenta todavía algún desafío a la hora de acceder a ciertos servicios básicos como puede ser la electricidad, sobre todo en zonas rurales.

El poblado de Andahuaylillas pertenece a la zona rural de la región de Cusco y se encuentra en un valle rodeado de montañas, con clima templado y semiseco. La región recibe una cantidad significativa de radiación solar durante todo el año, que junto con la altitud y las condiciones climáticas hacen viable la instalación de tecnologías solares. [1]



El proyecto se va a llevar a cabo en una granja lechera que suministra productos a la población de Andahuaylillas y alrededores. A continuación, se muestra la localización geográfica exacta de donde se va a llevar a cabo el proyecto.



Figura 2. Localización exacta granja lechera

2.2 CONTEXTO HISTÓRICO, POBLACIÓN Y SOCIEDAD

La República del Perú es un país con gran historia que abarca desde la civilización Inca hasta la colonización española en el siglo XVI y su independencia del imperio español en el año 1821. Cusco era la capital de la civilización Inca, que destacaba por sus grandes avances en materias como la agricultura o la arquitectura monumental, influyendo aún en la cultura y economía del país. Posteriormente, cuando Perú estaba bajo el imperio español, se convirtió en un centro importante de extracción de recursos naturales, en especial la plata. Esto estableció una estructura económica basada en la explotación de recursos naturales y la desigualdad social, persistiendo durante siglos.

Actualmente, la población peruana cuenta con más de 33 millones de habitantes, concentrada mayoritariamente en la costa y en la capital, Lima. Aunque también hay un núcleo de población peruana que reside en las zonas rurales de los Andes y la Amazonia, donde el acceso a servicios básicos como el agua y la electricidad sigue siendo limitado en algunos casos. El motor económico de estas áreas rurales es la agricultura y la ganadería, resultando

también importantes para la economía a nivel nacional, aunque tengan desafíos significativos por la falta de infraestructura adecuada.

La riqueza cultural de la sociedad peruana es ampliamente conocida gracias a sus tradiciones, festividades, gastronomía y artes. Sin embargo, también se enfrenta a retos importantes como la desigualdad económica y el difícil acceso a la educación y la sanidad. El gobierno está haciendo esfuerzos para mejorar las infraestructuras y servicios necesarios en zonas rurales, aunque siguen existiendo brechas significativas. Es por este motivo que la implementación de proyectos de energía renovable como los paneles solares en la granja lechera de Andahuaylillas brinda a la región una gran oportunidad de promover el desarrollo sostenible, mejorar la calidad de vida y contribuir a cerrar la brecha socioeconómica dentro del país.

2.3 ECONOMÍA

La economía de Perú es una de las más ricas de Latinoamérica, encadenando crecimiento sostenido en los últimos años siendo actualmente la número 50 del mundo por volumen de PIB. El sector servicios constituye el 59,9% del PIB peruano, seguido de la industria con un 32,7% y la agricultura con un 7,6%. Esta última se mantiene con cierta importancia debido a las exportaciones de productos. La economía está estrechamente vinculada a dichas exportaciones que son de gran importancia para financiar las importaciones y pagos de deuda externa. [2]

2.4 SITUACIÓN ENERGÉTICA EN PERÚ

Perú ha logrado grandes avances en el sector energético durante las últimas décadas, pero, aun así, sigue dependiendo en gran parte de fuentes tradicionales de energía. La Política Nacional de Energía de Perú tiene como principal objetivo conseguir diversificar la combinación energética del país destacando más las energías renovables y la eficiencia energética para satisfacer las necesidades energéticas del país a largo plazo.

Actualmente, la energía hidroeléctrica es la forma más importante de energía renovable representando el 57,85% de la energía eléctrica generada en 2020. Sin embargo, las energías renovables no convencionales (eólica y solar) no alcanzan el 6% en la matriz energética, aunque se espera que este tipo de energía renovable duplique su importancia en la combinación energética para 2026 y llegue al 15% para 2030.

La infraestructura energética en Perú está siendo mejorada, pero se enfrenta a desafíos en las zonas rurales. La red principal es el SEIN (Sistema Eléctrico Interconectado Nacional) que cubre algo más del 80% del país. Las áreas restantes, como es el caso de la región de Andahuaylillas, se encuentran cubiertas por los SA (Sistemas Aislados) que son de menor tamaño. Mientras que las áreas urbanas cuentan con prácticamente una cobertura total, las zonas rurales pueden encontrar problemas para acceder a una red eléctrica estable y fiable. Esto se debe mayoritariamente a dos motivos, las dificultades geográficas que complican extender la red eléctrica, y la baja densidad poblacional que hace la inversión en infraestructura menos atractivas para las compañías eléctricas. Es por ello por lo que muchas comunidades rurales dependen de fuentes de energía no convencionales.

Iniciativas gubernamentales y proyectos de energía solar, como el que se plantea para la región de Andahuaylillas, son cruciales para llevar la situación energética del país hacia un futuro más sostenible y equitativo para todos sus ciudadanos. [3]

Capítulo 3. ENERGÍA RENOVABLE Y SOLAR

3.1 ENERGÍA RENOVABLE

La energía renovable es un tipo de energía que deriva de fuentes naturales que se reponen antes de que se consuman. Este tipo de energía ha emergido como una solución crucial para enfrentar al gran desafío de la actualidad, el cambio climático y la dependencia de los combustibles fósiles. Algunos de los diferentes tipos de energía renovable son la solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica o biomasa.

Existen enormes beneficios en el uso de las energías renovables, como la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero pudiendo reducir así el impacto del cambio climático. También ayudan al crecimiento económico de los países ya que pueden reducir su dependencia de los combustibles fósiles, que en ciertas ocasiones tienen que importar de otros países y crean puestos de trabajo porque su implementación y mantenimiento requieren de mano de obra cualificada. Otro gran beneficio de las energías renovables es la prosperidad que trae a zonas en las que el acceso a la electricidad era complicado por costes o dificultad como pueden ser las zonas rurales, ya que es relativamente sencillo realizar instalaciones locales de energía renovable. [4]

La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) publica estadísticas sobre las energías renovables de manera anual. El reporte de 2024 indica que la capacidad de generación de energía renovable global es 3372 GW, experimentando un crecimiento del 84,36% desde 2014. Actualmente las energías renovables han creado 13,7 millones de puestos de trabajo a nivel mundial.

El crecimiento de las energías renovables a nivel mundial ha sido notable en los últimos años. Este impulso ha sido posible gracias a políticas favorables para la transición energética, disminución de costes en la tecnología debido a sus avances y a una mayor conciencia social sobre el cambio climático. En 2021, el 88% de la nueva capacidad de energía renovable instalada era eólica y solar. [5]

3.2 ENERGÍA RENOVABLE EN PERÚ

En la siguiente gráfica se muestra la capacidad de energía renovable en Perú, que ha experimentado un crecimiento sostenido en los últimos 10 años.

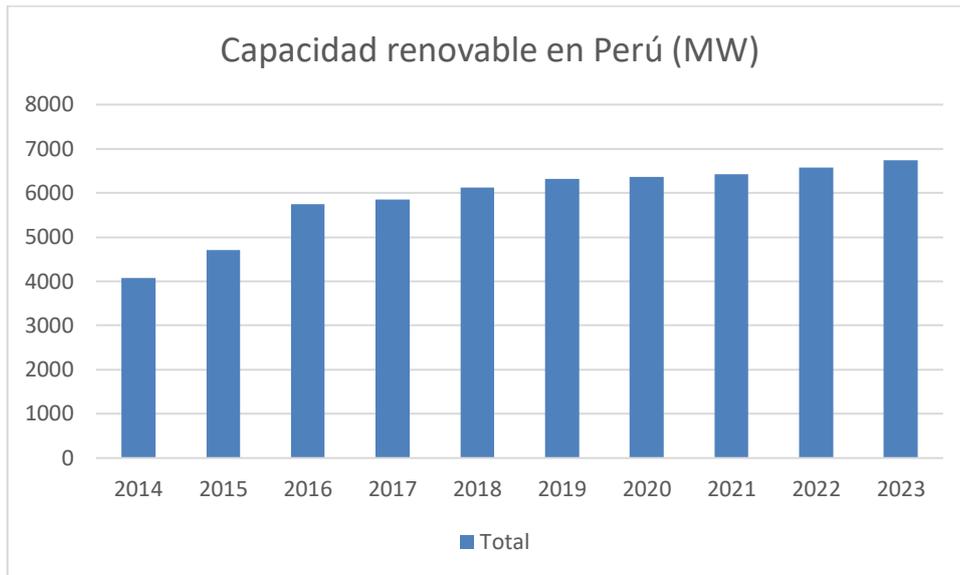


Figura 3. Capacidad renovable en Perú. Fuente: IRENA

En la siguiente gráfica se puede ver la capacidad distribuida por tecnología

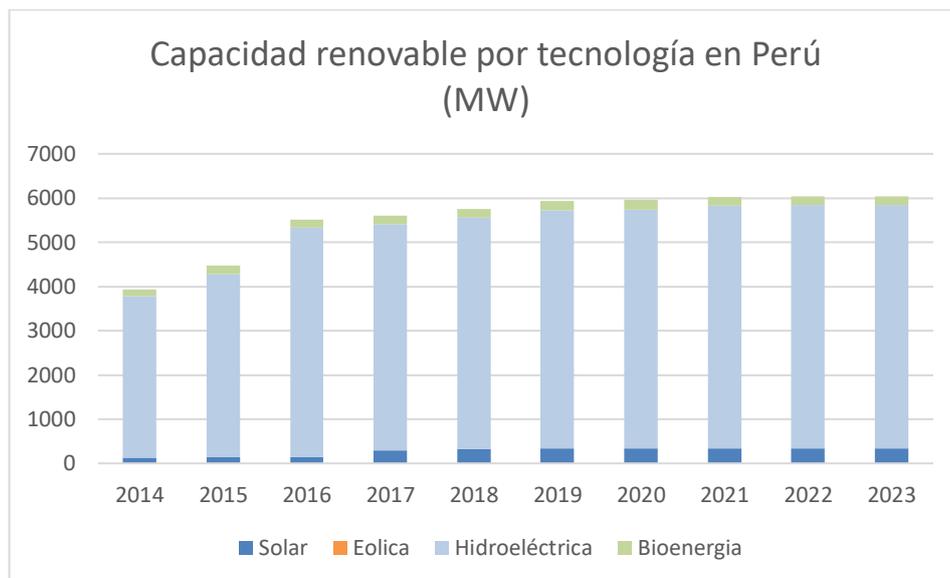


Figura 4. Capacidad renovable por tecnología en Perú. Fuente: IRENA

En la siguiente gráfica se encuentra el consumo de energía renovable por tecnología en Perú en 2022:

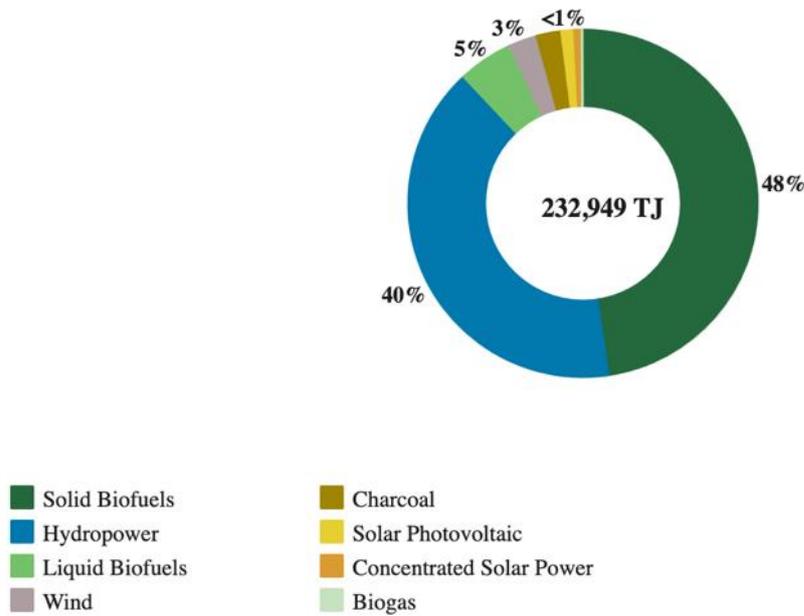


Figura 5. Consumo de energía renovable en Perú. Fuente: IRENA

3.3 ENERGÍA SOLAR

La energía solar es una de las fuentes de energía renovable más utilizadas en el mundo. Este tipo de energía renovable aprovecha la radiación del sol para generar electricidad o calor empleando paneles fotovoltaicos. Estos paneles captan la radiación solar y aprovechan su capacidad térmica para convertirla en electricidad, ofreciendo una solución sostenible y con un reducido impacto ambiental para satisfacer la demanda energética en el mundo.

Una de las principales ventajas de la tecnología solar, especialmente en los sistemas solares individuales, es su idoneidad para la electrificación de áreas aisladas que no están conectadas a la red eléctrica. Al aprovechar una fuente de energía gratuita, limpia e ilimitada como el sol, estas zonas pueden lograr independencia eléctrica ya que como el sol es una fuente de energía inagotable, su disponibilidad es prácticamente infinita. Además, la tecnología solar genera muy poca contaminación, las placas solares pueden ser instaladas en los tejados de

los edificios, lo que evita la contaminación del suelo, y no producen ruido ni tienen un impacto visual significativo. Al finalizar su vida útil, los paneles solares generan muy pocos residuos, ya que un 95% de sus componentes son reciclables.

Los dos tipos de energía solar más ampliamente utilizados son la energía solar fotovoltaica y la energía solar térmica.



Figura 6. Diferentes tipos de paneles solares.

En la figura 6, se muestran los paneles utilizados para cada una de las tecnologías. La placa de la izquierda corresponde a la energía solar fotovoltaica, mientras que la de la derecha es la utilizada en la energía solar térmica.

3.3.1 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

La energía solar térmica es un tipo de tecnología solar que utiliza la energía del sol para generar calor en lugar de electricidad. El calor generado tiene distintas aplicaciones domésticas, comerciales e industriales. Este calor se consigue capturando y concentrando la radiación solar mediante el uso de colectores solares térmicos, que están diseñados para absorber la mayor cantidad posible de energía solar y minimizar las pérdidas térmicas. Este sistema solar puede conseguir grandes niveles de eficiencia en sistemas de calefacción y calentamiento de agua.

Los componentes de un sistema de energía solar térmica son los colectores solares, el intercambiador de calor, los fluidos de transferencia de calor, el tanque de almacenamiento y el sistema de control.

3.3.2 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica es actualmente una de las tecnologías más ampliamente conocidas y utilizadas debido a su simplicidad, robustez y fiabilidad. Entre las virtudes de los sistemas fotovoltaicos se incluye su modularidad, pudiendo adaptarse a proyectos de todos los tamaños, ya que para aumentar la capacidad de generación basta con añadir más paneles.

La mayoría de los países tienen ya una considerable capacidad eléctrica instalada de energía renovable, siendo China la que más tiene por un amplio margen.

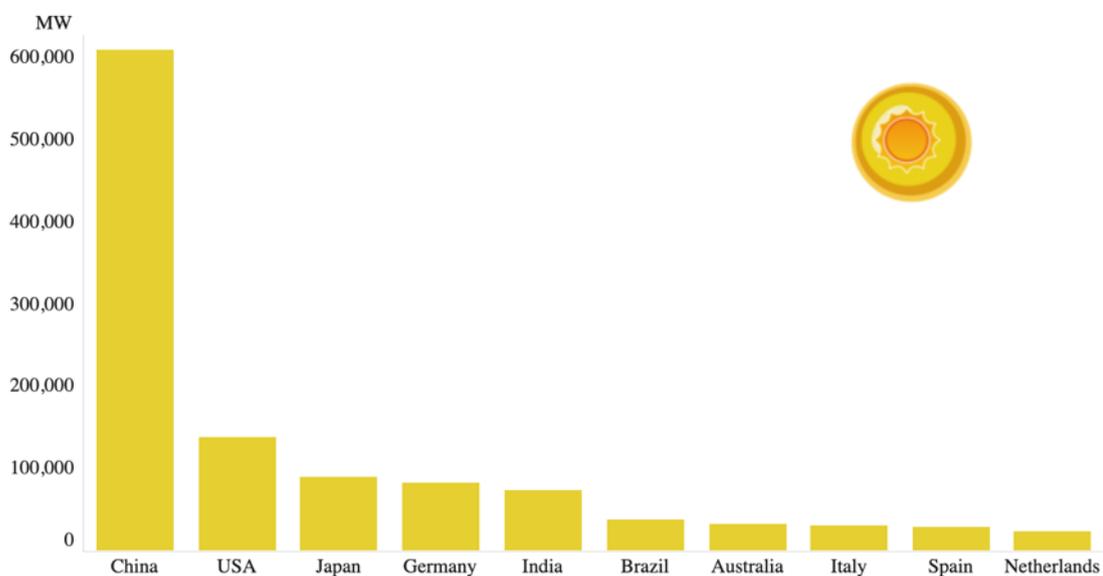


Figura 7. Capacidad instalada de energía solar eléctrica [11]

La tecnología fotovoltaica se basa en el uso de células solares, que están fabricadas de silicio, para convertir la luz solar en electricidad, este proceso es el denominado efecto fotoeléctrico. El silicio puro no es capaz de transferir corriente eléctrica por sí solo, es por eso por lo que se le añade fósforo o boro creando así una diferencia de potencial. El efecto fotoeléctrico se

lleva a cabo cuando la luz solar incide sobre materiales semiconductores, como el silicio de las células solares, liberando electrones y generando corriente eléctrica continua. Esta corriente continua es posteriormente transformada en corriente alterna gracias al uso de un inversor.

El rápido crecimiento de la energía solar y su expansión global están transformando el futuro del planeta. La reducción del coste de producción de un megavatio hora (MWh) ha convertido a los paneles solares en la opción más económica para generar electricidad. De acuerdo con IRENA, desde 2010, el costo de la energía solar ha disminuido un 88,99 %, pasando de \$0,445 a \$0,049 por kWh.

Power generation costs (2022 USD/kWh)

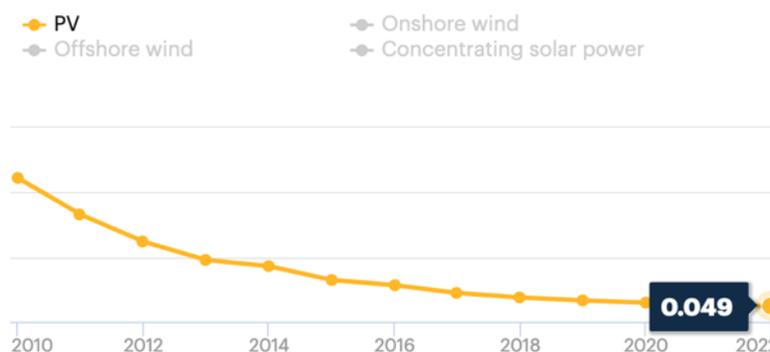


Figura 8. Costes de generación de solar fotovoltaica

Los componentes principales de un sistema fotovoltaico incluyen los módulos solares, inversores, reguladores y dependiendo del tipo de instalación, sistemas de almacenamiento de energía como baterías. En la siguiente figura se puede apreciar los diferentes componentes y como interactúan entre ellos.

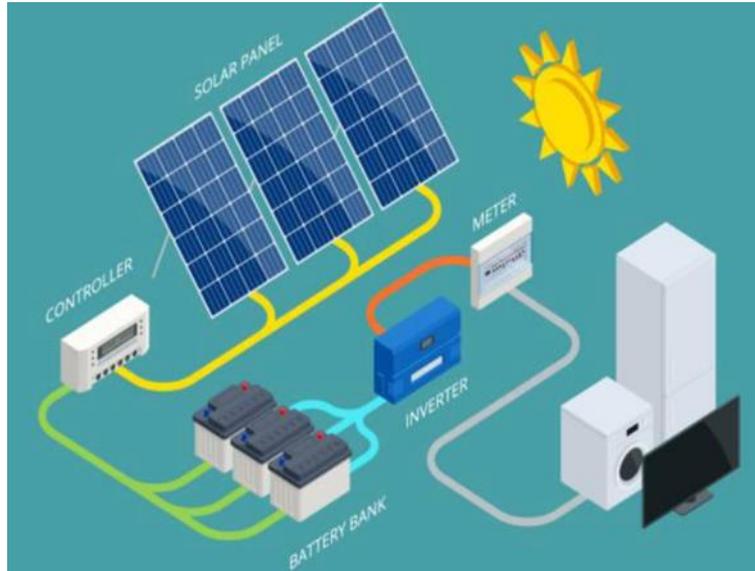


Figura 9. Componentes de un sistema fotovoltaico

3.4 SISTEMA FOTOVOLTAICO

En apartados anteriores se ha mencionado los componentes que forman un sistema de energía solar fotovoltaica y en este capítulo se va a profundizar en estos componentes.

3.4.1 PANELES SOLARES

Los paneles solares son los dispositivos que permiten captar la energía que proviene de la radiación solar y transformarla en electricidad que pueda aprovecharse. Para saber cómo funcionan las placas solares fotovoltaicas hay que tener en cuenta que las células fotovoltaicas de los paneles son las que tienen la capacidad de generar electricidad a partir del impacto de la radiación solar. Estas células, que suelen ser de silicio cristalino o arseniuro de galio, se mezclan con otros componentes como el fósforo o el boro que ‘dopan’ y modifican las propiedades conductoras. De esta forma se crean dos partes, una de carga negativa, y otra de carga positiva. Al exponerse al sol, los fotones (energía lumínica) mueven los electrones (energía eléctrica) y se produce una corriente continua. [6]

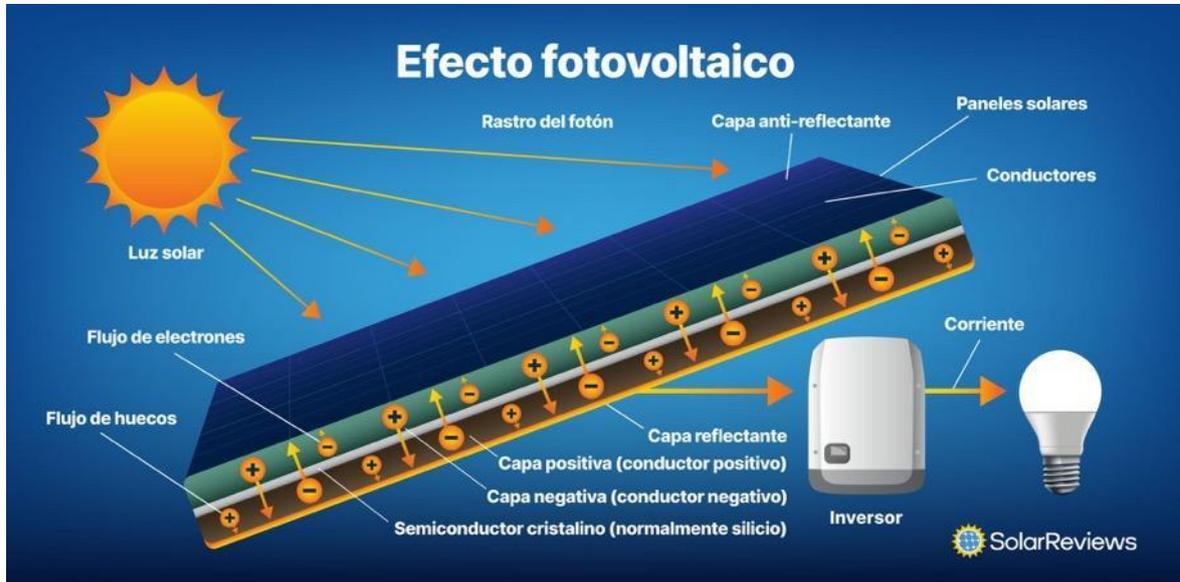


Figura 10. Efecto fotoeléctrico en paneles solares. Fuente: SolarReviews [13]

Una placa solar está formada por distintas partes, siendo la más importante el panel solar, donde se encuentran las celdas fotovoltaicas. La función del resto de elementos es proteger y garantizar la funcionalidad y durabilidad de las placas solares. Los componentes serían:

- **Paneles solares:** Formados por la unión, mediante conductores metálicos, de celdas o células fotovoltaicas, es decir, por los dispositivos capaces de generar electricidad cuando incide en ellas el impacto de la radiación solar.
- **Capas encapsuladas:** Protegen las células solares y están compuestas de un tipo de polietileno formado por varios compuestos (etileno y acetato de vinilo) llamado plástico EVA. Este material es un gran aislante térmico al tiempo que permite pasar los rayos solares hasta las células fotovoltaicas.
- **Estructura y marco de apoyo:** Normalmente suelen ser de aluminio para asegurar tanto la ligereza como la mayor durabilidad. El marco se une a la estructura que determina variables como la inclinación como la orientación del panel para asegurar

que se encuentre en condiciones óptimas. Además, las estructuras sobre las que se montan los paneles fotovoltaicos pueden ser fijas, móviles, lastradas o flotantes.

3.4.1.1 Tipos de paneles solares

Existen tres tipos de paneles solares: [7]

- **Monocrystalino:** Como su nombre indica, son los que están compuestos por células de un solo cristal. Se caracterizan porque el silicio de las células solares se corta en láminas, ofreciendo así una mayor pureza y eficacia. No en vano, se considera que son entre un 15 y un 25 % más eficientes que el resto de los modelos. La mejor manera de reconocerlos es por su color, de un negro intenso.
- **Policristalino:** Fácilmente identificables por su color azulado oscuro, los paneles policristalinos se obtienen fundiendo el silicio y vertiéndolo en moldes. Su precio es menor, aunque también lo es su eficacia si bien actualmente se han logrado buenos avances para reducir sus pérdidas por reflexión y mejorar su captación de la luz.
- **Capa fina:** Es el tipo de panel más empleado en las viviendas debido a su precio, a su apariencia homogénea y a su flexibilidad, que le permite adaptarse a todo tipo de superficies. Son también los menos eficaces, aunque su rendimiento no suele verse tan afectado ni por las altas temperaturas ni por las sombras.



Figura 11. Tipos de paneles solares. Fuente: Ecofener

3.4.1.2 Características técnicas de los paneles solares

Cuando vemos la ficha técnica de un panel fotovoltaico, nos dan una serie de parámetros que lo definen eléctricamente: [17]

- **Intensidad de cortocircuito (I_{cc} o I_{sc}):** es aquella que se produce a tensión 0 voltios, por lo que puede ser medida directamente en bornes mediante un amperímetro. Su valor variará en función de las condiciones atmosféricas de medida.
- **Tensión de circuito abierto (V_{ca} o V_{oc}):** es la tensión máxima del panel, se puede medir al no tener ninguna carga conectada, directamente con un voltímetro, su valor variará en función de las condiciones atmosféricas.
- **Potencia máxima (P_{max}),** medida en vatios pico (Wp): es la potencia máxima que puede suministrar el panel, es el punto donde el producto intensidad y tensión es máxima, bajo unas condiciones estándar de medida.
- **Corriente en el punto de máxima potencia (I_{mp}):** es la corriente producida cuando la potencia es máxima, bajo unas condiciones estándar de medida.
- **Voltaje en el punto de máxima potencia (V_{mp}):** es la tensión producida cuando la potencia es máxima, bajo unas condiciones estándar de medida.
- **Eficiencia (%):** este parámetro nos define la eficiencia de conversión (η), la cantidad de potencia radiación incidente sobre el panel que es capaz de convertirse en potencia eléctrica.

3.4.2 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Las baterías para paneles solares son dispositivos que se encargan de almacenar la energía captada y transformada por el sistema fotovoltaico, con el fin de que se pueda disponer de ella en la noche, en los días en que haya poca radiación solar o cuando haya intermitencia en la red eléctrica. Las baterías permiten suministrar energía de manera independiente a la producción eléctrica del generador fotovoltaico para que no haya riesgo de quedarse sin energía. También se programan para cargarse con la red eléctrica en horario base o con el

sistema fotovoltaico en horario intermedio. Esto permite mejorar el rendimiento de la instalación fotovoltaica.

Las baterías de iones de litio son las más empleadas y las más populares en cuanto a paneles solares en la actualidad. Incluso, es la tecnología que se usa para teléfonos inteligentes y otras baterías de alta tecnología. [9]

3.4.3 INVERSOR

El inversor es uno de los componentes más importantes en un sistema fotovoltaico después de los paneles solares y su función principal es convertir la corriente continua (DC) generada por el sistema fotovoltaico en corriente alterna (AC). Este componente es necesario porque en la mayoría de las aplicaciones, la forma de electricidad usada es corriente alterna y para asegurar una integración de la energía solar en la red de distribución en los casos en los que el sistema fotovoltaico esté conectado a la red.

Los inversores modernos no solo convierten la corriente continua en corriente alterna, sino que también desempeñan varias funciones importantes:

- **Seguimiento del Punto de Máxima Potencia (MPPT):** Los inversores están equipados con algoritmos de MPPT que optimizan la producción de energía de los paneles solares ajustando continuamente la carga y maximizando la eficiencia del sistema.
- **Protección y Seguridad:** Incluyen protecciones integradas contra sobrecarga, cortocircuitos y picos de voltaje, asegurando la seguridad del sistema y los usuarios.
- **Monitoreo y Comunicación:** Los inversores modernos permiten el monitoreo en tiempo real del rendimiento del sistema a través de interfaces digitales, como aplicaciones móviles y plataformas en línea, proporcionando datos detallados y alertas de mantenimiento.
- **Compatibilidad con la Red:** Aseguran que la electricidad generada esté sincronizada con la frecuencia y el voltaje de la red eléctrica, permitiendo una integración fluida y segura.

3.4.4 REGULADOR

El regulador de carga es un componente crítico en los sistemas de energía solar fotovoltaica, especialmente en aquellos que incluyen almacenamiento de energía en baterías. Su función principal es proteger las baterías de sobrecargas y descargas profundas, asegurando una operación eficiente y prolongando la vida útil de las baterías. En los sistemas donde no hay un regulador de carga, existe el riesgo de que las baterías puedan dañarse rápidamente debido a fluctuaciones en el suministro de energía, comprometiendo la fiabilidad y eficiencia del sistema solar.

Existen dos tipos principales de reguladores de carga, que se diferencian por la forma en que gestionan la tensión de los generadores solares: los PWM y los MPPT. El regulador PWM funciona esencialmente como un interruptor que conecta el panel solar directamente a la batería, ajustando la tensión del sistema para igualarla con la de la batería. En cambio, el regulador MPPT es más sofisticado, ya que puede identificar el punto de máxima potencia en la curva de corriente y tensión del panel en cualquier momento. Este punto varía con las condiciones de temperatura y radiación solar. El regulador MPPT ajusta la tensión de entrada de los paneles solares para optimizar el rendimiento y transforma esta potencia para suministrar la tensión variable requerida por la batería, permitiendo desacoplar las tensiones de la batería y los generadores solares.

3.4.5 BATERÍAS

Los sistemas de baterías son un componente esencial en las instalaciones fotovoltaicas, se encargan de almacenar la energía generada por los paneles solares durante las horas de sol para asegurar que hay un suministro de electricidad continuo cuando no hay producción de energía, como por la noche o en días donde las condiciones climatológicas no lo permiten.

Existen diferentes tipos de baterías:

- **Monoblock:** Baterías de plomo-ácido que requieren un mantenimiento regular. Presentan la opción más económica y común en sistemas de bajo consumo. Tienen una eficiencia relativamente baja (85%) y su vida útil es limitada si las descargas superan el 50%.
- **Estacionarias:** Ofrecen una mayor capacidad de descarga y mayor durabilidad en comparación con las Monoblock, pero aún requieren mantenimiento y no alcanzan la eficiencia y longevidad de las baterías de ion litio.
- **Ion Litio:** Estas baterías representan la mejor opción para sistemas aislados con baterías, debido a su alta eficiencia cercana al 100%. Tienen una gran capacidad para soportar ciclos de descarga profundos sin afectar significativamente su vida útil, y una longevidad que puede llegar hasta 20 años. Aunque tienen un coste inicial más alto, su rendimiento superior y bajo mantenimiento las convierten en la opción más adecuada para un sistema con alta demanda energética y la necesidad de fiabilidad a largo plazo.

Las especificaciones técnicas clave de un conjunto de baterías para un sistema solar son:

- **Voltaje (V):** La tensión de operación de las baterías, debe estar alineada con la configuración del sistema y los requisitos del inversor.
- **Amperaje (A):** Es la corriente que pueden suministrar las baterías. Normalmente se ajusta para mantener la estabilidad del sistema, optimizando la relación entre voltaje y amperaje para conseguir maximizar la eficiencia.
- **Capacidad (Ah):** La capacidad total de las baterías. Se dimensiona para asegurar una autonomía dependiendo del uso que se la va a dar al sistema fotovoltaico, lo que resulta en una capacidad de almacenamiento adecuada para cubrir la demanda energética durante períodos sin producción solar.

3.4.6 SOPORTES

Los soportes para sistemas fotovoltaicos son las estructuras que tienen como objetivo sujetar los paneles solares en la orientación y ángulo adecuados para que se maximice la captación de energía solar. Hay diferentes tipos de soporte y, dependiendo del tipo de instalación hay que tener en cuenta distintos parámetros:

- Costes
- Condiciones climáticas
- Espacio disponible
- Mantenimiento
- Objetivos energéticos

La elección correcta del tipo de soporte influye directamente en la producción de energía y la eficiencia del sistema, así que es importante un buen análisis de los parámetros previos para elegir el tipo de soporte correcto.

3.4.6.1 Soportes fijos

Los soportes fijos son los más comunes en instalaciones fotovoltaicas. Son aquellos que mantienen los paneles solares en una posición fija, con el ángulo y orientación establecidos en la instalación. Se utilizan en las siguientes situaciones:

- **Tejados inclinados:** Los rieles de montaje se fijan directamente al tejado y se aseguran los paneles a estos rieles. Aprovechan el espacio existente, presumiblemente inutilizado anteriormente, además de ser menos costosos en comparación con otros sistemas. La desventaja es que no se pueden ajustar la orientación y el ángulo para maximizar la captación solar.
- **Tejado plano:** Se instalan con estructuras triangulares que permiten elegir el ángulo deseado. Esta elección permite aumentar la captación de energía al poder elegir el ángulo óptimo, además de ser fáciles de instalar y mantener. La desventaja es que tienen un peso elevado para asegurar el sistema fotovoltaico frente al viento añadiendo peso al techo.

- **Soportes en el suelo:** Se utilizan para instalar el sistema fotovoltaico directamente en el suelo, hay soportes anclados al suelo y los paneles se montan sobre ellos. Son de fácil acceso para el mantenimiento y para optimizar la captura de energía solar. Este tipo de soporte fijo no siempre es viable porque requiere espacio en el suelo, lo que puede ser una limitación en áreas urbanas densas.

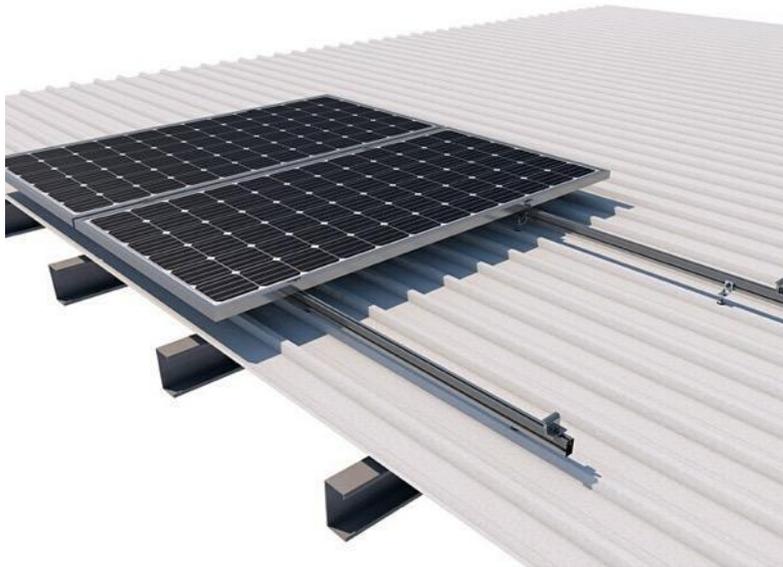


Figura 12. Ejemplo de soporte fijo en tejado plano

3.4.6.2 Soportes con seguimiento solar

Los soportes que cuentan con sistemas de seguimiento solar permiten que los paneles solares sigan la trayectoria del sol durante el día, contando con una mayor captación de energía. Hay dos tipos:

- **Seguimiento solar de un eje:** Habilitan los sistemas fotovoltaicos para que giren sobre un único eje, siguiendo al sol de este a oeste, pudiendo aumentar la generación entre un 15-25% en comparación con los soportes fijos. Por otra parte, cuestan más y el mantenimiento se complica porque hay motores y sistemas de control.
- **Seguimiento solar de doble eje:** Este sistema permite que se siga al sol en el eje vertical y horizontal. Esto habilita al sistema a maximizar la producción a lo largo

del día y del año, contando con hasta un 30-40% en comparación con los fijos. Tienen el mismo inconveniente que los de un eje, más costoso y mantenimiento.



Figura 13. Ejemplo de soporte móvil

3.5 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

La tecnología fotovoltaica se puede implementar en diversos tipos de sistemas, cada uno diseñado para satisfacer diferentes necesidades energéticas y condiciones específicas.

3.5.1 SISTEMAS CONECTADOS A LA RED

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red están diseñados para generar electricidad que es consumida inmediatamente o, en caso de no necesitarla en ese momento, inyectarla directamente en la red eléctrica. La medición neta permite a los propietarios recibir compensación económica por la energía excedente. Estos sistemas son populares en áreas urbanas debido a su capacidad para reducir significativamente las facturas de electricidad y a los incentivos gubernamentales que pueden hacer más atractiva su instalación. Sin

embargo, dependen de la red eléctrica y no funcionan durante cortes de energía a menos que se complementen con baterías u otros sistemas de respaldo. [10]

3.5.2 SISTEMAS AISLADOS

Por otro lado, los sistemas fotovoltaicos aislados, también conocidos como sistemas fuera de la red, se utilizan en ubicaciones remotas donde no hay acceso a la red eléctrica. Estos sistemas incluyen paneles solares, baterías de almacenamiento, controladores de carga e inversores. La electricidad generada por los paneles se almacena en baterías, que suministran energía durante la noche o en días nublados. Los controladores de carga protegen las baterías de sobrecargas y descargas excesivas, mientras que los inversores convierten la electricidad de CC a CA para su uso en dispositivos eléctricos. Estos sistemas son esenciales para proporcionar energía en áreas rurales y en aplicaciones específicas como cabañas y equipos de monitoreo remoto. Aunque ofrecen independencia total de la red, las baterías pueden ser costosas y requieren mantenimiento regular, lo que incrementa los costos operativos.

3.5.3 SISTEMAS HÍBRIDOS

Los sistemas fotovoltaicos híbridos combinan las características de los sistemas conectados a la red y de los sistemas aislados. Estos sistemas están conectados a la red, pero también incluyen baterías para almacenar energía. Durante el día, la energía solar puede alimentar directamente el consumo y cargar las baterías. Durante la noche o en caso de fallos en la red, las baterías suministran la energía necesaria. La principal ventaja de los sistemas híbridos es su capacidad para proporcionar un suministro de energía ininterrumpido, aprovechando tanto la red eléctrica como el almacenamiento en baterías. Son ideales para áreas con cortes de energía frecuentes o para usuarios que desean mayor independencia energética y resiliencia. No obstante, el desembolso inicial para la instalación es mayor que para los otros dos tipos de sistema fotovoltaico y requieren sistemas de gestión avanzada para optimizar el uso de energía y almacenamiento.

3.5.4 DECISIÓN SOBRE EL TIPO DE INSTALACIÓN

Para instalar paneles solares en la granja de Andahuaylillas se va a proceder con un sistema fotovoltaico aislado debido a que la prioridad es la independencia energética y un suministro constante de electricidad. La única desventaja de este sistema es el coste adicional que suponen las baterías, aunque se compensará con el ahorro de energía.

Capítulo 4. PARÁMETROS DE LA INSTALACIÓN

SOLAR

4.1 RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar es la energía emitida por el sol y determina la cantidad de energía que se puede generar, por lo que es fundamental para el funcionamiento de las placas solares. Existen tres tipos de radiación solar: directa, difusa y reflejada. La eficiencia de las placas solares depende en gran medida de la incidencia de radiación solar sobre ellas y el manejo de esta.

Algunos de los factores que también afectan a la eficiencia de las placas solares son la radiación solar y la temperatura. La cantidad de radiación solar que incide sobre las placas es variable según la ubicación y el momento del día, esto implica un impacto directo en la potencia generada por las placas solares. Hay condiciones naturales que también influyen en el rendimiento de las placas solares, como el polvo o la suciedad, pero la tecnología ha avanzado y estos factores pueden ser analizados por inspección visual y cámaras térmicas, permitiendo identificar defectos que no son visibles a simple vista y mantener el funcionamiento óptimo de las placas solares. [15]

Por otro lado, la transmisión de la radiación difusa a través de los recubrimientos protectores es crucial, ya que estos recubrimientos no permiten que toda la radiación solar pase debido a las reflexiones y absorciones parciales. Esta radiación se puede ver intensificada según el ángulo con el que incide el sol y algunas investigaciones recientes han revelado que las variaciones en las especificaciones del recubrimiento pueden resultar en pérdidas energéticas de hasta un 16.33% en comparación con un recubrimiento con la mayor transmitancia posible. [14]

4.2 IRRADIANCIA

La irradiancia es una medida de la potencia de la radiación solar recibida por unidad de área, expresada en vatios por metro cuadrado (W/m^2). En el contexto de la energía solar, se refiere a la cantidad de energía solar que incide sobre una superficie específica, en este caso, en un panel solar. La irradiancia es otro de los factores cruciales para determinar la eficiencia y el rendimiento de un sistema solar fotovoltaico.

Con la herramienta NASA POWER Data Access Viewer se han podido acceder a los datos de energía solar y meteorológicos necesarios de la región de Andahuaylillas, Perú. Los parámetros de la tabla son la Irradiancia Global Horizontal (ALLSKY_SFC_SW_DWN), Irradiancia Directa Normal (ALLSKY_SFC_SW_DNI), Irradiancia Difusa Horizontal (ALLSKY_SFC_SW_DIFF) y Temperatura a 2 metros de altura (T2M). Los datos de irradiancia se miden en ($kWh/m^2/día$) y la temperatura en $^{\circ}C$.

PARAMETER	YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
T2M	2020	8.73	8.66	8.77	8.7	7.76	7.83	8.26	8.49	8.82	9.32	10.02	8.03	8.62
T2M	2021	7.97	8.14	7.56	8.06	7.51	7.42	7.12	8.09	9.13	9.73	9.22	9.2	8.26
T2M	2022	8.86	8.33	8.05	8.87	8.15	6.78	8.58	8.45	9.47	10.36	10.62	9.4	8.83
ALLSKY_SFC_SW_DNI	2020	2.82	2.12	2.64	4.06	5.26	5.3	6.05	6.2	3.52	4.01	4.33	2.78	4.1
ALLSKY_SFC_SW_DNI	2021	2.64	2.68	2.57	3.47	5.01	5.18	6.7	5.3	3.95	4.25	2.68	2.51	3.92
ALLSKY_SFC_SW_DNI	2022	2.39	2.19	2.59	4.0	4.76	6.36	6.2	5.08	3.59	4.31	4.66	3.13	4.12
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2020	4.88	4.18	4.64	4.91	4.83	4.59	4.98	5.63	4.68	5.25	5.86	4.51	4.92
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2021	4.61	4.61	4.46	4.64	4.74	4.54	5.12	5.22	5.04	5.39	4.78	4.71	4.82
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2022	4.57	4.38	4.74	5.08	4.72	4.97	5.12	5.19	4.94	5.62	6.03	4.8	5.01
ALLSKY_SFC_SW_DIFF	2020	2.89	2.66	2.78	2.33	1.79	1.63	1.5	1.75	2.3	2.52	2.81	2.63	2.3
ALLSKY_SFC_SW_DIFF	2021	2.78	2.7	2.66	2.45	1.8	1.68	1.33	1.93	2.42	2.49	2.92	2.93	2.34
ALLSKY_SFC_SW_DIFF	2022	2.84	2.78	2.94	2.51	1.94	1.42	1.55	1.91	2.41	2.68	2.77	2.64	2.36

Figura 14. Irradiancia y temperatura en Andahuaylillas en 2020-22. Fuente: NASA Power

Los datos de la tabla representan la media diaria en el mes correspondiente. A continuación, se muestran los datos mensuales obtenidos en forma de gráfica:

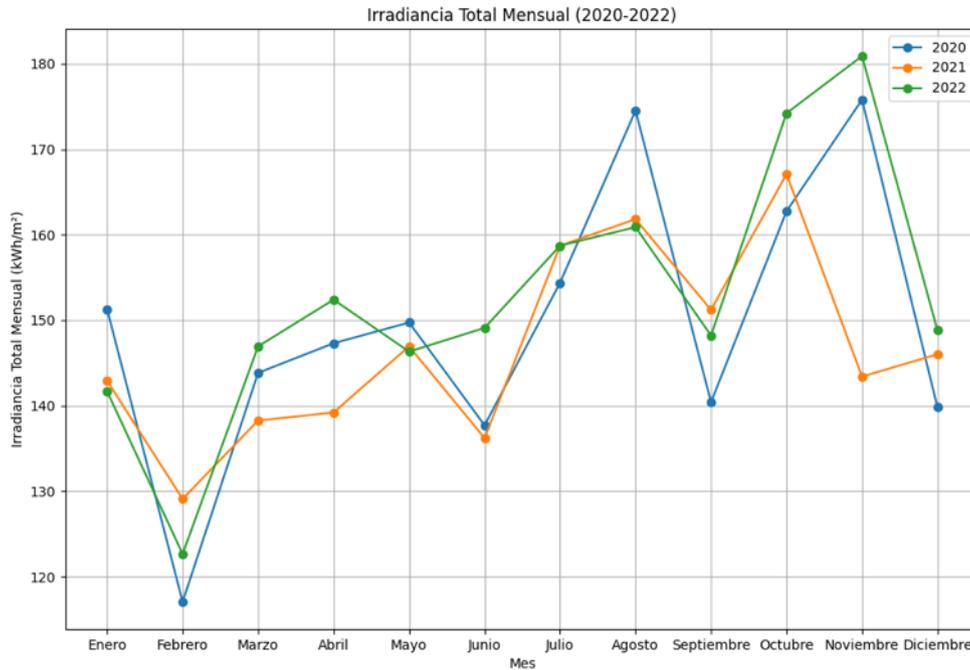


Figura 15. Gráfica de datos irradiación

4.3 GEOMETRÍA SOLAR

La posición del sol en cada instante respecto a un punto de referencia en la superficie terrestre es definida por dos coordenadas: altura solar (α) y azimut solar (ψ).

La altura solar es el ángulo que forma la línea que une el centro del Sol con el punto de observación y la superficie horizontal y podemos establecer que la altura solar varía durante el día. El Sol sale muy bajo y sobre el horizonte, alcanza la altura máxima al mediodía, para volver a esconderse a la tarde. Del mismo modo, cada día del año el Sol alcanza una altura máxima diferente. El azimut solar es el ángulo que forma la proyección horizontal de la línea que une el centro del Sol con el meridiano del lugar (dirección Norte-Sur) con origen en el Sur. [8]

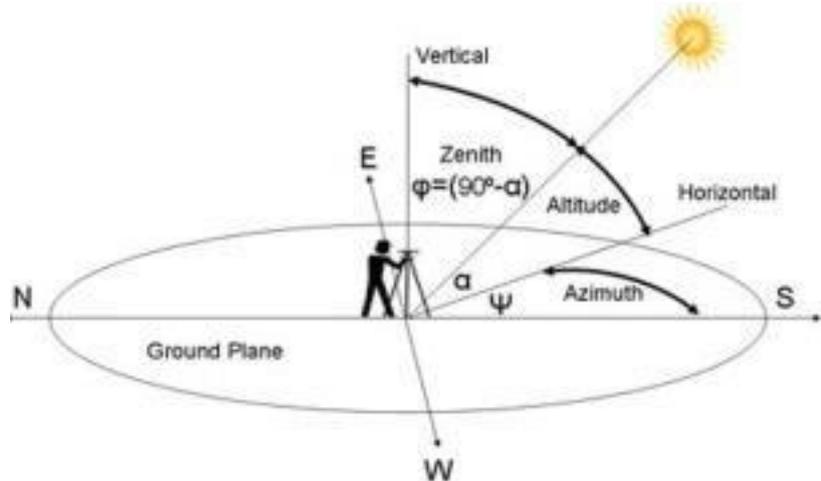


Figura 16. Geometría del sol

4.4 INCLINACIÓN Y AZIMUT DEL PANEL SOLAR

La inclinación y azimut solar repercuten de manera significativa en la cantidad de radiación solar que alcanza los paneles solares. La manera de optimizar la cantidad de radiación que incide es orientando los paneles solares de manera perpendicular a la dirección de la radiación solar, sin embargo, la inclinación y el azimut solar cambian durante el día y el año. Existe la posibilidad de instalar unos seguidores que orientan el panel para orientar de manera óptima el panel, pero es un sistema mucho más costoso y que requiere más mantenimiento, es por ello por lo que en este proyecto se va a utilizar una estructura fija. En la siguiente figura se muestran los ángulos de inclinación y azimut en la región de Andahuaylillas.

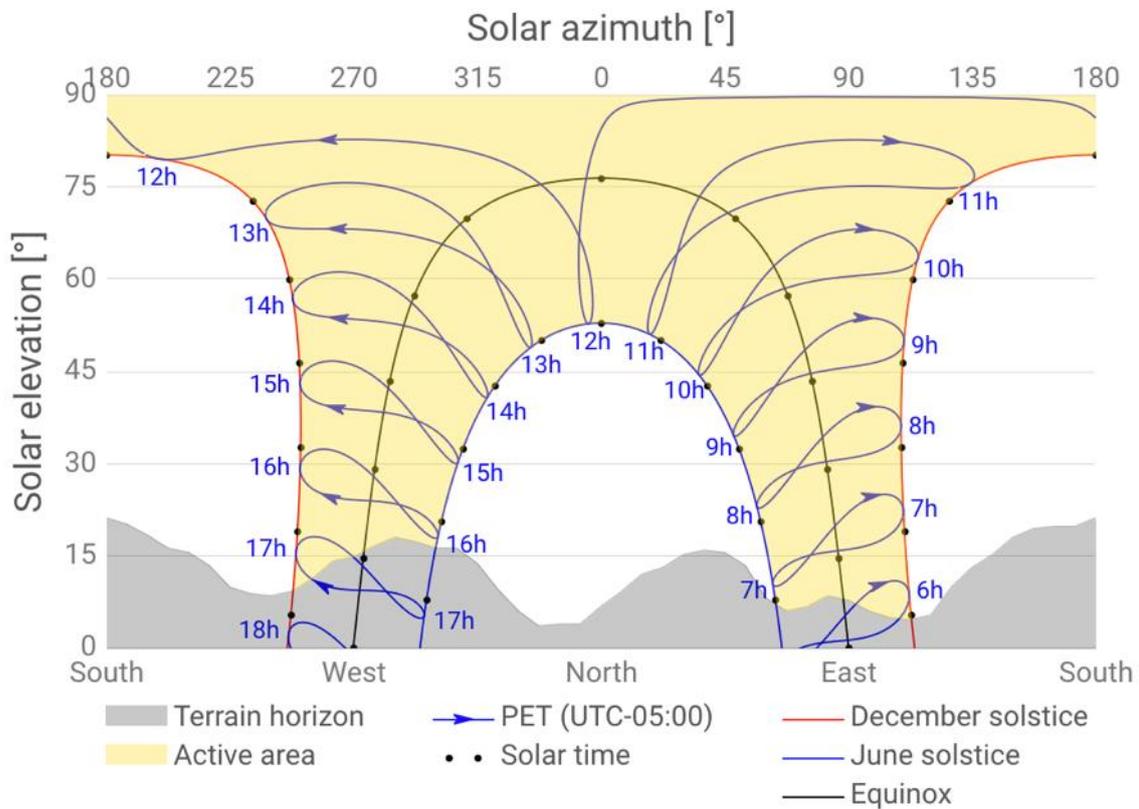


Figura 17. Inclinación y azimut solar. Fuente: Global Solar Atlas

La fórmula para calcular la inclinación óptima de los paneles solares es la siguiente: [18]

$$\alpha_{optimo} = 3,7 + 0,69 * |\phi|$$

siendo ϕ la latitud del lugar. El ángulo óptimo sería el siguiente:

$$\alpha_{optimo} = 3,7 + 0,69 * |-13,67| = 13,13^\circ$$

Para la mayoría de las ubicaciones en el hemisferio sur, incluyendo Andahuaylillas, el azimut solar óptimo es:

$$\alpha_{optimo} = 0^\circ$$

Esta información concuerda con lo en el sistema Global Solar Atlas que también indica que el azimut solar óptimo es 0°.

Capítulo 5. DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

En este capítulo se va a llevar a cabo el dimensionamiento detallado de la instalación de paneles solares en la granja lechera de Andahuaylillas, Perú. Para dimensionar la instalación se evaluará la demanda energética de la granja y la selección y dimensionamiento de los componentes del sistema solar.

5.1 DEMANDA ENERGÉTICA DE LA GRANJA

Debido a la falta de información proporcionada por la granja lechera de Andahuaylillas, se va a dimensionar la instalación con un tamaño de explotación lechera estándar, con los equipos estándares que cualquier explotación lechera independientemente de su tamaño necesita. Los equipos son los siguientes:

- **Equipos de refrigeración:** Sistemas para mantener la leche a temperaturas adecuadas para su almacenamiento.
- **Ordeñadores automáticos:** Máquinas empleadas para ordeñar vacas.
- **Bombas de agua:** Para el suministro de agua potable a los animales y sistemas de limpieza.
- **Iluminación:** Luz utilizada en las instalaciones.
- **Ventilación y calefacción:** Sistemas para mantener un ambiente adecuado para el ganado.

En la siguiente tabla se detallan los equipos que van a ser alimentados por el sistema fotovoltaico y la potencia que requieren cada uno de ellos:

Consumos	Cantidad	P unit (W)	P total (W)	Fu	Total (W)
Sistema de refrigeración	1	4500	4500	1	4500
Ordeñadores automáticos	1	7000	7000	1	7000
Bombas de agua	1	3000	3000	1	3000
Iluminación general	5	100	500	1	500
Calentador de agua	1	3000	3000	1	3000
Ventilación	1	745	745	1	745
Calefacción	1	1750	1750	1	1750

Tabla 1. Consumos granja lechera

Todos los posibles elementos que intervienen en la producción de leche se van a incluir en la previsión de cargas para que el sistema fotovoltaico sea capaz de suministrar con energía a la totalidad de la explotación de la granja lechera.

A continuación, se complementará la información de la tabla 1 con un estudio horario de los consumos. La granja presenta un consumo variable a lo largo del año ya que la granja no produce durante todos los meses, pero la no producción no es un caso crítico de dimensionamiento. Se va a estudiar la distribución de consumo en verano e invierno para ver en qué época del año el consumo es mayor para dimensionar la instalación con esa información.

5.1.1 ESTUDIO DE CONSUMOS EN INVIERNO

Elementos	Potencia (W)	Horas del día																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Sistemas de refrigeración	4500	0	0	0	0	0	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0	0	
Ordeñadores automáticos	7000	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Bombas de agua	3000	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Iluminación general	500	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	1	1	1	1	1	
Calentador de agua	3000	0	0	0	0	0	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ventilación	745	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Calefacción	1750	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0	0.25	0.25	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	

5.1.1.2.

Tabla 2. Estudio de consumos en invierno

Se procede a calcular el consumo diario en invierno por equipo:

- Sistema de refrigeración: $4500 \text{ W} * (0.25 \frac{\text{horas}}{\text{hora}} * 10 + 0.5 \frac{\text{horas}}{\text{hora}} * 5 \text{ horas}) = 22,5 \text{ kWh/día}$
- Ordeñadores automáticos: $7000 \text{ W} * (0.25 \frac{\text{horas}}{\text{hora}} * 4 + 0.5 \frac{\text{horas}}{\text{hora}} * 4 \text{ horas}) = 21 \text{ kWh/día}$
- Bombas de agua: $3000 \text{ W} * (0.5 \frac{\text{horas}}{\text{hora}} * 4 \text{ horas} + 0.25 \frac{\text{horas}}{\text{hora}} * 4 \text{ horas}) = 9 \text{ kWh/día}$
- Iluminación general: $500 \text{ W} * (14 \text{ horas} + 0.5 \frac{\text{horas}}{\text{hora}} * 1 \text{ hora}) = 7,25 \text{ kWh/día}$
- Calentador de agua: $3000 \text{ W} * 0.25 \frac{\text{horas}}{\text{hora}} * 4 \text{ horas} = 3 \text{ kWh/día}$

- Ventilación: $1000\text{ W} * 0\text{ horas} = 0\text{ kWh/día}$
- Calefacción: $1750\text{ W} * (0.25 \frac{\text{horas}}{\text{hora}} * 6\text{ horas} + 0.5 \frac{\text{horas}}{\text{hora}} * 14\text{ horas}) = 14,875\text{ kWh/día}$

Los cálculos se resumen en la siguiente tabla:

Potencia y consumos	Unidades	Cálculo
Potencia instantánea máxima	kW	19,75
Consumo diario	kWh	77,625

Tabla 3. Resumen del estudio de consumos en invierno

5.1.2 ESTUDIO DE CONSUMOS EN VERANO

Elementos	Potencia (W)	Horas del día																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Sistemas de refrigeración	4500	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Ordeñadores automáticos	7000	0	0	0	0	0	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bombas de agua	3000	0	0	0	0	0	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Iluminación general	500	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Calentador de agua	3000	0	0	0	0	0	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventilación	745	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0
Calefacción	1750	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 4. Estudio de consumos en verano

Se produce a calcular el consumo diario en verano por equipo:

- Sistema de refrigeración: $4500 \text{ W} * (0.5 \frac{\text{horas}}{\text{hora}} * 11 \text{ horas} + 0.25 \frac{\text{horas}}{\text{hora}} * 13 \text{ horas}) = 39,375 \text{ kWh/día}$
- Ordeñadores automáticos: $7000 \text{ W} * 0.25 \frac{\text{horas}}{\text{hora}} * 7 \text{ horas} = 12,25 \text{ kWh/día}$
- Bombas de agua: $3000 \text{ W} * 0.25 \frac{\text{horas}}{\text{hora}} * 4 \text{ horas} = 3 \text{ kWh/día}$
- Iluminación general: $500 \text{ W} * 1 \frac{\text{horas}}{\text{hora}} * 10 \text{ horas} = 5 \text{ kWh/día}$
- Calentador de agua: $3000 \text{ W} * 0.25 \frac{\text{horas}}{\text{hora}} * 4 \text{ horas} = 3 \text{ kWh/día}$
- Ventilación: $745 \text{ W} * 0.5 \frac{\text{horas}}{\text{hora}} * 12 \text{ horas} = 4,47 \text{ kWh/día}$
- Calefacción: $4000 \text{ W} * 0 \text{ horas} = 0 \text{ kWh/día}$

Los cálculos se resumen en la siguiente tabla:

Potencia y consumos	Unidades	Cálculo
Potencia instantánea máxima	kW	18,25
Consumo diario	kWh	67,095

Tabla 5. Resumen de estudio de consumos en verano

5.2 RESULTADOS GRÁFICOS DE ESTUDIO DE CONSUMOS

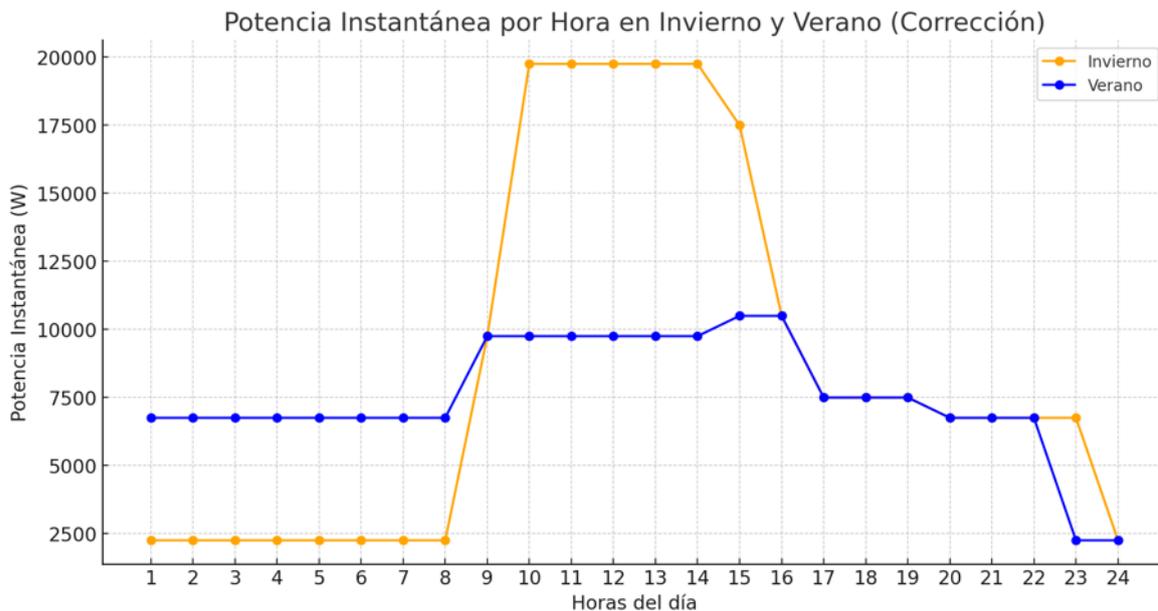


Figura 18. Estudio de consumos en invierno y verano

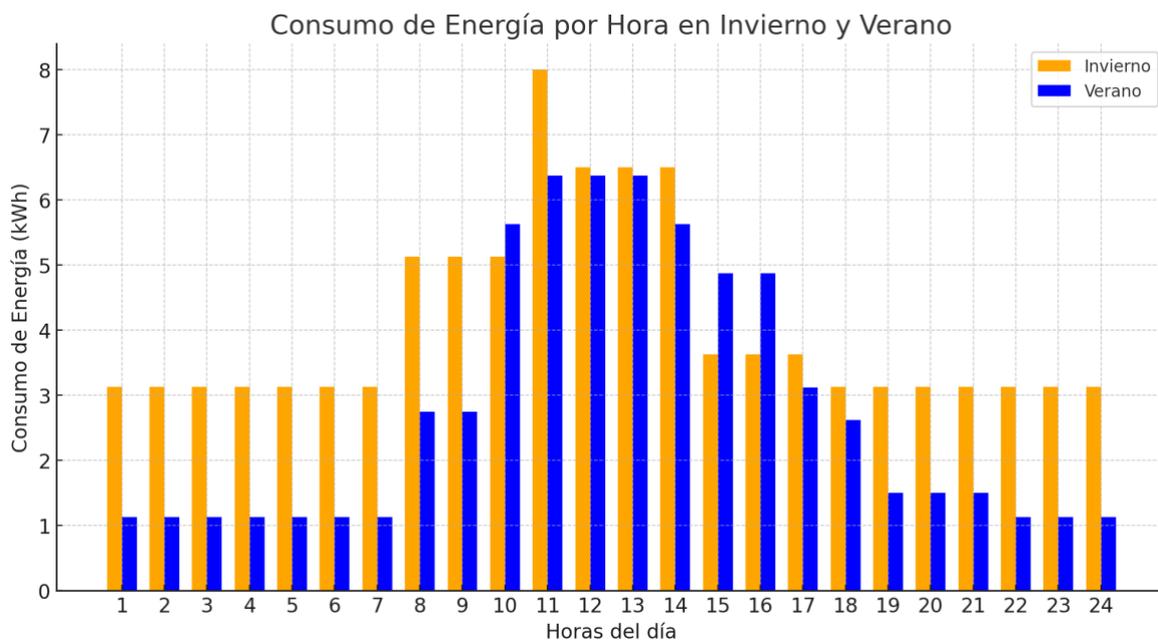


Figura 19. Consumo de energía horario en invierno y verano

5.3 CONCLUSIÓN

Tras hacer un estudio de los consumos energéticos en la granja lechera, es obvio que la temporada de invierno requiere una mayor provisión de energía ya que por bajas temperaturas existen necesidades de calefacción, a la par que una mayor utilización y consumo de las máquinas ordeñadoras e iluminación artificial. Después de este análisis se diseñará la instalación para garantizar que la granja tiene suficiente capacidad para cubrir sus necesidades energéticas durante el año entero. Por tanto, se diseñará con el dato de consumo y potencia invernal.

Capítulo 6. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

En este capítulo se detallará la instalación del sistema fotovoltaico para la granja lechera en Andahuaylillas, Perú. El objetivo principal es dimensionar los componentes del sistema, garantizando que se cumplen las necesidades energéticas de la granja en las diferentes estaciones del año. En este caso, se dimensiona con respecto a la estación invernal ya que se espera más consumo debido a las bajas temperaturas. En cuanto a los niveles de irradiancia, de los datos obtenidos en promedio entre 2020-2022, febrero es el peor mes del año en cuanto a irradiancia. Por tanto, se diseña con los consumos de invierno y la irradiancia global horizontal de febrero.

6.1 CÁLCULOS NECESARIOS

6.1.1 CÁLCULO DE POTENCIA PICO (KWP)

La potencia pico es la medida estándar que se usa para expresar la capacidad de producción máxima que puede tener un sistema fotovoltaico si se encontrara en condiciones óptimas de funcionamiento, que se corresponden con una irradiancia de 1000W/m^2 , una masa de aire 1.5 y una temperatura de 25°C . Es útil porque permite comparar sistemas fotovoltaicos bajo las mismas condiciones.

Para el cálculo de la potencia pico se necesita el consumo diario en el momento elegido para dimensionar y las horas de sol pico (HSP). Las horas de sol pico es un valor importante de la potencia pico, ya que es la cantidad efectiva de energía solar en un día.

Datos:

- Consumo diario en invierno: 77,625 kWh
- Horas de sol pico: El peor dato del mes de febrero nos da 4,18 HSP

Cálculo:

$$kWp \text{ necesarios} = \frac{\text{Consumo diario invierno (kWh)}}{\text{Horas de sol pico (HSP)}}$$

$$kWp \text{ necesarios} = \frac{77,625 \text{ kWh}}{4,18 \text{ HSP}} = 18,57 \text{ kWp}$$

La instalación debe tener como mínimo una potencia pico de 18,57 kWp para cubrir el consumo energético de invierno.

6.1.2 CÁLCULO DE PAQUETE DE BATERÍAS

Uno de los objetivos del proyecto es reducir el coste del sistema fotovoltaico y, siendo el paquete de baterías uno de los elementos más caros, se va a dimensionar para que el paquete de baterías cumpla con los elementos más cruciales de la instalación, que son los sistemas de refrigeración, los ordeñadores automáticos y las bombas de agua. En resumen, se sumarán los consumos diarios de los equipos estrictamente necesarios para que la granja pueda seguir funcionando.

$$L_{crit} = 36,75 \text{ kWh}$$

Para el cálculo y dimensionamiento del sistema de baterías se van a considerar dos parámetros que son importantes, la capacidad de descarga máxima estacional y diaria, y el número de días de autonomía deseados.

La **capacidad de descarga máxima estacional** se ha establecido en un 70% para preservar la vida útil de las baterías, esto quiere decir que la batería no debería descargarse por debajo del 70% de su capacidad total. Con la siguiente fórmula se calcula la capacidad necesaria para cumplir este requisito.

$$C_{estacional} = \frac{L_{crit} \times N}{C_{Dest}} \times \frac{1}{V_{bat}}$$

$$C_{estacional} = \frac{36,75 \times 10^3 \times 1}{0.7} \times \frac{1}{48} = 1093,75 \text{ Ah}$$

Donde:

- $C_{estacional}$: Capacidad de descarga máxima estacional
- L_{crit} : Demanda energética crítica diaria
- N: Número de días de autonomía
- C_{Dest} : Porcentaje máximo de descarga estacional permitido
- V_{bat} : Voltaje nominal del banco de baterías

Para la **capacidad de descarga máxima diaria** se ha establecido un límite del 25% lo cual significa que la batería no se debería descargar más de un 25% de la capacidad total de la batería para maximizar su vida útil.

Se calcula de la siguiente manera:

$$C_{diario} = \frac{L_{crit}}{C_{Ddiario}} \times \frac{1}{V_{bat}}$$

$$C_{diario} = \frac{36,75 \times 10^3}{0.25} \times \frac{1}{48} = 3062,5 \text{ Ah}$$

Donde:

- C_{diario} : Capacidad de descarga máxima diaria
- L_{crit} : Demanda energética crítica diaria
- $C_{Ddiario}$: Porcentaje máximo de descarga diaria permitido
- V_{bat} : Voltaje nominal del banco de baterías

Se elegirá la capacidad de descarga máxima diaria (3062,5 Ah) para diseñar el sistema de baterías.

6.2 ELECCIÓN DE ELEMENTOS

6.2.1 PANELES SOLARES

Se conoce la potencia pico del sistema solar, por lo que ahora se pueden elegir los tipos de paneles solares que se van a utilizar en nuestra instalación, así como el número de paneles necesarios.

Tras una búsqueda de los distintos proveedores de paneles solares, se ha reducido la elección del módulo fotovoltaico al de la empresa Jinko Solar o Trina Solar. A continuación, se muestra una tabla comparativa de ambos:

Proveedor paneles	Jinko Solar	Trina Solar
Modelo	JKM54HL4R-BDB	TSM-NEG9R.25
Tipo	Monocristalino	Monocristalino
Potencia (Wp)	425	425
Tensión máxima potencia (V)	32,9	42,9
Tensión de circuito abierto (V)	39,23	50,9
Corriente máxima potencia (A)	12,92	9,92
Corriente de cortocircuito (A)	13,77	10,56
Eficiencia (%)	21,27	21,3

Tabla 6. Comparativa paneles solares

Para este proyecto se han elegido los paneles solares de Trina Solar por tener una eficiencia ligeramente superior, trabajar con mayores tensiones y estar diseñada para ser compatible con otros elementos, lo que facilita la elección de inversores y baterías.

Los paneles solares de 425 Wp ofrecen un buen compromiso entre eficiencia y coste. Los motivos para la elección de esta potencia son su buena relación entre espacio requerido y energía generada, ideales para emplazamientos con limitación de espacios. Otro motivo es la gran durabilidad, ya que estos paneles tienen una garantía de producto de 25 años, y garantía de potencia de 30 años.

El número de paneles solares necesarios se determina en función de la potencia pico (kWp) requerida para cubrir el consumo energético diario de la granja, en este caso en invierno que es cuando se está dimensionando porque la demanda es más alta. El cálculo se ha realizado de la siguiente manera:

$$\text{Número de paneles} = \frac{\text{Potencia pico (kWp)}}{\text{Potencia panel (kWp)}}$$

$$\text{Número de paneles} = \frac{18,57 \text{ kWp}}{0,425 \text{ kWp/panel}} = 43,7 \text{ paneles}$$

Se concluye que con la elección de paneles solares de 425 Wp, se necesitarán 44 paneles para cubrir las necesidades energéticas de la granja lechera en Andahuaylillas.

6.2.2 INVERSOR

El inversor es una pieza clave del sistema fotovoltaico ya que convierte la electricidad generada por los paneles en corriente continua a corriente alterna. Para la elección del inversor se necesita la potencia pico de las cargas del sistema.

$$P_{\text{pico maxima}} = 19750 \text{ W}$$

Para asegurarse el funcionamiento seguro y eficiente del inversor se aplica un margen de seguridad del 10%.

$$P_{\text{inversor}} = 19750 \times 1,1 = 21725 \text{ W}$$

Con esta potencia de inversor, se buscan inversores compatibles y se realiza una comparación de las especificaciones técnicas que faciliten la decisión entre ambos. Debido a la alta potencia pico, es probable que sean necesarios dos inversores en paralelo.

Proveedor	GoodWe	Victron
Modelo	GW25K-ET	Quattro
Eficiencia (%)	98	98,4
Potencia de salida (W)	25000	12000
Potencia máxima de entrada (Wp)	37500	25000
Tensión máxima (V)	1000	1100
Rango de tensión operación (V)	200-850	200-1000
Corriente máxima de salida (A)	41,7	50,1
Máxima altitud de operación (m)	4000	4000
Precio (€)	2902,9	2999

Tabla 7. Comparativa de inversores

Debido a la situación geográfica de Andahuaylillas, hay que tener en cuenta la altitud máxima a la que puede operar el inversor. Tanto GoodWe como Victron proporcionan inversores que pueden operar a la altitud de 3.121 m. a la que se encuentra la granja. Se han tenido que descartar los inversores de la empresa SMA que son ampliamente conocidos y utilizados porque no garantizan que puedan operar a esta altitud. Entre los dos inversores presentes en la tabla, se elige el de Victron ya que es el único encontrado que es compatible con las baterías monoblock de plomo-ácido y cumple con los requisitos de la instalación conectando dos inversores en paralelo.

Asimismo, el inversor seleccionado cuenta con la ventaja de que no es necesario instalar un regulador en la instalación ya que viene integrado en el sistema, permitiendo gestionar la carga de las baterías sin elementos adicionales. Es una buena solución para sistemas fotovoltaicos aislados como este ya que hace la integración más compacta y es más eficiente.

Con los datos del inversor, se puede calcular el número de ramas y paneles en serie.

$$N^{\circ} \text{ máximo de paneles en serie} = \frac{1100V}{50,9V/\text{panel}} = 21,61$$

Se pueden colocar hasta 21 paneles en serie por rama. Ahora se calcula el número de ramas en paralelo.

$$N^{\circ} \text{ ramas en paralelo} = \frac{44 \text{ paneles}}{21} = 2,1 \text{ ramas}$$

Redondeando, se necesitan 3 ramas en paralelo. La configuración va a ser la siguiente:

- 2 ramas de 19 paneles en serie
- 1 rama de 6 paneles en serie

La tensión por rama es la siguiente:

- 19 paneles x 50,9 V = 967,1 V
- 6 paneles x 50,9 V = 305,4 V

Ambos valores por debajo de la tensión máxima de 1100V. Cada rama maneja 9.92 A ya que es la corriente de potencia máxima de los paneles, al haber 3 ramas:

$$I_{\text{sistema}} = 9,92A \times 3 = 29,76A$$

Esta corriente es manejable por los inversores Victron Quattro, que tienen una corriente máxima de salida de 50A.

6.2.3 BATERÍA

En el apartado de cálculos previos hemos obtenido la capacidad necesaria de la batería con la capacidad de descarga máxima estacional que nos da un valor de 3062,5 Ah. Debido a que las baterías es un elemento muy costoso en la instalación, se van a utilizar baterías monoblock, que son las más económicas y cumplen con lo que se espera del paquete de baterías

Las baterías monoblock suelen operar a una tensión de 12V, sin embargo, necesitamos una tensión de 48V debido al inversor. La solución pasa por poner en serie baterías de 12V para así poder llegar al voltaje y en paralelo para llegar a la capacidad necesaria para el correcto funcionamiento del paquete de baterías.

Proveedor	Rolls Battery	Trojan Battery
Modelo	S6 L16-HC	L16H-AC
Tensión batería (V)	6	6
Capacidad (Ah)	445 Ah	435
Unidades necesarias para alcanzar 48V	8	8
Ramas necesarias para alcanzar 3062,5 Ah	7	8
Número de baterías	56	64
Precio unitario (€)	424	596
Precio total (€)	23.744	38.144

Tabla 8. Comparación de baterías

Tras la comparativa de estas dos marcas de batería, se eligen las baterías de Rolls Battery que al tener una mayor capacidad hace que se requieran menos baterías para cumplir las especificaciones necesarias.

6.2.4 ESTRUCTURA DE SOPORTE

Otro elemento sujeto a elección es el soporte donde se van a colocar los paneles solares. Existen distintos tipos como se ha explicado anteriormente pero el que más encaja con el proyecto es un soporte de tipo fijo, y los motivos se exponen a continuación:

- Debido a la cercanía de Perú con el Ecuador, no se gana tanto con la instalación de un soporte móvil que vaya siguiendo al sol, ya sea en un eje o en dos.
- Es significativamente más caro el sistema de seguimiento solar, además de necesitar más mantenimiento que un soporte fijo.

Una vez está claro el tipo de soporte, hay que saber que se van a instalar con un ángulo de inclinación aproximado de 13°, ya que se había calculado anteriormente que era el ángulo óptimo. Además, hay que tener en cuenta las condiciones meteorológicas, a esa altitud hay días de frío, nieve y viento, por tanto, hay que asegurarse de que las estructuras son capaces de soportar las condiciones.

A continuación, se detalla el soporte que se ha seleccionado:

Proveedor	Schletter
Modelo	FS Uno
Material	Acero
Garantía	10 años
Terreno	Cualquiera

Tabla 9. Datos técnicos estructura soporte

Este soporte es capaz de soportar viento de hasta 180 km/h y soportar hasta 2kg/m² de nieve, por lo que es perfecto para el sistema que se plantea.

6.2.5 CABLEADO

El cableado se diseña buscando los conductores necesarios con la sección adecuada que reduzcan las caídas de tensión y los calentamientos. Deberán ser capaces de reducir la caída de tensión por debajo del 1,5% en cualquier condición de trabajo, incluyendo terminales intermedios. Se calculará toda la longitud de cables necesaria, tanto en continua como en alterna.

Se procede a calcular la sección del cableado, que consiste en averiguar la sección mínima normalizada de un cable que cumpla con los criterios de caída de tensión, intensidad máxima admisible e intensidad de cortocircuito. La instalación utilizará un cable tipo PV ZZ-F de cobre que es específico para instalaciones fotovoltaicas.

Para los cálculos de sección mínima se va a utilizar la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2 \times L \times I \times \rho}{\Delta U}$$

Donde:

S: Sección mínima

L: Longitud del cable

P: Resistividad del cable

I: Intensidad que circula por el cable

ΔU : Caída de tensión máxima admisible

Para calcular la sección se necesitan las distancias entre los distintos subsistemas, en la tabla siguiente se especifican los datos para realizar los cálculos:

Subsistema	Longitud (m)	Tipo de corriente	Caída de tensión máxima	Intensidad (A)
Panel-inversor	60	DC	3%	9,92
Inversor-baterías	10	DC	1%	50,1
Inversor-consumos	50	AC	1%	50,1

Tabla 10. Datos cálculos sección de cable

Se procede a calcular las secciones, empezando con el cableado que va desde los paneles solares hasta el inversor. Se va a suponer una caída de tensión del 1% y la tensión de un string de 19 paneles en serie es 967,1V:

$$S = \frac{2 \times 60 \times 9,92 \times \frac{1}{58}}{9,67} = 2,122 \text{ mm}^2$$

Con la sección calculada, elegimos la inmediatamente superior que esté normalizada y, en este caso, la sección de cable estándar es de **2,5 mm²**.

Se continua con el cableado de inversor a baterías, se emplea la misma fórmula:

$$S = \frac{2 \times 10 \times 50,1 \times \frac{1}{58}}{0,48} = 35,99 \text{ mm}^2$$

Se obtiene que, eligiendo el siguiente cable estandarizado, la sección sería de **50 mm²**.

Ahora, se va a calcular el cableado necesario para la zona de consumos, se vuelve a suponer la salida de corriente máxima del inversor y un 1% de caída de tensión.

$$S = \frac{2 \times 50 \times 50,1 \times \frac{1}{58}}{2,3} = 37,55 \text{ mm}^2$$

La sección de cableado que va de los inversores al consumo es de **50 mm²**.

6.3 RESUMEN DE LA INSTALACIÓN

Todos los elementos de la instalación han quedado perfectamente definidos en este capítulo, se adjunta una tabla resumen con todos los elementos:

Elemento	Proveedor	Modelo	Cantidad	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Paneles solares	Trina Solar	TSM-NEG9R.25	44	98.01	4.312,44
Inversores	Victron Energy	Quattro 15KVA	2	2999	5.998,00
Baterías	Rolls	S6 L16-HC	56	424	23.744,00
Soportes	Schletter	FS Uno	1		
Cableado	Topsolar	PV ZZF	120	1,9 €/m	228,00

Tabla 11. Resumen sistema fotovoltaico

Las decisiones han sido tomadas teniendo en cuenta las particularidades de la región rural y sociedad de Andahuaylillas, es por ello por lo que se han tenido que utilizar elementos que cumplan con los requisitos de funcionamiento a determinadas altitudes, que sean también fáciles de mantener y cuyo coste sea el mínimo posible.

Capítulo 7. SIMULACIÓN DE LA PLANTA SOLAR

En este capítulo se van a exponer simulaciones de la planta solar con el software de PVSYST. Se va a intentar meter todos los parámetros de la instalación para hacer la simulación lo más fiel posible a la realidad.

7.1 ORIENTACIÓN

El primer paso al diseñar el sistema es seleccionar la orientación de los paneles solares. Como se ha especificado en apartados interiores, la inclinación será de 13° y el azimut de 0° .

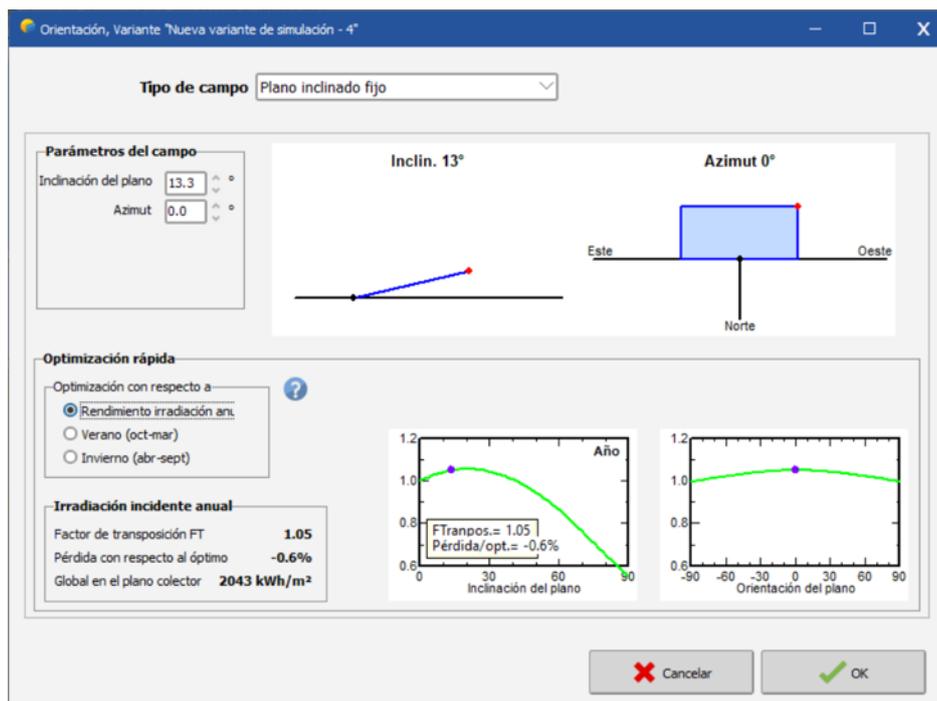


Figura 20. Orientación del sistema PV en PVSYST

7.2 CONSUMO

El siguiente paso es detallar el perfil de consumos que la instalación solar va a abastecer, esto es el estudio de consumos que se realizó previamente en la memoria del trabajo.

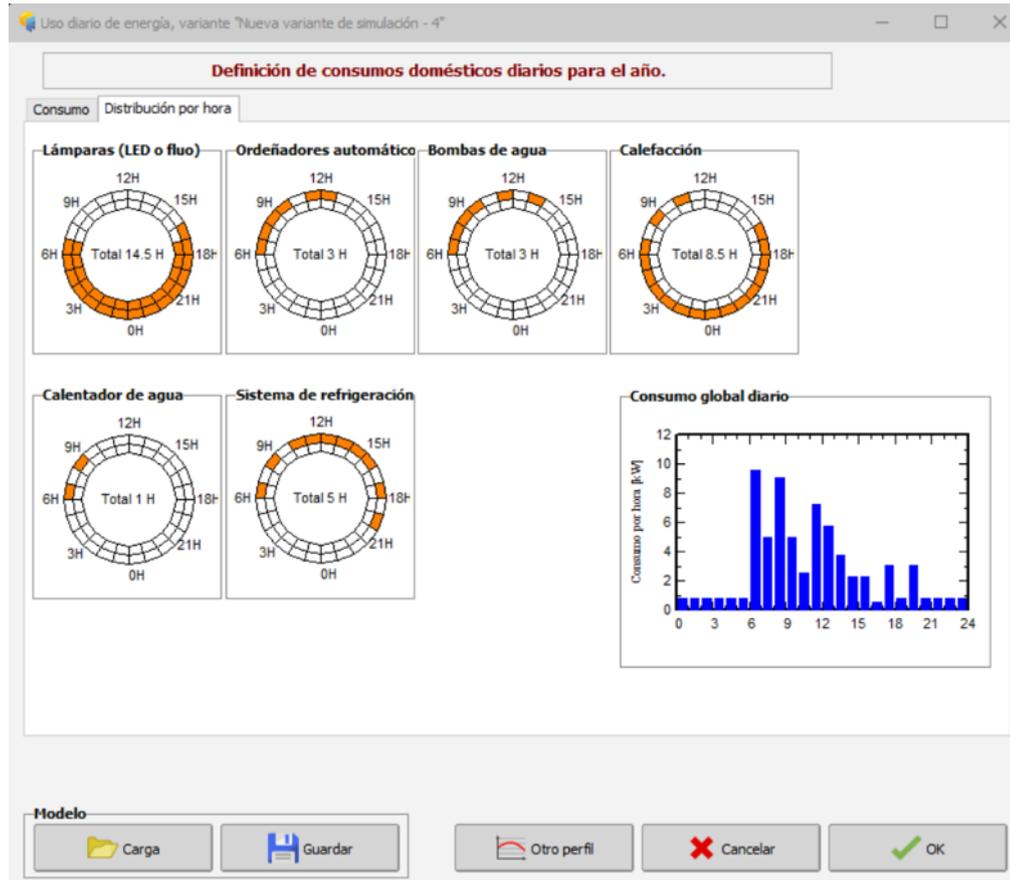


Figura 21. Perfil de consumos en PVSYS

7.3 ELECCIÓN DE ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN

En este apartado se seleccionan los elementos que van a formar la instalación. Se ha podido elegir los módulos fotovoltaicos exactos de Trina Solar que se utilizan en la instalación, así como una batería muy similar del mismo proveedor Rolls. Sin embargo, el inversor no ha sido posible utilizar el Victron Quattro, pero se ha seleccionado otro que realiza la misma función. Otro parámetro que elegir ha sido el número de paneles en serie y ramas y, dado

que no se pueden elegir ramas desiguales, en la simulación hay 3 ramas de 15 paneles cada una.

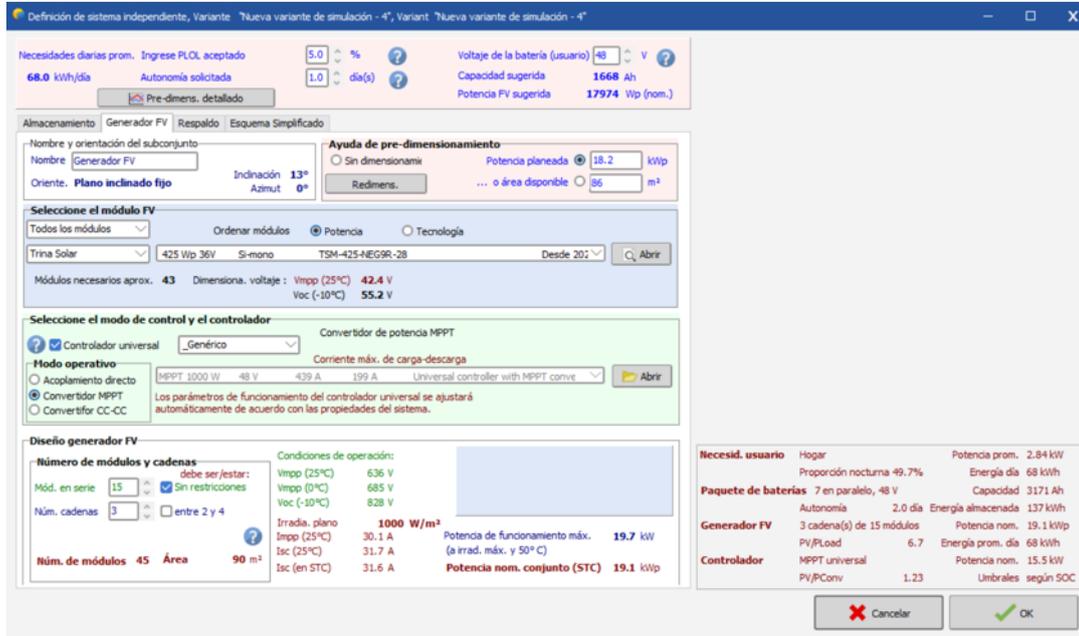


Figura 22. Elección de elementos en PVSYS

7.4 INFORME DE RESULTADOS

Project summary			
Geographical Site		Situation	
Andahuayllillas	Peru	Latitude	-13.67 °S
		Longitude	-71.70 °W
		Altitude	3802 m
		Time zone	UTC-5
Weather data		Project settings	
Andahuayllillas	NASA-SSE satellite data 1983-2005 - Sintético	Albedo	0.20
System summary			
Standalone system		Standalone system with batteries	
PV Field Orientation		User's needs	
Fixed plane	Tilt/Azimuth 13.3 / 0 °	Daily household consumers	Constant over the year
		Average	68 kWh/Day
System information		Battery pack	
PV Array		Technology	Lead-acid, sealed, plates
Nb. of modules	45 units	Nb. of units	56 units
Pnom total	19.13 kWp	Voltage	48 V
		Capacity	3171 Ah

Figura 23. Resumen de resultados



Project: Proyecto Solar Andahuaylillas 2

Variant: Nueva variante de simulación - 4

PVsyst V7.4.8

VC1, Simulation date:
25/08/24 18:54
with V7.4.8

General parameters

Standalone system	Standalone system with batteries	
PV Field Orientation	Sheds configuration	Models used
Orientation	No 3D scene defined	Transposition Perez
Fixed plane		Diffuse Perez, Meteornorm
Tilt/Azimuth 13.3 / 0 °		Circumsolar separate
User's needs		
Daily household consumers		
Constant over the year		
Average 68 kWh/Day		

PV Array Characteristics

PV module		Battery	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	TSM-425-NEG9R-28	Model	6-CS-17PS
(Original PVsyst database)		Technology	Lead-acid, sealed, plates
Unit Nom. Power	425 Wp	Nb. of units	7 in parallel x 8 in series
Number of PV modules	45 units	Discharging min. SOC	10.0 %
Nominal (STC)	19.13 kWp	Stored energy	137.0 kWh
Modules	3 string x 15 in series	Battery Pack Characteristics	
At operating cond. (15°C)		Voltage	48 V
Pmpp	19.74 kWp	Nominal Capacity	3171 Ah (C10)
U mpp	656 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	30 A		
Controller		Battery Management control	
Universal controller		Threshold commands as	SOC calculation
Technology	MPPT converter	Charging	SOC = 0.96 / 0.80
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.	approx.	59.5 / 49.8 V
Converter		Discharging	SOC = 0.10 / 0.35
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %	approx.	44.2 / 47.8 V
Total PV power			
Nominal (STC)	19 kWp		
Total	45 modules		
Module area	89.9 m ²		
Cell area	82.6 m ²		

Array losses

Thermal Loss factor	DC wiring losses	Series Diode Loss						
Module temperature according to irradiance	Global array res. 317 mΩ	Voltage drop 0.7 V						
Uc (const) 20.0 W/m ² K	Loss Fraction 1.5 % at STC	Loss Fraction 0.1 % at STC						
Uv (wind) 0.0 W/m ² K/m/s								
Module Quality Loss	Module mismatch losses	Strings Mismatch loss						
Loss Fraction -0.4 %	Loss Fraction 2.0 % at MPP	Loss Fraction 0.1 %						
IAM loss factor								
Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



Project: Proyecto Solar Andahuaylillas 2

Variant: Nueva variante de simulación - 4

PVsyst V7.4.8

VC1, Simulation date:
25/08/24 18:54
with V7.4.8

Main results

System Production

Useful energy from solar 24754 kWh/year
Available solar energy 33174 kWh/year
Excess (unused) 6785 kWh/year

Perf. Ratio PR 63.80 %
Solar Fraction SF 99.72 %

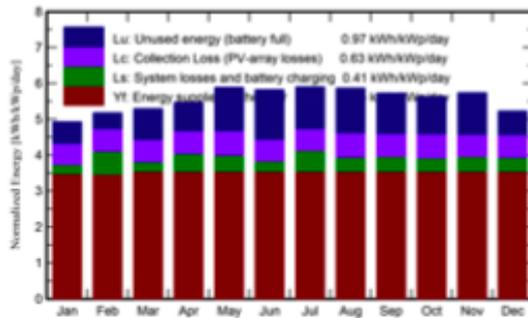
Loss of Load

Time Fraction 0.0 %
Missing Energy 81 kWh/year

Battery aging (State of Wear)

Cycles SOW 94.9 %
Static SOW 93.3 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SoIFrac ratio
January	162.4	147.9	2464	352.3	39.12	2070	2109	0.982
February	149.2	140.8	2334	234.9	42.32	1863	1905	0.978
March	160.6	159.9	2668	504.3	0.00	2109	2109	1.001
April	152.4	160.2	2675	453.0	0.00	2041	2041	1.000
May	159.0	178.9	2989	716.4	0.00	2109	2109	1.001
June	148.5	171.3	2905	792.4	0.00	2041	2041	1.001
July	157.5	179.4	3040	691.1	0.00	2109	2109	1.001
August	164.0	178.4	2976	735.4	0.00	2109	2109	1.001
September	163.8	167.8	2822	643.3	0.00	2041	2041	1.001
October	176.1	170.5	2841	610.5	0.00	2109	2109	1.000
November	180.9	167.7	2843	662.7	0.00	2041	2041	1.001
December	174.5	157.3	2619	388.8	0.00	2109	2109	1.000
Year	1949.0	1980.1	33174	6785.1	81.45	24754	24835	0.997

Legends

GlobHor Global horizontal irradiation
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
E_Avail Available Solar Energy
EUnused Unused energy (battery full)
E_Miss Missing energy

E_User Energy supplied to the user
E_Load Energy need of the user (Load)
SoIFrac Solar fraction (EUsed / ELoad)

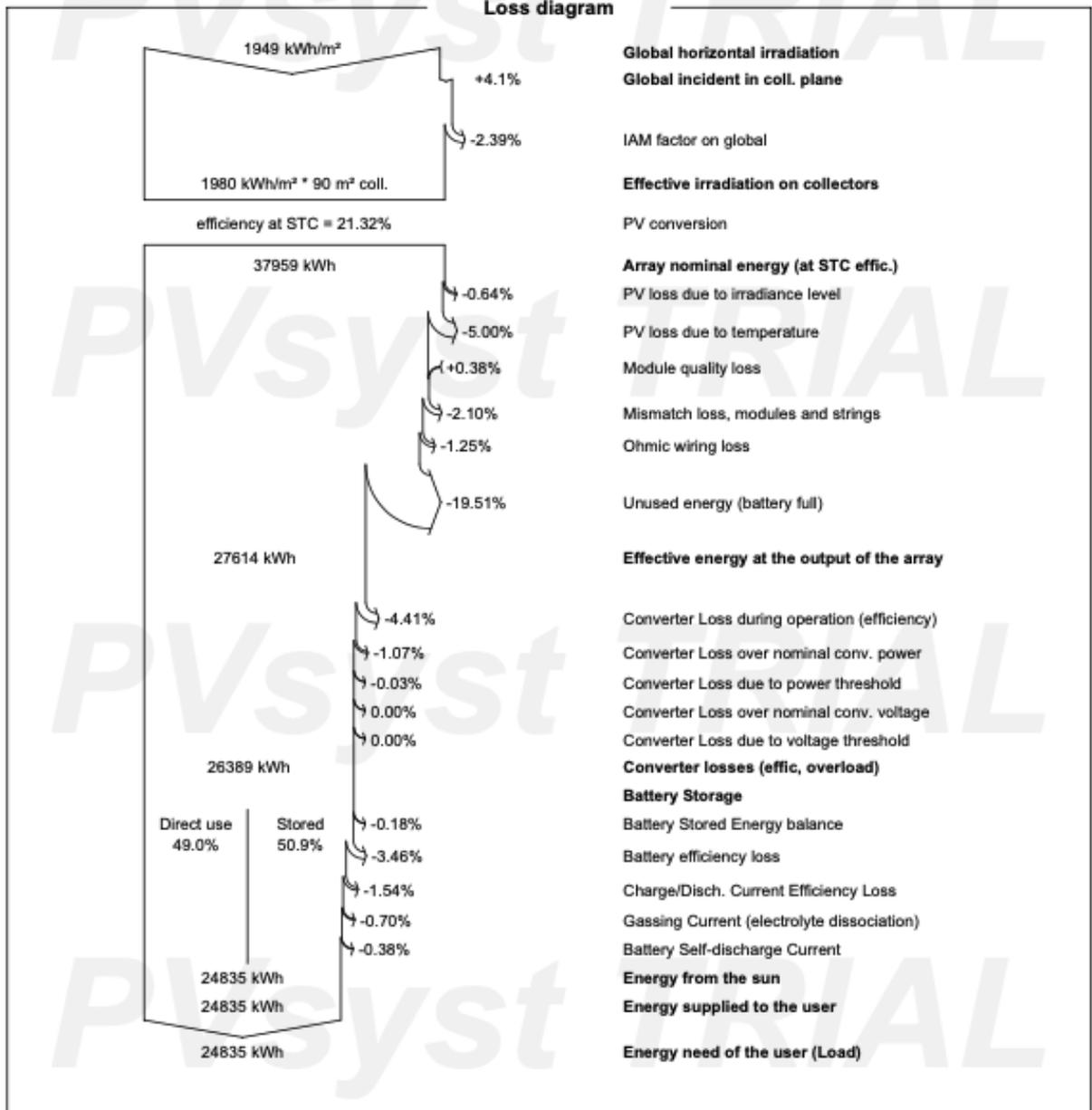


Project: Proyecto Solar Andahuaylillas 2

Variant: Nueva variante de simulación - 4

PVsyst V7.4.8

VC1, Simulation date:
25/08/24 18:54
with V7.4.8



7.5 CONCLUSIONES DE LA SIMULACIÓN

El informe de la simulación nos da una información muy interesante sobre lo que hace el sistema fotovoltaico. A continuación, se profundiza en alguna pieza de información interesante:

- El sistema sugiere que se necesitan aproximadamente 43 paneles con el perfil de consumos de la granja, lo que coincide con lo calculado a mano que son 43,7 paneles (44). En la simulación, se ponen 45 paneles porque se tienen que hacer ramas idénticas.
- El sistema es capaz de producir 24,754 kWh, de los cuales 6,785 kWh no se utilizan debido a la capacidad limitada de almacenamiento de la batería.
- El sistema de baterías muestra un ciclo de desgaste estático del 93.3%, indicando que las baterías envejecen, pero, al cabo de un año se encuentran en condiciones aceptables.
- Aproximadamente el 49% de la energía se utiliza directamente mientras que el 51% se almacena en las baterías.
- Aunque el sistema es eficiente y la fracción solar es alta, el rendimiento del sistema (PR) es relativamente bajo, por lo que se puede mejorar la eficiencia general. Sin embargo, como el inversor seleccionado no es el usado en realidad, estos valores son más bien aproximados, aunque se podría mejorar la eficiencia general optimizando la configuración de los módulos o reduciendo las pérdidas térmicas y de conexión.

Capítulo 8. VIABILIDAD ECONÓMICA

En este estudio de viabilidad económica se va a evaluar el coste total del proyecto, los ahorros que genera y el tiempo necesario para recuperar la inversión.

8.1 COSTES INICIALES

Se detallan a continuación todos los costes iniciales de la instalación

<i>Elemento</i>	<i>Precio (€)</i>
<i>Paneles solares (x44)</i>	4.312,44
<i>Inversores (x2)</i>	5998
<i>Baterías</i>	23.744
<i>Soportes</i>	8.000
<i>Cableado</i>	228
<i>TOTAL</i>	42.282,44

Tabla 12. Presupuesto inicial de la instalación

El presupuesto completo asciende a 42.282,44 €. Se considera que el proyecto tendrá una duración mínima de 30 años y, para hacer el análisis lo más preciso posible se tendrá en cuenta que la instalación pierde rendimiento por el deterioro de los materiales de la instalación, resultando en una menor producción de energía a medida que pasan los años.

8.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

Según las especificaciones del fabricante, el desgaste de los paneles solares es del 0,4% anual. De la batería no se tienen datos del fabricante, pero se supondrá un desgaste estándar de un 0,5% anual.

En la siguiente tabla se detallan las producciones de energía de nuestra instalación en un año tipo:

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SoIFrac ratio
January	162.4	147.9	2464	352.3	39.12	2070	2109	0.982
February	149.2	140.8	2334	234.9	42.32	1863	1905	0.978
March	160.6	159.9	2668	504.3	0.00	2109	2109	1.001
April	152.4	160.2	2675	453.0	0.00	2041	2041	1.000
May	159.0	178.9	2989	716.4	0.00	2109	2109	1.001
June	148.5	171.3	2905	792.4	0.00	2041	2041	1.001
July	157.5	179.4	3040	691.1	0.00	2109	2109	1.001
August	164.0	178.4	2976	735.4	0.00	2109	2109	1.001
September	163.8	167.8	2822	643.3	0.00	2041	2041	1.001
October	176.1	170.5	2841	610.5	0.00	2109	2109	1.000
November	180.9	167.7	2843	662.7	0.00	2041	2041	1.001
December	174.5	157.3	2619	388.8	0.00	2109	2109	1.000
Year	1949.0	1980.1	33174	6785.1	81.45	24754	24835	0.997

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	E_User	Energy supplied to the user
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	E_Load	Energy need of the user (Load)
E_Avail	Available Solar Energy	SoIFrac	Solar fraction (EUsed / ELoad)
EUnused	Unused energy (battery full)		
E_Miss	Missing energy		

Tabla 13. Producción del sistema fotovoltaico

También se puede calcular la energía producida anualmente de la siguiente manera:

$$E_p = P_p \cdot n \cdot h \cdot d$$

$$E_p = 425 \cdot 44 \cdot 4,92 \cdot 365 = 33.581 \text{ kWh}$$

Resulta un número muy similar al de la simulación en PVSYSST representado en la tabla. Podemos tomar cualquiera de los dos, se elige el dato de la tabla de 33174 kWh.

También es interesante calcular la energía que se va a utilizar durante los 30 años de vida del proyecto:

$$E_{total\ usada} = 24.754 \times 30 = 742.620 \text{ kWh}$$

El precio de la electricidad en Perú para negocios es de 0,151 €/kWh. [16]

A continuación, se proyecta la producción de energía en los próximos 30 años.

Año	Rendimie	Energía producida (kWh/año)
2024	100,00%	33174
2025	99,60%	33041,304
2026	99,20%	32908,608
2027	98,80%	32775,912
2028	98,40%	32643,216
2029	98,00%	32510,52
2030	97,60%	32377,824
2031	97,20%	32245,128
2032	96,80%	32112,432
2033	96,40%	31979,736
2034	96,00%	31847,04
2035	95,60%	31714,344
2036	95,20%	31581,648
2037	94,80%	31448,952
2038	94,40%	31316,256
2039	94,00%	31183,56
2040	93,60%	31050,864
2041	93,20%	30918,168
2042	92,80%	30785,472
2043	92,40%	30652,776
2044	92,00%	30520,08
2045	91,60%	30387,384
2046	91,20%	30254,688
2047	90,80%	30121,992
2048	90,40%	29989,296
2049	90,00%	29856,6
2050	89,60%	29723,904
2051	89,20%	29591,208
2052	88,80%	29458,512
2053	88,40%	29325,816
2054	88,00%	29193,12
Total		966690,36

Tabla 14. Proyección de producción energética en 30 años

Se cubre la demanda de la granja con la producción, lo que quiere decir que el sistema está correctamente dimensionado.

El ahorro consiste en que la energía utilizada no se ha pagado, por lo que se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Ahorro} = 742.620 \text{ kWh} \times 0,151 \text{ €/kWh} = 112.135,62 \text{ €}$$

Ahora es necesario comprobar la rentabilidad del proyecto en estos 30 años, por lo que se realiza un análisis detalla en la siguiente tabla:

Año	Coste instalación	Energía producida (kWh/año)	Ahorro	Mantenimiento	Resultado
2024	-42.282,44 €	33174	5.009,27 €	0	-42.282,44 €
2025		33041,304	5.009,27 €	500,00 €	-37.773,17 €
2026		32908,608	5.009,27 €	500,00 €	-33.263,90 €
2027		32775,912	5.009,26 €	500,00 €	-28.754,64 €
2028		32643,216	5.009,26 €	500,00 €	-24.245,38 €
2029		32510,52	5.009,25 €	500,00 €	-19.736,13 €
2030		32377,824	5.009,25 €	500,00 €	-15.226,88 €
2031		32245,128	5.009,25 €	500,00 €	-10.717,63 €
2032		32112,432	5.009,24 €	500,00 €	-6.208,39 €
2033		31979,736	5.009,24 €	500,00 €	-1.699,15 €
2034		31847,04	5.009,23 €	500,00 €	2.810,08 €
2035		31714,344	5.009,23 €	500,00 €	7.319,31 €
2036		31581,648	5.009,23 €	500,00 €	11.828,54 €
2037		31448,952	5.009,22 €	500,00 €	16.337,76 €
2038		31316,256	5.009,22 €	500,00 €	20.846,98 €
2039		31183,56	5.009,21 €	500,00 €	25.356,19 €
2040		31050,864	5.009,21 €	500,00 €	29.865,40 €
2041		30918,168	5.009,21 €	500,00 €	34.374,61 €
2042		30785,472	5.009,20 €	500,00 €	38.883,81 €
2043		30652,776	5.009,20 €	500,00 €	43.393,01 €
2044		30520,08	5.009,19 €	500,00 €	47.902,20 €
2045		30387,384	5.009,19 €	500,00 €	52.411,39 €
2046		30254,688	5.009,19 €	500,00 €	56.920,58 €
2047		30121,992	5.009,18 €	500,00 €	61.429,76 €
2048		29989,296	5.009,18 €	500,00 €	65.938,94 €
2049		29856,6	5.009,17 €	500,00 €	70.448,11 €
2050		29723,904	5.009,17 €	500,00 €	74.957,28 €
2051		29591,208	5.009,17 €	500,00 €	79.466,45 €
2052		29458,512	5.009,16 €	500,00 €	83.975,61 €
2053		29325,816	5.009,16 €	500,00 €	88.484,77 €
2054		29193,12	5.009,15 €	500,00 €	92.993,92 €

Tabla 15. Análisis económico del sistema fotovoltaico

Se adjunta también un gráfico con el resultado de la tabla que ayudan a comprender mejor el desempeño económico de la instalación.

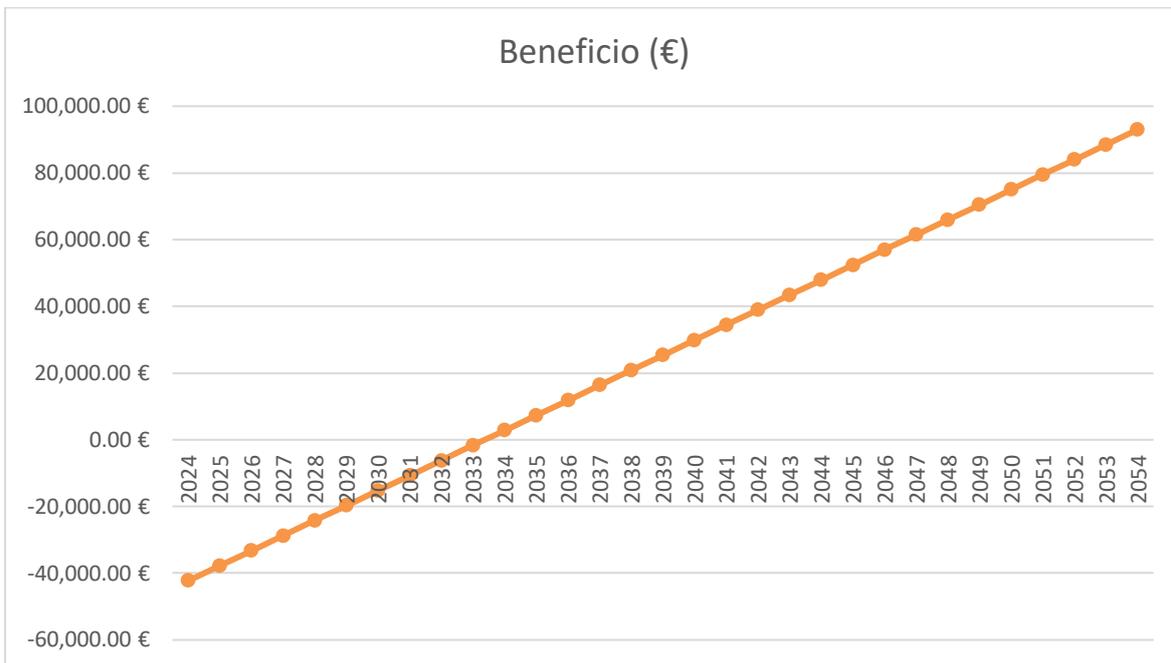


Figura 24. Resultados económicos de la instalación

De la tabla y la gráfica se puede deducir que el ahorro neto al final de la vida útil de la instalación es de 92.993,92€ por lo que el ahorro obtenido es significativamente superior a los costes iniciales y al mantenimiento. También se puede ver que la instalación comienza a ser rentable en el año 10 de su funcionamiento.

8.3 CONCLUSIÓN

Una vez se han obtenido los flujos de caja de la instalación, para verlos desde un punto de vista más económico y evaluar el proyecto y la inversión, se puede calcular la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN).

Para hacer estos cálculos, es necesario tener una tasa de descuento, que para un proyecto solar se encuentra entre el 5 y el 10%, se elige una tasa de descuento del 7% para nuestros cálculos

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{\text{Flujo de caja anual}}{(1+r)^t} - \text{inversión inicial}$$

Donde:

- r: tasa de descuento
- t: años de 1 a 30
- n: número total de años

$$VAN\ 30\ años = 27.372,04€$$

Se obtiene un VAN positivo, lo que quiere decir que, con la tasa de descuento considerada, el proyecto es rentable. Ahora, se va a calcular el TIR, que es la tasa de descuento a la cual el VAN de la instalación sería cero.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{\text{Flujo de caja anual}}{(1 + TIR)^t} - \text{inversión inicial}$$

$$TIR = 8\%$$

También se observa que el TIR es mayor a la tasa de descuento (7%) por lo que se deduce que el proyecto es viable y es considerado como una buena inversión.

Capítulo 9. CONCLUSIONES Y TRABAJOS

FUTUROS

El sistema fotovoltaico planteado para la granja lechera de Andahuaylillas ha demostrado ser técnicamente viable y, además, es económicamente rentable a largo plazo como se observa en el análisis económico realizado. Esta instalación pretende contribuir o conseguir la autosuficiencia energética de la granja, dependiendo lo mínimo posible de la red eléctrica convencional. Ayudando también a superar los retos de la transición energética y sentar un precedente en la región para que más negocios u hogares, aprovechen su situación geográfica y opten por esta fuente de energía renovable.

La producción estimada de energía satisface con creces la demanda energética de la instalación, se ha procurado que haya energía suficiente para todas las épocas del año diseñando con el dato del peor mes. Se ha optado por un sistema aislado para evitar la complejidad de conectarlo a la red y en su lugar, almacenar la energía sobrante en baterías para su uso en momentos de necesidad. El proceso de dimensionamiento y elección de componentes garantiza que la instalación sea capaz de soportar picos de demanda y mantener un suministro constante de energía.

Como trabajos futuros se plantea:

- Añadir un sistema de monitoreo a tiempo real que permita analizar el rendimiento del sistema fotovoltaico para detectar ineficiencias, como puede ser la degradación de los paneles y/o baterías.
- Estudiar si es viable la expansión del sistema fotovoltaico para cubrir una demanda energética mayor o generar un excedente energético que sea vendido a la red eléctrica.
- Investigar la reutilización y reciclaje de los materiales de los paneles solares y baterías cuando acabe su vida útil, contribuyendo a la economía circular.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Capítulo 10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] **Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).** (2022). *Perú: Pobreza monetaria, 2021: Informe técnico.* Instituto Nacional de Estadística e Informática. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1863/cap04.pdf
- [2] **Expansión Datosmacro.** (s.f.). *Datos macro Perú.* Expansión. <https://datosmacro.expansion.com/paises/peru>
- [3] **Global Energy Monitor.** (s.f.). *Perfil energético: Perú.* Global Energy Monitor. https://www.gem.wiki/Perfil_energ%C3%A9tico:_Per%C3%BA
- [4] **Naciones Unidas.** (s.f.). *¿Qué es la energía renovable?* Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>
- [5] **International Renewable Energy Agency (IRENA).** (2024). *Renewable energy statistics 2024.* International Renewable Energy Agency. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Jul/IRENA_Renewable_Energy_Statistics_2024.pdf?rev=c1fd271e788d42d189fa1b1f625cf521
- [6] **Iberdrola.** (s.f.). *¿Cómo funcionan las placas solares fotovoltaicas?* Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/innovacion/como-funcionan-placas-solares-fotovoltaicas>
- [7] **Repsol.** (s.f.). *Tipos de placas solares.* Repsol. <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/tipos-de-placas-solares/index.cshtml>
- [8] **Salvador Escoda S.A.** (2017, 27 de noviembre). *Energética y geometría solar.* Salvador Escoda S.A. <https://www.salvadorescoda.com/2017/11/27/energetica-y-geometria-solar/>
- [9] **Enlight.** (s.f.). *Baterías para paneles solares: ¿Qué son, para qué sirven y cuánto cuestan?* Enlight. <https://www.enlight.mx/blog/baterias-para-paneles-solares-que-son-para-que-sirven-y-cuanto-cuestan>
- [10] **Novum Solar.** (s.f.). *Sistema solar conectado a red.* Novum Solar. <https://novumsolar.com/sistema-solar-conectado-a-red/>
- [11] **International Renewable Energy Agency (IRENA).** (s.f.). *Final renewable energy consumption.* International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Renewable-Energy-Balances/Final-Renewable-Energy-Consumption>
- [12] **International Renewable Energy Agency (IRENA).** (s.f.). *Capacity and generation: Country rankings.* International Renewable Energy Agency.

<https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings>

- [13] **SolarReviews.** (s.f.). *¿Cómo funcionan los paneles solares?* SolarReviews. <https://www.solarreviews.com/es/blog/como-funcionan-paneles-solares>
- [14] Arias-Rosales, Andrés & LeDuc, Philip R., 2020. "[Modeling the transmittance of anisotropic diffuse radiation towards estimating energy losses in solar panel coverings](#)," *Applied Energy*, Elsevier, vol. 268(C).
- [15] Chaudhary, A., & Chaturvedi, D. (2018). Analyzing Defects of Solar Panels under Natural Atmospheric Conditions with Thermal Image Processing. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*. <https://doi.org/10.5815/IJIGSP.2018.06.02>.
- [16] **GlobalPetrolPrices.com.** (s.f.). *Electricity prices around the world*. GlobalPetrolPrices.com. https://es.globalpetrolprices.com/electricity_prices/#h137
- [17] **TecnoSolar.** (s.f.). *Características eléctricas de los paneles solares*. TecnoSolar. <https://tecnosolab.com/noticias/caracteristicas-electricas-de-los-paneles-solares/>
- [18] **Smart Spain.** (s.f.). *Inclinación de placas solares: ¿Cuál es la adecuada?* Smart Spain. <https://smartspain.es/inclinacion-placas-solares/>

○ ANEXO I: HOJAS DE CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS

CALEFACCIÓN

PANELES RADIANTES Serie TERMOTECH-HT



Paneles radiantes de alta temperatura, de 300°C.

Características:

Instalación fácil, económica y flexible: no necesitan ni cuadros eléctricos ni transformadores. Se pueden añadir paneles a una instalación ya existente. Regulables mediante un termostato ambiente.

Se pueden conectar 2 ó 3 unidades en circuitos diferentes, lo que permite reducir la potencia absorbida en periodos poco fríos.

Protección contra la humedad: pueden ser instalados en el exterior bajo cubierta.

300°C
TEMPERATURA

APLICACIONES

Proporcionar calefacción en recintos de gran altura y/o volumen (naves, talleres, almacenes, instalaciones deportivas).
Dar confort en zonas de trabajo, ubicadas en recintos de mayor dimensión sin calefacción.
Procesos de secado de productos, componentes y materiales.



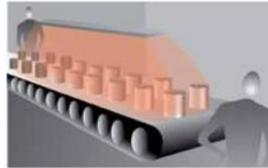
Naves, talleres, almacenes.



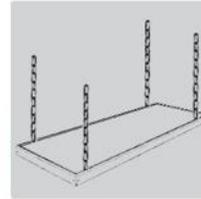
Zonas de trabajo.



Supermercados.

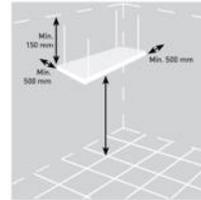


Procesos de secado.



Fácil instalación

Los paneles radiantes incorporan 4 soportes para ser suspendidos, mediante cadenas (no incluidas), del techo u otros elementos fijos, como vigas.



Recomendaciones de instalación

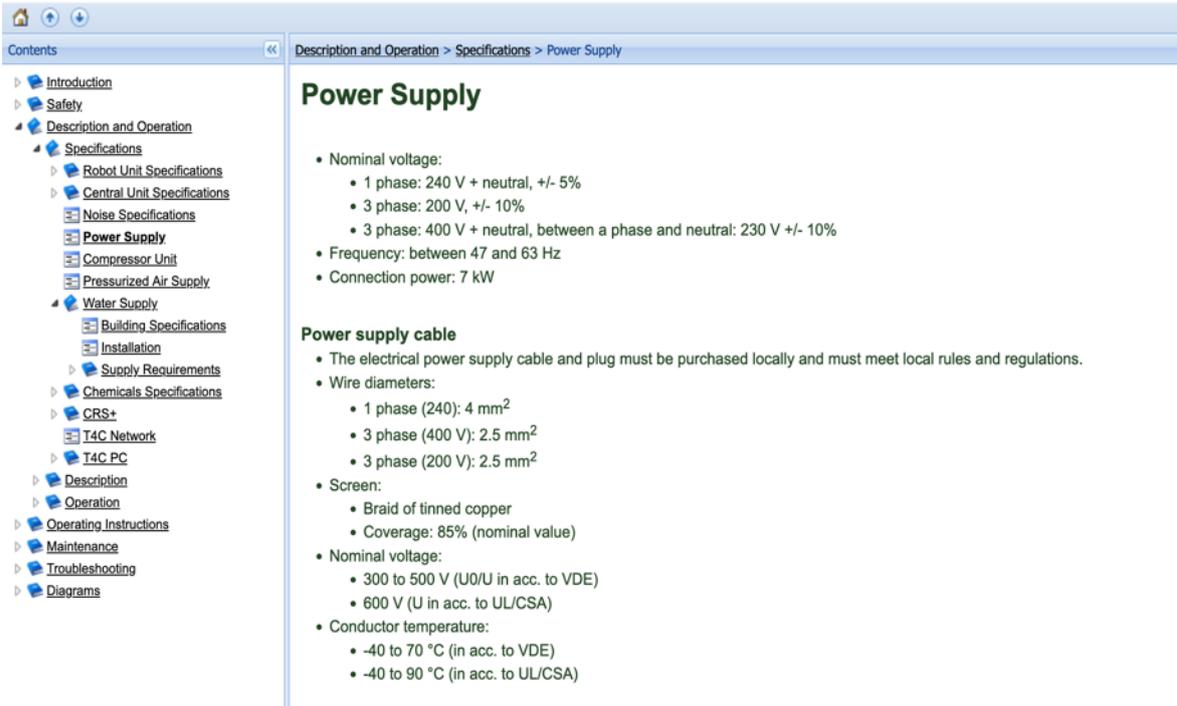
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Modelo	Tensión (V)	Potencia (W)	Intensidad absorbida máxima (A)		Temperatura superficial máxima (°C)	Altura instalación recomendada (mm)	Protección	Aislamiento	Dimensiones LxAxH (mm)	Peso (kg)
TERMOTECH-HT-1750	230V mono	1750	230V	400V	300	3,5 a 4,5	IP54	Clase I	1675x220x75	8
TERMOTECH-HT-3500	230V mono / 400V 3-N *	3500	18,0	9,3	300	3,5 a 7	IP54	Clase I	1675x400x75	12
TERMOTECH-HT-5250	230V mono / 400V 3-N	5250	24,0	13,5	300	3,5 a 7	IP54	Clase I	1675x570x75	16

* 2/400: 2 fases

ORDEÑADORA AUTOMÁTICA

E-Manual: Lely Astronaut A4 Operator Manual



The screenshot shows a web-based manual interface. On the left is a 'Contents' sidebar with a tree view. The main area on the right displays the 'Power Supply' section, which includes a breadcrumb trail 'Description and Operation > Specifications > Power Supply' and two sub-sections: 'Power Supply' and 'Power supply cable'. Both sections contain bulleted lists of technical specifications.

Contents

- Introduction
- Safety
- Description and Operation
 - Specifications
 - Robot Unit Specifications
 - Central Unit Specifications
 - Noise Specifications
 - Power Supply**
 - Compressor Unit
 - Pressurized Air Supply
 - Water Supply
 - Building Specifications
 - Installation
 - Supply Requirements
 - Chemicals Specifications
 - CRS+
 - T4C Network
 - T4C PC
- Description
- Operation
- Operating Instructions
- Maintenance
- Troubleshooting
- Diagrams

Description and Operation > Specifications > Power Supply

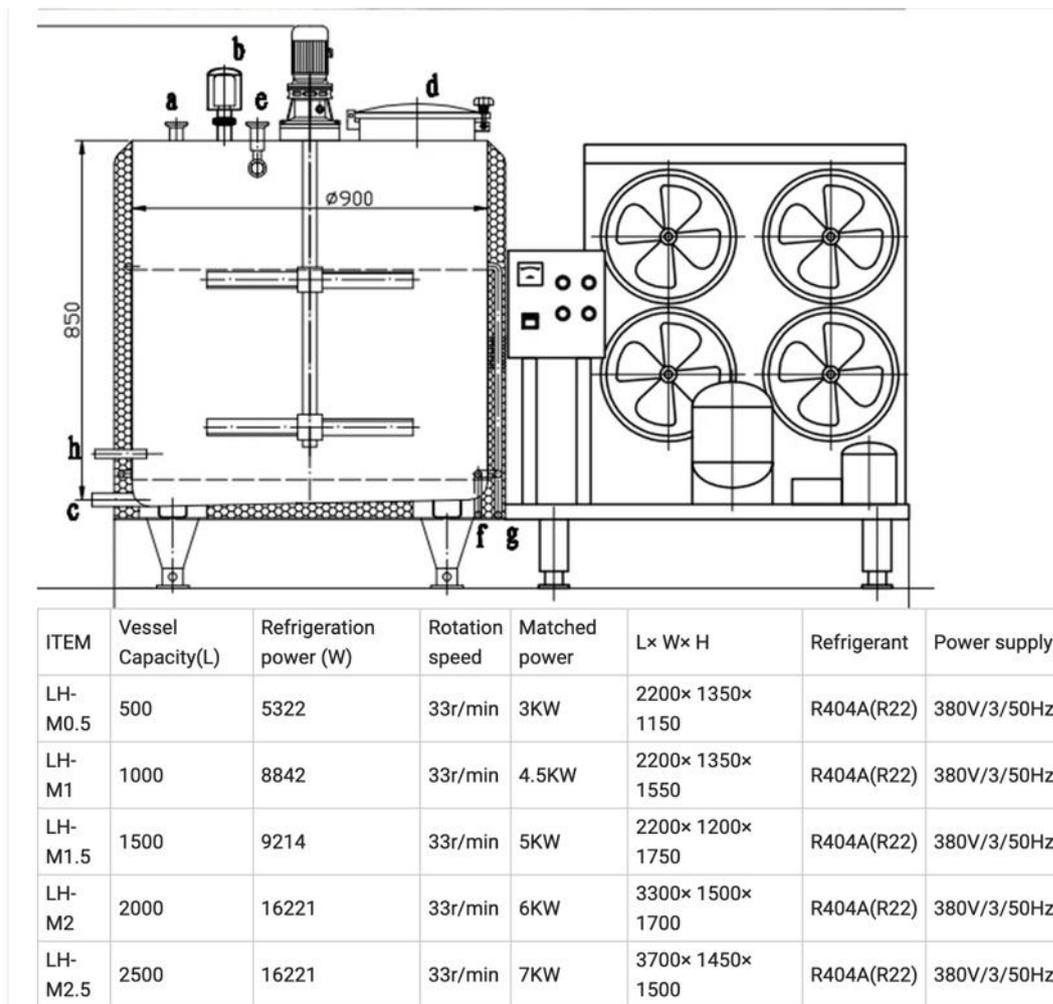
Power Supply

- Nominal voltage:
 - 1 phase: 240 V + neutral, +/- 5%
 - 3 phase: 200 V, +/- 10%
 - 3 phase: 400 V + neutral, between a phase and neutral: 230 V +/- 10%
- Frequency: between 47 and 63 Hz
- Connection power: 7 kW

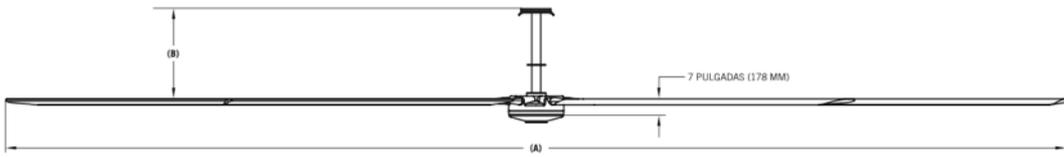
Power supply cable

- The electrical power supply cable and plug must be purchased locally and must meet local rules and regulations.
- Wire diameters:
 - 1 phase (240): 4 mm²
 - 3 phase (400 V): 2.5 mm²
 - 3 phase (200 V): 2.5 mm²
- Screen:
 - Braid of tinned copper
 - Coverage: 85% (nominal value)
- Nominal voltage:
 - 300 to 500 V (U0/U in acc. to VDE)
 - 600 V (U in acc. to UL/CSA)
- Conductor temperature:
 - 40 to 70 °C (in acc. to VDE)
 - 40 to 90 °C (in acc. to UL/CSA)

SISTEMA DE REFRIGERACIÓN



SISTEMA DE VENTILACIÓN

TITAN					
DIAMETRO DEL VENTILADOR (A)	14 ft 4.26 m	16 ft 4.9 m	18 ft 5.5 m	20 ft 6.1 m	24 ft 7.32 m
MOTOR	AC 1PH 200-240v 50/60 Hz		AC 3PH 200-240v 50/60 Hz	AC 3PH 380-480v 50/60 Hz	
BARRA DE EXTENSION ESTANDAR (B)	3 ft	3 ft	3 ft	4 ft	4 ft
	0.914 m	0.914 m	0.914 m	1.22 m	1.22 m
					
FUERZA DEL MOTOR	3/4 HP	1 HP	1 HP	1 HP	1 HP
	0.56 kW	0.745 kW	0.745 kW	0.745 kW	0.745 kW
AREA EFECTIVA DE IMPACTO ⁽¹⁾ NIVEL CARA Y PECHO	70 ft	80 ft	90 ft	100 ft	120 ft
	4,900 sqft	6,400 sqft	8,100 sqft	10,000 sqft	14,400 sqft
	22 m	25 m	28 m	31 m	37 m
	484 m ²	625 m ²	784 m ²	961 m ²	1,369 m ²
AREA MAX. AFECTADA ⁽²⁾	88 ft	100 ft	113 ft	125 ft	150 ft
	7,744 sqft	10,000 sqft	12,769 sqft	15,625 sqft	22,500 sqft
	26.8 m	30.5 m	34.4 m	38.1 m	45.7 m
	718.24 m ²	930.25 m ²	1,183.36 m ²	1,451.61 m ²	2,088.49 m ²
RPM MAX	105	102	95	82	70
PESO TOTAL ⁽³⁾	168 lbs	175 lbs	183 lbs	190 lbs	204 lbs
	76.2 kgs	79 kgs	83 kgs	86 kgs	93 kgs

ILUMINACIÓN



Campana industrial LED 100W OSRAM SMD

Referencia: CI3N100
Disponible en: Luz blanca

FICHA TÉCNICA

Referencia	CI3N100
Medidas	Ø 445 x 245 mm
Potencia	100W
Lumens	11000
Temperatura de color	Blanca 6000K
Ángulo de apertura	120°
Tipo y cantidad de led	SMD - 125 LED
Factor de potencia	0.68
Tipo de LED	Osram
Voltaje de entrada	200/240V
Frecuencia (HZ)	50 Hz
Material	Aluminio
Regulable	No
Grado de protección	IP20
Horas de vida	50,000 horas
Temperatura de trabajo	-20° / +40°
Certificaciones	CE, RoHS
Garantía	3 años



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

○ ANEXO II. HOJAS DE CARACTERÍSTICAS PV

Módulos solares

Vertex S+

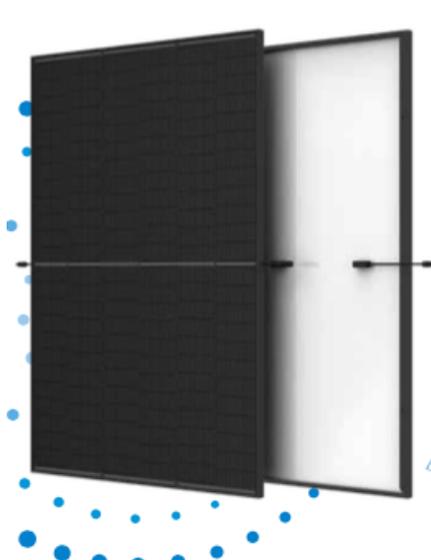
MÓDULO DE DOBLE VIDRIO tipo N i-TOPCon

PRODUCTO: TSM-NEG9R.25
RANGO DE POTENCIA: 425-450 W

450 W
POTENCIA MÁXIMA DE SALIDA

0/+5 W
TOLERANCIA POSITIVA

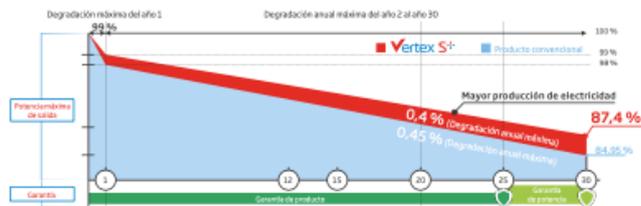
22,5 %
EFICIENCIA MÁXIMA



- Aspecto visual de excepción**
 - Diseñado pensando en la estética
 - Continuación del galardonado diseño negro de Trina Solar
- Diseño de doble vidrio, gran fiabilidad**
 - Hasta 25 años de garantía de producto y 30 años de garantía de potencia
 - Excelente resistencia al fuego y a las condiciones ambientales adversas
 - Cargas mecánicas de testeo probadas hasta +5400 Pa y -4000 Pa
- Pequeño en tamaño, grande en potencia**
 - Genera hasta 450 W, 22,5 % de eficiencia del módulo con tecnología de interconexión de alta densidad
 - Reduce el coste de la instalación con una mayor potencia y rendimiento
 - Aumenta el rendimiento en entornos de alta temperatura mediante un mejor comportamiento térmico
- Solución universal para cubiertas residenciales, comerciales e industriales**
 - Diseñado para asegurar una gran compatibilidad con inversores, optimizadores y sistemas de montaje convencionales
 - Tamaño perfecto y bajo peso para un fácil manejo. Costes de transporte optimizados
 - Soluciones de instalación flexibles para el montaje del sistema

Garantía ampliada del Vertex S+

- 1 %**
Degradación máxima del año 1
- 0,4 %**
Degradación anual máxima del año 2 al 30
- 25 Años**
Garantía de producto

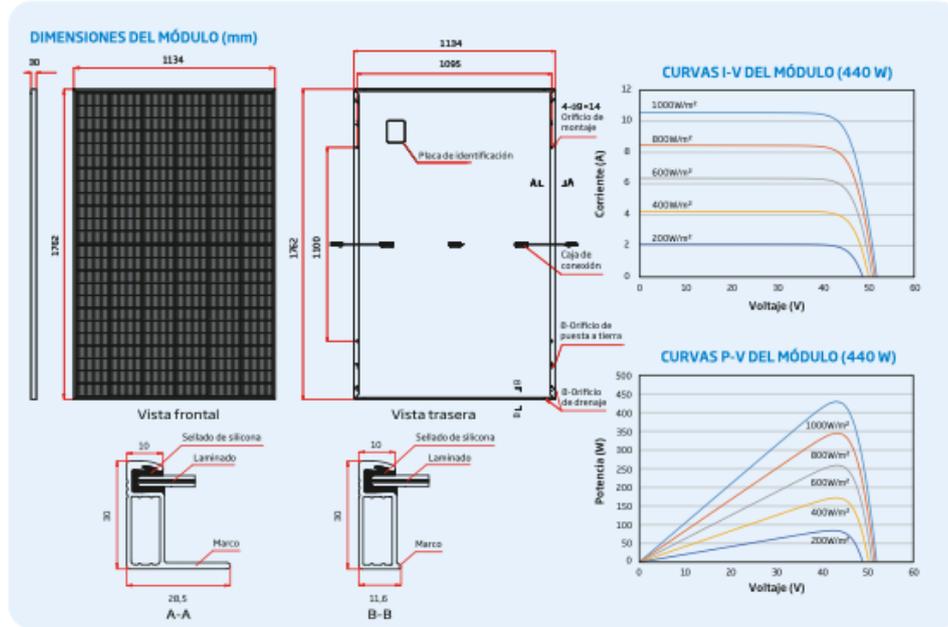


Certificados de productos y sistemas



IEC61215/IEC61730/IEC61701/IEC62716
ISO 9001: Sistema de Gestión de la Calidad
ISO 14001: Sistema de Gestión Ambiental
ISO14064: Verificación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero
ISO45001: Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo

Trinasolar



DATOS ELÉCTRICOS (STC)	TSM-425 NEO9L25	TSM-430 NEO9L25	TSM-435 NEO9L25	TSM-440 NEO9L25	TSM-445 NEO9L25	TSM-450 NEO9L25
Potencia Máxima P _{max} (W)*	425	430	435	440	445	450
Tolerancia de Potencia Nominal-P _{max} (W)	0/+5					
Tensión en Máxima Potencia-V _{mp} (V)	42,9	43,2	43,6	44,0	44,3	44,6
Corriente en Máxima Potencia-I _{mp} (A)	9,92	9,96	9,99	10,01	10,05	10,09
Tensión de Circuito Abierto-V _{oc} (V)	50,9	51,4	51,8	52,2	52,6	52,9
Corriente de Cortocircuito-I _{sc} (A)	10,56	10,59	10,64	10,67	10,71	10,74
Eficiencia η _m (%)	21,3	21,5	21,8	22,0	22,3	22,5

STC: Irradiación de 1000 W/m². Temperatura de la célula de 25 °C. AM1,5. **Tolerancia de medida de ±3 %.

DATOS ELÉCTRICOS (NOCT)	TSM-425 NEO9L25	TSM-430 NEO9L25	TSM-435 NEO9L25	TSM-440 NEO9L25	TSM-445 NEO9L25	TSM-450 NEO9L25
Potencia Máxima P _{max} (W)	325	329	333	337	341	344
Tensión en Máxima Potencia-V _{mp} (V)	40,4	40,7	41,0	41,4	41,7	42,0
Corriente en Máxima Potencia-I _{mp} (A)	8,06	8,08	8,12	8,14	8,17	8,19
Tensión de Circuito Abierto-V _{oc} (V)	48,3	48,7	49,1	49,5	49,9	50,2
Corriente de Cortocircuito-I _{sc} (A)	8,51	8,54	8,58	8,60	8,63	8,66

NOCT: Irradiación de 800 W/m². Temperatura ambiente de 20 °C. Velocidad del viento de 1 m/s.

DATOS MECÁNICOS

Células Solares	DOBLE VIDRIO tipo N i-TOPCon
Número de células	144 células
Dimensiones del módulo	1762 x 1134 x 30 mm
Peso	21,0 kg
Vidrio frontal	1,6 mm. Alta transmisión. Vidrio termoendurecido con recubrimiento AR
Material Encapsulante	POE/EVA
Vidrio trasero	1,6 mm. Vidrio termoendurecido con recubrimiento AR
Marco	30 mm Aleación de aluminio anodizado. Negro
J-Box	IP68
Cables	Cable fotovoltaico: 4,0 mm² Instalación en vertical: 1100/1100 mm Instalación en horizontal: 280/350 mm*
Conector	TS4 / MCA EVO2*

*Requisitos

TASAS DE TEMPERATURA

NOCT (Temperatura de Operación Nominal de Célula)	43°C (±2°C)
Coefficiente de Temperatura de P _{max}	-0,29%/°C
Coefficiente de Temperatura de V _{oc}	-0,24%/°C
Coefficiente de Temperatura de I _{sc}	0,04%/°C

LÍMITES OPERACIONALES

Temperatura de Operación	-40 a +85 °C
Tensión Máx. del Sistema	1500 V DC (IEC)
Capacidad Máxima del Fusible	25 A

GARANTÍA

25 años de garantía del Producto
30 años de garantía de Potencia
1 % de degradación el primer año
0,4 % de degradación anual de potencia

CONFIGURACIÓN DE EMBALAJE

Módulos por caja	36 unidades
Módulos por contenedor	40'936 unidades

(Consulta la garantía de producto para más información)

Baterías

Rolls 
FLOODED DEEP CYCLE BATTERY **S6 L16-HC**



Series	4000	Warranty	3 Years
Volts	6	BCI	L16
Cells	3	Plates/Cell	17
Terminal Type	LT		
Included Hardware	S/S Hex Cap Screw, Nut, Lock & Flat Washer		
Size & Thread	5/16"-18		
Cables	Optional: 19" 4/0 interconnect cable		

Charge	
Charge Voltage Range	2.45-2.5 V/cell @ 25°C (77°F)
Float Voltage Range	2.25 V/cell @ 25°C (77°F)
Recommended Charge Current	50 A
Maximum Charge Current	85 A
Self-Discharge Rate	5%-10% per month at 25°C (77°F)

Capacity	
Cold Crank Amps (CCA) 0°F / -18°C	1040
Marine Crank Amps (MCA) 32°F / 0°C	1299
Reserve Capacity (RC @ 25A)	861 Minutes
Reserve Capacity (RC @ 75A)	226 Minutes

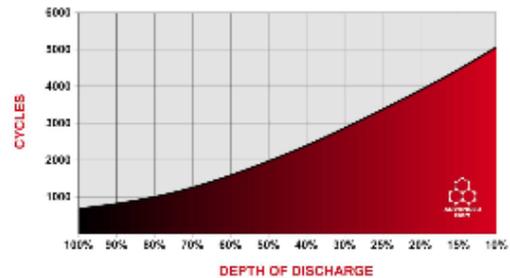
Capacity Affect by Temperature	40°C	25°C	0°C	-15°C
	(104°F)	(77°F)	(32°F)	(5°F)
	105%	100%	75%	50%

Hour Rate	Capacity / AMP Hour	Current / AMPs
@ 100 Hour Rate	512 AH	5.12 A
@ 72 Hour Rate	498 AH	6.92 A
@ 50 Hour Rate	481 AH	9.61 A
@ 20 Hour Rate	445 AH	22.25 A
@ 15 Hour Rate	418 AH	27.89 A
@ 10 Hour Rate	401 AH	40.05 A
@ 8 Hour Rate	383 AH	47.84 A
@ 5 Hour Rate	356 AH	71.20 A
@ 1 Hour Rate	209 AH	209.15 A

Ampere hour capacity ratings based on specific gravity of 1.280 at 27°C (80°F). Reduce capacities 5% for specific gravity of 1.265 and 10% for 1.250.

Specifications			
 Certified System UL 9540 ISO 9001 Quality	Weight	55.5 kg	122.5 lbs
	Length	318 mm	12.5"
	Width	181 mm	7.13"
	Height Inc. Term.	425.5 mm	16.75"
Electrolyte Reserve	57 mm	2.25"	
Container	High Density Polypropylene		
Cover	High Density Polypropylene		
Handles	Rope / Plastic Handle		
Notes	<ul style="list-style-type: none"> Plastics are UL94 HB (UL94-V2 available) Plastics are impact copolymer rated to ASTM D256, D5420 Vented design with integral flame arrestor vent caps 		

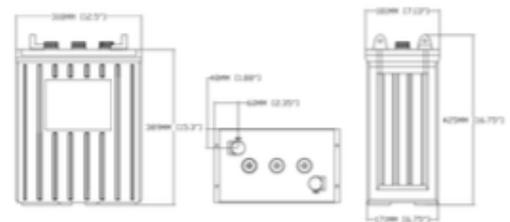
Cycle Life vs. Depth of Discharge



Voltage vs. Depth of Discharge

DISCHARGE	0%	25%	50%	75%	100%
20 HR AH RATE	2.10 V	2.07 V	2.00 V	1.92 V	1.75 V
10 HR AH RATE	2.10 V	2.06 V	1.98 V	1.89 V	1.75 V
3 HR AH RATE	2.10 V	2.03 V	1.95 V	1.86 V	1.75 V
1 HR AH RATE	2.10 V	2.01 V	1.93 V	1.84 V	1.75 V

Detailed Illustration



Designed in compliance with applicable BCI, DIN, BS & IEC standards. Tested in compliance to BCI & IEC standards.



Intertek 0122624

Inversor

Quantro	12/5000/120-80/50 24/3000/70-80/50	12/5000/220-100/100 24/5000/120-100/100 48/5000/70-100/100	24/10000/200-100/100 48/8000/110-100/100	48/10000/140-100/100	48/15000/200-100/100
Tensión nominal de la batería	12/3000: Batería de 12 V 24/3000: Batería de 24 V	12/5000: Batería de 12 V 24/5000: Batería de 24 V 48/5000: Batería de 48 V	24/8000: Batería de 24 V 48/8000: Batería de 48 V	Batería de 48 V	
PowerControl / PowerAssist	Sí				
Conmutador de transferencia integrado	Sí				
2 entradas CA	Rango de tensión de entrada: 187-250 VCA Frecuencia de entrada: 50/60 Hz Cos φ >0,8				
Corriente máxima de alimentación (A)	2x 50	2x100	2x100	2x100	2x100
ICw	8 kA, 30 ms				
INVERSOR					
Rango de tensión de entrada (VCC)	9,5 - 17 V 19 - 33 V 38 - 66 V				
Salida ¹⁾	Tensión de salida: 230 VCA ± 2 % Frecuencia: 50 Hz ± 0,1 %				
Potencia cont. de salida a 25 °C (VA) ¹⁾	3000	5000	8000	10000	15000
Potencia cont. de salida a 25 °C (W)	2400	4900	6400	8000	12000
Potencia cont. de salida a 40 °C (W)	2200	3700	5500	6500	10000
Potencia cont. de salida a 65 °C (W)	1700	3000	3600	4500	7000
Pico de potencia (W)	6000	10000	16000	20000	25000
Corriente de entrada (A CC)	250 / 125	458/230/118	381/188	235	350
Corriente de salida continua máxima (A ²⁾)	11	19	30	37	55/50
Rango del factor de potencia	±0,8	±0,8	±0,8	±0,8	±0,8
Corriente máxima de fallo en salida	32 A pico 1 s	53 A 1 s	100 A 1 segundo	100 A 1 segundo	150 A 1 segundo
Eficacia máxima (%)	95 / 94	94 / 94 / 95	94 / 96	96	96
Consumo en vacío (W)	20 / 20	30 / 30 / 35	60 / 60	80	110
Consumo en vacío en modo ahorro (W)	15 / 15	20 / 25 / 30	40 / 40	40	75
Consumo en vacío en modo búsqueda (W)	8 / 10	10 / 10 / 15	15 / 15	15	20
CARGADOR					
Tensión de carga de "absorción" (VCC)	14,4 / 28,8	14,4 / 28,8 / 57,6	28,8 / 57,6	57,6	57,6
Tensión de carga de "float" (VCC)	13,8 / 27,6	13,8 / 27,6 / 55,2	27,6 / 55,2	55,2	55,2
Modo de almacenamiento (VCC)	13,2 / 26,4	13,2 / 26,4 / 52,8	26,4 / 52,8	52,8	52,8
Corriente de carga batería auxiliar (A) ³⁾	120 / 70	220 / 120 / 70	200 / 110	140	200
Corriente de carga batería arranque (A)	4 (solo modelos de 12 y 24V)				
Sensor de temperatura de la batería	Sí				
GENERAL					
Salida auxiliar (A) ⁴⁾	25	50	50	50	50
Relé programable ⁵⁾	3x	3x	3x	3x	3x
Protección ⁶⁾	a-g				
Puerto de comunicación VE.Bus	Para funcionamiento paralelo y trifásico, control remoto e integración del sistema				
Puerto de comunicaciones de uso general	2x	2x	2x	2x	2x
De/DI reverso	Sí				
Características comunes	Temp. de trabajo: -20 a +60 °C Humedad (sin condensación): máx. 95 %				
Altitud máxima	3500 m				
CARCASA					
Características comunes	Material y color: aluminio (según RAL 5012) Categoría de protección: IP20, grado de contaminación 2, DVC III				
Conexión de la batería	Cuatro pines M8 (2 conexiones positivas y 2 neutras)				
Conexión CA 230 V	Bornes de tornillo de 15 mm ¹⁾ (8 AWG)	Pernos M6	Pernos M6	Pernos M6	Pernos M6
Peso (kg)	19	34 / 30 / 30	45 / 41	51	72
Dimensiones (al x an x p en mm.)	362 x 258 x 218	470 x 350 x 280 446 x 328 x 240	470 x 350 x 280	470 x 350 x 280	572 x 488 x 344
NORMATIVAS					
Seguridad	EN IEC 60335-1, EN IEC 60335-2-29, EN IEC 62109-1				
Emissiones, Inmunidad vehicular de carretera	EN 55014-1, EN 55014-2, EN IEC 61000-3-2, EN IEC 61000-3-3, IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-3				
Antiida	Modelos de 12 y 24V IEC R10-4				
	Visite nuestra página web				



Panel Digital Multi Control

Una solución cómoda y económica para la supervisión y control. Con interruptor on/off/charger only (solo cargador), lectura completa de LED y selector giratorio para establecer los niveles de PowerControl y PowerAssist.



Mochila VE.Bus Smart

Para monitorización y control por Bluetooth y control por la aplicación VictronConnect. También mide la tensión y la temperatura de la batería.



Interfaz M8-USB

Es necesaria para configurar el MultiPlus. Puede usarse con la aplicación VictronConnect o con el software VEConfigure. La interfaz se conecta al MultiPlus mediante un cable USB y se enchufa en un puerto USB.



Aplicación VictronConnect

Para monitorizar o configurar el MultiPlus con su teléfono, tableta u ordenador.



Monitor de baterías

Para controlar el estado de carga de la batería mediante Bluetooth o el portal VRM. El BMV 712 Smart tiene pantalla, pero el SmartShunt no. Los dos se comunican por Bluetooth y tienen un puerto de comunicación VE.Direct.

Soporte fijo

SCHLETTER

► **FS UNO**

TECHNICAL DETAILS

Field of application	Open-air system with pile-driven foundation; individual supports
Material	<ul style="list-style-type: none"> • Pile-driving foundations: steel, Z1200 hot-dip galvanized in accordance with DIN EN ISO 1461 or ZM600 coated in accordance with DIN EN 10346 (depending on soil conditions) • Girders/purlins: steel, Z600 hot-dip galvanized in accordance with DIN EN ISO 12944-2 or ZM310 coated in accordance with DIN EN 10346 • Module clamps: aluminum clamps or screw connection in accordance with customer requirements • Fasteners and screws: steel, zinc flake coated, or stainless steel
Planning aid	Project specific planning
Statics	<ul style="list-style-type: none"> • Individual system statics based on regional data and guidelines • Structural analysis of the terrain based on an external soil survey • 3D terrain model for foundation design and optimization (optional) • The loading assumptions comply with DIN EN 1991-1 Parts 3 and 4, DIN EN 1990, DIN EN 1999, and DIN EN 1993 as well as the regulations of the national annex (UL 2703, ASCE 07-05, ASCE 07-10, ASCE 07-16, ASCE 07-20) • Proof of all structural components based on FEM calculations or according to structural test set-up
Module assignment	<ul style="list-style-type: none"> • Framed modules with a frame height of 30-50 mm • Two module rows in vertical alignment • Option for large-format or bifacial modules • Option for First Solar modules
Fastening	<ul style="list-style-type: none"> • Rear clamping possible • Integrated grounding of the modules (optional)
Warranty	10 years in accordance with our warranty conditions
Supplementary documents	Mounting instructions for FS Uno