



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Análisis económico y medioambiental de una
instalación de paneles fotovoltaicos para abastecer a
un orfanato en Zimbabwe

Autor: Pablo Borreguero Aláez

Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

**ANÁLISIS ECONÓMICO Y MEDIOAMBIENTAL DE UNA INSTALACIÓN DE
PANELES FOTOVOLTAICOS PARA ABASTECER A UN ORFANATO EN
ZIMBABUE**

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

curso académico 2020/2021 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.: Pablo Borreguero Aláez

Fecha: 31/ 08 / 2021

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Miren Tellería Ajuriaguerra

Fecha: 31/ 08 / 2021

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. PABLO BORREGUERO ALÁEZ

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: ANÁLISIS ECONÓMICO Y MEDIOAMBIENTAL DE UNA INSTALACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS PARA ABASTECER A UN ORFANATO EN ZIMBABUE, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 31. de agosto de 2021

ACEPTA



Fdo. PABLO BORREGUERO ALÁEZ

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Análisis económico y medioambiental de una
instalación de paneles fotovoltaicos para abastecer a
un orfanato en Zimbabue

Autor: Pablo Borreguero Aláez

Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid

ANÁLISIS ECONÓMICO Y MEDIOAMBIENTAL DE UNA INSTALACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS PARA ABASTECER A UN ORFANATO EN ZIMBABUE

Autor: Borreguero Aláez, Pablo.

Director: Tellería Ajuriaguerra, Miren.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Este proyecto pretende abastecer de energía a un orfanato situado en Kazai, una comunidad rural cercana a la ciudad de Mount Darwin, en la provincia de Mashonaland Central, en la zona noreste de Zimbabwe.

Se trata de un proyecto solidario con la intención de generar un impacto social positivo, ya que con su realización se contribuye a proporcionar a la población de dicha comunidad los recursos necesarios para lograr su autosuficiencia y sostenibilidad.

Se ha realizado un estudio del emplazamiento en el que se va a localizar la instalación. Se ha prestado especial atención a las condiciones climatológicas, obteniendo datos de radiación mediante la herramienta PVSIS, debido a su estrecha relación con las energías renovables.

Se han analizado distintas alternativas para satisfacer la demanda de energía, En base a criterios económicos y medioambientales se ha elegido la mejor de ellas.

Una vez se ha decidido optar por una instalación solar fotovoltaica aislada, se ha procedido a seleccionar los componentes que mejor se adaptan a los requerimientos de la instalación, tras un exhaustivo análisis de características de cada uno de ellos.

Posteriormente se han realizado los cálculos necesarios para dimensionar cada uno de los principales componentes de la instalación.

Finalmente, se ha realizado una simulación del comportamiento de la instalación, empleando el software PVGIST, y se han obtenido una serie de conclusiones.

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF A PHOTOVOLTAIC PANEL INSTALLATION TO SUPPLY AN ORPHANAGE IN ZIMBABWE

Author: Borreguero Aláez, Pablo.

Supervisor: Tellería Ajuriaguerra, Miren.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

This project aims to supply energy to an orphanage located in Kazai, a rural community near the city of Mount Darwin, in the province of Mashonaland Central, in northeastern Zimbabwe.

This is a solidarity project with the intention of generating a positive social impact, since its implementation contributes to providing the population of this community with the necessary resources to achieve self-sufficiency and sustainability.

A study of the site where the facility will be located has been carried out. Special attention has been paid to the climatological conditions, obtaining radiation data using the PVSIS tool, due to its close relationship with renewable energies.

Different alternatives to satisfy the energy demand have been analyzed. Based on economic and environmental criteria, the best of them has been chosen.

Once it has been decided to opt for an isolated solar photovoltaic installation, we have proceeded to select the components that best suit the requirements of the installation, after a thorough analysis of the characteristics of each of them.

Subsequently, the necessary calculations were made to size each of the main components of the installation.

Finally, a simulation of the behavior of the installation has been carried out, using PVGIST software, and a series of conclusions have been obtained.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. MEMORIA	1
1.1. Introducción	2
1.2. Motivación	3
1.3. Objetivos	3
1.4. Objetivos ODS.....	4
1.5. Asociaciones involucradas	5
1.5.1. Child Future Africa	5
1.5.2. Project Zimbabwe	5
1.6. Zimbabue	6
1.6.1. Contexto histórico.....	7
1.6.2. Contexto político.....	8
1.6.3. Contexto económico	9
1.6.4. Contexto social	10
1.7. Estado de la cuestión	11
1.7.1. Energías renovables	11
1.7.2. Miniredes	27
1.8. Selección de solución tecnológica	28
1.9. Componentes de la instalación	29
1.9.1. Paneles solares fotovoltaicos	29
1.9.2. Regulador de carga	37
1.9.3. Inversor	42
1.9.4. Baterías.....	48
1.10. Diseño de la instalación	51
1.10.1. Contexto de la instalación	51
1.10.2. Estimación de la energía demandada por los consumos	56
1.10.3. Selección de los componentes de la instalación	63
1.10.4. Cálculo y dimensionado de la instalación	65
2. SIMULACIÓN EN PVSYST.....	82
2.1. Seleccionar el tipo de instalación	84
2.2. Definir el proyecto.....	84
2.3. Definir inclinación y orientación de módulos fotovoltaicos.....	86
2.4. Definir las necesidades del usuario	87
2.5. Definir el sistema.....	88
2.5.1. Requerimientos del usuario	88

2.5.2.	Conjunto de baterías.....	89
2.5.3.	Conjunto fotovoltaico	90
2.5.4.	Modo de control y controlador	91
2.5.5.	Respaldo.....	91
2.5.6.	Pérdidas detalladas	92
2.5.7.	Horizonte y sombreados cercanos.....	92
2.6.	Resumen de los resultados de la simulación	93
3.	CONCLUSIONES.....	95
4.	ANEXOS.....	98
4.1.	Anexo I: Datos de irradiación – PVGIS	99
4.2.	ANEXO II: Resultados de Simulación en PVSYST.....	101

1. MEMORIA

1.1. Introducción

En la sociedad actual es evidente la importancia de la electricidad para el desarrollo de una comunidad. El acceso a la electricidad es esencial para satisfacer las necesidades básicas y garantizar unas condiciones de vida dignas.

Este proyecto pretende abastecer de energía a un orfanato situado en Kazai, una comunidad rural cercana a la ciudad de Mount Darwin, en la provincia de Mashonaland Central, en la zona noreste de Zimbabue.

Se trata de un proyecto solidario con la intención de generar un impacto social positivo, ya que con su realización se contribuye a proporcionar a la población de dicha comunidad los recursos necesarios para lograr su autosuficiencia y sostenibilidad.

Este Trabajo de Fin de Máster (TFM) forma parte de un conjunto de proyectos realizados por estudiantes de la Universidad Pontificia Comillas, en concreto, de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI), en colaboración con la ONG Child Future Africa (CFA).

El proyecto consiste en diseñar una instalación solar fotovoltaica aislada que aporte la energía necesaria para el abastecimiento de electricidad de los dos edificios que conforman el orfanato, el residencial y el destinado a la enseñanza.

1.2. Motivación

El acceso a la electricidad por parte de la población se ha convertido en uno de los índices más importantes para el desarrollo de un país. Como afirman distintas organizaciones como el Banco Mundial (WB) y la Agencia Internacional de la Energía (IEA), el acceso a la electricidad proporciona a los distintos países los recursos necesarios para mejorar aspectos clave como educación, sanidad, redes de agua, comunicaciones o adaptación y mitigación al cambio climático. Sin embargo, hay aún cerca de 1 billón de personas sin acceso a la electricidad. De estas, el 80% vive en zonas rurales aisladas del África subsahariana, el sudeste asiático y Sudamérica, principalmente.

Con este proyecto se pretende generar un impacto social positivo, colaborar de manera responsable en la gestión ética de los recursos, combatir la pobreza energética, contribuir al medioambiente y apostar por la educación en las comunidades menos desarrolladas.

1.3. Objetivos

- Proporcionar acceso a la electricidad en la comunidad rural de Kazai.
- Analizar distintas soluciones tecnológicas para, teniendo en cuenta factores energéticos, económicos y medioambientales, seleccionar la combinación más adecuada.
- Diseñar la solución tecnológica seleccionada.
- Contribuir a un desarrollo económico, sostenible y ecológico.
- Garantizar condiciones de bienestar.

1.4. Objetivos ODS

En la cumbre de París (2016) sobre el cambio climático, se dio a conocer la Iniciativa Africana de Energías Renovables (AREI). Un proyecto impresionante en el que se intentará obtener unos 300 gigavatios (GW), para el 2030, lo cual representaría más del doble de la oferta total del continente.

La cumbre “One Planet”, que tuvo lugar en Nairobi, Kenia, (2019) quiso acelerar las inversiones climáticas en conformidad con los objetivos del Acuerdo de París. Esta cumbre se centró en promover las energías renovables y proteger la biodiversidad en África.

África al sur del Sahara corre un gran riesgo de quedar rezagada.

El acceso universal a energía asequible y sostenible, ODS 7, es esencial para alcanzar otros ODS y ocupa un lugar central en los esfuerzos para combatir el cambio climático. El acceso a la electricidad renovable hace que las comunidades sean más seguras, ayuda a prosperar a las pequeñas empresas y permite el funcionamiento de servicios esenciales, como las escuelas y los centros de salud, en las zonas más apartadas.

El Banco Mundial se ha comprometido a ayudar a los países en la transición hacia sistemas de energía con bajos niveles de emisiones de carbono y garantizar que todas las personas en el mundo tengan acceso a una energía asequible y sostenible. Compromisos que deben ahora ser implementados.



Este proyecto está alineado directamente con el ODS 7, Energía asequible y no contaminante. También, indirectamente con los siguientes: ODS 1 - Fin de la pobreza; ODS 2 - Hambre cero; ODS 3 - Salud y bienestar; ODS 4 - Educación de calidad; ODS 8 - Trabajo decente y crecimiento económico; ODS 9 - Industria, innovación e infraestructuras; ODS 10 - Reducción de las desigualdades; ODS 11 - Ciudades y comunidades sostenibles; ODS 13 - Acción por el clima.

1.5. Asociaciones involucradas

Las asociaciones involucradas en este proyecto, gracias a las cuales se puede desarrollar el mismo, son las siguientes:

1.5.1. Child Future Africa

Child Future Africa (CFA) es una organización privada de voluntarios registrada en 2002. Dirige un orfanato en Mt Darwin, en la provincia de Mashonaland Central, al noreste de Zimbabwe. Pretende mejorar las condiciones de vida de los huérfanos, ofreciéndoles más oportunidades. A los niños que no pueden ser atendidos por el pueblo local se les proporciona alojamiento y educación en su propio orfanato.

Child Future Africa sigue un modelo rural, ya que, en el orfanato, además de proporcionarse alojamiento y educación a los niños, se realiza una actividad agrícola, produciendo, sobre todo, grano para su consumo diario y para vender el excedente, de manera que se puedan generar ingresos que cubran los gastos de funcionamiento de los hogares. Los ejes de esta organización son, por tanto, la agricultura y la educación.

El objetivo principal es convertir a Child Future Africa en un proyecto totalmente autosuficiente en la comunidad local.



1.5.2. Project Zimbabwe

Project Zimbabwe es una iniciativa de varios estudiantes del ICAI cuyo objetivo es la realización y ejecución de Proyectos Fin de Carrera, ya sean Trabajos Fin de Grado (TFGs) o Trabajos Fin de Máster (TFMs), de cooperación al desarrollo, para mejorar el área rural del distrito de Mt. Darwin, situado al noreste de Zimbabwe.

Los alumnos viajan al país durante dos meses para ejecutar sus trabajos y, durante el año, tienen el cometido de buscar financiación para sacar adelante sus proyectos.

Esta iniciativa se desarrolla en colaboración con la Fundación de Ingenieros del ICAI para el Desarrollo.



1.6. Zimbabwe

Zimbabwe, oficialmente la República de Zimbabwe (del shona Dzimba dza mabwe, «casa de piedra»), es un país situado en el sureste del continente africano, entre el río Zambeze, las cataratas Victoria y el río Limpopo. Limita al oeste con Botsuana, al norte con Zambia, al sur con Sudáfrica y al este con Mozambique. Sus territorios se corresponden con la antigua Rodesia del Sur. Los idiomas oficiales son el inglés y el shona.



Dado que la ejecución del proyecto implica viajar a Zimbabwe, se ha considerado adecuado realizar un pequeño análisis de la situación del país en un contexto histórico, político, económico y social. De esta manera, se logra un mayor entendimiento de su población.

1.6.1. Contexto histórico

Es en el siglo XVI cuando los primeros europeos, los portugueses, se adentran en el territorio de lo que en la actualidad es Zimbabwe, encontrándose una civilización en decadencia, que había comenzado a formarse desde el siglo XIII, sustentada, principalmente, por sus minas de oro y su comercio con la costa del Índico.

No obstante, son los británicos los que en 1890 realizan la verdadera colonización del país, liderados por Cecil Rhodes y su Compañía Británica de Sudáfrica, cuyo principal objetivo era la explotación minera del territorio.

En 1921 se constituye la colonia autónoma de Rodesia del Sur, hasta 1953, en que se constituye la Federación del África Central que reagrupa las colonias británicas de Nyasalandia, Rodesia del Norte y Rodesia del Sur.

Tras la concesión de la independencia a Rodesia del Norte, en 1964, llevada a cabo por el Gobierno Británico a instancia de Naciones Unidas, un año más tarde, el primer ministro Ian Douglas Smith, instaura un régimen segregacionista, declarando unilateralmente la independencia de Rodesia del Sur y constituyendo la que pasaría a denominarse República de Rodesia.

Poco más tarde, esta situación derivó en un cruel conflicto que finalizó tras la firma de los Acuerdos de Lancaster House, en diciembre de 1979, que, a su vez, desembocaron en unas elecciones que fueron ganadas por el obispo moderado Abel Muzorewa, bautizando al país con el nombre de Zimbabwe-Rodesia y quien, tras las elecciones generales de 1980, celebradas bajo la supervisión de Gran Bretaña, es derrotado por el que, a partir de ese momento, sería Primer Ministro, Robert Gabriel Mugabe (1924-2019).

En abril de 1980, Zimbabwe se convierte en el último país de África en conseguir su independencia.

1.6.2. Contexto político

Zimbabue es una república presidencialista, con un sistema bicameral, con la celebración regular de elecciones.

Desde 1980, Robert Mugabe, y su partido, la Unión Nacional Africana de Zimbabue (ZANU-PF), y, hasta su destitución en noviembre de 2017, han liderado la política de este país.

Debido a la crisis económica sufrida por el país y a las permanentes dudas sobre el recuento de votos, así como a la instauración de un gobierno, a juicio de la mayoría de los analistas, como autoritario y poco democrático, la oposición a Mugabe fue creciendo, así como la presión occidental.

En este contexto, al que habría que añadir la elevada edad de Mugabe, y fruto de tensiones internas por la sucesión de la presidencia del país, en noviembre de 2017, se produce un golpe de Estado no violento, llevado a cabo por el Ejército Nacional de Zimbabue,

El 21 de noviembre de dicho año, Mugabe dimite como presidente del país, asumiendo la presidencia Emmerson Mnangagwa, actual presidente de Zimbabue y considerado, por gran parte de la comunidad internacional, como otro autócrata potencial.

En la actualidad, el país se enfrenta a una complicada situación económica, y mantiene ciertos déficits democráticos y de nivel de transparencia, baste como ejemplo citar que el índice de percepción de la corrupción es de 24 puntos sobre 100, ocupando el puesto 157º a nivel mundial.

1.6.3. Contexto económico

Tras una década en el gobierno, Mugabe y su partido, la ZANU, abandonan sus políticas de marcado carácter socialista, si bien, no su ambicioso plan de reforma agraria.

Factores como la mala redistribución de las tierras cultivables, lo cual desembocó en expropiaciones altamente cuestionadas tanto por sus métodos como por los criterios de adjudicación, la gran corrupción y falta de transparencia, lo que, a su vez, conllevó a la imposición de sanciones internacionales, una hiperinflación, siendo el país que desde 2008 tiene la mayor tasa de inflación del mundo, y la participación en el conflicto armado de la Guerra del Congo han marcado la precaria situación económica de Zimbabwe.

En la actualidad, la situación del país, según los principales sectores de la economía, es la siguiente:

Por lo que respecta al Sector Primario, su principal componente es la agricultura, empleando en ella a un 70% de la población, y aportando un 40% de los ingresos por exportaciones, según ZimTrade (Organización Nacional de Promoción y Desarrollo del Comercio de la República de Zimbabwe).

Entre todos, cabe destacar el sector del tabaco, el más desarrollado y una de las principales exportaciones de Zimbabwe.

En este Sector Primario, también hay que resaltar la minería, uno de los sectores que mayor crecimiento ha tenido en los últimos años, convirtiéndole en uno de los principales exportadores de oro, diamantes, carbón, níquel y otros.

En cuanto al Sector Secundario, el país ha sufrido un importante proceso de desindustrialización en las últimas décadas con importantes problemas de desabastecimiento, y con una industria manufacturera de escaso contenido tecnológico.

En lo relativo al sector terciario, el turismo es la actividad mas desarrollada, recibiendo en los últimos años pre-pandemia a más de 2'5 millones de visitantes por año.

La red de telefonía móvil cubre al 97% de la población y la penetración de internet es de un 60%.

1.6.4. Contexto social

País situado en el sureste del continente africano, carece de costas oceánicas, cuya capital es la ciudad de Harare.

Cuenta con una población de 14'65 millones de habitantes (censo de 2019). Cerca del 60% de esta población es de ámbito rural.

Es uno de los países del continente africano donde mejor se puede apreciar la convergencia entre la cultura occidental con otros nada comunes a la misma, como es el caso de la poligamia, que se mantiene presente en las zonas rurales del país.

En la sociedad zimbabuense, aspectos relativos a las diferentes formas artísticas (música, cerámica, cestería, alfarería, joyería, etc.) son altamente valorados, hasta el punto de que, a diferencia de lo que ocurre en otros países africanos, la dedicación a estas actividades constituye una forma de vida que les permite mantenerse en su país de nacimiento, no viéndose obligados a emigrar a otros continentes.

En el plano religioso, se aprecian 4 grandes grupos representativos, siendo estos: un 62% sincretistas – combinación entre religión cristiana con creencias y costumbres indígenas, un 24% cristianos, tal y como lo conocemos en occidente, un 13% son fieles de creencias indígenas y un 1% musulmanes.

Zimbabue posee uno de los Índices de Desarrollo Humano (IDH) más bajos del mundo, si bien se están desarrollando reformas que, lentamente, están mejorando este aspecto. El IDH lo conforman variables con la esperanza de vida, el nivel de educación y el ingreso nacional bruto per cápita.

1.7. Estado de la cuestión

1.7.1. Energías renovables

1.7.1.1. Descripción

Las energías renovables son aquellas que se obtienen a partir de fuentes naturales y son inagotables o con capacidad de renovación.

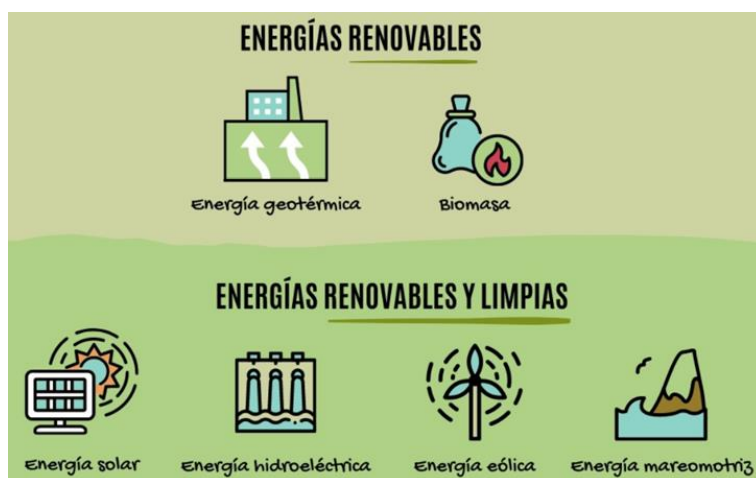
Estas energías se han convertido en parte clave para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), a los que se dedicará un capítulo posteriormente en este proyecto, y lograr la sostenibilidad del planeta.

Dentro de las energías renovables, aquellas cuya explotación y aprovechamiento no conlleva contaminación medioambiental ni emisiones de efecto invernadero, reciben el nombre de energías limpias o verdes.

La nueva toma de conciencia a nivel global con respecto al problema que supone el agravamiento del efecto invernadero y el consecuente calentamiento global, debido particularmente a la quema de combustibles fósiles, sumado al continuo crecimiento del precio de los combustibles y el rápido avance tecnológico en los sistemas renovables, está potenciando el desarrollo de estas fuentes de energía. Estos sistemas han pasado a ser una solución muy favorable para suministrar energía a zonas remotas de países en vías de desarrollo.

Las energías renovables se están comenzando a expandir por todo el continente africano. Se espera que una fuerte demanda de energías renovables impulse el crecimiento del sector en África subsahariana en los próximos años.

Millones de personas comienzan a tener acceso a la electricidad por primera vez a medida que el continente recurre a proyectos de energía renovable para aumentar la capacidad de regeneración a través de una economía sostenible y ecológica.



A continuación, se van a exponer las principales formas de explotar estas energías renovables.

1.7.1.2. Clasificación según la fuente de energía

1.7.1.2.1. Energía solar

La energía solar se basa en el aprovechamiento de la radiación electromagnética solar que alcanza la superficie del planeta mediante células fotovoltaicas, colectores solares o heliostatos, para producir electricidad o calor.

- Energía solar fotovoltaica: La energía procedente del Sol se transforma directamente en energía eléctrica.
 - Bombeo solar:
El bombeo solar es un sistema autónomo capaz de proporcionar un suministro de agua a partir de la energía procedente del Sol.
Un sistema de bombeo solar consiste en una bomba hidráulica alimentada de manera directa por paneles solares fotovoltaicos.
- Energía solar térmica: La energía procedente del Sol se aprovecha para producir calor con el objetivo de calentar un fluido.
- Energía solar termoeléctrica: La energía procedente del Sol se utiliza para calentar un fluido que genera vapor de agua a presión que produce electricidad.



1.7.1.2.2. Energía hidroeléctrica

La energía hidroeléctrica se basa en generar energía eléctrica a partir del movimiento del agua. Se debe al aprovechamiento de la energía cinética y potencial de los saltos de agua, corrientes o mareas. La fuerza que provoca el movimiento del agua hace girar una turbina conectada a un transformador, que convierte el movimiento en energía eléctrica. Es decir, se pasa de energía cinética a energía mecánica, y de energía mecánica a energía eléctrica.

Si el agua retenida en embalses o pantanos a gran altura se deja caer hasta un nivel inferior, esta energía potencial para, posteriormente, seguir el flujo de energía que se acaba de mencionar.



1.7.1.2.3. Energía eólica

La energía eólica se basa en el uso de aerogeneradores que aprovechan el movimiento del viento, es decir, la energía cinética producida por las corrientes de aire, para generar energía mecánica, a través del movimiento de sus aspas, que se transforma a su vez en energía eléctrica.

Cabe mencionar que la construcción de muchos parques eólicos se ubica en el mar, debido a que el viento es más estable frente al mar. Este tipo de instalaciones reciben el nombre de offshore.

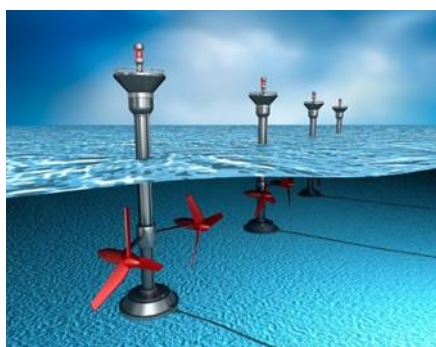


1.7.1.2.4. Energía mareomotriz

La energía mareomotriz puede ser considerada también una forma de energía hidroeléctrica, ya que se vale del movimiento de grandes masas de agua para generar electricidad. Sin embargo, a diferencia de las centrales hidroeléctricas convencionales que suelen instalarse en el curso de ríos, presas y embalses, la energía mareomotriz produce electricidad gracias al movimiento de las mareas.

Cabe mencionar que la obtención de energía basada en el aprovechamiento de la fuerza de las olas recibe el nombre de energía undimotriz.

El movimiento del agua en los océanos del mundo crea un vasto almacén de energía cinética, que se puede aprovechar para generar energía eléctrica.



1.7.1.2.5. Energía geotérmica

La energía geotérmica se basa en la utilización del calor latente en la corteza terrestre para el calentamiento de agua o de otros fluidos. Estos fluidos se hacen circular a través de yacimientos subterráneos en capas de diferentes composiciones, que pueden alcanzar temperaturas de hasta 100 y 150°C. Una vez calentados los fluidos, estos se utilizan generalmente para mover turbinas generadoras de electricidad.

Bajo la superficie de la Tierra existe un gran volumen de energía en forma de calor que puede aprovecharse para producir tanto energía eléctrica como energía térmica.

El calor del interior de la Tierra se debe a varios factores, entre los que destacan el gradiente geotérmico y el calor radiogénico.



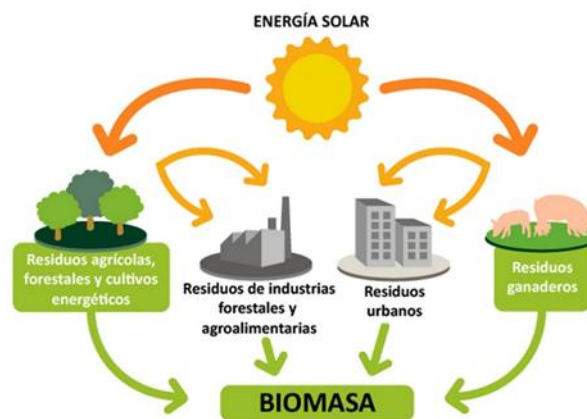
1.7.1.2.6. Biomasa

La biomasa se basa en la utilización de materia orgánica para la producción de energía. Hasta la llegada de la Revolución Industrial, supuso la fuente de energía más importante para el ser humano.

Para el aprovechamiento energético de la biomasa, lo más habitual es que se empleen los procesos biológicos de ciertos microorganismos que permiten, gracias a su metabolismo, la biodegradación de la materia orgánica en atmósferas anaeróbicas. Como producto de estos procesos se obtienen diferentes compuestos que contienen grandes cantidades de energía.

- Fuentes de biomasa naturales: Son aquellas que se producen sin la necesidad de la acción humana, por ejemplo, la madera de los bosques.
- Fuentes de biomasa residuales: Son aquellas derivadas de las actividades humanas, por ejemplo, los residuos orgánicos generados en las ciudades o subproducto de actividades industriales, agrícolas y ganaderas.
- Fuentes de biomasa producidas: Son aquellas que se producen con el único objetivo de su explotación energética, por ejemplo, el cultivo de una plantación determinada.

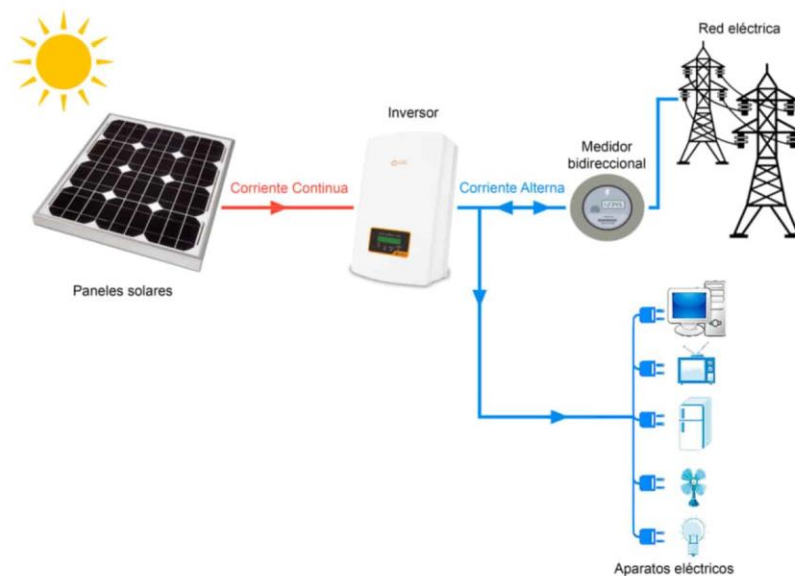
Cuando la biomasa se procesa para uso energético se convierte en biocombustibles.



1.7.1.3. Clasificación según la conexión

1.7.1.3.1. Sistemas conectados a la red (“On-grid”)

Una instalación de autoconsumo eléctrico conectada a la red es aquella que comparte infraestructuras y algún tipo de conexión eléctrica con la red de distribución. Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red consisten, por tanto, en utilizar conjuntamente la instalación fotovoltaica con la red eléctrica. De esta forma, se utiliza la red eléctrica como apoyo durante los periodos en los que no hay producción solar.



Tipos de autoconsumo conectado a la red:

- Autoconsumo sin excedentes: Este tipo de autoconsumo se da en aquellas instalaciones en las que, mediante un dispositivo antivertido, se impide cualquier tipo de inyección de energía a la red.
- Autoconsumo con excedentes y sin compensación: En esta modalidad de autoconsumo, no existe compensación en la factura, sino que se vende el excedente de energía directamente en el mercado eléctrico. No está diseñada para instalaciones residenciales, ya que no se generan suficientes excedentes como para que la venta de esa energía sea rentable.
- Autoconsumo con excedentes y compensación: En esta modalidad de autoconsumo, la comercializadora compensa por el excedente de energía producido en la instalación a un precio acordado previamente. Esta compensación se realiza aplicando un descuento en la factura por un importe máximo equivalente al vertido realizado. Se trata de la opción más interesante de autoconsumo conectado a la red para el consumidor.

Ventajas:

- Inversión inicial menor. Se debe a la ausencia del sistema de acumulación, formado por la batería y la regulación de carga, posible gracias a que, al estar conectados de manera permanente a la red de distribución, se cuenta con la seguridad de no quedarse sin suministro eléctrico. Se prescinde del sistema de acumulación, siendo la batería uno de los elementos más caros de una instalación solar fotovoltaica, y simplemente se debe añadir un medidor bidireccional o contador inteligente para conocer la cantidad de energía intercambiada con la red eléctrica.
- Bajo coste de mantenimiento. Relacionado con el menor número de elementos que componen este tipo de instalaciones.
- Posibilidad de mejorar la calidad del servicio de la energía suministrada por la red, ya que la máxima producción del sistema fotovoltaico coincide con horas en que los problemas de suministro para las compañías eléctricas son más graves.
- En determinadas ocasiones, la energía sobrante se vierte a la red eléctrica, lo cual puede suponer un importante ahorro en la factura eléctrica.

Desventajas:

- No es posible autoconsumir durante los periodos en los que los módulos fotovoltaicos no están produciendo energía, al no disponer de baterías.
- No se trata de un sistema autónomo, ya que se necesita estar siempre conectado a la red eléctrica y, en caso de que tenga lugar un corte de suministro de la red eléctrica, no se producirá electricidad como medida de seguridad.
- El precio de la energía consumida de la red y el importe al cual se paga la energía vertida en la misma, vienen dados por cada compañía comercializadora de electricidad, pudiendo no resultar rentable en ciertas situaciones.

1.7.1.3.2. Sistemas aislados de la red o autónomos (“Off-grid”)

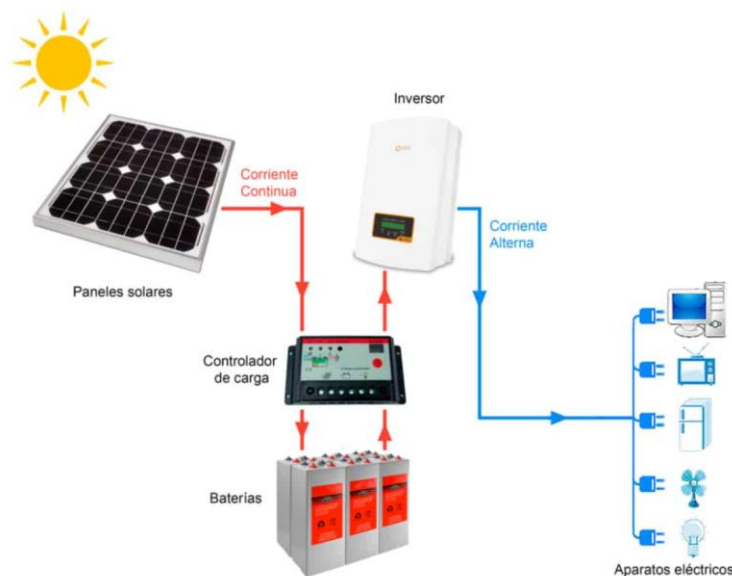
Una instalación de autoconsumo eléctrico aislada es aquella en la que no existe conexión eléctrica con la red de distribución, ni directa, ni indirectamente a través de una tercera instalación. Por lo tanto, este tipo de instalaciones implica ser completamente autosuficientes, ya que no se cuenta con la contribución de la red eléctrica. De esta manera, los sistemas fotovoltaicos aislados son alimentados exclusivamente por la energía que aportan los módulos fotovoltaicos y que se almacena en las baterías.

Ventajas:

- Independencia total de la red eléctrica. Es decir, este tipo de instalaciones es completamente ajeno a las subidas en el precio de la electricidad, ya que no se requiere pagar ninguna factura eléctrica.
- Se trata de una alternativa muy interesante para aquellos lugares en los cuales hacer llegar la red eléctrica sea mucho más costoso que la instalación de autoconsumo aislada, debido, por ejemplo, a la gran distancia que puede existir entre el emplazamiento en el que se pretende realizar la instalación y la red de distribución disponible en esa zona.

Desventajas:

- La inversión inicial es mayor que en los sistemas de autoconsumo conectados a la red, ya que las baterías encarecen la instalación.
- El coste de mantenimiento es más elevado.
- Este sistema depende mucho de la climatología para el abastecimiento eléctrico.
- Genera cierta incertidumbre y obliga al usuario a adoptar unos hábitos de consumo más estrictos.
- Estas instalaciones se deben dimensionar muy bien, ya que producir menos energía de la necesaria podría suponer no disponer de suficiente suministro eléctrico. Por otro lado, si se produce más energía de la demandada y de la que se puede almacenar en las baterías, dicho excedente será desperdiciado.



1.7.1.3.3. Sistemas híbridos

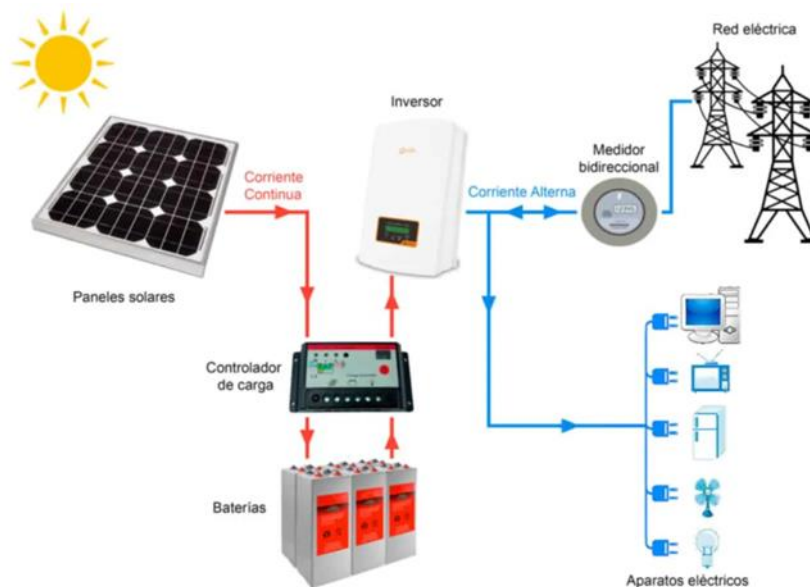
Los sistemas de autoconsumo híbridos son una combinación de los dos sistemas descritos anteriormente. Suele tratarse de instalaciones similares a las conectadas a la red, pero con el añadido de que disponen de sistema de acumulación, formado por la batería y la regulación de carga, por lo que es posible disponer de cierta autonomía.

Ventajas:

- Se puede evitar los apagones, ya que, si en algún momento se produce un corte de suministro, las baterías pueden suministrar electricidad para suplirlo, evitando los inconvenientes que podría ocasionar.
- Es posible dimensionar la instalación solar para un ahorro máximo, combinando el almacenamiento en baterías con el apoyo de la red eléctrica, ya que las baterías permiten al sistema almacenar y liberar energía de forma controlada y estable. Es decir, dependiendo del coste de la energía y el precio al que se paguen los excedentes vertidos a la red, interesará consumir más de una fuente u otra. Por ejemplo, si el precio de la energía baja, puede interesar cargar las baterías con energía procedente de la red, aunque los consumos no estén demandando dicha energía en ese momento, para más adelante, cuando el precio de la energía suba, poder consumir directamente de las baterías sin tener que pagar un precio tan elevado por esa energía.

Desventajas:

- La inversión inicial es, obviamente, mayor que en un sistema conectado a la red eléctrica sin sistema de acumulación.
- El coste de mantenimiento es un poco mayor que el de los sistemas on-grid, ya que las baterías tienen menor vida útil que el resto de la instalación.



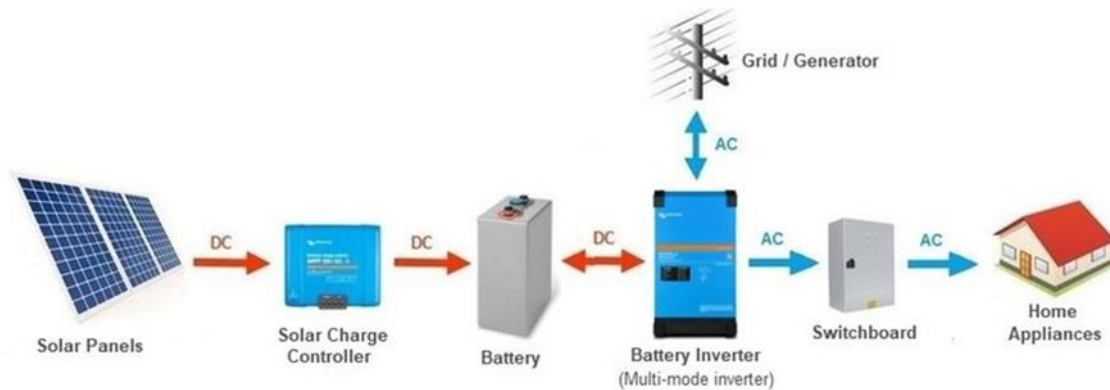
1.7.1.4. Clasificación según la configuración

Existen dos tipos de sistemas de batería solar principales: sistemas acoplados a CC y sistemas acoplados a CA.

El acoplamiento de CC o CA hace referencia a la manera en que los paneles solares están acoplados o conectados a un sistema de almacenamiento de energía, es decir, a la batería.

CC se corresponde con corriente continua, mientras que CA lo hace con corriente alterna.

1.7.1.4.1. Sistemas acoplados a CC



Modo de trabajo:

- Los paneles solares generan electricidad en CC.
- La energía generada por los paneles solares fluye hasta el sistema de baterías, a través del regulador de carga, encargado de regular el proceso de carga y cuidar del estado de las baterías.
- Se almacenará en el sistema de baterías dicha energía generada por los paneles solares.
- Cuando el inversor detecte consumo, tomará la energía necesaria de las baterías, la transformará en CA y abastecerá la demanda. En el caso de que algunos consumos sean en CC, dichos consumos se llevarán desde la salida DC del regulador, sin necesidad de pasar por el inversor.

Ventajas:

- Gran eficiencia. Se puede alcanzar hasta un 99% de eficiencia de carga de la batería, utilizando MPPT.
- Se trata de una configuración de bajo coste para sistemas de pequeña escala, hasta 5 kW, aislados de la red.
- Muy eficiente para alimentar cargas de CC.
- Con esta configuración, se pueden agregar fácilmente módulos solares y cargadores, en caso de que fuera necesario.

Desventajas:

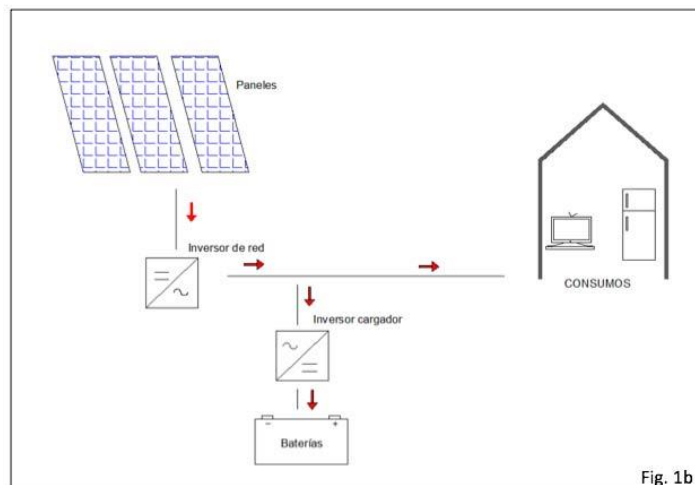
- Configuración más compleja para sistemas por encima de 5 kW, ya que a menudo se requieren varias cadenas en paralelo, además de la fusión de cadenas. Sistemas con esta configuración pueden llegar a ser caros para sistemas superiores 5 kW, debido a que se requieren múltiples controladores de carga de mayor voltaje.
- La eficiencia disminuye ligeramente si se alimentan grandes cargas de CA durante el día, a causa de la conversión de DC (paneles solares y batería) a CA (cargas).
- Muchos controladores solares no son compatibles con algunos sistemas de baterías de litio.

1.7.1.4.2. Sistemas acoplados a CA

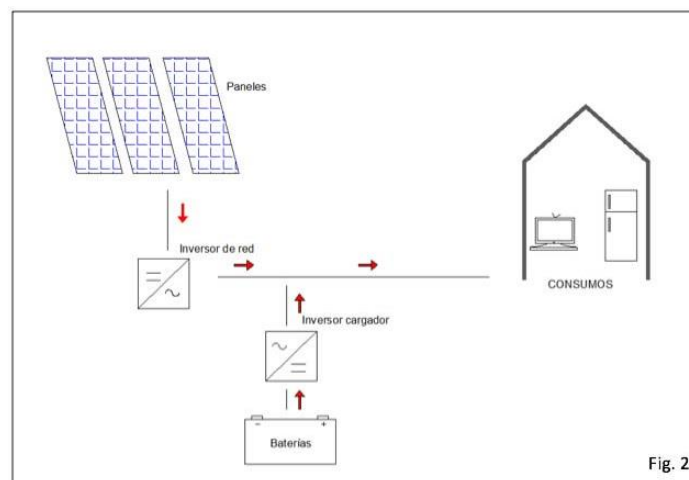
Modo de trabajo:

Según la situación que se dé en cada momento, la instalación trabajará de una determinada manera.

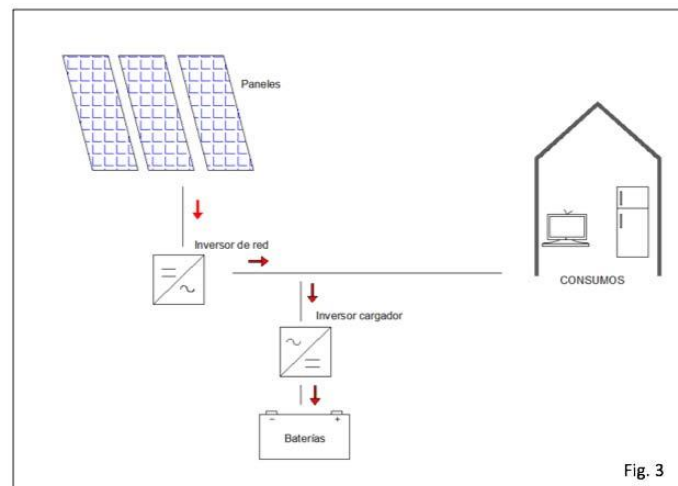
1. Cuando hay generación de electricidad en los paneles solares y consumos:
 - a. Generación de los paneles solares mayor que demanda de consumo: La energía se consume directamente desde el inversor de red, procedente de los paneles solares, sin pasar por el sistema de baterías. El exceso de energía, es decir la diferencia entre la producida por los paneles solares y la demandada por los consumos, se almacena en las baterías.



- b. Demanda de consumo mayor que generación de los paneles solares: Se consume toda la energía que estén produciendo los paneles solares, a través del inversor de red y, además, la energía que faltaría por suministrar para satisfacer los consumos, se aporta desde las baterías, a través del inversor cargador.



2. Cuando hay generación de electricidad en los paneles solares y no hay consumos: La energía que están produciendo los paneles solares se deriva al sistema de baterías, donde se acumulará mientras no estén llenas.

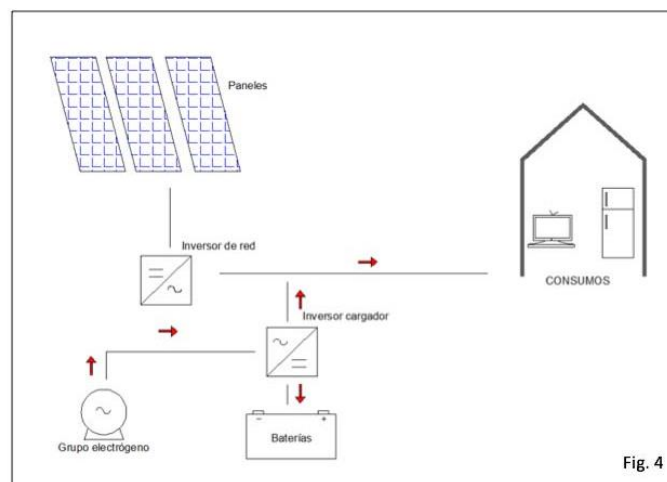


3. Cuando no hay generación de electricidad en los paneles solares y las baterías están descargadas:

Este caso solo se dará en caso de contar con un grupo electrógeno de respaldo para la instalación.

Las baterías se cargan desde un grupo electrógeno, a través del inversor cargador.

Si hay demanda de consumo mientras las baterías están siendo cargadas, dicho consumo es abastecido por el grupo electrógeno.



Ventajas:

- Mayor eficiencia cuando los consumos que se están alimentando durante el día son de CA. Se puede alcanzar hasta un 96% de eficiencia.
- Se caracterizan por suponer un menor coste de instalación para sistemas más grandes, por encima de 5 kW.
- Las cadenas de paneles solares pueden ser instaladas con diferentes orientaciones y ángulos de inclinación, ya que muchos inversores solares por encima de 3 kW tienen entradas MPPT duales.
- Esta configuración permite el uso de inversores solares de varias cadenas en múltiples ubicaciones.

Desventajas:

- Menor eficiencia al cargar un sistema de baterías. Se puede alcanzar, como mucho, una eficiencia de carga de la batería de aproximadamente un 92%.
- Los inversores solares de calidad pueden ser caros para sistemas pequeños.
- Menor eficiencia cuando las cargas que se están alimentando durante el día son de CC directas.

Además de los dos sistemas de baterías solares principales que se acaban de describir, existen otros dos tipos que están cobrando cada vez más protagonismo y, por lo tanto, también serán descritos.

Estos sistemas de baterías solares son los siguientes: sistemas de batería de CA y sistemas de inversor híbrido.

1.7.1.4.3. Sistemas de baterías de CA



Estos sistemas suponen una nueva evolución en el almacenamiento de energía mediante baterías.

Las baterías de CA consisten en la combinación de una batería de CC, un sistema de gestión de baterías (BMS) y un inversor de batería de CA, todo ello, en una única unidad compacta.

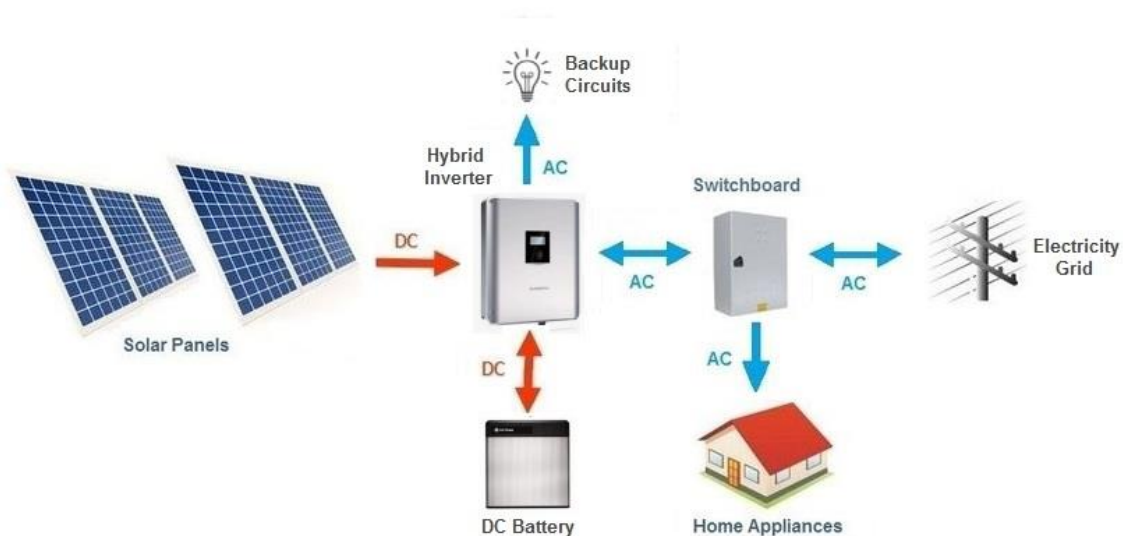
Ventajas:

- Fácil adaptación. Permiten un acoplamiento fácil de las baterías a una instalación solar, tanto en el caso de que dicha instalación sea nueva, como en el que caso de que se trate de una instalación que ya existía.
- Suponen una forma económica de añadir almacenamiento de energía.
- Se trata de sistemas modulares para permitir la expansión.
- La instalación suele ser sencilla.

Desventajas:

- Menor eficiencia, debido a la conversión CC-CA-CC que tiene lugar. Se puede alcanzar, como mucho, una eficiencia de aproximadamente un 90%.
- Estos sistemas están diseñados solo para instalaciones conectadas a red, ya que los inversores (sin transformadores) normalmente no son suficientemente potentes como para hacer funcionar la mayoría de los hogares fuera de la red.
- Algunas baterías de CA no pueden funcionar como suministro de respaldo.

1.7.1.4.4. Sistemas de inversor híbrido



Los inversores híbridos son aquellos que, además de realizar las funciones de los inversores de autoconsumo normales, es decir, transformar la corriente continua producida por los paneles solares en corriente alterna e inyectarla directamente en los consumos, son capaces de almacenar y descargar la energía en las baterías para que pueda ser utilizada más adelante.

Son los inversores solares más completos, capaces de gestionar la energía procedente de: paneles solares, baterías, eólica, la red eléctrica, grupos electrógenos, etc. Es por ello, que los inversores híbridos son también conocidos como gestores energéticos.

Estos inversores combinan la tecnología de la energía solar y la red eléctrica integrando de la mejor forma posible ambas fuentes de energía y dando prioridad a cada una según las necesidades de la instalación en cada momento.

Los inversores híbridos más demandados son aquellos capaces de gestionar la energía solar procedente de paneles solares, el almacenamiento de energía en baterías, y la red eléctrica.

Se podría decir que los inversores híbridos son el futuro de las instalaciones solares de autoconsumo con baterías.

Ventajas:

- Los inversores híbridos aprovechan al máximo todos los recursos disponibles, gracias a la gestión que realizan de ellos.
- Económicos y sencillos de instalar.
- Se trata de dispositivos compactos y modulares, capaces incluso de acoplarse a instalaciones que ya existían.
- Alta eficiencia. Se puede alcanzar una eficiencia de carga de la batería del 95% aproximadamente.
- Eliminan picos de potencia que ocasionan dificultades a la hora de gestionar la red.
- Gracias a las elevadas tensiones que pueden soportar, en torno a 400V, permiten cableado de menor tamaño, lo cual supone reducir pérdidas.
- Dotan de gran versatilidad al sistema.

Desventajas:

- En general, no son adecuados para instalaciones fuera de la red, debido a la baja clasificación de sobretensión y la falta de controles de generador en inversores híbridos sin transformador.
- Algunos de estos sistemas no pueden funcionar como fuente de alimentación de respaldo.
- Muchos sistemas con respaldo tienen un retraso de hasta 5 segundos durante un apagón.

1.7.2. Miniredes

Las miniredes han surgido como opción clave para la electrificación segura y eficaz en las zonas rurales, y tienen el potencial de desempeñar un papel importante en los esfuerzos por lograr el acceso universal a la energía.

Los costes de inversión que tendrían que asumir las comunidades rurales del África subsahariana para poder tener acceso a la red eléctrica son muy altos, prácticamente prohibitivos. Por ello, las microrredes aisladas alimentadas por sistemas híbridos renovables (HRES) se presentan como una solución que permitiría dar respuesta a esta necesidad de las comunidades aisladas de electricidad

Estos sistemas permiten cubrir la demanda eléctrica de las poblaciones rurales utilizando recursos renovables abundantes en la región, como la energía solar, eólica, biomasa, etc. El uso híbrido y combinado de los distintos tipos de tecnologías supera las restricciones de los sistemas renovables convencionales, puesto que las limitaciones de un tipo de tecnología se suplen con las características del resto de fuentes.

Actualmente, el Banco Mundial es una de las principales entidades de financiamiento para este sector, respaldando aproximadamente el 25 % de las inversiones en miniredes en desarrollo por el mundo.

Por ejemplo, en zonas rurales que no están conectadas a la red eléctrica principal, las miniredes solares híbridas en lugar de sistemas basados en combustibles fósiles podrían reducir las emisiones en alrededor de 80 %.

1.8. Selección de solución tecnológica

Se ha demostrado que la energía solar es la mejor alternativa para satisfacer la demanda energética del orfanato, debido a las condiciones climatológicas del lugar y al reducido coste en comparación con otras fuentes de energía renovable.

En base a los requerimientos de la instalación, se ha optado por una instalación solar fotovoltaica aislada.

África es el continente con valores más elevados de irradiación solar. Además, las horas de luz al día son relativamente estables y superiores a la gran mayoría del resto del mundo.

Se ha podido comprobar en el capítulo de Climatología, que el lugar en el que se encuentra el emplazamiento no destaca por su lluvia, produciéndose esta solo unos pocos meses al año. Por ello, se ha rechazado la opción de energía hidráulica. Además, la instalación tendría un coste mucho más elevado.

Por otro lado, también en el capítulo de Climatología, se puede observar que una alternativa interesante podía haber sido la energía eólica, ya que el lugar en el que se encuentra el emplazamiento posee valores relativamente estables de velocidad del viento, y la gran mayoría del mismo procede de una misma dirección, el este, por lo que se podría obtener una buena producción de energía instalando un aerogenerador orientado en esa dirección. Sin embargo, para conseguir mismos valores de producción de energía, el coste del aerogenerador sería superior al de los módulos fotovoltaicos. Además de tratarse de una instalación más compleja.

1.9. Componentes de la instalación

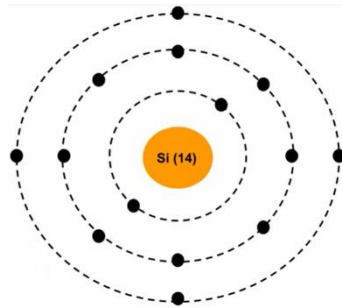
1.9.1. Paneles solares fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos se encargan de captar la energía procedente de la radiación solar y transformarla en energía eléctrica.

Funcionamiento:

El silicio (Si) es el componente fundamental para la fabricación de las células solares fotovoltaicas.

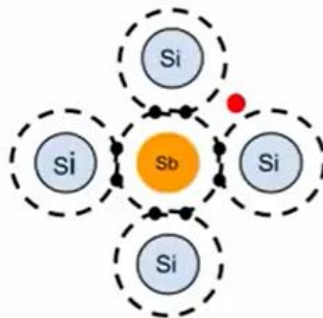
El silicio tiene una estructura atómica con 14 electrones, de los cuales, 4 se encuentran en su última capa.



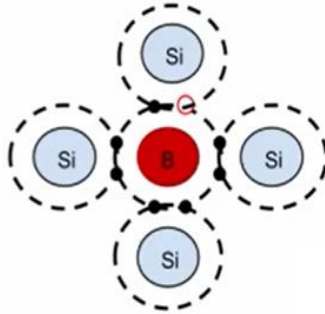
Los átomos tienden a buscar la estabilidad consiguiendo 8 electrones en la última capa. Para ello, el silicio se agrupa con otros 4 átomos de silicio, compartiendo los electrones de su última capa, formando 4 enlaces covalentes y creando una red cristalina.

Para la fabricación de las células solares se necesita dopar el silicio introduciendo impurezas.

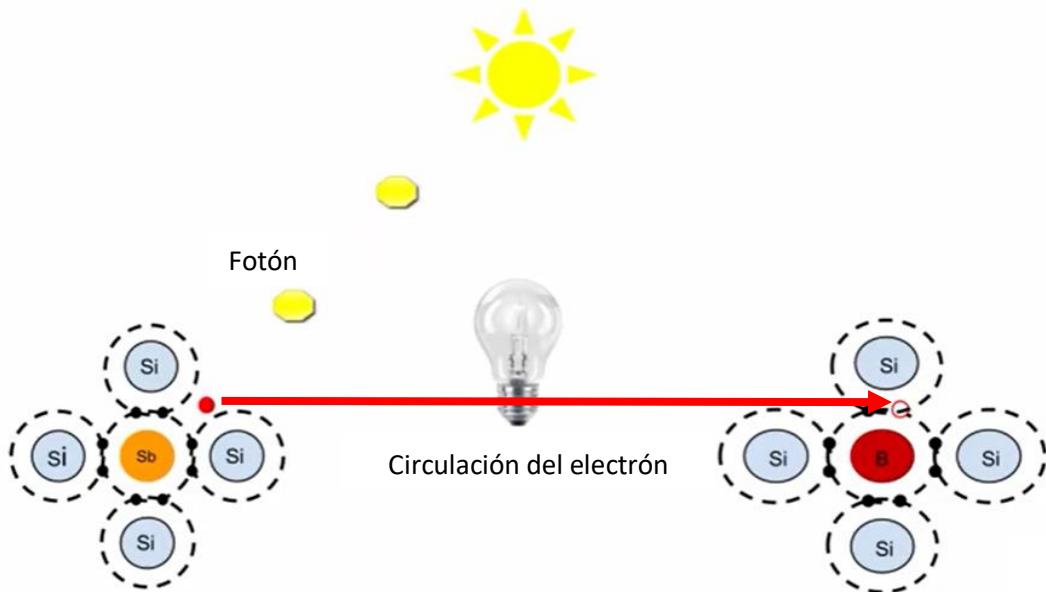
Se crea el silicio tipo N, introduciendo átomos con una estructura atómica de 5 electrones en su última capa, como el antimonio (Sb), el arsénico (As) o el fósforo (P). Con lo cual, al formarse los enlaces covalentes con el silicio, le sobra un electrón para conseguir la estabilidad. Se consigue, por tanto, un semiconductor tipo N, con tendencia a ceder electrones.



Se crea el silicio tipo P, introduciendo átomos con una estructura atómica de 3 electrones en su última capa, como el boro (B). Con lo cual, al formarse los enlaces covalentes queda un hueco libre, le falta un electrón para conseguir la estabilidad. Se consigue, por tanto, un semiconductor tipo P, con tendencia a captar electrones.

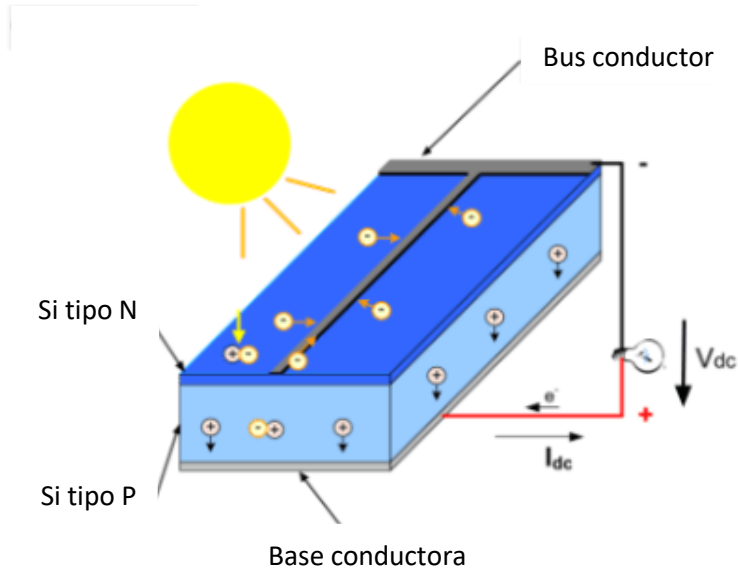


Si se aproximan las dos estructuras, el silicio tipo N y el silicio tipo P, bastará con una pequeña captación de energía por parte del electrón libre, para que éste circule del silicio tipo N al silicio tipo P. Las células solares se construyen basándose en este efecto, el efecto fotovoltaico.

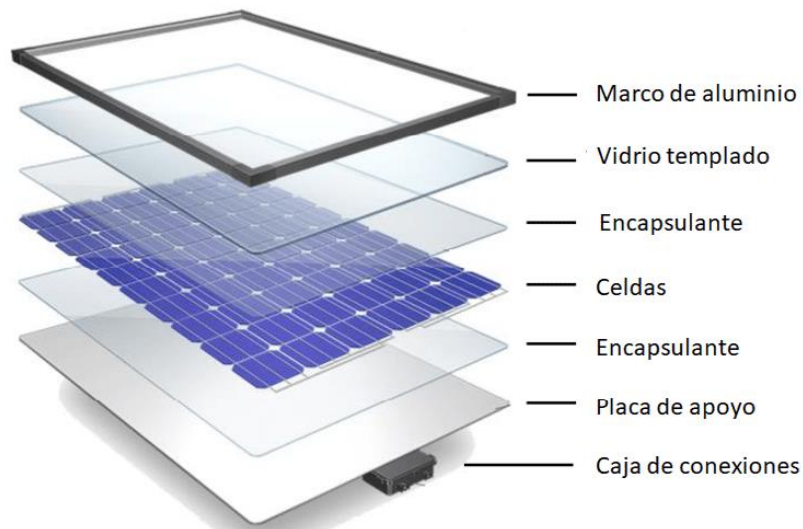


La estructura típica de una célula solar es la siguiente: una capa de silicio tipo N (con exceso de electrones), una base de silicio tipo P (con falta de electrones) y un bus que permite la circulación de los electrones.

Al incidir los fotones, paquetes de energía procedentes del Sol, en el silicio tipo N, los electrones absorberán esta energía, produciendo electrones libres, que, a través del bus, irán hasta los huecos libres de los que disponen los átomos del silicio tipo P. Este movimiento de electrones genera corriente eléctrica.



1.9.1.1. Partes



- **Cubierta frontal:** La cubierta frontal, formada por el marco de aluminio y el vidrio templado, cumple una función protectora, encargada de soportar la acción de los agentes atmosféricos (polvo, lluvia, nieve, etc.), otorgando mayor durabilidad a los paneles solares. Se emplea vidrio templado con bajo contenido en hierro, ya que presenta una buena protección contra impactos y es muy buen transmisor de radiación solar. Es importante que el cristal sea de buena calidad, para evitar que baje el rendimiento del panel solar.
- **Encapsulante:** Las capas encapsulantes, fabricadas con etil-vinil-acetilano (EVA), actúan como aislante térmico, que ejerce una barrera infranqueable contra la humedad, y transparente, para dejar pasar los rayos solares hasta las células fotovoltaicas. Además, el encapsulante aporta cohesión al conjunto del panel, ya que rellena el volumen existente entre las cubiertas frontal y trasera, amortiguando las vibraciones y los impactos que se puedan producir. Cabe mencionar, que la vida útil de todo el módulo fotovoltaico suele estar condicionada por la baja vida útil del encapsulante.
- **Celdas:** Las celdas fotovoltaicas son las encargadas de transformar la radiación solar en energía eléctrica.
- **Placa de apoyo:** La placa de apoyo otorga robustez mecánica al conjunto. Permite la inserción del módulo en estructuras que los agrupan. Suele ser de aluminio.
- **Caja de conexiones:** Es el dispositivo con el que se da continuidad al circuito eléctrico. De la caja de conexiones eléctricas salen dos cables, uno positivo y otro negativo.

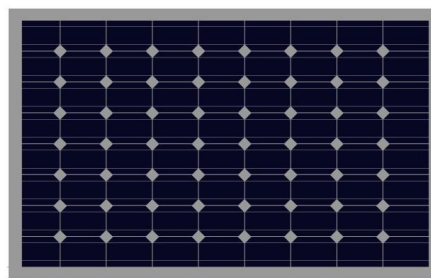
1.9.1.2. Tipos

Existen diversos tipos de paneles solares fotovoltaicos según la tecnología empleada en su fabricación. Los más habituales son los siguientes:

- Paneles solares fotovoltaicos de silicio monocristalino

En los paneles monocristalinos, cada célula se compone de un único cristal de silicio de alta pureza y solidificado a temperatura homogénea, cilíndrico, que se corta para encajar la mayor parte posible del silicio dentro del panel. Es por ello, que se puede apreciar una pequeña muesca o chaflán en las esquinas de cada célula.

Los paneles monocristalinos se distinguen por su color oscuro.



Características:

- Los paneles monocristalinos pueden llegar a alcanzar eficiencias de hasta un 20%. El proceso de fabricación otorga a los módulos mayor eficiencia y rendimiento, ya que permite a los electrones moverse con mayor facilidad.
- Los paneles monocristalinos funcionan mejor en climas más fríos y con peores condiciones atmosféricas.
- Ahorran espacio. Para conseguir la misma potencia, los módulos monocristalinos requieren menos superficie que los policristalinos.
- Destacan por su buen comportamiento en situaciones de baja exposición lumínica, por ejemplo, en días nublados.
- Larga vida útil, que llega hasta los 50 años, con garantía por parte de los fabricantes de hasta 25 años.
- Se adaptan mejor a nivel estético a los tejados, ya que son oscuros.
- Son más caros.
- Generan mayores pérdidas de material, debido al tipo de corte que se realiza en su fabricación.

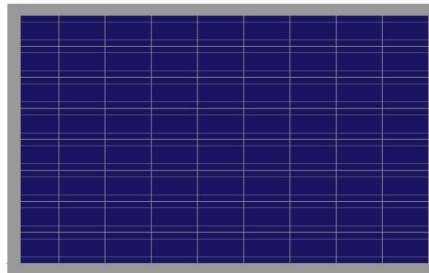
- Paneles solares fotovoltaicos de silicio policristalino

Los paneles policristalinos están compuestos por varios cristales diferentemente orientados.

Cuando se fabrica la célula policristalina, es un bloque grande que se va cortando con la forma cuadrada para encajar la mayor superficie dentro del espacio que hay en el panel.

En los paneles policristalinos, el silicio se funde, después se deja enfriar lentamente, formándose múltiples cristales, y luego se coloca en moldes para obtener las celdas fotovoltaicas.

Los paneles policristalinos se distinguen por su tono azulado.



Características:

- Eficiencia algo menor que la de los paneles monocristalinos. Los paneles policristalinos pueden llegar a alcanzar eficiencias en torno al 16-20%. La resistencia eléctrica entre los diferentes cristales, debido a las impurezas que aparecen al fundir el material, es la causante de la disminución de rendimiento.
- Los paneles policristalinos funcionan mejor en climas cálidos.
- Ocupan mayor espacio que los módulos monocristalinos para generar la misma potencia.
- Precio menor al de los paneles monocristalinos.
- Proceso de fabricación más sencillo, en el que se aprovecha más el material.

- Paneles solares fotovoltaicos amorfos

Los paneles amorfos están formados por una lámina cortada a medida, en la cual, se observan unas tiras delgadas que separan las células compuestas por silicio amorfo (sin cristalizar), conectadas entre sí. Están fabricados mediante la colocación de una fina capa de este silicio sobre una gran variedad de superficies. Otras sustancias fotovoltaicas que se suelen emplear en la fabricación de los paneles amorfos, además del silicio amorfo, son las siguientes: telurio de cadmio (CdTe), seleniuro de galio de indio y cobre (CGIS), y célula solar sensibilizada con colorante (DSC).

Las células amorfas son de un grosor extremadamente fino, de ahí, que a este tipo de paneles se les denomine también paneles de capa fina.



Características:

- Menor eficiencia que los paneles cristalinos. Los paneles amorfos pueden llegar a alcanzar eficiencias en torno al 7-12%.
- Las células de capa fina se caracterizan por su pequeño espesor, de pocas milésimas de milímetro.
- Flexibilidad que permite su adaptación a superficies curvas.
- Son más baratos.
- Es posible la superposición de varias capas, ya que los fotones capaces de producir energía eléctrica, atraviesan las capas si no encuentran en la primera capa ningún electrón que absorba su energía.
- Instalación sumamente sencilla, al tratarse de una única pieza.
- Los módulos de silicio amorfo se caracterizan por captar más radiación difusa que los cristalinos convencionales.
- Tienen un mejor comportamiento en zonas cálidas. Alta resistencia a los calentamientos.
- Requieren de menos material, por la manera en la que son fabricados.
- En cuanto a su aspecto, son de color negro liso.

1.9.1.3. Terminología relacionada frecuente

- Celda: Una celda fotovoltaica es la unidad mínima capaz de transformar la radiación solar en energía eléctrica, aprovechando el efecto fotoeléctrico.



Celda fotovoltaica (Fuente: [Todo lo que necesitas saber sobre la energía solar](#) [borja perez v2.1](#))

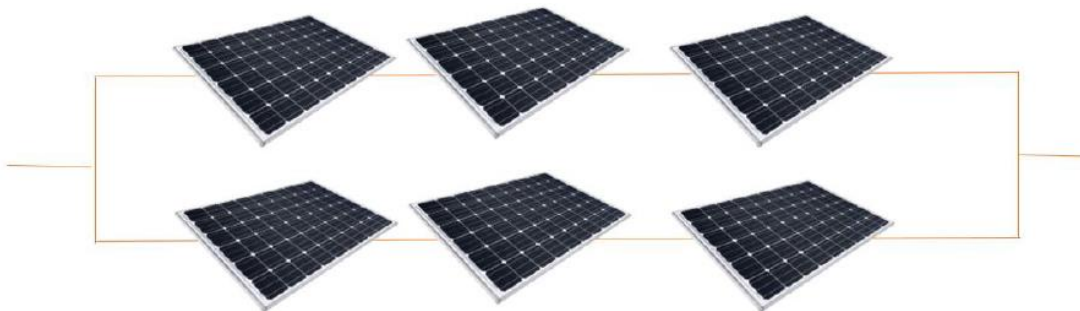
- Módulo: Un módulo fotovoltaico es un conjunto de células unidas entre sí, en serie y paralelo. Los paneles comerciales más habituales son los formados por 60 o 72 celdas.



- String: Un string fotovoltaico es un conjunto de módulos dispuestos en serie.



- Array: Un array fotovoltaico es un conjunto de strings dispuestos en paralelo.



1.9.2. Regulador de carga

El regulador de carga es un dispositivo electrónico que se sitúa entre los paneles solares y las baterías, encargado de controlar el flujo de energía que circula entre ambos elementos. Este control del tránsito de energía consiste en controlar los parámetros de intensidad y voltaje a lo largo de cada etapa de carga.

Se trata de un dispositivo sencillo y de bajo coste, en comparación con el coste total de la instalación.

El dimensionado de las instalaciones solares fotovoltaicas se realiza de manera que se asegure el suministro de energía en las peores condiciones de radiación solar, por lo que se toman los valores en invierno. Sin embargo, en verano la energía aportada por los módulos es notablemente mayor, pudiendo llegar a ser incluso el doble, por lo que es imprescindible el regulador entre los paneles y la batería para no tener un exceso de carga y/o de corriente. Este exceso de corriente podría incluso hervir el líquido de las baterías.

El regulador protege las baterías frente a sobrecargas. Es decir, en el caso de que estén completamente cargadas las baterías, el regulador interrumpirá la conexión con los paneles solares para evitar sobrecargar las baterías. Además, sirve como protección para evitar que las baterías se descarguen por debajo de la profundidad de descarga máxima marcada en el diseño de la instalación, cuando tiene elementos consumiendo corriente continua directamente de las baterías.

Este dispositivo también se encarga de proteger las baterías frente a sobretensiones que se puedan producir en sus bornes, que podrían dañarlas, por ejemplo, cuando desciende mucho la temperatura de trabajo de las celdas fotovoltaicas.

Otra función que cumple el regulador de carga es la de evitar la descarga nocturna de las baterías sobre los paneles fotovoltaicos. El regulador detecta la oscuridad, midiendo la tensión de entrada de los módulos fotovoltaicos, y desconecta la entrada para evitar la circulación de corriente inversa, es decir, de la batería a los paneles solares.

Este aparato se ocupa de que las diferentes etapas de carga de las baterías estén equilibradas y se produzcan en el momento adecuado

Los reguladores de carga cuentan con una tecnología muy avanzada que permite que se adapten automáticamente a las directrices que marca la batería, aunque se pueden regular manualmente distintos parámetros. El regulador se configura para la batería que tenga conectada y aplicará el algoritmo adecuado que maximizará la vida útil del acumulador.

En definitiva, la función del regulador es controlar el estado de carga de las baterías para garantizar que se realiza un llenado óptimo y así alargar su vida útil.

Cabe mencionar que los reguladores, en función del fabricante, se pueden complementar con pantallas externas y dispositivos de comunicación, de manera que proporcionan información del sistema fotovoltaico (voltaje de las baterías, energía generada, nivel de carga, etc.)

1.9.2.1. Tipos

Según la manera en que se efectúe la regulación de la carga de las baterías, los reguladores se clasifican de la siguiente forma: PMW y MPPT.

- Regulador de carga PMW o convencional

El regulador de carga PMW (Pulse-Width Modulation) realiza una modulación por pulsos. Es decir, carga por completo la batería de forma gradual, a pulsos de tensión. De esta forma la corriente se va introduciendo poco a poco hasta que la batería se llena de manera óptima y estable.

Con el regulador de carga PMW, los módulos fotovoltaicos deben trabajar a la tensión que tengan las baterías en esa etapa de carga para su correcto funcionamiento. Esto hace que los paneles no trabajen en su punto de máxima potencia, sino que la potencia la imponga la batería según el estado de carga en el que se encuentre, pudiendo llegar a provocar una pérdida de potencia de aproximadamente un 30%.

En cuanto la batería alcanza el valor máximo de tensión señalado, el regulador interrumpe el contacto entre los módulos fotovoltaicos y la batería, para evitar una sobrecarga. Después, cuando la tensión de la batería se reduce hasta un determinado valor, se vuelve a establecer el paso de toda la corriente.

Los controladores de carga PMW son los más antiguos y la primera tecnología que salió al mercado.

Estos reguladores se caracterizan por su escaso peso, lo que supone mayor facilidad de transporte, y su bajo precio.



- Regulador de carga MPPT o maximizador:

El regulador de carga MPPT (“Maximum Power Point Tracking”) se caracteriza por utilizar toda la potencia disponible en los paneles solares, independientemente de las diferencias de voltaje que existan entre los módulos fotovoltaicos y las baterías. Es decir, su funcionamiento permite aprovechar la máxima producción de los paneles solares para la carga de las baterías.

La energía a la entrada y a la salida del regulador MPPT es la misma, como en el PMW. Sin embargo, en el regulador MPPT, la tensión y la corriente a la entrada y a la salida pueden ser diferentes, consiguiendo que se aumente la intensidad de carga de las baterías. Por tanto, con estos reguladores es posible utilizar módulos que no estén exclusivamente diseñados para funcionar a la tensión de las baterías.

Este tipo de regulador incluye un controlador del punto de máxima potencia y un transformador CC-CC, que convierte la corriente continua de alta tensión a corriente continua de baja tensión).

Cabe destacar, que el hecho de poder disponer de tensiones más elevadas en el campo fotovoltaico reduce las pérdidas energéticas en el cableado entre los paneles solares y el regulador de carga, ya que una menor intensidad supone menor sección del cableado y, por tanto, menor caída de tensión.

El regulador MPPT se encarga de calcular constantemente la tensión a la que la placa puede producir la máxima potencia para unas condiciones específicas y permitirá que el módulo trabaje a dicha tensión, sin importar el voltaje del sistema de baterías. De esta manera, los reguladores MPPT se encuentran siempre trabajando en el punto óptimo, y suponen un aumento de la eficiencia de la instalación fotovoltaica, pudiendo llegar a alcanzar valores de producción solar de los paneles un 30% superior a los que se conseguirían con reguladores PMW.

Los reguladores MPPT son más caros que los PMW, pero su capacidad de producción compensa con creces dicho sobrecoste.

Hoy en día, se trata del tipo de regulador utilizado en la gran mayoría de instalaciones solares fotovoltaicas.

Estos reguladores son, además, especialmente útiles en momentos de sombreados parciales debidos a la nubosidad temporal.



Según el sistema empleado para la interrupción del paso de corriente hacia la batería, los reguladores de carga se pueden clasificar en dos grandes grupos: tipo serie y tipo paralelo.

Las designaciones “serie” y “paralelo” hacen referencia a la disposición del elemento interno de control con respecto al circuito externo.

- Reguladores de carga tipo serie

En los reguladores de carga tipo serie, la interrupción del paso de corriente hacia la batería consiste en abrir la línea del circuito que une los paneles fotovoltaicos con la batería, mediante la actuación de un dispositivo situado en serie con estos elementos. Los reguladores tipo serie incorporan interruptores, electromecánicos o electrónicos, que son los encargados de desconectar el generador cuando la tensión excede un determinado nivel de referencia.

Se trata del tipo de regulador más utilizado. Hoy en día, se usa en casi todas las instalaciones.



- Reguladores de carga tipo paralelo

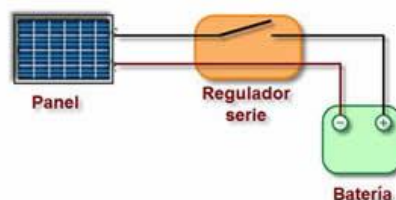
En los reguladores de carga tipo paralelo, la interrupción del paso de corriente hacia la batería consiste en cortocircuitar el sistema generador, mediante la actuación de un dispositivo situado en paralelo entre los paneles fotovoltaicos y la batería.

El exceso de tensión se controla derivando la corriente a un circuito que disipa la energía sobrante en forma de calor, debiendo estar dotados de un eficiente sistema de evacuación de calor. Cuando el sistema de baterías alcanza el estado de plena carga, se ha de disipar toda la corriente de salida de los paneles fotovoltaicos.

Estos reguladores deben, además, llevar incorporado un diodo de bloqueo, que evite la circulación de corriente inversa.

La elevada disipación de energía en forma de calor limita la potencia total que pueden manejar. Crea pérdidas de potencia y reduce el valor máximo de voltaje de carga. Por lo tanto, los reguladores tipo paralelo son menos eficientes que los reguladores tipo serie.

Los reguladores tipo paralelo tienen un precio inferior al de los reguladores tipo serie. Hoy en día, los reguladores de este tipo están en desuso.



1.9.2.2. Conexión y desconexión del regulador

Los pasos para la conexión de un regulador de carga en una instalación solar fotovoltaica deben seguir siempre el siguiente orden: en primer lugar, se debe conectar la batería al regulador (positivo y negativo); a continuación, se tienen que conectar los módulos fotovoltaicos al regulador (positivo y negativo); por último, se ha de conectar la carga al regulador (positivo y negativo).

Para la desconexión de un regulador de carga en una instalación solar fotovoltaica, se deberá proceder en orden inverso.

1.9.3. Inversor

Los inversores solares son equipos electrónicos que se encargan de transformar la corriente continua (CC) procedente de los paneles solares fotovoltaicos, en corriente alterna (CA) de mayor tensión, necesaria para alimentar los consumos habituales de una vivienda, de manera que puedan funcionar en sus niveles normales.

En la práctica, el inversor solar siempre se conecta a la salida de la batería, nunca al regulador de carga, por el que el inversor será el encargado de controlar que la batería no se descarga en exceso, es decir, evita descargas más allá de la profundidad de descarga de la batería.

Además, este dispositivo facilita la supervisión del correcto funcionamiento de la instalación, ya que, en caso de que existiera alguna anomalía, el inversor es capaz de parar la producción de energía, evitando cualquier riesgo asociado a un problema eléctrico.

1.9.3.1. Tipos

Dependiendo de su aplicación, se pueden distinguir dos grandes grupos: inversores de aislada e inversores de conexión a red.

1.9.3.1.1. Inversores de aislada (con baterías)

Los inversores de aislada se utilizan en instalaciones sin conexión a la red eléctrica. Su función principal es convertir la corriente continua procedente de las baterías, en corriente alterna de mayor tensión, apta para alimentar adecuadamente los consumos de la vivienda.

Estos inversores necesitan el uso de baterías, y son capaces de generar una onda senoidal extrayendo energía directamente de las mismas.

Dentro de este grupo, se encuentran los siguientes tipos: inversor de aislada simple, inversor -cargador e inversor “3 en 1”.

- Inversor de aislada simple

Su finalidad es transformar la corriente continua procedente de las baterías, en corriente alterna a mayor tensión, para alimentar los consumos.

De los inversores de aislada simple, cabe destacar que, para proteger las baterías, están programados para detener el suministro cuando la tensión de dichas baterías es muy baja, evitando sobredescargas. Además, incorporan protecciones contra sobretensión, cortocircuito de salida, inversión de polaridad y excesiva temperatura.



- Inversor-cargador

Este tipo de inversor se caracteriza por tener incorporado, además del inversor de aislada simple, un cargador interno, capaz de cargar las baterías usando una fuente de alimentación externa, como grupos electrógenos o motores de gasolina. El cargador se activa cuando la tensión de las baterías es muy baja.

Estos dispositivos, al incorporar el cargador interno, cuando se cuenta en la instalación con una fuente auxiliar de energía, toda la energía suministrada a la vivienda proviene de dicha fuente auxiliar y, al mismo tiempo, se cargan las baterías, de manera que se aprovecha la energía de la fuente auxiliar al máximo.

La principal ventaja de estos inversores reside en que permiten que el sistema no dependa totalmente de la energía producida por los paneles solares fotovoltaicos. Es decir, hacen posible que el sistema se independice de las condiciones meteorológicas, pudiendo funcionar incluso en los días con climatología adversa, lluviosos o nublados, o cuando el consumo en la vivienda es muy superior al esperado y las baterías están descargadas.

Permiten el arranque de grupos electrógenos de forma automática, alimentar consumos muy elevados puntualmente, sumando a la energía de la fuente auxiliar energía procedente de la batería (“smart boost function”).

Además, al no depender la instalación totalmente de la energía solar, no es necesario diseñar la instalación para cubrir las necesidades energéticas en el caso más desfavorable, que no refleja las condiciones medias de trabajo a lo largo del año. De esta manera, se consigue reducir el número de módulos fotovoltaicos y la capacidad de las baterías, lo cual, derivando en un importante ahorro económico.



- Inversor “3 en 1”

Los inversores “3 en 1”, también denominados “todo en 1”, se caracterizan por tener incorporado, además del inversor de aislada simple y un cargador, un regulador de carga.

Estos equipos compactos son capaces de gestionar toda la energía de la instalación. Además, permiten un sencillo seguimiento de algunas de los parámetros más importantes de la instalación, ya que se puede visualizar en un display digital la energía de carga procedente de los paneles solares, el estado de la batería y la energía de salida, etc.

Por su facilidad de instalación, su reducido peso y su coste competitivo, estos inversores “3 en 1” son cada vez más utilizados en las instalaciones solares.



1.9.3.1.2. Inversores de conexión a red

Los inversores de conexión a red se utilizan, como su propio nombre indica, en instalaciones con conexión a la red eléctrica. Su función principal es convertir la corriente continua procedente de las baterías, en corriente alterna de mayor tensión, apta para alimentar adecuadamente los consumos de la vivienda.

Estos inversores están equipados con seguidores del punto de máxima potencia (MPPT), para maximizar la producción de los paneles solares.

La corriente procedente de los módulos fotovoltaicos se transforma en corriente alterna y, mediante un algoritmo de bucle de enganche de fase (“phase-locked loop”), sincronizan la corriente alterna de salida con la corriente alterna de la red eléctrica.

Estos dispositivos también se encargan de mantener la tensión generada por los módulos fotovoltaicos un poco por encima de la red, de manera que consiguen que se anteponga la utilización de energía solar, ahorrando lo máximo posible gracias al autoconsumo.

Dentro de este grupo, se encuentran los siguientes tipos: inversor de autoconsumo directo e inversor de autoconsumo con baterías (híbridos).

- Inversor de autoconsumo directo:

Los inversores de autoconsumo directo transforman la corriente continua procedente de los paneles solares en corriente alterna de mayor tensión y la inyectan directamente en los consumos.

La tensión de inyección es ligeramente superior a la tensión de la red eléctrica, haciendo que toda la energía procedente de los paneles solares se consuma con prioridad respecto a la energía de la red. En caso de que la producción solar sea superior a la energía demandada por los consumos en ese momento, el excedente de producción podrá ser vertido a la red. Si no se quiere verter a la red, se pueden utilizar kits de inyección cero.

Cabe destacar, que estos inversores no son capaces de generar una forma de onda senoidal por sí mismos, necesitan obligatoriamente una onda presente a la que seguir, bien de la red o de un inversor de baterías.



- Inversor de autoconsumo con baterías (híbrido)

Los inversores de autoconsumo con baterías, más conocidos como inversores híbridos, además de realizar las funciones de los inversores de autoconsumo normales, son capaces de almacenar el excedente de energía solar en las baterías, para su posterior uso.

Estos inversores se han explicado más en detalle en otro apartado.

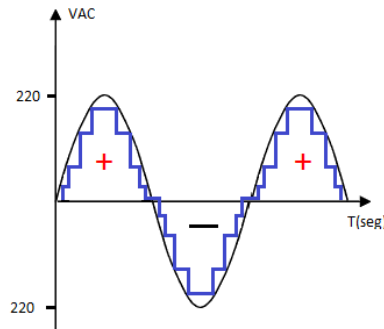


Dependiendo de la onda que producen, se pueden distinguir dos tipos: inversores de onda senoidal modificada e inversores de onda senoidal pura.

- Inversores de onda senoidal modificada

Los inversores de onda modificada no generan una onda de corriente real, sino que la simulan utilizando conmutación electrónica, produciendo una onda cuadrada. De esta manera, se obtiene que se aproxima mucho a una senoidal pura.

Estos inversores tienen una buena relación calidad-precio, pero hay que tener cuidado cuando se conectan a determinados aparatos.



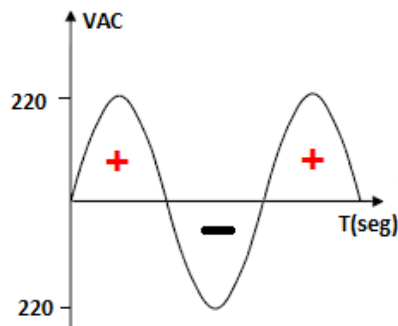
- Inversores de onda senoidal pura

Los inversores de onda senoidal pura generan una corriente prácticamente idéntica a la que produce la red eléctrica y se consume en las viviendas.

Estos dispositivos cuentan con una electrónica más elaborada, llevan incorporados microprocesadores de última generación, que permiten obtener una eficiencia de más del 90%. Además, esta electrónica permite mejores prestaciones, por ejemplo, control remoto, medir la energía consumida, seleccionar de forma automática el modo de bajo consumo, etc.

Estos inversores son más caros que los de onda modificada, pero se pueden conectar a cualquier aparato electrónico. También es posible configurarlos para ser utilizados con electrógenos o equipos generadores junto con paneles foto voltaicos.

Están diseñados para ser utilizados en instalaciones de aislada sin ocasionar interferencias, ya que reproducen una onda uniforme entre diversos pulsos.



1.9.4. Baterías

La batería solar es el elemento que permite almacenar la energía procedente de los paneles solares, en forma de energía química, para posteriormente transformarla de nuevo en energía eléctrica, que será utilizada para, a través del inversor, satisfacer la demanda de los consumos de la vivienda.

Se trata de un dispositivo conformado por celdas electroquímicas, gracias a las cuales se produce la conversión de energía química a electricidad. Cada celda consta de un electrodo positivo (cátodo), un electrodo negativo (ánodo), y electrolitos que permiten el movimiento de los iones entre los electrodos, consiguiendo que la corriente fluya y salga de las baterías para realizar su función, es decir, abastecer los consumos.

El uso de baterías permite la desconexión de la red, logrando independencia energética.

Según la tecnología con la que están fabricadas, las baterías se pueden clasificar de la siguiente manera: baterías de plomo ácido abierto y baterías de litio.

1.9.4.1. Tipos

1.9.4.1.1. Baterías de plomo-ácido abierto

Modelo más sencillo y económico.

Los compartimentos que contiene están conectados en serie y sumergidos en ácido sulfúrico.

Internamente, las placas que componen la batería, contienen los electrodos polarizados positiva y negativamente, que se alternan dentro de la batería. El ácido actúa de electrolito para hacer la reacción química.

Bajo coste.

Menor durabilidad. Ciclos de vida limitados (500-1000 ciclos). Muchos reemplazos necesarios.

Requieren de un mantenimiento periódico.

Capacidad “utilizable” limitada. Profundidad de descarga en torno al 50%, es decir, en la práctica solo pueden proporcionar, como mucho, la mitad de su capacidad. Con que se descargan ocasionalmente un poco más, su vida útil se reducirá drásticamente.

Carga lenta e ineficiente.

Energía desperdiciada. Desperdician aproximadamente el 15% de la energía empleada en su carga.



1.9.4.1.2. Baterías de litio

Las baterías de litio no tienen efecto memoria, es decir, se pueden descargar a distintas profundidades de descarga sin sufrir.

Pueden descargarse por completo, alcanzando el 100% de profundidad de descarga.

No requieren mantenimiento.

No emiten gases, de manera que pueden instalarse en lugares sin ventilación.

Son ligeras, compactas y con rápidos tiempos de carga.

Presentan un precio algo más elevado.



1.10. Diseño de la instalación

1.10.1. Contexto de la instalación

El contexto de la instalación ha sido clave para seleccionar la alternativa tecnológica más adecuada para el proyecto. Además, se debe tener muy presente en el cálculo y dimensionado de la instalación

1.10.1.1. Localización

La instalación solar fotovoltaica abastece de energía un orfanato situado en Kazai, una comunidad rural cercana a la ciudad de Mount Darwin, en la provincia de Mashonaland Central, en la zona noreste de Zimbabue.



Las coordenadas geográficas del emplazamiento en el que se situará la instalación solar fotovoltaica son las siguientes:

- Latitud: -16.58628
- Longitud: 31.52295



1.10.1.2. Climatología

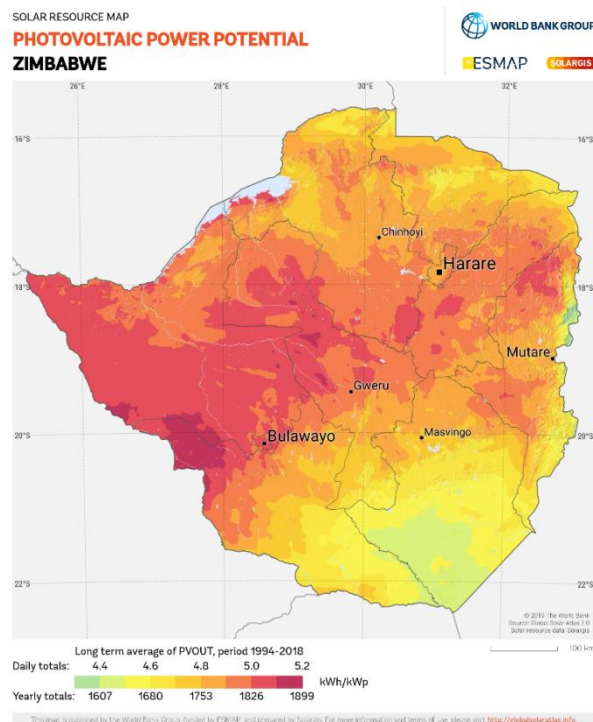
En este apartado se exponen todos los factores climatológicos que se ha considerado que pueden afectar al proyecto, ya sea al desarrollo de la instalación, o a las decisiones que se han ido tomando hasta alcanzar la solución que se propone.

1.10.1.2.1. Irradiación solar

La solución propuesta en este proyecto es una instalación solar fotovoltaica, por lo que resulta evidente que la irradiación solar es uno de los factores climatológicos más determinantes.

La energía que producen los paneles solares está directamente relacionada con la irradiación solar en el emplazamiento de la instalación. A mayor irradiación solar, mayor potencia son capaces de generar los módulos fotovoltaicos, de manera que mayor energía estarán entregando a los consumos.

A continuación, se muestra el potencial de energía fotovoltaica, es decir, la relación que existe entre la energía que puede producir un módulo fotovoltaico y la potencia de dicho módulo, en todo el territorio de Zimbabwe.



Siendo la irradiación solar uno de los factores climatológicos más a tener en cuenta a la hora de dimensionar la instalación, se ha incluido el Anexo I, en el que se puede encontrar información mucho más detallada, calculada con la herramienta PVGIS.

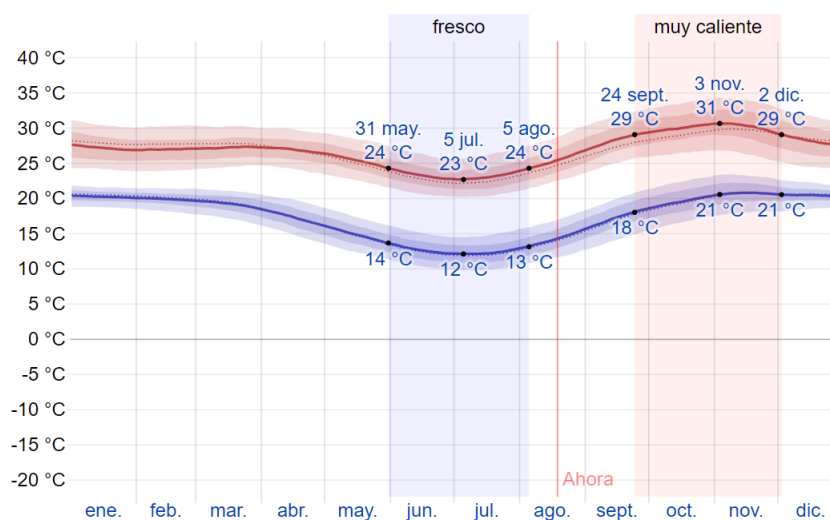
1.10.1.2.2. Temperatura

La temperatura es un factor climatológico a tener en cuenta, en la medida en que afecta a la eficiencia de los paneles solares fotovoltaicos. Este aspecto ha sido de suma importancia en la elección de la tecnología con la que deberán haber sido fabricados los paneles de la instalación.

La capacidad para generar electricidad de un módulo fotovoltaico está directamente relacionada con su temperatura. Este efecto se refleja a través del coeficiente de temperatura, expresado como la disminución porcentual en la producción por cada °C por encima de 25 °C, que es la temperatura de las celdas en condiciones estándar de prueba (STC).

Es importante mencionar, que la temperatura de las celdas fotovoltaicas suele ser aproximadamente 25 °C superior a la temperatura ambiente.

En la gráfica, se representan las temperaturas máximas y mínimas en Mount Darwin, Zimbabwe, para cada mes del año.

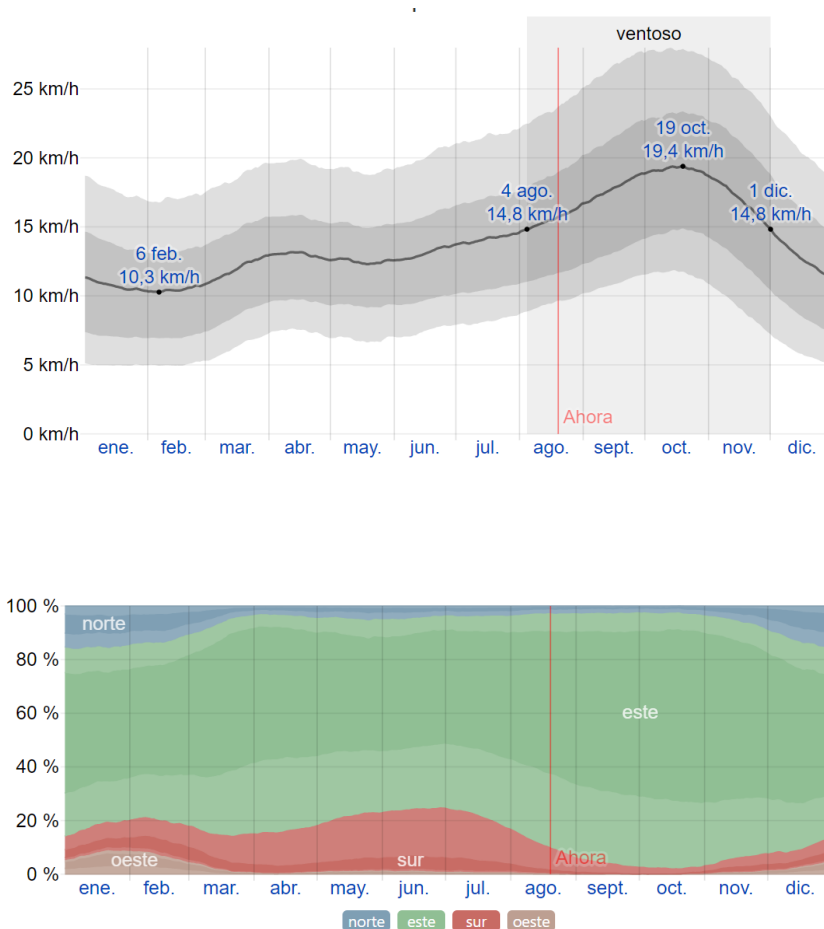


1.10.1.2.3. Viento

El viento es un factor climatológico a tener en cuenta, en la medida en que afecta a las estructuras de soporte de los módulos fotovoltaicos. Tanto la velocidad, como la dirección del viento, se han considerado a la hora de seleccionar dichas estructuras.

La forma aplanada de los paneles solares los hace muy sensibles a la acción del viento. Un viento lo suficientemente fuerte puede llegar a hacer volar los módulos fotovoltaicos, con la correspondiente pérdida del componente y el peligro de ocasionar daños materiales y personales.

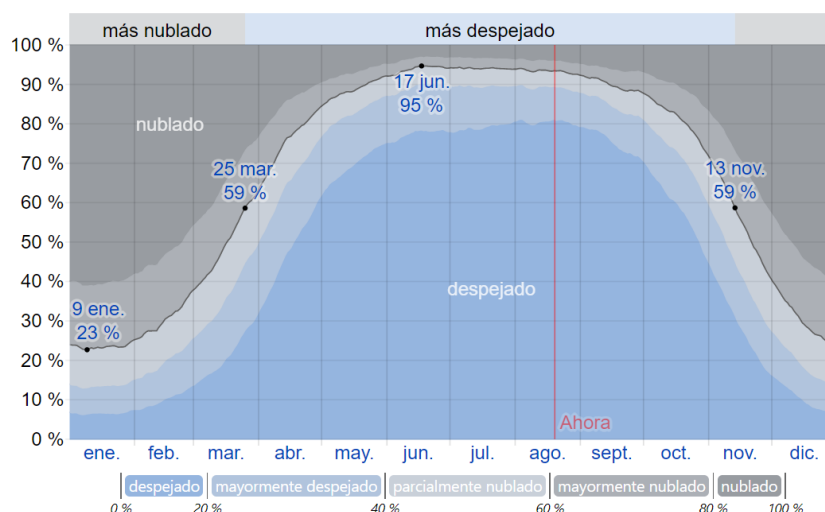
Además, se ha analizado el viento del emplazamiento de la instalación para comprobar si la energía eólica puede ser una vuela alternativa.



1.10.1.2.4. Nubosidad

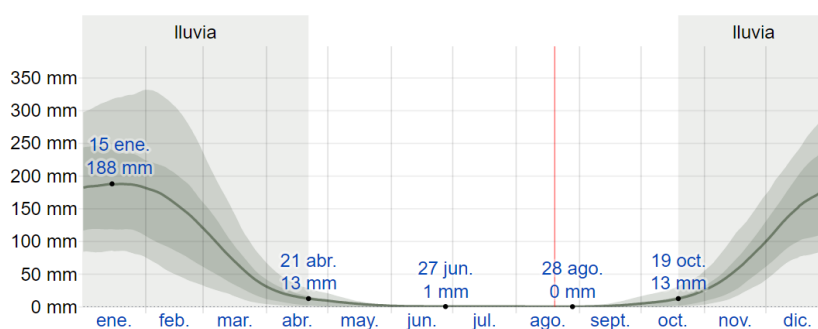
La nubosidad es un factor climatológico a tener en cuenta, en la medida en que afecta a la eficiencia de los paneles solares fotovoltaicos. Este aspecto ha sido de suma importancia en la elección de la tecnología con la que deberán haber sido fabricados los paneles de la instalación.

La capacidad para generar electricidad de un módulo fotovoltaico se ve condicionada por las sombras que se proyectan en el mismo. La nubosidad produce pérdidas por sombras.



1.10.1.2.5. Precipitaciones

Se han analizado las precipitaciones del emplazamiento de la instalación para comprobar si la energía hidráulica puede ser una vuela alternativa.



1.10.2. Estimación de la energía demandada por los consumos

1.10.2.1. Estimación de los elementos de consumo

En este apartado, se estimarán los consumos que deberá satisfacer la instalación solar fotovoltaica. Con esta información, se podrá proceder al cálculo y dimensionada de dicha instalación.

Cabe mencionar, que no se van a elegir modelos comerciales específicos de los distintos elementos de consumo de la instalación, sino que se usarán valores estándar de cada uno de ellos como referencia.

1.10.2.1.1. Sistema de iluminación

Para la iluminación del orfanato, tanto del edificio de residencia, como del edificio habilitado para la enseñanza, se ha decidido utilizar bombillas LED. Se ha considerado la mejor opción debido a que ofrecen las siguientes ventajas con respecto a las bombillas convencionales: son muy eficientes (en torno al 98%), por lo que consumen mucha menos energía; tienen una vida útil mucho más larga (aproximadamente 50.000 horas); y alcanzan el 100% de la luminosidad desde el primer momento.

Para saber el número de bombillas que harán falta, será necesario saber los requerimientos de nivel de iluminación en cada tipo de establecimiento en el que van a ser instaladas, así como la potencia luminosa que emite cada una de las bombillas. De esta manera se asegurará el cumplimiento de la normativa.

Se tomará 15W como potencia de las bombillas LED, ya que dicho valor se encuentra en el rango de potencias que más ahorro ofrece para este tipo de tecnología.

Para conocer la potencia luminosa que genera una bombilla LED, se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia luminosa [lm]} = \text{Potencia bombilla[W]} \times 70 = 15 \times 70 = 1050 \text{ lm}$$

En este caso, al tratarse de bombillas de 15W, la potencia luminosa que genera cada una es 1050 lm.

En cuanto a los requerimientos de nivel de iluminación, la normativa que se ha seguido es la 03-UNE-12464.1.

Los espacios que se van a iluminar son los siguientes: dos habitaciones, dos pasillos y dos aulas.

2. EDIFICIOS EDUCATIVOS						
Nº REF.	TIPO DE INTERIOR, TAREA ACTIVIDAD	E _m lux	UGR _L	U ₀	R _a	OBSERVACIONES
2.1	AULAS, AULAS DE TUTORÍA	300	19	0,6	80	· La iluminación debería ser controlable.
2.2	AULAS PARA CLASES NOCTURNAS Y EDUCACIÓN DE ADULTOS	500	19	0,6	80	· La iluminación debería ser controlable.
2.3	SALA DE LECTURA	500	19	0,6	80	· La iluminación debería ser controlable para colocar varias A/V necesarias
2.4	PIZZARRA	500	19	0,7	80	· Deben evitarse las reflexiones especulares el presentador/profesor debe iluminarse con la iluminancia vertical adecuada
2.5	MESA DE DEMOSTRACIONES	500	19	0,7	80	· En salas de lectura 750 LUX.
2.6	AULAS DE ARTE	500	19	0,6	80	
2.7	AULAS DE ARTE EN ESCUELAS DE ARTE	750	19	0,7	90	· 5000 K - 6500 K
2.8	AULAS DE DIBUJO TÉCNICO	750	16	0,7	80	
2.9	AULAS DE PRÁCTICAS Y LABORATORIOS	500	19	0,6	80	
2.10	AULAS DE MANUALIDADES	500	19	0,6	80	
2.11	TALLERES DE ENSEÑANZA	500	19	0,6	80	
2.12	AULAS DE PRÁCTICAS DE MÚSICA	300	19	0,6	80	
2.13	AULAS DE PRÁCTICAS DE INFORMÁTICA	300	19	0,6	80	
2.14	LABORATORIOS DE LENGUAS	300	19	0,6	80	
2.15	AULAS DE PREPARACIÓN Y TALLERES	500	22	0,6	80	
2.16	HALLS DE ENTRADA	200	22	0,4	80	
2.17	ÁREAS DE CIRCULACIÓN, PASILLOS	100	25	0,4	80	
2.18	ESCALERAS	150	25	0,4	80	
2.19	AULAS COMUNES DE ESTUDIO Y AULAS DE REUNIÓN	200	22	0,4	80	
2.20	SALAS DE PROFESORES	300	19	0,6	80	
2.21	BIBLIOTECA: ESTANTERÍAS	200	19	0,6	80	
2.22	BIBLIOTECA: SALAS DE LECTURA	500	19	0,6	80	
2.23	ALMACENES DE MATERIAL DE PROFESORES	100	25	0,4	80	
2.24	SALAS DE DEPORTE, GIMNASIOS, PISCINAS (USO GENERAL)	300	22	0,6	80	· Véase la UNE 12193 para las condiciones de entrenamiento.
2.25	CANTINAS ESCOLARES	200	22	0,4	80	
2.26	COCINA	500	22	0,6	80	

- Iluminación de las aulas

Las aulas serán utilizadas para realizar varias de las actividades que aparecen en la tabla, siendo el nivel de iluminación requerido más elevado y, por tanto, más exigente de todas ellas, 500 lux, por lo que será el valor que se considerará.

Teniendo en cuenta que se trata de aulas de 60 m², para cada una se empleará la siguiente cantidad de bombillas:

$$N^{\circ} \text{ Bombillas} = \frac{\text{Nivel de iluminación [lux]} \times \text{Área [m}^2\text{]}}{\text{Potencia luminosa [lm]}} = \frac{500 \times 60}{1050} \approx 29$$

Por lo tanto, tratándose de dos aulas, serán necesarias 58 bombillas LED de 15 W.

- Iluminación de los pasillos

Como se puede comprobar en la tabla, el nivel de iluminación requerido en los pasillos es 100 lux.

El pasillo del edificio de residencia es de 21 m², mientras que el del edificio habilitado para la enseñanza es de 18 m², lo que hace un área total de pasillos de 39 m².

$$N^{\circ} \text{ Bombillas} = \frac{\text{Nivel de iluminación [lux]} \times \text{Área [m}^2\text{]}}{\text{Potencia luminosa [lm]}} = \frac{100 \times 39}{1050} \approx 4$$

Por lo tanto, serán necesarias 4 bombillas LED de 15 W. Haciendo el cálculo de ambos pasillos por separado, se comprueba que son 2 bombillas por pasillo.

- Iluminación de las habitaciones

En la Tabla X se recogen los niveles de iluminación recomendados en cada estancia de una vivienda.

Niveles de iluminación en viviendas		
	Iluminación en lux	Nivel de medida
Cocina		
General	200	Suelo
Encimera/Isla	500	Zona de trabajo
Baño		
General	100	Suelo
Espejo	300	Altura de la cara
Pasillos y escaleras		
Vivienda	100	1 m
Zonas comunes	150-200	1 m
Dormitorio		
General	50-100	Suelo
Cabecero cama	150-300	Luz de lectura
Dormitorio Niños		
General	200	Suelo
Escritorio	500	Mesa
Salón/Comedor		
General	100	Suelo
TV	50	Luz ambiental
Lectura	150-300	Plano de lectura
Comedor	150	Mesa

Se puede comprobar que el nivel de iluminación requerido en los dormitorios de los niños es 200 lux.

Teniendo en cuenta que se trata de habitaciones de 100 m², para cada una se empleará la siguiente cantidad de bombillas:

$$N^{\circ} \text{ Bombillas} = \frac{\text{Nivel de iluminación [lux]} \times \text{Área [m}^2\text{]}}{\text{Potencia luminosa [lm]}} = \frac{200 \times 100}{1050} \approx 20$$

Por lo tanto, tratándose de dos habitaciones, serán necesarias 40 bombillas LED de 15 W.

1.10.2.1.2. Dispositivos para enseñanza y ocio

En este ámbito se han considerado los siguientes elementos: ordenadores, proyectores y altavoces.

- Ordenadores

Se ha considerado que cada una de las aulas del edificio habilitado para la enseñanza deberá contar con un ordenador, incluyendo los periféricos necesarios para su correcto funcionamiento (monitor, teclado, ratón, etc.).

En la tabla, se muestra la potencia media consumida por un ordenador de gama media, en cada estado energético en el que se puede encontrar.

	CPU	Monitor
ON	50W	18,84 W
Standby	3W	0,22 W
Off	1,5W	0,15 W

Por una cuestión de orden de magnitud, se despreciará la energía que consumen estos equipos en standby y en off. Por lo tanto, se considerará que cada uno de los ordenadores consume una potencia de 70 W.

Teniendo en cuanto que se utilizarán dos ordenadores iguales, el conjunto de estos aparatos consumirá 140 W.

- Proyectores

Estos proyectores serán empleados, tanto para la enseñanza (mostrar documentos, presentaciones, etc.), como para ocio (ver películas, vídeos, fotos, etc.). Un proyector que se amolde a las necesidades descritas, suele consumir una potencia de 50 W.

Teniendo en cuanto que se utilizarán dos proyectores iguales, el conjunto de estos aparatos consumirá 100 W.

- Altavoces

Estos altavoces serán empleados para reproducir el sonido de las películas y los vídeos que se proyecten, así como para escuchar música. Un altavoz capaz de cubrir estas necesidades, suele consumir una potencia de 40 W.

Teniendo en cuenta que se utilizarán dos altavoces iguales, el conjunto de estos aparatos consumirá 80 W.

1.10.2.1.3. Dispositivos para comunicación

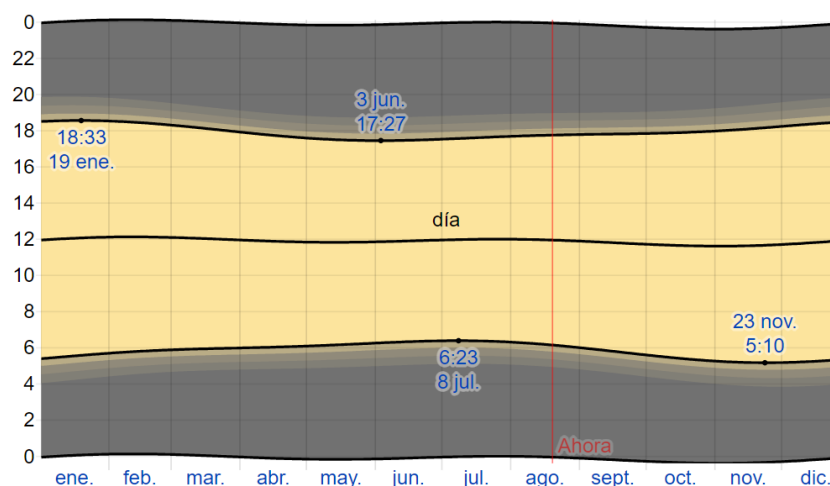
Se contará con un sistema de transmisión recepción vía satélite (DBS) para poder comunicar el orfanato, situado en Kazai, con el complejo urbano más cercano, es decir, Mount Darwin, que se encuentra a 60 km. Esta comunicación no pretende ser constante, sino esporádica, atendiendo a eventos puntuales, principalmente para enviar o recibir alertas.

Para el rango de distancia que se pretende abarcar (50-100 km) con el sistema de comunicación, la potencia que suelen consumir estos aparatos es de aproximadamente 1000W.

1.10.2.2. Estimación de los tiempos de consumo

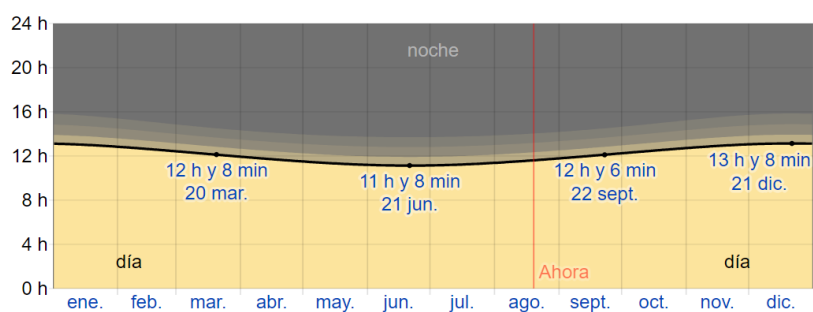
1.10.2.2.1. Sistema de iluminación

En la gráfica, se muestra la distribución de horas de luz en la zona de Mount Darwin, punto más cercano a Kazai del que se han podido encontrar estos datos, que serán prácticamente idénticos a los del lugar exacto en el que se encuentra el emplazamiento de la instalación.



Se observa que la distribución de horas de luz en Harare a lo largo del año es bastante estable, no varía mucho de unos meses a otros.

Los meses de verano, con más horas de luz, amanece en torno a las 05:30 y atardece en torno a las 18:30, mientras que los meses de invierno, con menos horas de luz, amanece en torno a las 06:30 y atardece en torno a las 17:30.



En la gráfica, se puede comprobar que, efectivamente, la cantidad de horas con el sol visible en Harare varía desde aproximadamente 13 horas en los meses de verano, hasta aproximadamente 11 horas en los meses de invierno.

Esta información será utilizada para estimar el tiempo de consumo del sistema de iluminación.

Como la instalación solar fotovoltaica tiene que ser capaz de satisfacer la demanda de los consumos durante todo el año, y se considerará dicha demanda constante a lo largo del mismo, habrá que fijarse en el caso más desfavorable, es decir, en el de menos horas de luz. Esta situación se da en el mes de junio, con aproximadamente 11 horas de luz al día.

Se ha considerado que el sistema de iluminación comenzará a ser necesario una hora antes de que atardezca. Además, se ha tenido en cuenta que el horario de actividad en la aldea será de 05:30 a 23:30.

En base a lo descrito, se ha estimado un tiempo de consumo de todo el sistema de iluminación (habitaciones, aulas y pasillos), de 8 horas diarias.

1.10.2.2.2. Dispositivos para enseñanza y ocio

Para los elementos de enseñanza y ocio, se ha supuesto que el horario del edificio habilitado para la enseñanza es de 08:00 a 20:00.

Teniendo en cuenta que estos aparatos no estarán encendidos más de un tercio de ese tiempo, se ha estimado un tiempo de consumo de los ordenadores, proyectores y altavoces, de 4 horas diarias.

1.10.2.2.3. Dispositivos para comunicación

Como el sistema de transmisión-recepción vía satélite (DBS) será utilizado de manera esporádica, se ha estimado un tiempo de consumo de los aparatos que conforman el sistema de comunicación, de 0,5 horas diarias.

1.10.2.3. Resumen de la estimación

A continuación, se resumen en la tabla, todos los consumos que se han considerado para el cálculo y dimensionado de la instalación solar fotovoltaica. Sumando la energía que necesitará cada elemento, se ha obtenido la energía total que demandarán los consumos.

Elemento	Número	Potencia (W)	Tiempo (h/día)	Energía/día (Wh/día)
Bombillas LED	102	15	8	12240
Ordenadores	2	70	4	560
Proyectores	2	50	4	400
Altavoces	2	40	4	320
DBS	1	1000	0.5	500
			TOTAL	14020

1.10.3. Selección de los componentes de la instalación

A partir del estudio de los componentes de una instalación solar fotovoltaica, que se ha llevado a cabo en otro capítulo, y de los requerimientos de esta instalación en concreto, se ha logrado, mediante los cálculos y la simulación realizada, determinar los elementos que componen la instalación.

1.10.3.1. Paneles solares fotovoltaicos

Para los paneles solares fotovoltaicos de esta instalación, se ha decidido emplear la tecnología de silicio monocristalino.

Aunque los módulos policristalinos funcionan algo mejor en climas cálidos y son un poco más baratos que los monocristalinos, la realidad es que actualmente la diferencia es muy pequeña.

Los módulos de silicio monocristalino ofrecen una mayor eficiencia, poseen una vida útil más larga. Destacan por su buen comportamiento en situaciones de baja exposición lumínica, aspecto especialmente importante para los meses nublados.

Además, al ocupar menos espacio, tienen un menor impacto en el paisaje y el entorno natural

1.10.3.2. Baterías

Se ha decidido optar por baterías de litio, ya que no emiten gases, siendo las más respetuosas con el medioambiente. Se pueden instalar en un lugar sin ventilación.

Además, al no tener efecto memoria y poder descargarse por completo, para conseguir la misma capacidad, las baterías de litio serán más pequeñas y ligeras, facilitando su transporte e instalación.

Son las que mayor vida útil ofrecen.

No requieren mantenimiento, por lo que la población autóctona no tendrá que preocuparse.

1.10.3.3. Regulador de carga

El regulador de carga que se ha decidido emplear en la instalación es MPPT de tipo serie, ya que, aunque sean un poco más caros que los PMW, su capacidad de producción compensa con creces dicho sobrecoste.

Se encuentra siempre trabajando en el punto óptimo, de manera que suponen un aumento de la eficiencia de la instalación fotovoltaica, pudiendo llegar a alcanzar valores de producción solar de los paneles un 30% superior a los que se conseguirían con reguladores PMW.

Se puede disponer de tensiones más elevadas en el campo fotovoltaico, logrando reducir las pérdidas energéticas en el cableado.

Este regulador de carga está incorporado en el inversor “Todo en 1”.

1.10.3.4. Inversor

Como se trata de una instalación solar sin conexión a red, el inversor debe ser de aislada (con baterías). En concreto, se ha decidido que el inversor que se va a utilizar es de tipo “Todo en 1” de onda senoidal pura, ya que son capaces de gestionar toda la energía de la instalación y permiten un sencillo seguimiento de los parámetros más importantes de la instalación. Son los que permiten obtener una eficiencia más elevada y se pueden conectar a cualquier aparato electrónico.

Su precio competitivo y fácil instalación también han influido en la decisión.

El inversor “Todo en 1” tiene incorporado, además del inversor de carga simple y un cargador, el regulador de carga que se ha descrito anteriormente.

1.10.3.5. Cableado

Se ha decidido utilizar cables tipo PV ZZ-F, fabricados especialmente para instalaciones fotovoltaicas. Son cables de potencia flexibles, de cobre, unifilares, con doble aislamiento y gran resistencia a la intemperie.

Algunas de las propiedades más interesantes de estos cables son las siguientes: no propagan la llama, son libres de halógenos, baja emisión de humos y baja emisión de gases corrosivos.



1.10.4. Cálculo y dimensionado de la instalación

Cabe mencionar, que los resultados que se han tenido en cuenta son los obtenidos por la simulación en PVSYST. En este capítulo, lo que se pretende es mostrar de qué ecuaciones proceden dichos resultados, pero no se mostrará el valor numérico de algunos cálculos, ya que serán más precisos los conseguidos en la simulación.

1.10.4.1. Paneles solares fotovoltaicos

1.10.4.1.1. Inclinación de los paneles solares fotovoltaicos

Para el cálculo del ángulo óptimo de inclinación de los módulos fotovoltaicos, se ha empleado el método de la inclinación óptima anual.

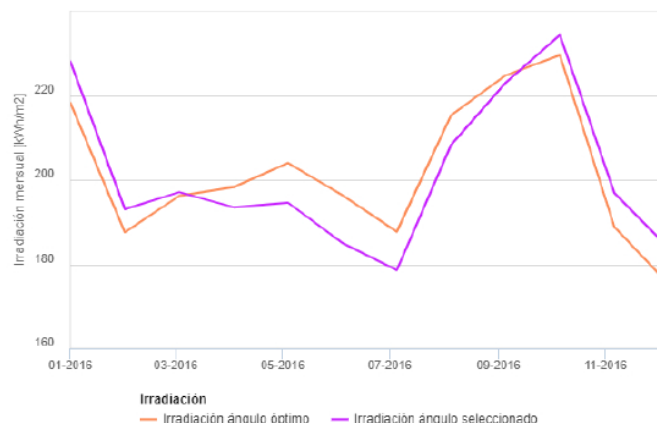
$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 \times |\varnothing| = 3.7 + 0.69 \times |-16.58628| = 15.1445^\circ$$

Siendo,

$\varnothing$: Latitud del emplazamiento de la instalación [°].

Sin embargo, los paneles estarán apoyados sobre unas estructuras de soporte, y es mucho más barato conseguir aquellas con ángulos de inclinación comerciales. Por lo tanto, con el objetivo de ahorrar costes, se ha decidido instalar los paneles solares fotovoltaicos con un ángulo de inclinación $\beta_{opt}=15^\circ$.

A continuación, se muestra una gráfica comparativa, con los datos más actualizados de los que dispone la herramienta PVGIS, en la que se puede apreciar lo similar que la irradiación mensual con el ángulo óptimo calculado y el ángulo seleccionado, lo cual, junto con el ahorro que se consigue, justifica de manera evidente la decisión tomada.



1.10.4.1.2. Orientación de los paneles solares fotovoltaicos

Al estar el emplazamiento de la instalación situado en el hemisferio sur, la orientación óptima para los paneles solares, es decir, aquella con la que reciben la máxima radiación posible a lo largo del día, será hacia el norte.

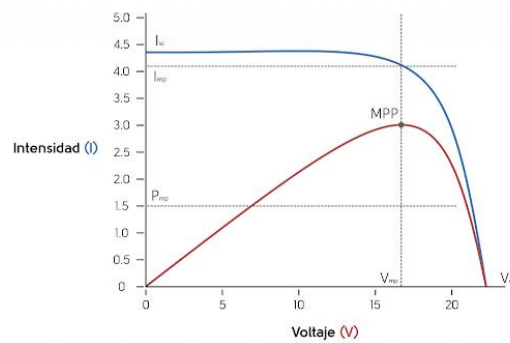
1.10.4.1.3. Número de paneles solares fotovoltaicos

El número total de paneles solares fotovoltaicos necesarios viene dado por la siguiente ecuación:

$$N_T = \frac{E_{md\ crit}}{P_{PMP} \times HSP_{crit} \times PR} \times (1 + FS)$$

Siendo,

Punto de potencia máxima: Se trata del punto de funcionamiento de los paneles solares, en el que la potencia entregada por los mismos es máxima.



Mes crítico: Se considera el mes crítico a aquel con menor valor del cociente Consumo/Irradiación. Como se ha considerado un consumo diario constante durante todo el año, el mes crítico es el que cuente con una menor irradiación global media diaria.

Mes	Irradiación global mensual (15º) [KWh/m ²]	Nº de días	Irradiación global media diaria (15º) [KWh/m ² /día]
Enero	227.92	31	7.35
Febrero	193.05	28	6.89
Marzo	197.06	31	6.36
Abril	193.51	30	6.45
Mayo	194.58	31	6.28
Junio	185.05	30	6.17
Julio	178.62	31	5.76
Agosto	208.26	31	6.72
Septiembre	222.92	30	7.43
Octubre	234.26	31	7.56
Noviembre	196.92	30	6.56
Diciembre	183.86	31	5.93

Con respecto a la tabla, cabe mencionar, que para calcular la irradiación global media diaria sobre el ángulo de inclinación de los paneles, antes se han obtenido los datos de irradiación global mensual sobre dicho ángulo, mediante la herramienta PVGIS, que se pueden encontrar en el Anexo I, y después se han dividido dichos valores por el número de días de cada mes.

Se concluye, por tanto, que el mes crítico para esta instalación es julio, con un valor de irradiancia global media diaria de 5.76 KWh/m²/día.

$E_{md\ crit}$: Consumo medio diario [Wh/día].

- Como se ha considerado un consumo medio diario constante durante todo el año, el cálculo para el mes crítico, es decir, julio, se corresponde con el que se muestra en la tabla.

P_{PMP} : Potencia máxima que puede suministrar el panel en STC [Wp].

- Se puede encontrar en la ficha técnica del panel.
- STC: Los fabricantes ofrecen los parámetros característicos de un panel en condiciones estándar de medida (STC). Estas condiciones se corresponden con una irradiancia de 1000 W/m², una temperatura de célula de 25°C y una masa de aire del espectro de 1.5 AM.

HSP_{crit}: Hora Solar Pico del mes crítico [HSP].

- Cálculo de Hora Solar Pico del mes crítico:

$$HSP_{crit} = \frac{\text{Irradiación}_{gmd} \text{ mes crítico } [Wh/m^2/día]}{1000 [W/m^2]} = \frac{5.76 \times 10^3}{1000} = 5.76 \text{ HSP}$$

PR: Coeficiente global de rendimiento de la instalación fotovoltaica.

- Cálculo del PR:

$$PR = \left(1 - \sum \text{Pérdidas}\right) \times \eta_{reg} \times \eta_{bat} \times \eta_{inv}$$

Para el cálculo del rendimiento global de la instalación fotovoltaica, se han considerado las siguientes pérdidas:

- Pérdidas por inclinación de los paneles:

$$\text{Pérdidas}_{inclinación} [\%] = 100 \times \left[1.2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{opt})^2\right], \text{ para } \beta \leq 15^\circ$$

$$\text{Pérdidas}_{inclinación} [\%] = 100 \times \left[1.2 \times 10^{-4} \times (15 - \beta_{opt})^2\right]$$

Siendo,

β : Ángulo de inclinación del panel [°].

β_{opt} : Ángulo óptimo de inclinación [°].

- Pérdidas por orientación de los paneles: $\text{Pérdidas}_{inclinación} = 0$.
Los paneles están orientados hacia el sur, es decir, de manera óptima.
- Pérdidas por sombras en los paneles: $\text{Pérdidas}_{sombras} = 0$.
A continuación, se explica cómo se ha llegado a esta conclusión.

En el emplazamiento en el que se sitúa la instalación, se observa un horizonte despejado, por lo que las sombras que se han analizado son las proyectadas por ciertos obstáculos y los propios paneles entre ellos.

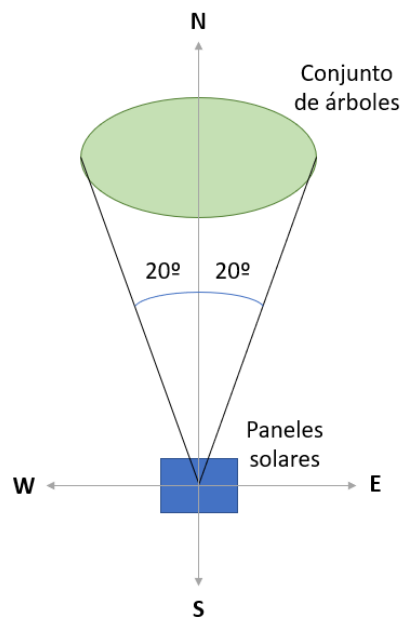
Obstáculos:

En primer lugar, al estar los paneles situados en el suelo y próximos a los edificios a los que se pretende suministrar electricidad, cabría pensar que las sombras proyectadas por estos edificios son las que más pueden afectar a la instalación. Sin embargo, al haberse localizado los paneles al norte de los edificios (azimut = 180°) y a algunos metros de distancia, se comprueba en el Diagrama de trayectorias del Sol, que se logra evitar que dichas sombras causen pérdidas, ya que no se proyectarán sobre los paneles en ningún momento.

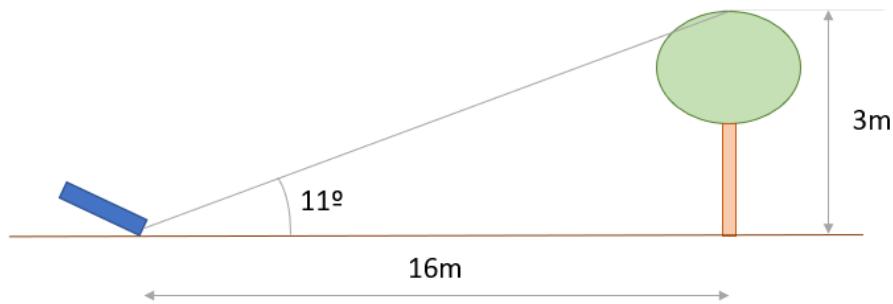
Caso más desfavorable, por su localización, que se ha analizado más en detalle, es el de la sombra proyectada por un conjunto de árboles situado al norte del emplazamiento de la instalación.

Para calcular las pérdidas por sombras, se ha hecho uso del Diagrama de trayectorias del Sol. Las variables de entrada del diagrama son los ángulos de azimut y elevación.

En la figura, se muestra el rango de ángulos de azimut del obstáculo formado por el conjunto de árboles.

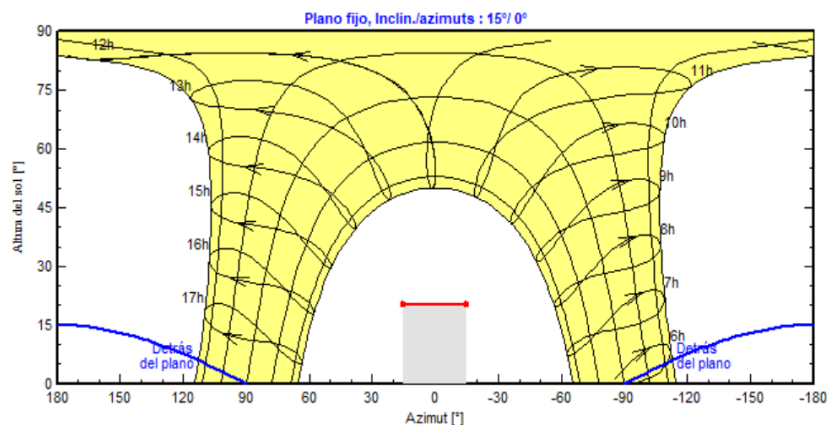


En la figura, se muestra el ángulo de elevación del obstáculo formado por el conjunto de árboles



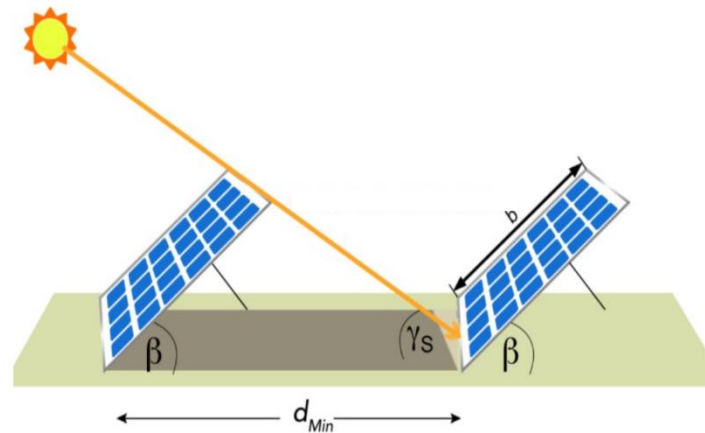
A continuación, se comprueba con el Diagrama de trayectorias del Sol, que la sombra proyectada por el conjunto de árboles no alcanza en ningún momento a los paneles, por lo que no causa pérdidas.

Se introducen los valores de azimut y elevación solar de los obstáculos. Para que el sombreado de un obstáculo causara alguna pérdida en el sistema, tendría que estar el área gris, que representa dicho obstáculo, sobre la región amarilla, que representa las trayectorias del Sol a lo largo del año.



Distancia entre paneles:

La Figura X, se corresponde con la posición del sol en el solsticio de invierno (21 de junio en el hemisferio sur).



La distancia mínima entre paneles se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$d_{min} [m] = b \times \frac{\text{sen} (\gamma_s + \beta)}{\text{sen} (\gamma_s)}$$

Siendo,

b: Altura de los paneles [m].

Se obtiene de la ficha técnica de los paneles.

β: Ángulo de inclinación de los paneles [°].

γ: Ángulo de elevación solar crítico [°].

El ángulo de elevación solar se obtiene de la siguiente expresión:

$$\gamma_s [^\circ] = 61^\circ - \text{Latitud}[^\circ] = 61 - 16.58628 \approx 45^\circ$$

Se puede confirmar dicho valor aproximado en el Anexo I.

Además, se ha considerado adecuado aplicar un margen de seguridad de un 20%, de manera que la distancia entre filas de paneles será la siguiente:

$$d [m] = d_{min} [m] \times 0.2 =$$

En definitiva, como los paneles estarán separados una distancia de d [m], las sombras que proyecten los de la fila delantera no alcanzarán a los paneles de la fila trasera, por lo que no causarán pérdidas.

○ Pérdidas por temperatura:

La tensión de las células fotovoltaicas se ve notablemente afectada por la temperatura de operación de las mismas. Mayor temperatura de operación implica menor tensión de salida. La intensidad también se ve afectada, pero en menor medida. En definitiva, la potencia máxima de los paneles se reduce según aumenta la temperatura de operación.

La variación de los parámetros eléctricos de los paneles con la temperatura viene indicada por los coeficientes de temperatura.

La potencia en el punto de potencia máxima a una temperatura T_m , resulta de la siguiente ecuación:

$$P_{PMP(T_m)} [W] = P_{PMP} \times (1 + \gamma \times (T_m - T_{STC}))$$

Siendo,

$P_{PMP(T_m)}$: Potencia en el punto de máxima potencia en STC [W].

γ : Coeficiente de temperatura de potencia.

▪ Se puede encontrar en la ficha técnica del panel.

T_m : Temperatura del módulo [°].

▪ La temperatura de los módulos suele ser 25°C superior a la temperatura ambiente. Como se puede apreciar en la figura, la temperatura máxima promedio a lo largo de todo el año se da en noviembre y es aproximadamente de 31°C. Entonces, la temperatura máxima de los módulos será de 56°C.

Es importante resaltar el hecho de que se está dimensionando la instalación para el mes crítico, es decir, julio, pero se están calculando las pérdidas por temperatura con el valor máximo de temperatura a lo largo del año, aunque se dé en otro mes, simplemente porque se trata del caso ficticio más desfavorable (combinación del caso más desfavorable de irradiación y de temperatura), con la intención de sobredimensionar un poco más, para ofrecer más margen en los cálculos que se están realizando.

T_{STC} : Temperatura del módulo en STC (25°C).

○ Pérdidas por suciedad y polvo: Pérdidas_(polvo y suciedad) = 0.

Un panel con suciedad y polvo puede llegar a reducir su rendimiento aproximadamente un 15% si no realiza un mantenimiento adecuado. Sin embargo, al estar los paneles situados en el suelo y, por lo tanto, ser fácilmente accesibles, se podrá realizar una labor de limpieza periódica, por lo que se estimarán estas pérdidas en un 3%.

- Pérdidas por no cumplimiento de la potencia nominal:
Los módulos fotovoltaicos se obtienen de un proceso industrial, de manera que no son todos idénticos. Es por ello, que la potencia nominal de los paneles presenta una determinada dispersión, especificada en su ficha técnica. Suponiendo que se da el caso más desfavorable, es decir, que la potencia de los módulos fotovoltaicos es la mínima dentro de este rango de dispersión, estas pérdidas serán iguales al valor que aporta el fabricante en la ficha técnica de los paneles.
- Pérdidas de ‘mismatch’: Pérdidas_cableado = 5%.
Las pérdidas de ‘mismatch’ son pérdidas que se producen al conectar módulos fotovoltaicos de potencias ligeramente diferentes. Estas pérdidas tienen su origen en el hecho de que, si se conectan en serie varios módulos con diferentes corrientes, el de menor corriente es el que limitará la corriente del conjunto. De igual manera, si se conectan en paralelo varios módulos con diferentes tensiones, el de menor tensión es el que limitará la tensión del conjunto. En ambos casos, la potencia del conjunto se ve reducida. Las pérdidas de ‘mismatch’ no suelen superar valores del 5% en instalaciones de estas características.
- Pérdidas en el cableado: Pérdidas_cableado = 0.
Se han estimado unas pérdidas energéticas debidas a las caídas de tensión en el cableado, de un 10%, que es el máximo habitual para este tipo de instalaciones. De todas formas, cabe resaltar, que se ha dimensionado el cableado adecuadamente para que estas pérdidas sean menores.

En cuanto a los rendimientos del resto de componentes principales de la instalación, se han tomado los valores estándar que ofrecen los fabricantes.

- Rendimiento de regulador de carga MPPT: η_{reg}
- Rendimiento de baterías de litio: η_{bat}
- Rendimiento de inversor de aislada de onda senoidal pura: η_{inv}

FS: Factor de seguridad (20%).

1.10.4.1.4. Distribución de los paneles

En cuanto a la distribución de los paneles, es importante recordar lo siguiente:

- La tensión del string es igual a la suma de las tensiones de cada uno de los módulos que conforman el string, mientras que la intensidad del string es igual a la intensidad de cada uno de los módulos que conforman el string.
- La tensión del array es igual a la tensión de cada uno de los strings que conforman el array, mientras que la intensidad de un array es la suma de las intensidades de cada uno de los módulos que conforman el array.

Al ser el regulador de carga de la instalación de tipo MPPT, la cantidad de paneles conectados en serie no dependerá de la tensión de las baterías.

El número máximo de paneles que se pueden conectar en serie lo impone la tensión máxima que admite el regulador, y viene dado por la siguiente ecuación:

$$N_{P \text{ serie}} < \frac{V_{\max MPPT}}{V_{PMP}}$$

Siendo,

$V_{\max MPPT}$: Tensión máxima que admite el regulador de carga de tipo MPPT [V].

V_{PMP} : Tensión del panel en el punto de máxima potencia [V].

- La tensión de los paneles no debe ser mayor a la tensión máxima que admite el regulador. Por lo tanto, el momento más desfavorable será el de menor temperatura de los módulos fotovoltaicos, ya que supondrá el valor máximo de tensión de los mismos.
- La temperatura de los módulos suele ser 25°C superior a la temperatura ambiente. Como se puede apreciar en la figura, la temperatura mínima promedio a lo largo de todo el año se da en julio y es aproximadamente de 12°C. Entonces, la temperatura mínima de los módulos será de 37°C, claramente superior a los 25° en STC.
- Por lo tanto, se ha considerado que el caso de mínima temperatura de los módulos es, simplemente, 25°C (STC).

El número de paneles en paralelo queda fijado por la siguiente ecuación:

$$N_{P \text{ paralelo}} = \frac{N_T}{N_{\text{serie}}}$$

1.10.4.2. Sistema de baterías

1.10.4.2.1. Capacidad del sistema de baterías

La capacidad de almacenamiento nominal que debe proporcionar el sistema de baterías, resulta de la siguiente ecuación:

$$C_n [Ah] = \frac{E_{md\ crit} \times D_A}{PD} \times \frac{1}{\eta_{reg} \times \eta_{bat} \times \eta_{inv}} \times (1 + FS)$$

Siendo,

$E_{md\ crit}$: Consumo medio diario [Wh/día].

D_A : Autonomía del sistema de baterías [días].

- La autonomía de las baterías indica el número de días que el sistema puede seguir suministrando la energía que demandan los consumos, aun con nula actividad solar, es decir, con los paneles sin producir energía.

PD: Profundidad de descarga de las baterías [%].

- La profundidad de descarga hace referencia a la cantidad de energía que se extrae del acumulador durante un ciclo de descarga.

η_{reg} : Rendimiento de regulador de carga MPPT.

η_{bat} : Rendimiento de baterías de litio.

η_{inv} : Rendimiento de inversor de aislada de onda senoidal pura.

FS: Factor de seguridad (20%).

Los fabricantes facilitan en la ficha técnica de la batería, la capacidad nominal en función de la velocidad de descarga. Esto se debe a que, a mayor velocidad de descarga, menor potencia suministrada por la batería y, por tanto, menor capacidad nominal.

A mismo valor de capacidad nominal, será más cara la batería que ofrezca dicha capacidad nominal a mayor velocidad de descarga, es decir, aquella que permita una descarga más rápida. Es por ello, que conviene buscar una batería que ofrezca la capacidad requerida, a la velocidad de descarga que más se ajuste al tipo de instalación en el que se va a incorporar.

Las baterías solares suelen referirse a tiempos de descarga de 10-100 horas, por lo que será necesario fijarse en la ficha técnica en los datos de capacidad desde C10 hasta C100.

1.10.4.3. Regulador de carga

1.10.4.3.1. Corriente de entrada al regulador

La corriente de entrada al regulador se deduce a partir de la siguiente ecuación:

$$I_{ent\ reg} [A] = I_{SC} \times N_{P\ paralelo} \times (1 + FS_{reg})$$

Siendo,

I_{SC} : Corriente de cortocircuito del panel [A]

- La corriente de cortocircuito de un panel corresponde a la intensidad que se obtiene entre sus bornas cuando no hay resistencia. Se trata de la máxima intensidad que se puede registrar entre bornes.
- Se puede encontrar en la ficha técnica del panel.

$N_{P\ paralelo}$: Número de strings en paralelo que conforman el array fotovoltaico.

FS_{reg} : Factor de seguridad para evitar daños ocasionales en el regulador (25%).

1.10.4.3.2. Corriente de salida del regulador

La corriente de salida del regulador se deduce a partir de la siguiente ecuación:

$$I_{sal\ reg} [A] = \frac{\frac{\sum P_{cargas}}{\eta_{inv}}}{V_{bat}} \times (1 + FS_{reg})$$

Siendo,

P_{cargas} : Potencia nominal de las cargas [W].

- Se pueden encontrar los valores en la tabla.

η_{inv} : Rendimiento de inversor de aislada de onda senoidal pura.

V_{bat} : Tensión nominal del sistema de baterías [V].

- La tensión nominal de las baterías se puede encontrar en su ficha técnica.

FS_{reg} : Factor de seguridad para evitar daños ocasionales en el regulador (25%).

1.10.4.4. Inversor

1.10.4.4.1. Potencia del inversor

La potencia que deber ser capaz de soportar el inversor, se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$P_{inv} = FS \times \sum P_{cargas}$$

Siendo,

FS: Factor de seguridad (20%).

P_{cargas} : Potencia nominal de las cargas [W].

Cabe mencionar, que si fueran otros los consumos (electrodomésticos y aparatos con picos de arranque, por ejemplo, frigoríficos, lavadoras, etc.), la potencia que habría que considerar es la de arranque, que puede llegar a ser cinco veces mayor que la nominal.

1.10.4.5. Cableado

1.10.4.5.1. Sección del cableado

La fórmula general para el cálculo de la sección del cableado monofásico es la que se muestra a continuación:

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

Siendo,

L: Longitud del cable [m].

I: Intensidad máxima que circula por el cable [A].

ρ : Resistividad del material conductor [$\Omega \cdot m^2/m$].

- Al ser el material de los conductores cobre, $\rho = 1/56$.
- La resistividad es la inversa de la conductividad.

ΔV : Caída de tensión máxima admisible.

- Según el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red, recogido en el IDEA, la caída de tensión máxima admisible es el 1% de la tensión a la que se somete el cable
 - Paneles – Inversor: “Todo en 1”: $2 \times V_{Np} = 56V$.
 - Inversor “Todo en 1” – Baterías: $V_{Bat} = 48V$.
 - Inversor “Todo en 1” – Consumo: $V_{ACInv} = 230V$.

En la tabla, se muestra el valor que toman las variables necesarias para la aplicación de la fórmula, para los cables de cada tramo de la instalación.

	L [m]	I [A]	$\rho [\Omega \cdot m^2/m]$	$\Delta V [V]$
Paneles - Inversor "Todo en 1"	10	19.62	1/56	0.56
Inversor "Todo en 1" - Baterías	2	59.38	1/56	0.48
Inversor "Todo en 1" - Consumo	5	12.39	1/56	2.3

La sección mínima del cableado que resulta para cada tramo de la instalación, se expone en la tabla.

	S [m ²]
Paneles - Inversor "Todo en 1"	12.51
Inversor "Todo en 1" - Baterías	8.84
Inversor "Todo en 1" - Consumo	0.96

Según la instalación de referencia de cada tramo de cableado, se entrará en la tabla por una determinada columna.

- Paneles – Inversor: “Todo en 1”: Cable en conductos enterrados.
- Inversor “Todo en 1” – Baterías: Cable en conductos enterrados.
- Inversor “Todo en 1” – Consumo: Cable sobre una pared de madera.

Se trata de cables con aislamiento PVC y dos conductores (monofásico).

Instalación de referencia		Tabla y columna				
		Intensidad admisible para los circuitos simples				
		Aislamiento PVC		Aislamiento XLPE-EPR		
		Número de conductores				
		2	3	2	3	
	Conductores aislados en un conducto en una pared térmicamente aislante	AI	columna 4	columna 3	columna 7	columna 6
	Cable multiconductor en un conducto en una pared térmicamente aislante	A2	columna 3	columna 2	columna 6	columna 5
	Conductores aislados en un conducto sobre una pared de madera/ mamp.	B1	columna 6	columna 5	columna 10	columna 8
	Cable multiconductor en un conducto sobre una pared de madera/map.	B2	columna 5	columna 4	columna 8	columna 7
	Cables unipolares; o multipolares sobre una pared de madera/manp.	C	columna 8	columna 6	columna 11	columna 9
	Cable multiconductor en conductos enterrados	D	columna 3	columna 4	columna 5	columna 6
	Cable multiconductor al aire libre. Distancia al muro $\geq$ a 0,3 veces ϕ del cable	E	columna 9	columna 7	columna 12	columna 10
	Cables unipolares en contacto al aire libre. Distancia al muro $\geq$ ϕ del cable	F	columna 10	columna 8	columna 13	columna 11
	Cables unipolares espaciados al aire libre. Distancia entre ellos $\geq$ el ϕ del cable	G	—	Ver UNE 20460-5-523	—	Ver UNE 20460-5-523
XLPE: Polietileno reticulado (90 °) • EPR: Etileno-propileno (90 °) • PVC: Policloruro de vinilo (70 °)						

XLPE: Polietileno reticulado (90 °) • EPR: Etileno-propileno (90 °) • PVC: Policloruro de vinilo (70 °)

Una vez se sabe por qué columna entrar para cada tramo de la instalación, se elige la sección de cable inmediatamente superior a la calculada para cada tramo, que coincida con alguna de las secciones comerciales que se pueden observar en la tabla.

Método de instalación	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento											
A1		PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2						
A2	PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2							
B1			PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2		XLPE3			
B2			PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2		XLPE3			
C					PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2		
E						PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2	
F							PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
S (mm²)												
Cobre												
1.5	11	11.5	13	13.5	15	16	16.5	19	20	21	24	-
2.5	15	16	17.5	18.5	21	22	23	26	26.5	29	33	-
4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	-
6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57	-
10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76	-
16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105	-
25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123	140
35	-	77	86	96	104	110	119	127	137	144	154	174
50	-	94	103	117	125	133	145	155	167	175	188	210
70	-	-	-	149	160	171	185	199	214	224	244	269
95	-	-	-	180	194	207	224	241	259	271	296	327
120	-	-	-	208	225	240	260	280	301	314	348	380
150	-	-	-	236	260	278	299	322	343	363	404	438
185	-	-	-	268	297	317	341	368	391	415	464	500
240	-	-	-	315	350	374	401	435	468	490	552	590
Aluminio												
2.5	11.5	12	13.5	14	16	17	18	20	20	22	25	-
4	15	16	18.5	19	22	24	24	26.5	27.5	29	35	-
6	20	21	24	25	28	30	31	33	36	38	45	-
10	27	28	32	34	38	42	42	46	50	53	61	-
16	36	38	42	46	51	56	57	63	66	70	83	-
25	46	50	54	61	64	71	72	78	84	88	94	105
35	-	61	67	75	78	88	89	97	104	109	117	130
50	-	73	80	90	96	106	108	118	127	133	145	160
70	-	-	-	116	122	136	139	151	162	170	187	206
95	-	-	-	140	148	167	169	183	197	207	230	251
120	-	-	-	162	171	193	196.5	213	228	239	269	293
150	-	-	-	187	197	223	227	246	264	277	312	338
185	-	-	-	212	225	236	259	281	301	316	359	388
240	-	-	-	248	265	300	306	332	355	372	429	461
Cu: $p_{20} = 1/56$ Al: $p_{20} = 1/35$ $p_{70} = 1,2 \cdot p_{20}$ $p_{90} = 1,28 \cdot p_{20}$												
B: 5 I_n C: 10 I_n D: 20 I_n K = $I \cdot \sqrt{S}$ Cu: 115 / 103 Al: 76 / 68 Cu: 143 Al: 94												

Por último, se comprueba a partir de la tabla, que la intensidad máxima admisible, según la ITC-BT 19, para cada tramo de cableado es superior a la intensidad máxima que circula por el cable. Si no lo es, se aumentará la sección hasta que lo sea.

Las secciones seleccionadas para el cableado de la instalación son las siguientes:

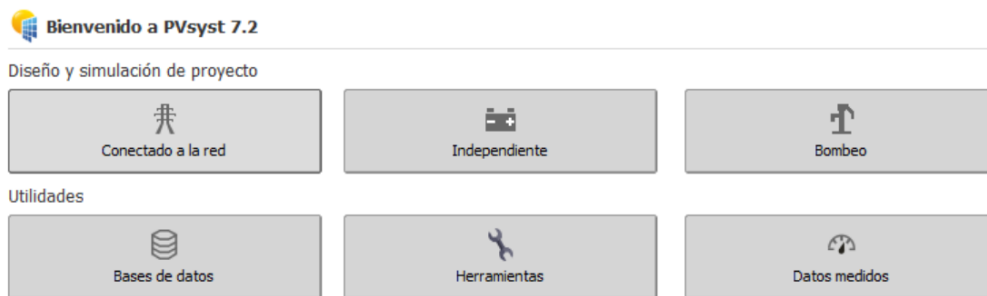
	S [m²]	I [A]	Columna	I _{adm} [A]	I < I _{adm}
Paneles - Inversor "Todo en 1"	16	19.62	3	49	SI
Inversor "Todo en 1" - Baterías	25	59.38	3	64	SI
Inversor "Todo en 1" - Consumo	1.5	12.39	8	16.5	SI

2. SIMULACIÓN EN PVSYST

2.1. Seleccionar el tipo de instalación

En primer lugar, ha sido necesario seleccionar en el panel principal de la aplicación, el tipo de sistema que se quiere dimensionar.

Al tratarse la propuesta de diseño de este proyecto, de una instalación solar fotovoltaica aislada, se ha seleccionado la opción **Independiente**.



2.2. Definir el proyecto

A continuación, se ha tenido que definir el proyecto, indicando la localización del emplazamiento de la instalación. Para ello, se han introducido las coordenadas geográficas. **Longitud: -16.5863, Latitud: 31.5230**.

Lo siguiente, ha sido importar los datos meteorológicos. Se ha elegido la base de datos **Meteonorm 8.0** (1991-2015), ya que es a la que otorga prioridad la aplicación para esta localización, siendo la primera que aparece en la lista.

Importación de datos meteo

☒ Meteonorm 8.0
☐ NASA-SSE
☐ PVGIS TMY
☐ NREL / NSRDB TMY
☐ Solcast TMY

 Importar

Los datos que se han importado de dicha base de datos, se muestran en la figura.

	Irradiación horizontal global	Irradiación difusa horizontal	Temperatura	Velocidad del viento	Turbidez Linke	Humedad relativa
	kWh/m ² /mes	kWh/m ² /mes	°C	m/s	[-]	%
Enero	210.5	79.2	24.2	1.29	2.986	74.5
Febrero	181.3	69.5	24.2	1.20	2.982	75.1
Marzo	188.1	70.7	24.2	1.31	2.867	72.2
Abril	171.1	49.1	22.0	1.30	2.584	69.4
Mayo	160.7	41.3	19.8	1.20	2.466	61.6
Junio	141.1	38.3	17.5	1.29	2.437	60.4
Julio	154.0	39.0	17.4	1.40	2.550	55.9
Agosto	176.2	43.0	20.5	1.60	2.877	47.6
Septiembre	188.6	57.9	23.4	1.90	3.563	44.0
Octubre	215.8	65.3	26.5	2.30	3.441	41.6
Noviembre	205.9	68.7	26.2	2.00	3.298	52.1
Diciembre	206.7	80.5	25.2	1.50	3.089	66.9
Año 	2200.2	702.3	22.6	1.5	2.928	60.1
	Pegar	Pegar	Pegar	Pegar		

Irradiación horizontal global variabilidad año a año 5.7%

Cabe mencionar, que estos datos difieren un poco de los obtenidos con la herramienta PVGIS, que se encuentran en el anexo, con los que se han realizado los cálculos, al tratarse de bases de datos diferentes.

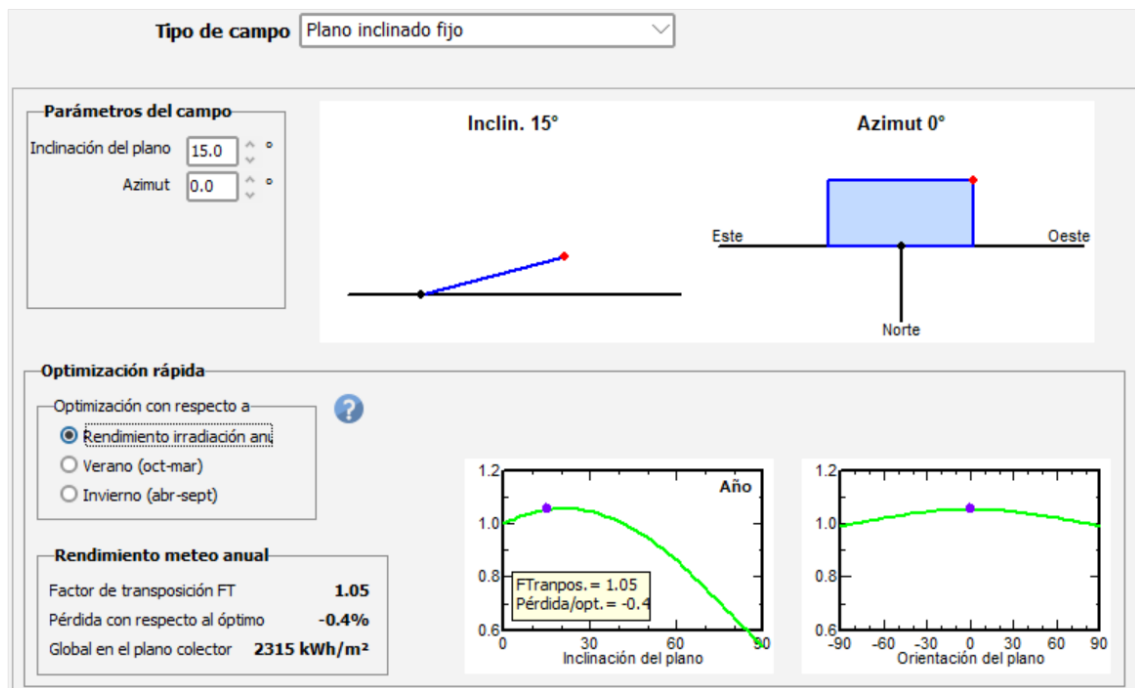
2.3. Definir inclinación y orientación de módulos fotovoltaicos

Una vez se ha definido el proyecto, lo próximo ha sido definir la inclinación y orientación de los módulos fotovoltaicos.

Se ha seleccionado la opción de **Plano inclinado fijo**.

Ángulo de inclinación de los paneles: $\beta = 15^\circ$.

Ángulo de azimut: 0° (orientación Norte).



Se puede comprobar en las gráficas de inclinación y orientación del plano, que la inclinación es muy cercana a la óptima y la orientación es la óptima. Esto se traduce en unas pérdidas con respecto al óptimo muy pequeñas, en concreto, del 0.4%, como se observa en la figura.

2.4. Definir las necesidades del usuario

El siguiente paso, ha sido definir las necesidades del usuario, es decir, los consumos.

Primero, se han definido los consumos, utilizando los valores que se calcularon en la estimación de consumos, agrupados en la tabla.

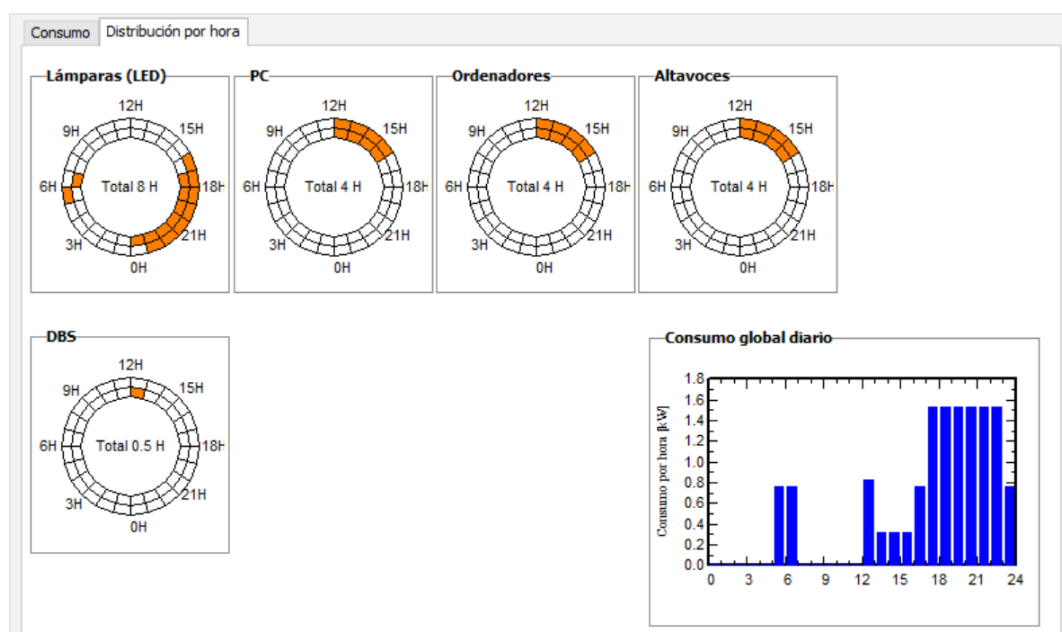
Consumo Distribución por hora

Consumos diarios

Número	Aparato	Potencia	Uso diario	Distrib. por hora	Daily energy
102	Lámparas (LED)	15 W/lámpara	8.0 h/día	OK	12240 Wh
2	PC	70 W/apar.	4.0 h/día	OK	560 Wh
2	Ordenadores	50 W/apar.	4.0 h/día	OK	400 Wh
0		0.00 kWh/día	0.0		0 Wh
0		0.0 W prom	0.5 h/día		0 Wh
2	Altavoces	40 W/apar.	4.0 h/día	OK	320 Wh
1	DBS	1000 W/apar.	0.5 h/día	OK	500 Wh
Consumidores en espera		1 W tot	24 h/día		24 Wh
Energía diaria total					14044 Wh/día
Energía mensual					421.3 kWh/mes

Info aparatos

Después, con el objetivo de lograr una simulación que se asemeje más a la realidad, en lugar de suponer un consumo constante a lo largo de todo el día, en base a la estimación de los tiempos de consumo, se ha realizado una distribución diaria por horas de los consumos.



2.5. Definir el sistema

Una vez se han completado los puntos anteriores, se ha procedido a definir el sistema.

2.5.1. Requerimientos del usuario

Antes de definir los distintos componentes principales de la instalación, se han tenido en cuenta los requerimientos del usuario que se muestran en la figura.

Necesidades diarias prom.	Ingreso PLOL aceptado	2.5 %	Voltaje de la batería (usuario)	48 V
14.0 kWh/día	Ingreso autonomía solicitada	2.0 día(s)	Capacidad sugerida	688 Ah
Pre-dimens. detallado			Potencia FV sugerida	3251 Wp (nom.)

Siendo,

PLOL aceptado: Factor que expresa el porcentaje de días al año, que se está dispuesto a permitir que la instalación no satisfaga completamente los consumos.

Se ha definido un **PLOL = 2.5%**, que equivale a aproximadamente 9 días al año. Para reducir el impacto que esto podría generar en el orfanato, se ha pensado hacer coincidir las vacaciones de los niños, con la época del año en la que menos energía logran producir los módulos fotovoltaicos. De esta manera, se reduce al mínimo el consumo del edificio habilitado para la enseñanza, por lo que puede que, incluso durante esos días, se consiga satisfacer la demanda.

PLOL=0, supondría sobredimensionar mucho la instalación, ya que sería asegurar que todos los días del año, se dispone de energía suficiente para cubrir toda la demanda.

Autonomía solicitada: La autonomía de una batería hace referencia al número de días que dicha batería puede satisfacer la demanda de la instalación sin necesidad de que los módulos fotovoltaicos estén generando energía solar.

2.5.2. Conjunto de baterías

El primer componente que la aplicación ha exigido especificar, es el conjunto de baterías.

En la figura, se observan los resultados del conjunto de baterías.

Cabe mencionar que se ha establecido como temperatura de funcionamiento de las baterías, la temperatura ambiente.

Especifique el conjunto de batería

Ordenar baterías por ☒ voltaje ☐ capacidad ☐ fabricante

Pylontech **48 V 25.3 Ah Li LFP US2000C 50Ah Desde 2021**

Lithium-ion

La batería seleccionada es un módulo

1 ☒ módulos en series Número de módulos **14**

14 ☒ módulos en paralelo Número de elementos **420**

100.0 % Estado inicial de desgaste (núm. de ciclos)

100.0 % Estado inicial de desgaste (estático)

Voltaje paquete de baterías **48 V**

Capacidad global **708 Ah**

Energía almacenada (80% DOD) **27.2 kWh**

Peso total **336 kg**

Núm. de ciclos a 80% DOD **7500**

Energía total almacenada durante la vida útil de la batería **207 MWh**

Además, la aplicación ofrece una recopilación de datos básicos de las baterías que se han seleccionado.

Los datos básicos de las baterías se muestran en la figura.

Modelo Fabricante

Nombre de archivo Fuente datos

Definición de parámetros personalizados Prod. desde 2021

Tecnología ☒ Batería completa ☐ Por elemento

Categoría ?

Parámetros básicos

Núm. de células en serie/en paralelo es decir 30 células

Voltaje nominal V

Capacidad en C10 Ah

Resistencia interna @ temp. ref. mΩ ☐

Temperatura de referencia °C ☐

Eficiencia coulombica ? %

Info : Renormalización a C10

Hoja de datos Capacidad nominal Ah

Definido para una tasa de descarga de Horas ?

=>C10 correspondiente según modelo de Peukert

Comportamiento en los límites ?

Voltaje de corte de carga V

Voltaje de corte de descarga V

Corriente de carga máxima A

Corriente de descarga máxima A

Temperatura mínima de carga °C

Temperatura mínima de descarga °C

Indicadores de batería llena

Energía almacenada en DOD % **2.34 kWh**

Energía total almacenada (6281 ciclos) **14.7 MWh**

Energía específica **97 Wh/kg**

Peso específico **10 kg/kWh**

2.5.3. Conjunto fotovoltaico

El siguiente componente que la aplicación ha exigido especificar, es el conjunto fotovoltaico.

En la figura, se observan los resultados del conjunto fotovoltaico.

Seleccione el módulo FV

Disponibles ahora: Ordenar módulos: ☒ Potencia ☐ Tecnología

Trina Solar 300 Wp 28V Si-mono TSM-DEG5-(II)-300 Desde 2020 Datasheets 2020

Voltajes de dimensionamiento: V_{mpp} (60°C) **27.9 V**
 V_{oc} (-10°C) **44.2 V**

Diseño del conjunto FV

Número de módulos y cadenas

Mód. en serie: debe ser/estar: ☒ Sin restricciones ☐ entre 5 y 7
 Núm. de cadena:

Núm. de módulos 12 **Área** 20 m²

Condiciones de operación:

V_{mpp} (60°C) 56 V
 V_{mpp} (20°C) 66 V
 V_{oc} (-10°C) 88 V

Irradia. plano **1000 W/m²**
 I_{mpp} (STC) 55.4 A
 I_{sc} (STC) 59.6 A
 I_{sc} (en STC) 58.9 A

Potencia de funcionamiento máx. **3.6 kW**
 (en 1000 W/m² y 50°C)
Potencia nom. conjunto (STC) 3.6 kWp

Además, la aplicación ofrece una recopilación de datos básicos de los módulos fotovoltaicos que se han seleccionado.

Los datos básicos de las baterías se muestran en la figura.

Modelo: Fabricante:

Nombre de archivo: Fuente datos:

Prod. desde 2020

Potencia nom. Wp Tol. +/- %
 (en STC)
 Tecnología:

Especificaciones del fabricante o otras medidas

Condiciones de referencia G_{Ref} W/m² T_{Ref} °C
 Corriente de cortocircuito I_{sc} A Circuito abierto V_{oc} V
 Punto de Potencia máx. I_{mpp} A V_{mpp} V
 Coeficiente de temperatura μI_{sc} mA/°C **Núm. de células** 60 en series
 o μI_{sc} %/°C

Herramienta de resultado del modelo interno

Condiciones de operación G_{Oper} W/m² T_{Oper} °C
 Punto de Potencia máx. P_{mpp} W μI_{sc} mA/°C
 Corriente I_{mpp} A Coef. temper. %/°C
 Corriente de cortocircuito I_{sc} A Voltaje V_{mpp} V
 Eficiencia / Área células % Circuito abierto V_{oc} V
 / Área módulo %

Resumen del modelo

Parámetros principales

Derivación R Ω
 $R_{deriv}(G=0)$ Ω

Modelo serie R

Serie R máx. Ω
 Serie R aparente Ω
 Serie R aparente Ω

Parámetros del modelo

Gamma
 I_{oRef} nA
 μV_{oc} mV/°C
 μP_{Max} fijo %/°C

2.5.4. Modo de control y controlador

A continuación, la aplicación ha exigido seleccionar el modo de control y el controlador.

La aplicación recomienda seleccionar un controlador universal. Los parámetros de funcionamiento del controlador universal se ajustarán automáticamente de acuerdo con las propiedades del sistema. Es decir, se define el regulador de carga y el inversor cargador, como un conjunto. A partir de ahí, ha sido necesario encontrar un modelo de inversor “todo en 1” que se adapte a las condiciones que resulten de la simulación.

Se puede comprobar en la figura, que se ha seleccionado y ajustado automáticamente un controlador universal.

Seleccione el modo de control y el controlador

☒ Controlador universal Generic Convertidor de potencia MPPT

Modo operativo

☐ Acoplamiento directo

☒ Convertidor MPPT

☐ Convertidor CC-CC

Corriente máx. de carga-descarga

MPPT 1000 W	48 V	83 A	32 A	Universal controller with MPPT conver
-------------	------	------	------	---------------------------------------

Abrir

Los parámetros de funcionamiento del controlador universal se ajustará automáticamente de acuerdo con las propiedades del sistema.

En la Figura X, se muestran algunos de los requisitos que habrá de cumplir el inversor “todo en 1” que se seleccione.

Descripción **Generic, Universal controller with MPPT converter**

Lado de entrada (campo FV CC)		Salida (batería y carga)	
Voltaje MPP mínimo	40 V	Voltaje de salida nominal	50 V
Voltaje MPP máximo	80 V	Potencia de salida nominal	2.9 kW
Voltaje máximo del conjunto	93 V	Potencia de salida máxima	3.1 kW
Umbral de potencia	31.3 W	Corriente de salida nominal	57.6 A

2.5.5. Respaldo

Por último, la aplicación ofrece la posibilidad de incorporar un grupo electrógeno como generador de respaldo. Se ha decidido realizar la simulación prescindiendo de dicho grupo electrógeno. Los motivos se exponen en el apartado de Conclusiones.

La figura, resume los parámetros más importantes de los distintos componentes que se han definido. Se puede comprobar que el sistema cumple con los requerimientos del usuario, expuestos en la figura.

Necesid. usuario	Hogar	Potencia prom.	585 W
	Proporción nocturna 49.7%	Energía día	14.0 kWh
Paquete de baterías	14 en paralelo, 48 V	Capacidad	708 Ah
	Autonomía 2.2 día	Energía almacenada	30.6 kWh
Conjunto FV	6 cadena(s) de 2 módulos	Potencia nom.	3.60 kWp
	PV/PLoad 6.2	Energía prom. día	16.0 kWh
Controlador	MPPT universal	Potencia nom.	3.13 kW
	PV/PConv 1.15	Umbral	según SOC

2.5.6. Pérdidas detalladas

Después de haber definido los distintos componentes de la instalación, la aplicación permite especificar las pérdidas detalladas del sistema.

Se ha decidido tomar los valores estándar que recomienda la aplicación por defecto.

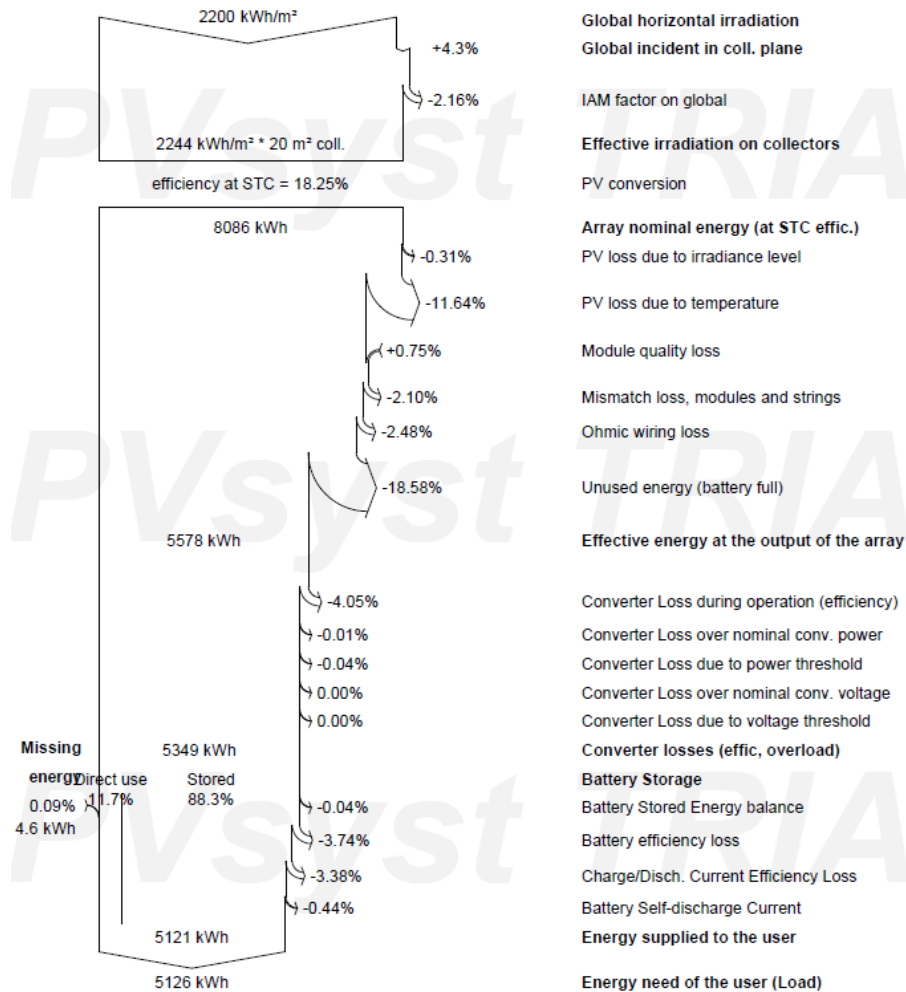
2.5.7. Horizonte y sombreados cercanos

Se ha considerado para el emplazamiento de la instalación, un horizonte despejado. Además, en base a lo demostrado en el apartado de cálculo de pérdida de sombras, no se han incluido sombreados cercanos.

2.6. Resumen de los resultados de la simulación

El informe completo de resultados de la simulación se encuentra en el Anexo II.

A continuación, se muestra el diagrama de flujos de energía de la instalación.



3. CONCLUSIONES

En primer lugar, cabe destacar que se ha comprobado a lo largo de este documento, que se trata de un proyecto viable.

La instalación es capaz de suministrar la energía necesaria para satisfacer la demanda de los consumos del orfanato.

Se ha demostrado que la energía solar es la mejor alternativa para satisfacer la demanda energética del orfanato, debido a las condiciones climatológicas del lugar y al reducido coste en comparación con otras fuentes de energía renovable.

A día de hoy, en el caso de las instalaciones aisladas, que la producción dependa exclusivamente de energías renovables, no es la opción más rentable. Esto se debe a que las energías renovables en este tipo de instalaciones necesitan ser almacenadas, siendo el conjunto de baterías el componente más caro de la instalación.

Estos sistemas de almacenamiento son necesarios en instalaciones aisladas, ya que las fuentes de las que dependen las energías renovables, no se encuentran disponibles de manera constante.

La alternativa más rentable sería un sistema híbrido, combinando una energía renovable con la Red. Sin embargo, esta opción no es viable en este caso, ya que el emplazamiento de la instalación está demasiado lejos de la red más cercana, por lo que los costes de acercar dicha red serían extremadamente superiores a los de la propuesta planteada en este proyecto.

Es cierto que existe una alternativa que sí que es viable en este caso y, además, es más económica que la planteada. Sin embargo, es menos respetuosa con el medioambiente. Se trata de apoyar la generación de energía renovable con un grupo electrógeno. De esta manera, en lugar de dimensionar en base al mes más desfavorable, se podría hacer respecto a la media, y los momentos en los que la producción de energía renovable no fuera suficiente, actuaría dicho grupo electrógeno.

Una buena alternativa a medio plazo, a medida que las necesidades energéticas fueran aumentando, sería optar por una minired, compuesta por dos energías renovables diferentes que se pudieran complementar.

4. ANEXOS

4.1. Anexo I: Datos de irradiación – PVGIS

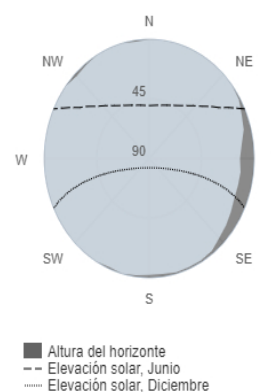
Datos mensuales de irradiación

PVGIS-5 base de datos de irradiación geoespacial

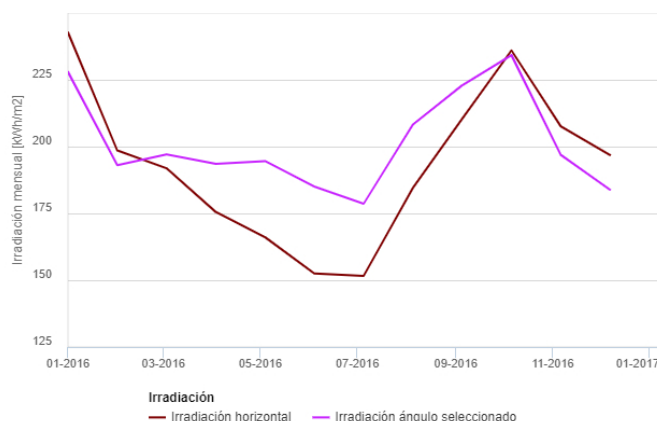
Datos proporcionados

Latitud/Longitud: -16.586, 31.523
 Horizonte: Calculado
 Base de datos: PVGIS-SARAH
 Año inicial: 2016
 Año final: 2016
 Variables incluidas en este informe:
 Irradiación global horizontal: Si
 Irradiación directa normal: No
 Irradiación global con el ángulo óptimo: No
 Irradiación global con el ángulo 15°: Si
 Ratio difusa/global: No
 Temperatura media: Si

Perfil del horizonte:

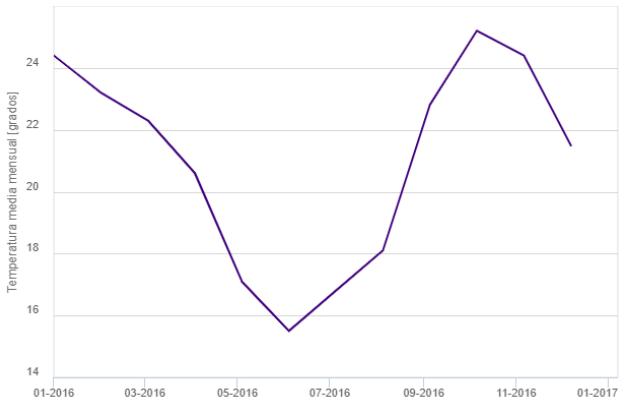


Irradiación solar mensual



Irradiación global horizontal		Global at user angle	
Mes	2016	Mes	2016
Enero	242.7	Enero	227.92
Febrero	198.58	Febrero	193.05
Marzo	191.89	Marzo	197.06
Abril	175.55	Abril	193.51
Mayo	166.06	Mayo	194.58
Junio	152.51	Junio	185.05
Julio	151.62	Julio	178.62
Agosto	184.57	Agosto	208.26
Septiembre	210.38	Septiembre	222.92
Octubre	235.98	Octubre	234.26
Noviembre	207.59	Noviembre	196.92
Diciembre	196.87	Diciembre	183.86

Temperatura media mensual



Temperatura media mensual

Month	2016
Enero	24.4
Febrero	23.2
Marzo	22.3
Abril	20.6
Mayo	17.1
Junio	15.5
Julio	16.8
Agosto	18.1
Septiembre	22.8
Octubre	25.2
Noviembre	24.4
Diciembre	21.5

4.2. ANEXO II: Resultados de Simulación en PVSYST

PVsyst - Simulation report

Stand alone system

Project: TFM_Pablo Borreguero Alaez

Variant: Nueva variante de simulación

Stand alone system with batteries

System power: 3600 Wp

Kazai - Zimbabwe

**PVsyst V7.2.4**

VC0, Simulation date:
23/08/21 23:15
with v7.2.4

Project summary**Geographical Site**

Kazai
Zimbabwe

Situation

Latitude -16.59 °S
Longitude 31.52 °E
Altitude 1098 m
Time zone UTC+2

Project settings

Albedo 0.20

Meteo data

Kazai
Meteonorm 8.0 (1991-2005), Sat=100% - Sintético

System summary**Stand alone system****PV Field Orientation**

Fixed plane
Tilt/Azimuth 15 / 0 °

Stand alone system with batteries**User's needs**

Daily household consumers
Constant over the year
Average 14.0 kWh/Day

System information**PV Array**

Nb. of modules 12 units
Pnom total 3600 Wp

Battery pack

Technology Lithium-ion, LFP
Nb. of units 14 units
Voltage 48 V
Capacity 708 Ah

Results summary

Available Energy	6622 kWh/year	Specific production	1840 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	62.02 %
Used Energy	5121 kWh/year			Solar Fraction SF	99.91 %

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Detailed User's needs	4
Main results	5
Loss diagram	6
Special graphs	7

**PVsyst V7.2.4**

VC0, Simulation date:
23/08/21 23:15
with v7.2.4

General parameters**Stand alone system****PV Field Orientation****Orientation**

Fixed plane

Tilt/Azimuth 15 / 0 °

User's needs

Daily household consumers

Constant over the year

Average 14.0 kWh/Day

Stand alone system with batteries**Sheds configuration**

No 3D scene defined

Models used

Transposition

Perez

Diffuse

Perez, Meteonorm

Circumsolar

separate

PV Array Characteristics**PV module**

Manufacturer

Generic

Model

TSM-DEG5-(II)-300

(Original PVsyst database)

Unit Nom. Power

300 Wp

Number of PV modules

12 units

Nominal (STC)

3600 Wp

Modules

6 Strings x 2 In series

At operating cond. (50°C)

Pmpp

3250 Wp

U mpp

58 V

I mpp

56 A

Controller

Universal controller

Technology

MPPT converter

Temp coeff.

-5.0 mV/°C/Elem.

Converter

Maxi and EURO efficiencies

97.0 / 95.0 %

Total PV power

Nominal (STC)

4 kWp

Total

12 modules

Module area

19.7 m²

Cell area

17.5 m²**Battery**

Manufacturer

Generic

Model

US2000C_50Ah

Technology

Lithium-ion, LFP

Nb. of units

14 in parallel

Discharging min. SOC

10.0 %

Stored energy

30.6 kWh

Battery Pack Characteristics

Voltage

48 V

Nominal Capacity

708 Ah (C10)

Temperature

External ambient temperature

Battery Management control

Threshold commands as

SOC calculation

Charging

SOC = 0.96 / 0.80

Discharging

SOC = 0.10 / 0.35

Array losses**Thermal Loss factor**

Module temperature according to irradiance

Uc (const)

20.0 W/m²K

Uv (wind)

0.0 W/m²K/m/s**DC wiring losses**

Global array res.

18 mΩ

Loss Fraction

1.5 % at STC

Serie Diode Loss

Voltage drop

0.7 V

Loss Fraction

1.1 % at STC

Module Quality Loss

Loss Fraction

-0.8 %

Module mismatch losses

Loss Fraction

2.0 % at MPP

Strings Mismatch loss

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

**PVsyst V7.2.4**

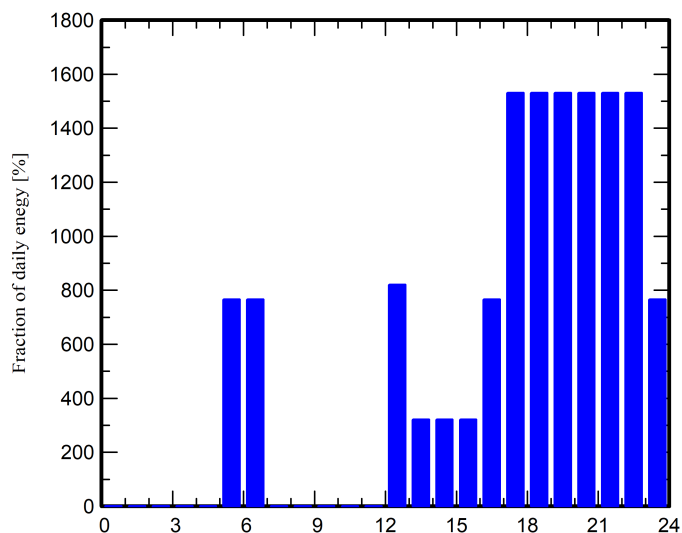
VC0, Simulation date:
23/08/21 23:15
with v7.2.4

Detailed User's needs

Daily household consumers, Constant over the year, average = 14.0 kWh/day

Annual values

	Number	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
Lámparas (LED)	102	15W/lamp	8.0	12240
PC	2	70W/app	4.0	560
Ordenadores	2	50W/app	4.0	400
Altavoces	2	40W tot	4.0	320
DBS	1	1000W tot	0.5	500
Consumidores en espera			24.0, 7days/7	24
Total daily energy				14044Wh/day

Hourly distribution



PVsyst V7.2.4

VC0, Simulation date:
23/08/21 23:15
with v7.2.4

Main results

System Production

Available Energy 6622 kWh/year
Used Energy 5121 kWh/year
Excess (unused) 1273 kWh/year

Loss of Load

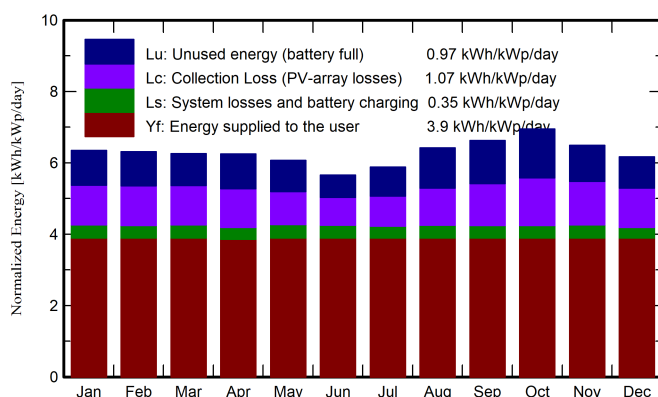
Time Fraction 0.2 %
Missing Energy 5 kWh/year

Specific production 1840 kWh/kWp/year
Performance Ratio PR 62.02 %
Solar Fraction SF 99.91 %

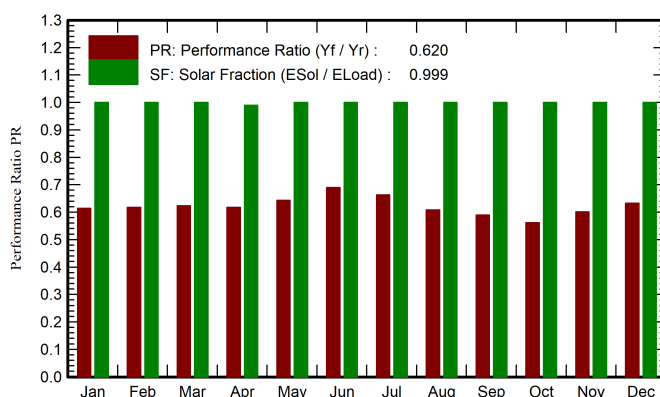
Battery aging (State of Wear)

Cycles SOW 97.7 %
Static SOW 79.0 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor	GlobEff	E_Avail	EUnused	E_Miss	E_User	E_Load	SolFrac
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	ratio
January	210.5	191.3	564.5	108.1	0.000	435.4	435.4	1.000
February	181.3	172.3	506.9	96.2	0.000	393.2	393.2	1.000
March	188.1	189.8	555.3	99.3	0.000	435.4	435.4	1.000
April	171.1	184.4	538.1	105.1	4.592	416.7	421.3	0.989
May	160.7	184.8	554.7	97.2	0.000	435.4	435.4	1.000
June	141.1	166.2	508.6	66.9	0.000	421.3	421.3	1.000
July	154.0	178.9	543.8	89.8	0.000	435.4	435.4	1.000
August	176.2	195.7	580.3	124.7	0.000	435.4	435.4	1.000
September	188.6	194.8	569.3	129.6	0.000	421.3	421.3	1.000
October	215.8	210.9	606.8	151.5	0.000	435.4	435.4	1.000
November	205.9	189.9	549.7	108.5	0.000	421.3	421.3	1.000
December	206.7	185.6	544.5	96.4	0.000	435.4	435.4	1.000
Year	2200.2	2244.4	6622.4	1273.3	4.592	5121.5	5126.1	0.999

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

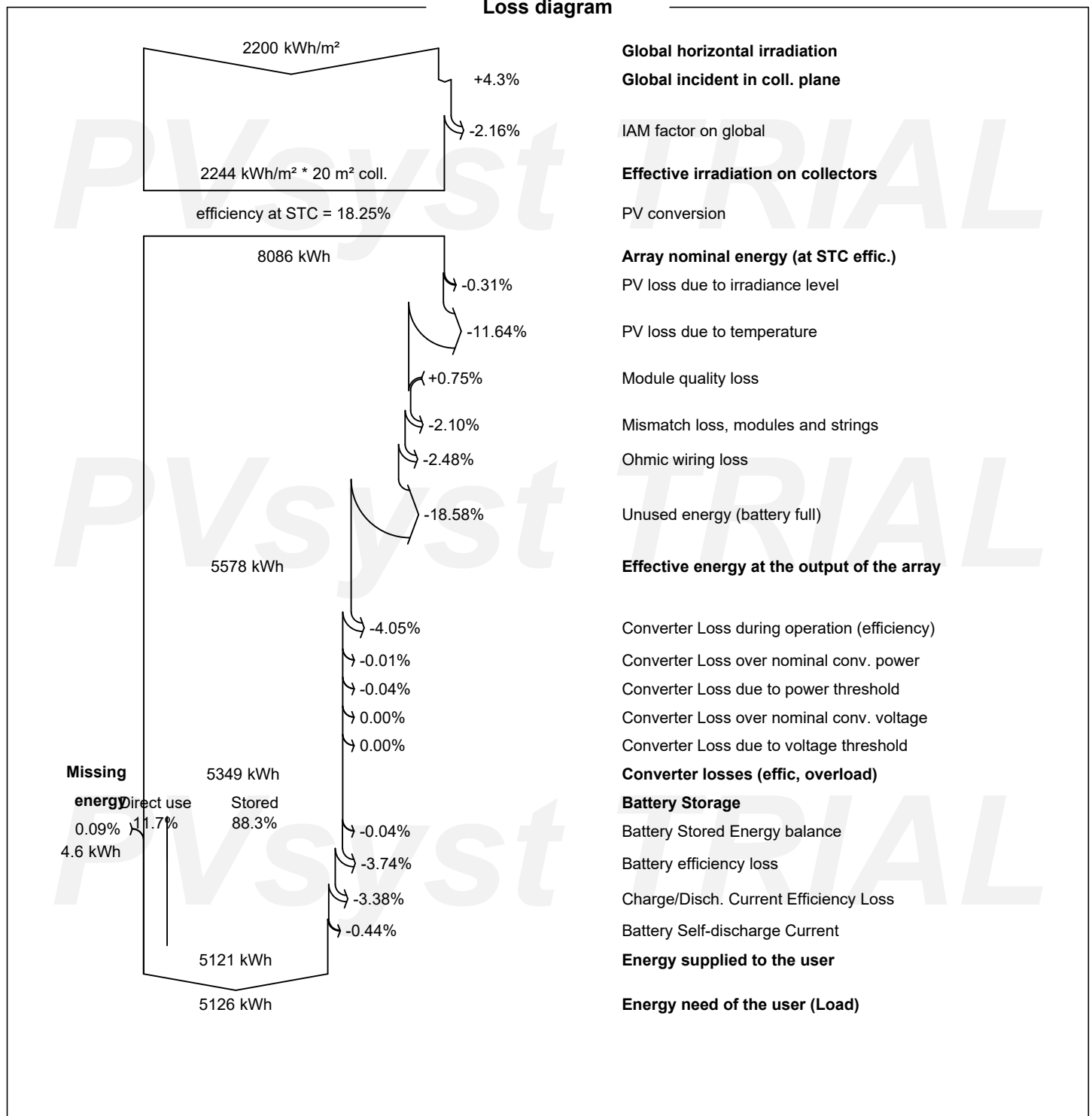
E_User Energy supplied to the user
E_Load Energy need of the user (Load)
SolFrac Solar fraction (EUsed / ELoad)



PVsyst V7.2.4

VC0, Simulation date:
23/08/21 23:15
with v7.2.4

Loss diagram





PVsyst V7.2.4

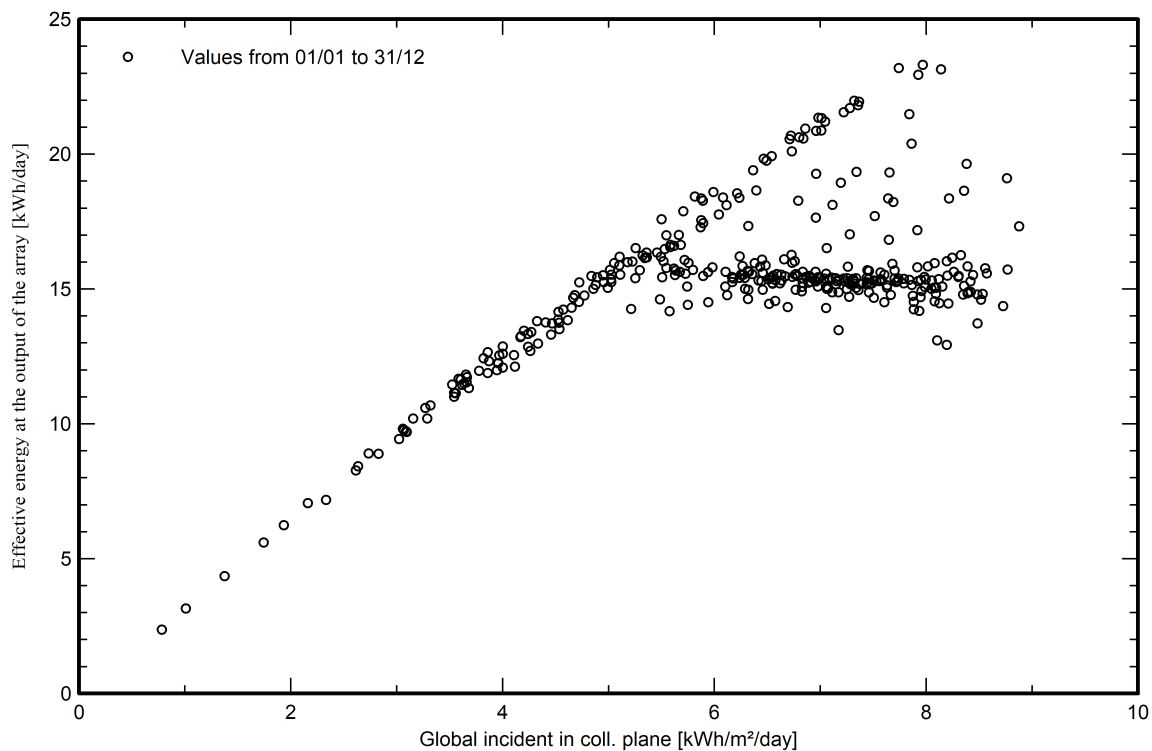
VC0, Simulation date:

23/08/21 23:15

with v7.2.4

Special graphs

Diagrama entrada/salida diaria



PVsyst TRIAL

PVsyst TRIAL

BIBLIOGRAFÍA

<https://www.enestadocrudo.com/>

<https://solargraus.com>

<https://energyandcommerce.com>

<https://www.renovablesverdes.com/>

<https://ebasl.es/>

<https://www.enestadocrudo.com/fuentes-energia-renovables/>

<https://remicaserviciosenergeticos.es/blog/tipos-de-energia/>

<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-tipos-de-energias-renovables-existen-y-que-papel-juegan/>

<https://www.factorenergia.com/es/blog/noticias/energias-renovables-caracteristicas-tipos-nuevos-retos/>

https://www.consumoresponde.es/art%C3%ADculos/las_energias_renovables_caracteristicas_y_tipos

<https://www.direnergy.net>

<https://www.direnergy.net/index.php/blog/tipos-instalaciones-solares/>

<https://www.otovo.es/blog/autoconsumo/autoconsumo-electrico-conectado-o-aislado/#autoconsumo-con-instalaci-n-fotovoltaica-conectada-a-la-red>

<https://tecnosolab.com/noticias/tipos-de-instalaciones-fotovoltaicas-aisladas/>

<https://www.dsisolar.com/info/solar-battery-system-types-ac-vs-dc-coupled-45384080.html>

<https://www.monsolar.com/fotovoltaica-aislada/inversores.html>

<https://autosolar.es/inversores-hibridos>

<https://automatismoindustrial.com>

<https://suministrosdelsol.com/es/12-paneles-solares>

<https://www.otovo.es/blog/placas-solares/como-funcionan-placas-solares-fotovoltaicas/>

<https://automatismoindustrial.com/curso-energia-solar-fotovoltaica/>

<https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/estructura-de-un-panel-fotovoltaico>

<https://plataformasolar.cl/cual-elegir-paneles-solares-monocristalinos-vs-policristalinos-ventajas-y-desventajas/>

<https://ecoinventos.com/diferencia-paneles-solares-monocristalinos-policristalinos/>

https://www.naturgy.es/empresas/blog/los_paneles_solares_monocristalinos_tecnologia_y_aplicaciones

<https://energiasolarfotovoltaica.org/ventajas-y-desventajas-de-los-paneles-solares-2>

<https://www.smartspain.es/diferencia-entre-panel-policristalino-y-panel-monocristalino/>

<https://www.sunalizer.es/post/paneles-monocristalinos-y-policristalinos>

<https://www.laenergiasolar.org/placa-solar/panel-solar-amorfo/>

<https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-regulador-de-carga>

<https://www.areatecnologia.com/electricidad/regulador-de-carga-solar.html>

<https://tarifasgasluz.com/autoconsumo/componentes/regulador-solar>

<https://tritec-intervento.cl/diferencia-entre-controlador-de-carga-pwm-y-mppt/>

<https://www.technosun.com/es/blog/que-es-regulador-carga-panel-solar-como-elegir-adecuado/>

https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/IEA/ISF/ISF04/es_IEA_ISF04_Contentidos/website_32_reguladores_tipo_serie_y_tipo_paralelo.html

<https://www.monsolar.com/fotovoltaica-aislada/inversores.html>

<https://tarifasgasluz.com/autoconsumo/componentes/inversor-solar>

<https://himelco.cl/inversor-de-voltaje/tipos-de-inversores/>

<https://coelectrix.com/inversor-de-corriente>

https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/escoger-un-inversor-de-onda-pura-o-onda-modificada_1

<https://es.weatherspark.com/>

https://www.elconfidencial.com/decompras/2020-04-19/mejores-bombillas-leds-para-el-hogar_2543855/

<https://www.xatakahome.com/iluminacion-y-energia/como-elegir-bombilla-led-correcta-para-hogar>

<https://es.weatherspark.com/y/96831/Clima-promedio-en-Harare-Zimbabue-durante-todo-el-a%C3%B1o>