



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO
DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA UN
CENTRO DE ESTUDIO EN ZIMBABUE

Autor: Javier Lozano Fernández de Santaella.
Director: Manuel Moreno García
Madrid

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

DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA UN CENTRO DE ESTUDIO EN ZIMBABUE en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2022/23 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.: Javier Lozano Fernández de Santaella

Fecha: 17/06/2022

javier lozano

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo: Manuel Moreno García

Fecha: 19/06/2023

Manuel



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO
DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA UN
CENTRO DE ESTUDIO EN ZIMBABUE

Autor: Javier Lozano Fernández de Santaella.
Director: Manuel Moreno García
Madrid

DISEÑO Y EJECUCIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO PARA UN COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN ZIMBABUE

Autor: Lozano Fernández de Santaella, Javier

Director: Moreno García, Manuel.

Entidad Colaboradora: Child Future Africa

RESUMEN DEL PROYECTO

Este proyecto va de la mano de la ONG de Child Future Africa, la cual plantea la electrificación de un centro de estudio en una comunidad aislada de la región Mount Darwin, Zimbabwe. En el presente documento se desarrolla el diseño de la instalación pertinente, basando el proyecto en un estudio de la selección de los componentes, la instalación del sistema y el desarrollo de la viabilidad económica.

Palabras clave: Instalación fotovoltaica, rentabilidad, rendimiento, Zimbabwe

1. Introducción

La condición socioeconómica de Zimbabwe es crítica, ya que es uno de los países más pobres del mundo. Por lo tanto, hay grandes regiones del país que no progresan a un ritmo suficiente como para generar una sociedad adecuada para los tiempos en los que vivimos. Esto se debe a la escasez de servicios públicos, la ausencia de acceso a la tecnología moderna y una enorme carencia en el sistema sanitario. Por lo que con este proyecto se pretende dar acceso a energía eléctrica a una región marginada del país llamada Mount Darwin. Esto se realizará a través de la electrificación de un centro de estudio, para preparar a los habitantes para el mundo laboral moderno.

2. Definición del Proyecto

El inicio del proyecto parte de la escasez de recurso de Zimbabwe y así mismo la ausencia de una red eléctrica formal y que de alcance a todo el territorio nacional, por lo que hay un enorme problema de suministración energética. Debido a esta situación la región de Mount Darwin

donde se emplaza el proyecto se encuentra totalmente aislada de la energía eléctrica ya que se encuentra lejos de las grandes ciudades. Por eso se decide instalar un sistema autónomo de autoconsumo como fuente de energía eléctrica. Por esto mismo el objetivo y alcance de este proyecto trata de diseñar el sistema de generación energética que más se adapte a las necesidades de dos edificios dedicados a la educación, que están siendo construidos por la ONG colaboradora de este proyecto. Por eso mismo uno de los primeros pasos es realizar el cálculo estimado de la demanda de estos edificios. En el caso particular de la estimación realizada para este proyecto se ha obtenido una demanda resultante de 17 kWh/día.

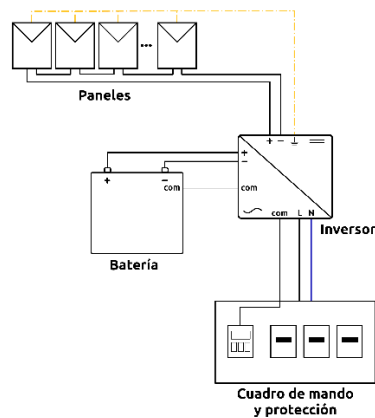
El siguiente paso tras conocer la demanda a satisfacer es decidir el sistema de generación energética que se va a utilizar para el proyecto. Se decide estudiar la energía solar y la energía eólica como opciones debido a que se tratan de energías renovables, por lo que no necesitan de ningún tipo de combustible para funcionar. Debido a la ausencia de datos sobre el viento en la región, se descartó la utilización de la energía eólica y se diseña un sistema de generación fotovoltaica. Por lo que se ha de elegir la aparamenta correcta para este tipo de instalaciones. Por lo que se eligen los paneles solares, el inversor, las baterías, el cableado y los soportes solares, que dentro de un presupuesto lo más contenido posible, no se perdía eficiencia ni robustez en el sistema.

Es importante destacar que los modelos de equipo y sus precios están acorde con el mercado español. Debido a la falta de un sitio web en Zimbabwe para su compra, se decidió proponer un modelo con los elementos disponibles en el mercado español. Posteriormente, cuando el equipo de la ONG se traslade para instalar el proyecto, se adquirirán los elementos disponibles en el mercado de Zimbabwe que sean más similares a los diseñados en este proyecto.

3. Descripción del sistema

El sistema diseñado en este proyecto se trata de una instalación solar fotovoltaica de autoconsumo aislada de la red eléctrica. Por lo que se aprovecha la radiación solar para generar energía solar a través de los paneles fotovoltaicos, en nuestro caso de la tecnología monocristalina. Para posteriormente, al estar conectado con el correcto cableado, hacer pasar la corriente por un inversor si es necesario utilizarla al instante, ya que se necesita una corriente alterna, o sino hacerla llegar a las baterías, para poder dar acceso a la comunidad en los momentos que no se puede producir energía por la falta de luz solar. Esta energía se utiliza

para dar corriente al sistema de iluminación y los ordenadores necesarios para dar las clases en el centro de estudio donde se ha instalado.



4. Resultados

Tras el cálculo estimado de la demanda de las edificaciones se obtiene un valor de 21.25 kWh/día contemplándose un margen de seguridad del 25%. Por lo que tras realizar los cálculos necesarios y hacer un análisis de mercado se han decidido los siguientes componentes:

Componente	Panel Solar	Inversor	Batería	Estructura
Modelo	JA Solar JAM72S09	Victron energy Quattro 24V	ROLLS 24V S6 L16-HC S550	Estructura 1 Panel Coplanar Falcat
Tensión (V)	24	24	24	N/A
Rendimiento (%)	19,6	93.5	100 (Aprox)	N/A
Precio unitario (euro)	190	2250	1.704,74	29,8
Unidades	11	1	7	11

Componente	Cableado			Puesta a tierra	
Modelo	HB Digital H1Z2Z2-K CC	SOLARFLEX X-50mm ² CC	Alpha Wire UL AWM CA	Picas	Cable desnudo de cobre
Tensión (V)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Rendimiento (%)	99	99	99	N/A	N/A
Precio unitario (euro)	1,46	15.5	1.8	10	8
Unidades	80m	10m	100m	2	50m

Por lo que, tras realizar el estudio de viabilidad económica de la instalación diseñada, se necesita un presupuesto aproximado de 18.000 euros. Que considerando un periodo de amortización de 25 años, que es lo marcado por los estándares, se obtiene una amortización anual de 720 euros.

5. Conclusiones

Para concluir con este proyecto se puede declarar que utilizar una instalación fotovoltaica es la mejor opción posible. Por lo que se ha diseñado un sistema capaz de soportar la demanda teórica esperada de los edificios. En el proyecto se ha generado una lista de apartamentada precisa capaz de cumplir con las expectativas del sistema, pero al tener que ser comprado todo en el país donde se va a emplazar se debe tener en consideración la posibilidad de alterar ciertos elementos por aparatos de características similares. La parte más característica de este proyecto y que se ha de destacar es que no solo se trata de un proyecto técnico, sino que tiene un foco humanitario con intención de facilitar la integración a la sociedad actual de gente en una situación marginal.

6. Referencias

[1] Chelminsky, A., López González, M.R. y Osornio Ramos, A. (junio de 2020). *República de Zimbabwe: Ficha técnica*.

https://centrogilbertobosques.senado.gob.mx/docs/F_Zimbabue.pdf

[2] Ferrovial (19 de febrero de 2019) *Infraestructuras sociales y acción social en España*.

<https://newsroom.ferrovial.com/es/noticias/infraestructuras-sociales-accion-social-espana-2019/>

[3] Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (9 de julio de 2021). *Documento del programa para el país: Zimbabwe*.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

[4] Organización de las Naciones Unidas (s.f.). *Objetivos de desarrollo sostenible*.

https://www.unicef.org/executiveboard/media/7126/file/2021-PL21-Zimbabwe_CPD-ES-ODS.pdf

[5] Vizcarra, L. (9 de agosto de 2021). *Energía solar en Zimbabwe salvando vidas*.

<https://keeui.com/2021/08/09/energia-solar-en-zimbabwe-salvando-vidas/>

[6] BOE. Real decreto 842/2002: Reglamento electrotécnico para baja tensión e ITC. 2 agosto.

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2002-18099>

[7] Manual de cálculo de instalación fotovoltaica aislada con baterías

<https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/calculo-sistema-fotovoltaico-aislado/>

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF THE POWER SUPPLY SYSTEM FOR A VOCATIONAL SCHOOL IN ZIMBABWE

Author: Lozano Fernández de Santaella, Javier

Supervisor: Moreno García, Manuel.

Collaborating Entity: Child Future Africa

PROJECT SUMMARY

This project is in conjunction with the NGO Child Future Africa, which is planning the electrification of a study centre in an isolated community in the Mount Darwin region of Zimbabwe. This paper develops the design of the relevant installation, basing the project on a study of component selection, system installation and development of economic viability.

Keywords: Photovoltaic system, cost-effectiveness, performance, Zimbabwe.

1. Introduction

The socio-economic condition of Zimbabwe is critical as it is one of the poorest countries in the world. As a result, there are large parts of the country that are not progressing fast enough to generate a society fit for the times in which we live. This is due to a shortage of public services, a lack of access to modern technology and a huge deficiency in the health system. This project aims to provide access to electricity to a marginalised region of the country called Mount Darwin. This will be done through the electrification of a study centre to prepare the inhabitants for the modern world of work.

2. Project definition

The starting point for the project is the scarcity of resources in Zimbabwe and the absence of a formal electricity network that reaches the entire national territory, which means that there is a huge problem of energy supply. Due to this situation, the Mount Darwin region where the project is located is totally isolated from the electricity supply as it is far from the big cities. Therefore, it was decided to install an autonomous self-consumption system as a source of

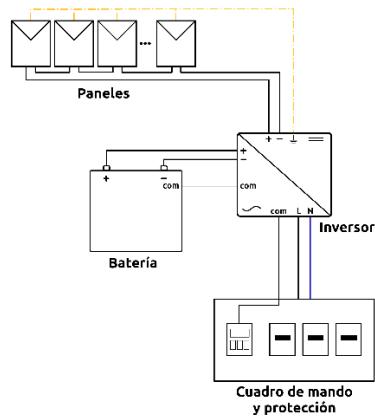
electricity. For this reason, the objective and scope of this project is to design the energy generation system that best suits the needs of two buildings dedicated to education, which are being built by the NGO collaborating in this project. For this reason, one of the first steps is to calculate the estimated demand of these buildings. In the particular case of the estimate made for this project, the resulting demand was 17 kWh/day.

The next step after knowing the demand to be satisfied is to decide on the energy generation system to be used for the project. It was decided to study solar energy and wind energy as options because they are renewable energies, so they do not need any type of fuel to operate. Due to the lack of wind data in the region, the use of wind energy was discarded and a photovoltaic generation system was designed. Therefore, the correct switchgear has to be chosen for this type of installation. The solar panels, inverter, batteries, cabling and solar supports were chosen so that, within a budget as contained as possible, the efficiency and robustness of the system was not lost.

It is important to note that the equipment models and their prices are in line with the Spanish market. Due to the lack of a website in Zimbabwe for its purchase, it was decided to propose a model with the elements available in the Spanish market. Subsequently, when the NGO team moves to install the project, the elements available on the Zimbabwean market that are most like those designed in this project will be purchased.

3. Description of the system

The system designed in this project is a self-consumption photovoltaic solar installation isolated from the electricity grid. Therefore, solar radiation is used to generate solar energy through photovoltaic panels, in our case monocrystalline technology. Later, when connected with the correct wiring, the current is passed through an inverter if it is necessary to use it immediately, as an alternating current is needed, or else it is sent to the batteries, to be able to provide access to the community at times when energy cannot be produced due to the lack of sunlight. This energy is used to power the lighting system and the computers needed to teach classes in the study centre where it has been installed.



4. Results

After calculating the estimated demand of the buildings, a value of 21.25 kWh/day was obtained, considering a safety margin of 25%. Therefore, after carrying out the necessary calculations and a market analysis, the following components have been decided:

Component	Solar Panel	Inverter	Battery	Structure
Model	JA Solar JAM72S09	Victron energy Quattro 24V	ROLLS 24V S6 L16-HC S550	Estructura 1 Panel Coplanar Falcat
Tension (V)	24	24	24	N/A
Performance (%)	19,6	93.5	100 (Aprox)	N/A
Unit price (EUR)	190	2250	1.704,74	29,8
Unit	11	1	7	11

Component	Wired			Grounding	
Model	HB Digital H1Z2Z2-K CC	SOLARFLEX X-50mm ² CC	Alpha Wire UL AWM CA	Picas	Cable desnudo de cobre
Tension (V)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Performance (%)	99	99	99	N/A	N/A
Unit price (EUR)	1,46	15.5	1.8	10	8
Unit	80m	10m	100m	2	50m

Therefore, after carrying out the economic viability study of the designed installation, an approximate budget of 18,000 euros is required. Considering an amortisation period of 25 years, which is the standard, an annual amortisation of 720 euros is obtained.

5. Conclusions

To conclude with this project, it can be stated that using a photovoltaic installation is the best possible option. Therefore, a system capable of supporting the expected theoretical demand of the buildings has been designed. The project has generated a precise list of apartments capable of meeting the expectations of the system, but as everything has to be purchased in the country where it will be located, the possibility of altering certain elements for devices with similar characteristics must be taken into consideration. The most characteristic part of this project that should be highlighted is that it is not only a technical project, but also has a humanitarian focus with the intention of facilitating the integration of people in a marginalised situation into today's society.

6. References

[1] Chelminsky, A., López González, M.R. and Osornio Ramos, A. (June 2020). Republic of Zimbabwe: Factsheet.

https://centroGilbertobosques.senado.gob.mx/docs/F_Zimbabue.pdf

[2] Ferrovial (19 February 2019) Social infrastructures and social action in Spain.

<https://newsroom.ferrovial.com/es/noticias/infraestructuras-sociales-accion-social-espana-2019/>

[3] United Nations Children's Fund (9 July 2021). Country programme document: Zimbabwe.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

[4] United Nations (n.d.). Sustainable Development Goals.

https://www.unicef.org/executiveboard/media/7126/file/2021-PL21-Zimbabwe_CPD-ES-ODS.pdf

[5] Vizcarra, L. (9 August 2021). Solar energy in Zimbabwe saving lives.

<https://keeui.com/2021/08/09/energia-solar-en-zimbabwe-salvando-vidas/>

[6] BOE. Real decreto 842/2002: Reglamento electrotécnico para baja tensión e ITC. 2 August.

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2002-18099>

[7] Calculation manual for off-grid photovoltaic systems with batteries

<https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/calculo-sistema-fotovoltaico-aislado/>

Contenido

1. Introducción.....	5
1.1 Motivación	7
1.2 Estado de la cuestión.....	7
1.3 Proyectos similares.....	10
1.4 Objetivos del proyecto	12
1.5 Alineación con los ODS.....	13
2. Estudio de la localización	15
2.1 Emplazamiento del complejo (orientación)	16
2.2 Demanda del complejo	19
3. Selección de fuente de energía de la instalación	23
3.1 Energía Solar	23
3.2 Energía eólica	26
3.3 Decisión final	28
4. Diseño de la instalación	31
4.1 Paneles Solares.....	31
4.1.1 Tipos de paneles	31
4.1.2 Especificaciones técnicas de los paneles solares	32
4.1.3 Cálculo de las especificaciones de los paneles	33
4.2 Inversor	38
4.2.1 Tipos de inversores	38
4.2.2 Especificaciones técnicas del inversor	40
4.2.3 Cálculo de las especificaciones del inversor	41

4.3	Sistema de almacenado	43
4.3.1	Tipos de baterías	44
4.3.2	Cálculo de las especificaciones de las baterías.....	45
4.4	Cableado.....	47
4.4.1	Especificaciones técnicas del cableado	48
4.4.2	Cálculo de las especificaciones del cableado	49
4.5	Seguridad.....	51
4.5.1	Puesta a tierra.....	51
4.5.2	Cálculo de las especificaciones de la puesta a tierra	52
4.6	Soporte estructural de la instalación	52
4.6.1	Cálculo de las especificaciones del soporte estructural.....	53
4.7	Elección de componentes y diseño final.....	54
5.	Mantenimiento de la instalación	56
5.1	Mantenimiento Paneles Solares	56
5.2	Mantenimiento Inversor	57
5.3	Mantenimiento Baterías.....	57
6.	Viabilidad económica (presupuesto)	59
7.	Plan de ejecución	62
7.1	Cronograma del proyecto.....	64
8.	Conclusiones	66
9.	Bibliografía	68
10.	Anexos.....	71

Índice de Figuras

Figura 1: Mapa de vientos Zimbabue	8
Figura 2: Mapa de radiación solar Zimbabue	9
Figura 3: Acción Social Ferrovia.....	10
Figura 4: Clínica Kamabarami.....	11
Figura 5: Instalación de Givepower.....	12
Figura 6: ODS	13
Figura 7: Mapa con coordenadas de la localización	16
Figura 8: Mapa irradiación solar África.....	17
Figura 9: Información de la velocidad del viento en la región de Mount Darwin.....	18
Figura 10: Paneles de energía solar fotovoltaica	24
Figura 11: Paneles de energía solar térmica	25
Figura 12: Funcionamiento de una central de energía solar concentrada.....	25
Figura 13: Esquema genérico de una instalación Eólica	27
Figura 14: Resumen de la velocidad del viento en Mount Darwin.....	28
Figura 15: Esquema genérico de una instalación fotovoltaica.....	30
Figura 16: Paneles monocristalinos	31
Figura 17: Paneles policristalinos	31
Figura 18: 3. Paneles solares de película fina (Thin-film).....	32
Figura 19: paneles solares de perovskita	32
Figura 20: Esquema de funcionamiento de un inversor de cadena.....	39
Figura 21: Sección de un cableado genérico.....	47
Figura 22: Orientación del edificio	63

Figura 23: Cronograma de la instalación del proyecto64

Índice de Tablas

Tabla 1: Potencia de la irradiación solar en la región de Mount Darwin 18

Tabla 2: Cálculos de demanda de los edificios22

Tabla 3: Potencia de la irradiación solar en la región de Mount Darwin34

Tabla 4: Comparativa de modelos de paneles solares36

Tabla 5: Comparativa de modelos de inversor42

Tabla 6: Comparativa de modelos de baterías46

Tabla 7: Comparativa entre la selección de cableado de la instalación50

Tabla 8: Selección de material para la puesta a tierra.....52

Tabla 9: Selección de material para la Estructura de los paneles fotovoltaicos53

Tabla 10: Elección final de los componentes de la instalación (1/2).....54

Tabla 11: Elección final de los componentes de la instalación (2/2).....55

Tabla 12: Calculo de costes totales de la instalación.....60

1. Introducción

Zimbabue es un país ubicado en el sur de África que ha experimentado importantes cambios políticos y económicos en las últimas décadas. Por lo que, para entender el contexto actual de Zimbabue, es importante conocer su historia reciente (Chelminsky, et al., 2020).

Hasta 1980, Zimbabue era una colonia británica conocida como Rodesia del Sur. La mayoría de la población estaba formada por grupos étnicos africanos, mientras que los colonos caucásicos tenían el control político y económico. La lucha por la independencia se intensificó en la década de 1960, y en 1980, Zimbabue se convirtió en un estado independiente liderado por Robert Mugabe.

Durante los primeros años de la independencia, Mugabe implementó políticas populares, como la reforma agraria, para redistribuir la tierra de los grandes terratenientes caucásicos a la población negra. Sin embargo, a medida que pasaba el tiempo, su gobierno se volvió cada vez más autoritario, y se produjeron violaciones de los derechos humanos y corrupción generalizada.

En el año 2000, Mugabe comenzó una campaña de confiscación de tierras sin compensación, que llevó a la expulsión de gran parte de la población caucásica del país. Esto afectó gravemente la economía, que ya estaba en declive debido a la mala gestión y la corrupción. La inflación se disparó y el desempleo alcanzó niveles récord.

En 2017, después de 37 años en el poder, Mugabe fue depuesto en un golpe de estado liderado por su propio partido, el ZANU-PF. Fue reemplazado por Emerson Mnangagwa, quien había sido vicepresidente y había sido despedido por Mugabe unos meses antes. Mnangagwa prometió una nueva era de reformas y lucha contra la corrupción.

Sin embargo, la situación actual en Zimbabue sigue siendo difícil. La economía sigue en crisis, con altos niveles de desempleo y escasez de alimentos y combustible. La pandemia de COVID-19 ha agravado la situación, y el gobierno ha sido criticado por su manejo de la crisis sanitaria

y por la represión de la libertad de expresión y de prensa. A pesar de esto, hay esperanza de que el país pueda recuperarse con reformas y un enfoque renovado en la democracia y la transparencia.

Por todo lo mencionado con anterioridad, se plantea un proyecto para intentar ayudar a un país en una situación extremadamente desfavorecida. Analizando su economía se puede calificar como uno de los países más pobres del mundo, dentro de los 25 países más pobres del planeta. Zimbabwe sufrió una situación de hiperinflación a lo largo de su historia por lo que tuvieron que dejar su moneda local y empezaron a utilizar el dólar estadounidense.

Asociado a la inestabilidad económica hay una imposibilidad de financiación por parte de las instituciones públicas y como consecuencia, en lo que a este proyecto concierne, hay una falta de instalaciones que favorezcan el abastecimiento eléctrico, desde para la generación hasta para la distribución.

Zimbabwe ha estado experimentando una crisis energética en los últimos años debido a la falta de inversiones en infraestructura energética y la mala gestión. El país depende en gran medida de la generación hidroeléctrica, que se produce principalmente en la represa de Kariba en el río Zambeze. Sin embargo, la sequía y la falta de mantenimiento en la represa han reducido la capacidad de generación de energía hidroeléctrica. Además, las fallas en la red de transmisión y la falta de inversión en nuevas plantas de energía también han contribuido a la crisis energética.

Según el Banco Mundial, la capacidad total de generación eléctrica de Zimbabwe en 2020 era de alrededor de 2.200 megavatios, de los cuales aproximadamente el 57% provenía de la generación hidroeléctrica, el 29% de la generación térmica y el 14% de la generación solar. Sin embargo, la capacidad real de generación eléctrica es mucho menor debido a la falta de mantenimiento y a los cortes de energía frecuentes.

El gobierno de Zimbabwe ha tomado medidas para tratar de resolver la crisis energética, como la construcción de nuevas plantas de energía y la promoción de la inversión en energía renovable, especialmente la solar. Además, el gobierno ha firmado acuerdos con países vecinos

como Sudáfrica y Mozambique para importar energía. A pesar de estas medidas, la crisis energética sigue siendo un problema importante en Zimbabue.

A raíz de esta situación es de donde crece la necesidad de realizar proyectos como el planteado, la electrificación a pequeña escala de un centro de estudio. Ya que se considera una de las pocas soluciones en la actualidad para hacer frente a la grave situación en la que se encuentran.

1.1 Motivación

Este proyecto recibe la motivación del ecosistema general de la sociedad del país objetivo, Zimbabue. Se encuentra entre los países con mayor pobreza del mundo debido a sus grandes carencias acarreadas por su situación económica y política. Dentro de los aspectos remarcables en la situación de pobreza extrema en la que se encuentra Zimbabue se puede destacar la ausencia de explotación de sus recursos para la obtención de energía eléctrica. Gracias a la localización geográfica se puede considerar un país privilegiado en lo referente al acceso a la energía solar, pero dadas las circunstancias no logran explotar esta ventaja.

Otro aspecto a remarcar es la escasez del sistema de distribución, lo que ocasiona problemas en el manejo de la red eléctrica del país, no pudiendo considerarse una fuente fiable y constante de aporte energético a todas las localidades.

Teniendo en cuenta estas dos cuestiones de peso, el proyecto intenta lograr una fuente constante, segura e independiente de energía, de esta forma se puede asegurar un suministro eléctrico de calidad en zonas aisladas y así impulsar su desarrollo de esta región gracias a la electrificación de un centro de formación profesional.

1.2 Estado de la cuestión

El proyecto planteado se centra en la generación de energía en una región del noreste de Zimbabue. Lo primero y más importante es realizar un análisis de la situación actual del país en el ámbito de la generación energética. Debido a la pobreza las instalaciones de generación eléctrica están muy desactualizadas, centrándose en la generación con plantas de carbón y un pequeño porcentaje de explotación de los recursos hidráulicos del país. Pero por culpa de la

falta de recursos económicos y el alto coste de las instalaciones no es una posibilidad a día de hoy la explotación de estos recursos hidráulicos como solución a los problemas de generación eléctrica de Zimbabwe.

Por lo que la situación actual, teniendo el conocimiento sobre la contaminación del resto tipos de centrales, se van a focalizar los esfuerzos en torno a la generación a través de las energías renovables. De la hidráulica ya se ha comentado que por el momento no es una opción, por falta de presupuesto para la construcción de las grandes centrales de explotación de los recursos hidrofóbicos del país y el hecho de que la accesibilidad a ellos varía en gran medida según la época del año ya que Zimbabwe es un país atado a épocas de grandes sequías. Por lo tanto, habrá que focalizarse en las dos últimas opciones con las que se cuentan en la actualidad, la energía eólica y la solar.

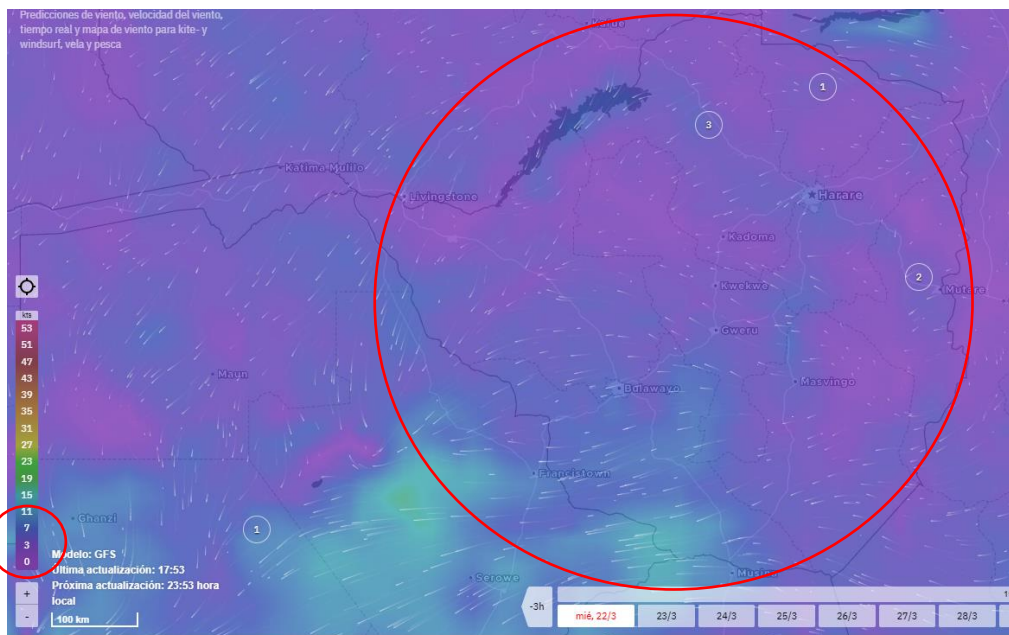


Figura 1: Mapa de vientos Zimbabwe

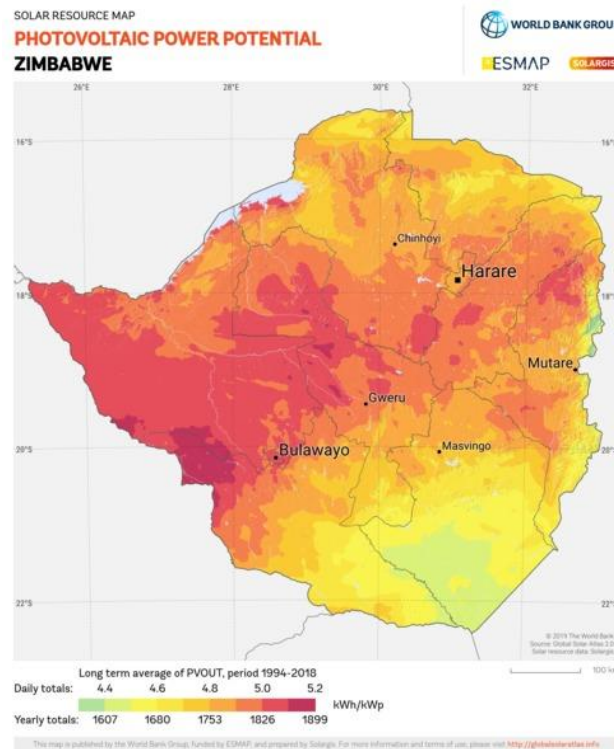


Figura 2: Mapa de radiación solar Zimbabwe

Como se puede observar en las *Figura 1*, el viento no es un recurso muy abundante en Zimbabwe, por lo que la rentabilidad de las instalaciones eólicas no sería suficiente como para cubrir las necesidades del país.

Analizando la *Figura 2*, y como última opción, vemos un mapa que representa la radiación solar que incide en el territorio de Zimbabwe. Como se puede observar en la totalidad del país se obtienen valores superiores a la media de la escala, por lo que sin realizar un análisis en profundidad se plantean las instalaciones de generación de energía solar como las mejores candidatas para solucionar la situación de escasez eléctrica en la que se encuentra Zimbabwe.

1.3 Proyectos similares

El primer proyecto con el que podríamos justificar y comparar el planteado por este trabajo de fin de grado es un proyecto de la empresa Ferrovial de la mano de Ayuda en Acción. Se trata de un proyecto a nivel internacional que afecta a varias nacionalidades subdesarrolladas, entre las que se encuentra Zimbabwe. De forma general, este proyecto no solo intenta mejorar el acceso a electricidad, sino también el saneamiento y acceso a agua.

Para el país de Zimbabwe, el cual nos sirve para analizar los resultados posibles de nuestro proyecto planteado, se facilitarán instalaciones de saneamiento de agua para 5 centros de salud y 2 escuelas en el Programa de Área de Mabhikwa, en el distrito de Lupane. Y las instalaciones energéticas independientes necesarias para asegurar el funcionamiento de dichas instalaciones.



Figura 3: Acción Social Ferrovial

El otro proyecto para remarcar, mucho más cercano al que se pretende realizar con este trabajo, es la instalación de energía solar en una clínica de salud llamada Kamabarami.



Figura 4: Clínica Kamabarami

La organización We Care Solar introdujo maletas solares en la Clínica para facilitar el acceso a energía propia a la hora de tratar a sus pacientes, pudiendo así mejorar su atención. Con esta implementación se ayuda a una media de 180.000 partos al año. Este proyecto nació de la necesidad de implementar energía fiable en los centros médicos del África subsahariana, facilitando la entrega de medicamentos y pudiendo cubrir las emergencias médicas a cualquier hora del día, sin importar la luz natural, logrando reducir en gran medida la tasa de mortalidad de la clínica.

El último proyecto del que se hará mención está llevado a cabo por la organización Givepower, se trata de una planta de generación de energía solar, que además se destina a la producción de agua potable para decenas miles de personas.



Figura 5: Instalación de Givepower

Se localiza en una región costera de Kenia, Likoni. En esta planta se desaliniza agua en un enorme contenedor que tiene capacidad de suministrar agua potable para alrededor de unas 30.000 personas. El sistema de potabilización de agua se suministra de una instalación solar que se encuentra en su tejado, muy similar al necesario para este proyecto, ya que cuenta con un sólido sistema de almacenamiento para poder seguir produciendo agua potable fuera de las horas de luz solar. Este proyecto ha sido de gran ayuda, ya que ha introducido el uso de la energía solar en la región y además, permite beber agua de calidad a muchas familias de la región.

1.4 Objetivos del proyecto

El foco de trabajo principal a considerar para este proyecto es el suministrar una fuente de energía eléctrica sostenible a nivel medioambiental y en el tiempo, a un centro de estudio en Zimbabwe, otorgando una independencia eléctrica y favoreciendo la enseñanza moderna.

1. Estudio climatológico del área designada para la instalación eléctrica a implementar, para poder comparar las diferentes fuentes de energías renovables a disposición del proyecto.
2. Diseño de la instalación eléctrica del centro de estudio a raíz de los estudios y las investigaciones realizadas con anterioridad.

3. Por último, planificación de la puesta a punto del diseño y la instalación de los equipos. Teniendo en cuenta todos los inconvenientes pertinentes asociados a lugar de instalación.

1.5 Alineación con los ODS

Los objetivos de desarrollo sostenible son metas diseñadas para conseguir un futuro sostenible. Fueron creadas en 2015 por las Naciones Unidas y se consideraron como objetivo a cumplir por todos los países miembro a partir del año 2030.



Figura 6: ODS

Analizando el trabajo a realizar para este proyecto y los 17 puntos de los que se componen los ODS, se podría decir que los objetivos con los que más se alinea son:

- 1 - Fin de la pobreza:

Debido a un gran número de variables a lo largo de la historia la pobreza y la desigualdad ha sido algo que ha ido de la mano de la humanidad desde el inicio de los tiempos. Actualmente, la pobreza puede focalizarse en localidades y países al completo, como es el caso de África. Por lo que los proyectos beneficios que provienen de los países desarrollados, como es el caso

del proyecto planteado para este TFG, Luchan por intentar equilibrar la balanza y acercar la calidad de vida del primer mundo.

- 4 - Educación de calidad:

La educación para muchas personas, de los países más desarrollados, es algo que se da por hecho, pero no se suele tener en consideración el gran número de personas que no van a poder tener acceso ni a la educación más básica. Por lo que, con este proyecto se intenta acercar aún más a la gente necesitada la capacidad de educarse y adquirir conocimientos para la mejora de su sociedad. Mejorando el nivel de vida de la gente, gracias a que con este conocimiento podrán realizare trabajos más competentes para la sociedad moderna.

- 7 – Energía asequible y no contaminante & 11 – Ciudades y comunidades sostenibles:

La energía es un bien necesario en la vida de millones de personas en la actualidad y a su vez algo impensable para muchos. Por lo que, poder acercar fuentes de energía a los países necesitados para poder favorecerles con todos los beneficios que esto acarrea. En el caso particular de este proyecto nos centramos en una sola edificación debido a la dificultad que implica la electrificación sostenible de grandes superficies. Alimentando el centro de estudio con energía cien por cien limpia con las nuevas tecnologías que tenemos a nuestro alcance.

2. Estudio de la localización

Si se desea determinar la tecnología más acertada a implementar en la infraestructura del edificio, es esencial tener en consideración el entorno del emplazamiento y los requisitos mínimos para poder considerarlo un proyecto viable como soporte eléctrico eficiente para el instituto de formación profesional.

Debido a la desfavorecida situación geográfica y económica del emplazamiento, es fundamental basar nuestras decisiones en unos criterios sólidos. Pensando no solo en la eficiencia energética como principal foco del proyecto, sino poner en la mesa las necesidades de mantenimiento y la robustez y seguridad de la instalación si es gestionada por personas con escaso conocimiento. Para poder asegurar el máximo tiempo de funcionamiento posible.

Como se menciona en la introducción la instalación a diseñar está ubicada en una remota región de Zimbabue, Mount Darwin. Debido a la distancia con las principales ciudades del país, se encuentra eléctricamente aislada. Por lo tanto, en el diseño de esta instalación se debe tener en cuenta que se debe maximizar el rendimiento sin perder durabilidad y confianza en el equipo instalado, por lo que el equipo debe requerir el mantenimiento mínimo para asegurar su correcto funcionamiento debido a las dificultades en la logística de la ubicación de la instalación.

Por lo tanto, se debe analizar las principales características ambientales de la zona para discutir posteriormente la tecnología a instalar para la obtención de la electricidad.

- Temperatura promedio/máxima en temporada caliente: 29/31°C.
- Temperatura promedio/mínima en temporada fría: 24/12 °C.
- Promedio diario de velocidad del viento: 14.9 km/h.
- Máximo de irradiancia: 212,68 kWh/m² (en octubre).
- Mínimo de irradiancia: 128,68 kWh/m² (en junio).
- Porcentaje del tiempo anual de cielo despejado: 95.2%.
- Promedio diario de velocidad del: 12.3 km/h.
- Máximo de velocidad del viento promedio diaria: 19.3 km/h.

- Mínimo de velocidad del viento promedio diaria: 10.6 km/h.

Como se puede observar en las ilustraciones anteriores, la radiación solar es alta a lo largo de la mayor parte del año, mientras que el viento, por muy altos que sean los picos en las épocas de lluvia, no tiene una velocidad constante como para, a simple vista, considerar rentable la implementación de un sistema eólico. Pero este estudio se realizará en profundidad posteriormente.

2.1 Emplazamiento del complejo (orientación)

El primer factor es situar la instalación. Se encuentra en Zimbabwe en la región de Mount Darwin, para ser exacto en las coordenadas: -16.547807, 31.525831. Se encuentra en una de las zonas más calurosas del país, por lo que es muy beneficioso para alguno de los tipos de sistemas de obtención de energía planteados para el proyecto, además presenta la ventaja de tener una gran cantidad de horas de cielo despejado al año. Por su localización es una región que presenta el fenómeno de los monzones, por lo que tienen grandes luvias, pero concentradas en poco tiempo del año.



Figura 7: Mapa con coordenadas de la localización

Haciendo mención de la capacidad de aprovechamiento real que presenta el país de Zimbabwe para la explotación de las energías renovables debido a los recursos que tiene por su localización en el planeta. Es destacable la posible explotación de la energía Solar, ya que presenta unos altos niveles de irradiación solar.

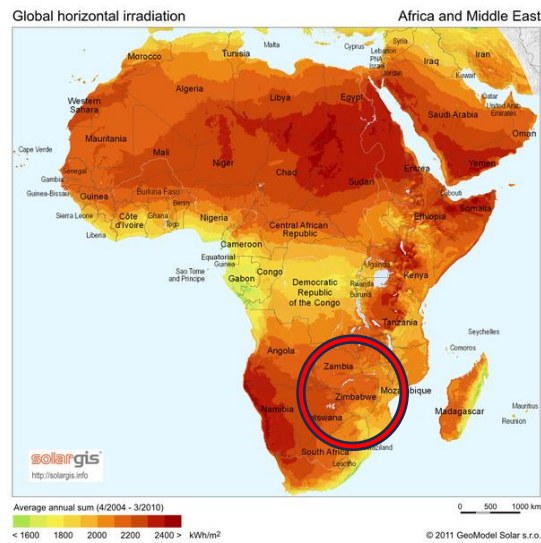


Figura 8: Mapa irradiación solar África

Como se puede observar en la figura anterior, el país de localización del proyecto se puede considerar que tiene un nivel alto de radiación solar media. Pero el termino medible que hace referencia a la radiación solar con una magnitud que pueda utilizarse en cálculos en la irradiación solar. Y en base a los estudios realizados se obtienen los siguientes resultados:

Mes	Irradiación (kWh/m ²)
Enero	227.91
Febrero	193.03
Marzo	197.03
Abril	193.48
Mayo	194.53
Junio	186
Julio	178.58
Agosto	208.22
Septiembre	222.89
Octubre	234.69
Noviembre	197.12
Diciembre	184

Tabla 1: Potencia de la irradiación solar en la región de Mount Darwin

Por lo que se puede asegurar que se mantienen unos altos niveles de irradiación solar durante todo el año, con un calor pico en la potencia en los meses de septiembre y octubre.

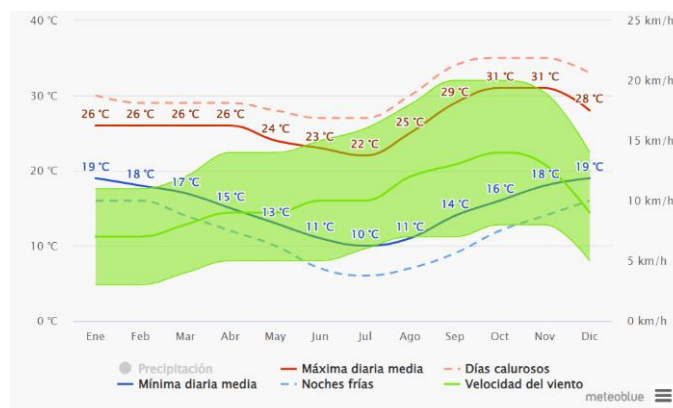


Figura 9: Información de la velocidad del viento en la región de Mount Darwin

La figura anteriormente mostrada nos da a conocer la información del viento en la región de Mount Darwin. Presenta una velocidad media entorno a los 10 Km/h, pero, aunque esta velocidad es más que suficiente para la generación de energía, el problema presente entorno a la energía eólica es que el viento no se mantiene durante mucho tiempo. Pero este en este tema se indagará más en profundidad posteriormente.

La instalación se debe diseñar para alimentar dos edificios diferentes. Actualmente solo se ha construido el primero de ellos, pero se plantea construir un segundo idéntico al ya presente en la localización. La idea principal de estos edificios es la creación de un centro de estudio para los locales, por lo que se diseñara su consumo en base a la construcción de aulas y todo el material para poder enseñar las materias deseadas.

Características del edificio escolar construido:

- Superficie total: 205 m².
 - Superficie de aulas: 2 aulas de 70 m² cada una.
 - Superficie de cuartos extras: 2 habitáculos de 20 m² cada uno.
- Ángulo del tejado: 15°.
- Orientación: Noreste, el ángulo de desviación se aproxima a unos 30°.

La orientación elegida para la construcción se hace teniendo en cuenta que la orientación norte es la idónea para la instalación de paneles fotovoltaicos para alimentar el edificio.

2.2 Demanda del complejo

El edificio existente carece de suministro eléctrico, dependiendo exclusivamente de la luz natural para iluminación. En días soleados, la luz que se filtra a través de las ventanas de las aulas es adecuada, pero en días nublados la luz tenue afecta a los estudiantes, quienes muestran signos de cansancio y una disminución en su productividad. Por tanto, es esencial cubrir la demanda energética. Esto permitirá mantener una calidad educativa constante durante el año

académico, además de implementar nuevos métodos de enseñanza a través de computadoras. En esta primera sección, se presenta la carga total teórica que requerirán estos edificios.

Como los dos edificios se consideran idénticos se realizarán los cálculos se realizarán los cálculos para el que ya ha sido construido y solo habrá de duplicar la instalación para el futuro edificio.

Por lo tanto, se calcularán los watos consumidos por las dos principales cargas que tendrán las edificaciones:

- Sistema de iluminación.
- Ordenadores.

Para empezar, se debe hacer una estimación inicial de la demanda para poder iluminar toda la superficie útil del edificio, la cual es de unos 180 m². Teniendo en cuenta que en la actualidad la mejor tecnología de bajo consumo para la iluminación es la presente en los paneles LED. Después de realizar un análisis del mercado y las diferentes opciones de grandes marcas con sus principales modelos:

- **Philips Ledalite:**
 - Rendimiento: 130 lúmenes por vatio.
 - Vida útil: 75.000 horas de alumbrado.
- **Cree CR Series:**
 - Rendimiento: 135 lúmenes por vatio.
 - Vida útil: 100.000 horas de alumbrado.
- **Lithonia Lighting 2x4FT LED Panel:**
 - Rendimiento: 120 lúmenes por vatio.
 - Vida útil: 50.000 horas de alumbrado.

Analizando las tres opciones seleccionadas, se decanta por los paneles Cree CR Series 24 40L, debido a su mayor longevidad sin sacrificar eficiencia. Además, se encuentran dentro de un rango de precio asumible para esta instalación.

Características técnicas de los paneles:

- Potencia: 35 W
- Temperatura de color a escoger entre: 3000 K, 3500K, 4000K y 5000K
- Alimentación: 120-277 VAC o 347 VAC
- Dimensiones del panel: 602x1212x121mm
- Flujo luminoso: 4.040 lm
- Vida útil: 100.000 horas

Para mantener las clases con una iluminación lo suficientemente alta como para permitir el correcto aprendizaje de los alumnos se decide colocar un panel LED para iluminar cada 10 m² útiles del edificio. Por lo tanto, serán necesarios 20 paneles para cada uno de los edificios.

Por otro lado, al tratarse de un centro de estudio se tiene en mente la necesidad de algún tipo de ordenador, para poder almacenar el contenido docente y hasta llegar a impartir clases de informática. Debido a la comodidad que ofrecen, el ahorro a nivel energético, su ausencia de instalación y su versatilidad, se decide utilizar ordenadores portátiles para este proyecto. Se darán cuatro ordenadores para los profesores, uno en cada aula. Y para los alumnos se pondrán dos ordenadores por aula. El consumo medio de la carga de un portátil actual ronda los 25W con un tiempo de carga estimado en dos horas y teniendo en cuenta una duración media de las baterías de dichos portátiles de tres horas, se asume que como mínimo deben de ser cargados dos veces al día.

Por lo tanto, se puede resumir el consumo de los dos edificios para tener en cuenta en la instalación en:

	Nº de elementos	Potencia (W)	Potencia acumulada (W)	Tiempo de uso(h)	Consumo (kWh)
Paneles LED	40	35	1.400	10	14,00
Ordenadores portátiles	12	25	300	10	3,00
Total		60	1.700		17,00

Tabla 2: Cálculos de demanda de los edificios

La selección de un factor de seguridad es esencial para este tipo de instalaciones para asegurar un suministro estable ante cualquier imprevisto, pero ahora mismo no se va a contemplar, ya que se añadirá en la selección de los componentes principales.

Otro factor para tener en cuenta es la corriente de carga de los dispositivos instalados. En el caso de los dispositivos seleccionados en este proyecto son de corriente alterna, ya que es la más común para la carga de los ordenadores. Este tipo de corriente se caracteriza por su facilidad para el transporte y generación. Por lo tanto, se ha de tener en cuenta la necesidad de incluir un inversor en la instalación para poder realizar la conversión de corriente continua de las baterías a corriente alterna para utilizarla en todos los dispositivos seleccionados.

3. Selección de fuente de energía de la instalación

Tomando como base la información analizada en el apartado anterior, se puede realizar la elección de la fuente de energía más acertada para satisfacer la demanda. Por lo tanto, será necesario realizar una comparación entre las dos principales maneras de generar energía de forma sostenible a pequeña escala, la energía solar y la energía eólica. Ambas opciones serán examinadas en profundidad, y al final del análisis, se tomará la decisión final considerando los criterios de robustez, simplicidad y flexibilidad.

Ambas formas de generación son completamente sostenibles, por lo que no producen ninguna clase de residuos en su explotación. Tanto la energía solar como la eólica se encuentran dentro de las energías más explotadas a nivel mundial, por lo que gracias a su nivel de implementación se puede asegurar su eficiencia. Al encontrarse ambas tecnologías entre las más avanzadas de la actualidad, estas ofrecen una ventaja competitiva frente al resto de opciones del mercado, ya que permiten reducir costes y lo más importante facilitar el mantenimiento a largo plazo debido a la durabilidad conseguida de sus instalaciones.

3.1 Energía Solar

La energía solar es una forma de energía renovable que se obtiene al aprovechar la radiación electromagnética proveniente del sol. Aunque a realmente las estrellas tienen un tiempo límite en el cual generan energía a escala humana se puede considerar infinita y no contaminante. Un factor diferencial entre el resto de las fuentes de energía y la energía solar es que debido a que se transmite en forma de radiación tiene múltiples aplicaciones, la generación de electricidad y calor. Debido a esto existen diferentes tecnologías en la actualidad para captar la energía proveniente del sol, entre las más destacables se encuentran:

1. **Energía solar fotovoltaica:** Es la tecnología más utilizada para la obtención de electricidad. Esta tecnología se basa en captar la luz solar de manera directa mediante el uso de células fotovoltaicas. La composición principal de estas células es silicio, con las cuales logran generar una corriente eléctrica cuando incide luz solar. Estas células se sitúan conjuntamente formando paneles fotovoltaicos. Gracias a los paneles se logra

una gran versatilidad a la hora de elegir el emplazamiento de estos, ya que se pueden situar desde en techos de edificios y viviendas hasta en grandes superficies para explotaciones a mayor escala. Al obtenerse directamente energía eléctrica se puede usarse inmediatamente a diferencia de otros métodos de generación eléctrica o ha de ser almacenada en baterías para su posterior uso. El uso de esta tecnología destaca en pequeñas instalaciones, debido a que su coste disminuye drásticamente y su eficiencia es suficiente para cumplir pequeñas demandas de energía.



Figura 10: Paneles de energía solar fotovoltaica

- 2. Energía solar térmica:** En este caso se utiliza el calor generado por la radiación solar para generar calor, con el cual se calienta un tubo que contiene un fluido, que se utiliza para calentar el agua o aire de la vivienda, en el consumidor directo, o para generar vapor y mover una turbina de generación eléctrica. Los sistemas de energía solar térmica pueden ser una opción eficiente para la calefacción de edificios y la producción de agua caliente sanitaria, así como para procesos industriales que requieren calor.



Figura 11: Paneles de energía solar térmica

- 3. Energía solar concentrada (CSP):** Esta tecnología utiliza una disposición de espejos o lentes para concentrar la energía solar en un mismo punto y calentar un fluido hasta altas temperaturas. Este calor se emplea para generar vapor y así accionar una turbina conectada a un generador eléctrico. El problema de esta tecnología es que ha de situarse en zonas de alta insolación, además de no poder escalar a una menor medida, por lo que solo se implementan en explotaciones a gran escala.

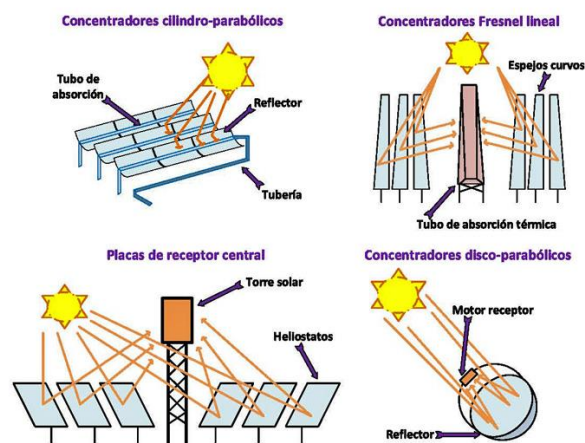


Figura 12: Funcionamiento de una central de energía solar concentrada

Por lo tanto, analizando las diferentes características de todas estas tecnologías se ha optado por la implementación de la energía solar fotovoltaica entre las tres mencionadas anteriormente. Se trata de una tecnología más moderna y compleja que la energía solar térmica,

la cual utiliza materiales mucho más complejos, además de necesitar de dispositivos auxiliares como un inversor para transformar la corriente continua generada en alterna, la cual es necesaria para los dispositivos eléctricos.

Debido a la necesidad de la sociedad por empezar a aumentar el uso de las energías renovables, la implementación de paneles fotovoltaicos en las residencias particulares ha ganado mucha popularidad, lo que ha incentivado a desarrollar en gran medida esta tecnología. Esto se debe a sus principales ventajas frente al resto, una de las ventajas más notables de la tecnología fotovoltaica es su versatilidad.

Además, las instalaciones fotovoltaicas son robustas y duraderas, con una vida útil superior a los 20 años, por lo que son ideales al tener una fácil amortización de la inversión necesaria para instalarlos. Además de reducir la contaminación asociada a dichas instalaciones, ya que la generación de residuos en su desmantelado es mínima, ya que se evita incluir piezas móviles o de alto mantenimiento. Este mantenimiento puede ser realizado por el propio consumidor, lo que añade una ventaja adicional. Desde el punto de vista económico, los paneles fotovoltaicos suelen ser más asequibles que los térmicos, lo que también favorece su elección.

Por lo tanto, a pesar de que la eficiencia de captación de energía solar de los sistemas termo solares ronda el 80%, mientras que los fotovoltaicos se encuentran alrededor del 20%, se puede compensar esta diferencia con la capacidad de almacenamiento que se puede incluir en las instalaciones fotovoltaicas de pequeña potencia.

3.2 Energía eólica

La energía eólica es una de las tecnologías principales a considerar en este proyecto, como se ha mencionado en el apartado anterior con respecto a la energía fotovoltaica. Un aspecto clave a considerar es la posibilidad de instalar la tecnología con facilidad en las cercanías de la edificación, en especial debido a la situación de aislamiento en la que se encuentra.

La energía eólica se obtiene de instalaciones de generación energética a través de la energía cinética del viento, para poner en funcionamiento las palas conectadas a un generador eléctrico

a través de un eje. Este método de obtención de energía es considerado como renovable ya que el viento es su combustible principal, el cual podemos considerar infinito y además no produce ningún tipo de residuo en consecuencia de este uso. Sin embargo, presenta el desafío de predecir los perfiles de velocidad del viento, lo que hace necesario el uso de baterías para almacenar energía durante las horas de ausencia de viento.

Teniendo en consideración las características principales de este proyecto, una baja demanda con respecto a las contempladas para dimensionar aerogeneradores, se propone el uso de una instalación de mini-eólicas. Este tipo de generadores son de una potencia inferior a 50 kW, lo cual serán más que suficiente para la demanda estimada a satisfacer por la instalación.

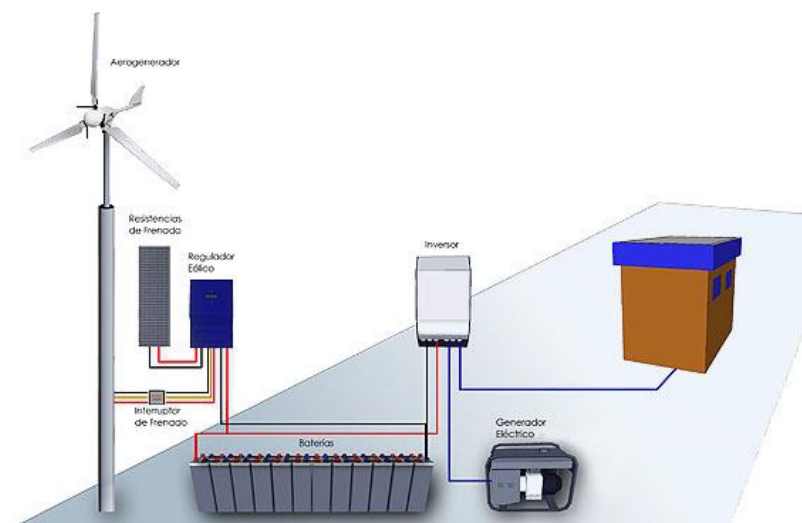


Figura 13: Esquema genérico de una instalación Eólica

Los principales componentes de un aerogenerador de estas características son: un rotor, el cual transforma la energía cinética del viento en mecánica, el generador, se encarga de convertir la energía mecánica en energía eléctrica, generalmente de corriente continua. En caso de tener corriente continua será necesaria la instalación de un inversor para convertir la corriente producida a alterna si fuese necesario. La aleta en el extremo final del aerogenerador es crucial en un proyecto de generación aislada, ya que permite alinear la instalación con el viento para maximizar la eficiencia. Y por último se debe instalar un sistema de protección frente a vientos

extremadamente fuertes. Y en el caso de Zimbabwe, es esencial para soportar los picos en las épocas de lluvias.

Para finalizar, habrá que analizar la situación del país frente a la generación eólica. El principal problema frente a esta tecnología es la escasez de datos sobre la utilización de la presente tecnología. Zimbabwe es conocido por ser uno de los principales impulsores de la tecnología en África a finales del siglo 20 en la década de los 70 y principios de los 80. Pero la tecnología de aerogeneradores para bombeo de agua se dejó de aplicar para proyectos, por lo que no se ha desarrollado la tecnología desde esos años.

El principal problema de la utilización de la energía eólica es la necesidad de datos precisos de la velocidad del viento durante un periodo de tiempo prolongado. En el caso de instalar un generador mini-eólico se requiere una velocidad mínima de unos 12Km/h. Por lo que para poder tener en consideración instalar este tipo de generadores se tiene que poder asegurar esta velocidad del viento de una forma más o menos estable.

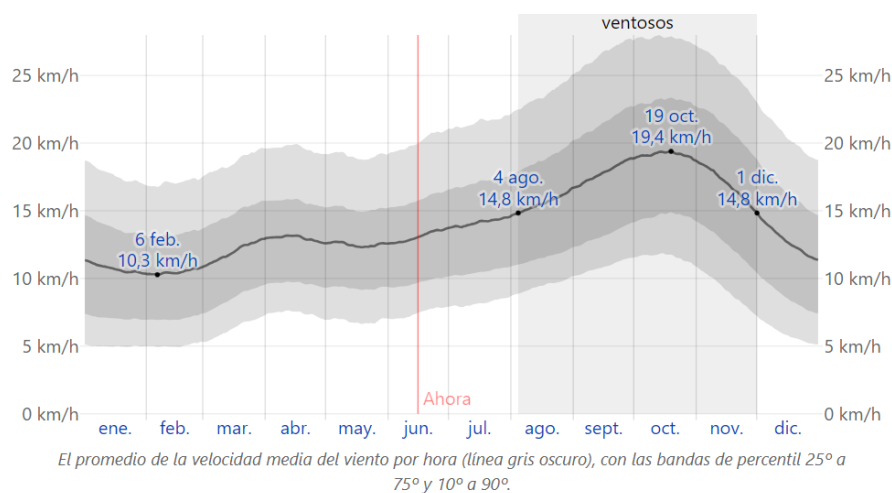


Figura 14: Resumen de la velocidad del viento en Mount Darwin

3.3 Decisión final

Como último punto de esta parte se ha de enfatizar la decisión final en cuál de las tecnologías de generación de energía se va a utilizar para nuestro proyecto. Por lo que se va a categorizar en dos puntos la toma de la decisión, resistencia, simplicidad, rendimiento y presupuesto.

Con resistencia de la instalación se hace referencia a la capacidad de esta para aguantar en el tiempo, minimizando el mantenimiento necesario, sin llegar a interrumpir su servicio. Por lo tanto, se necesita la utilización de componentes fiables, sencillos y con reparaciones lo más rápidas posibles. Por eso mismo, la instalación de un sistema de generación eólica presenta un gran problema, debido al gran número de partes móviles, las cuales sufren desgaste y por lo tanto necesitan un alto mantenimiento y con una mayor frecuencia. Dado a la localización del proyecto, la fiabilidad de las piezas es un aspecto clave para la toma de la decisión final. La simplicidad es fundamental, ya que, aunque se construya la instalación eléctrica, será la población local la encargada de su mantenimiento y supervisión. Dado su limitado contacto con este tipo de tecnologías y su desconocimiento de su funcionamiento, es esencial que la instalación sea lo menos complicada posible.

El aspecto presupuestario es algo decisivo en este tipo de proyectos, ya que proviene de una ONG, por lo que no se cuenta con el mismo acceso a fondos que en una empresa. Aunque por norma general, el rendimiento de las instalaciones eólica es superior al de las instalaciones fotovoltaicas, pero se debe realizar una inversión mucho mayor, por lo que en nuestro caso esa diferencia es un punto clave a tener en cuenta para la decisión final.

Por último, la falta de datos de la velocidad del viento en la región cercana a Mount Darwin, como se muestra en la Figura 13, junto con la ausencia de generación energética en los meses de poco viento, son factores definitivos a la hora de descartar este tipo de instalaciones como una opción posible para el proyecto, ya que podría llegar a dejar fuera de servicio la energía del edificio durante más tiempo del permitido, por lo que no llegaría a cumplir las expectativas que se tienen sobre la viabilidad del proyecto.

Dados estos puntos se puede concluir que la tipología de instalación que mejor se adapta a las necesidades de este proyecto es la instalación de un sistema de generación a través de paneles fotovoltaicos. El principal punto a favor de esta tecnología es la escalabilidad de potencia que dispone con respecto al resto de posibles tecnologías. Además, es una tecnología mucho más conocida por la gente del país por lo que será mucho menos problemática si llegan a surgir imprevistos.

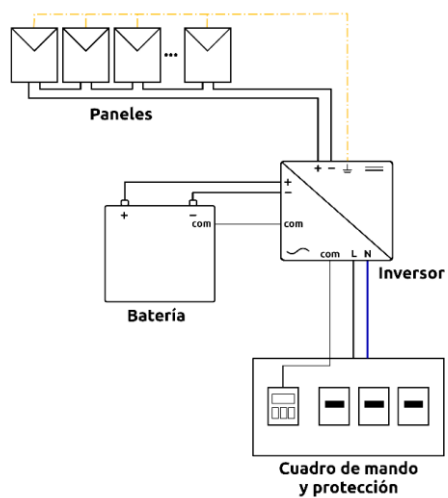


Figura 15: Esquema genérico de una instalación fotovoltaica

4. Diseño de la instalación

Por la decisión final del análisis del punto anterior se dicta que la instalación a realizar ha de ser la utilización de energía solar fotovoltaica. Dentro de este apartado se decidirán los diferentes componentes necesarios para realizar una instalación completa y que cumpla con las necesidades de la demanda de las edificaciones a electrificar, dentro de un presupuesto lógico para este tipo de proyectos.

4.1 Paneles Solares

4.1.1 Tipos de paneles

Dentro de los paneles solares se pueden separar en tres clases principalmente, ordenados por eficiencia:

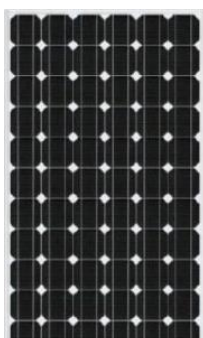


Figura 16: Paneles monocristalinos

1. Paneles solares monocristalinos: Es la primera tecnología de paneles solares fotovoltaicos que se descubrió. Se caracterizan por un color negro uniforme, que se debe a su construcción con un solo cristal de silicio puro, por lo que se logra la mayor eficiencia, entorno al 20%. La desventaja es que debido a la complejidad de su fabricación y su alta eficiencia suelen tener un precio elevado.

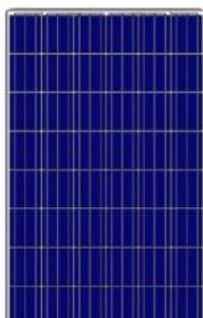


Figura 17: Paneles policristalinos

2. Paneles solares policristalinos: Como tecnología sucesora de los paneles monocristalinos, como su propio nombre indica se diferencia por el uso de muchos cristales de silicio en vez de una única pieza. Por lo que se simplifica el proceso de producción y por lo tanto se logra abaratar el producto final. La desventaja es que debido a este cambio en la estructura de los cristales utilizados se reduce la eficiencia hasta valores de entre un 15% a un 18%.



3. Paneles solares de película fina (Thin-film): Estos paneles son los de menor precio a la hora de fabricarse además de presentar cierta flexibilidad, por lo que se puede variar en las aplicaciones en las que se usa. Pero su gran desventaja es una gran pérdida en la eficiencia, llegando a niveles del 10% al 12%. Se suelen tener en cuenta para grandes instalaciones, en las cuales el espacio no es un problema y se desea abaratar el coste de la instalación.

Figura 18: 3. Paneles solares de película fina (Thin-film)



4. Por último, existe una tecnología emergente llamada paneles solares de perovskita. Aunque todavía no se comercializan ampliamente debido a problemas de durabilidad y escalabilidad, tienen el potencial de ofrecer eficiencias muy altas a un costo mucho menor. Estos podrían convertirse en una opción importante en el futuro.

Figura 19: paneles solares de perovskita

Por lo tanto, teniendo en consideración las eficiencias de las diferentes tecnologías y las necesidades de la instalación, se toma la decisión de utilizar los paneles solares monocristalinos, ya que presentan la instalación más segura y sólida. Además, al ser los más comercializados para este tipo de instalaciones hay una gran competencia en el mercado, por lo que se pueden obtener precios más competitivos.

4.1.2 Especificaciones técnicas de los paneles solares

Las especificaciones que destacar en la ficha técnica de un panel solar son:

- **Intensidad de cortocircuito (I_{sc}):** Es el parámetro que hace referencia a la corriente que el panel puede llegar a generar en condiciones nominales de funcionamiento y presentando una tensión de 0 voltios, aunque puede variar con las condiciones ambientales. La unidad en la que se representa es amperios.
- **Tensión de vacío (V_{oc}):** Esta especificación del panel denota la máxima tensión que es capaz de soportar el panel en sus condiciones nominales de funcionamiento siendo la carga igual a 0 y al igual que en la intensidad de cortocircuito, varía en base a las condiciones atmosféricas. La unidad en la que se representa es voltios

- **Potencia máxima (Pmax):** Potencia máxima capaz de producir el panel en su punto de intensidad y tensión máximos. La unidad en la que se representa es en vatios pico.
- **Corriente en el punto de máxima potencia (Imp):** Esta especificación hace referencia a la intensidad alcanzada por el panel solar en su punto de máxima potencia.
- **Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmp):** Esta especificación hace referencia a la tensión alcanzada por el panel solar en su punto de máxima potencia.
- **Eficiencia (η):** Este parámetro hace referencia a la cantidad de energía solar que es capaz de transformar a energía eléctrica. Se calcula como $\eta = W_p/W_r$, donde W_r es la potencia de irradiación incidente y W_p es la potencia obtenida del panel.
- **Tolerancia (%):** Este término se refiere al margen de potencia que la fabricante específica para sus paneles solares.
- **Temperatura nominal de operación de célula (TONC):** Este valor es la temperatura que alcanzan los paneles solares cuando operan en las siguientes condiciones: irradiancia de 800 W/m², temperatura de 20 °C, velocidad del viento de 1 m/s y una distribución espectral AM 1,5.
- **Coefficiente de temperatura:** son establecidos para el punto de potencia máxima, la corriente de cortocircuito y la tensión de vacío. Es un coeficiente reductor utilizado en cada grado que aumenta la temperatura del ambiente cuando supera los 25°C.

4.1.3 Cálculo de las especificaciones de los paneles

Para el diseño de una instalación fotovoltaica, y en específico para la selección de los paneles, es imprescindible el cálculo del consumo diario, para diseñarla de tal manera que siempre es satisfecho. Este consumo ha sido calculado con anterioridad en el punto 2 de este proyecto., donde se estimó una demanda de 17 kWh/día que se debe satisfacer con la instalación. Debido a la naturaleza de la edificación, se estimará que el consumo es constante a lo largo de todo el año, sin ningún tipo de descanso. Por lo que será necesario mirar la irradiación solar de la zona donde se emplaza la instalación, para estudiarla en su caso más desfavorable.

Mes	Irradiación (kWh/m ²)
Enero	227.91
Febrero	193.03
Marzo	197.03
Abril	193.48
Mayo	194.53
Junio	186
Julio	178.58
Agosto	208.22
Septiembre	222.89
Octubre	234.69
Noviembre	197.12
Diciembre	184

Tabla 3: Potencia de la irradiación solar en la región de Mount Darwin

Se hará para el mes de Julio con 178,6 kWh/m², como dicta la tabla anteriormente mostrada.

Las instalaciones eléctricas no se dimensionan justas para la demanda necesaria, siempre se necesita añadir un factor de seguridad que da margen a que ocurran imprevistos y no afecten al funcionamiento de esta. Como el país en el que se va a realizar la instalación, Zimbabue, no tiene nada normado en referencia a este tipo de instalaciones se utilizarán normas genéricas para la seguridad de la instalación. Se utilizará un factor de seguridad del 25% como primera opción. Y la segunda opción se hará teniendo en cuenta el rendimiento promedio de todos los componentes de la instalación.

1. Margen fijo del 25%:

$$Demanda = 17 \text{ kWh}$$

$$Demanda_{seg} = 17 * 1.25 = 21.25 \text{ kWh}$$

2. Rendimientos promedios de los componentes:

- Baterías: 97%
- Inversor: 95%
- Conexionado: 99%

$$Demanda = 17 \text{ kWh}$$

$$Demanda_{seg} = \frac{17}{0.97 * 0.95 * 0.99} = 18.634 \text{ kWh}$$

Como se trata de un cálculo de seguridad, siempre se elige la opción más restrictiva. Por lo que se coge el margen fijo del 25%. Esto se debe a que gracias a la elección del mayor grado de seguridad se consigue un sistema más robusto y fiable, además siempre se necesita un exceso de producción para la carga de las baterías.

Marca	Canadian Solar	ERA Solar	JA Solar
Modelo	CS6P	ESPSC	JAM72S09
Potencia Máxima (Pmax)	260	380	380
Tensión (V)	24	24	24
Tensión en el Punto de Máxima Potencia (Vmax)	30,4	40,5	40,21
Tensión en Circuito Abierto (Voc)	37,5	48,9	48.75

Corriente de cortocircuito (Isc)	9,12	9,75	10,12
Rendimiento (%)	16,16	19,16	19,3
Tamaño (mm)	1638x982x40	1979x1002x40	2112x1052x35
Precio (Euros/Unidad)	170	210	190

El primer paso para el diseño de la instalación fotovoltaica es la selección del tipo de panel que se va a utilizar. Como se ha analizado con anterioridad, se emplearán paneles de tecnología monocristalina. Por lo que se seleccionaran varias opciones de entre las primeras marcas del mercado:

Tabla 4: Comparativa de modelos de paneles solares

Como se puede observar en la tabla previamente mostrada, son paneles con características muy similares, las mínimas diferencias se ven representadas en su precio. Por lo tanto, se elegirá el panel con la mejor eficiencia, ya que la diferencia entre el modelo más económico y el modelo seleccionado a nivel de rendimiento es considerable, mientras que a nivel de precio no presenta una gran diferencia. Por esto mismo, se elegirá el panel JA Solar JAM72S09, se adjunta la ficha técnica en un Anexo.

Ahora que se a elegido el panel deseado, se han de realizar los cálculos pertinentes de la instalación para determinar el número de paneles y la disposición de estos. El primer paso es definir el número de horas de sol pico o HSP, con este parámetro se contabiliza la energía solar emitida en una hora con una irradiación de 1000 W/m².

$$I_{julio} = 178,6 \text{ kWh/m}^2$$

$$I_{HSP} = 1000 \text{ Wh/m}^2$$

$$I_{Día} = \frac{178,6}{31} = 5.76 \text{ kWh/m}^2$$

$$HPS_{crit} = \frac{I_{Día}}{I_{HSP}} = 5.76$$

Utilizando como variables:

- I_{julio} : irradiancia solar del mes crítico (julio).
- I_{HSP} : irradiancia solar hipotética.
- $I_{Día}$: irradiancia solar diaria

A continuación, se realizarán los cálculos necesarios para la obtención del número de paneles solares a instalar y su disposición:

$$N_{Total} = \frac{D_{crit}}{P_{Max} * HPS_{crit} * PR} = \frac{21.25 * 10^3}{380 * 5.76 * 0.9} = 10.78 = 11 \text{ paneles}$$

$$N_{serie} = \frac{V_{BAT}}{V_{MOD}} = \frac{24}{24} = 1 = 1 \text{ panel}$$

$$N_{paralelo} = \frac{N_T}{N_{serie}} = 11 = 11 \text{ ramas}$$

Utilizando como variables:

- D_{crit} : Representa la demanda diaria durante el mes crítico.
- P_{Max} : Corresponde a la potencia máxima que el panel solar puede proporcionar
- HPS_{crit} : Es la hora solar pico, que indica la cantidad de horas en las que se experimenta una irradiación de 1000 W/m².
- PR : es el ratio global de las instalaciones (0.9).
- N_{Total} : Es el número total de paneles que se necesitan para cubrir la demanda energética.
- N_{serie} : Es el número de paneles que se instalarán por cada rama.
- $N_{paralelo}$: Es el número de ramas que se instalarán en paralelo.

4.2 Inversor

Un inversor es una parte esencial en gran parte de las instalaciones eléctricas. Esto se debe a su capacidad de convertir la corriente continua en corriente alterna y viceversa. Esto se debe a que la energía proveniente de las baterías se trata de corriente continua, mientras que la mayoría de los dispositivos eléctricos de la actualidad se alimentan de corriente alterna.

En el caso particular de los paneles solares producen la corriente eléctrica en continua. Por lo que podría ser almacenada directamente, pero para su utilización es necesario que pase por el inversor para transformarla a corriente alterna.

Pero la conversión de corriente no es la única función de los inversores modernos. En la actualidad, gracias a la implementación de electrónica de potencia los inversores logran maximizar la producción de energía de los paneles solares mediante el seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT).

Y la mejor parte es que presentan una eficiencia altísima, por lo que tienen muy poca repercusión en el resultado final de la instalación. Su eficiencia se encuentra en valores de entre el 92% al 98%

4.2.1 Tipos de inversores

Hay varios tipos de inversores utilizados en instalaciones fotovoltaicas:

Inversores de cadena (o string): Este tipo de inversores son los más habituales en las instalaciones de baja potencia como las comerciales y las residenciales. Son denominados inversores de cadena porque conectan los paneles fotovoltaicos en serie. Presentan una eficiencia considerable y un bajo coste, por lo que son muy rentables. La gran desventaja que presentan es que su rendimiento se ve seriamente afectado en caso de que uno de los paneles de la serie presente algún problema o se encuentra sombreado, ya que, por su funcionamiento, la energía de salida se iguala a la menor de todos los paneles de la serie.

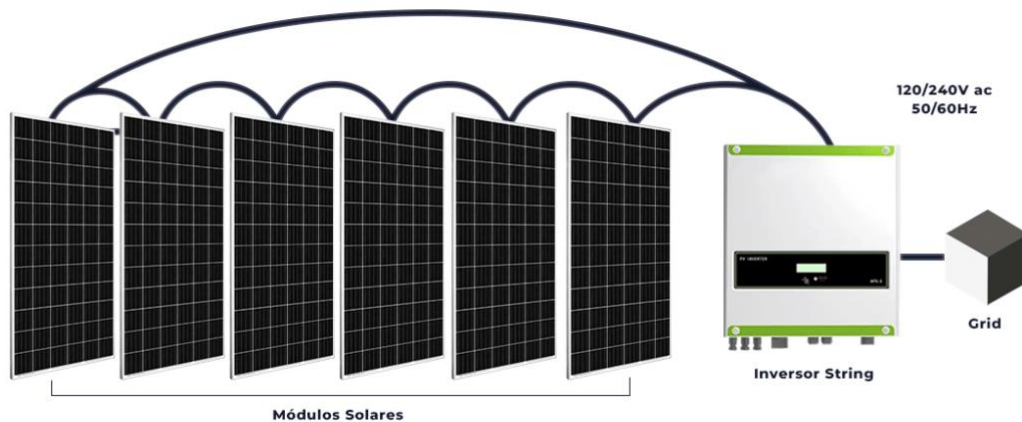


Figura 20: Esquema de funcionamiento de un inversor de cadena

- **Micro inversores:** Los micro inversores se caracterizan por instalarse individualmente uno por cada panel solar. Por lo tanto, se logra una independencia de operación en cada panel, de esta manera si un panel tiene algún problema o es sombreado no afecta a la eficiencia del resto de la instalación. Los micro inversores suelen tener un precio más elevado que los inversores de cadena debido a su incremento en eficiencia. Son utilizados principalmente en instalaciones que sufren de sombreado parcial o con paneles orientados de diferente manera.
- **Inversores con optimizadores de potencia:** Esta clase de inversores es un híbrido entre los dos mencionados con anterioridad. Los optimizadores de potencia se instalan en cada panel solar de manera individual, los cuales maximizan la intensidad de salida antes de hacerla llegar al inversor de cadena central para su transformación a corriente alterna. Esto permite la optimización individual por panel de la instalación, pero abaratando los costes frente a los micro inversores ya que la instalación se centra en el uso de un inversor de cadena.

Por lo tanto, dentro de los diferentes tipos de inversores explicados previamente y teniendo en cuenta que en el emplazamiento de la instalación no hay ningún edificio o Montañana para generar sombras parciales y el cielo de esa región de Zimbabue suele estar despejado, se elegirán un inversor de cadena, por abaratar el coste total de la instalación diseñada. Además,

se ha de mirar que el inversor elegido presente capacidad de cargar baterías y las protecciones frente a sobretensiones, cortocircuito y temperatura pertinentes para asegurar la duración en el tiempo de la instalación frente altercados no previstos.

4.2.2 Especificaciones técnicas del inversor

Los inversores son componentes clave en las instalaciones fotovoltaicas, y sus especificaciones técnicas son esenciales para su correcto funcionamiento. Aquí se presentan algunas de las especificaciones más importantes:

- Potencia nominal (W): La potencia nominal de un inversor es la potencia que puede suministrar de manera continua sin llegar a dañarlo.
- Potencia pico (Wp): La potencia pico es la potencia máxima que puede soportar un inversor en cortos periodos de tiempo, es típico alcanzarla en el arranque de máquinas de alto consumo.
- Tensión de entrada (Vin): La tensión de entrada es a la tensión en corriente continua a la que se conectará el inversor.
- Tensión de salida (Vout): La tensión de salida es la tensión que se obtiene tras la conversión a alterna.
- Consumo de standby(W): Esta especificación indica la cantidad de energía que consume el inversor cuando no está en uso.
- Temperatura (°C): Se trata de la temperatura de referencia a la que un inversor es capaz de suministrar su potencia nominal.
- Tipo de onda: Es el tipo de onda que presenta la corriente alterna a la salida del inversor, puede ser cuadrada o senoidal pura.
- Eficiencia (%): Esta es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada del inversor. El valor se ajusta en función de las condiciones de carga que están conectadas.

4.2.3 Cálculo de las especificaciones del inversor

El inversor se encuentra entre los 3 componentes esenciales de una instalación fotovoltaica, ya que la función de conversión de corriente entre alterna y continua es esencial para el funcionamiento de este tipo de tecnología. Para acotar el diseño y la selección del mejor inversor para cubrir las necesidades de cada edificio. Por lo que teniendo en cuenta un factor de seguridad del 25% se obtiene la siguiente potencia necesaria.

$$P_{acumulada} = 1700 \text{ W}$$

$$P_{inv} = 1.25 * 1700 \text{ W} = 2125 \text{ W}$$

Utilizando como variables:

- $P_{acumulada}$: Potencia constante del conjunto de todos los aparatos eléctricos del edificio a lo largo de un día.
- P_{inv} : Potencia mínima que debe poder suministrar el inversor.

Por lo que sabiendo que el inversor debe poder suministrar una potencia superior a 2125 W, se realizará una comparación entre las principales marcas de inversores, como se ha decidido anteriormente se utilizara un inversor en cadena con capacidad de carga:

Marca	Victron energy	SMA	SolarEdge
Modelo	Quattro	Sunny Boy 2.5	SE3000H
Potencia de salida a temperatura nominal (W)	2400	2500	3000
Potencia pico (W)	6000	5000	4650

Rendimiento (%)	93-94	97	98.8
Tensión de entrada (V)	24	50 / 80	50
Tensión de salida (V)	230	230	230
Máxima intensidad de carga (A)	70-120	100	90
Tamaño (mm)	362 x 258 x 218	460 x 357 x 122	142 x 370 x 2
Precio (€)	2250	1.135	1.010

Tabla 5: Comparativa de modelos de inversor

Todos los inversores seleccionados son capaces de soportar la potencia máxima demandada por el edificio, 2125W, incluso con un coeficiente de seguridad del 25%. Además, en todos los casos se ha sobredimensionado la potencia máxima del inversor en caso de ser necesario una expansión de la potencia de la instalación. Aunque sea el doble de caro que el resto, debido a la potencia máxima que soporta y su mayor intensidad de carga, además, por optar por este tipo de inversor, se descarta el uso de un regulador, ya que en el Victron Energy Quattro 2400W está incluido dentro del inversor, nos hemos decantado por esta misma opción.

Por lo tanto, el siguiente paso es comprobar los límites de entrada de corriente:

$$I_{inv,max} = I_{cc,PV} * N_{Paralelo} = 10.12 * 11 = 111.32 A$$

Como se encuentra dentro de los límites del inversor seleccionado, de entre 70 a 120 A, se puede determinar que el inversor elegido cumple con las necesidades de la instalación.

4.3 Sistema de almacenado

Como consecuencia de utilizar una instalación basada en paneles fotovoltaicos, se debe tener en consideración la variabilidad de potencia a lo largo de las diferentes horas del día y la ausencia de producción energética tras el anochecer. Por lo tanto, como única solución en la actualidad se ha de instalar un sistema de almacenamiento de energía. Se utilizarán baterías para acumular la energía generada en las horas de alta irradiación solar, para utilizarse a posteriori en las horas de mayor oscuridad.

Aunque no sea algo imprescindible en el caso específico de este proyecto, ya que las horas de utilización del edificio por norma general van a estar dentro de las horas de luz. Sin embargo, como se deben tener en cuenta las adversidades de la climatología para asegurar el mejor suministro de energía, se considera la utilización de baterías como algo esencial para el correcto funcionamiento de la instalación.

Por último, es importante mencionar un concepto clave en cualquier contexto en el que se mencionen baterías, la vida útil. La vida útil se define como el número de ciclos de carga y descarga que una batería es capaz de soportar otorgando un 80% o más de su capacidad nominal. Por este desgaste que sufren las baterías con su constante uso es recomendable diseñar un sistema con la robustez suficiente como para limitar el número de ciclos a lo largo de un periodo de tiempo. Por lo que se recomienda mantener la batería entre el 20% y el 80% de su capacidad nominal para alargar el máximo posible su vida útil.

Dada la naturaleza de la instalación, un sistema aislado con alta demanda, se requerirá el uso de varias baterías. Esto puede lograrse conectándolas en serie o en paralelo, por lo que se analizan ambas opciones.

La conexión en serie se caracteriza por aumentar la tensión mientras mantiene constante la capacidad, frente a la conexión en paralelo, que mantiene la tensión constante, pero obtiene una capacidad mayor que es la resultante de la suma de todas las baterías.

Dado que se requiere la máxima capacidad posible y se busca reducir el coste, se elige realizar la conexión en paralelo. En caso de necesitar un aumento de tensión, el inversor será el encargado de realizarlo.

4.3.1 Tipos de baterías

1. **Batería de plomo-ácido (Monoblock):** Se tratan de las baterías más comunes en las instalaciones fotovoltaicas. Esto se debe a su bajo coste y la disponibilidad. Sin embargo, su mayor desventaja es la necesidad de un mantenimiento constante he intensivo si se quiere garantizar su correcto funcionamiento a largo plazo. Dentro de este tipo de baterías existen dos tecnologías principales, las baterías de plomo-ácido inundadas, las cuales necesitan de un mantenimiento constante para rellenar el agua que pierden durante un ciclo de carga, y las baterías de plomo-ácido selladas, las cuales pueden considerarse carentes de mantenimiento.
2. **Baterías de flujo:** Las baterías de flujo son un tipo de baterías recargables que usan una tecnología basada en una solución de electrolitos líquidos que se desplazan a través de una célula energética donde ocurre una reacción electroquímica. Se emplean en grandes instalaciones, debido a su gran capacidad para soportar un alto número de ciclos de carga sin una pérdida notoria en su eficiencia.
3. **Baterías de níquel-cadmio (NiCd) y níquel-hierro(NiFe):** Este tipo de baterías son las menos comunes de utilizar en instalaciones fotovoltaicas. Se caracterizan por su longevidad y resistencia. Las baterías NiCd destacan en su aguante a condiciones extremas y su capacidad para soportar un alto número de ciclos de carga. Mientras que las baterías de NiFe se utilizan por su longevidad ya que con un correcto mantenimiento pueden llegar a durar décadas. Pero estos dos tipos de baterías tienen una gran desventaja, son de una eficiencia considerablemente menor que el resto de su competencia y requieren más mantenimiento.
4. **Baterías de iones litio:** Son las baterías más eficientes que se pueden conseguir en la actualidad y además tienen una vida útil sorprendentemente larga. No requieren casi mantenimiento y debido a su alta densidad energética pueden construirse en un espacio muy reducido logrando altas cantidades de energía almacenada. Sin embargo, al tratarse

de la opción más destacable en todos los aspectos su precio es el más elevado de la selección.

Por lo tanto, para este proyecto se ha decidido descartar las baterías de iones litio debido a su alto coste. Esta decisión viene dada por la alta necesidad de almacenamiento que necesitará la instalación al tratarse de un sistema aislado de la red, por lo que se necesitará un elevado número de baterías y el coste del proyecto se vería seriamente afectado. Por lo tanto, se considerará el uso de baterías de flujo o estacionarias como la opción principal para esta instalación debido a sus características intermedias y precio

4.3.2 Cálculo de las especificaciones de las baterías

Antes de diseñar el sistema de almacenamiento es necesario realizar cálculos previos para dimensionar la capacidad requerida para la instalación. Debido a la climatología de la región de Mount Darwin, donde se va a emplazar la instalación, se diseña la capacidad para soportar la demanda de un día sin superar su límite de descarga máxima recomendable, este parámetro suele establecerse en el 25 % de la capacidad total de la batería.

Por lo que para el dimensionamiento de las baterías de

$$Capacidad_{Bat} = \frac{D_{crit}}{Descarga_{maxd}} * \frac{1}{V_{bat}} = \frac{21.25 * 10^3}{0.25} * \frac{1}{24} = 3541 Ah$$

Por lo tanto, se debe dimensionar una batería de 24V, delimitados por el inversor, y con una capacidad mínima de 3514 Ah.

Modelo	Ultracell UZS600-6	ROLLS 24V S6 L16-HC S550	BAE 24V 431Ah
Tensión (V)	24	24	24
Capacidad nominal (Ah)	600	556	431
Tamaño (mm)	590 x 350 x 440	318 x 181 x 425	105 x 208 x 420
Unidades	6	7	9
Capacidad total (Ah)	3600	3892	3879
Precio unitario (euro)	1939,27	1.704,74	4.055
Precio total (euro)	11.635,62	11.933,18	36.495

Tabla 6: Comparativa de modelos de baterías

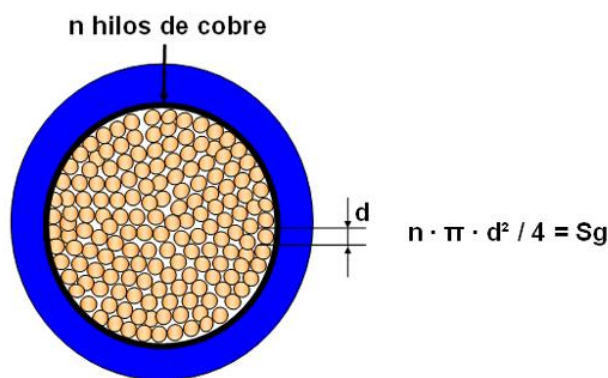
La batería de BAE queda descartada por su alto precio en comparación con las otras dos opciones. Entre las dos restantes se elige el modelo de ROLLS, ya que es una única batería de 24V, mientras que el modelo de Ultracell es una combinación de paralelos de baterías de 6V. Por lo que teniendo en cuenta la poca diferencia en el precio, por simplificar la instalación se ha descartado la opción de Ultracell.

4.4 Cableado

Un apartado altamente menospreciado en las instalaciones fotovoltaicas es el cableado. Sin embargo, la correcta implementación del cableado en una instalación solar es un aspecto esencial para asegurar el óptimo funcionamiento del sistema. El primer paso de que el diseño del cableado puede influenciar al voltaje, la intensidad y la potencia de la instalación solar.

Uno de los puntos clave en los que afecta la tensión de la instalación es si se llega a aumentar la tensión de la matriz solar a niveles superiores al límite del inversor, ya que la producción energética de la instalación se puede ver limitada por la capacidad máxima del inversor. Esto puede acabar afectando a la vida útil del inversor si la sobretensión es considerable. Pero también puede ocurrir el efecto contrario y que la tensión sea demasiado baja para el inversor seleccionado, por lo que la instalación presentara una producción ineficiente. Este efecto suele ocurrir si no se tiene en consideración la posibilidad de que se pueda sombrear algún panel solar de la instalación a lo largo del día.

Es primordial distinguir dos términos importantes, hilo y cable solar. El hilo solar se refiere a una sola hebra conductora, mientras que el termino de cable hace referencia a un conjunto de hilos unidos por una cubierta.



S_g = sección geométrica \neq sección nominal

Figura 21: Sección de un cableado genérico

Los hilos se utilizan para la conexión de los diferentes componentes de la instalación fotovoltaica. Existen dos grandes tipos de hilos, el hilo simple que se trata de un único conductor con un núcleo metálico y un hilo trenzado el cual se compone de varios conductores dispuestos con una trenza. El material conductor más utilizado en este tipo de instalaciones es el aluminio y el cobre.

Por otro lado, el cable solar se trata de un conjunto de hilos aislados, con cierta cobertura exterior. Al tratarse de un sistema fotovoltaico se han de diseñar los cables con una alta resistencia a la radiación Solar (UV), las condiciones meteorológicas del emplazamiento y la exposición a altas temperaturas por largos periodos de tiempo.

El grosor del cable variará según el tipo de instalación para el que se utilice y el número de conductores que contenga. Los cables de las instalaciones solares se clasifican en base al número de hilos y su calibre. En general hay tres clases de cables, cables solares de CC, cables principales de CC y cables de conexión de CA.

4.4.1 Especificaciones técnicas del cableado

Como se ha mencionado anteriormente, el diseño del cableado ha de atenerse a la normativa para garantizar un correcto funcionamiento. En el caso del país de emplazamiento de la instalación, Zimbabue, no existe una normativa claramente definida, por lo que se utilizará la de España como referencia. Por lo tanto, la instalación seguirá lo que dictamina el Código Eléctrico nacional. La instalación es de 220V, la cual entra dentro de la categoría de baja tensión según el reglamento previamente mencionado, y por lo tanto a de cumplir las siguientes directrices:

- **Límites de temperatura del conductor:** Este criterio determina el límite de temperatura plena carga de funcionamiento de los materiales aislantes utilizados. Los rangos se determinan en base a la intensidad que fluye por el cableado: Límite de 60°C para intensidades de 100^a o menos y 75°C para corrientes que sean superiores a 100A.
- **Límite de caída de tensión:** Hace referencia a la resistencia máxima permitida en los cables, ya que por mi baja que sea sigue siendo algo para tener en cuenta en el diseño

de una instalación fotovoltaica, nunca debe exceder el 5% para así evitar dañar la instalación.

- **Límite de corriente de cortocircuito:** Los límites mencionados anteriormente hacen referencia a límites en su funcionamiento continuo, sin embargo, el límite de corriente en cortocircuito hace referencia a los picos de corta duración que pueden causar grandes incrementos en la corriente y temperatura. Por lo tanto, se establecen límites mucho mayores, 160°C para aislantes termoplásticos y 250°C para cables con aislamiento termoestable. Aunque debido a la baja tensión de la instalación del proyecto no es un límite sustancial que considerar a la hora de su diseño.

4.4.2 Cálculo de las especificaciones del cableado

El primer y más importante parámetro que es necesario calcular para el diseño del cableado de la instalación es la sección mínima de este. Por lo tanto, si se analiza la fórmula para calcular dicha sección mínima se llega a la conclusión de que es necesario saber la longitud del cableado de la instalación, pero como esa información es desconocida se hará una estimación lo más cercana a la realidad posible, para que se reajuste este cálculo posteriormente cuando se tengan los valores exactos de la instalación. Se asume una longitud aproximada de unos 80 metros de cableado, el cual presenta una conductividad genérica del cobre de $0.056 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$, con una tensión marcada por el circuito de continua de 24V y 230V en alterna, una caída de tensión genérica del 5% y una intensidad de 5 A.

La fórmula para su cálculo es la siguiente:

$$S = \frac{2 * L * I}{\rho * \Delta U} = \frac{2 * 80 * 5}{56 * 0,05 * 24} = 4,762\text{mm}^2$$

Utilizando como variables:

- L = longitud.
- I = intensidad.

- ρ = resistividad, inverso de la conductividad.
- ΔU = caída de tensión máxima admisible.

Marca	HB Digital	SOLARFLEX	Alpha Wire
Modelo	H1Z2Z2-K	X-50mm2	UL AWM
Tipo de corriente	Continua	Continua	Alterna
S (sección, mm ²)	6	50	50
L (longitud, m)	80	10	100
Precio por metro	1,46	15,5	1.8
Precio total	116.8	150	180

Tabla 7: Comparativa entre la selección de cableado de la instalación

Después de realizarse un estudio de mercado se ha decidió emplear el siguiente cableado. El cable principal de la zona de corriente continua es el HB Digital H1Z2Z2-K con una sección de 6mm² del cual se estima que serán necesarios unos 80 metros. Debido a la criticidad de las conexiones internas entre las baterías y el inversor, y dadas las posibles corrientes elevadas que pueden ocurrir en este tramo, se ha decidido utilizar un cable de mayor sección con 50mm² de SOLARFLEX, el X-50mm², debido a la escasa longitud entre la apartamenta, se ha estimado un gasto de 10 metros de este modelo de cable. Y por último para el cableado del edificio en alterna se ha seleccionado el cable UL AWM de Alpha Wire, con un consumo estima de unos 100 metros.

4.5 Seguridad

Una parte esencial de la seguridad en una instalación fotovoltaica es la correcta implantación de una puesta a tierra para protección del sistema. Como función principal de la puesta a tierra se debe proporcionar una ruta segura para la corriente eléctrica en caso de fallo del sistema.

4.5.1 Puesta a tierra

En caso de diseñar una puesta a tierra es primordial hacerlo acorde las normas locales y nacionales de seguridad y construcción. Pero volviendo a lo que ocurría en anteriormente, al tratarse de Zimbabue, el cual es un país sin muchas normas definidas en este ámbito, para este proyecto se utilizará como referencia la normativa española. Donde se determina la necesidad de medir la resistencia a tierra de manera regular para poder asegurar que se encuentra dentro de los márgenes establecidos.

Es crucial resaltar la importancia de una correcta instalación de la puesta a tierra en cualquier instalación fotovoltaica, no solo por la necesidad de proteger la instalación, sino para garantizar su longevidad.

En el caso de las instalaciones fotovoltaicas es necesario implementar dos puestas a tierra principales. La puesta a tierra del sistema, que se encuentra en corriente continua, y la puesta a tierra del equipo, que se encuentra a corriente continua:

1. Puesta a tierra del sistema (CC): Este sistema ayuda a proteger la instalación de sobretensiones, las cuales pueden ser originadas por un rayo o variaciones súbitas de la tensión de la red. En la puesta a tierra del sistema se suelen tener conectados el punto positivo y negativo de los módulos solares.
2. Puesta a tierra del equipo (CA): Esta puesta a tierra ayuda a la protección del equipo y personal de mantenimiento de fallos en el aislante del equipo, ya que está conectada a los componentes metálicos no conductores, como el marco de los módulos fotovoltaicos, cajas de conexión, etc.

4.5.2 Cálculo de las especificaciones de la puesta a tierra

Una puesta a tierra debe estar compuesta por dos picas de más de dos metros de largo, que han de ser enterradas y una conexión de al menos cincuenta metros de cable desnudo.

	Unidades	Precio (euros)
Picas	2	20
Cable desnudo de cobre	50 m	401,12

Tabla 8: Selección de material para la puesta a tierra

4.6 Soporte estructural de la instalación

Un componente esencial de este tipo de instalaciones, normalmente olvidado, son las estructuras de soporte de los paneles solares. Esto se debe son la base sobre las cual se instalan los paneles. Son estructuras que se caracterizan por su robustez y resistencia para poder soportar todo el peso de los componentes y asegurar una longevidad frente a las adversidades climatológicas.

Este tipo de estructuras al encontrarse al aire libre deben ser fabricadas en materiales resistentes a la corrosión, como los aceros galvanizados o el aluminio. Y en su diseño se debe contemplar la ventilación de los paneles solares para asegurar un buen flujo de la temperatura y mejorar el rendimiento de estos.

Existen tres tipos de estructuras utilizadas para instalaciones fotovoltaicas en tejados:

1. Estructura de montaje en tejados inclinados: Son las estructuras más utilizadas en edificios residenciales con techos inclinados. Son fijadas a los tejados con conexión directa a las vigas a través de ganchos o abrazaderas, garantizando la seguridad de la instalación. AL no ser ajustables después de su instalación se debe determinar orientación e inclinación en la fase de diseño.

2. Estructura de montaje en tejados planos: Al tratarse de tejados sin inclinación se deben colocar estructuras para orientar los paneles correctamente a la dirección de la radiación solar. Por lo que se montan estructuras de soporte, que pueden ser ancladas al tejado a través de perforaciones o se utilizan pesos para poder mantener la impermeabilidad del tejado. Son estructuras más flexibles en cuanto a diseño, ya que no tienen un ángulo determinado por el propio tejado.
3. Estructura de seguimiento solar: Son las estructuras menos comunes entejados. Son estructuras diseñadas para orientar el panel según la hora del día para maximizar la energía que captan del sol en todo momento.

Lo que se puede extraer de analizar los diferentes tipos de estructuras es que las dos variables para elegir el tipo que más convenga para tu instalación es si tu tejado es plano o inclinado y si se desea maximizar la captación de energía a lo largo de todas las horas de sol o no. Sabiendo que los tejados generalmente son construidos con un ángulo de 15°, y en base a los cálculos realizados con anterioridad, se puede asumir que para esta instalación no será necesario utilizar estructuras de seguimiento solar y al tratarse de un tejado inclinado, se descarta la segunda opción.

4.6.1 Cálculo de las especificaciones del soporte estructural

Modelo	Nº de estructuras	Precio (€) /Unidad	Precio total (€)
Estructura 1 Panel Coplanar Falcat	11	29,80	327.8

Tabla 9: Selección de material para la Estructura de los paneles fotovoltaicos

4.7 Elección de componentes y diseño final

Componente	Panel Solar	Inversor	Batería	Estructura
Modelo	JA Solar JAM72S09	Victron energy Quattro 24V	ROLLS 24V S6 L16-HC S550	Estructura 1 Panel Coplanar Falcat
Tensión (V)	24	24	24	N/A
Rendimiento (%)	19,6	93.5	100 (Aprox)	N/A
Precio unitario (euro)	190	2250	1.704,74	29,8
Unidades	11	1	7	11

Tabla 10: Elección final de los componentes de la instalación (1/2)

Componente	Cableado			Puesta a tierra	
Modelo	HB Digital H1Z2Z2-K CC	SOLARFLEX X-50mm ² CC	Alpha Wire UL AWM CA	Picas	Cable desnudo de cobre
Tensión (V)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Rendimiento (%)	99	99	99	N/A	N/A
Precio unitario (euro)	1,46	15.5	1.8	10	8
Unidades	80m	10m	100m	2	50m

Tabla 11: Elección final de los componentes de la instalación (2/2)

5. Mantenimiento de la instalación

Otro aspecto esencial por tratar en una instalación es su mantenimiento. Debido a como está diseñada la de este proyecto se centrará este punto en los tres principales componentes: Paneles solares, inversores y baterías. Este apartado del proyecto es esencial para poder alargar la vida útil de la instalación lo máximo posible y evitando numerosos problemas a lo largo de todo ese tiempo. Para ejecutar correctamente el mantenimiento se debe prestar especial atención a las especificaciones determinadas por el fabricante de cada uno de los productos, ya que en sus manuales se encontrará un apartado de mantenimiento, que determinará como realizarlo correctamente.

Ante todo, da igual de que componente se está hablando, siempre se debe realizar el mantenimiento con el sistema totalmente desconectado y fuera de procesos de producción.

5.1 Mantenimiento Paneles Solares

En el caso de los paneles solares el mantenimiento se puede considerar sencillo, relativamente, pero sigue siendo un aspecto crucial para asegurar el rendimiento y la longevidad de la instalación fotovoltaica. Por lo que se podrían determinar tres puntos esenciales para considerar el mantenimiento como completo:

1. **Limpieza:** El aspecto de la limpieza por muy simple que pueda llegar a sonar es uno de los puntos más clave para mantener un rendimiento óptimo de la instalación, además de ser el que menor conocimiento técnico necesita. Como los paneles están expuesto al exterior pueden acumularse suciedad en ellos, desde polvo hasta excrementos de aves. Por lo que se recomienda limpiar los paneles de manera periódica, siguiendo un protocolo para evitar dañarlos. De manera generalizada un chorro de agua es suficiente para eliminar toda la suciedad de los paneles, pero en caso de haber suciedad más persistente con un cepillo enjuagado en agua y jabón, sin realizar mucha presión en las placas debería bastar para completar la limpieza.
2. **Inspección:** Aunque la construcción de los paneles solares contempla la exposición a la intemperie, se debe inspeccionar de manera regular el estado de los paneles para

avistar con tiempo cualquier señal de daño o desgaste. También es recomendable revisar las conexiones entre los paneles y los cables.

3. **Monitoreo del rendimiento:** Y, por último, en los sistemas fotovoltaicos suele incluirse un sistema de monitoreo del rendimiento que permite detectar variaciones en la producción de energía, por lo que se podría llegar a anticipar un problema mucho mayor antes de que ocurra. Por lo que, si el rendimiento disminuye por debajo de los niveles deseados, se debe revisar la instalación minuciosamente.

5.2 Mantenimiento Inversor

En el caso de los inversores se caracterizan por necesitar muy poco mantenimiento. Una vez instalado simplemente hay que centrarse en dos aspectos:

1. **Inspección visual:** Es recomendable realizar periódicamente inspecciones visuales del inversor para revisar la presencia de daños físicos en el componente, desde roturas de la carcasa, corrosión o signos de quemaduras. Un punto clave es la revisión de los indicadores lumínicos que aseguran el correcto funcionamiento del inversor.
2. **Limpieza:** Al igual que en los paneles solares, la aparición de polvo suele ser uno de los principales motivos de malfuncionamiento de este componente, ya que afecta al rendimiento y puede llegar a ser la causa de un sobrecalentamiento.

5.3 Mantenimiento Baterías

El mantenimiento de las baterías al igual que el resto se realiza para lograr una mayor longevidad de la instalación. Por lo tanto, para asegurar una larga vida a las baterías principalmente se deben controlar tres factores, temperatura, profundidad de descarga y almacenamiento.

1. El mayor fallo que sufren las baterías se atribuye a la sulfatación. La sulfatación es un proceso químico a través del cual se forman cristales de sulfato en las diferentes placas de plomo de la batería, lo que bloquea las reacciones químicas necesarias en el interior de la batería para su funcionamiento. La sulfatación es un proceso que ocurre a bajos niveles de carga o de electrolito. Por todo esto es esencial monitorizar estos dos

aspectos de las baterías de la instalación. Para ello se necesitará agua destilada, un voltímetro digital, un hidrómetro con compensación de temperatura y el equipo de seguridad pertinente.

2. Para la limpieza las baterías deben ser limpiadas periódicamente con bicarbonato sódico, agua destilada y un cepillo específico para la tarea de limpiar baterías. Posteriormente se debe aclarar los terminales poniendo especial atención en todas las conexiones, revisando que estén bien ajustadas y cubriendo con un sellador comercial o grasa resistente a altas temperaturas todas las partes metálicas.
3. También se debe revisar el voltaje de la batería, para asegurarse de que sigue siendo el mismo. Para asegurarse de que no haya una caída de tensión que pueda dañar el resto de los componentes.

6. Viabilidad económica (presupuesto)

A lo largo de este informe se han expuesto de minuciosa manera la importancia de la viabilidad económica del proyecto. Este proyecto plantea como objetivo principal el desarrollo de un sistema de producción de energía en una comunidad aislada de Zimbabue, por lo que la ONG que propone el proyecto, Child Future Africa, es consciente de la dificultad de obtener los fondos necesarios para realizar este tipo de instalaciones.

A continuación, se detallan todos los costes necesarios para la instalación, desde la adquisición de paneles solares hasta los requerimientos de mantenimiento. Los elementos utilizados para el cálculo de la demanda teórica no se consideran dentro del presupuesto del proyecto ya que no corresponden a la instalación de generación eléctrica. Como disclaimer de los números presentados en este proyecto, han sido calculados de manera aproximada y con un alto coeficiente de seguridad para asegurar el correcto funcionamiento del producto final.

Componente	Unidades	Precio Unitario (euro)	Precio Total (euro)
Paneles Solares	11	190	2.090
Inversor	1	2.250	2.250
Batería	7	1.704,74	11.933,18
Estructura	11	29,8	327,8
Cableado CC	80m	1,46	116,8
Cableado CC (Inv-BAT)	10m	15,5	155
Cableado CA	100m	1,8	180

Picas de puesta a tierra	2	10	20
Cable desnudo de cobre	50m	8,022	401,12
Mantenimiento	-	-	500
Total	-	-	17.974

Tabla 12: Calculo de costes totales de la instalación

El coste total de la instalación se estima entorno a los 18.000 euros. Teniendo en cuenta que la amortización de este tipo de instalaciones se amortiza a 25 años, el resultado de este ejercicio deja una amortización anual de 720 euros.

Es crucial subrayar que nuestro proyecto tiene una naturaleza altruista y se enmarca dentro de una serie de proyectos que se implementarán en Mount Darwin. Estos proyectos son ejecutados por estudiantes de los últimos años de ICAI en colaboración con la ONG Child Future Africa. No solo se dedican al ámbito energético, sino que también están desarrollando una presa y mejoras en la tecnología agraria de la región.

Al tratarse de una ONG, se debe buscar financiación, por lo que se proponen una serie de actividades para recaudar fondo para los proyectos.

1. **Mercadillo solidario:** Se podría poner en contacto con pequeñas marcas dispuestas a donar productos, de tal forma que se darían a conocer y los beneficios del mercadillo serían íntegros para la organización. Dentro de este mercadillo se podría hacer una especie de lotería/rifa en la que se sorteen toda clase de productos.
2. **Torneo deportivo:** Actualmente, con la fama que se ha ganado entre mucha gente, realizar un torneo de pádel o futbol en los cuales se cobrase una pequeña cantidad por la participación.

3. **Diseño de Línea de ropa:** Y de forma paralela a estos dos tipos de eventos se podrían diseñar prendas características de la ONG, que se venderían en los eventos y de forma libre, para poder aumentar la recaudación de fondos de forma paralela.

7. Plan de ejecución

Para el plan de ejecución del proyecto se debe determinar los pasos a seguir para la instalación del sistema de generación energética diseñado a lo largo de todo este proyecto. Se debe garantizar un listado de funciones para que los voluntarios y los miembros de la comunidad puedan llevar a cabo la instalación de manera correcta con la supervisión de un especialista.

Los pasos a seguir son los siguientes:

1. El punto de partida del proyecto es la movilización del personal (voluntarios y especialistas) a la región de Mount Darwin, Zimbabue. Tras su llegada lo primero que deben de hacer en relación con este proyecto, es comprobar si las dimensiones del edificio y la inclinación del tejado son las seleccionadas para los cálculos aproximados. De esta manera se podrá reajustar los cálculos previstos, para asemejarlo lo máximo posible a el edificio real.
2. Como los materiales no pueden ser importados desde España, debido a los posibles problemas que se pueden llegar a generar en las aduanas, se ha de llevar la adquisición de la aparamenta necesaria para la construcción de la instalación. Dada la situación del país de origen, Zimbabue, hay una gran probabilidad de que no se logre encontrar todos los componentes seleccionados en el diseño del proyecto. En tal caso, se deberá buscar las alternativas más próximas a los componentes con los que se ha dimensionado la instalación.
3. Instalación de la aparamenta:
 - a. El primer elemento que es necesario instalar es el soporte de los paneles solares. Como se menciona anteriormente, al encontrarse la instalación en un país del hemisferio sur, la orientación idónea para maximizar el rendimiento es norte, lo que puede establecerse con ayuda de elementos de medida de precisión. El ángulo previsto para el tejado de los edificios es de 15°, por lo que se deben instalar soportes que estén diseñados para dicha inclinación.

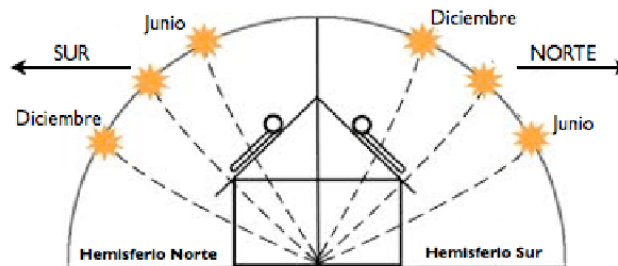


Figura 22: Orientación del edificio

- b. Los siguientes elementos por instalar son los paneles solares. Se deben colocar los 11 paneles solares en sus respectivos soportes, asegurándose una correcta fijación de estos. Utilizando el cableado seleccionado para la conexión en CC de los paneles solares se deben conectar en serie los 11 paneles dispuestos.
 - c. Posteriormente, se conectarán los paneles solares con el inversor con el mismo tipo de cableado.
 - d. El siguiente paso implica el montaje del sistema de almacenamiento, primero se deben conectar las baterías entre sí, para posteriormente conectarlas al inversor con el cable especializado para esta tarea.
 - e. Y, por último, se debe realizar el cableado de CA del edificio, saliendo del inversor e instalando puntos de corriente para la iluminación y los puntos de carga para los ordenadores.
4. Y para terminar la instalación se debe realizar la puesta a tierra, para poder considerar asegurada la aparamenta eléctrica, por lo que se debe realizar conjuntamente la puesta a tierra de CC y de CA.

7.1 Cronograma del proyecto

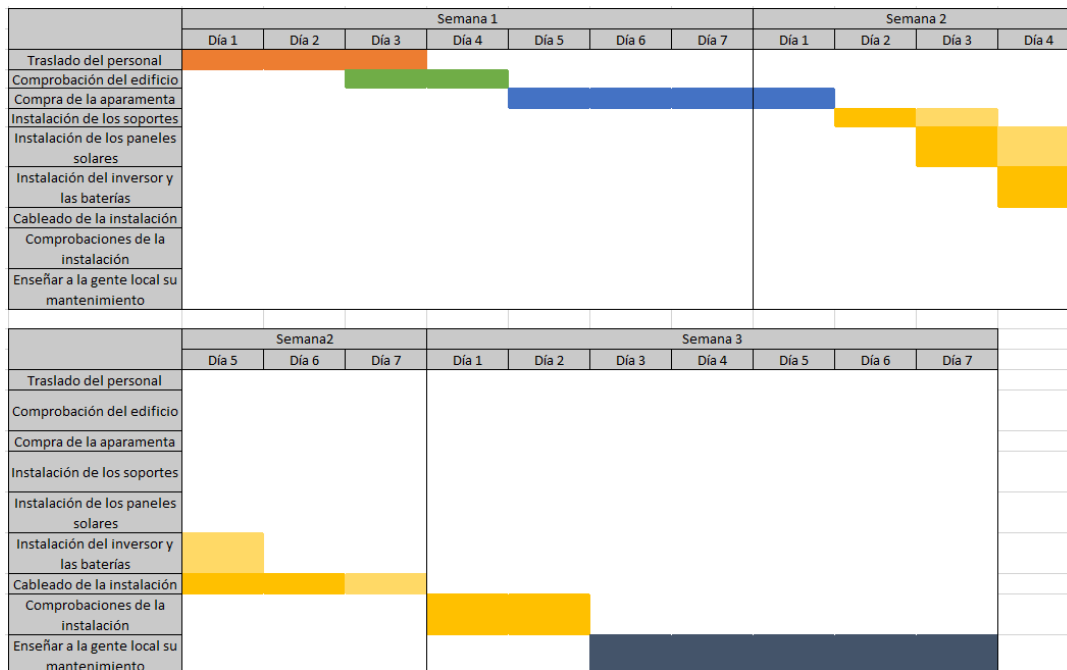


Figura 23: Cronograma de la instalación del proyecto

El desarrollo de las tareas del cronograma sería el siguiente:

1. Traslado del personal: Debido a la localización de Mount Darwin, que se encuentra completamente aislada, se plantean tres días de viaje por las posibles complicaciones que puedan ocurrir de improviso. Ya que desde que se aterriza en Zimbabue para llegar al emplazamiento se debe ir en coche por caminos en muy mal estado.
2. Comprobación del edificio: El primer día de comprobación del edificio se solapa con el viaje ya que no se tiene estimado la duración exacta del mismo y para que el personal pueda descansar y no tenga mucha carga nada más llegar. El segundo día realizarán todas las comprobaciones necesarias para asegurar que la instalación diseñada puede realizarse en el edificio.
3. Compra de la aparamenta: Este punto es uno de los más complicados ya que no se conoce con exactitud como funciona el mercado local. Y si será posible encontrar los modelos utilizados para el diseño, ya que fueron seleccionados en base a la oferta del mercado español. Por esto mismo, se le da cuatro días de duración, ya que no se sabe

como de complicado va a ser obtener todo el material. Además, si es imposible encontrar todos los componentes con exactitud, se deberá realizar nuevos cálculos en base a los productos encontrados.

4. **Instalación:** La instalación total de sistema durará aproximadamente poco más de una semana. Se estructura dejando un día suelto para dedicar a cada componente, mientras se debe comprobar que el componente anterior ha sido instalado con precisión y de acorde al manual.
5. **Comprobación de la instalación:** Como último trabajo directo que se tiene que hacer sobre el sistema, se debe comprobar la seguridad de la instalación y su correcto funcionamiento, llevando al límite de su uso y comprobando si es capaz de soportarlo
6. **Enseñar a la gente local su mantenimiento:** Aunque se trate de una instalación de bajo mantenimiento, sigue siendo necesario dedicarle atención de vez en cuando. Por esto mismo es esencial enseñar a la gente local como deben cuidar el material de tal forma de que ellos mismo sean autosuficientes a la hora de asegurar su correcto funcionamiento para toda la vida útil de la instalación, unos 25 años, ya que los voluntarios y especialistas que se encuentran en el momento de la instalación del sistema, no van a quedarse ahí en todo momento, por lo que las funciones de mantenimiento se deben delegar a los locales en todo momento.

8. Conclusiones

Para concluir con este proyecto empezando por la parte técnica del mismo, se puede concluir que uno de los mayores retos que acechaba a lo largo de todo el trabajo realizado es la falta de información y la incertidumbre de cuales iban a ser los retos y complicaciones que no habían sido previstos a la hora de llegar a Zimbabue. EL proyecto ha sido diseñado con un margen suficiente como para poder hacer frente a la mayor parte de los imprevistos que puedan llegar a suceder, desde la ausencia de los componentes seleccionados en el mercado local del país, hasta grandes variaciones en el terreno que no se podían contemplar desde las fotografías de ellos satélites e incluso un fallo en el cálculo aproximado de la demanda del centro educativo.

Aunque la incertidumbre asola el proyecto, se pueden considerar optimas las principales decisiones tomadas para el diseño del sistema fotovoltaico. Primero, estamos seguros de que, independientemente del modelo, la mejor opción para los paneles solares, por su precio y eficiencia, son los monocristalinos, y si pueden ser de 24 V, mejor. En segundo lugar, se ha decidido con total seguridad la utilización de baterías ion litio (estacionarias), ya que debido a su escasez de mantenimiento y su larga vida útil son una opción perfecta para este proyecto. El último componente principal seleccionado es el inversor, que gracias a un modelo encontrado se ha podido eliminar la instalación del regulador de carga ya que está integrado en el mismo inversor. El inversor presenta una tensión de 24V, lo que determina la tensión del resto de la aparamenta.

Otro de los principales aspectos de este proyecto, es la viabilidad económica del mismo. A lo largo del diseño de todo el proyecto se ha ido acotando las decisiones tomadas con el presupuesto final siempre en mente, limitándolo lo máximo posible, sin perder eficiencia en el diseño final del sistema. Por lo que, tras realizar el estudio económico pertinente, considerándose una amortización de 25 años, el promedio dentro de este tipo de instalaciones, se determina una amortización anual de 720 euros.

Y para terminar con las conclusiones cabe destacar que este proyecto no solamente presenta un enfoque técnico, sino que tiene una gran parte humanitaria. Ya que como se contextualiza en la introducción, Zimbabue es un país con una situación socioeconómica pésima, por lo que este

tipo de proyectos que intenta fomentar la educación en comunidades aisladas del país son de gran ayuda para introducir de vuelta a la sociedad moderna.

9. Bibliografía

[1] Chelminsky, A., López González, M.R. y Osornio Ramos, A. (junio de 2020). *República de Zimbabwe: Ficha técnica*.

https://centrogilbertobosques.senado.gob.mx/docs/F_Zimbabue.pdf

[2] Ferrovial (19 de febrero de 2019) *Infraestructuras sociales y acción social en España*.

<https://newsroom.ferrovial.com/es/noticias/infraestructuras-sociales-accion-social-espana-2019/>

[3] Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (9 de julio de 2021). *Documento del programa para el país: Zimbabwe*.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

[4] Organización de las Naciones Unidas (s.f.). *Objetivos de desarrollo sostenible*.

https://www.unicef.org/executiveboard/media/7126/file/2021-PL21-Zimbabwe_CPD-ES-ODS.pdf

[5] Vizcarra, L. (9 de agosto de 2021). *Energía solar en Zimbabwe salvando vidas*.

<https://keeui.com/2021/08/09/energia-solar-en-zimbabwe-salvando-vidas/>

[6] BOE. Real decreto 842/2002: Reglamento electrotécnico para baja tensión e ITC. 2 agosto.

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2002-18099>

[7] Manual de cálculo de instalación fotovoltaica aislada con baterías

<https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/calculo-sistema-fotovoltaico-aislado/>

[8] iluminación seleccionada para la estimación de la demanda

<https://cree.widen.net/s/gpr9m6xrhd/cr-series-gen-ii-version-b-architectural-troffer-spec-sheet>

[9] Climatología de la región de emplazamiento

<https://es.weatherspark.com/y/96834/Clima-promedio-en-Mount-Darwin-Zimbabue-durante-todo-el-a%C3%B1o>

[10] Tienda general de material de instalaciones fotovoltaicas

<https://autosolar.es/>

[11] Datasheet de los paneles solares elegidos

https://www.teknosolar.com/wp-content/uploads/2020/10/ft_sm_ja_375-395m_72_jam72s09_pr_5bb_1979x996x40_1200_en.pdf

[12] Datasheet del Inversor seleccionado

<https://www.victronenergy.com.es/upload/documents/Datasheet-Quattro-3kVA-15kVA-ES.pdf>

[13] ¿Cómo calcular la sección de conductores para instalaciones de paneles solares?

<https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/calculo-seccion-de-cable-para-paneles-solares/#Como-calcular-la-seccion-de-conductores-para-instalaciones-de-paneles-solares>

[14] Imagen Orientación edificios

<https://about-haus.com/mejor-orientacion-para-tu-casa/>

[15] Noticia sobre Givepower

https://www.lespanol.com/omicrono/hardware/20220912/unica-planta-energia-ademas-produce-potable-personas/699680100_0.html

[16] Datos radiación solar

https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

[17] Cuánto tiempo dura el proceso de instalación de los paneles solares

<https://www.factorenergia.com/es/blog/autoconsumo-electrico/cuanto-tiempo-dura-el-proceso-de-instalacion-de-los-paneles-solares/#:~:text=En%20primer%20lugar%2C%20el%20tiempo,varios%20d%C3%ADas%20para%20su%20instalaci%C3%B3n.>

10. Anexos

Datasheet del inversor seleccionado, Victron energy Quattro 24V:

Quattro	12/3000/120-50/50 24/3000/70-50/50	12/5000/220-100/100 24/5000/120-100/100 48/5000/70-100/100	24/8000/200-100/100 48/8000/110-100/100	48/10000/140-100/100	48/15000/200-100/100
PowerControl / PowerAssist	Sí				
Conmutador de transferencia integrado	Sí				
2 entradas CA	Rango de tensión de entrada: 187-265 VCA Frecuencia de entrada: 45 – 65 Hz Factor de potencia: 1				
Corriente máxima de alimentación (A)	2x 50	2x100	2x100	2x100	2x100
INVERSOR					
Rango de tensión de entrada (VCC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V				
Salida (1)	Tensión de salida: 230 VCA ± 2% Frecuencia: 50 Hz ± 0,1%				
Potencia cont. de salida a 25°C (VA) (3)	3000	5000	8000	10000	15000
Potencia cont. de salida a 25°C (W)	2400	4000	6400	8000	12000
Potencia cont. de salida a 40°C (W)	2200	3700	5500	6500	10000
Potencia cont. de salida a 65°C (W)	1700	3000	3600	4500	7000
Pico de potencia (W)	6000	10000	16000	20000	25000
Eficacia máxima (%)	93 / 94	94 / 94 / 95	94 / 96	96	96
Consumo en vacío (W)	20 / 20	30 / 30 / 35	60 / 60	60	110
Consumo en vacío en modo de ahorro (W)	15 / 15	20 / 25 / 30	40 / 40	40	75
Consumo en vacío en modo de búsqueda (W)	8 / 10	10 / 10 / 15	15 / 15	15	20
CARGADOR					
Tensión de carga de 'absorción' (VCC)	14,4 / 28,8	14,4 / 28,8 / 57,6	28,8 / 57,6	57,6	57,6
Tensión de carga de "flotación" (VCC)	13,8 / 27,6	13,8 / 27,6 / 55,2	27,6 / 55,2	55,2	55,2
Modo de almacenamiento (VCC)	13,2 / 26,4	13,2 / 26,4 / 52,8	26,4 / 52,8	52,8	52,8
Corriente de carga de la batería auxiliar (A) (4)	120 / 70	220 / 120 / 70	200 / 110	140	200
Corriente de carga batería arranque (A)	4 (solo modelos de 12 y 24V)				
Sensor de temperatura de la batería	Sí				
GENERAL					
Salida auxiliar (A) (5)	25	50	50	50	50
Relé programable (6)	3x	3x	3x	3x	3x
Protección (2)	a - g				
Puerto de comunicación VE.Bus	Para funcionamiento paralelo y trifásico, supervisión remota e integración del sistema				
Puerto de comunicaciones de uso general	2x	2x	2x	2x	2x
On/Off remoto	Sí				
Características comunes	Temp. de trabajo: -40 a +65 °C Humedad (sin condensación): máx. 95%				
Altitud máxima	3500 m				
CARCASA					
Características comunes	Material y color: aluminio (azul RAL 5012) Grado de protección IP 21				
Conexión a la batería	Cuatro pernos M8 (2 conexiones positivas y 2 negativas)				
Conexión 230 V CA	Bornes de tornillo de 13 mm. ² (6 AWG)	Pernos M6	Pernos M6	Pernos M6	Pernos M6
Peso (kg)	19	34 / 30 / 30	45 / 41	51	72
Dimensiones (al x an x p en mm.)	362 x 258 x 218	470 x 350 x 280 444 x 328 x 240 444 x 328 x 240	470 x 350 x 280	470 x 350 x 280	572 x 488 x 344
NORMATIVAS					
Seguridad	EN-IEC 60335-1, EN-IEC 60335-2-29, EN-IEC 62109-1				
Emisiones, Inmunidad	EN 55014-1, EN 55014-2, EN-IEC 61000-3-2, EN-IEC 61000-3-3, IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-3				
Vehículos de carretera	Modelos de 12 y 24V: ECE R10-4				
Antiisla	Visite nuestra página web				
1) Puede ajustarse a 60 Hz. Modelos de 120 V bajo pedido					
2) Claves de protección:					
a) cortocircuito de salida					
b) sobrecarga					
c) tensión de la batería demasiado alta					
d) tensión de la batería demasiado baja					
e) temperatura demasiado alta					
f) 230 VCA en la salida del inversor					
g) ondulación de la tensión de entrada demasiado alta					
3) Carga no lineal, factor de cresta 3:1					
4) Hasta 25 ° C de temperatura ambiente					
5) Se desconecta sin hay fuente CA externa disponible					
6) Relé programable que puede configurarse, entre otros, como función de alarma general, subtensión CC o arranque del generador					
Capacidad nominal CA 230 V/4 A					
Capacidad nominal CC 4 A hasta 35 VCC, 1 A hasta 60 VCC					

Datasheet de las baterías seleccionadas, ROLLS 24V S6 L16-HC S550:




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



Specifications			
	Weight	55.5 kg	122.5 lbs
	Length	31.8 cm	12.5"
	Width	18.1 cm	7.13"
	Height Inc. Term.	42.55 cm	16.75"
Electrolyte Reserve	57 mm	2.25"	
Container	High Density Polypropylene		
Cover	High Density Polypropylene		
Handles	Rope / Plastic Handle		

Product measurements & weights are calculated based on sample data. Individual specifications are subject to vary due to the manufacturing process, battery components & electrolyte levels.

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

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

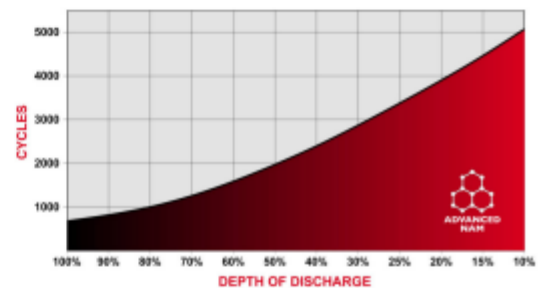
Capacity	
Cold Crank Amps (CCA) 0°F / -18°C	1040
Marine Crank Amps (MCA) 32°F / 0°C	1299
Reserve Capacity (RC @ 25A)	861 Minutes
Reserve Capacity (RC @ 75A)	226 Minutes

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

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

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

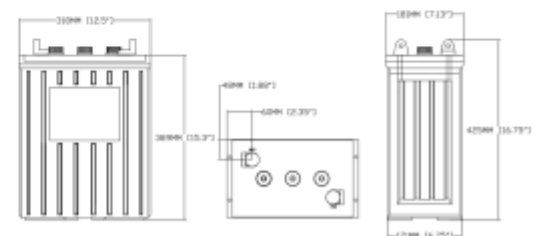
Cycle Life vs. Depth of Discharge



Voltage vs. Depth of Discharge


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

Detailed Illustration



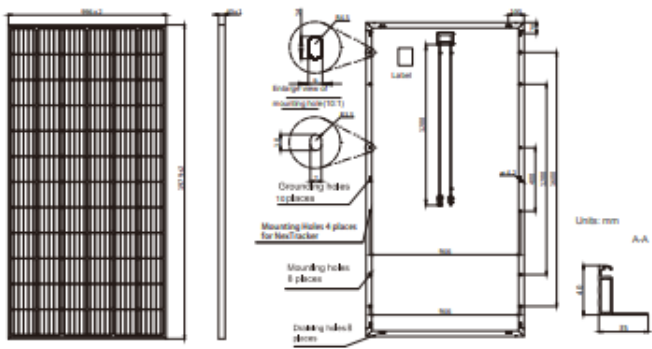
Rev.#2 | May 2019

Datasheet de los paneles seleccionados, JA Solar JAM72S09:



JAM72S09 375-395/PR Series

MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	22.3kg±3%
Dimensions	1979±2mm×996±2mm×40±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ²
No. of cells	72(6x12)
Junction Box	IP67, 3 diodes
Connector	QC 4.10-35
Packaging Configuration	27 Per Pallet

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72S09 -375/PR	JAM72S09 -380/PR	JAM72S09 -385/PR	JAM72S09 -390/PR	JAM72S09 -395/PR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	375	380	385	390	395
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	48.47	48.75	49.04	49.35	49.64
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	39.27	39.59	39.90	40.21	40.48
Short Circuit Current(Isc) [A]	10.06	10.12	10.17	10.22	10.27
Maximum Power Current(Imp) [A]	9.55	9.60	9.65	9.70	9.76
Module Efficiency [%]	19.0	19.3	19.5	19.8	20.0
Power Tolerance	0→+5W				
Temperature Coefficient of Isc(α _{Isc})	+0.060%/°C				
Temperature Coefficient of Voc(β _{Voc})	-0.300%/°C				
Temperature Coefficient of Pmax(γ _{Pmp})	-0.370%/°C				
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G				

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.
*For NexTracker installations static loading performance: front load measures 2400Pa, while back load measures 2400Pa.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

TYPE	JAM72S09 -375/PR	JAM72S09 -380/PR	JAM72S09 -385/PR	JAM72S09 -390/PR	JAM72S09 -395/PR
Rated Max Power(Pmax) [W]	278	281	285	289	292
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	45.86	46.15	46.47	46.78	47.09
Max Power Voltage(Vmp) [V]	37.05	37.34	37.64	37.92	38.21
Short Circuit Current(Isc) [A]	7.95	7.99	8.03	8.07	8.11
Max Power Current(Imp) [A]	7.49	7.53	7.57	7.61	7.65
NOCT	Irradiance 800W/m ² , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G				

OPERATING CONDITIONS

Maximum System Voltage	1000V/1500V DC(IEC)
Operating Temperature	-40°C→+85°C
Maximum Series Fuse	20A
Maximum Static Load,Front*	5400Pa
Maximum Static Load,Back*	2400Pa
NOCT	45±2°C
Application Class	Class A

