



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

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

Autor: Álvaro Vázquez de la Iglesia

Director: Manuel Moreno García

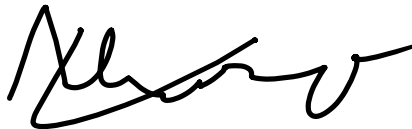
Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
**DISEÑO Y EJECUCIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO PARA
UN COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN ZIMBABUE** en la ETS de
Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2021/22 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Álvaro Vázquez de la iglesia

Fecha: 12/ 07/2022



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo: Manuel Moreno García

Fecha: 13/07/2022





GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

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

Autor: Álvaro Vázquez de la Iglesia

Director: Manuel Moreno García

Madrid

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

Autor: Vázquez de la Iglesia, Álvaro

Director: Moreno García, Manuel.

Entidad Colaboradora: Child Future Africa

RESUMEN DEL PROYECTO

La organización Child Future Africa desarrolla proyectos en un orfanato en Mount Darwin, Zimbabwe. De momento no se ha desarrollado un sistema de producción energética y por ello este trabajo se centra en este tema. En el siguiente documento se diseña un sistema de producción energética aislado basado en módulos fotovoltaicos. Se ofrece también un plan de ejecución y un estudio de la viabilidad económica.

Palabras clave: Zimbabwe, placas solares, eficiencia y rentabilidad.

1. Introducción

La situación económica y social en Zimbabwe es extrema, siendo uno de los países del mundo con mayor nivel de pobreza. Esto provoca grandes problemas en el Desarrollo del país, en los servicios públicos, en el nivel de vida de las personas... Una de las consecuencias de la situación del país es el desastroso sistema de abastecimiento energético existente. Este proyecto plantea instalar un sistema de generación energética empleando energía solar. Se desarrolla para un complejo formado por dos edificios destinados a la formación profesional y una clínica situado en Mount Darwin, Zimbabwe.

2. Definición del proyecto

El trabajo comienza exponiendo la situación socioeconómica del país en el que se va a realizar el proyecto, siendo esta la causante de los problemas de abastecimiento energético del país. La escasa producción energética se une a una red de distribución eléctrica no desarrollada en zonas aisladas del país. Por esto, al estar la zona de Mount Darwin alejada de grandes ciudades se ha concluido que lo mejor era desarrollar un sistema de producción energética aislado. Creando un sistema que sea capaz de abastecer toda la demanda del complejo, se consigue eliminar el uso tan común de combustibles contaminantes provenientes del petróleo. Antes de haber definido que tipo de instalación se va a emplear, se ha procedido a dimensionarlo. Se ha planteado de forma genérica unas cargas formadas por: sistema de luminaria, ordenadores y material médico para la clínica. La demanda resultante es de 38.452 kWh/día.

Para conseguir una producción energética limpia se ha planteado el uso de la energía solar y la energía eólica. Después de un estudio comparativo de ambas opciones, se ha

concluido que la mejor opción es el uso de energía solar. A continuación, se empieza a diseñar los distintos elementos de una planta solar fotovoltaica, siendo estos: paneles solares, baterías, inversores y cableado. Para que la instalación pudiera asegurar su funcionamiento constante, la instalación se ha diseñado para el mes con menor nivel de irradiación en junio. Se han expuesto las principales funciones de los elementos y sus características, tras lo cual se ha realizado un estudio del mercado para elegir los modelos a utilizar. Esta decisión se ha tomado teniendo en cuenta dos factores principales: la maximización de la eficiencia de la instalación y el coste económico. Este último es un factor muy importante ya que el proyecto se realiza en colaboración con una ONG. Minimizar el coste de esta instalación supondrá más presupuesto para otros proyectos.

Cabe destacar que los modelos de la aparamenta y sus precios son acordes al mercado español. Al no existir una página en Zimbabue para su compra, se ha decidido proponer un modelo con los elementos disponibles en el mercado español. Más tarde, cuando se traslade el equipo de la ONG para instalar el proyecto se comprarán los elementos disponibles en el mercado de Zimbabue lo más parecidos a los que se han diseñado en este proyecto.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

En definitiva, el sistema consiste en aprovechar la radiación solar y transformarla en energía eléctrica que puede utilizarse para el consumo en el complejo. El proceso de transformación de la energía es el siguiente: los paneles solares monocristalinos convierten la irradiación solar en corriente continua, que se distribuye a través del cableado correspondiente hasta las baterías y el inversor. Las baterías son necesarias porque se ha diseñado un sistema aislado y serán las encargadas de proporcionar la energía necesaria en los días de baja producción. Por otro lado, la corriente continua generada se dirige al inversor. Éste se encarga de transformar la corriente continua en corriente alterna. Se ha decidido instalar un inversor ya que las cargas funcionan generalmente con corriente alterna, además de ser un elemento que sirve de protección de la instalación..

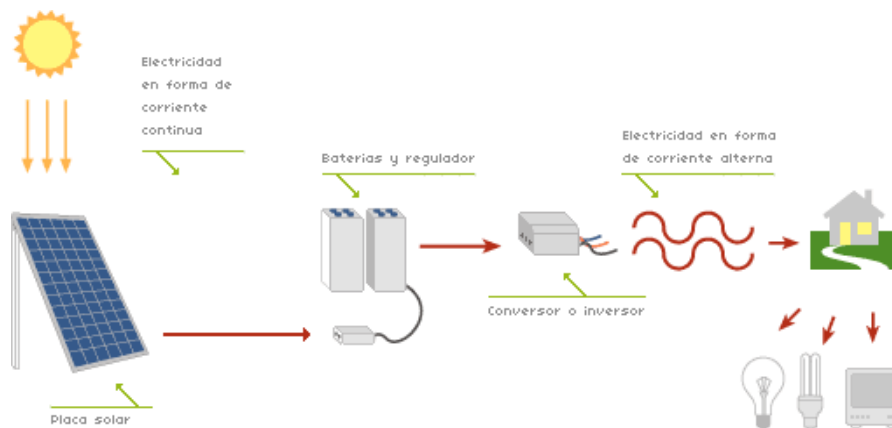


Ilustración 1: Esquema de una planta solar fotovoltaica. Fuente [11]

4. Resultados

Al obtener la demanda se ha impuesto un margen de seguridad, obteniendo 46.1424 kWh/día. Como se ha determinado anteriormente los cálculos se han realizado para el mes de junio y los elementos escogidos aparecen resumidos en la siguiente tabla:

Aparato del sistema	Panel solar	Cableado I	Batería	Cableado II	Inversor	Cableado III
Marca y modelo	JA solar JAM72S20	SOLAR PV ZZ-F Negro	ROLLS	POWRFLEX RV-K Negro	Victron energy Quatro	Alpha Wire UL AWM Negro
Tipo de corriente	Continua	Continua	Continua	Continua	Continua y alterna	Alterna
Tensión (V)	24	48	48	48	48	220
Eficiencia (%)	20.3	98.2	≈100	98.2	95	98.2
Unidades	29	60	8	10	1	1
Precio unitario(€/unidad)	209.81	6.41	3561.18	14.74	3116.49	1.73

Tabla 1: Resumen de los elementos de la instalación fotovoltaica.

Se ha obtenido un coste total aproximado de 41145.62 €. Estudiando la vida útil de las plantas fotovoltaicas se plantea un periodo de amortización de 25 años, por lo que resulta en una amortización anual de 1645.825 €

5. Conclusiones

A lo largo del proyecto se ha demostrado que la planta solar diseñada será capaz de cumplir con la demanda. A pesar de que no se tenga disponible una página de compra para material de instalaciones solares fotovoltaicas en Zimbabue, en el trabajo se expone todo lo necesario que deben cumplir los elementos que se compran. En el caso de que no se disponga del mismo elemento que el que ha sido diseñado en este trabajo, será sencillo con los cálculos expuestos comprar uno que cumpla las condiciones necesarias. Desde el punto de vista social, cabe destacar que este proyecto favorecerá el desarrollo de la comunidad local.

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

Author: Vázquez de la Iglesia, Álvaro.

Supervisor: Moreno García, Manuel.

Collaborating Entity: Child Future Africa

ABSTRACT

Child Future Africa is developing projects at an orphanage in Mount Darwin, Zimbabwe. An energy production system has not been developed so far and therefore this paper focuses on this topic. In the following paper, an isolated energy production system based on photovoltaic modules is designed. An implementation plan and an economic feasibility study are also provided.

Keywords: Zimbabwe, solar panels, efficiency and profitability.

1. Introduction

The economic and social situation in Zimbabwe is extreme, being one of the countries in the world with the highest level of poverty. This causes great problems in the development of the country, in public services, in people's standard of living... One of the consequences of the country's situation is the disastrous existing energy supply system. This project proposes to install an energy generation system using solar energy. It is being developed for a complex consisting of two buildings for vocational training and a clinic located in Mount Darwin, Zimbabwe.

2. Project definition

The work begins by exposing the socioeconomic situation of the country in which the project is to be carried out, which is the cause of the country's energy supply problems. The scarce energy production is coupled with an undeveloped electrical distribution network in isolated areas of the country. For this reason, as the Mount Darwin area is far from large cities, it has been concluded that the best option was to develop an isolated energy production system. By creating a system capable of supplying the entire demand of the complex, it is possible to eliminate the common use of polluting petroleum fuels. Before defining the type of installation to be used, we proceeded to dimension it. A generic load has been proposed, consisting of: lighting system, computers and medical equipment for the clinic. The resulting demand is 38,452 kWh/day.

In order to achieve a clean energy production, the use of solar energy and wind energy has been proposed. After a comparative study of both options, it has been concluded that the best option is the use of solar energy. Next, we began to design the different elements of a solar photovoltaic plant, these being: solar panels, batteries, inverters and wiring. So that the installation could ensure its constant operation, the installation has been designed for the month with the lowest level of irradiation in June. The main functions of the

elements and their characteristics have been exposed, after which a study of the market has been made to choose the models to be used. This decision has been taken taking into account two main factors: maximization of the efficiency of the installation and the economic cost. The latter is such an important factor since the project is carried out in conjunction with an NGO. Minimizing the cost of this installation will mean more budget for other projects.

It will be noted that the switchgear models and their prices are in line with the Spanish market. As there is no website in Zimbabwe for its purchase, it has been decided to propose a model with the elements available in the Spanish market. Later, when the NGO team moves to install the project, the elements available in the Zimbabwean market will be purchased as similar as possible to those designed for this project.

3. System description

In short, the system consists of harnessing the sun's radiation and transforming it into electrical energy that can be used for consumption in the complex. The energy transformation process is as follows: the monocrystalline solar panels convert the solar irradiation into direct current, which is distributed through the corresponding wiring to the batteries and the inverter. The batteries are necessary because an isolated system has been designed and they will be in charge of providing the necessary energy on days of low production. On the other hand, the generated direct current is directed to the inverter. This is in charge of transforming the direct current into alternating current. It has been decided to install an inverter since the loads generally work with alternating current, in addition to being an element that serves as protection of the installation.

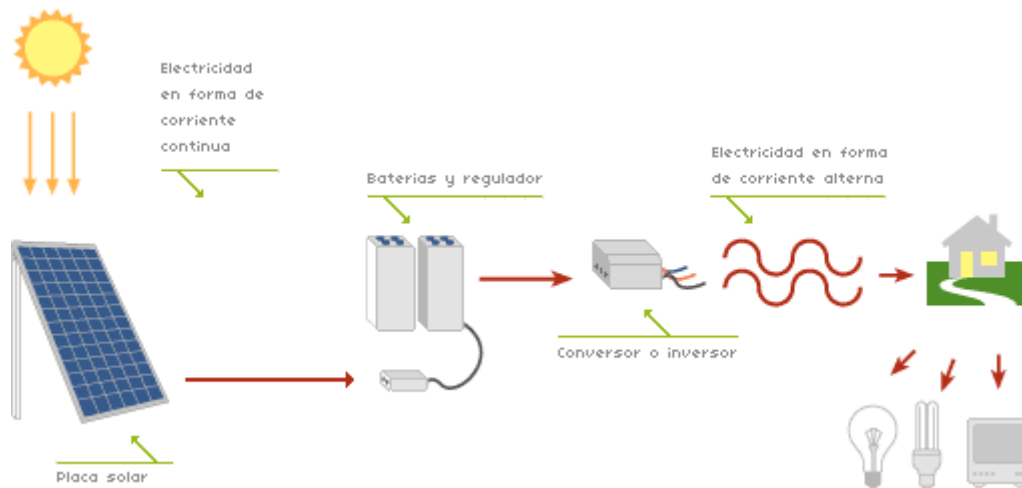


Illustration 2: Diagram of a solar photovoltaic plant. Source [11]

4. Results

When obtaining the demand, a safety margin has been imposed, obtaining 46,1424 kWh/day. As previously determined, the calculations were made for the month of June and the elements chosen are summarized in the following table:

Aparato del sistema	Panel solar	Cableado I	Batería	Cableado II	Inversor	Cableado III
Marca y modelo	JA solar JAM72S20	SOLAR PV ZZ-F Negro	ROLLS	POWRFLEX RV-K Negro	Victron energy Quatro	Alpha Wire UL AWM Negro
Tipo de corriente	Continua	Continua	Continua	Continua	Continua y alterna	Alterna
Tensión (V)	24	48	48	48	48	220
Eficiencia (%)	20.3	98.2	≈100	98.2	95	98.2
Unidades	29	60	8	10	1	1
Precio unitario(€/unidad)	209.81	6.41	3561.18	14.74	3116.49	1.73

Table 2: Summary of the elements of the photovoltaic installation.

A total investment of approximately 41145.62 € has been obtained. Studying the useful life of the photovoltaic plants, a depreciation of 25 years is proposed, resulting in an annual depreciation of 1645,825 €.

5. Findings

Throughout the project it has been demonstrated that the designed solar plant will be able to meet the demand. Despite the fact that there is not a purchase page available for solar photovoltaic installation material in Zimbabwe, the work sets out all the necessary requirements that the elements to be purchased must comply with. In the case that the same element that has been designed in this work is not available, it will be simple with the exposed calculations to buy one that fulfills the necessary conditions. From the social point of view, it should be noted that this project will favor the development of the local community.

Índice de la memoria

Capítulo 1: Introducción	18
1.1 Introducción.....	18
1.2 Estado de la cuestión	21
1.3 Proyectos similares.....	23
1.4 Motivación	25
1.5 Objetivos del proyecto.....	26
1.6 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	27
Capítulo 2. Estudio del emplazamiento de la instalación	28
2.1 Localización.....	29
2.2 Características de los edificios.....	31
2.3 Demanda a satisfacer	32
2.3.1 Demanda de los edificios de educación	33
2.3.2 Demanda de la clínica.....	34
2.3.3 Resumen de la demanda total.....	35
Capítulo 3: Tipo de instalación	36
3.1 La energía solar.....	36
3.1.1 Energía solar fotovoltaica.....	37
3.1.2 Energía solar térmica.....	38
3.1.3 Elección del tipo de instalación solar	39
3.2 Energía eólica.....	40
3.2 Decisión final	42
Capítulo 4: Diseño de la instalación	45
4.1 Disposición de los paneles	45
4.2 Paneles fotovoltaicos	51
4.2.1 Tipos de placas solares	52
4.2.2 Especificaciones técnicas de las placas solares.....	55
4.2.3 Cálculo, diseño y elección del tipo de módulo fotovoltaico	57
4.3 Inversor	63
	13

4.3.1 Tipos de inversores.....	65
4.3.2 Especificaciones técnicas de los inversores	66
4.3.3 Cálculo, diseño y elección del tipo de inversor.....	67
4.4 Sistema de baterías.....	69
4.4.1 Tipos de baterías solares.....	72
4.4.2 Especificaciones técnicas de las baterías.....	73
4.4.3 Cálculo, diseño y elección de la batería.....	73
4.5 Cableado	75
4.5.1 Normativa para la instalación del cableado	77
4.5.2 Cálculo, diseño y elección del cableado	78
4.6 Puesta a tierra.....	80
.....	80
4.6.1 Condiciones de seguridad de la puesta a tierra	81
4.6.2 Cálculo, diseño y elección de la puesta a tierra del sistema.....	81
4.7 Estructura de soporte.....	82
4.8 Resumen de la instalación.....	83
Capítulo 5: Mantenimiento de la instalación	85
5.1 Mantenimiento de los paneles solares.....	85
5.2 Mantenimiento de las baterías	86
5.3 Mantenimiento de los inversores	87
Capítulo 6: Estudio económico	88
Capítulo 7: Plan de ejecución	90
Capítulo 8: Conclusión.....	92
Capítulo 9: Bibliografía.....	95
Anexo I: Fichas técnicas	99

Índice de figuras

Ilustración 2: Localización de Zimbabwe. Fuente [1].....	18
Ilustración 3: Gráfico comparativo de la disponibilidad energética de España vs Zimbabwe. Fuente [3].....	20
Ilustración 4: Mapa de la irradiación solar en Zimbabwe. Fuente [3]	22
Ilustración 5: Foto de Tendai Matimbe, médico. Fuente [4]	23
Ilustración 6: Proyecto GivePower. Fuente [5]	24
Ilustración 7: Zona geográfica del proyecto en Mount Darwin. Fuente [Google earth].....	25
Ilustración 8: Mapa de irradiación solar en Zimbabwe. Fuente [7]	29
Ilustración 9: Comparativa de las condiciones meteorológicas de la zona de Mount Darwin. Fuente [8].....	31
Ilustración 10: Partes de un sistema solar fotovoltaico. Fuente [11].....	37
Ilustración 11: Ejemplo del proyecto Mika, Zimbabwe. Fuente [14]	39
Ilustración 12: Esquema de una instalación de energía mini-eólica. Fuente [15]	41
Ilustración 13: Velocidad promedio por mes en Mount Darwin. Fuente [8]	42
Ilustración 14: Esquema de las partes de una instalación solar fotovoltaica. Fuente [11] ..	45
Ilustración 15: Coordenadas solares durante el año en Zimbabwe. Fuente [18].....	46
Ilustración 16: Dirección solar en ambos hemisferios. Fuente [20]	47
Ilustración 17: Mapa de pérdidas en las placas solares provocadas por el polvo. Fuente [21]	48
Ilustración 18: Inclinación óptima (OPTA) de los módulos para maximizar el rendimiento fotovoltaico. Fuente [19]	49
Ilustración 19: Niveles de irradiación solar con distintos ángulos (14. 4° arriba a la izq., 15° arriba a la drcha. y 30° abajo). Fuente [PGVIS]	50
Ilustración 20: Sección de una placa solar. Fuente [23]	51

Ilustración 21: Tipos de paneles fotovoltaicos. Fuente [24].....	54
Ilustración 22: Curvas de tensión y corriente según los niveles de irradiación (W/m ²) y temperatura (°C). Fuente [22].....	57
Ilustración 23: Mapa de las pérdidas de los módulos solares por suciedad. Fuente [21]....	62
Ilustración 24: Ejemplo de un inversor por panel fotovoltaico vs inversor centralizado en la instalación. Fuente [26]	65
Ilustración 25: Vida útil en función de las descargas de una batería solar. Fuente [28]	71
Ilustración 26: Baterías conectadas en paralelo. Fuente [27]	72
Ilustración 27: Sección de un hilo. Fuente [29].....	76
Ilustración 28: esquema del sistema de puesta a tierra. Fuente [28]	80
Ilustración 29: Ejemplo de sulfatación en una batería. Fuente [29]	87

Índice de tablas

Tabla 1: Capacidad irradiación mensual. Fuente [9].....	30
Tabla 2: Ficha técnica de los edificios.....	32
Tabla 3: Resumen de la demanda de las instalaciones	35
Tabla 4: Comparativa de la eficiencia de los distintos paneles solares. Fuente [22]	55
Tabla 5: Comparativa de los modelos de los paneles solares (Monocristalinos). Fuente [Autosolar].....	60
Tabla 6: comparativa de modelos de inversor (Tipo inversor-cargador). Fuente [Autosolar]	68
Tabla 7: Comparativa de modelos de baterías (tipo estacionaria). Fuente [Autosolar]	75
Tabla 8: resumen de los cables empleados en la instalación. Fuente [Autosolar].....	79
Tabla 9: resumen de los productos empleados en la puesta a tierra. Fuente [Autosolar]....	82
Tabla 10: resumen de la estructura de soporte.	82
Tabla 11: Esquema de la instalación fotovoltaica. Fuente [11].....	83
Tabla 12: Resumen de la aparamenta de la instalación fotovoltaica.....	84
Tabla 13: Resumen de los costes económicos de la instalación.....	89

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

El proyecto se va a realizar en la República de Zimbabue, situado en el sur de África. Comparte frontera con Botsuana, Mozambique, Sudáfrica y Zambia, siendo la capital Harare y con una población de 15 millones de habitantes, de los cuales un 67% aproximadamente vive en zonas rurales. Zimbabue es una antigua colonia británica que consiguió la independencia completa en abril de 1980. Desde entonces el país ha tenido un desarrollo político y económico nefasto, teniendo un PIB per cápita de los más bajos del mundo. Esto implica que el nivel de vida de la población es de los más bajos del mundo. En 2010 alcanzó su peor momento desde el punto de vista económico debido a la hiperinflación, pero desde entonces la situación económica ha mejorado.



Ilustración 1: Localización de Zimbabue. Fuente [1]

El contexto histórico de Zimbabwe muestra una inestabilidad en la zona. Ha sido poblado originalmente por los pueblos de khoisan, más tarde fue ocupado por los bantúes los cuales crearon el Imperio de Monomotapa. A finales del siglo XIX, fue cuando la colonización británica de la zona comenzó. En este periodo la zona pasó a llamarse Rodesia del sur, en la que en 1965 una minoría blanca declaró unilateralmente su independencia. Esta no fue reconocida por ningún organismo internacional. En 1980, después de 100 años de pertenencia a las colonias británicas y 15 de guerra civil, el pueblo de Zimbabwe consiguió su independencia y se convirtió en la República de Zimbabwe. El comienzo del gobierno independiente fue dirigido por Joshua Nkomo, pero en 1987 Robert Mugabe se convirtió en primer ministro y jefe del Estado. Mugabe que pertenece a la primera generación de nacionalistas africanos estuvo en el poder hasta 2017. En este último año debido a numerosas razones económicas y políticas, entre las cuales se encuentran denuncias de fraude electoral y sanciones por violación de los derechos humanos, el ejército realiza un golpe de Estado en el cual se expulsa a Mugabe del gobierno y se proclama a Emmerson Mnangagwa como presidente del país. Desde entonces ejerce como primer ministro de Zimbabwe.

En la cuestión económica se exponen los grandes problemas que ha tenido el país. En el primer periodo de independencia, Zimbabwe era un éxito. Presentaba los mejores sistemas educativos y de sanidad de la zona del sur de África, como consecuencia se aumentó la esperanza de vida a los 67 años y una tasa de alfabetización cercana al 90%. Sin embargo, debido a numerosas razones, el país se ha colocado como uno de los más pobres del mundo.

Para hacer referencia a la pobreza del país, usamos el PIB como indicador. Este se encuentra como uno de los más bajos del mundo, en concreto en el puesto 164 de 196 países que hay en el ranking. El peor momento económico fue provocado entre 2008 y 2009, provocado principalmente por la expropiación de tierras que pertenecían a la minoría blanca. Durante ese periodo se llegaron a unos extremos de inflación por los que las tiendas subían los precios de los productos en el transcurso del día. Esto se conoce como hiperinflación y provocó que

en 2009 se abandonara la moneda y se adoptara el dólar estadounidense. A pesar de esto y varios intentos de revivir la economía local, el país sigue sumido en una situación pésima. Los últimos datos de The World Bank marcan una inflación de Zimbabue del 557,20% en 2020.

La inestabilidad económica se traduce en una emigración de millones de personas y la casi inexistencia de inversión extranjera. A esto se le suma la imposibilidad de financiar los servicios públicos, una tasa de desempleo y un problema de abastecimiento eléctrico enorme. Aunque el porcentaje de acceso a la electricidad de la población total es del 41%, el problema es en las zonas rurales. Estas están pobladas por el 67% de la población, y el acceso a la electricidad en estas zonas es cercano al 20%. La capacidad de producción energética instalada es de 900 MW/día, pero debido a la escasez de materias y a el estado obsoleto de las centrales de producción, se hace frente a una demanda de unos 2100 MW/día con una producción de entre 250 y 300 MW/día. Como consecuencia se producen desabastecimientos energéticos y de largos cortes de carga durante el día.

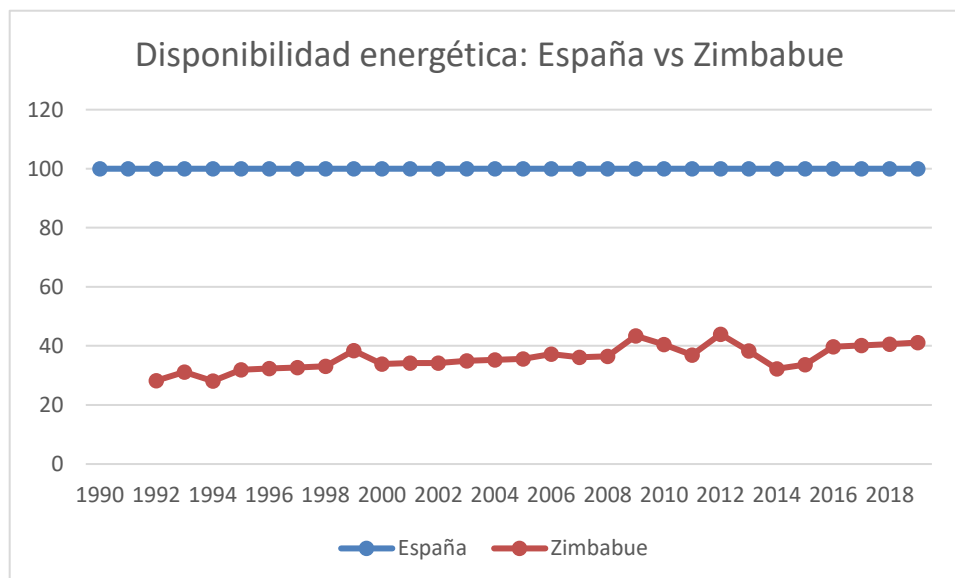


Ilustración 2: Gráfico comparativo de la disponibilidad energética de España vs Zimbabue. Fuente [3]

Este será uno de los principales retos a los que se presentará la población de Zimbabue. Por esto el proyecto aportará una posibilidad de abastecimiento eléctrico independiente, lo que aportará a la zona una gran ventaja.

1.2 ESTADO DE LA CUESTIÓN

El proyecto plantea aportar una alternativa energética a la producción de la zona. La principal base de la producción energética en Zimbabue consiste en la energía hidroeléctrica y el carbón. Pero esto plantea varios problemas. Aparte de la antigüedad del material de las plantas del carbón, las reservas de carbón son escasas. Además, dado a precios ascendentes de los combustibles, este tipo de producción energética cada vez son más inviables. Por otra parte, la energía hidroeléctrica tiene una dependencia directa con la disponibilidad de agua, una época de sequías provoca una generación de este tipo de energías nula. Aunque el país tiene potencial de producción hidroeléctrica de aproximadamente 17.500 GWh, menos del 20% es aprovechado. Las instalaciones de gran producción son extremadamente costosas, por lo que se han desarrollado varias centrales de pequeña producción. Otra posibilidad de energía renovable sería la energía eólica. Si se estudian los perfiles de velocidad del viento en la zona se puede concluir que a pesar de que a veces hay altas velocidades de viento estas no se mantienen, por lo que la frecuencia y la duración de las rachas de viento no es suficiente para que merezca la pena hacer la instalación. Debido a esto, aunque más adelante se hará una comparativa más extensa, en este trabajo se apuesta por la instalación de energía solar.

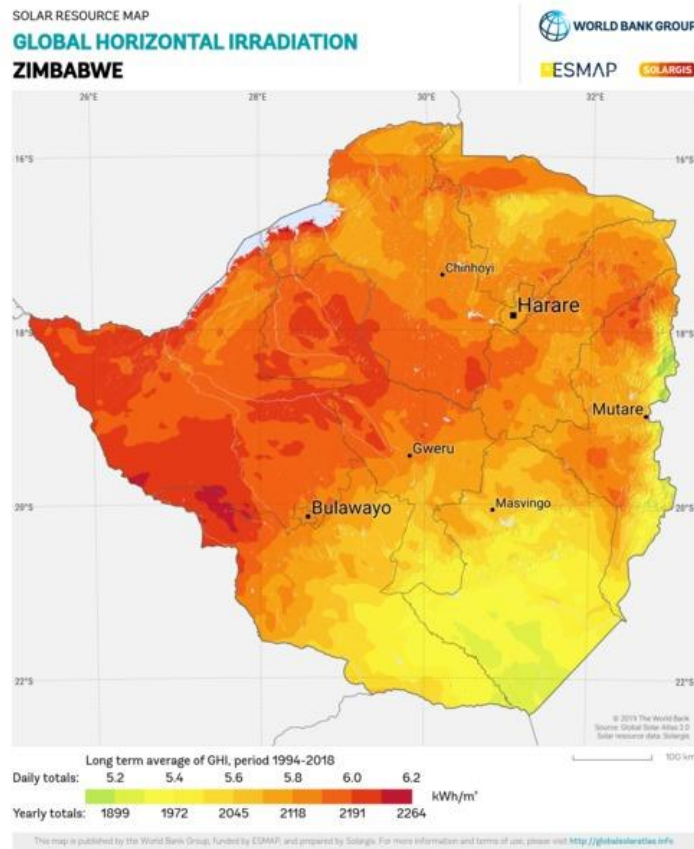


Ilustración 3: Mapa de la irradiación solar en Zimbabwe. Fuente [3]

Zimbabwe está en una zona con un gran potencial para la generación energética solar. La radiación solar media es de entre 5.7 y 6.5 kWh m⁻² día⁻¹, lo que permitiría una explotación de aproximadamente 300MW. Aún este potencial no ha sido aprovechado, llegando solo al 1% de su capacidad. Se plantea explotar esta capacidad solar del país y ser un ejemplo para la zona. Se ha de realizar un estudio de la radiación solar de la zona, un análisis de los diferentes paneles solares y planear el proceso que se seguirá para la instalación.

1.3 PROYECTOS SIMILARES

Un ejemplo de un proyecto muy similar al que se plantea es el de la Clínica de Salud Kamabarami en Zimbabue. En esta, antes de la instalación de la energía solar, los médicos se enfrentaban todas las noches a la falta de luz para realizar su trabajo. La situación cambió radicalmente cuando se instaló una serie de maletas solares en los centros médicos. Este sistema es de fácil instalación, una fuente móvil y limpia de generar energía. La clínica no solo tiene aporte energético para el sistema de iluminación, sino que también tiene alimentación para los diferentes equipos de los que disponen. Todo esto consiguió un incremento en la productividad en la clínica y una reducción de las tasas de mortalidad.



Ilustración 4: Foto de Tendai Matimbe, médico. Fuente [4]

Otro proyecto muy interesante que se puede analizar es la instalación de energía solar que se utiliza para el proceso de desalinización del agua. El sistema está instalado en Likoni en la zona costera del este de Kenia y fue instalado por la organización GivePower en julio de 2018. La instalación consiste en un sistema de potabilización de agua instalado en un contenedor capaz de proporcionar 70 m³ de agua al día a 25.000 personas de esta zona costera.

Todo el sistema de desalinización de agua está alimentado por una pequeña planta de energía solar fotovoltaica instalada en el contenedor, que cuenta con un sistema de almacenamiento de electricidad a través de baterías para permitir que la instalación proporcione agua potable después de la puesta del sol o con mal tiempo. Estas baterías son de la marca Tesla y sirven para el almacenamiento energético, mientras que alimentan a dos bombas paralelas.



Ilustración 5: Proyecto GivePower. Fuente [5]

Este proyecto ha ayudado enormemente a las familias de la zona. Antes de existir esta instalación, los habitantes de la zona debían viajar grandes distancias para abastecerse de agua.

1.4 MOTIVACIÓN

La motivación de este proyecto se basa en la situación política y económica de Zimbabwe. Este es uno de los países con mayores necesidades del mundo, con una pobreza extrema en parte incrementada por la falta de producción energética. Aunque el país tiene una gran capacidad de explotación eléctrica, esta no es aprovechada. Como se ha mencionado anteriormente, la energía solar que es una de las fuentes con mayor potencial del país está siendo tan solo un 1% aprovechada. Esto sumado a una red de distribución escasa hace que se produzcan grandes cortes de electricidad.

Esta situación impulsa a depender de producción energética local para hacer frente a la demanda. Aquí es donde entra en juego el proyecto, planteando la posibilidad de llevar electricidad a una zona aislada eléctricamente y cubrir la demanda energética de un centro de formación profesional el cuál impulsará el desarrollo de la zona. Por esto el proyecto no es puramente energético, sino que se está teniendo en cuenta la proyección de futuro que este supondría para las comunidades de la zona.



Ilustración 6: Zona geográfica del proyecto en Mount Darwin.

Fuente [Google earth]

1.5 OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo principal del proyecto es proporcionar una fuente de electricidad a un centro de formación profesional, consiguiendo una independencia energética y unas mejores instalaciones para la enseñanza.

En cuanto a los objetivos a lo largo del proyecto:

- Primero se realizará un estudio de la zona en la que se instalará el equipo: clima, radiación solar, perfil de las velocidades del viento, dimensiones del edificio...
- Con la información obtenida anteriormente se procederá a hacer una comparación con las distintas fuentes de energías disponibles. Las principales opciones son la solar y la eólica.
- A continuación, se planifica la instalación, elaborando una lista de los aparatos y equipos necesarios. En todo este proceso se tendrá en cuenta la eficiencia y el coste de los equipos, ya que es primordial realizar un proyecto económicamente viable.
- Para finalizar se procede a la planificación de la instalación de los equipos. Hay que tener en cuenta los desplazamientos a Zimbabue, así como la posible falta de personal cualificado y la escasez de aparatos.

1.6 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, adoptada por todos los Estados miembros de las Naciones Unidas en 2015, ofrece un plan compartido para la paz y la prosperidad de las personas y el planeta, ahora y en el futuro. Su núcleo son los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que constituyen un llamamiento urgente a la acción de todos los países - desarrollados y en desarrollo- en una alianza mundial. Reconocen que acabar con la pobreza y otras privaciones debe ir de la mano de estrategias que mejoren la salud y la educación, reduzcan la desigualdad y estimulen el crecimiento económico, al tiempo que se aborda el cambio climático y se trabaja para preservar nuestros océanos y bosques.



Ilustración 7: Objetivos ODS. Fuente [30]

Este trabajo que consiste en la implementación de un sistema de generación de energía limpia se centra en los siguientes objetivos: fin de la pobreza, salud y bienestar, educación de calidad, energía asequible y no contaminante y producción y consumo responsables.

CAPÍTULO 2. ESTUDIO DEL EMPLAZAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

La decisión del tipo de instalación que se va a realizar en este proyecto, así como la organización que se seguirá para realizarla, tienen que ser tomadas teniendo en cuenta las condiciones del entorno. Se tendrán en cuenta dos factores fundamentales; por un lado, se procederá a hacer un estudio de la localización de la escuela teniendo en cuenta el clima, las materias primas eléctricas existentes (Solar y eólica), la orientación y las dimensiones de la escuela. También se calculará el consumo de la escuela obteniendo la demanda media necesaria, así como la demanda pico, para que en ningún momento haya interrupción de abastecimiento en la red. Esto ayudará a conseguir la maximización del rendimiento de la instalación.

Como se ha expuesto anteriormente, la instalación se va a realizar en una parte remota del país. En concreto, se sitúa en la zona norte del país en la región de Mount Darwin. Al ser una zona alejada de las principales ciudades, se debe tener en cuenta también el difícil acceso. Por esto la decisión de la instalación debe tener presente que, aparte de maximizar el rendimiento, la robustez y la fiabilidad del equipo instalado es extremadamente importante. Por esto la instalación debe necesitar pocas revisiones y escaso mantenimiento.

2.1 LOCALIZACIÓN

El proyecto se va a realizar en una aldea en la zona norte de Zimbabue, en concreto la aldea tiene las coordenadas: -16.548519, 31.525070. El área se llama Mount Darwin y al estar en la zona norte del país presenta un clima monzónico. Esta zona es una de las más calurosas del país con temperatura media de 22.6 ° C. Una de las ventajas del emplazamiento del complejo es la gran cantidad de tiempo en el que el cielo está despejado, estando las precipitaciones concentradas entre los meses de diciembre y febrero. Esto sumado a los altos niveles de radiación solar hace presuponer que la mejor elección será la energía solar.

El país presenta un gran potencial de aprovechamiento de energías renovables, y en particular se ha escogido estudiar los potenciales de la energía solar y eólica. Por esto en este punto se expondrá de manera genérica las capacidades de aprovechamiento energético de los dos tipos de fuentes, aunque más adelante se hará una comparativa con más profundidad. Este estudio se hará comparando los mapas de radiación solar de la zona con los perfiles del viento. Estos gráficos se muestran a continuación:

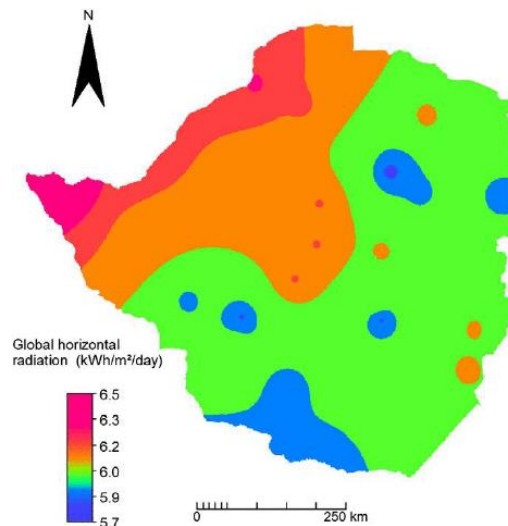


Ilustración 8: Mapa de irradiación solar en Zimbabue.

Fuente [7]

En el primer gráfico se muestra la radiación horizontal global media en el país. Hay que explicar previamente que el término de radiación solar es un término genérico, no dispone de ninguna magnitud que cuantifique su cantidad. Para cuantificar este concepto se emplea la irradiación solar, esta mide la radiación solar incidente por metro cuadrado. La zona en la que se encuentran los edificios donde se instalarán las fuentes de electricidad no es la que mayor nivel de irradiación tiene, pero sigue siendo muy alta. Se ha investigado más profundamente con la página de la comisión europea PVGIS; los datos obtenidos son los siguientes:

Mes	Irradiancia solar(kWh/m ²)
Enero	178,33
Febrero	161,74
Marzo	186,71
Abril	175,32
Mayo	166,7
Junio	128,68
Julio	152,16
Agosto	174,21
Septiembre	195,54
Octubre	212,68
Noviembre	204,48
Diciembre	174,51

Tabla 2: Capacidad irradiación mensual. Fuente [9]

Con esta tabla se muestra que se mantienen altos niveles de irradiancia solar a lo largo del año. Los picos ocurren en octubre y en junio, siendo el pico más alto de $994,27 \text{ W/m}^2$ en octubre y el más bajo de $578,45 \text{ W/m}^2$ en junio.

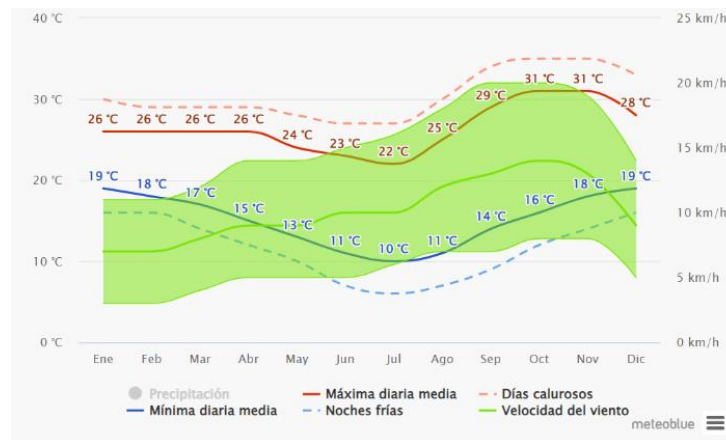


Ilustración 9: Comparativa de las condiciones meteorológicas de la zona de Mount Darwin. Fuente [8]

El gráfico anterior muestra las condiciones meteorológicas de Mount Darwin. La zona presenta una velocidad del viento media de unos 10 km/h, llegando a picos en octubre de 20 km/h. El problema de esto es que, aunque se lleguen a altas velocidades, estas no se mantienen en el tiempo, por lo que no son suficientes para una propia fuente de electricidad. Este tema se tratará con profundidad más adelante.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS EDIFICIOS

La instalación se va a realizar sobre el techo de varios edificios que hay en el centro. Actualmente tan solo hay uno construido, pero este proyecto se plantea para dos edificios con techo a dos aguas de una sola planta. Este servirá como edificio en el que se construirán aulas para la enseñanza. El otro que requerirá de más equipos eléctricos es una pequeña clínica.

A continuación, se muestra de manera resumida las dimensiones de donde se van a realizar las instalaciones:

<i>Características</i>	Edificio escolar 1 &2	Clínica
Superficie total (m^2)	204	136
Superficie aprovechable (m^2)	180	120
Ángulo del tejado ($^{\circ}$)	15	15

Tabla 3: Ficha técnica de los edificios

Hay que tener en cuenta también que el edificio ya construido se encuentra orientado hacia el norte, desviado unos 30° hacia el este. Los otros dos edificios se construirán con una orientación parecida, siempre teniendo en cuenta que la mejor orientación de las placas será la norte.

2.3 DEMANDA A SATISFACER

El edificio ya construido no dispone de alimentación eléctrica, por lo que la fuente de iluminación es la luz natural. Los días soleados, la luz que entra por las ventanas de las aulas es suficiente, pero en los días nublados la luz escasa afecta a los alumnos. Estos debido a la falta de luz, se ven más cansados a lo largo del día, así como baja productividad. Por esto se necesita cubrir la demanda energética del edificio ya construido y de los dos que se construirán en un futuro. Esto ayudará a mantener el nivel de enseñanza constante a lo largo del curso, así como implementar nuevas formas de enseñanza con ordenadores. Además, es fundamental instalar un sistema de iluminación en la clínica. En este primer punto se expone la carga total teórica que tendrán los edificios.

2.3.1 DEMANDA DE LOS EDIFICIOS DE EDUCACIÓN

En primer lugar, se va a estudiar la carga de los edificios destinados a la enseñanza. Los edificios tienen una superficie aprovechable de $180 m^2$, los cuales habrá que iluminar. Es muy importante conseguir un sistema de iluminación de bajo consumo y que sea adaptable a la zona en la que se va a instalar. Para esto se ha hecho un estudio de los paneles disponibles y se escogido el panel LED PHILIPS Certadrive. Se ha realizado la elección de estos paneles con la idea de que sean los más ajustados económicamente y que tengan la mayor vida útil. Con esto se consigue reducir el número de paneles a comprar, así como la necesidad de mantenimiento del sistema de iluminación. Hay que tener en cuenta que los paneles deben tener temperatura de luz adaptable, ya que no estarán todos ajustados a la misma intensidad lumínica.

Las principales características de estos paneles son:

- Potencia: 44 W
- Ángulo de apertura: 120°
- Temperatura de color (A escoger entre luz cálida y luz neutra): 3000 K y 6000K
- Alimentación: CA 220V
- Dimensiones del panel: 595x595x26mm
- Flujo luminoso: 4400lm
- Vida útil: 30.000 horas

Con estas podremos mantener iluminadas las clases, y se tendrán en cuenta estos consumos para el estudio de la instalación de producción eléctrica. Para ello se necesita saber la cantidad de paneles que se emplearán. Se plantea emplear un panel LED por cada $7 m^2$, lo que resultará en instalar 25 paneles en cada edificio destinado a la educación.

Por otro lado, en estos edificios también tendremos que alimentar las baterías de ordenadores. La opción escogida por la organización del tipo de ordenador son los portátiles. Es la opción más viable económicamente además de tener una gran fiabilidad, también se ha

tenido en cuenta la comodidad de su uso y la nula instalación que requiere. Se dispondrán de 8, 4 para profesores y 4 para alumnos. El consumo medio de la carga de batería de un ordenador portátil es de 25 W con un tiempo de carga de 2 horas y se consideran dos cargas por ordenador al día.

2.3.2 DEMANDA DE LA CLÍNICA

La iluminación en la clínica permitirá mantener la actividad médica a lo largo de todo el día. La dependencia a la luz natural es erradicada y también se consigue disponer de nuevos dispositivos que ayuden a los médicos allí presentes. Se conseguiría una mejora de la atención médica muy notable, con lo que se consigue un centro médico fiable no solo para los alumnos, sino también para todos los habitantes de la zona.

La elección del tipo de iluminación será la misma que ha sido elegida anteriormente. Se escogen los paneles LED Philips con una potencia de 44W. Sin embargo, al estar destinado este edificio a la actividad médica se necesita una iluminación superior a la asignada anteriormente. En este caso se aumenta la ratio de paneles por metro cuadrado a 1 por cada $6 m^2$. Al tener un espacio útil de $120 m^2$, se necesitan 20 paneles para mantener la luminaria de la clínica. La instalación de estos se hará con una temperatura de color fría para conseguir la mayor luminosidad.

En cuanto al material médico del que se dispondrá en la clínica, se tiene en cuenta que este será muy básico. El material disponible en la zona no solo tiene un valor económico alto, sino que también es difícil de encontrar. Es necesario un esterilizador del material médico que se emplea, se considera uno cuyas especificaciones técnicas son: Consumo Energético: 700 W, Voltaje: 230/240 V, Fusibles: Tipo 6,3 x 32 – 2ª, Temperatura de Esterilización: 150 – 180 °C. También se incluirá en la instalación dos lámparas lupa, con una potencia de 22 W.

2.3.3 RESUMEN DE LA DEMANDA TOTAL

A continuación, se resume en una tabla la demanda que debería satisfacer el sistema.

Material	Unidades	Potencia (W)	Potencia pico (W)	Tiempo de uso(h)	Consumo (kWh)
Paneles LED(Clases)	50	44	2200	10	22
Paneles LED(Clínica)	20	44	880	15	13.2
Ordenadores	8	25	200	4	0.8
Esterilizador	1	700	700	3	2.1
Lámparas lupa	2	22	44	8	0.352
Total			4024		38.452

Tabla 4: Resumen de la demanda de las instalaciones

Hay que tener en cuenta que se deberá establecer un factor de seguridad (Que se determinará más adelante) para garantizar la conexión ininterrumpida del sistema durante los puntos de potencia pico. Además, se ha tenido en cuenta los distintos horarios de los edificios, por lo que se determinará un horario energético para determinar las horas valle y las pico.

Otro factor para tener en cuenta es el tipo de carga que se ha instalado. Se ha realizado la elección de instalar dispositivos de corriente alterna, ya que la alimentación de ordenadores, móviles y ciertos equipos de iluminación pueden trabajar con este tipo de corriente. Además, los elementos que trabajan a CA son los más comunes, por lo que en el caso de necesitar reparaciones serán fáciles de encontrar. Además, este tipo de corriente es la más fácil de generar y transportar. Para emplear este tipo de dispositivos se emplearán inversores de CC/CA, los cuales se explicarán con profundidad más adelante. Se ha escogido un sistema de 220V 50 Hz.

En la tabla aparece el consumo diario previsto de 38.452 kWh, que será el que determinará el tipo de instalación a escoger. Esta decisión se realizará en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 3: TIPO DE INSTALACIÓN

En el capítulo anterior se ha calculado la demanda teórica que tendrán los edificios de este proyecto. Esta demanda se compone principalmente de la iluminación de las clases y la clínica, así como el material extra que se necesita. El objetivo de la instalación es por lo tanto aportar la producción energética necesaria para abastecer la demanda, y conseguirlo con los recursos de la zona. Este proyecto plantea conseguir el aporte energético empleando energías renovables, consiguiendo un proyecto limpio y eficiente. Las principales alternativas de abastecimiento energético son: la energía solar fotovoltaica y la energía eólica.

3.1 LA ENERGÍA SOLAR

La energía solar emplea paneles para la producción energética. Son aquellos dispositivos que captan la energía de radiación solar y su capacidad térmica para convertirla en electricidad. La radiación incidente no se aprovecha al completo, sino que parte se pierde por reflexión y parte por transmisión. Para la eficiencia de los dispositivos también hay que tener en cuenta el ángulo de incidencia, el cuál interesa que sea perpendicular con las placas.

Una de las principales ventajas que presenta la tecnología solar, en concreto los sistemas solares individuales, es que consisten en una tecnología muy adecuada para la electrificación de zonas aisladas eléctricamente. Aprovechar una fuente de energía gratuita, limpia e ilimitada como es el sol ayuda a estas zonas a conseguir independencia eléctrica respecto al sistema. Gracias a ser una fuente de energía ilimitada, su disponibilidad es casi infinita. Además, hay que tener en cuenta la escasa contaminación que genera. Las placas pueden instalarse sobre los tejados de los edificios por lo que no generan contaminación extra en el terreno, tampoco genera contaminación acústica ni visual y al desmontar un panel, se generan muy pocos residuos al ser un 95% del panel reciclable. Otro factor para tener en cuenta es su fácil instalación, la mínima necesidad de mantenimiento y que presenta un

sistema modular ampliable con el tiempo. Las dos principales opciones de esta tecnología son: la generación solar fotovoltaica y la térmica.

3.1.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La tecnología fotovoltaica es la más extendida en el mundo por su sencillez de instalación, su fiabilidad y su robustez. Las instalaciones de este tipo también aportan una gran adaptabilidad a proyectos de todas las escalas, ya que si se necesita más potencia tan solo hay que aumentar el número de paneles sin necesidad de alterar el resto del sistema.

El funcionamiento de la instalación se consigue gracias al efecto fotoeléctrico. Este efecto consigue obtener de la radiación solar sus partículas lumínicas, en concreto los fotones, y estos son absorbidos por las celdas de los paneles y acaban liberando electrones. Estos electrones se conocen como la corriente continua, la cual a continuación gracias a un componente llamado inversor se transforma en corriente alterna.

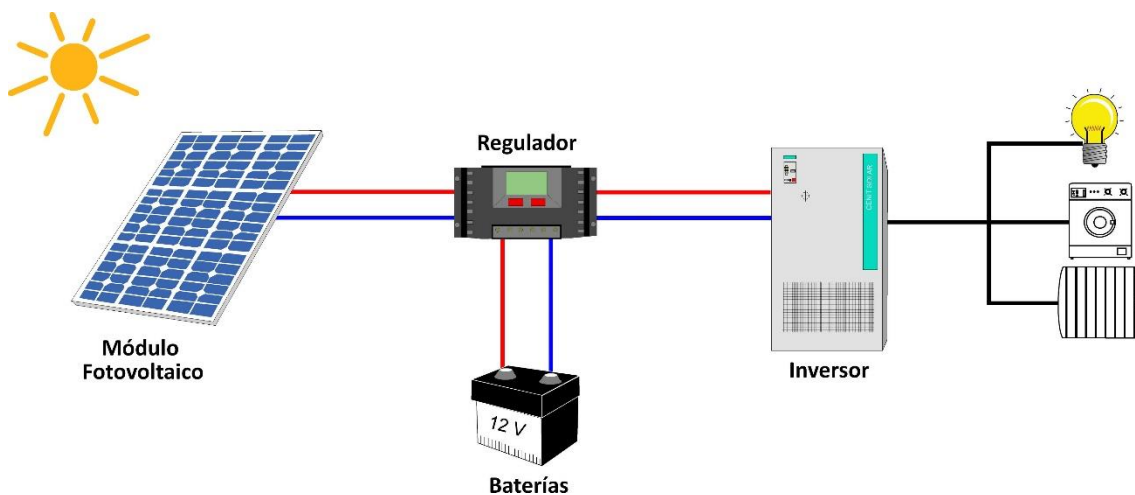


Ilustración 10: Partes de un sistema solar fotovoltaico. Fuente [11]

En la imagen anterior aparece un esquema con las diferentes partes de una instalación fotovoltaica. El módulo fotovoltaico está formado por grupos de celdas fotovoltaicas que se encargan de la transformación de la radiación solar en energía eléctrica. El inversor que como se ha explicado anteriormente se encarga de transformar la corriente continua

producida en alterna. Aparecen dos elementos extras que son las baterías y el regulador. Nuestro proyecto será una instalación no conectada a la red, por lo que el sistema va a operar en isla. Por esto aparecen los dos elementos extras; las baterías se encargan de almacenar la energía extra producida por los paneles y el regulador se encarga de proteger a las baterías en el caso de sobrecargas.

A pesar de que el mantenimiento de este tipo de instalaciones es mucho menor que el resto, es necesario un mantenimiento periódico. La mayoría de las actividades de mantenimiento pueden ser delegadas a los consumidores finales, pero habrá que tener en cuenta que se necesitarán procesos de formación para estos.

3.1.2 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

En cuanto a este tipo de tecnología, se trabaja con paneles igual que en la anterior, pero se aprovecha la intensidad calorífica en vez de la radiación que emite el sol. La energía solar térmica emplea la luz solar concentrándola en calor para producir energía. Las instalaciones térmicas más comunes son las que se emplean para calentamiento de agua, pero también se pueden instalar aquellas que producen electricidad. En el proyecto se emplearía del segundo equipo, el cual requiere de ciclos de potencia para poder transformar el calor obtenido por las placas en energía eléctrica aprovechable.

3.1.3 ELECCIÓN DEL TIPO DE INSTALACIÓN SOLAR

Las instalaciones de energía solar fotovoltaica son más recientes que las térmicas, además de emplear una tecnología más compleja. Emplea semiconductores de silicio para convertir la radiación solar en electricidad. También es necesario aparatos extra como los inversores para transformar la corriente continua obtenida en alterna, que es la que se emplea en la mayoría de los dispositivos eléctricos. Sin embargo, en los últimos años, las instalaciones fotovoltaicas están siendo las más comunes y parece que son la mejor opción.



Ilustración 11: Ejemplo del proyecto Mika, Zimbabue. Fuente [14]

Una de las ventajas más claras que tienen los paneles solares sobre los térmicos es la versatilidad de la tecnología fotovoltaica. Esta en un primer principio se va a emplear para redes de iluminación y para la carga de aparatos electrónicos, pero al ser sistemas fácilmente adaptables se podrá ajustar esta instalación a futuros proyectos. Otro factor a tener en cuenta es la robustez de las instalaciones fotovoltaicas. Los equipos presentan una durabilidad notablemente mayor que los de otro tipo, llegando a tener una vida útil superior a los 20 años. La mayoría de los fabricantes de esta tecnología no incluyen piezas móviles, lo que consigue reducir el mantenimiento al mínimo y pudiendo ser el necesario realizado por el propio consumidor. También el factor económico ayuda a la elección de la energía solar fotovoltaica, al ser sus paneles un poco más asequibles que los térmicos.

A pesar de que la eficiencia de los equipos térmicos captando la energía de los rayos de sol es notablemente mayor, llegando a niveles de 80-90% mientras que los fotovoltaicos rondan el 20%, la diferencia se suple con la capacidad de los sistemas de almacenamiento de las instalaciones fotovoltaicas. Por todo esto y por ser mucho más conocida la tecnología fotovoltaica en la zona de Zimbabue, se ha escogido la energía solar fotovoltaica.

3.2 ENERGÍA EÓLICA

La energía eólica en el proyecto es una de las tecnologías a tener en cuenta. Del mismo modo que la tecnología fotovoltaica, que ha sido analizada anteriormente, puede realizarse su instalación en la zona de los edificios del proyecto. Tener la instalación de generación tan cerca del lugar del consumo es un factor fundamental e imprescindible para las zonas aisladas eléctricamente.

Las instalaciones eólicas emplean la energía cinética del viento, las cuales mueven unas palas que son acopladas a un generador a través de un eje haciéndolo rotar y produciendo energía eléctrica. Esta forma de obtener energía también emplea un combustible gratuito y no contaminante como es el viento. El inconveniente que presenta es la dificultad de predecir los perfiles de velocidades que tendrá el viento. Por esto resulta necesario material extra como son las baterías para acumular energía para las horas de inexistencia del viento.

Con las características de nuestro proyecto se plantea el uso de las llamadas mini-eólicas. Al tener un proyecto con demanda pequeña, estos generadores con potencia inferior a los 50 kW serán suficientes. Las turbinas serán colocadas sobre los edificios, a una altura de unos 15 metros. El sentido de esto es que la velocidad del aire aumenta con la altura y se aleja de los flujos turbulentos que hay cerca del suelo.

Los principales componentes de un aerogenerador de pequeña potencia son: el rotor, gracias al cual se transforma la energía cinética en mecánica. Acoplado al rotor está el generador

que es el encargado de convertir la energía mecánica en eléctrica, normalmente de corriente continua. Por esto se ha de incluir un inversor, que transforma la electricidad producida en corriente alterna en caso de que se necesite. La aleta que se encuentra en el extremo final del aerogenerador es extremadamente importante en un proyecto de generación aislada. La instalación no será fija, sino que gracias a esta aleta se podrá ir alineando con el viento para obtener el máximo rendimiento de la instalación. Finalmente, todo aerogenerador debe tener un sistema de protección ante vientos extremos.

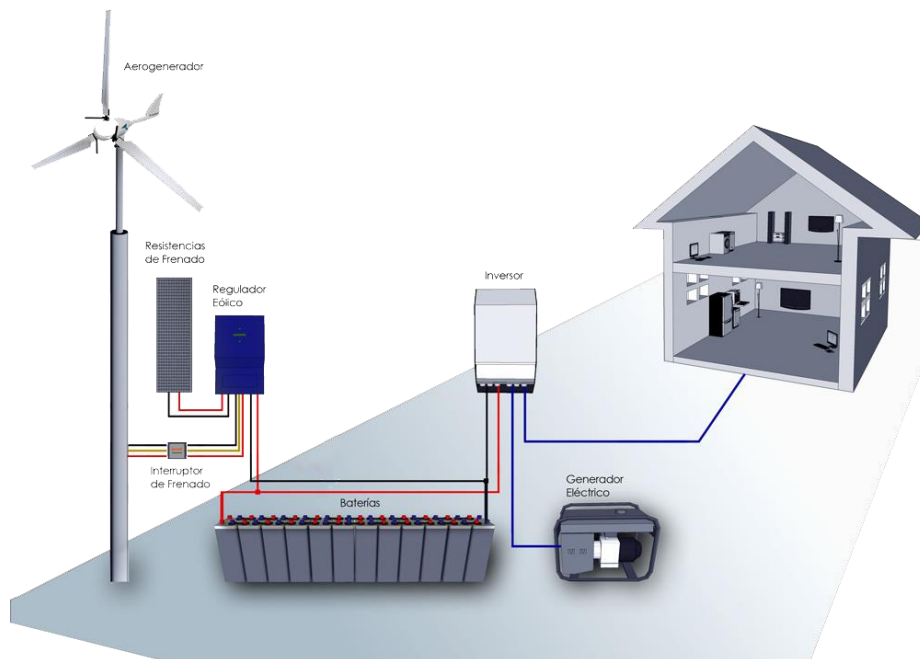


Ilustración 12: Esquema de una instalación de energía mini-eólica.

Fuente [15]

En cuanto a la generación eólica existente en el país, no se conocen muchos casos que en los que se emplee este tipo de tecnología. Zimbabue en la década de 1970 y a principios de 1980 fue uno de los primeros impulsores de la tecnología en África, en los que se empleaban aerogeneradores para sistemas de bombeo de agua. Sin embargo, en los siguientes años no surgieron nuevos proyectos y la tecnología se ha quedado estancada desde entonces.

Para poder emplear la energía eólica es necesario saber las variaciones estacionales del viento. Los generadores mini-eólicos necesitan de unas velocidades mínimas para funcionar, que se suele encontrar entre los 10 km/h y los 14 km/h. Esta velocidad es la llamada “cut-in speed”, mientras que la velocidad máxima llamada “cut-out speed” no debe ser superior a los 90 km/h. Los datos de la velocidad en la zona aparecen a continuación:

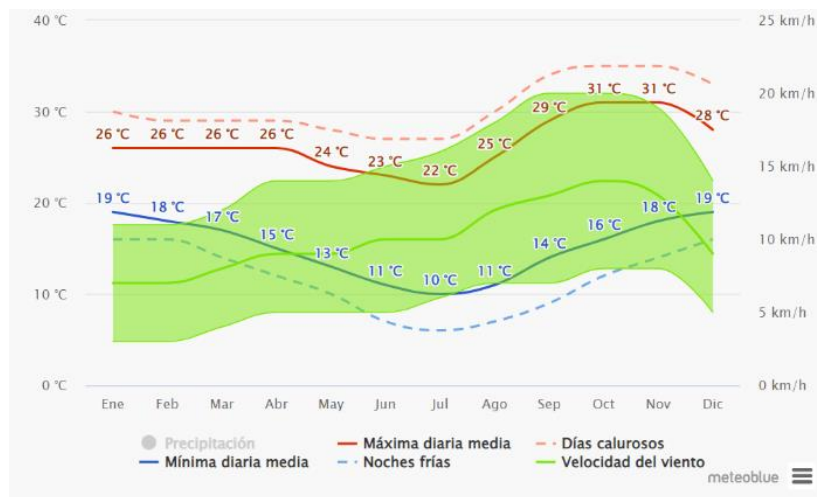


Ilustración 13: Velocidad promedio por mes en Mount Darwin.

Fuente [8]

3.2 DECISIÓN FINAL

En los puntos anteriores se han expuesto las principales condiciones de funcionamiento y cualidades de los diferentes tipos de generación energética. Tanto la energía solar fotovoltaica como la eólica presentan grandes ventajas con su uso. Ambas permiten una producción de electricidad en lugares aislados de la red eléctrica como es el caso de nuestro proyecto, consiguiendo producir electricidad en el punto de consumo y adaptándose a las necesidades eléctricas de nuestros edificios. Con esto se consigue ahorrar las pérdidas de transporte y distribución.

La decisión se va a tomar en base varios factores, siendo estos: robustez, versatilidad, eficiencia y ahorro económico.

Referente a los términos de robustez y versatilidad, la instalación debe de satisfacer en todo momento la demanda necesaria del sistema, así como no fallar nunca. Los sistemas de aerogeneradores presentan un principal problema que son sus partes rotativas. Debido a estas partes, los sistemas de las instalaciones eólicas requieren un mantenimiento más frecuente. Es porque el proyecto se va a realizar en una zona muy aislada por lo que la fiabilidad de las piezas de la instalación es tan importante. Además, la instalación se la realizará un equipo especializado, pero el mantenimiento deberá hacerse por los habitantes de la zona. Por esto cuanto más simplificado sea el diseño de la instalación y más sencillo sea el mantenimiento será mejor para que la población local opere con él.

La eficiencia y la limitación económica van a marcar también la decisión que se tomará para el proyecto. A la hora de producir y teniendo un viento moderado, los generadores eólicos tienen mayor eficiencia que los fotovoltaicos. Son capaces de aprovechar más la energía aportada por el viento que una planta fotovoltaica con niveles parecidos de materia prima a explotar. Pero por lo general, las instalaciones solares tienen más sentido para las zonas aisladas eléctricamente. También, el factor económico es favorable a la energía solar, siendo esta la más barata de todas las renovables.

Todas las condiciones anteriores hay que cumplirlas, pero la energía eólica en la zona presenta un problema crucial que es la falta de información. No solo existe el problema de que las instalaciones de generación eólica casi no se han explotado en Zimbabue desde principios de 1980, sino que no se dispone de mucha información de los perfiles de la velocidad del viento debido a la escasez de anemómetros. Se pueden encontrar gráficos con la velocidad media de una zona genérica, pero no se dispone de datos en específico de Mount Darwin, que es donde se realizará el proyecto. Con este tipo de instalación habría cortes de abastecimiento en los meses de escasez de viento, dejando las instalaciones con cortes de electricidad durante meses. En cambio, existen una gran cantidad de mapas de irradiación solar que nos permite realizar los diseños de la instalación con gran detalle. El mapa que aparece de a continuación nos muestra que se mantiene un mínimo nivel de irradiación a lo largo del año.

Finalmente se decide realizar una instalación de energía solar fotovoltaica. La instalación presenta una gran versatilidad gracias a la capacidad de aumentar la potencia del sistema sin muchas complicaciones. Esto servirá para que el proyecto inicialmente se utilice para las funciones designadas, pero que a lo largo que la comunidad vaya creciendo y las necesidades energéticas consecuentemente aumenten también, el sistema sea capaz de adaptarse fácilmente. También hay que tener en cuenta que el sistema será capaz de cubrir los momentos de demanda pico al ser estos las horas de máxima irradiación. Las horas de luminosidad nula serán soportadas por el sistema de baterías. Por último, cabe destacar que en la zona del sur de África se han desarrollado un gran número de proyectos que emplean esta tecnología, por lo que será más sencillo encontrar materiales para realizar la instalación.

CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

En el capítulo anterior se ha concluido que la mejor opción para nuestro proyecto será una instalación de energía solar fotovoltaica. En este cuarto capítulo se expondrá todo lo necesario para realizar la instalación, desde la disposición e inclinación de los paneles, hasta todos los componentes que se emplearán para hacer funcionar el sistema eléctrico. Dentro de este capítulo se tendrán en cuenta el rendimiento y eficiencia de los distintos equipos a escoger, pero también será un factor crucial para la decisión el coste económico.

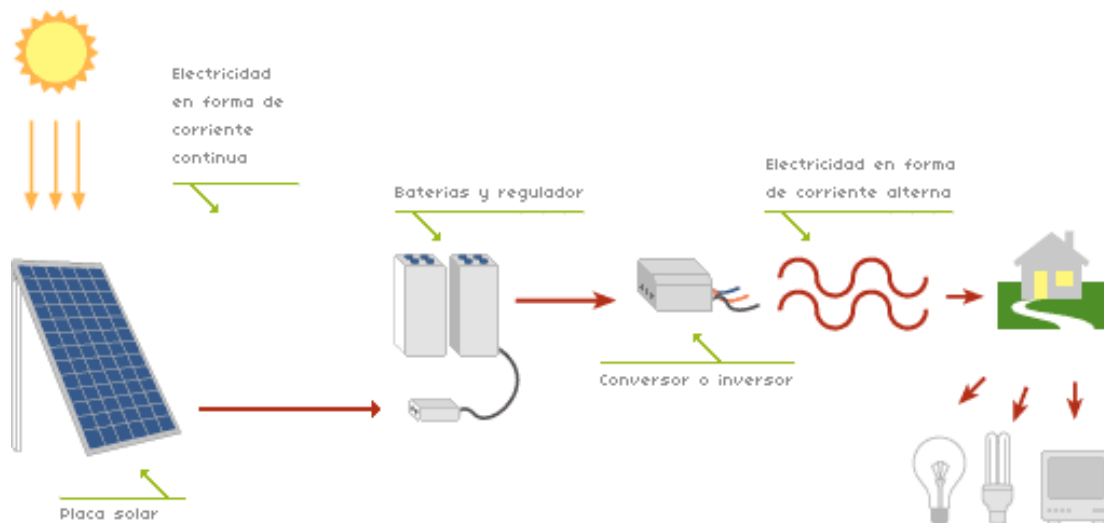


Ilustración 14: Esquema de las partes de una instalación solar fotovoltaica. Fuente [11]

4.1 DISPOSICIÓN DE LOS PANELES

A la hora de instalar un sistema que usa como combustible la iluminación solar, lo primero a tener en cuenta es la dirección del panel solar y el ángulo que debe tener. En panel solar funcionará con máxima eficiencia cuando esté totalmente perpendicular a los rayos del sol. Esto parece un concepto sencillo, pero después al llevarlo a la práctica se puede observar que los paneles se posicionan en direcciones distintas. Hay que tener en cuenta que la

posición del sol no es constante, sino que cambia a lo largo del día. Por esto, es necesario calcular el ángulo óptimo para las placas. Para ello no solo es importante saber la localización donde se va a realizar la instalación, sino que también se necesita saber las coordenadas solares.

Para todos los planes de instalación de energía solar, es necesario no solo saber la demanda a satisfacer, las dimensiones o las especificaciones de la instalación, hay que entender la rotación de la tierra alrededor del sol. Esto se consigue a través de las coordenadas solares llamadas “azimut” y “elevación”. La órbita que describe la tierra alrededor del sol es elíptica, pero para realizar los cálculos se toma como referencia la tierra. Al fijar el sistema de referencia, el sol realiza un movimiento denominado “esfera celeste” en el que forma un ángulo constante con la tierra de 23.45 °. Por esto, se puede definir a lo largo del año las coordenadas solares:

- Acimut (α): es el ángulo formado, en el plano horizontal, por el sol y la dirección norte.
- Elevación (β): es el ángulo formado, en el plano vertical, por los rayos del sol con el punto de estudio.

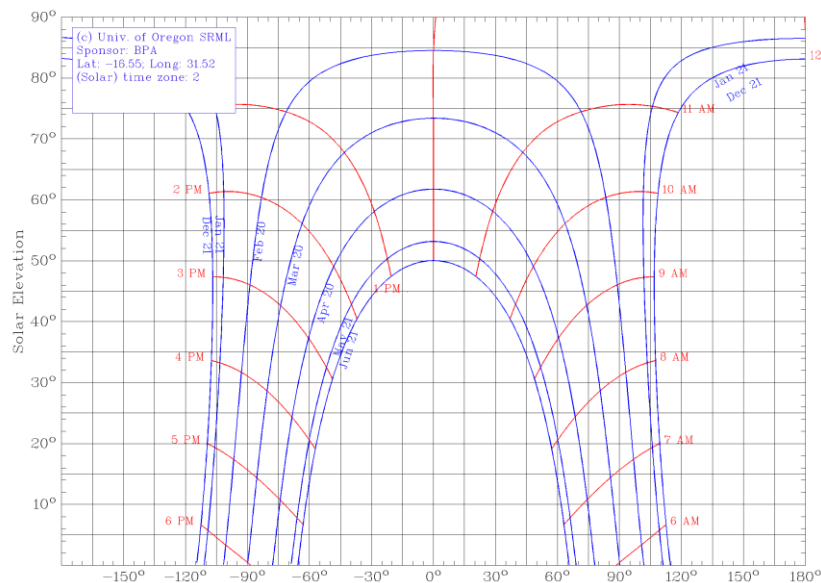


Ilustración 15: Coordenadas solares durante el año en Zimbabwe. Fuente [18]

En el gráfico anterior se muestra una carta solar. Es una representación bidimensional de las trayectorias que sigue el sol vistas desde las coordenadas del proyecto. Con este gráfico se puede saber la hora a la que sale y se pone el sol en ciertos meses, la elevación máxima y mínima. Todo esto será fundamental para poder escoger la disposición de las placas solares.

La dirección en la que se orientan las placas solares es determinada por la localización en la que se va a realizar el proyecto. En países al norte del hemisferio, los paneles solares deben ser direccionados hacia el sur. Mientras que los países al sur del hemisferio la opción más eficiente es colocar los paneles en dirección norte. En el caso de este proyecto, al estar en Zimbabue país del hemisferio sur, los paneles estarán colocados en dirección norte.

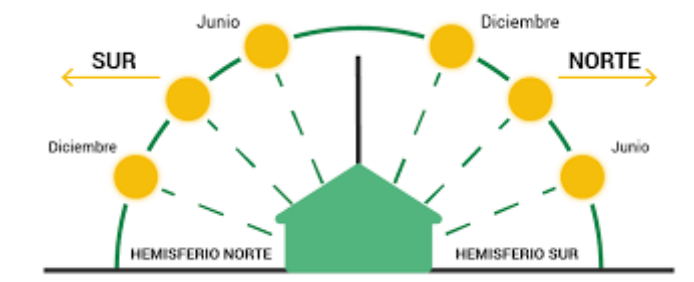


Ilustración 16: Dirección solar en ambos hemisferios. Fuente [20]

Otro factor a tener en cuenta es que se debe evitar las sombras provenientes por otros edificios, montañas o árboles, con esto se consigue aumentar la eficiencia del sistema. El mes que se empleará para garantizar el correcto diseño será junio. Este no solo se alcanzan los menores niveles de irradiación solar, sino que es en el que más bajo se encuentra el sol por lo que será el que mayor sombra genere. Garantizando el correcto dimensionamiento del número de placas y la cercanía entre estas en este mes, se podrá concluir que a lo largo del año no generarán sombras entre sí.

Otra medida que se toma para huir de la sombra va a ser realizar la instalación en los techos de los edificios. Se ha estudiado el perfil del terreno de alrededor de la zona, y se ha observado que no existen grandes montañas que puedan generar sombras. Aunque teniendo en cuenta este factor se podría haber decidido situar los paneles en el suelo, se ha concluido que la mejor opción es la de situarlos en los techos. Esto significa un mejor aprovechamiento de la superficie disponible, así como también tener menores niveles de polvo en los paneles. Las pérdidas por suciedad surgen principalmente por la presencia de polvo, en estas zonas semiáridas son un factor a tener en cuenta y se pueden mitigar inclinando los paneles. Al nivel del suelo, el viento mueve más cantidad de polvo que a cierta altura y significará mayores niveles de pérdidas. Como ya se ha comentado anteriormente, el edificio ya existente está edificado en dirección norte desviado 30° hacia el este. Preferiblemente, habrá que construir los edificios restantes alineados con la dirección norte.

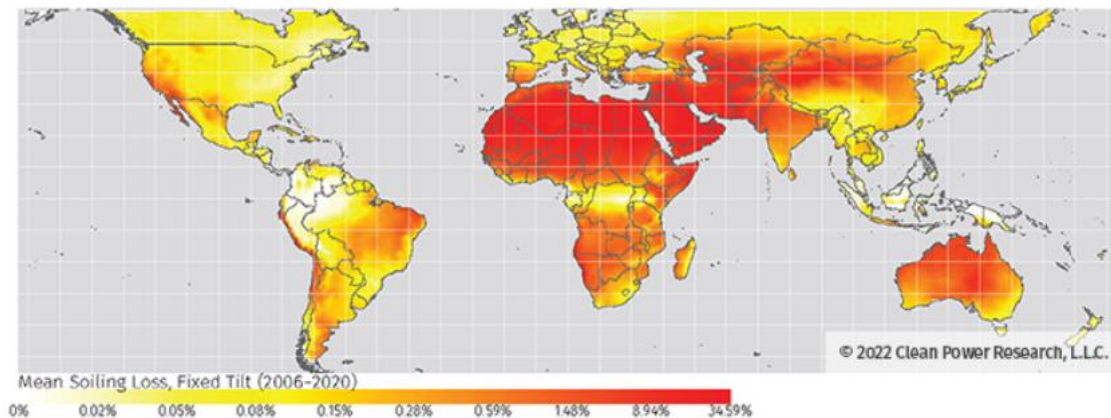


Ilustración 17: Mapa de pérdidas en las placas solares provocadas por el polvo. Fuente [21]

Para calcular el ángulo óptimo de elevación β , se pueden emplear varios métodos. Primero hay que decidir si se mantendrá un ángulo fijo una vez hecha la instalación, o se dispondrá de un dispositivo que ajuste la inclinación de los paneles según la hora del día. Se ha decidido descartar la segunda opción. Estos sistemas son individuales, es decir, solo ajustan un panel cada uno. Esto supone un coste añadido por cada panel que no resulta necesario para obtener la energía eléctrica suficiente para satisfacer la demanda. Además, estos sistemas al ser más

complejos tienen más probabilidad de fallo y por lo tanto requieren mayor frecuencia de revisión y de mantenimiento. Se ha optado por un soporte más sencillo, una estructura ajustable manualmente.

El cálculo del ángulo se realiza con el método de inclinación óptima anual, además se comprobará si se ajusta al óptimo para el mes de peores condiciones. La operación se realiza con bases estadísticas y se obtiene a partir de la latitud. Al ser esta inferior en valor absoluto a 25°, la expresión que calcula el ángulo es la siguiente:

$$\beta_{opt} = 0.87 * \gamma = 0.87 * |-16.55| = 14.4^\circ \approx 15^\circ$$

Siendo:

- β_{opt} : ángulo de inclinación óptima de las placas solares (grados)
- γ : latitud del proyecto (grados)

Aunque el ángulo obtenido no es exactamente 15°, se ha escogido este ya que es la inclinación que tiene el edificio. Aun así, se instalarán soportes ajustables para que en caso de que las especificaciones no sean correctas se pueda ajustar hasta el óptimo.

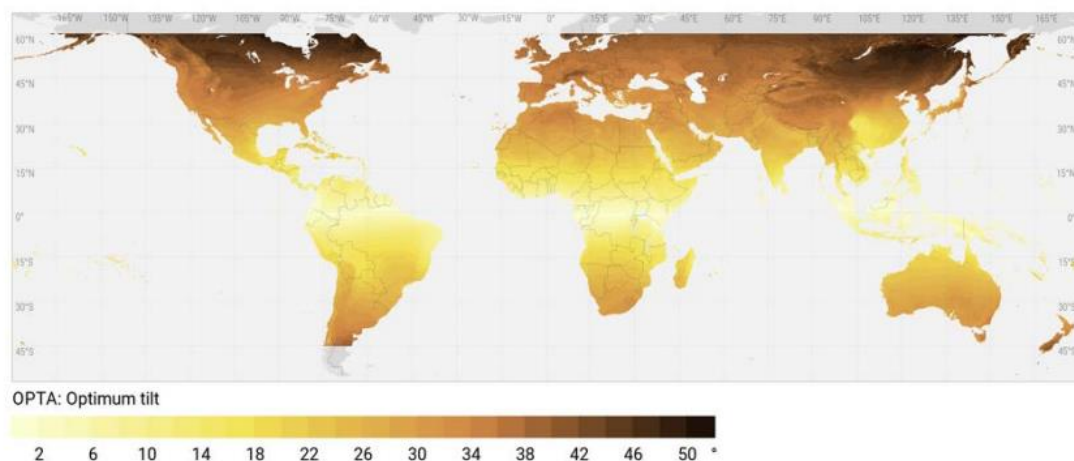


Ilustración 18: Inclinación óptima (OPTA) de los módulos para maximizar el rendimiento fotovoltaico.

Fuente [19]

A continuación, se exponen los gráficos de las irradiaciones solares en el mes de junio según el ángulo de inclinación:

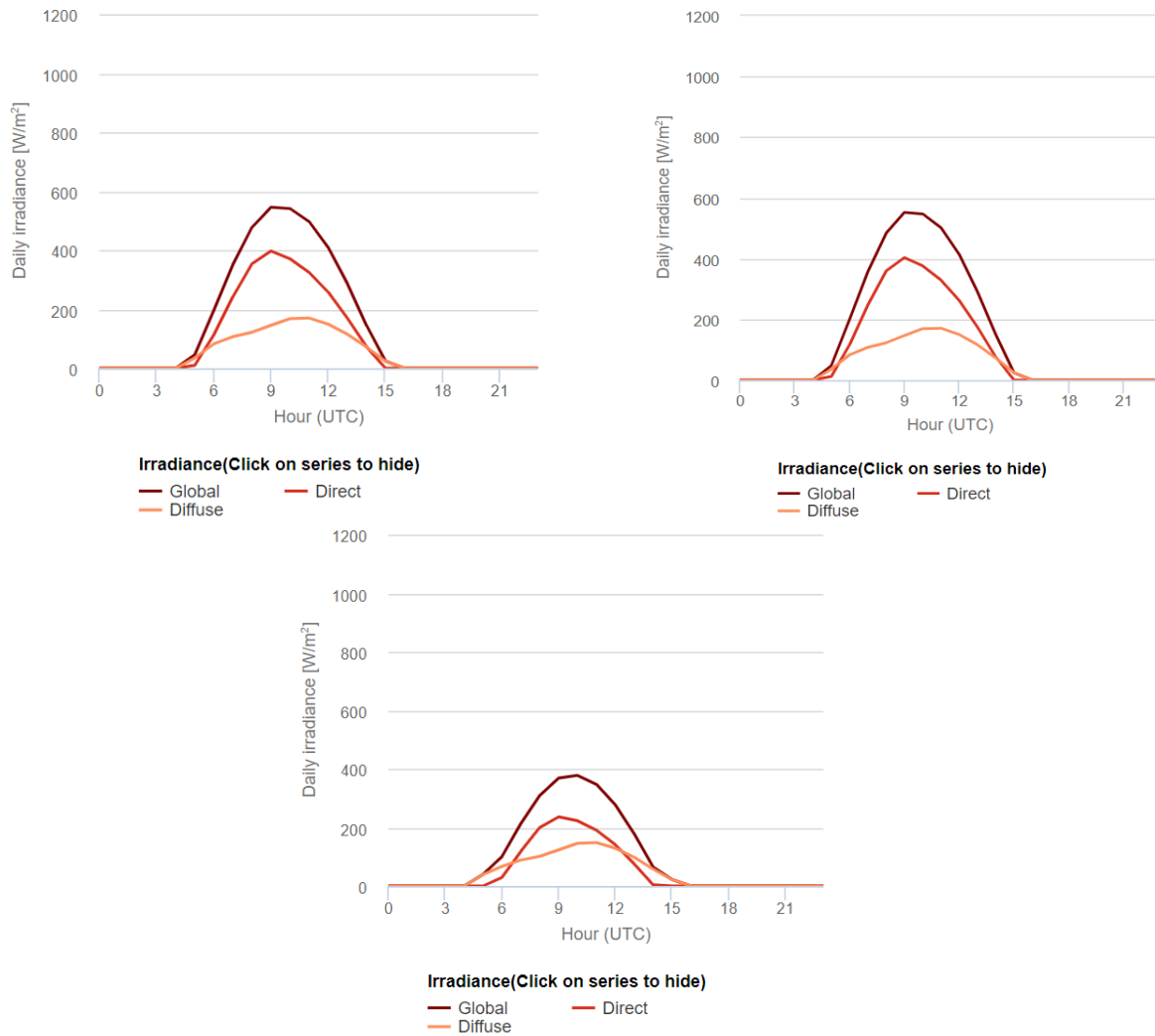


Ilustración 19: Niveles de irradiación solar con distintos ángulos (14. 4° arriba a la izq., 15° arriba a la drcha. y 30° abajo). Fuente [PGVIS]

Los gráficos de han obtenido empleando la aplicación PVGIS, facilitada por la comisión europea. Se observa una nula diferencia entre los niveles de irradiación a 14. 4° y 15°, siendo los picos 403.25 W/m² y 397.31 W/ m² respectivamente. Esto demuestra que la decisión de mantener la inclinación ya existente de los techos será óptima. Además, se ha incluido un

último gráfico para una inclinación de 30°. Se puede ver claramente que el cálculo del ángulo es correcto, y que los niveles de irradiación a 30° son muy lejanos a los alcanzados con el ángulo óptimo.

4.2 PANELES FOTOVOLTAICOS

Los paneles solares están formados por numerosas células fotovoltaicas (PV). El panel solar típico está formado por dichas células solares individuales, cada una de las cuales está hecha de capas de silicio, boro y fósforo. La capa de boro proporciona la carga positiva, la capa de fósforo proporciona la carga negativa y la de silicio actúa como semiconductor. Cuando la luz del sol toca la superficie de un panel solar, las partículas de energía del sol (fotones) son absorbidos por estas células solares. Después de la absorción, las células comienzan a vibrar, lo que genera electricidad. Este proceso se conoce como el efecto fotovoltaico, que fue descubierto por primera vez en 1839 por Edmond Becquerel.

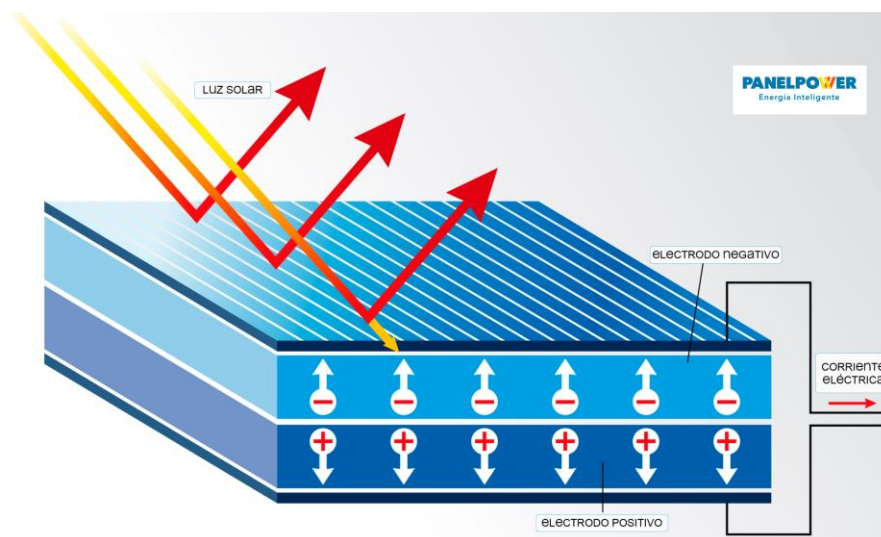


Ilustración 20: Sección de una placa solar. Fuente [23]

Todos los paneles fotovoltaicos difieren en eficiencia. Lo que significa que ciertos tipos e incluso marcas de paneles solares pueden convertir la luz solar en electricidad de manera más efectiva que otros. Esto se debe a que los componentes de los paneles varían. El número de celdas de un panel solar puede determinar su coste, tamaño y peso. Aunque a menudo se cree que cuantas más celdas de silicio tenga un panel, más potencia producirá, no siempre es así. La potencia de salida de un panel depende de la calidad y la eficiencia de las propias células solares.

En este punto se expondrán los tres tipos principales de paneles solares: policristalinas, monocristalinas y de película delgadas. Tras la decisión del tipo de panel a utilizar, se realizará un análisis de mercado para determinar el tipo de placa y la marca de la que se hará el pedido para realizar la instalación eléctrica.

4.2.1 TIPOS DE PLACAS SOLARES

- **Paneles solares monocristalinos:** estos son el tipo de panel más antiguo, y por consecuencia es el que se ha desarrollado con más eficiencia. Como sugiere el nombre, los paneles solares monocristalinos están hechos de células solares de silicio de un solo cristal. Para hacer estas celdas solares, se forman barras de silicio puro y se cortan en obleas. Durante este proceso, los bordes de las celdas se cortan en forma de chaflán para ayudar a las celdas solares a producir aún más electricidad. Esto implica un mayor coste económico, pero significa una mayor eficiencia. Este tipo de placas son fácilmente reconocibles por su color negro.

Aunque las células monocristalinas son más caras, tienden a durar más y tienen una mayor eficiencia, esta es una de las principales ventajas de este tipo de panel. Como las celdas están compuestas de un solo cristal, también tienen una mayor potencia de salida. El rendimiento de los paneles monocristalinos está en torno al 20 %.

Ejemplos de marcas que fabrican este tipo de panel son: ERA SOLAR, PERC y JA SOLAR.

- **Paneles solares policristalinos:** también conocidos como paneles “multicristalinos”, Aunque son menos eficientes, los paneles solares policristalinos son la opción más asequible. Al igual que los paneles solares monocristalinos, las células policristalinas están hechas de silicio. Sin embargo, como sugiere el nombre, las células policristalinas están hechas de muchos fragmentos de cristal de silicio. Por esta razón, los paneles solares policristalinos tienen una menor eficiencia y una vida útil corta. Debido al menor rendimiento, no se aprovecha la irradiación solar como en los paneles monocristalinos. Esto se debe a que hay menos libertad para que los electrones se muevan, ya que hay muchos cristales en cada celda.

A diferencia de sus rivales monocristalinas, las células policristalinas no requieren que se corte cada uno de los cuatro lados. Esto es mejor para el medio ambiente ya que genera menos desperdicio. En general, el proceso es más rápido y económico que la fabricación de paneles monocristalinos. Estas obleas luego se ensamblan para formar un panel policristalino. Las células policristalinas se pueden identificar por su acabado azul. El rendimiento de los paneles policristalinos se encuentra entre el 15-17%.

Ejemplos de marcas que fabrican este tipo de panel solar son: ERA SOLAR y SHS.

- **Paneles solares de película delgada:** A diferencia de los paneles solares monocristalinos y policristalinos, los paneles solares de película delgada son delgados, flexibles y de bajo coste. Esto se debe a que las celdas dentro de los paneles son aproximadamente 350 veces más delgadas que las obleas cristalinas utilizadas en los paneles solares monocristalinos y policristalinos. Se fabrican a partir de materiales semiconductores como el silicio, telurio... Aunque se emplee el silicio como en los paneles de los otros tipos, este es un tipo de silicio no cristalino que implica menor peso y tamaño.

Los paneles solares de película delgada tienden a tener eficiencias y capacidades de energía más bajas en comparación con los paneles cristalinos. Con eficiencias que alcanzan alrededor del 11 por ciento, requieren mucho más espacio en el techo para generar una gran cantidad de energía solar. También tienden a degradarse más

rápidamente en comparación con los paneles cristalinos, lo cual es crítico para el proyecto que se quiere realizar.

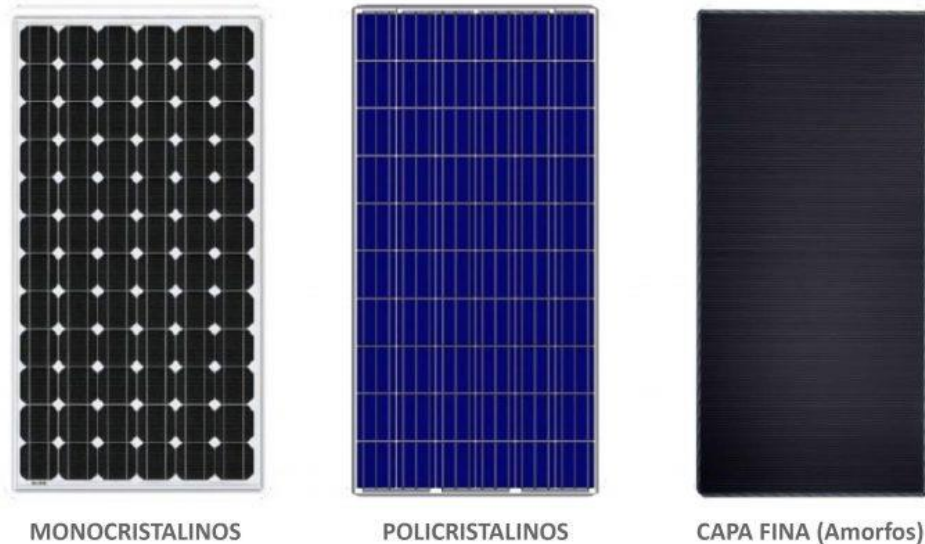


Ilustración 21: Tipos de paneles fotovoltaicos. Fuente [24]

El tipo de módulo fotovoltaico es extremadamente importante para el proyecto. Con el estudio anterior de los diferentes tipos de paneles se va a poder descartar dos tipos y con eso se facilitará la búsqueda del panel a emplear en la instalación.

La elección del tipo de panel solar está totalmente relacionada con el tipo de proyecto que se va a realizar. Los paneles de película delgada no son comunes en pequeñas producciones, sino que son útiles para proyectos grandes como edificios comerciales. Las principales ventajas de este tipo de módulo son el bajo coste y el reducido peso y dimensiones que tienen. Sin embargo, la eficiencia es notablemente más baja y tiene un tiempo de duración menor. Al estar en una zona aislada de Zimbabue, el proyecto prioriza la escasez de mantenimiento y necesidad de hacer recambios. Por otro lado, los paneles policristalinos son los más comunes en pequeños proyectos. Sin embargo, en proyectos como este en el que la superficie de la instalación es limitada, se busca una instalación con la mayor eficiencia energética. Por lo tanto, se ha escogido los paneles monocristalinos para realizar el proyecto.

Con esto se va a conseguir maximizar la eficiencia de la instalación, así como garantizar la robustez del sistema. Este tipo de módulo a pesar de ser más caro presenta la vida útil más larga y los paneles son los más fiables.

Tipo de panel fotovoltaico	Panel monocristalino	Panel policristalino	Panel de capa delgada
Eficiencia energética (%)	20% y superior	15-17%	9-11%

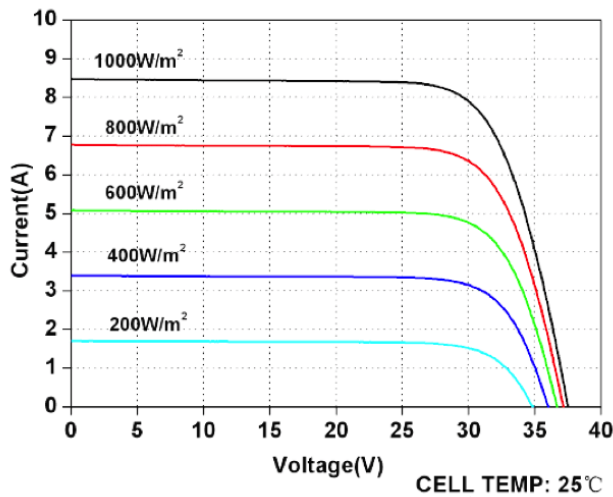
Tabla 5: Comparativa de la eficiencia de los distintos paneles solares. Fuente [22]

4.2.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS PLACAS SOLARES

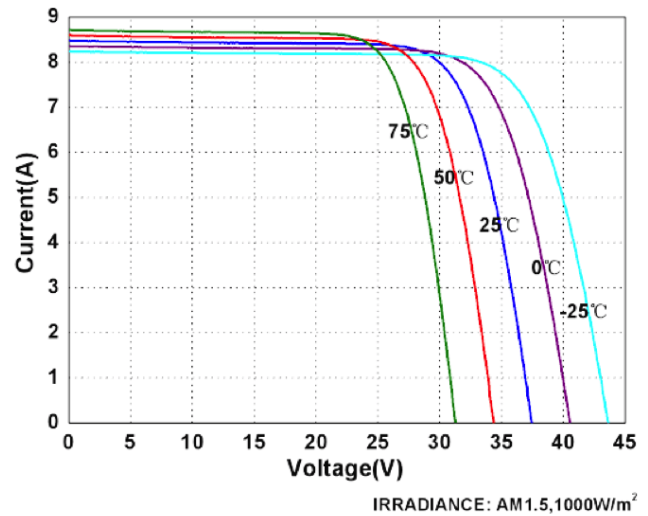
Las características eléctricas de los paneles solares aparecen en la ficha técnica, son las siguientes:

- **Intensidad de cortocircuito (I_{cc}/I_{sc}):** es aquella que presenta el panel condiciones nominales de funcionamiento y a tensión 0 voltios en bornes. El valor se obtiene empleando un amperímetro y es variable en función de las condiciones atmosféricas.
- **Tensión de circuito abierto (V_{ca}/V_{oc}):** es la tensión máxima que puede alcanzar el panel en condiciones nominales de funcionamiento. Se mide sin ninguna carga conectada y también varía según las condiciones atmosféricas.
- **Potencia máxima (P_{max}):** es la máxima potencia que puede producir el panel. En este punto se maximiza la intensidad y la tensión. Es medida en vatios pico (Wp).
- **Corriente en el punto de máxima potencia (I_{mp}):** es la corriente generada cuando la potencia es máxima en condiciones nominales de funcionamiento.
- **Voltaje en el punto de máxima potencia (V_{mp}):** es la tensión generada cuando la potencia es máxima en condiciones nominales de funcionamiento.

- **Eficiencia (%):** este parámetro muestra la eficiencia de conversión que tiene la placa. Mide la cantidad de potencia solar que es capaz de convertir en potencia eléctrica. Se calcula: $\eta = W_p/W_r$; donde W_r es la potencia de irradiación incidente y W_p es la potencia obtenida de la placa.
- **Tolerancia (%):** es el margen de potencia que marca el fabricante en sus paneles solares.
- **TONC (°C) o temperatura nominal de operación de célula:** es la temperatura que se alcanza cuando los paneles están trabajando en las siguientes condiciones: irradiancia de 800 W/m^2 , temperatura de 20 °C , velocidad del viento de 1 m/s y una distribución espectral AM 1,5.
- **Efecto de la intensidad de iluminación (Irradiancia):** en las fichas técnicas aportadas por los fabricantes aparecen dos gráficas tensión-corriente relacionadas en función de la irradiancia solar y la temperatura. En la primera gráfica mostrada a continuación, se observan diferentes curvas a ciertos niveles de irradiación para una temperatura ambiente de 25 °C . Se observa que a mayor nivel de irradiación se obtendrán mayores niveles de corriente. En la segunda gráfica, se muestran las curvas para las diferentes temperaturas ambientales con una irradiación de AM 1.5, 1000 W/m^2 . Se puede concluir, que a mayor temperatura ambiente se obtendrá mayores niveles de corriente. Observando ambas gráficas, el límite de tensión de las placas ronda los 25 v , ya que a partir de ahí bajan los niveles de corriente drásticamente.



Current-Voltage curves
at different irradiances



Current-Voltage curves
at different temperatures

Ilustración 22: Curvas de tensión y corriente según los niveles de irradiación (W/m^2) y temperatura ($^{\circ}C$). Fuente [22]

4.2.3 CÁLCULO, DISEÑO Y ELECCIÓN DEL TIPO DE MÓDULO FOTOVOLTAICO

El dato más importante a la hora de dimensionar la instalación fotovoltaica es el consumo diario que va a tener que hacer frente. En el capítulo 2 se ha realizado un estudio de la potencia ya instalada y la que se instalará en un futuro, dando como resultado 38.452 kWh/día de demanda que tendrá que hacer frente el sistema. Dado que se considera que no hay vacaciones, sino que el centro permanece abierto todo el año, el consumo será prácticamente constante y por esto se realiza el diseño en el mes más crítico. La producción de las plantas fotovoltaicas es gracias a la irradiación solar, y el mes con menor capacidad solar es junio con 128,68 kWh/m².

Las instalaciones eléctricas no se realizan ajustadas exactamente a la demanda, sino que se dimensionan con ciertos márgenes de seguridad. Buscando en los archivos del país en el que se realiza el proyecto, Zimbabue, no se han encontrado especificaciones técnicas sobre los parámetros de seguridad de las instalaciones fotovoltaicas. Por esto, se ha hecho una

búsqueda entre los comercializadores de paneles y se han obtenido dos principales opciones: la primera es establecer un margen del 20% y la segunda es tener en cuenta los rendimientos de los aparatos eléctricos; batería, inversor y conexionado. A continuación, se hace una comparativa de los cálculos de ambas opciones:

- **Opción 1:** margen de seguridad del 20 %.

$$D_d = 38.452 \text{ kWh}$$

$$D_s = 38.452 * 1.2 = 46.1424 \text{ kWh}$$

- **Opción 2:** margen de seguridad acorde a los rendimientos. En este punto se consideran los rendimientos generales de los componentes: rendimiento de una batería 95%, de un inversor 90% y del conexionado 100%. Aunque cabe destacar que más adelante a la hora de escoger los aparatos se especificarás los rendimientos y comprobarán los cálculos.

$$D_d = 38.452 \text{ kWh}$$

$$D_s = \frac{D_{DC} + \frac{D_{AC}}{\eta_{inv}}}{\eta_{bat} * \eta_{con}} = \frac{0 + \frac{38.452}{0.9}}{0.95 * 1} = 44.973 \text{ kWh}$$

Siendo:

D_d : demanda diaria del sistema.

D_s : demanda ajustada al margen de seguridad.

D_{DC} : demanda de las cargas de corriente continua.

D_{AC} : demanda de las cargas de corriente alterna.

η_{inv} : rendimiento del inversor.

η_{bat} : rendimiento de la batería.

H con: rendimiento del conexionado.

Acorde a los cálculos de las dos opciones, no hay grandes diferencias entre ellas. Por esto se escoge la opción 1, con una demanda de 46.1424 kWh. Esta será la potencia que tendrá que ser aportada por los paneles. Con el factor de seguridad se consigue un sistema con mayor robustez, además el exceso de producción servirá para cargar las baterías.

Para poder calcular el número de paneles que se necesita instalar se tiene que decidir qué tipo de panel se va a emplear. La conclusión a la que se llegó anteriormente en este capítulo es la de emplear paneles monocristalinos. A continuación, se muestra una tabla comparativa de módulos solares entre diversas marcas y modelos del mercado.

Marca panel solar	JA solar	ERA solar	Canadian solar
Modelo	JAM72S20	ESPHSC	CS3W-450
Tipo	Monocristalino PERC	Monocristalino de silicona	Monocristalino PERC
Potencia máxima (W)	450	450	450
Tensión (V)	24	24	24
Tensión de circuito abierto (V)	49.70	49.3	48.7
Corriente de cortocircuito (A)	11.36	11.6	11.65
Eficiencia (%)	20.3	20.7	20.37

Dimensiones (mm)	2112x1052x35	2094x1038x40	2108x1048x40
Precio unitario (€/unidad)	209.81	222.92	260.92

Tabla 6: Comparativa de los modelos de los paneles solares (Monocristalinos). Fuente [Autosolar]

En la tabla anterior se exponen tres paneles solares de diferentes marcas, estos han sido escogidos según se ajustasen mejor a los requisitos del sistema. Los tres presentan una potencia máxima de 450 W, y el resto de las características importantes, como la eficiencia, son muy similares. Al ser la eficiencia tan similar en los tres paneles, esta no marca la diferencia a la hora de la elección del tipo de panel a emplear en la instalación y por ello se escogerá el módulo solar en función de su coste económico. Por esto, se elige el panel de la marca JA solar para instalar.

A continuación, se calculan el número de paneles que necesita la instalación para abastecer al sistema. Se necesita definir antes de realizar el cálculo varios términos los cuales desconocemos. La ecuación para el número total de paneles solares es:

$$N_T = \frac{L_{mdcrit}}{P_{MPP} * HPS_{crit} * PR}$$

Siendo:

L_{mdcrit} : es la demanda diaria para el mes crítico.

P_{MPP} : es la potencia máxima que es capaz de aportar el panel solar.

HPS_{crit} : es la hora solar pico y mide la cantidad de horas que se una irradiación de 1000 W/m².

PR: es el performance ratio que dará la instalación.

Hay varios de los parámetros de la ecuación que ya se han calculado anteriormente. El factor L_{mdcrit} que es la demanda mensual, se ha determinado anteriormente que la demanda a lo largo del año es constante al no tener vacaciones establecidas. Se fijó el valor con un margen de seguridad a 46.1424 kWh/ día. Por otro lado, el factor P_{MPP} está establecido por el tipo de panel solar que se ha cogido con anterioridad a una potencia de 450 W. Los otros dos parámetros son necesarios cálculos para determinarlos.

Para calcular el factor HPS_{crit} es necesaria la hipotética irradiancia solar que está establecida en 1000 W/m². Para hacer el cálculo se emplea la irradiancia incidente de un determinado día del mes crítico. Al conocer la irradiancia mensual se va a suponer que esta se divide de manera constante a lo largo del mes. El cálculo es el siguiente:

$$I_T = 128,68 \text{ kWh/m}^2$$

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

$$I_D = \frac{128,68}{31} = 4.15 \text{ kWh/m}^2$$

$$HPS_{crit} = \frac{I_D}{I_h} = 4.15$$

Siendo:

I_T : irradiancia solar total del mes crítico.

I_h : irradiancia solar hipotética.

I_D : irradiancia solar diaria.

El factor global de funcionamiento se calcula a partir de las pérdidas totales del sistema, este varía entre 0.65 y 0.9. Las pérdidas principales para tener en cuenta son las siguientes: el rendimiento del inversor, el rendimiento de los cables, las pérdidas por suciedad, las pérdidas por miss match y el rendimiento por temperatura de los módulos solares. El inversor no se ha escogido aún. Estos generalmente tienen una eficiencia de entre el 90 y 94 % por lo que se establece el valor en el 94%. Para la eficiencia de los cables, se establecen las máximas pérdidas permitidas por la normativa española que son del 1.5 %. Por lo que la eficiencia de los cables será del 98.5 %.

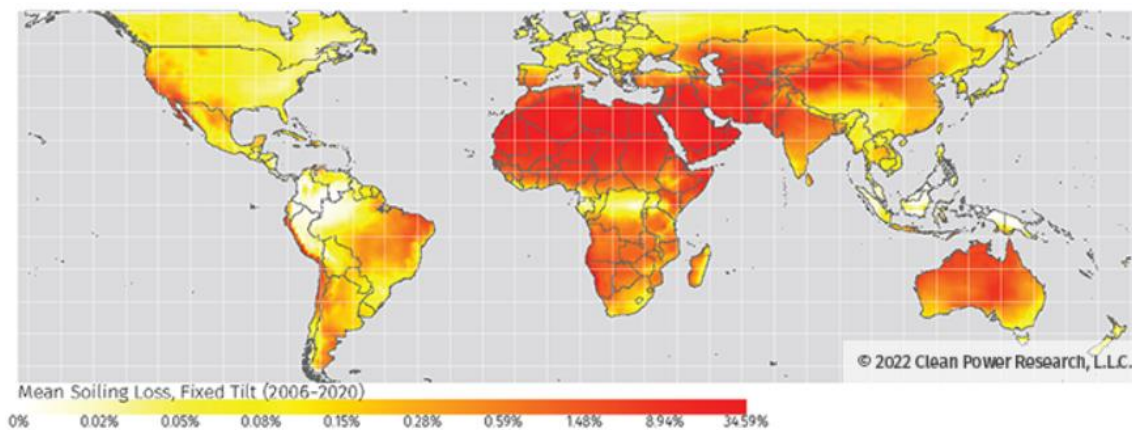


Ilustración 23: Mapa de las pérdidas de los módulos solares por suciedad. Fuente [21]

En el gráfico anterior se muestra un mapa de pérdidas por suciedad debida principalmente al polvo. Se establecen en un 1% aproximadamente, dando un rendimiento del 99%. Por otro lado, las pérdidas por miss match que surgen de las interconexiones entre los paneles se consideran del 4%, por lo que la eficiencia será del 96%. Por último, se calcula la eficiencia de los módulos por variaciones de temperatura. La temperatura media mensual en el mes de junio en Zimbabwe es de 20 °C, al no llegar a 25 °C las pérdidas por variaciones de temperatura se consideran despreciables. Por lo tanto, el PR será:

$$PR = 0.94 * 0.985 * 0.99 * 0.96 = 0.88$$

Una vez calculados todos los parámetros se procede a calcular el número total de paneles que se van a instalar. También se calcula el número de ramas en paralelo que se necesitarán, así como el número de paneles por rama.

$$N_T = \frac{L_{mdcrit}}{P_{MPP} * HPS_{crit} * PR} = \frac{46.1424 * 10^3}{450 * 4.15 * 0.88} = 28.28 = 29 \text{ paneles}$$

$$N_{serie} = \frac{V_{BAT}}{V_{MOD}} = \frac{41.52}{24} = 1.73 = 2 \text{ panel}$$

$$N_{paralelo} = \frac{N_T}{N_{serie}} = 14.5 = 15 \text{ ramas}$$

Siendo:

N_T : el número total de paneles necesarios para abastecer la demanda energética.

N_{serie} : el número de paneles por ramas que se va a instalar.

$N_{paralelo}$: el número de ramas en paralelo que se va a instalar.

Gracias a los cálculos se puede concluir que se necesitaran 15 ramas en paralelo, cada una teniendo 2 paneles instalados.

4.3 INVERSOR

Como ya se ha comentado anteriormente, el inversor solar es un elemento fundamental en las instalaciones fotovoltaicas. La corriente continua que ha sido generada por los paneles fotovoltaicos es transformada en corriente alterna por el inversor. El proceso se considera tan importante debido a que esta corriente es la que se va a usar en los dispositivos de iluminación, electrónica y almacenamiento en baterías. La corriente que debe dar el inversor seleccionado es de 220 V y 50 Hz. Aunque existen inversores de onda cuadrada, los más

comunes son aquellos con salida sinusoidal. Además, hay que tener en cuenta que los dispositivos más recomendados son los de onda senoidal pura, por lo que será el dispositivo que se empleará. Los inversores presentan una eficiencia de entre 90% y 94% en plena carga, para sistemas de baja tensión de entrada. Esta eficiencia puede ser maximizada si la tensión de entrada crece.

Las funciones principales de los inversores son: como se ha mencionado anteriormente la conversión de la energía generada en corriente alterna. También se encargan de hacer un seguimiento y protección de la instalación. Ante problemas en la red de generación se necesitan protecciones, estas funciones tendrán que ser asumidas por el inversor. A parte, este tiene que mantener el funcionamiento ante cualquier circunstancia. El diseño se realizará teniendo en cuenta que el inversor debe operar en todas las condiciones climáticas, manteniendo la conexión ininterrumpida.

Otro aspecto que hay que estudiar antes de decidir el tipo de inversor a instalar es el número que se va a comprar. Existen dos posibilidades: emplear un inversor centralizado o emplear un inversor por cada placa solar. La primera opción presenta la desventaja de que la instalación solo generará tanta electricidad como el panel solar que menos produzca. Este efecto provocará un efecto “cuello de botella” si sólo unos pocos paneles están en sombra o funcionando incorrectamente. La otra opción que consiste en instalar un inversor por series de placas solares maximiza la eficiencia de la instalación, pero dispara el precio de esta. Los inversores son dispositivos de alto coste, y en este proyecto se prioriza el ahorro económico.

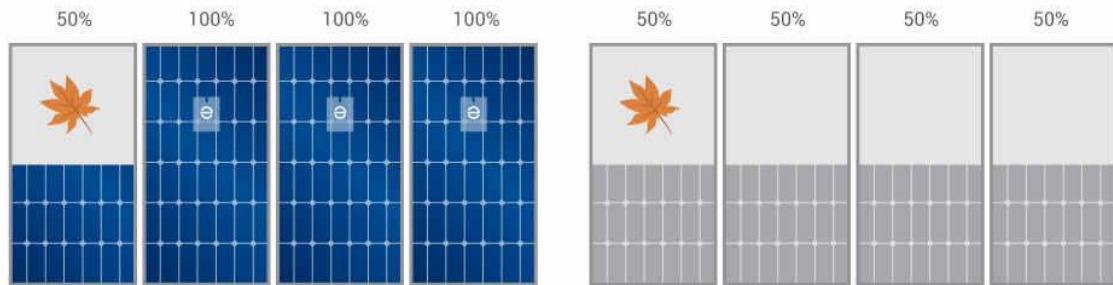


Ilustración 24: Ejemplo de un inversor por panel fotovoltaico vs inversor centralizado en la instalación.

Fuente [26]

En la imagen anterior se muestra una comparativa de los dos sistemas de inversores. Aun así, hay que tener en cuenta que, en la zona de Mount Darwin que es donde se va a realizar la instalación, hay cielos despejados durante casi todo el año. Esto sumado a que los edificios se encuentran en una zona plana sin edificios ni montañas cercanas que puedan dar sombra a la instalación, hace que se haya decidido instalar un inversor centralizado. La cercanía de las placas solares significa que un problema de funcionamiento en una de ellas seguramente sea común en todas. Además, si una de ellas sufre un problema eléctrico tan solo habrá que desconectar esa placa hasta que se encuentre una solución.

4.3.1 TIPOS DE INVERSORES

En el caso de nuestro proyecto de sistema aislado de la red se emplearán inversores de aislada con baterías. Se necesita obligatoriamente el uso de baterías ya que, al ser un sistema independiente, serán las encargadas de mantener el funcionamiento en las zonas horarias sin irradiación solar. En este grupo de inversores se encuentran tres tipos principales:

- **Inversor de aislada:** asume la función básica de transformar la tensión de corriente continua de la batería a corriente alternada de 220 V. Funcionan como protección de las baterías al estar programados para interrumpir el suministro ante tensiones bajas y así evitar las sobrecargas. También incluyen protecciones de cortocircuito, sobretensión y extremas temperaturas.

- **Inversor-cargador:** este tipo de inversor además de asumir las funciones básicas incluye un sistema que es capaz de cargar las baterías. Incorpora un cargador interno que se emplea como fuente de alimentación externa de 220 V. La ventaja que presenta este inversor es que consigue la independencia del sistema respecto a las condiciones meteorológicas, consiguiendo asumir la demanda en los días lluviosos o nublados. La energía necesaria para abastecer el sistema será proveniente de la fuente externa y de las baterías.
- **Inversores 3 en 1:** estos incorporan un inversor de baterías, regulador de carga y cargador de baterías. Los equipos de este tipo son capaces de gestionar toda la instalación, por lo tanto, reducen el espacio empleado y el cableado necesario.

Debido a la facilidad de instalación, el reducido peso y coste, los inversores 3 en 1 son los más comunes. El único problema que presentan estos son el difícil acceso a este aparato en Zimbabue, y que la potencia de salida está limitada. Por esto se ha decidido escoger un inversor-cargador. Estos inversores incorporan protección frente a sobretensión, cortocircuito y a temperaturas elevadas. Además, con este modelo de inversor se pueden instalar un menor número de placas solares, al producir energía extra no es necesario sobredimensionar el sistema por lo que se reducen los costes de la instalación.

4.3.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS INVERSORES

Las características generales de los inversores son las siguientes:

- **Potencia nominal (W):** es la potencia que es capaz de suministrar el inversor de forma continuada.
- **Potencia máxima (W):** los inversores son capaces de aportar hasta el doble de la potencia nominal. Esta potencia de pico solo se puede mantener durante un corto periodo de tiempo, por lo que se emplea en arranques de cargas como motores o compresores.
- **Tensión de funcionamiento (V):** es la tensión que está establecida por las baterías conectadas al inversor. Distinguimos entre la corriente de entrada continua, que es la

que marca la tensión del inversor, y la corriente de salida alterna. A mayor valor de la tensión, mayor potencia será capaz de dar el inversor.

- **Consumo de standby(W):** este dato da la energía que consume el inversor cuando no está en uso.
- **Temperatura (°C):** es la temperatura estándar a la que el inversor es capaz de suministrar la potencia nominal.
- **Eficiencia (%):** es la relación entre la potencia de salida y la de entrada del inversor. El valor se ajusta según las condiciones de carga que están conectadas.

4.3.3 CÁLCULO, DISEÑO Y ELECCIÓN DEL TIPO DE INVERSOR

El inversor es el elemento clave de una instalación fotovoltaica, al ser este el encargado en convertir la electricidad generada por los paneles en forma de corriente continua en corriente alterna. Para el cálculo de su diseño solo se necesita la potencia pico de las cargas del sistema y se aplica un margen de seguridad del 20 %.

$$P_{pico,AC} = 4024 W$$

$$P_{inv} = 1.2 * P_{pico,AC} = 1.2 * 4024 = 4828.8 W$$

Siendo:

$P_{pico,AC}$: potencia pico que se alcanza en un día.

P_{inv} : potencia que tendrá que ser capaz que asumir el inversor.

Por lo que según los cálculos el inversor tendrá que ser capaz de asumir una potencia de 4828.8 W.

A continuación, se muestra una tabla comparativa con las especificaciones técnicas de diferentes marcas de inversores para poder hacer la toma de decisión. La decisión del tipo de inversor a instalar se ha tomado anteriormente, llegando a la conclusión de que se empleará un inversor-cargador.

Marca inversor solar	Victron energy	SMA	Victron energy
Modelo	Multiplus-II	Sunny island 6.0 H	Quattro
Potencia de salida a 25°C (W)	6400	6000	6500
Pico de potencia (W)	15000	11500	16000
Eficiencia (%)	95	95.8	94-96
Tensión de entrada (V)	48	48	48
Tensión de salida (V)	230	230	230
Máxima corriente de carga (A)	110	50	110-200
Dimensiones (mm)	642x363x206	467x612x242	470x350x280
Precio (€)	3116.49	3226.38	3546.85

Tabla 7: comparativa de modelos de inversor (Tipo inversor-cargador). Fuente [Autosolar]

Los tres tipos de inversores son capaces de asumir la potencia requerida de 4828.8 W, y además presenta cierto excedente que se puede emplear en el caso de que se amplie el sistema eléctrico. El resto de los parámetros son muy similares, tanto la potencia como la eficiencia o el precio. Por lo tanto, se escoge el inversor Victron energy Quatro. Este es el que mayor potencia de salida y máxima corriente de carga tiene, a pesas de que sea un poco más caro el resto de los factores contrarrestan el coste.

Al elegir este tipo de inversor se ha podido descartar el uso de un regulador. Esto es debido a que este modelo incluye un regulador en su mecanismo. Para comprobar si este inversor cumple con los requisitos de un inversor, hay que comprobar los límites de corriente de entrada. El cálculo se realiza a continuación:

$$I_{inv,max} = I_{cc,pv} * N_p = 11.36 * 15 = 170.4 A$$

Al ser la corriente máxima de entrada del inversor escogido 110-200 A, se puede concluir que el inversor cumple con los requerimientos de corriente. Además, este cálculo descarta definitivamente los otros dos modelos al tener una corriente máxima inferior a la necesaria.

4.4 SISTEMA DE BATERÍAS

Las baterías solares son un elemento fundamental en las instalaciones fotovoltaicas aisladas. Su función principal es almacenar la energía eléctrica que ha sido producida por las placas solares. Con esto el sistema de la instalación puede estar aislado eléctricamente de la red. Esto es posible ya que en las horas en las que no hay producción por parte de las placas solares, por ejemplo, de noche, la energía almacenada en las baterías asumirá la demanda de la instalación. Aunque las baterías encarecen el precio de la instalación fotovoltaica, el hecho de que consiga mantener una conexión ininterrumpida hace que salga rentable su utilización.

Este aparato es considerado un acumulador de energía eléctrica, y su funcionamiento consiste en un proceso de reducción-oxidación. En este proceso químico un componente se reduce, ganando electrones, y otro se oxida, perdiendo electrones. Las baterías se cargarán

energéticamente cuando haya un excedente energético respecto a la demanda, para posteriormente ceder esta energía al sistema. Este control se realiza con la conexión de las baterías a el inversor. Se conectan en el lado de continua, y este es el encargado de regular la estación. Por lo que el inversor es el que estudia si hay exceso de demanda y es necesario emplear la energía almacenada en las baterías.

La capacidad de dar energía de las baterías viene definida por:

- **Velocidad de carga/descarga:** mide la velocidad con la que se realiza un ciclo de llenado y vaciado de la batería. Hay que destacar que cuanto más rápido sea este proceso, menor será la tensión de salida tras la descarga. Otro factor es que cuantos más ciclos de descarga tenga, menor será la vida útil de esta.
- **Profundidad de carga:** mide la cantidad de energía eléctrica que es capaz de almacenar una batería en cada ciclo. Cuanto mayor sea este valor, la vida útil del acumulador será menor.

Ya se ha mencionado anteriormente un concepto clave en este instrumento, la vida útil. Se entiende vida útil de una batería como el número de ciclos que la batería es capaz de hacer manteniendo su profundidad de carga al 80% de su profundidad nominal. Por esto, si el sistema es totalmente dependiente de las baterías y se están descargando y cargando continuamente, la vida útil será reducida drásticamente. Consecuentemente, interesa tener un sistema sólido que requiera de pocos ciclos diarios de las baterías. También, para el mantenimiento correcto de las baterías, se recomienda que las descargas no superen el 50% de la profundidad de carga nominal.

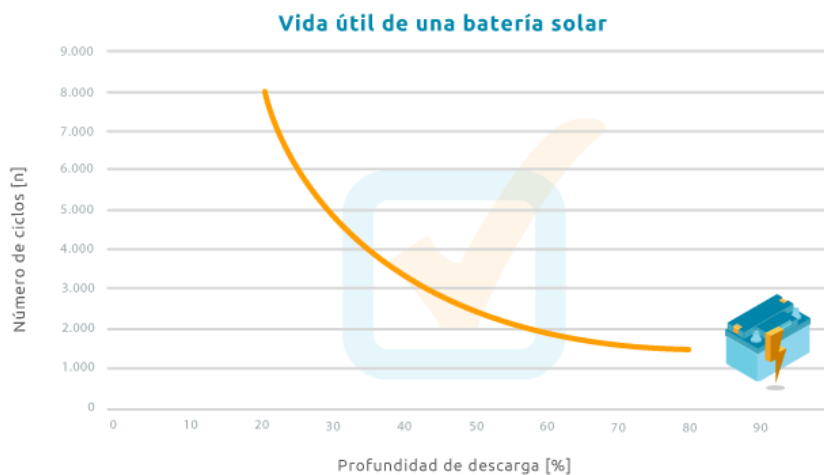


Ilustración 25: Vida útil en función de las descargas de una batería solar. Fuente [28]

Por las características de la instalación, sistema aislado y con alta demanda, se necesitarán de varias baterías. La solución a esto es conectarlas en serie o en paralelo, por lo que se analizan las dos opciones. Por un lado, está la opción de realizar la conexión en paralelo. Se conectan los polos positivos y por otro lado los negativos, consiguiendo mantener la tensión constante y aumentar la capacidad. La capacidad resultante será la suma de las de las capacidades de cada batería. Por otro lado, se puede realizar la conexión en serie. El proceso será conectar el polo positivo de una batería con el negativo de la siguiente. Con esto se consigue aumentar la tensión manteniendo la capacidad constante. Al requerir de la máxima capacidad posible y reducir el coste se escoge realizar la conexión en paralelo. En el caso de necesitar un aumento de tensión, el inversor será el encargado de realizarlo.

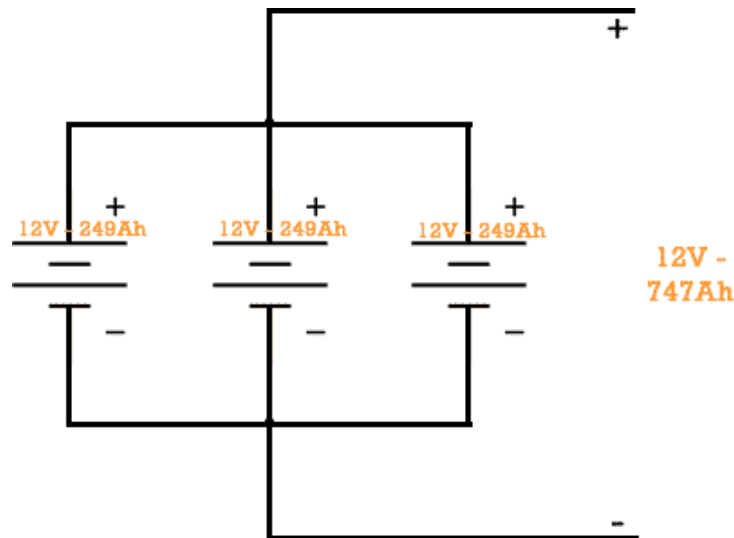


Ilustración 26: Baterías conectadas en paralelo. Fuente [27]

4.4.1 TIPOS DE BATERÍAS SOLARES

Los acumuladores solares se pueden clasificar entre varios tipos, según la tecnología empleada por el fabricante se distinguen principalmente las siguientes:

- **Monoblock:** esta tecnología es la más barato y por esto, es la más habitual en sistemas de consumo eléctrico bajo. Su tecnología se basa en la acumulación y descarga de un elemento químico de plomo y ácido que emite gases, por lo que es necesario instalarlas en un lugar con ventilación. La eficiencia no es elevada, 85 %, y además requiere un mantenimiento mayor que las otras opciones. Su vida útil puede exceder los 5 años si no se supera el nivel de descarga del 50%.
- **AGM:** la tecnología de esta batería funciona de forma similar a la anterior, pero con la ventaja de que consta de una fibra de vidrio. Esta consigue contener los gases mediante una válvula, por lo que el almacenamiento es más sencillo. Además, esta tecnología no requiere de altos niveles de mantenimiento y atención. La vida útil de estas baterías oscila entre los 6-8 años.

- **Estacionarias:** estas basan su forma de almacenamiento en un principio químico muy parecido a la tecnología Monoblock. Este tipo de baterías tiene una gran capacidad de descarga y esto no daña a su vida útil.
- **Litio:** son la mejor opción para el autoconsumo. La eficiencia esta cercana al 100% y no tiene limitaciones de niveles de descarga. También presentan una vida útil de 20 años. Sin embargo, presenta una gran desventaja, su elevado precio.

Aparentemente la mejor opción es escoger baterías de litio. Sin embargo, tras hacer un estudio de mercado, se ha llegado a la conclusión que el alto coste de estas es demasiado elevado a pesar de sus grandes ventajas. Por esto, la batería escogida es del tipo estacionaria que rara vez llega a los 1000 euros de coste. Más adelante se hace un estudio particularizado a este tipo de baterías y se escogerán cuales emplear.

4.4.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS BATERÍAS

- **Voltaje:** es la tensión o diferencia de potencial que tiene la batería en bornes.
- **Amperaje:** es la intensidad de corriente causada por la diferencia de potencial que suministra la batería.
- **Capacidad (Ah):** es la descarga en Amperios/hora al haber transcurrido ciertas horas. Cuanto mayor sea la velocidad de descarga, menor será la potencia aportada por la batería.

4.4.3 CÁLCULO, DISEÑO Y ELECCIÓN DE LA BATERÍA

A continuación, se realiza el cálculo de la capacidad de las baterías a emplear. Para comenzar hay que determinar ciertos parámetros:

- **Capacidad de descarga máxima estacional:** este parámetro marca la descarga máxima a la que puede llegar una batería de forma estacional. Como se ha mencionado anteriormente, llegar a niveles altos de descarga acorta la vida útil de las baterías. Como norma general se establece este parámetro en un 70%.

- **Capacidad de descarga máxima diaria:** es el nivel de descarga máximo recomendable al que se puede mantener una batería. Como norma general se establece este parámetro en un 25%.
- **Número de días de autonomía:** se considera este parámetro antes de escoger la batería, por lo que se asume una autonomía de 3 días.

Sabiendo estos parámetros se pueden dimensionar la capacidad de la batería para la instalación. Se realiza el cálculo según las condiciones de descarga estacional y diaria, para después escoger la capacidad más restrictiva de las dos.

- **Cálculo en función de la descarga máxima estacional:**

$$C_{est} = \frac{L_{mdcrit} * N}{CD_{est}} * \frac{1}{V_{BAT}} = \frac{46.1424 * 10^3 * 3}{0.7} * \frac{1}{48} = 4119.86 \text{ Ah}$$

- **Cálculo en función de la descarga máxima diaria:**

$$C_{diaria} = \frac{L_{mdcrit}}{CD_{diario}} * \frac{1}{V_{BAT}} = \frac{46.1424 * 10^3}{0.25} * \frac{1}{48} = 3845.2 \text{ Ah}$$

Por lo tanto, se escoge la mayor potencia, siendo la capacidad necesaria de las baterías 4119.86 Ah.

A continuación, se muestra una tabla comparativa de distintos modelos de baterías. Al ser complicado encontrar baterías con una capacidad tan alta, se ha escogido instalar varias baterías del mismo tipo hasta sumar la capacidad necesaria. A la hora de realizar la búsqueda de baterías se ha tenido en cuenta que la zona de continua trabajará a 48 V, marcados por el inversor. También se han escogido baterías solo estacionarias.

Marca batería	ROLLS	BAE	BAE
Tensión (V)	48	48	48
Capacidad (Ah)	560	287	595
Energía útil almacenada (%)	50	50	50
Dimensiones (mm)	318x181x425	105x208x420	147x208x420
Unidades necesarias	8	15	7
Precio unitario (€/unidad)	3561.18	4034.53	7254.77
Precio total (€)	28589.44	60517.95	50783.39

Tabla 8: Comparativa de modelos de baterías (tipo estacionaria). Fuente [Autosolar]

Se puede apreciar en la tabla anterior la gran diferencia de precio existente entre las distintas marcas. Por ello se escoge las baterías Rolls.

4.5 CABLEADO

El cableado de los paneles solares (también conocido como tendido) y cómo unir los paneles solares es un tema fundamental para cualquier instalación solar. Es importante comprender cómo las diferentes configuraciones de cableado afectan el voltaje, la corriente y la potencia de un panel solar para que cumpla las condiciones establecidas por el inversor y asegurarse de que el sistema funcione de manera efectiva.

Si la tensión de su matriz excede el máximo del inversor, la producción estará limitada por lo que el inversor puede generar (y dependiendo de la medida, la vida útil del inversor puede

reducirse). Si la tensión del conjunto es demasiado baja para el inversor que se ha elegido, el sistema también tendrá una producción insuficiente porque el inversor no funcionará hasta que se haya alcanzado su “tensión de inicio”. Esto también puede suceder si no tiene en cuenta cómo la sombra afectará la tensión del sistema durante el día.

Aunque los términos hilo y cable solar se utilizan indistintamente, son diferentes. El hilo solar se refiere a un solo conductor, mientras que el cable solar es un compuesto de varios conductores o hilos unidos por una cubierta. Por esto hay que distinguir entre ellos:

- **Hilo:** estos son utilizados para conectar los componentes de un sistema fotovoltaico. Normalmente, conectan cuatro componentes: el panel solar, el inversor, el regulador de carga y las baterías.

En general, existen dos tipos de hilos para paneles solares: los simples y los trenzados. Como su nombre indica, el hilo simple o sólido contiene un solo núcleo metálico, mientras que el hilo trenzado está formado por múltiples conductores trenzados. Los cables solares también pueden clasificarse en función del material conductor utilizado. En las instalaciones domésticas y comerciales, es habitual el uso de cables solares de aluminio y cobre.

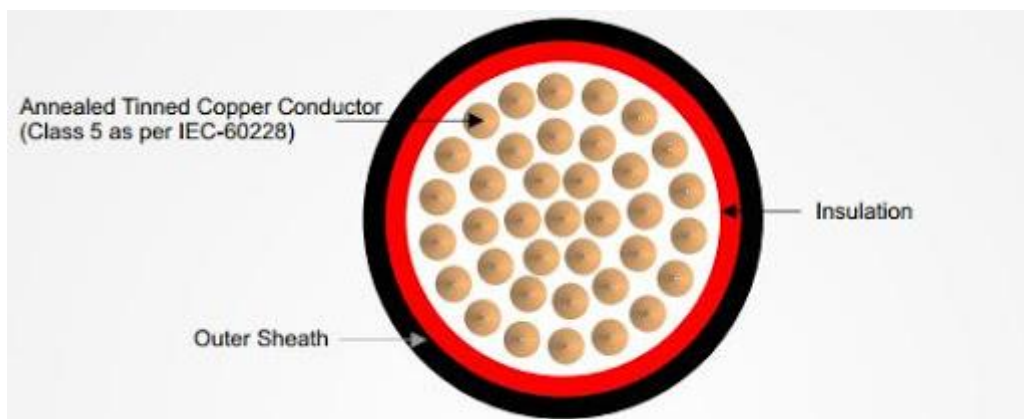


Ilustración 27: Sección de un hilo. Fuente [29]

- **Cable solar:** es un compuesto de varios hilos aislados envueltos por una cubierta exterior. Los profesionales los utilizan para interconectar los paneles solares y otros

componentes de un sistema fotovoltaico. Soportan la alta radiación UV, las altas temperaturas y son resistentes a la intemperie. Suelen instalarse en el exterior o en el interior de los paneles solares.

El diámetro de un cable varía en función del número de conductores que contiene. La clasificación de los cables solares se basa en el número de hilos y su calibre. En general, hay tres tipos de cables utilizados en un sistema fotovoltaico: Cables solares de CC, cables principales de CC y cables de conexión de CA. Estos se instalan según la zona en la que estén, si antes o después del inversor.

4.5.1 NORMATIVA PARA LA INSTALACIÓN DEL CABLEADO

Debido a lo expuesto anteriormente, el sistema de cableado es diseñado según la normativa impuesta para evitar problemas de funcionamiento. En Zimbabwe, no está definida una normativa clara y por esto se va a emplear para el diseño el Código Eléctrico Nacional. De acuerdo con el reglamento para instalaciones de baja tensión, al ser nuestra instalación de 220V se considera como tal, se deben cumplir las siguientes normativas:

- **Límites de temperatura del conductor:** este parámetro marca los límites de temperatura que tienen que soportar los materiales aislantes cuando funcionan a plena carga. Hay unos márgenes establecidos según la corriente que circula por el cableado: límite de 60 °C si circula una corriente menor o igual a 100 A y un límite de 75 °C si circula una corriente mayor a 100 A.
- **Límite de la caída de tensión:** debido a la resistencia que presentan los cables, aunque sea pequeña no se considera despreciable, se producen caídas de tensión. Esta caída de tensión nunca debe superar un 5% para no considerarse dañina para la instalación.
- **Límite de corriente de cortocircuito:** el límite de temperatura mencionado anteriormente es para el funcionamiento continuado. Sin embargo, cuando se producen cortocircuitos en el sistema se producen picos de temperatura muy

elevados. Por ello se marcan límites de temperatura para proteger a los sistemas. Estos suelen ser de 160°C para cables de aislamiento termoplástico y de 250°C para cables con aislamiento termoestable. Aunque en el caso de este proyecto, al ser una instalación de baja tensión, este factor no es muy importante.

4.5.2 CÁLCULO, DISEÑO Y ELECCIÓN DEL CABLEADO

El primer parámetro para determinar para el diseño del cableado es la sección mínima. El cálculo se realiza de la siguiente manera:

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

Siendo:

L: longitud del cable.

I: intensidad que circula por el cableado.

P: resistividad del cable.

ΔU : caída de tensión máxima admisible.

Para poder dimensionar correctamente el cableado se necesitaría saber exactamente la distancia que va a haber entre los diferentes edificios que quedan por construir. Como esta información se desconoce, se va a hacer un dimensionamiento general que después será ajustado a las condiciones reales de la instalación. El cableado se instalará a la intemperie y se empleará un cableado unifilar al ser el más común en las instalaciones fotovoltaicas.

Se asume una longitud de cableado entre las placas y las baterías de 60 metros. Se asumen las siguientes condiciones: una resistividad del cobre de 0.058 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$, una caída de

tensión del 5% sabiendo que se trabaja en la zona de continua a 48 V y en la de alterna a 220V y una intensidad de de funcionamiento correspondiente a la de los paneles de 5ª. Por lo que la sección será la siguiente:

$$S = \frac{2 * L * I * \rho}{\Delta U} = \frac{2 * 60 * 5 * 0.058}{0.05 * 48} = 14.5 \text{ mm}^2$$

Por lo que se empleará un cableado de 16 mm² de la marca SOLAR PV modelo ZZ-F Negro para la zona de continua. Además, se sumará un cable de longitud de 10 metros para la conexión interna entre las baterías y la conexión con el inversor. Este será de una mayor sección ya que en esta zona se provocan corrientes elevadas y así se consigue una protección de los dispositivos. Se elige un cable unifilar de la marca POWERFLEX modelo RV-K negro con una sección de 50 mm².

Para la zona de alterna se ha escogido un cableado de la marca AlphaWire con una sección de 50 mm².

Marca cableado	SOLAR PV	POWERFLEX	Alpha Wire
Modelo	ZZ-F Negro	RV-K Negro	UL AWM Negro
Corriente	Continua	Continua	Alterna
Sección (mm ²)	16	50	50
Longitud (m)	60	10	150
Precio (€/m)	6.41	14.74	1.73
Precio total (€)	384.6	147.4	159.5

Tabla 9: resumen de los cables empleados en la instalación. Fuente [Autosolar]

4.6 PUESTA A TIERRA

Cuando se instala un sistema de paneles solares, es muy importante conectar a tierra los paneles solares y el equipo. Si hay una gran cantidad de tormentas eléctricas en la zona, el hecho de no conectar a tierra su sistema solar podría provocar daños en su producto. Al igual que las tomas de corriente de su casa, todo está unido con un cable de cobre. Este cable de cobre desnudo se entierra en el suelo o en los cimientos para que cualquier corriente eléctrica perdida se dirija lejos de sus aparatos en caso de que se produzca un rayo o un cortocircuito. La electricidad seguirá el camino de la menor resistencia, aunque es difícil saber realmente cuál es su camino, podemos tomar las precauciones adecuadas para dirigir la sobretensión hacia un lugar más seguro.

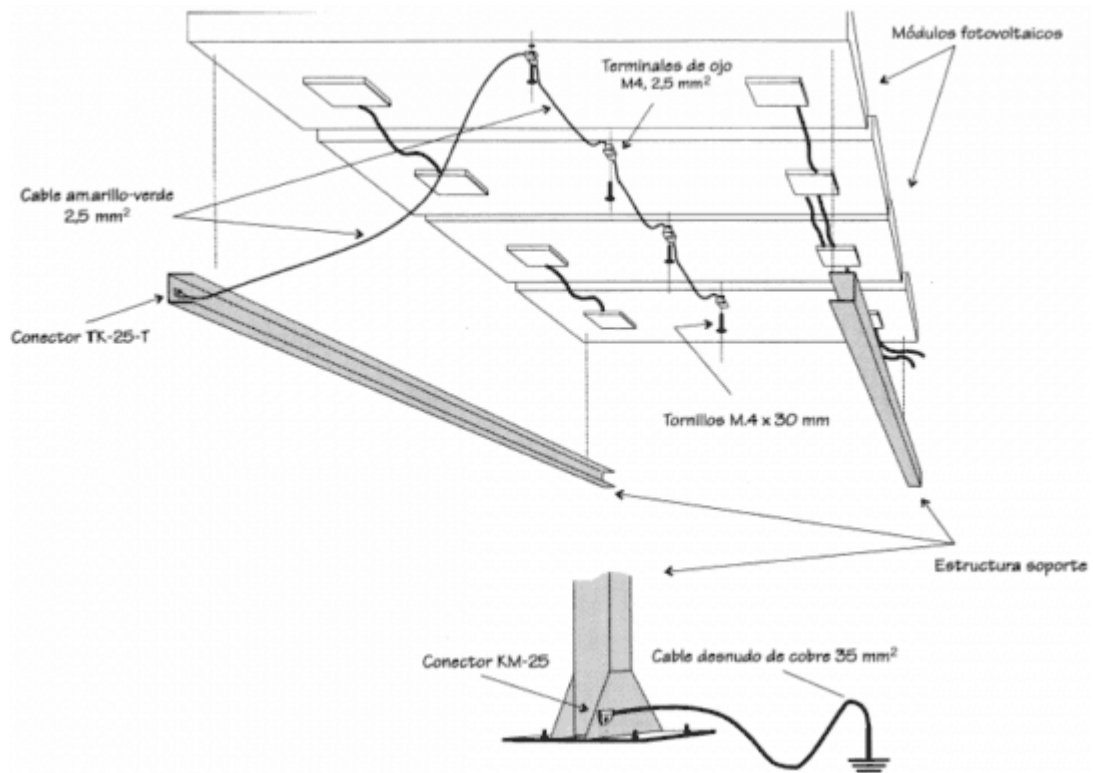


Ilustración 28: esquema del sistema de puesta a tierra. Fuente [28]

4.6.1 CONDICIONES DE SEGURIDAD DE LA PUESTA A TIERRA

Se recomiendan las siguientes acciones a la hora de instalar una puesta a tierra:

- En los paneles hay diferentes módulos de conexión a puesta a tierra. De esta manera la conexión no se realiza en el marco y es independiente. Si se realiza la conexión directamente al marco la puesta a tierra no será eficaz. En el caso que se averíe una de las tomas el resto no se verá afectada
- El cableado de la puesta a tierra se debe conectar al soporte de los módulos solares.
- La puesta a tierra debe hacerse en un punto común, generalmente se hace con una pica o jabalina.
- Los cables de puesta a tierra, generalmente de cobre, deben de ir desnudos.

4.6.2 CÁLCULO, DISEÑO Y ELECCIÓN DE LA PUESTA A TIERRA DEL SISTEMA

Como se ha mencionado anteriormente, se empleará para la puesta a tierra cable de cobre desnudo y se realizará la conexión a tierra por medio de dos picas. Los módulos de conexión van incluidos generalmente en las placas solares. Se conoce la altura de los edificios y es de 5 metros, por lo tanto, se consideran 40 metros de cableado.

Material para la puesta a tierra	Cable de cobre desnudo	Picas de puesta a tierra
Marca	LEROY MERLIN	Legrand
Longitud (m)/Cantidad	40	1
Precio (€) /unidad	5.758	19.95

Precio total (€)	230.32	19.95
------------------	--------	-------

Tabla 10: resumen de los productos empleados en la puesta a tierra. Fuente [Autosolar]

4.7 ESTRUCTURA DE SOPORTE

Las posibilidades de la estructura de soporte para la instalación se basan en si necesitas inclinación extra para la zona en la que se va a poner los paneles solares o no. Al inicio de este capítulo se ha realizado el cálculo del ángulo óptimo para la estructura, obteniendo un ángulo de 14.4 °. Al tener los edificios un ángulo de 15 °, se ha considerado que no merece la pena la inversión en una estructura inclinada. La pérdida de potencia será mínima y se consigue una instalación más sencilla y con menor coste.

Otro problema al que hay que enfrentarse cuando se diseña el soporte de los módulos es evitar sombras entre ellos. Esto es evitado también al instalar soportes sin inclinación, ya que todas las placas estarán al mismo nivel no habrá sombras entre ellas.

La estructura se ha escogido teniendo en cuenta que debe soportar el deterioro por altas temperaturas, resistencia a exceso de peso por nevadas y a la velocidad del viento. Se ha escogido el tipo de soporte panel coplanar Falcat. Está diseñado para soportar el peso de nieve hasta 50 cm y velocidades pico del viento de 45 m/s, al estar una zona de escasas nevadas y con velocidades de viento bajas se considera un buen diseño.

Estructura	Marca	Cantidad	Precio (€) /unidad	Precio total (€)
Soporte coplanar	ALCAT Structures	29	48.38	1403.02

Tabla 11: resumen de la estructura de soporte.

4.8 RESUMEN DE LA INSTALACIÓN

A partir de todo los cálculos y los diseños de la aparamenta que se ha realizado en este capítulo, se tienen todos los instrumentos necesarios para la instalación de abastecimiento energético a partir de paneles solares. Las decisiones han sido tomadas teniendo en cuenta siempre la maximización de la eficiencia del sistema, así como la reducción del coste económico. El sistema se puede diferenciar de manera clara en dos zonas. La zona de continua de 48V, que incluye los paneles, las baterías y la entrada del inversor. La segunda zona de corriente alterna de 220 V y 50 Hz, que incluye la salida del inversor y las cargas del sistema.

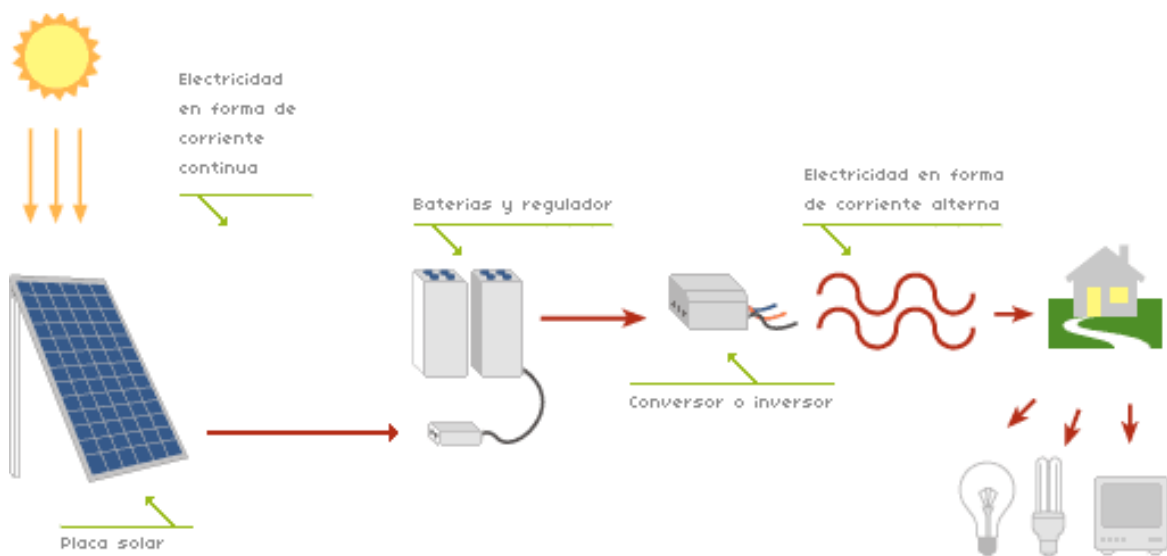


Tabla 12: Esquema de la instalación fotovoltaica. Fuente [11]

A continuación de muestra una tabla comparativa con todos los elementos de la instalación:

Aparato del sistema	Panel solar	Cableado I	Batería	Cableado II	Inversor	Cableado III
Marca y modelo	JA solar JAM72S20	SOLAR PV ZZ-F Negro	ROLLS	POWRFLEX RV-K Negro	Victron energy Quatro	Alpha Wire UL AWM Negro
Tipo de corriente	Continua	Continua	Continua	Continua	Continua y alterna	Alterna
Tensión (V)	24	48	48	48	48	220
Eficiencia (%)	20.3	98.2	≈100	98.2	95	98.2
Unidades	29	60	8	10	1	1
Precio unitario(€/unidad)	209.81	6.41	3561.18	14.74	3116.49	1.73
Dimensiones (mm o mm ²)	2112x1052x35	16	318x181x425	50	642x363x206	50

Tabla 13: Resumen de la aparamenta de la instalación fotovoltaica

CAPÍTULO 5: MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN

El mantenimiento de la aparamenta de la instalación va a ser un factor fundamental a la hora de alargar su vida útil. Para ello no solo será necesario contratar inspecciones profesionales, sino que habrá que educar a los encargados del centro para que sean capaces de realizar las labores sencillas de mantenimiento. Los equipos que requerirán de mayor atención son: los paneles solares, las baterías y el inversor.

5.1 MANTENIMIENTO DE LOS PANELES SOLARES

Por suerte, los paneles solares requieren un mantenimiento mínimo para garantizar que sigan funcionando correctamente y produciendo energía solar para su hogar. El tipo de mantenimiento más común que requieren los paneles es la limpieza. La suciedad y los residuos pueden acumularse en los paneles, especialmente durante las tormentas o los periodos prolongados sin lluvia. La limpieza ocasional puede eliminar estos residuos y garantizar que los paneles solares reciban la cantidad óptima de luz solar. El otro tipo de mantenimiento que puede desear para sus paneles solares es una inspección anual. El precio medio anual por mantenimiento es de unos 450 euros.

Como se ha mencionado anteriormente, el mantenimiento de los paneles solares es bastante mínimo. Por lo general, hay tres calendarios diferentes a tener en cuenta:

- **Inspección anual:** Una vez al año, se debe contratar a un profesional para que inspeccione sus paneles solares y se asegure de que funcionan correctamente.
- **Limpieza:** En general, se debe planificar la limpieza de sus paneles solares unas dos veces al año. En las zonas con altos niveles de precipitaciones y sin mucha suciedad

se puede reducir a una limpieza anual. Sin embargo, en la zona de Mount Darwin no hay demasiada lluvia y se trata de una zona muy árida por lo que los aparatos acabarían sucios. Por ello se recomienda mantener dos limpiezas anuales. El proceso se realiza de la siguiente manera: se desconecta el sistema para que no haya peligro, se procede a la limpieza superficial de las placas y cuando se haya secado la superficie se vuelve a conectar el sistema.

- **Mantenimiento adicional:** en el caso de que surja algún problema se puede solicitar una revisión adicional. Aun así, se ha tenido en cuenta que al ser el proyecto desarrollado en una zona aislada encontrar un técnico será costoso además de llevar bastante tiempo. Se ha tomado como medida independizar los elementos lo máximo posible para que en el caso que uno falle la instalación pueda seguir funcionando con normalidad.

5.2 MANTENIMIENTO DE LAS BATERÍAS

El objetivo del cuidado y mantenimiento de las baterías es mejorar su rendimiento y vida útil. La vida de la batería es una propiedad muy variable que depende de todo tipo de factores, como la temperatura de almacenamiento y la profundidad de descarga.

Alrededor del 80% de los fallos se deben a la sulfatación, un proceso en el que se forman cristales de azufre en las placas de plomo de la batería y que impide que se produzcan reacciones químicas. La sulfatación se produce cuando la batería tiene un nivel bajo de carga o de electrolito. Debido a los peligros de la sulfatación es muy importante vigilar, mantener y controlar estos dos factores en las baterías inundadas. Para ello, se necesitará agua destilada, un voltímetro digital, un hidrómetro de compensación de temperatura y el equipo de seguridad adecuado.



Ilustración 29: Ejemplo de sulfatación en una batería. Fuente [29]

En el proceso de limpieza las baterías deben limpiarse regularmente con una mezcla de bicarbonato de sodio y agua destilada, utilizando un cepillo limpiador de terminales de batería. A continuación, se deben aclarar los terminales con agua, asegurando que todas las conexiones estén bien apretadas y recubriendo los componentes metálicos con un sellador comercial o una grasa para altas temperaturas. También hay que tener en cuenta la tensión en la batería. La medida se realiza con el voltímetro mencionado anteriormente. Una gran bajada de tensión de la batería puede suponer daños irreversibles en estas. El coste común en el mantenimiento de las baterías anualmente suele estar en los 150 €/año. Por supuesto, la limpieza se debe hacer con el sistema en vacío, corriente desconectada.

5.3 MANTENIMIENTO DE LOS INVERSORES

Un inversor requiere muy poco mantenimiento. Una vez que está bien instalado, sólo tiene que mantenerse limpio. Se debe limpiar regularmente para eliminar el polvo, la suciedad y las telarañas que se acumulan. Aunque el inversor no requiera de mucha atención, al ser un aparato imprescindible para la instalación se debería comprobar ocasionalmente su correcto funcionamiento. En el caso de que muestre un error en pantalla o haya una luz diferente a la normal, se recomienda buscar ayuda de un profesional.

CAPÍTULO 6: ESTUDIO ECONÓMICO

A lo largo de este trabajo se ha expuesto la importancia que tiene el aspecto económico para este proyecto. Este tiene como objetivo principal crear un sistema de producción energética obteniendo la máxima eficiencia del sistema, pero teniendo en cuenta que la financiación es limitada. La organización que se encarga de administrar este proyecto es la ONG Child Future Africa y su principal función es convertir el colegio en una comunidad autosuficiente en la comunidad local. La financiación la consiguen a partir de donaciones, eventos benéficos... Debido a la situación del COVID en los últimos años ha sido más costosa la recaudación de fondos, aunque este año se ha ido retomando el contacto con las empresas que mayores donaciones realizaban.

A continuación, se exponen todos los costes necesarios para la instalación, desde la compra de las placas solares hasta el mantenimiento que será necesario. Cabe destacar que en el presupuesto obtenido no se ha incluido las cargas. Los equipos de luminaria, de ordenadores y a paramenta extra para la clínica se han tenido que diseñar para dimensionar la demanda del sistema, pero no corresponde a este proyecto financiar estas instalaciones. También hay que tener en cuenta que el presupuesto se considera orientativo. Las consideraciones de los precios han sido a partir del mercado español, aunque los materiales serán adquiridos en Zimbabue.

Instrumento	Unidades	Precio unitario (€/unidad)	Precio total ((€)
Placa solar	29	209.81	6084.49
Inversor	1	3546.85	3546.85
Baterías	8	3561.18	28589.44

Cableado I	60	6.41	384.6
Cableado II	10	14.74	147.4
Cableado III	150	1.73	159.5
Cable de cobre desnudo	40	5.758	230.32
Pica de puesta a tierra	1	19.95	19.95
Estructura de soporte	29	48.38	1403.02
Mantenimiento			600
			41145,62

Tabla 14: Resumen de los costes económicos de la instalación.

Gracias a él resumen anterior se puede concluir que el precio aproximado de la instalación será de 41145.62 €. Aunque este es un coste muy elevado, la instalación se va a amortizar a 25 años resultando en una amortización anual de 1645.8248 €.

Es importante destacar que la organización Child Future Africa desarrolla varios proyectos en la zona, por lo tanto, se ha intentado desarrollar este proyecto de la forma más competitiva económicamente posible. Esta ONG no solo trabaja sistemas energéticos, sino que también está desarrollando otros proyectos. Entre estos el desarrollo de una presa, la mejora de la tecnología empleada en la agricultura o el sistema de riego de los cultivos.

CAPÍTULO 7: PLAN DE EJECUCIÓN

Este capítulo describe el proceso que hay que seguir para el montaje de la instalación. Hay que tener en cuenta que durante el proceso será necesario la presencia de una persona especializada, se encargará de que con la ayuda de los voluntarios y los miembros de la comunidad la instalación se realice de forma correcta.

El proceso es el siguiente:

1. El primer paso será el desplazamiento de los voluntarios hasta Mount Darwin, Zimbabue. Allí lo primero que se hará será comprobar la dimensión del edificio ya construido, cuando se completen los dos restantes se terminará el sistema eléctrico. Una vez comprobadas la dimensión del edificio y el ángulo de inclinación del techo, se harán los cambios de diseño oportunos si estos son necesarios. Si se llega a esta situación, los nuevos cálculos serán realizados con rapidez ya que solamente habría que modificar algunas cosas de las expuestas en este proyecto.
2. A continuación, se procedería a la compra de los materiales e instrumentos necesarios para el montaje. Al realizarla en Zimbabue, lo más seguro es que algunos de los elementos que han sido escogidos no se encuentren disponibles. Si esto ocurre no supondrá ningún problema, se buscarán componentes que cumplan las condiciones establecidas y se sustituirán por los que se habían diseñado previamente.
3. Tras la compra de todos los componentes el primer paso es fijar los soportes que van a sostener los paneles solares. Esta estructura de base proporciona soporte y solidez. Se debe prestar atención a la dirección en la que se instalarán los paneles fotovoltaicos. Como ya se ha concluido en los capítulos anteriores, la mejor disposición de los paneles para los países del hemisferio sur será la dirección norte. Está se puede determinar empleando una brújula. Se han considerado soportes coplanares al techo del edificio, en el caso de que el ángulo real del edificio no sea

- 15 ° simplemente se tendrá que comprar un soporte inclinado. Estos tienen una instalación similar.
4. El siguiente paso es fijar los paneles solares a la estructura de montaje. Esto se hace anclando los marcos de los paneles a el soporte. Hay que tener cuidado de fijar bien toda la estructura para que sea resistente y dure mucho tiempo.
 -
 5. Una vez fijados los módulos solares al soporte, se procede a hacer la interconexión de estos. Se han especificado distintos tipos de cable para diferentes zonas de corriente. En este punto se empleará el cableado tipo I. Se conectarán las 15 ramas en paralelo, cada una con 2 paneles solares.
 6. A continuación, empleando el cableado tipo I, se conectará los paneles a el inversor. Se recomienda hacer la instalación de esta cerca del panel principal. Los inversores son más eficientes si se mantienen en un lugar más fresco, por ello se instalará en el interior del edificio.
 7. Por otra parte, se procede con el cableado de tipo II a hacer la conexión entre las baterías y el inversor. Al usar este cable de sección mayor se consigue protección frente a grandes subidas de corriente.
 8. Para finalizar, se procede a la conexión de la salida del inversor con las cargas de corriente alterna. Se recomienda instalar un contador de generación para tener una unidad de control de los paneles. Con este aparato se pueden detectar problemas en el sistema.

CAPÍTULO 8: CONCLUSIÓN

En esta parte final del proyecto se tratará de resumir todo lo que ha sido analizado en los capítulos anteriores. Este trabajo ha tratado de diseñar un sistema de abastecimiento energético para una comunidad aislada en Zimbabwe. El proyecto ha supuesto mejoras en aspectos como el futuro desarrollo de la comunidad, el económico o la obtención de energía limpia.

Al inicio del proyecto se investigó sobre la situación de Zimbabwe, y en específico de donde se encuentra el orfanato. Se llegó a la conclusión rápidamente de que es un país que se encuentra en ruinas y que necesita ayuda externa. El problema del escaso abastecimiento energético que hay en la región significó una motivación extra para diseñar el sistema. La principal función ha sido conseguir que en el centro tengan una conexión eléctrica fiable, y que gracias a ella puedan mejorar el nivel de vida de la comunidad y que se eleve el nivel académico de los jóvenes. Con esto se conseguirá que la comunidad se desarrolle y sus integrantes amplíen sus oportunidades en la vida.

En este trabajo se ha basado principalmente en exponer los requerimientos técnicos para desarrollar una instalación de energía fotovoltaica. Lo primero ha sido el cálculo de la demanda que iba a tener el sistema. Una vez calculada una demanda de 38.452 kWh se pudo comenzar a diseñar el sistema de abastecimiento. El primer paso ha sido determinar el elemento más importante de una instalación así, el panel solar. Se llegó a la conclusión de que, para cumplir con las necesidades en robustez, fiabilidad y maximización de eficiencia, la mejor opción eran los paneles solares monocristalinos. Se calcularon el número necesario para cumplir con la demanda, obteniendo un número total de 29 módulos de la marca JA solar. A continuación, se diseñó el elemento más importante para la distribución de la energía producida, el inversor. Este es el encargado de convertir la corriente continua generada por los módulos solares en corriente alterna que consumen las cargas del sistema. Tras el cálculo de la potencia pico que debería asumir y una comparación de modelos en el mercado, se

escogió el inversor de Victron energy Quattro. Esta marca la tensión a la que se va a trabajar en el lado de continua del sistema, siendo 48 V. El último elemento de diseño complejo ha sido el sistema de baterías. Estas tenían que ser capaces de abastecer la demanda en condiciones adversas y debían de tener la máxima vida útil posible. Por ello se ha escogido las baterías estacionarias, que son la segunda mejor opción después de las de litio. A pesar de que las de litio presentaban la mayor vida útil, la diferencia de precio no justificaba la inversión. Consecuentemente se escogió las baterías estacionarias de la marca ROLLS que presentan una vida útil de 15 años.

Otro aspecto importante de este trabajo ha sido el coste económico. A lo largo del diseño se han ido tomando las decisiones teniendo siempre en cuenta el limitado presupuesto que tiene el proyecto. Por ello se necesitaba de un estudio económico, y se ha propuesto una amortización de 25 años de 1645.8248 € anuales. Se deberá trabajar con la ONG organizadora Child Future Africa para coordinar la financiación del proyecto.

Hay que concluir de forma final que este proyecto no solamente se basa en implementar lo que se ha aprendido a lo largo de la carrera, sino que sirve para conocer la difícil situación en la que se encuentran las personas que viven fuera del entorno seguro en el que la gran mayoría vivimos. La intención del autor ha sido, aparte de exponer las necesidades técnicas de una instalación fotovoltaica, hacer ver que hay inmensidad de oportunidades para ayudar a las comunidades más desfavorecidas.

CAPÍTULO 9: BIBLIOGRAFÍA


- [1] Counseling in Zimbabwe: History, Current Status, and Future Trends. (2015). Wiley online library. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1556-6676.2012.00014.x>
- [2] La hiperinflación en Zimbabwe, un desventurado ejemplo para Venezuela. (2018). Gestión. <https://gestion.pe/mundo/internacional/hiperinflacion-zimbabwe-desventurado-ejemplo-venezuela-242082-noticia/?ref=gesr>
- [3] Access to electricity (% of population) – Zimbabwe. (2020). The World Bank. <https://data.worldbank.org/indicador/EG.ELC.ACCS.ZS?locations=ZW-KZ>
- [4] Energía solar en Zimbabwe salvando vidas. (2017). KeeUi solar. <https://keeui.com/2021/08/09/energia-solar-en-zimbabwe-salvando-vidas/>
- [5] Kenia instala la primera planta de energía solar que transforma agua salada en agua potable y abastece a 25.000 personas. (2019). Desconecta. <https://www.europapress.es/desconecta/curiosity/noticia-kenia-instala-primer-planta-energia-solar-transforma-agua-salada-agua-potable-abastece-25000-personas-20191126134405.html>
- [6] <https://www.europapress.es/desconecta/curiosity/noticia-kenia-instala-primer-planta-energia-solar-transforma-agua-salada-agua-potable-abastece-25000-personas-20191126134405.html>
- [7] Climatology. (2020). The World Bank. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/zimbabwe/climate-data-historical>
- [8] Mapas de tiempo: Viento (nudos) – Doma. (2022). Freemeteo. <https://freemeteo.es/eltiempo/doma/mapas/viento/?gid=892288&language=spanish&country=zimbabwe>
- [9] PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. (2022). PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- [10] Renewable Energy Types. (2014). Journal of Clean Energy Technologies. <http://jocet.org/papers/092-J30008.pdf>
- [11] Iberdrola impulsa la energía solar fotovoltaica. (2022). Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/conocenos/energetica-del-futuro/energia-solar-fotovoltaica>

- [12] ENERGÍA SOLAR TÉRMICA: ¿MERECE LA PENA? (2021). Cambio energético. <https://www.cambioenergetico.com/blog/energia-solar-vs-termica/>
- [13] Diferencias entre la energía solar térmica y la fotovoltaica. (2018). Becqel. <https://becquel.com/blog/es/diferencias-entre-la-energia-solar-termica-y-la-fotovoltaica/#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20solar%20t%C3%A9rmica%20se,de%20energ%C3%ADa%20vaya%20a%20producir>
- [14] PROYECTO RESIDENCIAL Y AGRÍCOLA MIKA – ZIMBABUE. (2021). Phocos. <https://www.phocos.com/es/global-success-story/proyecto-residencial-y-agricola-mika-zimbabue/>
- [15] Mini eólica. (2020). Climatizaciones Frica. <https://frica.es/mini-eolica/>
- [16] <https://books.google.es/books?id=hhp81OfZWhkC&lpg=PA1&ots=grLS2W9PNM&dq=aerogeneradores%20mini%20eolic&lr&hl=es&pg=PA12#v=onepage&q=aerogeneradores%20mini%20eolic&f=false> (info mini eólicas)
- [17] COORDENADAS Y CARTA SOLAR. (2020). Helioesfera. [https://www.helioesfera.com/coordenadas-y-carta-solar/#:~:text=Coordenadas%20solares&text=Acimut%20\(%CE%B1\)%3ª%20%C3%A1ngulo%20medido,con%20respecto%20ª%20la%20horizontal](https://www.helioesfera.com/coordenadas-y-carta-solar/#:~:text=Coordenadas%20solares&text=Acimut%20(%CE%B1)%3ª%20%C3%A1ngulo%20medido,con%20respecto%20ª%20la%20horizontal)
- [17] COORDENADAS Y CARTA SOLAR. (2020). Helioesfera. [https://www.helioesfera.com/coordenadas-y-carta-solar/#:~:text=Coordenadas%20solares&text=Acimut%20\(%CE%B1\)%3A%20%C3%A1ngulo%20medido,con%20respecto%20ª%20la%20horizontal](https://www.helioesfera.com/coordenadas-y-carta-solar/#:~:text=Coordenadas%20solares&text=Acimut%20(%CE%B1)%3A%20%C3%A1ngulo%20medido,con%20respecto%20ª%20la%20horizontal)
- [18] Sun path chart program. (2022). University of Oregon. <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.php>
- [19] Global Solar Atlas 2.0. (2019). The World Bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/529431592893043403/pdf/Global-Solar-Atlas-2-0-Technical-Report.pdf>

- [20] Cómo calcular la inclinación de un panel solar. (2021). Autosolar. <https://autosolar.pe/aspectos-tecnicos/como-calcular-la-inclinacion-de-un-panel-solar>
- [21] Calcule las pérdidas por suciedad en la fotovoltaica para reducir el riesgo solar con SolarAnywhere. (2021). Solaranywhere. <https://www.solaranywhere.com/es/2022/estimate-pv-soiling-losses-with-solaranywhere/>
- [22] Comprehensive Guide to Solar Panel Types. (2019). Aurora. <https://www.aurorasolar.com/blog/solar-panel-types-guide/>
- [23] Sección de un panel solar. (2020). [Fotografía]. <https://lirp.cdn-website.com/38dbc296/dms3rep/multi/opt/El+Efecto+Fotovoltaico-1920w.png>
- [24] TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS. (2017). TRITEC. <https://tritec-intervento.cl/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/>
- [25] ¿Qué inversor solar elegir para tu instalación de placas solares? (2021). Sotysolar. <https://sotysolar.es/blog/que-son-los-inversores-fotovoltaicos>
- [26] Comparación de inversores. (2018). Enphase. <https://www4.enphase.com/es-lac/productos-y-servicios/microinversores/comparacion-de-inversores>
- [27] La batería solar en las instalaciones fotovoltaicas. (2021). Sotysolar. <https://sotysolar.es/blog/bateria-solar-instalaciones-fotovoltaicas>
- [28] Standards and Requirements for Solar Equipment. (2017). Clean Energy. <https://www.cesa.org/wp-content/uploads/Standards-and-Requirements-for-Solar.pdf>
- [29] CÓMO PREVENIR LA SULFATACIÓN DE LAS BATERÍAS. (2020). Enerjet. <https://www.enerjet.com.pe/blog/como-prevenir-la-sulfatacion-de-las-baterias-de-auto>
- [30] Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). (2022). ISGlobal. <https://www.isglobal.org/-/sdgs-and-global-health>

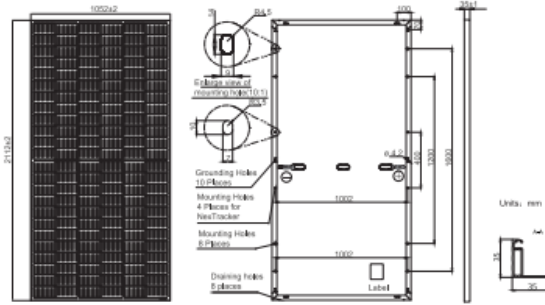
ANEXO I: FICHAS TÉCNICAS

Ficha técnica del panel solar monocristalino 220 V 450 W de la marca JA solar:



JAM72S20 445-470/MR Series

MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	24.7kg±3%
Dimensions	2112±2mm×1052±2mm×35±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ² (IEC) / 12 AWG(UL)
No. of cells	144 (6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	QC 4.10(1000V) QC 4.10-35(1500V)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 300mm(+)/400mm(-); Landscape: 1200mm(+)/1200mm(-)
Packaging Configuration	31pcs/pallet 682pcs/40ft Container

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72S20 -445/MR	JAM72S20 -450/MR	JAM72S20 -455/MR	JAM72S20 -460/MR	JAM72S20 -465/MR	JAM72S20 -470/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	445	450	455	460	465	470
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.56	49.70	49.85	50.01	50.15	50.31
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.21	41.52	41.82	42.13	42.43	42.69
Short Circuit Current(Isc) [A]	11.32	11.36	11.41	11.45	11.49	11.53
Maximum Power Current(Imp) [A]	10.80	10.84	10.88	10.92	10.96	11.01
Module Efficiency [%]	20.0	20.3	20.5	20.7	20.9	21.2
Power Tolerance	0→+5W					
Temperature Coefficient of Isc(α _{Isc})	+0.044%/°C					
Temperature Coefficient of Voc(β _{Voc})	-0.272%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax(γ _{Pmp})	-0.350%/°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.

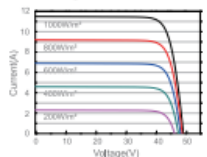
OPERATING CONDITIONS

Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Operating Temperature	-40°C → +85°C
Maximum Series Fuse Rating	20A
Maximum Static Load, Front*	5400Pa(112 lbf/ft ²)
Maximum Static Load, Back*	2400Pa(50 lbf/ft ²)
NOCT	45±2°C
Safety Class	Class II
Fire Performance	UL Type 1

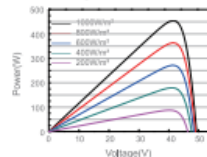
*For NexTracker installations, Maximum Static Load, Front is 1800Pa while Maximum Static Load, Back is 1800Pa.

CHARACTERISTICS

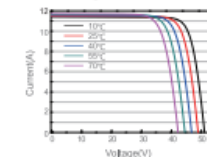
Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Power-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR



Premium Cells, Premium Modules

Version No. : GLOBELEN_20201118A

Ficha técnica del inversor 48 V 6400W de la marca Victron energy modelo Quattro:

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	Si				
Conmutador de transferencia integrado	Si				
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	6500	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	Si				
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	Si				
Características comunes	Temp. de trabajo: -40 a +65 °C Humedad (sin condensación): máx. 95%				
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				
Emissiones, 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, 120 V 60 Hz si se solicita	3) Carga no lineal, factor de cresta 3:1				
2) Claves de protección:	4) A 25 ° C de temperatura ambiente				
a) cortocircuito de salida	5) Se desconecta sin hay fuente CA externa disponible				
b) sobrecarga	6) Relé programable que puede configurarse, entre otros, como				
c) tensión de la batería demasiado alta	función de alarma general, subtensión CC o arranque del generador				
d) tensión de la batería demasiado baja	Capacidad nominal CA 230 V/4 A				
e) temperatura demasiado alta	Capacidad nominal CC 4 A hasta 35 VCC, 1 A hasta 60 VCC				
f) 230 VCA en la salida del inversor					
g) ondulación de la tensión de entrada demasiado alta					

Ficha técnica de una batería 48V 560 Ah de la marca Rolls:



Series	4000	Warranty	3 Years
Volts	6	BCI	L16
Cells	3	Plates/Cell	18
Terminal Type	L1		
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 Capacity (String)	55 A
Maximum Charge Current (String)	95 A
Self-Discharge Rate	5%-10% per month at 25°C (77°F)

Capacity	
Cold Crank Amps (CCA) 0°F / -17°C	1169
Marine Crank Amps (MCA) 32°F / 0°C	1462
Reserve Capacity (RC @ 25A)	943 Minutes
Reserve Capacity (RC @ 75A)	248 Minutes

Hour Rate	Capacity / AMP Hour	Current / AMPs
@ 100 Hour Rate	560 AH	5.60 A
@ 72 Hour Rate	545 AH	7.58 A
@ 60 Hour Rate	526 AH	10.52 A
@ 20 Hour Rate	487 AH	24.35 A
@ 16 Hour Rate	458 AH	30.52 A
@ 10 Hour Rate	438 AH	43.83 A
@ 8 Hour Rate	419 AH	52.36 A
@ 5 Hour Rate	328 AH	65.52 A
@ 1 Hour Rate	229 AH	228.89 A

Ampere hour capacity ratings based on specific gravity of 1.250 at 25°C (77°F). Reduce capacities 5% for specific gravity of 1.265 and 10% for 1.250.

Specifications		
	Weight	56.5 kg / 124.5 lbs
	Length	31.8 cm / 12.5"
	Width	18.1 cm / 7.13"
	Height Inc. Term.	42.55 cm / 16.75"

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

Electrolyte Reserve	57 mm / 2.25"
Container	High Density Polypropylene
Cover	High Density Polypropylene
Handles	Rope / Plastic Handle

