



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS  
INDUSTRIALES (GITI)

TRABAJO FIN DE GRADO

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

Autor: Eloy Tejedor Ginés

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 2020/21 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.: Eloy Tejedor Ginés

Fecha: 12/ 07/ 2021

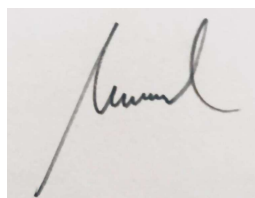


Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Manuel Moreno García

Fecha: 12/ 07/ 2021



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

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

El autor D. Eloy Tejedor Ginés

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: “**Diseño y ejecución del sistema de abastecimiento eléctrico a un colegio de formación profesional en Zimabue**”, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### **2º. Objeto y fines de la cesión.**

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

### **3º. Condiciones de la cesión y acceso**

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

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

### **4º. Derechos del autor.**

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

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

### **5º. Deberes del autor.**

El autor se compromete a:

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

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

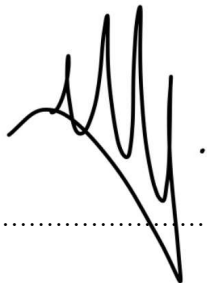
**6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

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

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

Madrid, a 12 de Julio de 2021

ACEPTA



Fdo.....

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



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS  
INDUSTRIALES (GITI)

TRABAJO FIN DE GRADO

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

Autor: Eloy Tejedor Ginés

Director: Manuel Moreno García

Madrid

Diseño y ejecución del sistema de abastecimiento eléctrico para un colegio de formación profesional en Zimbabue.

**Autor: Tejedor Ginés, Eloy.**

Director: Moreno García, Manuel.

Entidad Colaboradora: Child Future Africa

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

El siguiente documento contiene el diseño de un sistema de generación de energía aislado de la red basado en paneles fotovoltaicos. La instalación se ha diseñado para un complejo formado por tres edificios, los de una escuela de formación profesional y otro de un dispensario en la localidad de Mount Darwin, Zimbabue.

**Palabras clave:** Solar fotovoltaica, baterías, Zimbabue.

### **1. Introducción**

El presente proyecto, se ubica en uno de los países con mayor índice de pobreza del mundo. Debido al continuo cambio de poderes y el mal hacer de sus gobernantes, Zimbabue se ha convertido en un país con una inestabilidad social insostenible, repercutiendo así en los más desfavorecidos. Por ello, se ha decidido llevar a cabo esta iniciativa solidaria, que consiste en la instalación de una planta fotovoltaica en una región rural del noroeste del país.

### **2. Definición del Proyecto**

En cuanto a la parte más técnica del proyecto, comenzamos esta andadura con una comparativa entre los dos tipos de energía renovable más empleados y fiables en este tipo de instalaciones, estos son la energía solar y la eólica. Decidimos decidirnos por la primera opción, ya que la tendencia en el continente africano es la de construir plantas eólicas en la costa, y dedicar el interior a la generación de energía solar. Dentro de las opciones que nos ofrecía la energía solar, decidimos decantarnos por la generación por paneles fotovoltaicos. Además, vimos clara la necesidad de instalar baterías para asegurar el suministro a lo largo del año.

### **3. Descripción del sistema**

Antes de dar especificaciones de los componentes de nuestro sistema, es importante recalcar que este proyecto se ha diseñado para datos ciertamente ambiguos, y no tendremos acceso a todos los detalles hasta que nos presenciemos en Zimbabwe y hagamos un estudio del complejo urbanístico al que dará soporte nuestra instalación.

Aún así, sea como sea lo que nos encontremos allí, La instalación constará de un conjunto de paneles solares monocristalinos que generarán energía en continua. Estos irán conectados a un regulador de carga que será el encargado de cargar y proteger un conjunto de baterías estacionarias que serán nuestro sistema de almacenamiento de energía. Hasta ahora toda nuestra instalación se encuentra en corriente continua, siendo la parte de generación de energía de esta. Por otra parte, se encuentran las cargas del sistema a las que deberemos dar cobertura, las cuales funcionan en corriente alterna. Por ello, acoplaremos un inversor MPPT que transformará a corriente alterna la generación en continua. Y, por último, tendremos las protecciones, formadas por un fusible y una toma de tierra en continua, y un diferencial, magnetotérmico y toma de tierra en alterna.

### **4. Resultados**

Como ya se ha comentado en el punto anterior, no sabremos con certeza los detalles que tendrá nuestra instalación hasta que no llegemos a la localización del proyecto.

Aún así, sabemos que nuestra instalación, tendrá que hacer frente a un consumo de 55.26 kWh día y un consumo pico de 5330 W. Dimensionaremos para el mes con menor incidencia del sol, que será julio para estar seguros de poder dar cobertura en las peores condiciones.

### **5. Conclusiones**

En cuanto a los aspectos más técnicos del proyecto, hemos sacado en claro la necesidad de escoger un inversor, ya que la generación de energía será en continua, y las cargas en alterna están mucho más globalizadas y tienen un precio más asequible. Y en cuanto al tipo de componentes tenemos claras nuestras preferencias que se desarrollarán a lo largo del trabajo, aunque es posible que a la hora de la verdad no consigamos todos los componentes como queremos, aunque estaremos preparados.

Y en lo relacionado con la parte solidaria, creemos que esta planta fotovoltaica supondrá un avance sin precedentes en la zona, y esperemos que sea el principio de algo más grande.

Design and implementation of the electrical supply system for a special needs vocational school in Zimbabwe.

**Author: Tejedor Ginés, Eloy.**

Supervisor: Moreno García, Manuel.

Collaborating Entity: Child Future Africa

## **ABSTRACT**

The following document contains the design of an off-grid power generation system based on photovoltaic panels. The installation has been designed for a complex consisting of three buildings, those of a vocational school and a dispensary in the town of Mount Darwin, Zimbabwe.

**Keywords:** Solar photovoltaic, batteries, Zimbabwe.

### **1. Introduction**

This project is located in one of the countries with the highest poverty rates in the world. Due to the continuous change of power and the misconduct of its rulers, Zimbabwe has become a country with unsustainable social instability, thus affecting the most disadvantaged. For this reason, it has been decided to carry out this solidarity initiative, which consists of the installation of a photovoltaic plant in a rural region in the northwest of the country.

### **2. Definition**

As for the more technical part of the project, we began this journey with a comparison between the two types of renewable energy most used and reliable in this type of facilities, these are solar and wind energy. We decided to go for the first option, since the trend in the African continent is to build wind power plants on the coast and dedicate the interior to solar energy generation. Among the options offered by solar energy, we decided to opt for photovoltaic panel generation. In addition, we saw the need to install batteries to ensure supply throughout the year.



### **3. Model description**

Before giving specifications of the components of our system, it is important to emphasize that this project has been designed for certainly ambiguous data, and we will not have access to all the details until we are present in Zimbabwe and make a study of the urban complex that will support our installation.

Still, whatever we find there, the installation will consist of a set of monocrystalline solar panels that will generate continuous power. These will be connected to a charge regulator that will be in charge of charging and protecting a set of stationary batteries that will be our energy storage system. So far, our entire installation is in direct current, being the power generation part of it. On the other hand, there are the loads of the system to which we will have to give coverage, which work in alternating current. Therefore, we will couple an MPPT inverter that will transform the direct current generation to alternating current. And, finally, we will have the protections, formed by a fuse and a grounding in direct current, and a differential, circuit breaker and grounding in alternating current.

### **4. Results**

As mentioned in the previous point, we will not know with certainty the details that our installation will have until we get to the location of the project.

Even so, we know that our installation, will have to face a consumption of 55.26 kWh per day and a peak consumption of 5330 W. We will dimension for the month with the lowest incidence of the sun, which will be July, to be sure that we will be able to provide coverage in the worst conditions.

### **5. Findings:**

As for the more technical aspects of the project, we have made clear the need to choose an inverter, since the power generation will be in continuous, and alternating loads are much more globalized and have a more affordable price. And as for the type of components we have clear preferences that will be developed throughout the work, although it is possible that at the moment of truth we do not get all the components as we want, although we will be prepared.

And as far as the solidarity part is concerned, we believe that this photovoltaic plant will be an unprecedented breakthrough in the area, and hopefully the beginning of something bigger.

## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción</b> .....	<b>7</b>
1.1 Zimbabue.....	7
1.2 Estado de la cuestión .....	9
1.3 Motivación .....	10
1.4 Objetivos del proyecto.....	12
1.5 Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible.....	13
1.6 Metodología de trabajo.....	18
1.7 Recursos .....	19
<b>Capítulo 2. Contexto y Requisitos de la instalación</b> .....	<b>20</b>
2.1 Recursos disponibles .....	20
2.2 Características de los edificios .....	21
2.3 Carga total .....	23
2.3.1 Sistema de iluminación.....	23
2.3.2 Ordenadores .....	25
2.3.3 Componentes extra para el dispensario .....	25
<b>Capítulo 3. Elección del Tipo de Instalación</b> .....	<b>27</b>
3.1 Energía Eólica .....	27
3.2 Energía solar.....	31
3.3 Elección final.....	33
<b>Capítulo 4. Proyectos Similares</b> .....	<b>35</b>
4.1 Instalación fotovoltaica aislada de 480 kW en Sierra Leona: .....	35
4.2 Planta fotovoltaica aislada de 130 kW en Guinea Ecuatorial:.....	36
<b>Capítulo 5. Componentes de la instalación fotovoltaica</b> .....	<b>37</b>
5.1 Localización .....	37
5.1.1 Irradiancia e Irradiación .....	37
5.1.2 Coordenadas solares .....	38
5.2 Módulos fotovoltaicos.....	39
5.2.1 Características técnicas de los paneles Fotovoltaicos.....	39
5.2.2 Tipos de paneles fotovoltaicos.....	41

5.3	Inversor.....	42
5.3.1	<i>Características técnicas de los inversores</i> .....	42
5.4	Sistema de almacenamiento .....	44
5.4.1	<i>Características técnicas de las baterías</i> .....	45
5.4.2	<i>Tipos de baterías</i> .....	46
5.4.3	<i>Dimensionado del sistema de almacenamiento</i> .....	46
5.5	Regulador de carga.....	48
5.5.1	<i>Características técnicas de los reguladores de carga</i> .....	49
5.5.2	<i>Tipos de reguladores de carga</i> .....	50
5.6	Sistema de conexiones.....	50
5.6.1	<i>Cableado</i> .....	51
5.7	Protecciones.....	53
5.8	Soporte .....	53
5.8.1	<i>Ubicación de los paneles</i> .....	54
5.8.2	<i>Inclinación de los paneles</i> .....	54
5.9	Puesta a tierra .....	57

## **Capítulo 6. Cálculos, Diseño y Elección de los componentes de la instalación**

### ***fotovoltaica 59***

6.1	Módulos fotovoltaicos.....	59
6.1.1	<i>Comparativa de modelos</i> .....	61
6.2	Inversor.....	63
6.2.1	<i>Comparativa de modelos</i> .....	64
6.3	Sistema de almacenamiento .....	65
6.3.1	<i>Comparativa de modelos</i> .....	66
6.4	Regulador de carga.....	67
6.5	Sistema de conexiones.....	67
6.5.1	<i>Cableado</i> .....	67
6.5.2	<i>Caja de unión y repartidor de corriente</i> .....	68
6.6	Protecciones.....	69
6.7	Soporte .....	70
6.7.1	<i>Estructura plana</i> .....	70
6.7.2	<i>Estructura inclinada</i> .....	71
6.8	Puesta a tierra .....	72

---

6.9	Resumen de la instalación .....	72
<b>Capítulo 7. Mantenimiento.....</b>		<b>74</b>
7.1	Módulos fotovoltaicos.....	74
7.2	Inversor.....	75
7.3	Baterías.....	75
<b>Capítulo 8. Presupuesto y Viabilidad Económica.....</b>		<b>78</b>
8.1	Presupuesto.....	78
8.2	Viabilidad económica.....	79
<b>Capítulo 9. Plan de ejecución.....</b>		<b>82</b>
<b>Capítulo 10. Impacto Socioeconómico y Ambiental.....</b>		<b>85</b>
<b>Capítulo 11. Conclusiones.....</b>		<b>86</b>
<b>Capítulo 12. Bibliografía.....</b>		<b>88</b>
<b>ANEXO I</b>		<b>90</b>
<b>ANEXO II</b>		<b>92</b>
<b>ANEXO III</b>		<b>94</b>
<b>ANEXO IV</b>		<b>95</b>
<b>ANEXO V</b>		<b>96</b>

## *Índice de figuras*

Ilustración 1: Ubicación del proyecto (Google Maps) .....	7
Ilustración 2: Gráfica ilustrativa del % de población con acceso a la electricidad en Zimbabwe, diferenciando la población rural.....	9
Ilustración 3: Sistema de interconexiones eléctricas en Zimbabwe (Energy Procedia).....	11
Ilustración 4: Ejemplo del sistema de iluminación (LEDBOX).....	24
Ilustración 5: Velocidad del viento en Mount Darwin (Weather Spark).....	28
Ilustración 6: Diferencia de tipos de generadores eólicos. ....	29
Ilustración 7: Ejemplo de aerobomba (Pinterest). ....	29
Ilustración 8: Ubicación de las plantas eólicas y solares en Sudáfrica (Enel).....	30
Ilustración 9: Ejemplo de generación solar térmica (Wikipedia).....	31
Ilustración 10: Ejemplo de generación fotovoltaica (Canva). ....	32
Ilustración 11: Placa solar instalada en Sierra Leona (BetSolar). ....	35
Ilustración 12: Placas solares instaladas en Guinea Ecuatorial (Solar Rocket).....	36
Ilustración 13: Coordenadas solares (Helio Esfera). ....	38
Ilustración 14: Ejemplo de ficha técnica de una placa solar (ERA Solar). ....	41
Ilustración 15: Ejemplo eficiencia eléctrica de los inversores en función de la potencia de salida (Victron). ....	43
Ilustración 16: Ejemplo de ficha técnica de un inversor eléctrico (SOLAX Power). ....	44
Ilustración 17: Irradiancia en W/m <sup>2</sup> en el mes de julio en las coordenadas (31.52°, -16.55°). .....	47
Ilustración 18: Ejemplo del tiempo de vida en función de la profundidad de descarga (Sun Fields). ....	47
Ilustración 19: Esquema de funcionamiento del inversor eléctrico (Ecosolar). ....	49
Ilustración 20: Diferencia de la irradiancia solar en función del ángulo de inclinación en el mes de enero (15° izquierda, 35° derecha).....	55
Ilustración 21: Ejemplo de soporte plano (AutoSolar). ....	56

---

Ilustración 22: Cableado de la instalación (AutoSolar).....	68
Ilustración 23: Repartidor de corriente y caja estanca (AutoSolar).....	69
Ilustración 24: Soporte coplanar para estructuras metálicas (Falcat Structures).....	71
Ilustración 25: Esquema de la instalación. ....	73
Ilustración 26: Detalle de la batería (AutoSolar Youtube).....	76
Ilustración 27: Cartel promocional del torneo de pádel. ....	80
Ilustración 28: Cartel promocional del sorteo benéfico.....	80
Ilustración 29: Camisetas promocionales de Project Zimbabwe.....	81
Ilustración 30: Detalle del acoplamiento del acoplamiento cable-conexión para paneles solares (Autosolar Youtube).....	83
Ilustración 31: Conexión de placas solares en serie-paralelo (SolarWeb).....	83
Ilustración 32: Conexión de baterías en serie (AutoSolar).....	84

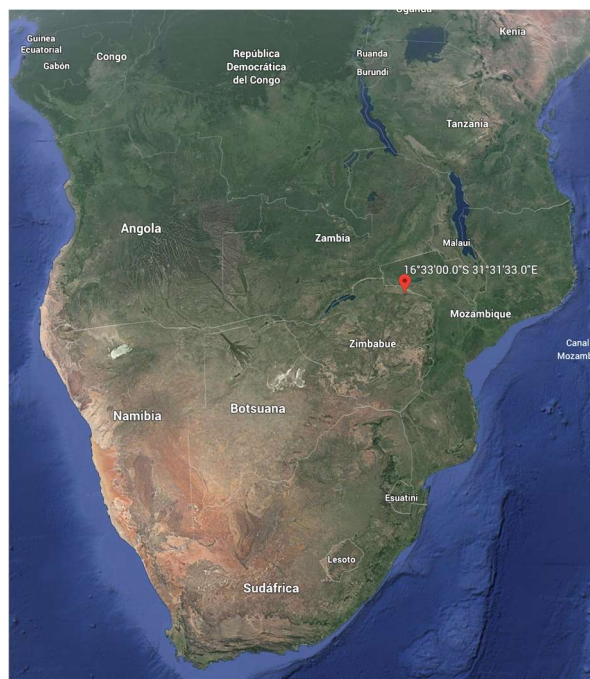
## *Índice de tablas*

Tabla 1: Cronograma del plan de trabajo. ....	19
Tabla 2: Dimensiones de uno de los edificios del colegio. ....	22
Tabla 3: Consumo de individual de todas las cargas del sistema. ....	26
Tabla 4: Tablas normalizadas de Temperatura máxima admisible. ....	51
Tabla 5: Tablas normalizadas de la caída de tensión máxima admisible. ....	52
Tabla 6: Tablas normalizadas de Temperatura de cortocircuito. ....	52
Tabla 7: Irradiación en kWh/m <sup>2</sup> mensual julio en las coordenadas (31.52°, -16.55°). ....	60
Tabla 8: Comparativa de modelos de paneles fotovoltaicos. ....	62
Tabla 9: Comparativa de modelos de inversores solares. ....	65
Tabla 10: Comparativa de modelos de baterías. ....	66
Tabla 11: Resumen de precios del cableado y conexionado de la instalación. ....	68
Tabla 12: Resumen de precios del repartidor de corriente y caja estanca de la instalación. ....	68
Tabla 13: Resumen de precios de las protecciones. ....	70
Tabla 14: Resumen de precios del soporte. ....	72
Tabla 15: Resumen de precios del sistema de puesta a tierra. ....	72
Tabla 16: Resumen de precios del mantenimiento. ....	76
Tabla 17: Resumen de costes totales de la instalación. ....	79

## Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 ZIMBABUE

La República de Zimbabwe, antigua colonia británica hasta 1980, es un país situado en el sureste de África que linda directamente con Sudáfrica, Mozambique, Zambia y Botsuana. A raíz de su independencia de Gran Bretaña, sufre una gran inestabilidad política, que, sumado a la falta de recursos sanitarios y educativos, hacen que se convierta en una de las regiones con mayor índice de pobreza del mundo. Llegando a ser en 2010 el país con el índice de desarrollo humano más bajo del mundo. Y aunque desde 2010, el país ha hecho reformas sociales, que han supuesto un aumento del IDH de 0,140 a 0,571, todavía queda mucho trayecto por recorrer.



*Ilustración 1: Ubicación del proyecto (Google Maps)*

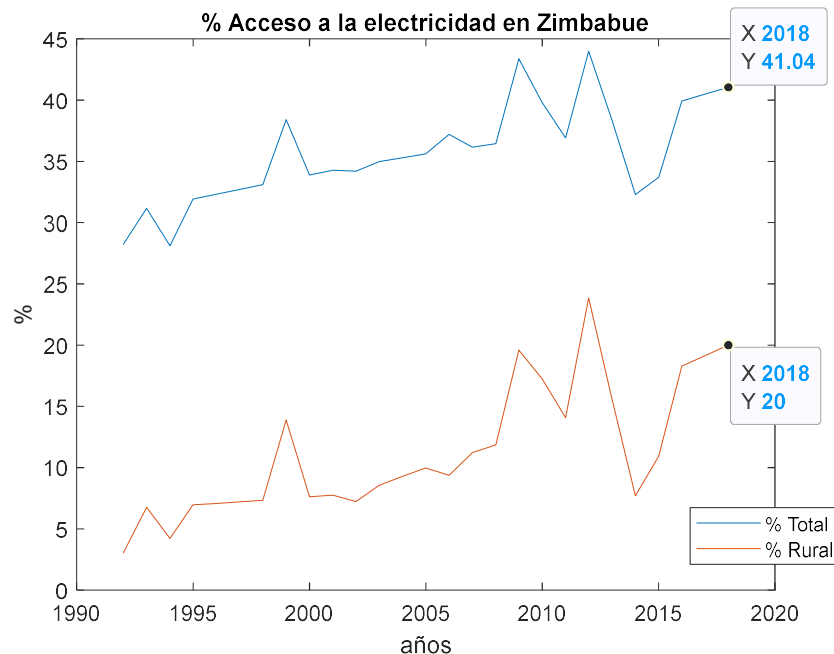


En cuanto a la historia del país, destacar que fue colonia británica hasta 1965. En este momento, es cuando Inglaterra reconoció su independencia a la entonces Rodesia del Sur de manos de Ian Smith. El gobierno y los terrenos fueron administrados por los blancos. Es en 1980 cuando Robert Mugane y Joshua Nkomo unieron fuerzas para derrocar al gobierno de Ian Smith. Más tarde, en 1987 Mugabe tras destituir a Nkomo, modificó la Constitución para convertirse en jefe de Estado además de primer ministro. Con la intención de cambiar la supremacía blanca vigente en el gobierno, por una supremacía negra, redistribuyó las tierras de los colonos blancos. Pero en vez de repartirlas entre el pueblo de manera justa y ordenada, estos terrenos de gran valía fueron a parar a funcionarios del Gobierno. Es en 2017, tras numerosas elecciones sucedidas por denuncias por fraudes, intimidación y manipulación de votos, y las sanciones por violación de derechos humanos por parte de la UE y los Estados Unidos, Mugabe dimite como presidente. Dimite obligado por un golpe militar y presiones de su propio partido. Desde 2017 Emmerson Mnangagwa dirige el país.

La inestabilidad política, ha sumido al país, en una situación económica insostenible. Zimbabue ha llegado a tener una inflación del 100 000%, llegando a desaparecer la divisa local para suplirse por dólares americanos, euros o rands sudafricanos.

A los problemas económicos y políticos, se le suma la pobreza generalizada. Para ilustrar la situación económica se presentan los siguientes datos: tres quintos de la población viven en la pobreza y un quinto en extrema pobreza (menos de 1.6€ al día), la tasa de desempleo es del 90% y la esperanza de vida es de 48.5 años.

Esta pobreza ha supuesto que el acceso a electricidad sea un problema para una gran parte de la población. Según datos del Banco mundial, en 2018, solo el 41.042% tiene acceso a la electricidad. Y aquellos que tienen acceso no tienen asegurada la continuidad de la cobertura, ya que el sistema eléctrico en Zimbabwe es muy poco estable y los apagones están a la orden del día. Cabe destacar, que en zonas rurales el porcentaje de población con acceso a la electricidad cae hasta el 20%, Una cifra muy preocupante, si se tiene en cuenta, que en torno al 70% de la población vive en zonas rurales.



*Ilustración 2: Gráfica ilustrativa del % de población con acceso a la electricidad en Zimbabwe, diferenciando la población rural.*

A la vista de todos estos datos, llegamos a la conclusión de que Zimbabwe está en una situación muy adversa, sobre todo desde el punto de vista de la gestión de la energía. Por ello, este proyecto, supondrá un avance para la comunidad local, que podrá tener acceso a electricidad de forma completamente sostenible.

## **1.2 ESTADO DE LA CUESTIÓN**

El trabajo consiste en solucionar la falta de electricidad en la zona, en concreto para dar cobertura a un colegio de formación profesional. Para llevar a cabo esta iniciativa, deberemos determinar ciertas cuestiones:

1. Estimar la demanda de potencia eléctrica que requerirá el colegio.
2. Una vez sepamos a lo que nos enfrentamos, tendremos que estudiar qué tipo de tecnología sostenible y limpia emplearemos para generar la energía. Aunque

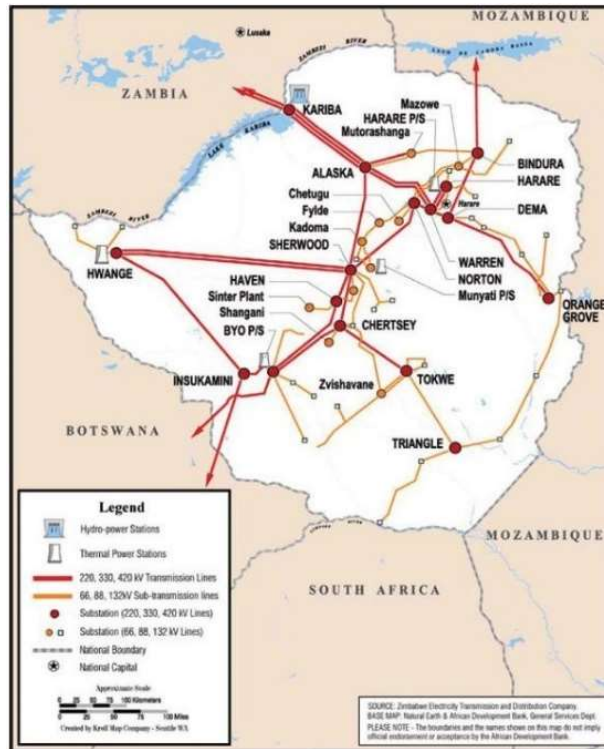
teniendo en cuenta los antecedentes en África, todo apunta a que la solución va a ser la energía solar.

3. Entonces, habrá que escoger los componentes que vamos a necesitar para montar la instalación. Siempre, teniendo posibles alternativas en cuanto a los modelos, ya que no se asegura su disponibilidad. Aun así, deberemos tener en cuenta la viabilidad económica y la robustez principalmente.
4. Una vez elegidos los componentes, necesitaremos encontrar herramientas de trabajo que no requieran de electricidad, ya que es un recurso con el que no vamos a poder contar.
5. Finalmente, necesitaremos mano de obra. Una vez allí, contaremos con personal. En principio se intuye poco cualificado, por lo que seguramente habrá que formarles.

### ***1.3 MOTIVACIÓN***

Como ya se ha ido comentando, Zimbabue es uno de los países con más necesidad de ayuda externa en todo el mundo. Con un sistema eléctrico muy escueto y con muy pocas interconexiones, hacen de las aldeas más remotas lugares más parecidos a épocas pasadas sin ningún tipo de acceso a la electricidad. Estos, normalmente tienen que valerse de generadores diésel o quema de leña para poder tener electricidad y calor. Las cuales además de muy precarias, son caras y muy contaminantes. Además, el país tiene una considerable irradiación solar con un potencial de 300 MW instalables, aunque actualmente solo hay un 1% explotado.

Por ello, podremos poner nuestro granito de arroz y llevar electricidad a un lugar del mundo donde realmente escasea y es igual de necesaria que en cualquier otra parte.



*Ilustración 3: Sistema de interconexiones eléctricas en Zimbabwe (Energy Procedia).*

Estos condicionantes, y el reto de poder crear una pequeña planta generadora de energía 100% limpia hacen de este proyecto una gran oportunidad para la realización personal y profesional.

El proyecto, supone dar cobertura eléctrica a un centro de enseñanza. El cual supondrá una gran oportunidad a la comunidad local de seguir formándose y avanzar hacia un futuro mejor.

Así que, todo este trabajo supondrá además de un reto una gran responsabilidad social.

## ***1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO***

En cuanto a los objetivos troncales del trabajo:

1. Diseño de la instalación eléctrica: empezando por la elección de tecnología a emplear, profundizando en ella para, en caso de problemas que puedan surgir en el montaje, tener alternativas viables.
2. Estudio de viabilidad de un acumulador: teniendo en cuenta el presupuesto de la instalación y la necesidad de instalarlo en función de las necesidades eléctricas del colegio.
3. Planificación del montaje: para llegar a Zimbabue y tener claros los pasos a seguir. Habrá que tener en cuenta tanto el terreno como la posible falta de mano de obra cualificada.
4. Montaje de la instalación: nos desplazaremos a Zimbabue y empezará el reto de hacer realidad lo proyectado durante el año.

## ***1.5 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE***

Este trabajo es consciente de la importancia de los ODS, los cuales son necesarios para un garantizar un futuro más justo e igualitario. Y por ello cumple con la mayoría:



El proyecto se realizará en una zona de profunda pobreza. Zimbabwe se ha visto azotada por guerras civiles y sus posteriores consecuencias, llegando a tener en 2010 el índice de desarrollo humano más bajo del mundo.

Ayudaremos a mejorar la infraestructura de Dotito, una zona rural, en aras de darles la oportunidad de salir de la situación precaria en la que se encuentran.



La oportunidad de dotar de electricidad el colegio, hará que la población local adquiera conocimientos sobre el cultivo en la zona, aumentando sus posibilidades.

En un corto-medio plazo, los estudiantes que pasen por el colegio podrán, con sus aprendizajes, dotar a la zona de recursos para ser independientes a la hora de generar alimento.



La zona de Zimbabwe donde está ubicado el colegio, no tiene la posibilidad de conectarse a ninguna red de distribución de la electricidad. Esto supone que la instalación de generación de energía aislada que este verano construiremos podrá suponer el principio de algo mayor. El hecho de, en unos años, poder ampliar la capacidad de la planta, hará que pueda dar cobertura a servicios sanitarios de mejor calidad que lo que tienen actualmente.



La finalidad principal de este trabajo es dar cobertura eléctrica a un colegio de formación profesional en una zona del mundo en la que las oportunidades educativas escasean.

Este ODB, supondrá la mejora de los tres anteriores. Enseñar a las nuevas generaciones locales, nuevas técnicas agrarias supondrán un gran avance en la sociedad que redundará en una mejor alimentación y calidad de vida.



El futuro colegio de formación profesional no hará distinción de género, y dará la oportunidad de formarse tanto a hombres como mujeres.

Las mujeres de la zona tendrán las mismas oportunidades de ser parte del avance social que supondrá la enseñanza superior.



La planta que construiremos este verano en Dotito, generará energía completamente limpia. Nuestra materia prima será el sol o el viento, ambas sostenibles y con gran potencial en la zona. Además, son recursos completamente gratuitos y con mantenimientos mínimos. La instalación, se subvencionará con iniciativas solidarias llevadas a cabo durante el año por los estudiantes que formamos parte de Project Zimbabwe. Por lo que no tendrá ningún coste en la población local.



La mejora en la educación que supondrá el colegio hará que las generaciones venideras estén mejor preparadas y puedan aspirar a mejoras laborales.

Además, el cultivo, que es la principal ocupación de la zona, mejorará considerablemente, pudiendo crear un ecosistema económico más sólido.

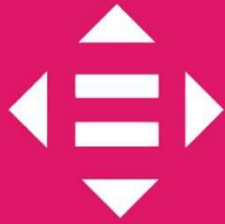


Evidentemente, la implantación de una planta de generación eléctrica constituye una mejora en la infraestructura local.

Además, el hecho de ser renovable cumple con la sostenibilidad de la industrialización de la zona.



**10 REDUCCIÓN DE LAS  
DESIGUALDADES**



Zimbabue, es un país que se encuentra en clara desigualdad respecto a los países desarrollados.

Una de las razones se debe a la pésima interconexión eléctrica del país. Este problema, hace de muchas zonas rurales páramos de energía. Por ello, una mejora en la infraestructura les hará ser menos dependientes y poder avanzar hacia una situación cada vez más pareja a otros países más desarrollados. Aún así es un país que todavía tiene mucho trabajo por delante.

Otra de las razones, es la falta de oportunidades a la formación educativa. El colegio de formación profesional podrá su granito de arena para mejorar este aspecto.



Como ya se ha comentado en algunos de los objetivos anteriores, la energía que generará nuestra planta será completamente sostenible.

Por otro lado, la planta hará a la comunidad rural de Dotito más independiente.



Nuestra instalación de consumo 100% responsable con el medio ambiente, no producirá residuos perjudiciales para el ser humano o el medio ambiente.



Actualmente, la zona en la que se ubica nuestro proyecto se vale de generadores diésel para generar electricidad. Estos generadores tienen una elevada tasa de emisiones de CO<sub>2</sub>, que suponen un daño irreversible en la capa de ozono. Estos gases hacen que cada año las temperaturas en la Tierra aumenten.

Por ello, nuestra instalación libre de gases de efecto invernadero, será nuestro granito de arena a la hora de reducir el daño a la capa de ozono.

## ***1.6 METODOLOGÍA DE TRABAJO***

El plan de trabajo se dividirá en tres partes principales:

1. Estudio: donde trataremos de ver cuál es la mejor tecnología para llevar a cabo la instalación. Para ello tendremos en cuenta: robustez, sencillez y el factor económico. Las dos opciones que barajar son solar y eólica, que serán estudiadas a fondo durante el mes de marzo.
2. Diseño: donde estudiaremos a fondo nuestro caso particular, para darle al colegio la mejor cobertura eléctrica posible. También, haremos una estimación del presupuesto del proyecto, teniendo en cuenta una holgura, ya que no sabemos exactamente que nos encontraremos al llegar allí.  
Es importante tener en cuenta, que seguramente compramos los materiales una vez allí, en Zimbabue, por lo que deberemos tener varias opciones alternativas, una vez elijamos el tipo de tecnología.
3. Construcción del proyecto: nos desplazaremos a un colegio de formación profesional cercano a la aldea de Dotito en Zimbabue. Habrá que enseñar a la mano de obra local tanto para construir la instalación como para mantenerla de cara a que tenga una vida útil lo más larga posible.  
En cuanto a la formación del mantenimiento, la impartiremos una vez acabada la instalación. Dependerá del tipo de planta que montemos, ya que sabemos que la población local está más familiarizada con el mundo de las placas solares. Este hecho será importante a la hora de elegir la tecnología a emplear.

	CRONOGRAMA							
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Estudio previo (Anexo B)								
Estudio de la demanda eléctrica								
Estudio de instalación solar								
Estudio de instalación eólica								
Elección del tipo de instalación								
Diseño de la instalación								
Elección de los materiales								
Presupuesto								
Compra de los materiales								
Formación de la mano de obra								
Construcción								

*Tabla 1: Cronograma del plan de trabajo.*

## **1.7 RECURSOS**

1. Información sobre módulos solares en Zimbabue.
2. Información sobre módulos eólicos en Zimbabue.
3. Información sobre el consumo eléctrico del colegio.
4. Autocad para diseño.
5. Laboratorio de máquinas eléctricas de ICAI para probar nuestros módulos solares o eólicos, si hay opción.
6. Financiación para la construcción.
7. Mano de obra local voluntaria para construir la instalación.
8. Profesionales electricistas que tendremos que contratar para ciertos aspectos del montaje.

## **Capítulo 2. CONTEXTO Y REQUISITOS DE LA INSTALACIÓN**

Para poder decidir qué tecnología vamos a emplear en nuestra instalación, deberemos tener en cuenta el contexto donde se va a construir y los requisitos que serán necesarios salvar para dar un buen soporte eléctrico al colegio de formación profesional. También habrá que tener en cuenta que el mismo sistema de generación tendrá que dar cobertura a un dispensario.

Al estar ubicada en una zona tan aislada y pobre, será importante basar nuestras decisiones en términos de robustez, sencillez y flexibilidad. Así, nuestra instalación requerirá de una menor revisión y mantenimiento por parte de la población local dando en todo momento la energía requerida para poder desarrollar las actividades necesarias sin ningún tipo de problema, y en caso de necesitar de un mantenimiento será sencillo y rápido.

### ***2.1 RECURSOS DISPONIBLES***

Aunque este apartado se desarrollará con mayor profundidad una vez escogido el tipo de tecnología con el que vamos a generar la energía, es importante conocer de antemano algunos datos de la zona para poder tomar la mejor decisión posible.

Ya que decidiremos entre generación eólica o solar, es imprescindible conocer los parámetros medios que se dan en el colegio. La instalación se sitúa al noroeste del país, concretamente en el distrito de Mount Darwin, dentro de la provincia de Masholandia Central. En esta zona tenemos los siguientes datos:

- Máximo de irradiancia:  $927.37 \text{ W/m}^2$  (en octubre).

---

*CONTEXTO Y REQUISITOS DE LA INSTALACIÓN*

---

- Mínimo de irradiancia: 543.27 W/m<sup>2</sup> (en junio).
- Porcentaje del tiempo anual de cielo despejado: 95%.
- Temperatura promedio/máxima en temporada calurosa (de octubre a noviembre): 29/31°C.
- Temperatura promedio/mínima en temporada fresca (de abril a julio): 24/12 °C.
- Promedio diario de velocidad del viento (meses ventosos de agosto a noviembre): 14.8 km/h.
- Promedio diario de velocidad del viento (meses calmados de diciembre a julio): 12.2 km/h.
- Máximo de velocidad del viento promedio diaria: 19.4 km/h.
- Mínimo de velocidad del viento promedio diaria: 10.3 km/h.

Al igual que hablamos de los recursos disponibles, también debemos mencionar aquellos a los que no vamos a tener acceso. Aquí es importante recalcar que nuestra instalación de generación va a estar aislada de la red, esto quiere decir que para lo bueno y para lo malo dependerá única y exclusivamente de sí misma. Esto tiene sus ventajas, ya que el sistema eléctrico de Zimbabue no tiene un funcionamiento como al que podamos estar acostumbrados en España, y sufre desconexiones prácticamente a diario, por lo que no es una fuente muy segura. Pero por contrapartida, si nuestra instalación falla por cualquier motivo no tendremos más soporte que el de conectar un generador diésel, caro y muy dañino para el medio ambiente.

## **2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS EDIFICIOS**

El colegio se compondrá de dos edificios diáfanos de una sola planta. Ambos con una superficie total de 201m<sup>2</sup>, donde habrá dos clases de 70 m<sup>2</sup> y dos cuartos extra de unos 20 m<sup>2</sup>. El del dispensario en cambio, tendrá una superficie de 134m<sup>2</sup>. En la siguiente tabla se muestran de manera resumida las dimensiones más importantes de los edificios del colegio:

*CONTEXTO Y REQUISITOS DE LA INSTALACIÓN*

<b>Dimensiones de los edificios (colegio)</b>	
Superficie total (m <sup>2</sup> )	201
Superficie clases (m <sup>2</sup> )	70
Superficie cuartos extra (m <sup>2</sup> )	20
Largo (m)	21.5
Ancho (m)	10.6
Pendiente del tejado (°)	15

*Tabla 2: Dimensiones de uno de los edificios del colegio.*

Es importante resaltar, que actualmente solo existe uno de los dos edificios del colegio de formación profesional, aunque en este proyecto se hará la instalación para el conjunto en completo.



*Ilustración 4: Edificio del colegio de formación profesional ya construido.*

## **2.3 CARGA TOTAL**

En cuanto a las necesidades eléctricas de los tres edificios (dos para el colegio y uno de menor tamaño para el dispensario), haremos una estimación inicial. Esta estimación, tendrá en cuenta una serie de cargas que se repartirán en los edificios.

A la hora decidir si instalaremos cargas en corriente continua o corriente alterna, hemos concluido quedarnos con las primeras, ya que, aunque requieran de un inversor, las cargas en continua son más comunes y por tanto baratas y en caso de tener que sustituir algún elemento serán más accesibles. Así que emplearemos equipos estándar de 220V y 50 Hz.

Para calcular los Watios que necesitaremos cubrir hemos dividido las cargas en:

- Sistema de iluminación.
- Ordenadores.
- Componentes extras para el dispensario.

Además, es importante resaltar, que nuestro proyecto se basa en dar cobertura eléctrica al complejo formado por el colegio y el dispensario. Por lo que, aunque haremos una estimación de la carga que habrá, no será nuestra misión comprar las cargas eléctricas, aunque necesitaremos dimensionarlas para poder saber a que nos enfrentamos.

### **2.3.1 SISTEMA DE ILUMINACIÓN**

El edificio ya construido que nos sirve de orientación cuenta con iluminación natural insuficiente. Por ello, es necesario instalar un sistema artificial basado en módulos lumínicos de bajo consumo.

Será importante, que la luz que proporcione nuestro sistema sea uniforme y adaptada según el espacio, no siendo igual para una clase como para una sala de lectura o el dispensario sin llegar a deslumbrar ( $UGR < 19$ ).



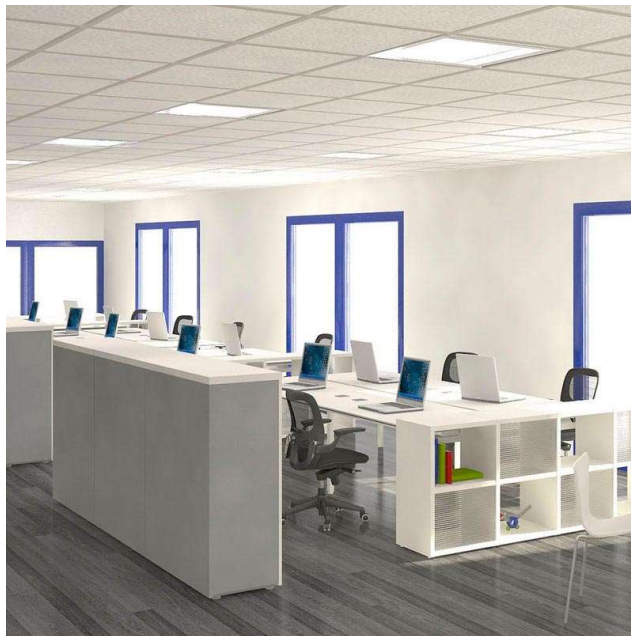
---

*CONTEXTO Y REQUISITOS DE LA INSTALACIÓN*

---

Por ello, se ha decidido emplear paneles led de la marca LEDBOX:

- Modelo: Panel LED SMD.
- Características eléctricas: AC 220 V, 40 W.
- UGR: 19.
- Flujo luminoso: 4400 lm.
- Ángulo de temperatura: 120°.
- Temperatura de color: 4000 K, 6000 K.
- Dimensiones: 596x596x12 mm.
- Vida útil: más de 50000 horas.
- Precio: 18.48 €.



*Ilustración 5: Ejemplo del sistema de iluminación (LEDBOX).*

---

*CONTEXTO Y REQUISITOS DE LA INSTALACIÓN*

---

Estos módulos permiten el acople de un sistema de regulación de la iluminación externo, algo que no se tratará en este trabajo, pero que resulta aconsejable para aumentar la eficiencia del equipo.

Cabe destacar, que se emplearán dos variantes de estos módulos. Se diferencian únicamente en la temperatura del color, siendo unos de 4000 K y los otros de 6000 K. Los primeros se emplearán para las clases y alumbrado general, y los segundos para iluminar las pizarras y el dispensario.

En total se emplearán 72 paneles LEDBOX divididos en:

- 10 módulos led por cada clase, haciendo un total de 40 unidades.
- 3 módulos en cada uno de los cuartos extra, haciendo un total de 12 unidades.
- 20 módulos en el dispensario.

### **2.3.2 ORDENADORES**

Nos hemos decantado por ordenadores portátiles, que, aunque tengan una menor vida útil, cada día son más eficientes, fiables y sobre todo nos dan una versatilidad inmensa comparado con los sobremesa. Ya que, en caso de avería, la sustitución es inmediata en caso de tener portátiles y muy aparatosa en los sobremesa, además de que los primeros nos dan más ventajas para de tenerlos de apoyo al estudio y la docencia en caso de ser necesarios.

La consecución de los ordenadores para el colegio no atañe a este trabajo por lo que tomaremos como referencia un consumo de 40W, teniendo en cuenta que entre los dos edificios del colegio y el dispensario puede llegar a haber 40 ordenadores.

### **2.3.3 COMPONENTES EXTRA PARA EL DISPENSARIO**

Como el dispensario es un proyecto de futuro, todo lo necesario no se contabilizará en el aspecto económico al igual que los ordenadores y la luminaria. Lo que sí haremos en este trabajo, será preparar la alimentación eléctrica necesaria para cuando se construya, por ello incluiremos el uso de un sistema de refrigeración necesario basado en una nevera para

*CONTEXTO Y REQUISITOS DE LA INSTALACIÓN*

aquellos medicamentos que lo necesiten, así como un esterilizador por si hiciera falta hacer alguna intervención. La iluminación ya está incluida dentro del primer punto.

En caso de aumentar en el futuro los componentes del dispensario, será necesario instalar más módulos de generación, algo que veremos al final del proyecto en el *Capítulo 10*.

Como referencia tomaremos un consumo de 250 W para la nevera y 600 W para el esterilizador.

Resumiendo, la carga total de manera aproximada quedaría de la siguiente forma:

<b>Carga</b>	<b>Unidades</b>	<b>Potencia unitaria (W)</b>	<b>Potencia pico (W)</b>	<b>Tiempo de uso (h)</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
Iluminación	72	40	2880	12	34.56
Ordenadores	40	40	1600	8	12.8
Nevera	1	250	250	24	6
Esterilizador	1	600	600	3	1.8
<b>Total</b>			<b>5330</b>		<b>55.16</b>

*Tabla 3: Consumo de individual de todas las cargas del sistema.*

Como se puede apreciar en la tabla resumen del consumo de electricidad en todo el complejo, el consumo total diario será de 55.16 kWh, muy a tener en cuenta a la hora de escoger el tipo de tecnología para generar la energía. Aunque en el diseño final tendremos que sobredimensionar esta potencia para cubrirnos las espaldas en caso de condiciones meteorológicas desfavorables o fallos.

## **Capítulo 3. ELECCIÓN DEL TIPO DE INSTALACIÓN**

Gracias a la información recopilada en el *Capítulo 2*, podemos comparar de manera razonable la generación eólica con la solar, que serán nuestras dos alternativas para construir nuestra planta de generación eléctrica. Ambas serán estudiadas a fondo para al final del capítulo tomar la decisión final en términos de robustez, sencillez y flexibilidad.

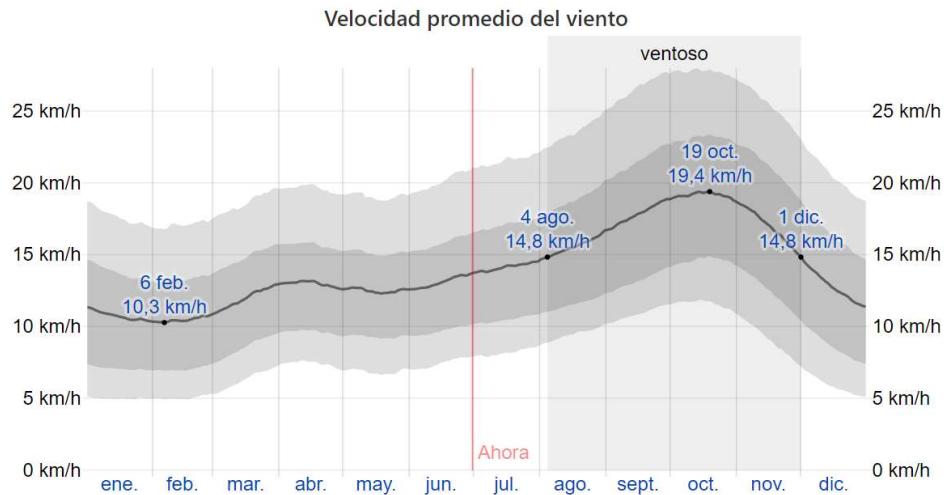
Tanto la generación eólica como la solar son energías completamente limpias que no generan ningún tipo de residuos, además son las más reconocidas e implementadas a nivel mundial dentro de las renovables, dejando de lado la hidráulica cuya aplicación en nuestro caso es imposible. Que ambas sean las más avanzadas tienen la ventaja de poder abaratar costes y sobre todo tener un mayor conocimiento de su funcionamiento incluso a largo plazo.

### **3.1 ENERGÍA EÓLICA**

En lo referente a producción de energía eólica, la referencia principal que se toma para comprobar la viabilidad de una localización para generar electricidad de manera rentable es la velocidad del viento a 10 metros sobre el suelo. Siendo el rango de funcionamiento de 10 a 40 km/h, ya que a velocidades menores de 10 km/h no resulta rentable al estar por debajo de la nominal de los generadores, y a mayores resulta peligroso para la estructura.

Como ya se anticipó en el capítulo anterior, el perfil de velocidades del viento en Mount Darwin parece apropiado para instalar aerogeneradores. El problema que surge es la falta de datos de calidad en la zona donde se ubica el colegio, ya que, al ser una zona tan pobre, no dispone de la suficiente cantidad de anemómetros por el país para considerar esta información fiable.

*ELECCIÓN DEL TIPO DE INSTALACIÓN*



*Ilustración 6: Velocidad del viento en Mount Darwin (Weather Spark).*

En cuanto a energía eólica se refiere, encontramos gran variedad de aerogeneradores basados en la generación de electricidad a partir de la energía cinética del viento. Es este quien mueve unas palas que a su vez se acoplan a un generador mediante un eje haciéndolo rotar produciendo energía. Los aerogeneradores modernos pueden llegar a tener potencias del orden de 350 kW.

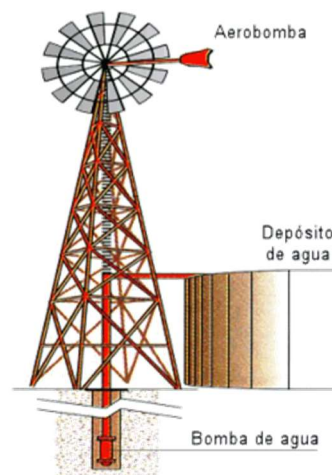
En nuestro caso de generación aislada a pequeña escala, los aerogeneradores más apropiados serían los pertenecientes al grupo de la minieólica. Generadores de hasta 100 kW que son capaces de cumplir con su cometido en lugares donde el acceso a la electricidad es un problema. Estos son de eje vertical, que a diferencia de los de eje horizontal no requieren de un sistema de orientación con la dirección del viento y son de fácil instalación y transporte.

*ELECCIÓN DEL TIPO DE INSTALACIÓN*



*Ilustración 7: Diferencia de tipos de generadores eólicos.*

En cuanto a proyectos de generación eólica, Zimbabwe fue pionera en el su uso a principios de los 80, por medio de sistemas de bombeo con aerogeneradores (aerobombas). Desde entonces no se avanzó con esta tecnología y no conoce casos a gran escala dentro del país.



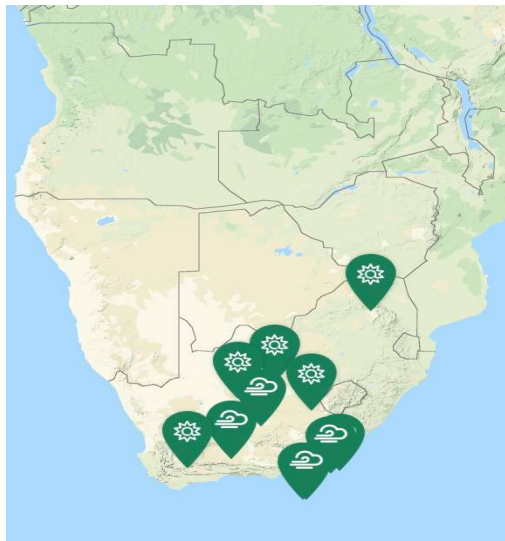
*Ilustración 8: Ejemplo de aerobomba (Pinterest).*

La Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA), estudió el potencial del país para valerse del viento para generar energía y concluyeron, con que hay zonas del país con gran

*ELECCIÓN DEL TIPO DE INSTALACIÓN*

potencial. Entre ellas destaca la región de Great Dyke, la más cercana a nuestra ubicación (unos 200 km).

En cuanto al resto del continente, las plantas eólicas están en auge. Prueba de ello son los parques eólicos construidos en Senegal (158 MW), Sudáfrica (140 MW) o Kenia (36 MW) y proyectos en construcción, como un parque de 200 MW en Namibia y otros tantos de unos 150 MW en Sudáfrica.



*Ilustración 9: Ubicación de las plantas eólicas y solares en Sudáfrica (Enel).*

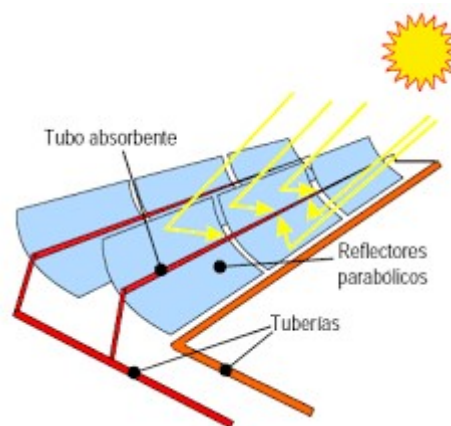
Como podemos ver en esta imagen de las plantas eólicas en construcción de la empresa ENEL, las centrales costeras tienden a ser eólicas y según vamos avanzando hacia el interior del país destacan más las solares. Esto se debe a la incidencia solar y la velocidad del viento en cada parte del país.

De todos estos proyectos y de la situación del país y casi del continente en cuanto a la generación eólica, podemos llegar a la conclusión de que, aunque es una tecnología en evidente crecimiento todavía no está asentada. Este hecho lo tendremos en cuenta a la hora de tomar nuestra decisión final entre solar y eólica.

## 3.2 ENERGÍA SOLAR

Esta tecnología, se basa en generar energía a través de la radiación del sol. Una fuente natural e inagotable. Dentro de la generación solar, estudiaremos dos tipos, la solar fotovoltaica y la solar térmica.

En cuanto a la segunda, la térmica, se basa en producir calor para generar energía. En resumidas cuentas, se instalan unos colectores parabólicos de alta temperatura que concentran el calor en un fluido. Este a su vez entra en un ciclo de potencia (desde ciclos Rankine hasta Brayton) donde se extrae toda la posible mediante turbinas. Esta modalidad es más compleja y cara que la fotovoltaica que veremos a continuación, aunque cuenta con mejores rendimientos.



*Ilustración 10: Ejemplo de generación solar térmica (Wikipedia).*

La energía solar fotovoltaica, muy extendida a escala global y perfectamente adaptable a proyectos de baja potencia tales como casas o colegios e incluso casos aislados. se basa en módulos compuestos por células fotovoltaicas que, mediante una reacción química transforman la radiación solar en electricidad directamente. Los módulos, generan una tensión en corriente continua, por lo que como hemos decidido instalar cargas de corriente alterna, sería necesario acoplar un inversor que transformara a alterna la electricidad generada.

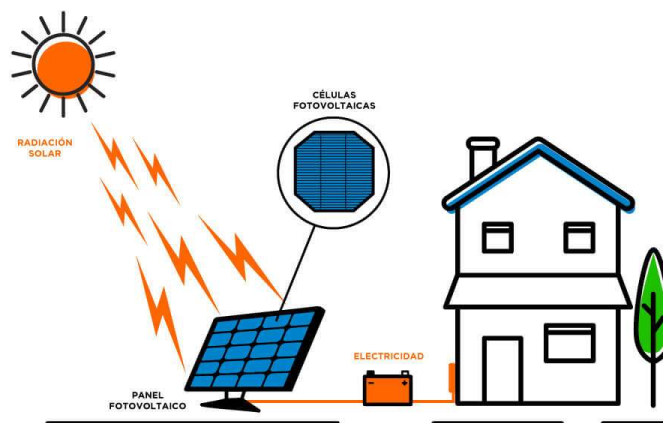


*ELECCIÓN DEL TIPO DE INSTALACIÓN*

Y aunque si bien es cierto su rendimiento es menor que el de una solar térmica, es la tecnología de generación solar más extendida. De hecho, a lo largo de los años más empresas han entrado en el sector, por lo que todos los materiales han disminuido su precio considerablemente llegando a valer hasta nueve veces menos los paneles solares desde 2006.

La energía fotovoltaica es utilizada desde proyectos a gran escala del orden de Mega Watios hasta usos domésticos, muy extendidos en zonas rurales. Esta versatilidad se debe a la facilidad de instalación y la flexibilidad que ello te da, ya que, si es necesario aumentar la potencia de la generación, únicamente es necesario conectar un nuevo módulo sin necesidad de alterar el resto del sistema.

Por estas razones, dentro de las posibilidades de la generación solar, concluimos con que la mejor opción es la fotovoltaica debido a sus ventajas en cuanto a robustez, sencillez y flexibilidad.



*Ilustración 11: Ejemplo de generación fotovoltaica (Canva).*

### **3.3 ELECCIÓN FINAL**

Se ha comentado a lo largo de los capítulos anteriores, que nuestras preferencias a la hora de tomar una decisión son la robustez, la sencillez y la versatilidad, pero no se ha profundizado en el tema.

En cuanto a la robustez se refiere, nuestra instalación debe dar la electricidad necesaria en cada momento, tratando de no fallar nunca. Es por lo que nuestros componentes tendrán que ser lo más fiables posibles, y en caso de necesitar mantenimiento o arreglos ha de ser sencillo y rápido.

La sencillez en los componentes es un pilar fundamental, ya que, aunque nosotros construyamos con ellos la instalación eléctrica, son la población local la que se tendrá que hacer cargo del mantenimiento y la supervisión del sistema. Y si algo les caracteriza, es su falta de contacto con este tipo de tecnologías y su desconocimiento del funcionamiento de esta, por lo que cuantas menos complicaciones tenga la instalación mejor.

Por último, es necesario dotar de una tecnología versátil el proyecto que nos de la capacidad de poder variar componentes una vez lleguemos a Mount Darwin, ya que es muy probable que algunos no consigamos encontrarlos.

Así que hemos concluido que la mejor opción para este trabajo será construir una planta basada en módulos solares fotovoltaicos, ya que es más conocida en el país que la eólica y nos da la capacidad de aumentar la potencia del sistema de manera muy sencilla. Creemos, que si las grandes compañías encargadas de realizar proyectos de generación eléctrica en el país han concluido que es mejor instalar eólica en las costas y solar en el interior es porque es la mejor opción. Además, la falta de datos de velocidad del viento recabados cerca de la zona son un problema, que, unido a la imposibilidad de generar energía en los meses poco ventosos por no llegar al mínimo en el que se mueven las palas de los aerogeneradores,

---

*ELECCIÓN DEL TIPO DE INSTALACIÓN*

dejando sin electricidad durante días al complejo, han sido cruciales a la hora de tomar la decisión.

## **Capítulo 4. PROYECTOS SIMILARES**

### ***4.1 INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA DE 480 kW EN SIERRA LEONA:***

Instalación fotovoltaica aislada con baterías de litio en Sierra Leona: es una iniciativa llevada a cabo en un colegio de las Hermanas Clarisas, que tiene como fin dejar de depender de un generador diésel. La instalación está diseñada para una escuela de unas 2000 alumnas, dando cobertura a las oficinas, bombas de agua, frigoríficos e incluso a una casa de voluntarios.

De este proyecto, sacamos en claro la posibilidad de dar cobertura eléctrica a un colegio con energía solar. También nos damos cuenta de la necesidad de instalar baterías para tener una generación más sólida y estable.



*Ilustración 12: Placa solar instalada en Sierra Leona (BetSolar).*

## ***4.2 PLANTA FOTOVOLTAICA AISLADA DE 130 kW EN GUINEA ECUATORIAL:***

Otro proyecto a menor escala, que nos sirve de referencia, por ser muy similar a nuestro caso, es una planta fotovoltaica de 130 kW construida en Guinea Ecuatorial en 2014 por parte de la empresa Solar Rocket. En este caso, se llevó a cabo una instalación más sofisticada y avanzada para dar cobertura a un centro de formación con talleres de electricidad, electrónica y construcción, aparte de cubrir los servicios mínimos del centro una serie de viviendas para los profesores.

En este caso, vemos como plantear un posible aumento de capacidad de cara al futuro. Es importante saber, que con energía solar es viable dar cobertura a demandas de electricidad mayores. En este caso también se instaló un sistema de baterías, por lo que nos queda claro que es necesario almacenar energía en momentos en los que la generación es mayor a la demanda, para poder tener reserva para cuando no tengamos irradiación solar.



*Ilustración 13: Placas solares instaladas en Guinea Ecuatorial (Solar Rocket).*

## **Capítulo 5. COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN**

### **FOTOVOLTAICA**

Como ya se ha concluido en el capítulo anterior, nuestra planta de generación se basará en la tecnología solar fotovoltaica. Por ello, a lo largo de este capítulo concretaremos los componentes que deberá tener para funcionar de manera adecuada, y en el siguiente escogeremos las mejores opciones dentro de lo que nos ofrezca el mercado.

#### **5.1 LOCALIZACIÓN**

En el *Capítulo 2* vimos una serie de datos relevantes sobre la localización del colegio, y en este punto ahondaremos más en los datos concernientes a nuestro tipo de instalación.

En cuanto a la posición exacta del complejo formado por el colegio de formación profesional y el dispensario tenemos:

- Longitud: 31.524760
- Latitud: -16.550002

##### **5.1.1 IRRADIANCIA E IRRADIACIÓN**

La irradiancia solar, es el parámetro que muestra la potencia incidente por unidad cada metro cuadrado de superficie, se mide en  $\text{kW/m}^2$ . En el caso de la irradiación, tenemos una definición similar, siendo el sumatorio (integral) de la irradiancia a lo largo de un período de tiempo, se mide en  $\text{kWh/m}^2$ .

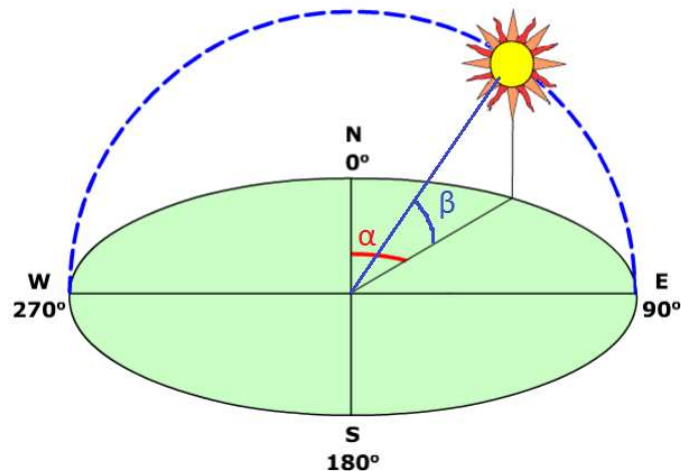
Con la ayuda de la herramienta PVGIS, obtendremos los parámetros en la localización exacta y una vez diseñada la instalación podremos simularla para tener una idea aproximada de la capacidad de la planta.

### 5.1.2 COORDENADAS SOLARES

No solo es importante conocer el punto exacto donde ubicaremos la planta, si no que debemos saber que posición tendrá respecto del sol, que dependerá fundamentalmente del soporte sobre el que colocaremos las placas.

Para conocer perfectamente la posición respecto del sol, deberemos conocer dos ángulos:

- Acimut ( $\alpha$ ): en el hemisferio sur, donde se encuentra Zimbabue, es el ángulo medido en el suelo formado por el sol y la dirección norte, siendo positivo hacia el este.
- Elevación ( $\beta$ ): ángulo medido en el plano vertical formado por los rayos del sol con respecto al suelo. Este variará a lo largo del año debido a las rotaciones terrestres.



*Ilustración 14: Coordenadas solares (Helio Esfera).*

Relacionado con la elevación, tenemos el ángulo de incidencia que es el formado por el rayo incidente en la superficie de la placa y su perpendicular. Para que la conversión de

energía sea óptima interesa que este ángulo sea lo menor posible, para que los rayos solares incidan de manera completamente perpendicular.

## **5.2 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**

Como ya se calculó en el *Capítulo 2*, el consumo diario al cual debemos dar soporte será de 55.16 kWh. Y teniendo en cuenta posibles fallos de alguna célula generadora, sobredimensionaremos por un factor de 1.4 para cubrirnos las espaldas. Y a esta demanda de carga deberá ser cubierta por los módulos solares.

Los módulos solares, no dejan de ser placas fotovoltaicas capaces de transformar la radiación solar en electricidad en corriente continua. Estas placas se conectarán en serie sobre una serie de estructuras que ya veremos más adelante y una variación de potencia será tan simple como añadir o quitar una de estas por lo que nos dan mucha facilidad en el diseño.

### **5.2.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS**

Dentro de la ficha de características del producto encontraremos:

- Potencia máxima ( $P_{max}$ ): máxima potencia que puede producir el panel en condiciones nominales de funcionamiento. Se mide en vatios pico (Wp)
- Voltaje en el punto de máxima potencia ( $V_{mp}$ ): tensión que se da en el punto de máxima potencia en condiciones nominales de funcionamiento.
- Corriente en el punto de máxima potencia ( $I_{mp}$ ): corriente que se da en el punto de máxima potencia en condiciones nominales de funcionamiento.
- Tensión de vacío ( $V_{oc}$ ): tensión máxima en bornes del panel sin tener ninguna carga conectada en condiciones nominales de funcionamiento.
- Corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ): corriente cuando el panel tiene tensión nula en bornes en condiciones nominales de funcionamiento.
- Eficiencia ( $\eta$ ): cantidad de la potencia absorbida que es capaz de convertir el panel. Se calcula como la relación de la potencia generada por la absorbida.



---

*COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA*

---

- Tolerancia de potencia: porcentaje sobre la potencia total que podrá variar nuestro modelo.
- Temperatura nominal de operación de la célula (TONC): es la temperatura que alcanzan las células a  $800 \text{ W/m}^2$ ,  $20^\circ\text{C}$ ,  $1 \text{ m/s}$  de velocidad del viento y una distribución espectral AM 1.5.
- Temperatura de funcionamiento: rango de temperaturas a los que nuestra célula podrá trabajar.
- Coeficientes de temperatura: se establecen para la potencia máxima, la tensión de vacío y la corriente de cortocircuito, y es un factor reductor que se aplica por cada grado que aumenta la temperatura ambiente por encima de los  $25^\circ\text{C}$ .

Además, en las fichas de características encontramos dos gráficas tensión-corriente donde nos muestran la capacidad del panel en función de la irradiancia y la temperatura ambiental.

En la siguiente imagen podemos apreciar una ficha técnica de una placa de la empresa Autosolar. En la gráfica de la izquierda encontramos las curvas en función de la irradiancia para una temperatura ambiente de  $25^\circ\text{C}$ , las cuales decaen en saltos de  $200 \text{ W/m}^2$  desde  $1000 \text{ W/m}^2$  hasta  $200 \text{ W/m}^2$ , y en la gráfica de la derecha tenemos las curvas de temperatura ambiente para una irradiancia de  $1000 \text{ W/m}^2$ . También podemos observar el resto de los parámetros anteriormente definidos.



Ilustración 15: Ejemplo de ficha técnica de una placa solar (ERA Solar).

## 5.2.2 TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS

Como vemos, la elección del módulo será determinante para el resultado final del proyecto. Por ello veremos dentro de los tipos de paneles que existen, los más asequibles y globalizados, ya que nuestra instalación prioriza diseños experimentados. Los tipos de placas varían principalmente según la cantidad de silicio que contienen:

- Panel monocristalino de silicio: son los más potentes y eficientes del mercado y por ende los más costosos. En la fabricación de estos paneles, se desperdicia mucho silicio, aunque son los que más vida útil tienen, en concreto 25 años.
- Panel policristalino de silicio: estos paneles tienen menos eficacia que los anteriores, pero son más económicos y sostenibles en cuanto a desperdicio en el proceso de fabricación. Si decidimos instalar estos, necesitaremos más espacio, ya que son menos eficientes, y es importante saber que las altas temperaturas pueden llegar a mermar su vida útil.

- Panel de silicio amorfo: en este caso, el panel consta de una base de acero sobre la que se deposita en forma de vapor una película de silicio. Estos son los más económicos, pero también los que tienen peor eficiencia, decayendo a lo largo de los años de manera muy aguda. Se recomienda su instalación en el caso de tener superficies muy grandes.

Para nuestro proyecto, nos hemos decantado por los módulos monocristalinos, para poder dotar a la instalación de una generación lo más sólida posible. Además, son los más comercializados para este tipo de proyectos.

### **5.3 INVERSOR**

Como ya se ha ido comentando a lo largo de trabajo, las placas fotovoltaicas captan la energía solar, generando una tensión en continua, por lo que será necesario un dispositivo que convierta en alterna para poder alimentar todas las cargas.

Es aquí donde entra el inversor, pues tiene como función convertir de continua a alterna a 50 Hz y 220 V. Además, es necesario que sea capaz de trabajar en el punto de máxima potencia de carga, sin carga y puntos intermedios sin ningún tipo de inconveniente.

En el caso de los inversores, existen tres tipos en función de si se conectarán a la red o no. Y como en nuestro caso tenemos una instalación aislada, tenemos claro el tipo de inversor que tendremos que comprar.

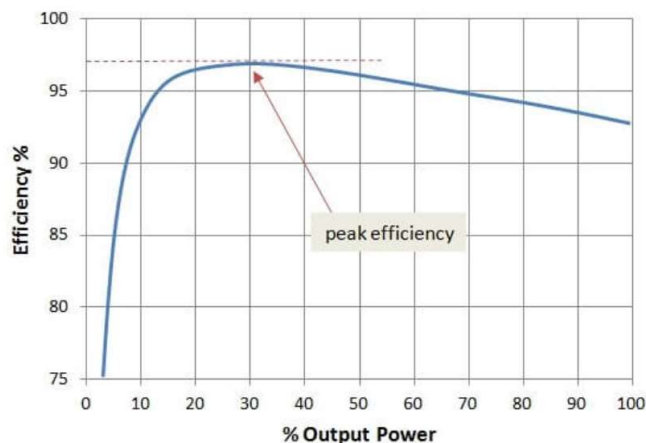
#### **5.3.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS INVERSORES**

Dentro de la ficha de características del producto encontraremos:

- Tensión de entrada ( $V_{in}$ ): fuente de tensión continua a la que conectaremos el inversor. Los fabricantes suelen dar un rango de hasta unas decenas de voltios.
- Tensión de salida ( $V_{out}$ ): tensión ya convertida a alterna a 220-230V y 50-60 Hz en función del modelo.

*COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA*

- Potencia nominal ( $P_{nom}$ ): máxima potencia que es capaz de proporcionar a la salida durante un tiempo prolongado.
- Potencia de pico ( $P_p$ ): es la máxima potencia que es capaz de dar durante un período corto de tiempo. Es mayor que la potencia nominal y sirve para arrancar motores u otro tipo de cargas que necesiten de manera transitoria y breve un pico de potencia.
- Tipo de onda: que puede ser cuadrada, modificada o senoidal pura. Esta última es la opción mejor para las cargas, ya que los dos primeros no son compatibles siempre, pero también es la más cara.
- Eficiencia: porcentaje de la potencia de salida en función de la potencia de entrada. Esta dependerá de la potencia a la que el inversor esté trabajando.



*Ilustración 16: Ejemplo eficiencia eléctrica de los inversores en función de la potencia de salida (Victron).*

Además de estas características, es importante comprobar con qué medidas de seguridad cuenta el inversor, ya que es un dispositivo que trabaja con tensiones razonablemente peligrosas. Así, a la hora de escoger el modelo, comprobaremos que tipo de protecciones vienen incluidas, siendo recomendables contar con: cortocircuitos, tensión de entrada baja y alta, sobrecargas y polaridad inversa en la entrada.

El modelo que escogeremos un inversor de onda senoidal pura, ya que nos sabemos qué clase de cargas conectarán en el futuro y el resto puede dar problemas.

En la siguiente imagen vemos una ficha de características de un modelo de la marca SOLAX POWER:

## 4. Technical Data

### 4.1 DC Input

Model	X1-2.5-S-D X1-2.5-S-N	X1-3.0-S-D X1-3.0-S-N	X1-3.3-S-D X1-3.3-S-N
Max.PV Input Power	2700W	3200W	3450W
Max.PV Voltage	600V	600V	600V
Nominal Voltage	360V		
MPPT Voltage Range	100~580V	100~580V	100~580V
Max.PV Current	10A	10A	10A
ISC PV	12A	12A	12A
MPPT Tracking No.	1		
No. of PV Input	1		

### 4.2 AC Output

Model	X1-2.5-S-D X1-2.5-S-N	X1-3.0-S-D X1-3.0-S-N	X1-3.3-S-D X1-3.3-S-N
Rated Output Power	2500VA	3000VA	3300VA
Max.Output Power	2500VA	3000VA	3300VA
On-grid Connection	Single-Phase		
Voltage Range	180-280V		
Nominal Voltage	220/230/240V		
Max.Output Current	12A	14A	15A
Maximum Output fault current	14A	16A	17A
Frequency Range	44-55/55-65 Hz		
Nominal Frequency	50/60Hz		
Power Factor	0.8leading~0.8lagging		
THD	< 1%		

*Ilustración 17: Ejemplo de ficha técnica de un inversor eléctrico (SOLAX Power).*

## 5.4 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

Uno de los problemas que surgen a la hora de diseñar una planta de paneles fotovoltaicos reside en la cantidad de horas sol, ya que se generan vacíos de generación de energía. Por ello, se hace necesario acoplar un sistema de almacenamiento de energía que basaremos en

baterías, para poder acumular excedente en horas de mucho sol, para consumir en caso de necesidad en horas de oscuridad.

A pesar de este inconveniente, tanto los dos edificios que componen el colegio como el del dispensario, estarán abiertos y por ende consumiendo energía solo en horas de luz. Aunque por condiciones climatológicas adversas en la ubicación de la instalación, podría darse el caso de sufrir una merma en la producción en horas de luz. Por lo que debemos tener en cuenta estos factores en nuestro diseño.

Para diseñar el sistema de almacenamiento instalaremos baterías, que no son más, que una reducción química de reducción – oxidación que es capaz de acumular energía y cederla. La manera de instalarlas será en el lado de continua de la instalación y en serie, sumando el voltaje de cada unidad manteniéndose así el amperaje.

#### **5.4.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS BATERÍAS**

Dentro de la ficha de características del producto encontraremos:

- Velocidad de carga/descarga: mide la velocidad a la que se llena y vacía la batería. Este parámetro, es inversamente proporcional a la vida útil del acumulador.
- Profundidad de carga: mide la cantidad de energía acumulable en cada carga. Es importante saber que cuanto mayor sea la descarga, menor será la vida útil de la batería.
- Capacidad: cantidad de energía acumulable y se mide en Amperios – hora. Depende del amperaje, el voltaje y la velocidad de descarga. La cantidad e amperios que puede suministrar se especifica como CX, por ejemplo: una batería C120 tiene un tiempo de descarga de 120 minutos.

$$C_N = I_N * \text{Duración de la carga}$$

- Tensión: diferencia de potencial en bornes de la batería. Es importante resaltar que las baterías son como una fuente de tensión en continua.

### **5.4.2 TIPOS DE BATERÍAS**

- Baterías solares AGM: son la mejor opción en caso de tener una pequeña instalación. Son capaces de dar ciclos de descarga profunda sin influir mucho en su vida útil (entre 5 y 10 años) y no requieren mantenimiento. Precio: 500 – 1500 €.
- Baterías fotovoltaicas Monoblock: destinadas a instalación aisladas con consumos bajos y casuales. Tienen una vida útil de entre 4 y 5 años. Precio: 200 – 2000 €.
- Baterías solares estacionarias: destinadas a consumos altos y continuos con una buena relación calidad – precio. Precio: 200 – 7000 €.
- Baterías de litio: son la mejor opción de mercado en términos de calidad y sostenibilidad, aunque también son las más costosas. Precio: 500 – 10000 € (o incluso más).

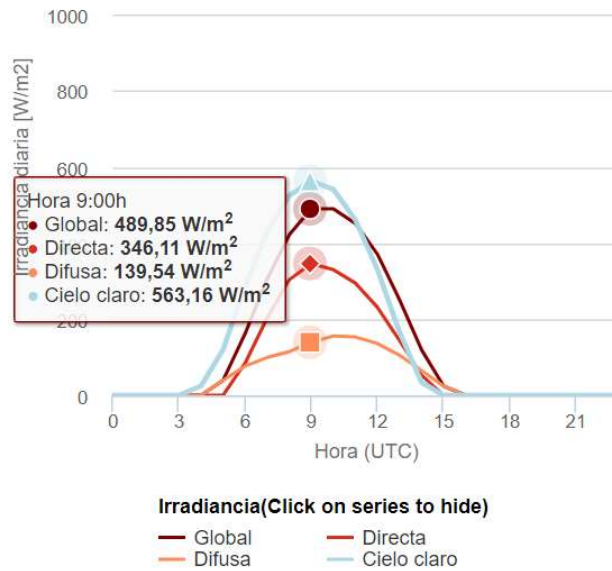
Para nuestro proyecto, hemos decidido descartar el uso de baterías de litio, ya que su precio excede enormemente el presupuesto. Esto se debe a que nuestro sistema estará completamente aislado y necesitaremos una gran capacidad de almacenaje, lo que conlleva una gran cantidad de baterías, aumentando considerablemente el precio de la instalación. Y en cuanto al resto de opciones, a priori la mejor elección parece las baterías solares estacionarias, aunque haremos un estudio profundo de mercado más adelante.

### **5.4.3 DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO**

A la hora de dimensionar la instalación deberemos tener en cuenta los siguientes factores:

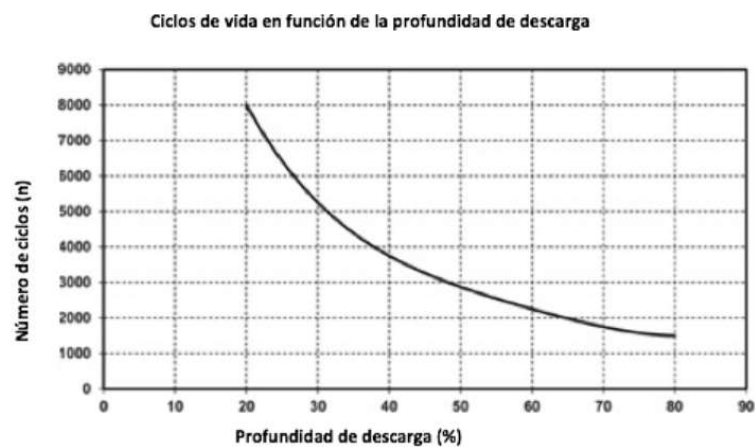
- Nuestra referencia de consumo será en los meses de invierno, donde por condiciones climatológicas se produce menos energía a través de los paneles fotovoltaicos. En el caso de Mount Darwin, el mes con menor irradiancia es julio.

*COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA*



*Ilustración 18: Irradiancia en W/m<sup>2</sup> en el mes de julio en las coordenadas (31.52°, -16.55°).*

- Otro factor a tener en cuenta es tratar de evitar que las baterías de descarguen a más de un 50 %, por lo que al consumo mensual le añadiremos un factor de corrección (x3), para poder determinar el voltaje.



*Ilustración 19: Ejemplo del tiempo de vida en función de la profundidad de descarga (Sun Fields).*



- Determina el amperaje como resultado del consumo total dividido por el voltaje.

Cálculos:

$$C_{diario} = \frac{C_{julio}}{31}$$

$$C_{diario}^{corregido} = C_{diario} * k$$

$$V = C_{diario}^{corregido}$$

$$I = C_{diario}^{corregido} / V$$

Donde:

$C_{diario/julio}$ : Consumo en Wh.

$K$ : factor de corrección.

$V$ : voltaje.

$I$ : amperaje.

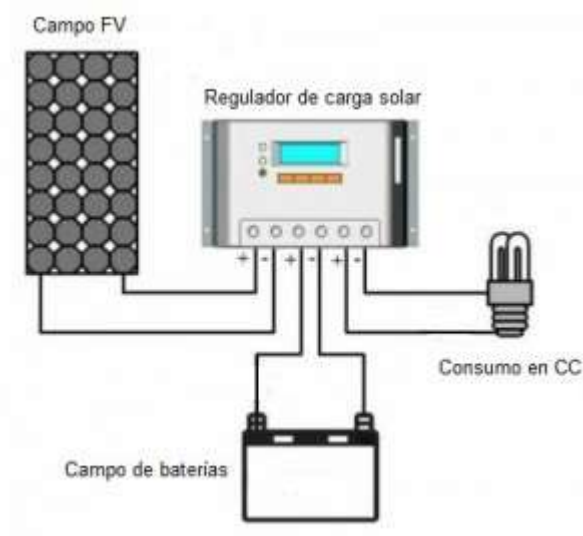
## **5.5 REGULADOR DE CARGA**

El regulador de carga es uno de los pilares fundamentales de toda instalación fotovoltaica. Su misión principal es la de proteger el sistema de almacenamiento contra sobredescargas, así como de coordinar todo el sistema. Será el cerebro dentro de la instalación, y por ello habrá que prestar mucha atención a qué modelo decidimos comprar.

Estará en el lado de corriente continua y en él, se conectarán tanto los paneles solares como las baterías e incluso cargas en continua si fuese necesario. Cuando nos referimos a que el regulador será el cerebro es, por que será quien controle los flujos de potencia, así cuando

*COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA*

los paneles fotovoltaicos no sean capaces de dar la suficiente potencia, conectará el consumo a las baterías para que den soporte, y de la misma manera cuando la generación sea mayor a la demanda y haya excedente de energía, desviará todo el flujo sobrante para cargar las baterías.



*Ilustración 20: Esquema de funcionamiento del inversor eléctrico (Ecosolar).*

### 5.5.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS REGULADORES DE CARGA

Dentro de la ficha de características del producto encontraremos:

- Tensión de la batería: dependerá del tipo de inversor, y en el caso de los MPPT será un ajuste automático con varias opciones. Ejemplo, 12, 24, 48 V.
- Corriente de carga nominal: valor de la corriente de entrada en condiciones normales de funcionamiento.
- Potencia máxima: máxima potencia que será capaz de soportar de manera continuada y en condiciones normales de funcionamiento. Dependerá del nivel de tensión.
- Corriente de cortocircuito.
- Tensión de vacío.

- Protecciones: de polaridad inversa, de fatas a tierra, sobretensión en entrada, sobrecarga en salida y otras posibilidades.

### **5.5.2 TIPOS DE REGULADORES DE CARGA**

Dentro de todos los tipos que hay en el mercado, nos centraremos en los PWM y los MPPT, que son los más comunes dentro de este tipo de instalaciones:

- Regulador PWM: regulación por modulación de ancho de pulso. Dentro del regulador, solo encontraremos diodos o tiristores, por lo que no se pierde energía. La tensión y corriente de las baterías y los paneles será la misma, por lo que no trabajaremos al punto de máxima potencia. Tiene la gran ventaja, de que es capaz de llenar las baterías por completo.
- Regulador MPPT: este además consta de un convertidor CC-CC y de un seguidor de máxima potencia. La ventaja se encuentra, en que podremos trabajar a tensiones diferentes en paneles y baterías, además de conseguir estar siempre en los puntos de máximo rendimiento con el seguidor MPPT. La producción solar con este dispositivo aumenta en torno a un 30% a diferencia de los reguladores PWM.

La mejor opción para el regulador de carga será un MPPT, ya que tiene la ventaja de sacar mayor partido a la producción de energía. Además, es la opción más común dentro de este tipo de instalaciones.

## **5.6 SISTEMA DE CONEXIONES**

Para conectar todos los dispositivos entre sí, deberemos de atender en primer lugar a las especificaciones de los fabricantes del resto de módulos del sistema. Esto se debe a que, por norma general son los propios fabricantes los que incluyen cables y contactos, y en caso de no incluirlos pueden imponer restricciones en las conexiones externas.

Además, instalaremos una caja de unión que servirá para tener todas las conexiones ubicadas de una manera más ordenada y reducir la cantidad de cableado. Y para realizar los paralelos de los paneles de un modo más sencillo y fiable necesitaremos un repartidor de corrientes.

### 5.6.1 CABLEADO

En cuanto a la normalización del cableado, Zimbabwe no establece una normativa clara y accesible, por lo que tomaremos como referencia el *Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión* (REBT). En su *Artículo 2*, se establece que el límite de una instalación para ser considerada como baja tensión, es de 1000 V para corriente alterna y 1500 V.

En cuanto al cálculo eléctrico de las líneas de baja tensión, para calcular la sección mínima normalizada debemos cumplir las siguientes condiciones:

- Capacidad térmica: viene determinada por tablas del REBT. Para una corriente máxima admisible, se garantiza que el conductor no sobrepase la temperatura máxima del aislante. En la siguiente tabla se muestran los valores normalizados:

<b>Temperatura máxima admisible</b>	
Aislante termoplástico	70°C
Aislante termoestable	90°C

*Tabla 4: Tablas normalizadas de Temperatura máxima admisible.*

- Caída de tensión: la diferencia de potencia en los cables debida a la circulación de corriente no debe de ser mayor que las que marcan los límites establecidos en el REBT.

<b><math>\Delta U_{MAX}</math> permitida</b>	
Línea general de alimentación	0.5 %
Derivación individual (un sólo usuario)	1.5 %

*COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA*

Derivación individual (varios usuarios)	1 %
Circuito interior de vivienda	3%
Circuito de alumbrado (no vivienda)	3%
Circuito de fuerza (no vivienda)	5 %

*Tabla 5: Tablas normalizadas de la caída de tensión máxima admisible.*

- Intensidad de cortocircuito: temperatura máxima que puede alcanzar el conductor en menos de 5 segundos.

<b>Temperatura de cortocircuito</b>	
Aislante termoplástico	160°C
Aislante termoestable	250°C

*Tabla 6: Tablas normalizadas de Temperatura de cortocircuito.*

Para el cálculo de la sección mínima:

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

Dónde:

$\Delta U$ : caída de tensión.

$\rho$ : resistividad.

$L$ : longitud de la línea.

$I$ : corriente que atraviesa la línea.

Una vez obtenida la sección mínima, escogeremos la sección normalizada que más se parezca por encima de su valor. Estos valores los podremos encontrar en las tablas del *Anexo I*.

## **5.7 PROTECCIONES**

En cuanto al sistema de protecciones, nos basaremos en las especificaciones de los fabricantes al igual que en el conexionado. Por otra parte, será importante diferenciar las protecciones de la zona de continua de la instalación de las zonas de alterna, las cuales no serán iguales.

Deberemos instalar un fusible en el lado de corriente continua. Este se ubicará en el paralelo de los paneles solares, para en caso de fallo saltar lo antes posible. Estos dispositivos reaccionan cuando experimentan un sobrecalentamiento y evitan incendios o problemas del buen funcionamiento del sistema

Por otra parte, en el lado de alterna, colocaremos un magnetotérmico, que será un apoyo más en la protección contra sobre descargas, así como en la detección y actuación frente a cortocircuitos.

Por otra parte, el conjunto inversor – regulador de carga, que seguramente estén compactados en un mismo dispositivo, seguramente cuenten con protecciones de serie, tales como protección a sobre descarga, frecuencia fuera de rango, temperatura, lluvia o polvo.

## **5.8 SOPORTE**

Deberemos decidir también si instalaremos una estructura soporte para anclar y orientar los módulos, y en caso de hacerlo, que tipo de soporte instalaremos. Estos soportes, pueden tener seguimiento del sol, de manera que los paneles solares están en cada momento del día absorbiendo la máxima radiación posible, aunque, también pueden ser totalmente estáticos.

En cuanto a los materiales, será necesario que soporte las condiciones climatológicas de la zona, ya que estará al aire libre. También, será crucial no producir sombras entre paneles por una mala instalación de los soportes.

### **5.8.1 UBICACIÓN DE LOS PANELES**

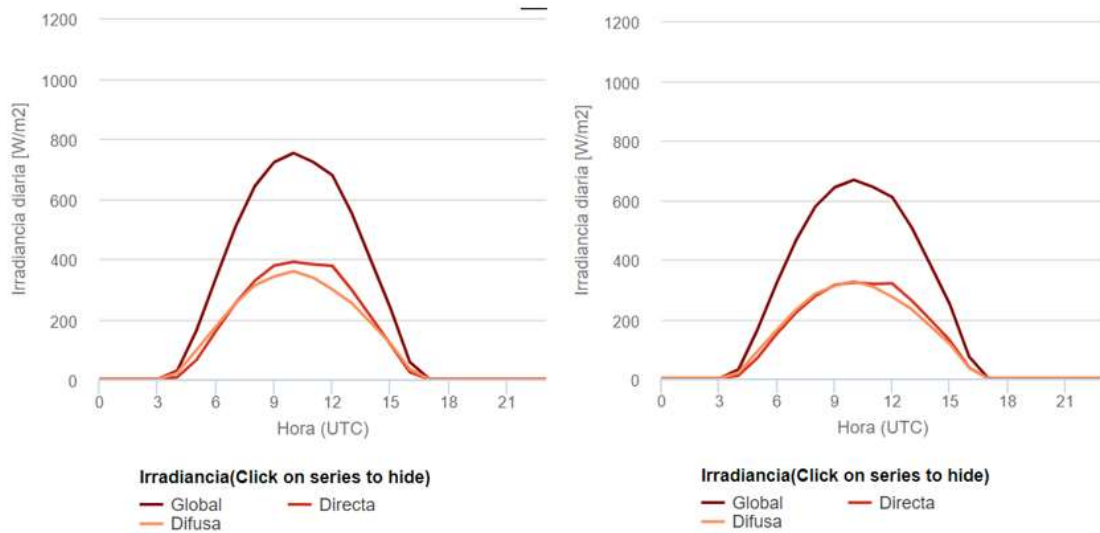
Nos surgen dos opciones a la hora de decidir donde colocaremos la instalación: en el tejado de los edificios o en el suelo en un lugar cercano. En nuestro caso, nos vamos a decidir por la primera opción, ya que ahorraremos cable y reduciremos las posibilidades de robo. Además, aunque la instalación sea menos accesible, tendrá menor probabilidad de recibir sombras por edificios o vegetación cercana.

Como referencia, tomaremos un ángulo de 15° para la inclinación del tejado.

### **5.8.2 INCLINACIÓN DE LOS PANELES**

Como se muestra en las imágenes que se pueden ver a continuación, donde se muestra una comparativa de la irradiancia en un panel solar en función de la inclinación, es necesario tener en cuenta la posición respecto al sol, para poder optimizar al máximo los paneles.

*COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA*



*Ilustración 21: Diferencia de la irradiancia solar en función del ángulo de inclinación en el mes de enero (15° izquierda, 35° derecha).*

Como se ha comentado anteriormente, existe la posibilidad de instalar dispositivos de seguimiento del sol. El problema se encuentra en el precio de estos, que se encuentra entre 200 y 500 por panel, esto se debe a que son empleados en instalaciones de más de 1 MW. Además, estos dispositivos tienen peor mantenimiento y hacen que nuestra instalación se vuelva más compleja, aumentando la posibilidad de fallos. Por ello, se ha decidido, instalar soportes estáticos en caso de ser necesarios.

Para calcular el grado de inclinación óptimo, nos basaremos en el método de la inclinación óptima anual. Este promedia la posición del sol a lo largo del año, teniendo en cuenta la latitud y se emplea de la siguiente manera:

$$\beta_{\text{óptimo}} = 3.7 + 0.69 * |\text{latitud}|$$

$$\beta_{\text{óptimo}} = 3.7 + 0.69 * 16.55 = 15.12^\circ$$

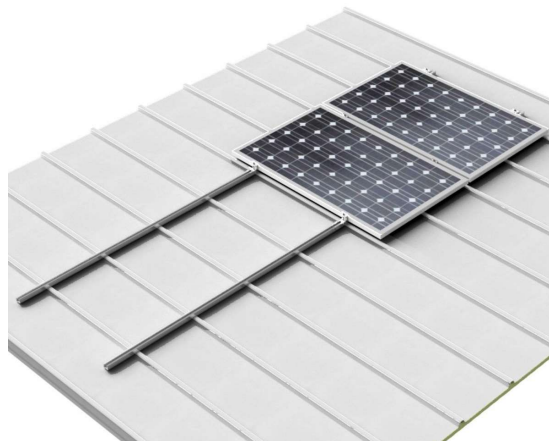
Dónde:



$\beta_{\text{óptimo}}$ : grado de inclinación óptimo.

En nuestra ubicación y según este método, la inclinación óptima será de unos 15°. Teniendo en cuenta que nuestro tejado ya cumple con esta característica, no sería necesario instalar una estructura de soporte con inclinación.

Aun así, diseñaremos una para que, en caso de que las referencias que tengamos no estén correctas poder tener alternativas. Aunque el proyecto lo presupuestaremos para soportes sin inclinación y cubierta metálica como el que se ve en la imagen a continuación.



*Ilustración 22: Ejemplo de soporte plano (AutoSolar).*

Para el caso de necesitar instalar una estructura con ángulo de inclinación, deberemos tener en cuenta la separación entre placas para no hacer sobras. Por ello será necesario una distancia mínima de separación. La cual se calcula de la siguiente manera:

$$d_{\min} = \frac{h}{\tan(61 - \text{latitud}) [^\circ]}$$

Dónde:

$d_{\min}$ : distancia mínima.

$h$ : altura.

## **5.9 PUESTA A TIERRA**

El sistema de puestas a tierra es otro tipo de protección eléctrica, que protege tanto a seres vivos como a la instalación frente a descargas, dando un camino alternativo a las corrientes que en estos casos se producen.

Lo primero que debemos hacer para diseñar un buen sistema de puestas a tierra, es diferenciar entre continua y alterna, ya que deberemos instalar dos picas completamente diferentes y separadas. También es interesante comentar que no es necesario conectar el negativo de las baterías a tierra, ya que está a 48 V y en Europa no es necesario, aunque en Estados Unidos sí.

Al igual que en el sistema de cableado, nos guiaremos por la legislación española, la cual según la ITC-BT 40 establece, que toda instalación generadora debe tener un sistema de puestas a tierra y se debe dimensionar acorde a la ITC-BT 18.

El cableado que constituirá la instalación de tierra será de cobre desnudo de 50 mm<sup>2</sup>, enterrado a 2 m de longitud. La longitud del cable será de unos 50 m. Teniendo en cuenta las tablas del *Anexo II* la resistividad del terreno será de unos 200 Ω·m, por lo que la resistencia de puesta a tierra de la instalación:

$$R = 2 * \frac{\rho}{L} = 2 * \frac{200}{50} = 8 \Omega$$

Dónde:

$R$ : resistencia del sistema de puesta a tierra.

$\rho$ : resistividad del terreno.

$L$ : longitud del cable de tierra.

---

*COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA*

En cuanto a la resistencia de  $8 \Omega$  del sistema de puesta a tierra no tenemos por qué preocuparnos, ya que está muy por debajo de los márgenes de nuestras protecciones que están en torno a  $400 \Omega$ .

## Capítulo 6. CÁLCULOS, DISEÑO Y ELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

En este capítulo, tomaremos las decisiones de que modelos exactos compraremos para nuestra instalación, basándonos en los datos recogidos en el *Capítulo 5*.

### 6.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Como ya hemos podido comprobar, la producción solar de un panel viene dada por la irradiancia a la que esté sometida en todo momento. Así que, hemos recogido la siguiente tabla de datos, donde se muestra la irradiancia media en nuestra localización en unas placas con una inclinación de 15°:

Mes	Irradiancia (kWh/m <sup>2</sup> )
Enero	227.91
Febrero	193.03
Marzo	197.03
Abril	193.48
Mayo	194.53
Junio	186
Julio	178.58

*CÁLCULOS, DISEÑO Y ELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA*

Agosto	208.22
Septiembre	222.89
Octubre	234.69
Noviembre	197.12
Diciembre	184

*Tabla 7: Irradiación en kWh/m<sup>2</sup> mensual julio en las coordenadas (31.52°, -16.55°).*

Para dimensionar la instalación, tomaremos como referencia el consumo diario calculado en el *Capítulo 2* y la menor irradiación que se da en el mes de julio. Los factores de sobredimensionamiento se han escogido teniendo en cuenta pérdidas en el inversor, regulador, acumuladores y conexionado, así como no superar el 50 % en la profundidad de carga de las baterías.

Cálculos:

$$C_d = 55.16 \text{ kWh}$$

$$P_{pf} = C_d * k1 = 55.16 * 1.4 = 77.22 \text{ kWh}$$

$$P_{sa} = C_d * k2 = 55.16 * 3 = 165.48 \text{ kWh}$$

$$E_d = P_{pf} - C_d = 77.77 - 55.16 = 22.06 \text{ kWh}$$

$$I_{Jul} = 178.58 \text{ kWh/m}^2$$

Dónde:

$C_d$ : Consumo eléctrico diario/mensual.

$P_{pf}$ : Potencia eléctrica mínima del sistema de placas solares.

---

*CÁLCULOS, DISEÑO Y ELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA*

---

$P_{sa}$ : Potencia eléctrica mínima del sistema de almacenamiento.

$k1$ : factor de corrección para la potencia del sistema placas solares.

$k2$ : factor de corrección para la potencia del sistema de almacenamiento.

$E_d$ : excedente de energía generada diaria.

$I_{jul}$ : Irradiación en el mes de julio.

A la vista de los cálculos, nuestras placas deberán ser capaces de dar una potencia eléctrica de 77.33 kWh, generando un excedente de 22.06 kWh diarios para cargar el sistema de almacenamiento que tendrá una capacidad de 165.48 kWh.

### 6.1.1 COMPARATIVA DE MODELOS

Haremos una comparativa de modelos de 400 W de las marcas referencia: Jinko, JA Solar y ERA. Toda la información y precios se estiman por referencias a la página web de venta *autosolar.es*:

	<b>Jinko</b>	<b>JA Solar</b>	<b>ERA</b>
Potencia (W)	400	400	400
Tensión	24	24	24
Eficiencia (%)	19.88	19.9	20.17
Tipo	Monocristalino PERC	Monocristalino PERC	Monocristalino PERC
Peso (kg)	22.5	22.7	22.5
Dimensiones (largo x ancho en mm)	2008x1002	2015x996	1979x1002

*CÁLCULOS, DISEÑO Y ELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA*

Vida útil (años)	25	25	25
Precio (€)	170.16	197.16	144.95

Tabla 8: Comparativa de modelos de paneles fotovoltaicos.

Dentro de las posibilidades que podemos observar, todos tienen características muy similares y las pequeñas diferencias en cuanto a eficiencia no son lo suficientemente consistentes como para considerarlas, por lo que escogeremos el modelo más económico. Nos quedaremos con el modelo de ERA, cuyo plano adjuntamos en el *Anexo II*.

Para calcular el número de placas solares que serán necesarias, tendremos que definir el concepto de *horas de sol pico* (HSP), el cual contabiliza la energía recibida del sol agrupándola en paquetes de 1 hora a una irradiancia de 1000 W/m<sup>2</sup>:

$$I'_{STC} = 1000 \text{ W/m}^2$$

$$I_{dia,julio} = \frac{I_{jul}}{31} = \frac{178.58}{31} = 5.76 \frac{kWh}{m^2} \text{ día}$$

$$HSP = \frac{I_{dia,julio}}{I'_{STC}} = \frac{5.76}{1} = 5.76$$

Dónde:

$I_{jul}$ : Irradiación en el mes de julio.

$I_{dia,jul}$ : Irradiación diaria en el mes de julio.

$I'_{STC}$ : Irradiancia en condiciones estándar de medida (dato del modelo del panel solar).

Para calcular el número total de paneles:

$$N_t = \frac{P_{pf}}{P_{pico} * HPS * PR} = \frac{77220}{400 * 5.76 * 0.9} = 37.24 \equiv 38 \text{ paneles}$$

---

*CÁLCULOS, DISEÑO Y ELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA*

---

$$N_p = \frac{48}{24} = 2 \text{ paneles}$$

$$N_s = \frac{38}{2} = 19 \text{ paneles}$$

$$P_t = 38 * 400 = 15200 \text{ W}$$

Dónde:

$P_{pf}$ : Potencia eléctrica mínima del sistema de placas solares.

$P_{pico}$ : Potencia pico de nuestros paneles solares.

$PR$ : factor global de funcionamiento.

$N_t$ : número total de paneles.

$N_p$ : número de paneles por cada paralelo.

$N_s$ : número total de series de  $N_p$  paneles en paralelo.

## **6.2 INVERSOR**

En el caso del inversor, tenemos los siguientes cálculos previos a la decisión:

$$P_{pico,dia} = 5330 \text{ W}$$

$$P_{inv} = P_{pico,dia} * 1.2 = 6396 \text{ W}$$

$$I_{max} = I_{cc} * N_s = 10.36 * 19 = 196.84 \text{ A}$$

Dónde:

$P_{pico,dia}$ : Consumo de potencia pico que se dará en un día (cálculo en *Capítulo 2*).



*CÁLCULOS, DISEÑO Y ELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA*

$P_{inv}$ : Potencia mínima que deberá tener el inversor.

$I_{max}$ : corriente máxima de entrada al inversor.

$I_{cc}$ : corriente de cortocircuito de cada panel fotovoltaico (ficha técnica en el *Anexo III*).

$N_s$ : número total de series de  $N_p$  paneles en paralelo.

A la vista de los cálculos, nuestro inversor deberá tener una potencia de salida de mínimo 6396 W.

A tratarse en nuestro caso de una instalación fotovoltaica aislada con baterías, la mejor opción de compra son los inversores cargadores, con protección de sobrecarga, lluvia y polvo para las baterías y la función de detectar niveles bajos de carga. Además, como ventaja añadida estos modelos vienen con reguladores de carga instalados, por lo que nos dará la opción de reducir el cableado y compactar la instalación.

### 6.2.1 COMPARATIVA DE MODELOS

En la siguiente tabla encontramos las mejores opciones de compra, ambas de onda senoidal pura, uno de la marca SMA y la otra de la marca Victron:

	<b>SMA Sunny Island 8.0H</b>	<b>Victron Quattro 15 kVA</b>
Potencia salida (W)	8000	12000
Potencia pico (W)	16000	15000
Peso (kg)	63	63
Corriente de entrada máxima (A)	50	200-100

*CÁLCULOS, DISEÑO Y ELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA*

Tensión de entrada (V)	48	48
Rendimiento (%)	95.8	96
Precio (€)	3531.89	5147.34

*Tabla 9: Comparativa de modelos de inversores solares.*

Nos hemos decidido quedar con el modelo Quattro de Victron, ya que tiene dos entradas y puede soportar la máxima corriente requerida. Además, nos da la opción de poder ampliar la capacidad de la instalación en el futuro sin tener que cambiar de inversor.

### **6.3 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO**

Para poder buscar la mejor opción para las baterías, debemos hacer antes unos cálculos previos:

$$C_{diario} = \frac{P_{sa}}{V_{bat}} = \frac{165.48}{48} = 3447.5 \text{ Ah}$$

Dónde:

$C_{diario}$ : capacidad del sistema de almacenamiento.

$V_{bat}$ : Tensión nominal de las baterías.

A la vista de los cálculos, nuestro sistema deberá tener una capacidad de, como mínimo 3447.5 Ah.

*CÁLCULOS, DISEÑO Y ELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA*

**6.3.1 COMPARATIVA DE MODELOS**

	<b>Ultracell UZS600</b>	<b>TAB TOPzs</b>	<b>Rolls S6 L16 S480</b>
Tipo	Estacionaria	Estacionaria	Estacionaria
Tensión (V)	48	48	48
Capacidad nominal (Ah)	600	345	480
Dimensiones (largo x alto x ancho en mm)	295x178x408	198x83x472	318x181x425
Peso (kg)	52	18.4	51
Unidades	6	10	8
Precio unitario (€)	3226.82	2691.04	3176.25
Precio total (€)	19360.92	26910.4	25410
Capacidad total (Ah)	3600	3450	3840

*Tabla 10: Comparativa de modelos de baterías.*

Entre las tres opciones de baterías de tipo estacionario, nos quedaremos con el modelo UZS600 de la marca Ultracell. Es importante tener en cuenta, que cada paquete de 600 Ah

*CÁLCULOS, DISEÑO Y ELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA*

está formado por 8 unidades, por lo que el peso y las dimensiones totales serán 8 veces mayores.

## **6.4 REGULADOR DE CARGA**

Como ya se comentó en el *apartado 6.2*, el inversor que hemos adquirido tiene un regulador de carga de serie. Por lo que no será necesario adquirir el módulo por separado.

## **6.5 SISTEMA DE CONEXIONES**

En cuanto a las características del conexionado de la instalación, vienen especificadas en los manuales de uso de los diferentes dispositivos que vamos a adquirir. En ellos se precisa el tipo de cable y conexión según las normas presente en la REBT.

### **6.5.1 CABLEADO**

Todos los modelos de cableado se han escogido en función de la ley regulatoria en España, ya que Zimbabue no es muy transparente a la hora de mostrar su regulación. En todos los modelos no se sobrepasa ningún límite de tensión ni corriente. Así, tendremos los siguientes tipos de cable en función de la zona de la instalación en la que se ubiquen:

<b>Tramo de la instalación</b>	<b>Modelo de cable</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Precio (€/m)</b>	<b>Precio total (€)</b>
Interconexión de paneles	PV ZZ-F (6 mm <sup>2</sup> )	80	1.8	144
Del repartidor de corriente al inversor	PV ZZ-F (16 mm <sup>2</sup> )	60	3.11	186.6
De las baterías al inversor	ZZ-F (50 mm <sup>2</sup> )	4	12.38	49.52

*CÁLCULOS, DISEÑO Y ELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA*

Interconexión de baterías	Cable de interconexión de baterías (50 mm <sup>2</sup> )	6	9.24	5.54
Conectores para paneles	Weidmuller PVStick	38	7.7	292.6
Terminales para baterías	Terminal de ojo (50 mm)	12	3.63	43.56

*Tabla 11: Resumen de precios del cableado y conexionado de la instalación.*



*Ilustración 23: Cableado de la instalación (AutoSolar).*

Además del cableado, el cual está escogido de manera que no se superan los límites de trabajo marcados por el fabricante, también hemos incluido unos conectores, los cuales son compatibles con nuestro modelo de panel fotovoltaico y son necesarios para su conexionado en serie.

### 6.5.2 CAJA DE UNIÓN Y REPARTIDOR DE CORRIENTE

Para poder realizar un conexionado más seguro y fiable, hemos decidido escoger 3 repartidores de corriente con sus respectivas cajas de conexionado. Es de la marca Legrand y soporta hasta 100 A.

	Unidades	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Repartidor de corriente	3	27.66	82.98
Caja estanca	3	7.54	22.62

*Tabla 12: Resumen de precios del repartidor de corriente y caja estanca de la instalación.*



*Ilustración 24: Repartidor de corriente y caja estanca (AutoSolar).*

## 6.6 PROTECCIONES

En cuanto a los fusibles, instalaremos uno en el polo positivo de los paralelos de los paneles fotovoltaicos. Deberá soportar una corriente de al menos 31.08 A, por lo que el modelo escogido, será un fusible 40 A 14x51, acoplado en un portafusibles de 14x51.

En cuanto a las protecciones en alterna, debemos hacer algunos cálculos previos antes de tomar ninguna decisión:

$$I_n = \frac{P_{pico}}{V_{carga}} = \frac{15000}{220 * \sqrt{3}} = 39.36 A$$

Dónde:

$I_n$ : corriente nominal por el lado de alterna.

Necesitaremos un magnetotérmico monofásico que ronde la corriente de 39.36 A, por lo que decidimos escoger el 40 A SH202-C40 de la marca ABB, cuyos precios totales se adjuntan en siguiente tabla:

<b>Protección</b>	<b>Precio</b>
Fusile + caja de fusible	16.95
Magnetotérmico	35.09

*Tabla 13: Resumen de precios de las protecciones.*

## **6.7 SOPORTE**

En cuanto a la estructura que fijará las placas solares en los tejados del complejo, se va a diseñar para el caso de apoyo directo y para el caso de una posible inclinación extra como ya se comentó en el capítulo anterior.

### **6.7.1 ESTRUCTURA PLANA**

De acuerdo con el modelo de la marca ERA que hemos escogido, el fabricante establece como preferencia, la estructura coplanar de la marca Falcat Structures en caso de techados metálicos con inclinación. Por ello escogeremos el modelo de 6 paneles con varilla metálica, ya que son los más seguros:



*Ilustración 25: Soporte coplanar para estructuras metálicas (Falcat Structures).*

### **6.7.2 ESTRUCTURA INCLINADA**

En cuanto a la posibilidad de instalar una estructura con inclinación, es importante tener en cuenta el ángulo  $\beta_{\text{óptimo}}$  que calculamos en el capítulo anterior, ya que este era de  $15^\circ$ . De momento tenemos la referencia de una inclinación de  $15^\circ$  en el tejado del colegio, pero en caso de que no fuese así, debemos estar preparados. De todas maneras, la estructura que haría falta no sería de más de  $5^\circ$ , por lo que la utilizaremos como referencia.



*CÁLCULOS, DISEÑO Y ELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA*

En cuanto a los precios finales, se adjuntan en la siguiente tabla:

<b>Estructura</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio unitario (€)</b>	<b>Precio total (€)</b>
Plana	7	238.37	1668.59
Inclinada (5°)	7	300	2100

*Tabla 14: Resumen de precios del soporte.*

## **6.8 PUESTA A TIERRA**

En cuanto a los componentes de la instalación, ya comentamos que debían de ser 50 m de cable de cobre desnudo y dos picas de al menos 2 m de largo:

	<b>Unidades</b>	<b>Precio unitario (€)</b>	<b>Precio total (€)</b>
Cable cobre desnudo	50 m	6.65	332.5
Picas de tierra	2	11.5	23

*Tabla 15: Resumen de precios del sistema de puesta a tierra.*

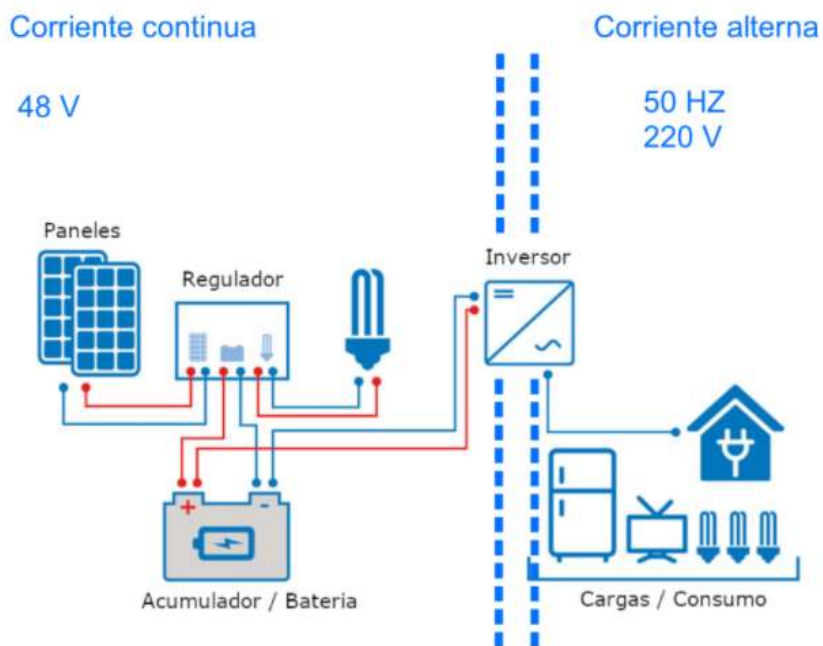
## **6.9 RESUMEN DE LA INSTALACIÓN**

A la vista de los cálculos y las decisiones de diseño podemos dividir la instalación en dos grandes bloques, uno de corriente continua y otro de corriente alterna.

*CÁLCULOS, DISEÑO Y ELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA*

En el lado de continua, tenemos únicamente los módulos de generación (placas solares) y almacenamiento (baterías), ya que no conectaremos ningún tipo de carga en corriente continua, aunque en el caso de necesitarla no tendremos ningún problema.

Todos los elementos en continua se unen con el otro bloque en alterna a través del inversor, que será quien haga la conversión. Como se ve en la siguiente imagen, el lado de continua estará a 48 V y el de alterna a 220V y 50 Hz, aunque cada placa solar estará a 24 V y cada batería a 6 V de manera individual.



*Ilustración 26: Esquema de la instalación.*

## **Capítulo 7. MANTENIMIENTO**

En cuanto al mantenimiento de la instalación, nos centraremos en los tres bloques fundamentales: paneles fotovoltaicos, baterías e inversor. Estos serán los que más atención requieran a lo largo de tiempo. Además, un correcto mantenimiento aumentará su vida útil y disminuirá considerablemente la posibilidad de fallos en el sistema.

Para llevar a cabo las labores de mantenimiento y limpieza, debemos prestar mucha atención a las especificaciones de los fabricantes, ya que sus guías de mantenimiento serán nuestra hoja de ruta a seguir.

### **7.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**

En cuanto al mantenimiento, la marca ERA simplemente recomienda mantener las placas lo más limpias posibles, ya que esto hará que no se creen sombras o puntos sucios que disminuyan la capacidad de producción del panel. Para ello se puede emplear jabón y agua con la ayuda de un cepillo sin ningún tipo de problema ya que están preparadas para tal caso. Se recomienda el uso de agua desmineralizada, aunque no es completamente necesario. En nuestro caso por falta de recursos se empleará agua corriente.

La frecuencia de limpieza deberá de ser una vez al mes y seguirá los siguientes pasos:

1. Apagado del inversor: no debemos limpiar las placas mientras están en funcionamiento.
2. Enjuagar con agua y jabón un cepillo y pasar por encima de las placas sin apoyarnos demasiado en ellas ya que se pueden llegar a romper.
3. Esperar su secado para volver a conectar el inversor.

## 7.2 *INVERSOR*

En cuanto al inversor, se recomienda mantenerlo limpio de polvo y hacer una limpia cada mes en caso de estar en exterior y cada tres en caso de estar en interior. En este caso si mantenimiento es más fácil que el de las placas solares, ya que no necesitaremos pasarlo por un cepillo por agua, de hecho, no se recomienda bajo ningún concepto hacerlo, ni si quiera con el dispositivo apagado.

Pasos:

1. Apagar el inversor (se recomienda hacerlo a la vez que las placas para no desperdiciar potencia).
2. Humedecer ligeramente un trapo con agua y pasarlo por el contorno del dispositivo.
3. Limpiar las posibles gotas de agua sobrantes con un trapo seco.

## 7.3 *BATERÍAS*

Ultracell, el fabricante de nuestras baterías recomienda en su manual de uso una serie de pautas para mantenerlas en buen estado. Este especifica una serie de pasos a seguir, y serán necesarios una serie de materiales extra:

<b>Componente</b>	<b>Modelo</b>	<b>Precio (€)</b>
Densímetro	iFCOW	10.59
Agua destilada	Garrafa 5L	4.8
Vaso medidor	Vaso 2L	9.53
Embudo	Embudo	1.99
Gafas de protección	NASUM plegable	9.99

Guantes de nitrilo	Pack x100	19.99
Cepillo metálico	Amazon basics	6.53
Vaselina blanca	Frasco 1 kg	12.9
Voltímetro	Durclth SM8124A	51.99
<b>Precio total</b>		<b>128.31</b>

*Tabla 16: Resumen de precios del mantenimiento.*

El mantenimiento lo realizaremos cuando comprobemos que falta electrolito dentro de los vasos de las baterías:

1. Comprobar el nivel del electrolito de las baterías cada 15 días. Nuestro modelo de batería se divide en tres vasos con su líquido electrolítico, además es transparente por lo que podremos ver con claridad lo que hay dentro del mismo. Para comprobar los niveles, simplemente hace falta echar un vistazo a dos líneas horizontales que marcan un máximo y un mínimo del líquido (ver imagen). Si el líquido está por debajo del mínimo habrá que realizar su rellenado.



*Ilustración 27: Detalle de la batería (AutoSolar Youtube).*

2. En caso de necesitar rellenado, primero desconectaremos por completo las baterías del sistema y entre ellas para proceder a la retirada de la tapa. Con precaución de no

- tocar los dos bornes de la batería con la herramienta necesaria para desconectar los bornes, ya que podría causar un cortocircuito.
3. Con el voltímetro en corriente continua, medir la tensión en bornes de la batería. En función del voltaje, miraremos la densidad, la cual viene en la ficha técnica del fabricante.
  4. Para medir la densidad, emplearemos el densímetro apretando la pera y leyendo la densidad en el aparato en todos los vasos. Esta deberá ser igual en todos.
  5. Si el nivel está bajo, rellenaremos con agua destilada. Será importante hacer este proceso con la batería cargada, ya que los valores de densidad y voltaje serán más correctos. Para el rellenado, nos colocaremos los guates de nitrilo y las gafas como protección, y echaremos el líquido con ayuda de un embudo y un vaso medidor hasta llegar a los niveles marcados en la carcasa.
  6. Cubrimos la batería con la tapa y limpiaremos con el cepillo metálico los bornes.
  7. Finalmente, echaremos una ligera vaselina en los bornes

## Capítulo 8. PRESUPUESTO Y VIABILIDAD

### ECONÓMICA

#### 8.1 PRESUPUESTO

En este apartado presupuestaremos la instalación eléctrica que hemos diseñado. Se ha de tener en cuenta que todo lo referente a las cargas, desde la luminaria a los dispositivos del dispensario no formarán parte ya que no nos concierne a nosotros. Por ello, expondremos a modo de tabla todos los costes del proyecto, teniendo en cuenta el precio con y sin IVA de todos los productos, ya que, aunque hemos tomado como referencia precios de suministradores españoles, los materiales serán adquiridos en Zimbabue:

<b>Componente</b>	<b>Precio sin IVA</b>	<b>Precio con IVA (21%)</b>
Paneles fotovoltaicos	4251.4	5508.1
Inversor	4066.4	5147.34
Baterías	15295.13	19360.92
Cableado y conexionado	570.24	721.82
Protecciones	71.11	52.04
Sistema de tierra	280.85	355.5
Soporte plano	1318.19	1668.59
Soporte con inclinación	1659	2100
Mantenimiento	101.36	128.31

<b>Precio total con soporte plano</b>	<b>26024.67</b>	<b>32942.62</b>
<b>Amortización a 25 años</b>		<b>1317.7</b>
<b>Precio total con soporte inclinado</b>	<b>26365.48</b>	<b>33374.03</b>
<b>Amortización a 25 años</b>		<b>1334.96</b>

*Tabla 17: Resumen de costes totales de la instalación.*

A la vista de esta factura aproximada, el precio de la instalación con posibilidades de ampliación a futuro queda en torno a los 33000 €, y la amortización anual en torno a 1300 €.

## **8.2 VIABILIDAD ECONÓMICA**

Llegados a este punto, es importante resaltar que, nuestro proyecto es de carácter solidario, y no solo eso, ya que es parte de un conjunto de proyectos que se realizarán en la localidad de Mount Darwin. Todos estos proyectos, son llevados a cabo por alumnos de últimos cursos de ICAI en colaboración con la ONG *Child Future Africa*. Por ello, además de encargarnos de la parte técnica de nuestro proyecto, todos los alumnos partícipes hemos tenido que buscar financiación junto a la ONG para poder pagar los materiales necesarios para llevar a cabo nuestros proyectos.

En la búsqueda de financiación, se han llevado una serie de actividades en este año tan atípico y complicado a la hora de realizar eventos.

En primer lugar, llevamos a cabo la organización de un torneo de pádel. Una serie de alumnos contactamos con clubes y llegamos a un acuerdo muy ventajoso con el *Club Pádel Bularas*, quienes muy amablemente nos cedieron su espacio para organizar el torneo. La recaudación fue un éxito, y se recaudaron 2500 €.





*Ilustración 28: Cartel promocional del torneo de pádel.*

Por otra parte, dos alumnas organizaron una rifa solidaria. Contactaron con varias marcas españolas de distinta índole, que nos cedieron productos para poder rifar. Con la venta de papeletas, se recaudaron 1500 €.

## SORTEO BENÉFICO



*Ilustración 29: Cartel promocional del sorteo benéfico.*

*PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA*

---

Como se venía haciendo años atrás, este año se ha mantenido la venta de merchandising solidario mediante la venta de camisetas con el logo del proyecto. Se vendieron a través de amigos y en el torneo de pádel. Se recaudaron 500 €.



*Ilustración 30: Camisetas promocionales de Project Zimbabwe.*

## **Capítulo 9. PLAN DE EJECUCIÓN**

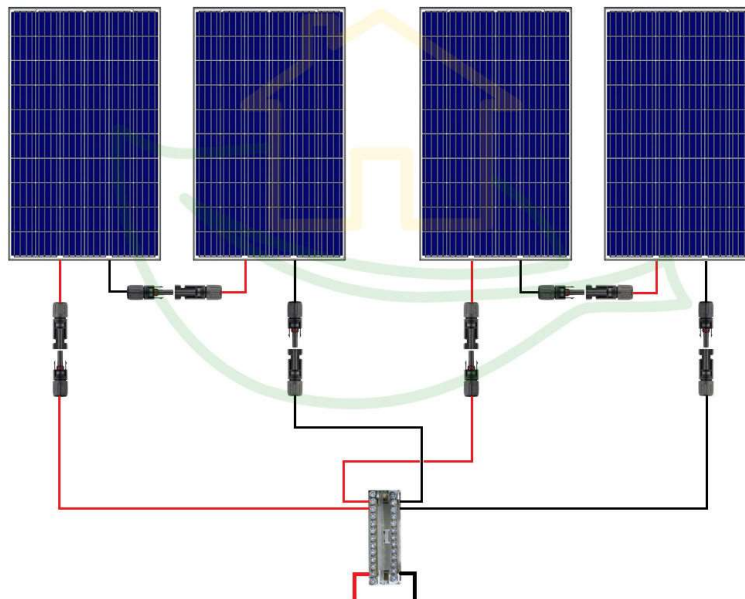
Una vez conocidos todos los módulos y componentes que tendrá nuestra instalación, además de su posterior mantenimiento, podemos continuar con el plan final de ejecución, donde plasmaremos los pasos a seguir para construir la instalación fotovoltaica:

1. El primer paso será ir hasta Zimbabwe hasta el complejo educativo – médico donde vamos a construir nuestro proyecto. Allí, lo primero será hacer un estudio a conciencia del edificio que ya existe, que es uno de los dos que componen el colegio. Como se ha visto a lo largo del proyecto, no estamos seguros en cuanto a la inclinación del tejado, además, volveremos a tomar medidas de todo el edificio para adecuar la instalación.
2. Una vez comprobadas las medidas del edificio, procederemos a comprar todos los componentes de nuestra instalación eléctrica. Como ya se ha adelantado, los precios que hemos estimado son según proveedores españoles, pero habrá que ir a Mount Darwin a comprar los componentes. En cuanto a disponibilidad de estos, no debería haber ningún problema según nos han contado nuestros contactos allí, aunque deberemos ser flexibles, algo no deberá suponer ningún problema, ya que hemos preparado el proyecto a conciencia y ante posibles adversidades.
3. En el momento en el que tengamos todos los componentes, nos dispondremos a instalarlos. En primer lugar, anclaremos los soportes. En cuanto al anclaje, deberemos comprar la tornillería necesaria según el fabricante especifique. En el caso de instalar el soporte con inclinación, deberemos tener cuidado de no producir sombras.
4. Previamente a anclar las placas a los soportes, acoplaremos los conectores para paneles solares a los cables de interconexión de baterías y estos conectarlos a los terminales de los paneles. Una vez hecho esto anclaremos los paneles.



*Ilustración 31: Detalle del acoplamiento del acoplamiento cable-conexión para paneles solares (Autosolar Youtube).*

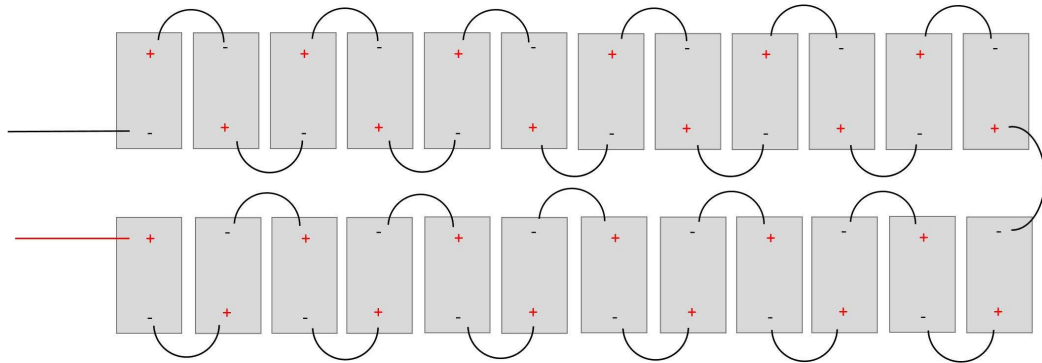
5. Una vez anclados los paneles, conectaremos series de a dos en paralelo mediante los repartidores de corriente, teniendo así un total de 19 paralelos de 2 paneles.



*Ilustración 32: Conexión de placas solares en serie-paralelo (SolarWeb).*

6. Las salidas del repartidor de corriente irán al inversor, teniendo así la parte de generación completamente instalada.
7. Por otra parte, acoplaremos las baterías estacionarias entre sí de una manera muy parecida a como lo hicimos con los paneles. Primero conectaremos los terminales para baterías a los cables de interconexión de estas, para más tarde conectarlas en

paralelo. Recordar que cada conjunto de 48 V, está formado por 6 baterías de 8 V que deberemos conectar entre sí en serie.



*Ilustración 33: Conexión de baterías en serie (AutoSolar).*

8. Una vez conectadas todas las baterías, las uniremos al inversor con el cable comprado para tal tarea.
9. Por último, instalaremos la puesta a tierra y el conjunto de protecciones según su ubicación (continua o alterna).



## **Capítulo 11. CONCLUSIONES**

En cuanto a la parte técnica y puramente ingenieril de este proyecto, el mayor obstáculo que nos hemos encontrado ha sido sin ninguna duda la falta de información y la incertidumbre de no saber muy bien que retos nos van a surgir una vez lleguemos a Zimbabue.

Hemos dimensionado todo el proyecto teniendo en cuenta posibles alteraciones que nos podremos encontrar, tales como la variación de los modelos de los componentes que hemos decidido implementar, así como posibles variaciones en el terreno, la edificación o incluso la demanda eléctrica que tendrá el colegio. Por ello, a lo largo de este proyecto se ha puesto mucho énfasis en ciertos cálculos que en caso de tener que variar no tendremos ningún problema.

Y más allá de posibles problemas, hemos sacado en claro ciertos aspectos técnicos que en nuestra opinión son los óptimos a la hora de construir nuestra planta fotovoltaica. Lo primero de todo, tenemos claro que, independientemente del modelo la mejor opción para los paneles solares, por su precio y eficiencia, son los monocristalinos y si pueden ser de 24 V mejor. Lo segundo, ha sido elegir de manera rotunda las baterías estacionarias, las cuales son la mejor opción para nuestro nivel de potencia y presupuesto. Y lo tercero, concierne a la parte del inversor y el regulador de carga, ya que hemos descubierto la posibilidad de integrarlos en un mismo dispositivo a precios muy razonables, pero en el caso de no encontrar un inversor cargador, que así se llaman estos modelos, el regulador de carga de carga será de tipo MPPT.

A todas estas conclusiones, hemos llegado gracias a la gran cantidad de información que circula actualmente en cuanto a instalaciones fotovoltaicas aisladas se refiere. Ya que hemos encontrado infinidad de proyectos, donde en gran parte de ellos llegan a las mismas conclusiones que nosotros. Y esto se debe al gran auge de las energías limpias, pero sobre

---

*CONCLUSIONES*

todo a la solar fotovoltaica, que se está consolidando como la más asequible y sencilla para autoabastecimiento a cualquier nivel de potencia a escala mundial.

Por otra parte, y llegados a este punto, otra de las conclusiones a las que he llegado, no tiene tanto que ver con la parte técnica, si no con el ámbito más social de este proyecto. Y es que como ya adelantamos en el primer capítulo, la situación política, social, energética y económica en todo Zimbabue es insostenible, multiplicándose en las zonas rurales, donde se ubica nuestro proyecto. Ya vimos cuanto disminuía el acceso y cuanto aumentaba la pobreza en estas zonas, en las que únicamente uno de cada cinco zimbabuenses tenía acceso a la electricidad.

Así que puedo decir que, gracias a este proyecto, no solo he puesto a prueba los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, si no que también he podido conocer la realidad de Zimbabue, un país que pide ayuda a gritos.



## Capítulo 12. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Zimbabwe, 2021.  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Zimbabwe>
- [2] El Mundo. Zimbabwe: una historia en blanco o negro.  
<https://www.elmundo.es/internacional/zimbabwe/historia.html>
- [3] BBC Mundo. 7 cifras que ayudan a entender la crisis en Zimbabwe, el país que Robert Mugabe gobernó por 37 años, 20 noviembre 2017.  
<https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-42052253>
- [4] Japhet Moyo. Zimbabwe en 2019: la situación actual y una hoja de ruta para el futuro, 28 de febrero de 2019.  
<https://www.equaltimes.org/zimbabwe-en-2019-la-situacion>
- [5] Economía de Zimbabwe, 2021.  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Econom%C3%ADa\\_de\\_Zimbabwe](https://es.wikipedia.org/wiki/Econom%C3%ADa_de_Zimbabwe)
- [6] Zimbabwe Energy Situation, 11 junio 2021.  
[https://energypedia.info/wiki/Zimbabwe\\_Energy\\_Situation](https://energypedia.info/wiki/Zimbabwe_Energy_Situation)
- [7] Alba Amorós. Hasta 18 horas diarias sin luz en Zimbabwe, 21 junio de 2019.  
[https://www.abc.es/internacional/abci-hasta-18-horas-diarias-sin-zimbabwe-201906211608\\_noticia.html](https://www.abc.es/internacional/abci-hasta-18-horas-diarias-sin-zimbabwe-201906211608_noticia.html)
- [8] Weather Spark. El clima promedio en Mount Darwin.  
<https://es.weatherspark.com/y/96834/Clima-promedio-en-Mount-Darwin-Zimbabwe-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- [9] Onesun Solar Limited. Energía solar en Zimbabwe.  
<https://www.meeco.net/es/company/international/zimbabwe>
- [10] José Alfonso Alonso Lorenzo. Manual de cálculo de instalación fotovoltaica aislada.  
<https://www.sfe-solar.com/baterias-solares/manual-calculo/>
- [11] Bolg Tecnosol. Características eléctricas de los paneles solares.  
<https://tecnosolab.com/noticias/caracteristicas-electricas-de-los-paneles-solares/>
- [12] TOP. Guía de compra Inversores.  
<https://topbateriaexterna.com/inversor-de-corriente/>

---

*BIBLIOGRAFÍA*

- [13] Selectra. Batería para placas solares: Funcionamiento y Mejores marcas.  
<https://selectra.es/autoconsumo/info/componentes/baterias-solares>
- [14] BOE. Real decreto 842/2002: *Reglamento electrotécnico para baja tensión e ITC. 2*  
agosto.  
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2002-18099>

## ANEXO I

Para calcular la resistividad:

	<b>Resistividad</b>		
	$\rho_t = \rho_{20^\circ C} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)$		
Temperatura	20°C	70°C	90°C
Cobre	0.018 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$	0.0215 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$	0.0229 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$
Aluminio	0.029 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$	0.0348 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$	0.0372 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

<b>Coficiente de temperatura (<math>\alpha</math>)</b>	
Cobre	0.00392
Aluminio	0.00403

Tabla de valores normalizados de la sección de conductores según el REBT:

<b>Sección nominal de los conductores unipolares (mm<sup>2</sup>)</b>
1.5
2.5
4
6
16
25
35
50
70
95
120

## ANEXO II

Tablas de la resistividad del terreno en función de su naturaleza según la ITC-BT 18:

<b>Naturaleza del terreno</b>	<b>Resistividad (<math>\Omega\text{m}</math>)</b>
Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y Arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arenas arcillosas	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras	50 a 300
Roca de mica y cuarzo	800

---

Granitos y gres procedente de alteración	1500 a 10000
Granito y gres muy alterado	100 a 600

---

## ANEXO III

Ficha de características del panel solar 400 W Perc Monocristalino ERA:

### ESPSC

**Monocrystalline Solar Module**

**SPECIFICATIONS**

Dimensions 1979 x 1002 x 40mm

Weight 22.5 kg

Frame Aluminium hollow-chamber frame on each side

Glass Low-iron and tempered glass 3.2 mm

Cells 72 pcs Mono PERC (168.75 x 168.75 mm)

Cell Embedding EVA

Back-Foil FEVE / PET / FEVE

Junction Box TUV certified

Cable 4 mm<sup>2</sup> solar cable 2 x 900 mm or Customized Length

Temperature Range -40°C ... +85°C

Load Capacity 5400Pa(IEC 61215, 41mm)

Application class Class A

Electrical protection class Class II

Fire safety class Class C

Product warranty 10 years

Power Guarantee 10 years 90% 25 years 80%

Packaging Configuration (Two pallets = One stack) 27pcs/pallet, 54pcs/stack, 584pcs/40'HQ Container

**CHARACTERISTICS**

Max. System Voltage 1000V/DC

Temperature-Coefficient  $I_{sc}$  +0.02873%/°K

Temperature-Coefficient  $V_{oc}$  -0.38038%/°K

Temperature-Coefficient  $P_{max}$  -0.574029%/°K

NOCT\*\*\* 45°C

**CERTIFICATES**

IEC 61215 edition 2 (TUV Nord) (TUV Rheinland)

IEC 61730 MCS (INMETRO)

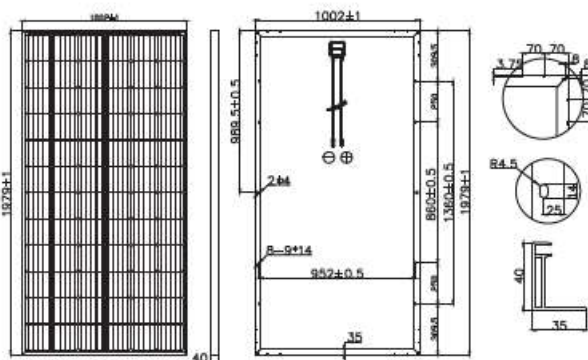
CE CEC SALT-MIST

UL1703 CSA

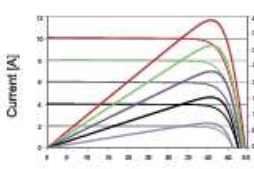
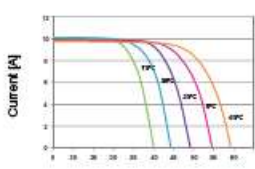
PID Resistant

**INSURANCE**

Chubb




**CURRENT-VOLTAGE CURVES**

ESPSC TYPE	380M	385M	390M	395M	400M
Power Class	380Wp	385Wp	390Wp	395Wp	400Wp
Max. Power Voltage ( $V_{mp}$ ) <sup>*</sup> at STC**	40.5V	40.8V	41.1V	41.4V	41.7V
Max. Power Current ( $I_{mp}$ ) <sup>*</sup> at STC	9.39A	9.44A	9.49A	9.55A	9.60A
Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ ) <sup>*</sup> at STC	48.9V	49.1V	49.3V	49.5V	49.8V
Short Circuit Current ( $I_{sc}$ ) <sup>*</sup> at STC	9.75A	9.92A	10.12A	10.23A	10.36A
Module Efficiency	19.16%	19.42%	19.67%	19.92%	20.17%

<sup>\*</sup> MPP: Maximum Power Point  
<sup>\*\*</sup> STC (Standard Test Conditions): 1000W/m<sup>2</sup>, 25°C, AM 1.5  
<sup>\*\*\*</sup> Normal Operating Cell Temperature



ERA SOLAR and the ERA SOLAR logo are trademarks or registered trademarks of ERA SOLAR Corporation. © October 2019 ERA SOLAR Corporation. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

## ANEXO IV


Ficha de características del inversor Victron Quattro 15 kVA:

Quattro	12/3000/120-50/50 24/3000/70-50/50	12/5000/220-100/100 24/5000/120-100/100 48/5000/70-100/100	24/8000/200-100/100 48/8000/110-100/100	48/10000/140-100/100	48/15000/200-100/100
PowerControl / PowerAssist	Sí				
Conmutador de transferencia integrado	Sí				
2 entradas CA	Rango de tensión de entrada: 187-265 VCA Frecuencia de entrada: 45 – 65 Hz Factor de potencia: 1				
Corriente máxima de alimentación (A)	2x 50	2x100	2x100	2x100	2x100
<b>INVERSOR</b>					
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
<b>CARGADOR</b>					
Tensión de carga de 'absorción' (VCC)	14,4 / 28,8	14,4 / 28,8 / 57,6	28,8 / 57,6	57,6	57,6
Tensión de carga de 'flotación' (VCC)	13,8 / 27,6	13,8 / 27,6 / 55,2	27,6 / 55,2	55,2	55,2
Modo de almacenamiento (VCC)	13,2 / 26,4	13,2 / 26,4 / 52,8	26,4 / 52,8	52,8	52,8
Corriente de carga de la batería auxiliar (A) (4)	120 / 70	220 / 120 / 70	200 / 110	140	200
Corriente de carga batería arranque (A)	4 (solo modelos de 12 y 24V)				
Sensor de temperatura de la batería	Sí				
<b>GENERAL</b>					
Salida auxiliar (A) (5)	25	50	50	50	50
Relé programable (6)	3x	3x	3x	3x	3x
Protección (2)	a - g				
Puerto de comunicación VE.Bus	Para funcionamiento paralelo y trifásico, supervisión remota e integración del sistema				
Puerto de comunicaciones de uso general	2x	2x	2x	2x	2x
On/Off remoto	Sí				
Características comunes	Temp. de trabajo: -40 a +65 °C Humedad (sin condensación): máx. 95%				
<b>CARCASA</b>					
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. <sup>2</sup> (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



## ANEXO V

Ficha de características de las baterías Ultracell UZS600:

UZS600-6	Physical Specification	
	Part Number	UZS600-6
	Length	295 ± 2 mm
	Width	178 ± 2 mm
	Container Height	405 ± 2 mm
	Total Height (with terminal)	408 ± 2 mm
	Without Electrolyte	34.5 kg
	With Electrolyte	52.0 kg

Specifications		
	Nominal Voltage	6V
	Nominal Capacity (120HR)	600AH
<b>Terminal Type</b>	Standard Terminal	F22
<b>Container Material</b>	Standard Option	ABS
<b>Rated Capacity</b>	120hr, 1.80V/cell, 25°C	600.0 AH/ 5.00A
	100hr, 1.80V/cell, 25°C	550.0 AH/ 5.50A
	10hr, 1.80V/cell, 25°C	360.0 AH/ 36.0A
	5hr, 1.75V/cell, 25°C	324.0 AH/ 64.8A
	1hr, 1.60V/cell, 25°C	202.0 AH/ 202A
<b>Max Discharge Current</b>	1300A (5s)	
<b>Internal Resistance</b>	Approx 2.5mΩ	
<b>Discharge Characteristics</b>	Operating Temp. Range	Discharge: -15°C~50°C(5°F~122°F)
		Charge: -10°C~50°C(14°F~122°F)
		Storage: -20°C~50°C(-4°F~122°F)
	Nominal Operating Temp. Range	25±3°C
	Float Charging Voltage (25°C)	6.60 ~ 6.72V at 25°C Temp. Coefficient -18mV/°C
	Cycle Charging Voltage (25°C)	7.05 ~ 7.20V at 25°C Temp. Coefficient -30mV/°C
<b>Capacity affect by Temperature (10HR)</b>	40°C	102%
	25°C	100%
	0°C	85%
	-15°C	65%
<b>Design Floating Life at 20°C</b>	20 Years	
<b>Self Discharge</b>	Ultracell batteries may be stored for up to 6 months at 25°C(77°F) and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.	

Constant Current Discharge (Amperes) at 25°C														
F.V/TIME	30min	60min	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h	24h	48h	100h	120h
1.60V	328	202	128	94.7	79.1	66.6	56.6	43.3	36.6	19.8	17.2	9.12	5.64	5.11
1.65V	321	199	127	94.1	78.7	66.2	56.2	43.0	36.6	19.8	17.2	9.10	5.61	5.10
1.70V	311	194	126	92.8	77.6	65.3	55.5	42.4	36.5	19.7	17.1	9.06	5.60	5.07
1.75V	304	190	124	92.2	77.0	64.8	55.1	42.1	36.3	19.6	17.0	9.03	5.56	5.04
1.80V	293	184	121	89.4	74.7	62.9	53.4	40.9	36.0	19.4	16.9	8.86	5.50	5.00

Constant Power Discharge (Watts) at 25°C														
F.V/TIME	30min	60min	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h	2h	48h	100h	120h
1.60V	647	404	247	186	155	131	111	85.7	72.9	39.6	247	18.4	11.6	10.5
1.65V	634	398	245	184	154	130	111	85.2	72.8	39.5	245	18.4	11.5	10.5
1.70V	614	388	243	182	152	129	109	84.0	72.6	39.4	243	18.3	11.5	10.4
1.75V	599	380	240	181	151	128	109	83.4	72.1	39.2	240	18.2	11.4	10.3
1.80V	577	369	233	175	146	124	105	80.9	71.6	38.9	233	17.8	11.1	10.0

