



TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

INSTALACION SOLAR FOTOVOLTAICA AISLADA (OFF-GRID) DE UNA ESCUELA EN KIMPESE, REPUBLICA DEMOCRATICA DEL CONGO

AUTOR: EUGENIO RAMÓN JÍMENEZ UTRERA
TUTOR: JULIÁN LEBRATO MARTÍNEZ

INDICE:

1 INTRODUCCION	3
1.1 Objeto del proyecto	3
1.2 Ubicación de la instalación	3
2 INSTALACION FOTOVOLTAICA.....	4
2.1 Tipos de instalaciones	4
2.2 Componentes de la instalación Off-Grid	5
3 MODULOS FOTOVOLTAICOS	6
3.1 Células fotoeléctricas	6
3.2 Elementos de un Panel fotovoltaico	7
3.3 Características	8
4 REGULADOR O CONTROLADOR.....	9
5 ACUMULADOR O CONJUNTO DE BATERIAS	10
5.1 tecnologías de acumulación	10
5.2 Conexión.....	11
5.3 Características	12
6 INVERSOR	12
7 CABLEADO	13
8 ESTRUCTURA DE SOPORTE.....	13
9 PROTECCIONES	14
10 PUESTA A TIERRA	15
11 CONDICIONES CLIMATICAS	15
11.1 tipos de radiación.....	16
11.2 Hora solar pico (HSP).....	16
12 DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN	17
12.1 Necesidades energéticas.....	17
12.2 Irradiación y Horas solar pico.....	18
12.3 Inclinação y orientación	20
12.4 Energía real del sistema	20
12.5 Panel fotovoltaico	20
12.6 Regulador fotovoltaico.....	21
12.7 Sistema de baterías.....	21
12.8 Inversor	21
12.9 Estructura de soporte.....	22
12.10 Cableado de la instalación.....	22
12.11 Protecciones de la instalación	22

13 IMPACTO DEL PROYECTO	22
13.1 Impacto económico.....	23
13.2 Impacto ambiental	23
13.3 Impacto social	23
14 SIMULACION PVSYST	24
15 BIBLIOGRAFIA	29

1 INTRODUCCION

1.1 Objeto del proyecto

Este trabajo fin de grado consiste en el estudio normativo, técnico y económico de una instalación fotovoltaica del tipo off-grid, que consiste en una instalación totalmente autónoma sin ningún tipo de conexión a la red eléctrica. Se tiene en cuenta este tipo especial de conexión fotovoltaica debido a que el estudio se va a realizar para una construcción de una escuela en una zona rural de África, donde no es posible la conexión a la red eléctrica.

Para el correcto dimensionamiento de la instalación se llevará a cabo el cálculo de los elementos que componen la instalación: paneles fotovoltaicos, baterías, inversores y reguladores. Así como, el estudio del cableado para una Instalación de Baja Tensión que será el utilizado para interconectar los diversos componentes de esta.

El objetivo principal es comprobar si es factible y rentable, el uso de este tipo de energía para dotar de electricidad a una pequeña escuela sin la necesidad de depender de ningún tipo de aporte externo, de tal manera que esta sea capaz de generar la potencia eléctrica necesaria de manera autosuficiente.

1.2 Ubicación de la instalación

La parcela donde se va a realizar la construcción del colegio y donde se va a emplazar también el campo fotovoltaico que se va a encargarse de proporcionarle la electricidad, se encuentra en la región de Kimpese, situado al oeste de la República Democrática del Congo, África. La parcela del CREREV cuenta con un terreno de 100x75 metros.

Latitud: $-5^{\circ} 32' 59.99''$

Longitud: $14^{\circ} 25' 59.99''$

Elevación: 301 metros sobre el nivel del mar.



Figura 1 Mapa con localización de Kimpese Fuente researchgate.net

2 INSTALACION FOTOVOLTAICA

Las instalaciones solares fotovoltaicas (FV) nos permiten aprovechar la energía generada por la radiación del sol para convertirla en energía eléctrica y así poder utilizarla en nuestros hogares y lugares de trabajo. Los módulos fotovoltaicos serán los encargados de hacer esta conversión de radiación solar en energía eléctrica continua y más tarde el inversor se encargará de convertirla en alterna para nuestro consumo.

2.1 Tipos de instalaciones

Las instalaciones fotovoltaicas se pueden clasificar en dos grupos, según su conexión o no a la red eléctrica, que son instalación fotovoltaica conecta a red (autoconsumo) e instalación fotovoltaica aislada.

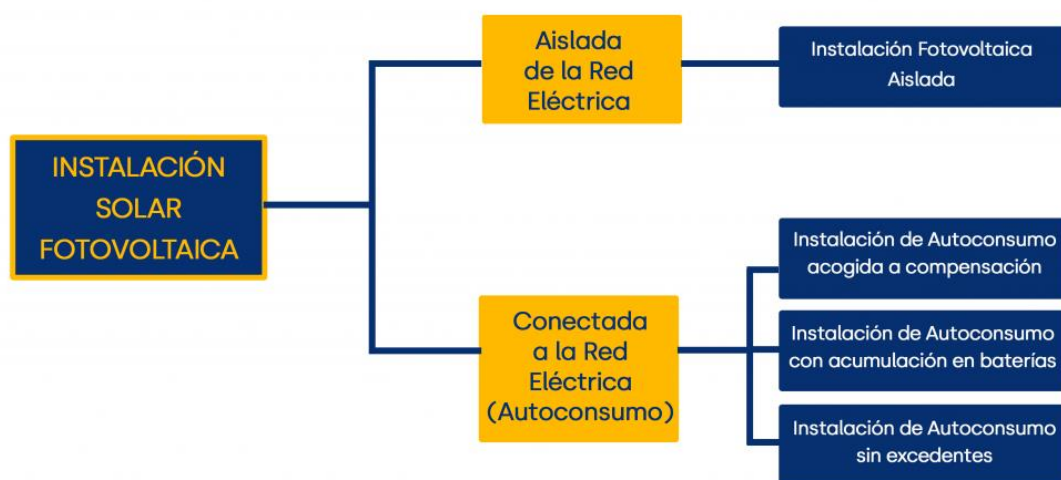


Figura 2 Tipos de instalaciones solares fotovoltaicas Fuente endef.com

Instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a red eléctrica (autoconsumo), este tipo de instalaciones se caracterizan, como su propio nombre indica, por permanecer enganchadas a la red eléctrica. Priorizan el autoconsumo utilizando la energía de la instalación solar mientras pueden contar con ella y cuando no es así, consiguen la energía de la red eléctrica.

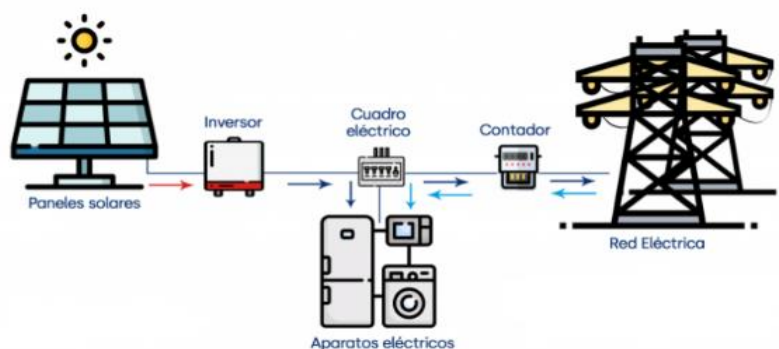


Figura 3 Instalación conectada a red Fuente elblogenergia.com

Instalaciones solares fotovoltaicas aislada, al contrario que todas las anteriores este tipo de instalaciones no se encuentran conectadas a la red eléctrica. La energía eléctrica generada por la instalación se consume en el mismo punto en el que se encuentra la instalación evitándonos la dependencia de la red.

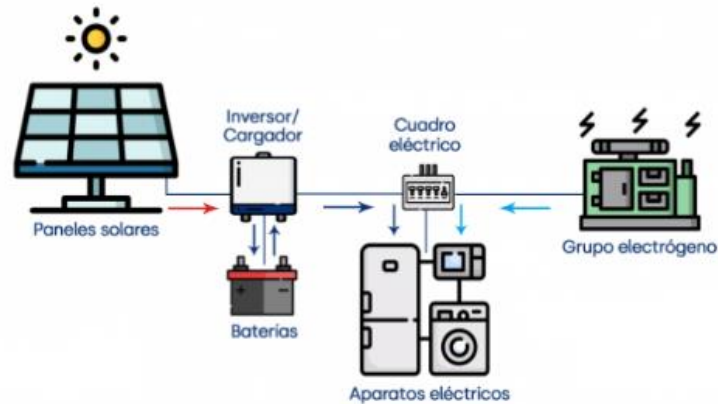


Figura 4 Instalación aislada de la red electrica Fuente elblogenergia.com

2.2 Componentes de la instalación Off-Grid

Una instalación fotovoltaica aislada se compone por un sistema de generación, compuesto por una extensión de paneles solares fotovoltaicos, un grupo acumulador, un controlador de carga y un inversor.

Durante las horas de luz, los paneles fotovoltaicos producen energía eléctrica en forma de corriente continua que es almacenada en las baterías. En los momentos de consumo energético, los acumuladores suministran a las cargas esta electricidad, que a sido transformada en corriente alterna por el inversor.



Figura 5 Componentes instalación off-grid Fuente hgingenieria.com

3 MODULOS FOTOVOLTAICOS

En toda instalación fotovoltaica, los primeros elementos a estudiar son los paneles solares, son los que se encargan de captar la energía producida por la radiación solar, transformando la energía solar fotovoltaica en energía eléctrica.

3.1 Células fotoeléctricas

Pese a que se están estudiando otros materiales como alternativa en la actualidad, los paneles están formados por células de Silicio. De forma general se distinguen tres tipos de paneles solares en función de cómo son sus celdas: monocristalinas, policristalinas y amorfas.

- Células monocristalinas

Se componen de secciones de un único cristal de silicio (Si). Los paneles fabricados con células monocristalinas son las que presentan un mayor rendimiento entre el 16-20% y son más estables a lo largo del tiempo. Sin embargo, también son las más caras, presentan una gran bajada de su rendimiento a altas temperaturas y necesitan un mantenimiento más riguroso.

- Células policristalinas

Elaboradas a partir de obleas formadas por numerosos cristales de silicio, son menos eficientes que las monocristalinas, pero también más baratas. Sus rendimientos oscilan entre el 12- 15%, pero tiene un fruncimiento mejor que las monocristalinas a altas temperaturas.

- Células amorfas

Esta tecnología surgió como resultado de una búsqueda por reducir los costes de fabricación de los módulos con silicio cristalino. Se consigue un espesor de unas 50 veces menor que el monocristalino y coste muy inferior a éste, pero empeora bastante el rendimiento hasta el 6%. Debido a su bajo espesor se pueden conseguir paneles flexibles, así como módulos fotovoltaicos integrados en tejas o vidrios.



Figura 6 tipo células fotoeléctrica Fuente saveenergysolar.com

3.2 Elementos de un Panel fotovoltaico

Para formar un panel o módulo fotovoltaico, las células conectadas unas con otras se dispondrán encapsuladas sobre una estructura soporte, conformando el llamado módulo fotovoltaico.

Los elementos que componen un módulo fotovoltaico son:

- Una cubierta exterior transparente de vidrio templado de unos 3 o 4 mm de espesor, con su cara exterior tratada de modo que mejore el rendimiento cuando la radiación solar ocurre a un bajo ángulo de incidencia.
- Un material de relleno interior, que actúa como encapsulante, hecho a base de vinilo de acetato etileno (EVA), que sirve para recubrir las células fotovoltaicas dentro del módulo, protegiéndolas de la entrada de aire o humedad. Evitando así que se produzca la oxidación del silicio que conforma las células.
- Una cubierta posterior de PVF (fluoruro de polivinilo), que además de actuar como aislante dieléctrico, ofrece una gran resistencia a la resistencia y actúa como barrera frente a la entrada de humedad.
- Las propias células fotoeléctricas, explicadas en el apartado anterior
- Elemento de conexión eléctrica entre células, para establecer el circuito eléctrico.
- Una caja estanca de conexionado, con grado de protección IP65, de donde parte el cableado exterior del módulo para su conexión. En dicha caja se encuentran los diodos de protección cuya misión es la de reducir la posibilidad de pérdida de energía debido a un mal funcionamiento por funcionamiento por sombreados parciales de los paneles y de evitar la rotura del circuito eléctrico a causa de este efecto.
- Un marco estructural que ofrece resistencia mecánica y soporte al conjunto.

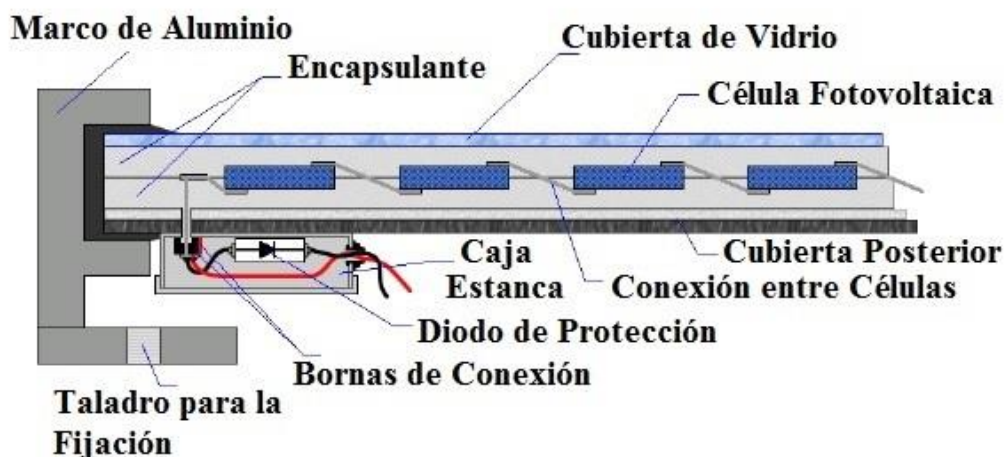


Figura 7 Elementos de un panel Fotovoltaico Fuente ingemecanica.com

3.3 Características

Los paneles fotovoltaicos presentan una serie de características eléctricas, que deben ser proporcionadas por el fabricante para poder evaluarlos:

- Potencia máxima. Característica más importante del panel resultado de multiplicar la tensión máxima o de pico por la máxima intensidad de corriente o de pico.
- Tensión a circuito abierto (V_{oc}). Voltaje máximo que proporciona el panel si no circula intensidad de corriente por sus circuitos.
- Corriente de cortocircuito (I_{sc}). Es la corriente de que circula por el panel cuando cortocircuitamos sus terminales.
- Eficiencia total. Resultado de dividir la potencia eléctrica producida por el panel y la potencia de la radiación incidente sobre el mismo.

Las prestaciones de los módulos que aparecen en la información técnica proporcionada por el fabricante se obtienen sometiendo a los módulos a unas Condiciones Estándar de Medida (CEM) de irradiancia y temperatura, que son:

- Irradiación solar: 1000 W/m^2
- Distribución espectral: AM 1,5 G
- Temperatura de célula: 25°C

No obstante, las condiciones reales de operación de los módulos serán distintas a los estándares, por lo que habrá que aplicar diversos coeficientes correctores para el cálculo. El valor de corriente generado por el módulo crece con la intensidad de radiación solar, sin embargo, la tensión cae conforme la temperatura de las células.

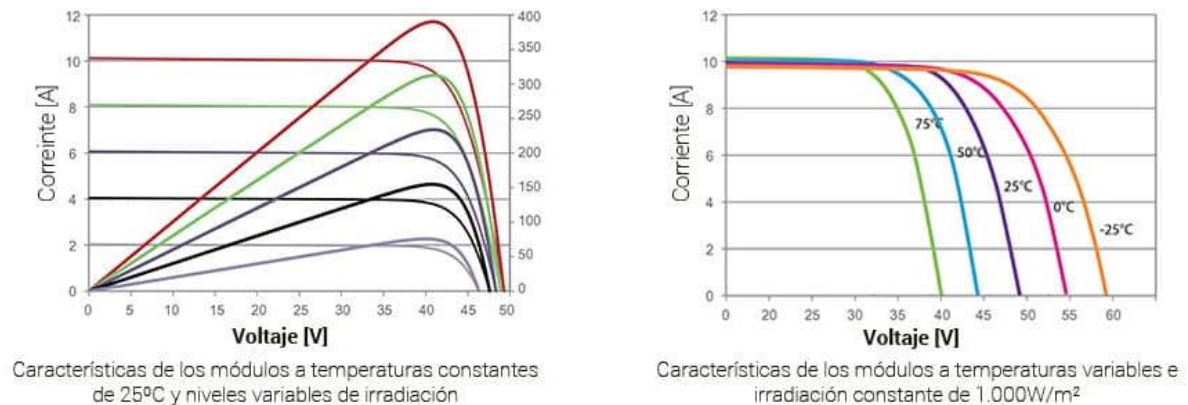


Figura 8 Curva V-I placa solar Fuente autosolar.es

4 REGULADOR O CONTROLADOR

Un regulador de carga solar es el encargado de controlar el flujo energético que circula entre las placas solares y las baterías de la instalación y además evita el flujo inverso. El regulador de carga trabaja en función de la intensidad y voltaje a la que se inyecta energía en las baterías, por lo que se trata de un dispositivo preparado para controlar constantemente el nivel de carga de las baterías y optimizar la vida útil.



Figura 8 Controlador de carga Fuente areatecnologia.com

Tiene las siguientes funciones:

- Control de sobrecargas, desconectando las baterías cuando estas están al máximo de su capacidad.
- Evitar la descarga hacia las placas en horas con baja o nula radiación.
- Control de descarga, evitando sobrepasar la profundidad de descarga máxima.

A la hora de elegir un regulador para nuestra instalación debemos atender a dos parámetros:

- Tensión de funcionamiento: vendrá marcada por la tensión de las baterías, suele ser 12, 24 o 48V.
- Intensidad máxima: valor de la corriente máxima que es capaz de soportar, tanto la que proviene de los paneles como las de las baterías. Si el regulador elegido no soporta la intensidad máxima de la instalación, deberemos buscar uno superior o, si el regulador lo permite, poner dos o más trabajando en paralelo.

Actualmente se pueden distinguir el uso de dos tipos distintos de reguladores en las instalaciones fotovoltaicas, los MPPT (Maximum Power Point Tracking) y los PWM (Pulse Wide Modulation).

Los reguladores MPPT maximizan su corriente a la salida de las baterías. Son capaces de adaptar la entrada fotovoltaica a la tensión de las baterías. Esto lo que permite es hacer funcionar la placa solar en su punto de máxima potencia para así obtener la máxima eficiencia de producción en cada instante:

- Los reguladores MPPT se dimensionan dependiendo de la potencia fotovoltaica y la tensión de las baterías.

- Se averían cuando se sobrepasa la tensión máxima de entrada fotovoltaica.
- Pueden trabajar con paneles de 36 células, 72 células y paneles de conexión a red.

Los reguladores PWM únicamente pueden ser utilizados si la tensión de las placas solares y las baterías es la misma, es decir, si los paneles son de 24V y las baterías también. Si los paneles fueran de 24V y las baterías de 12V la única opción posible sería un regulador de carga MPPT.

- Los reguladores PWM se caracterizan por tener un precio inferior a los reguladores MPPT.
- Se dimensionan dependiendo de la intensidad máxima de las placas y la tensión de las baterías.
- Se averían al sobrepasar su intensidad nominal.
- Solo pueden trabajar con placas de 36 y 72 células, es decir, módulos de 12V y 24V

En el caso que vamos a tratar debido a las características de las placas fotovoltaicas que tenemos, nuestra instalación hará uso de un regulador del tipo MPPT.

5 ACUMULADOR O CONJUNTO DE BATERIAS

Las baterías o acumuladores solares, se usan para almacenar la energía eléctrica generada por los generadores fotovoltaicos, con el fin de disponer de esta durante periodos sin luz solar y especialmente durante la noche. También puede desempeñar otras funciones, como inyectar picos de corrientes durante el arranque de motores.

5.1 tecnologías de acumulación

Existen diversas tecnologías de acumuladores electroquímicos recargables.

- Monoblock: las más simples y económicas. Para pequeñas instalaciones, con consumos pequeños y esporádicos, tienen una buena relación calidad-precio y una vida útil de 3-5 años
- Baterías AGM: Se caracterizan por necesitar un escaso mantenimiento, pero tienen la desventaja de presentar un menor ciclo de uso que los demás tipos, por lo que no es aconsejable su uso para instalaciones de usos diario. Vida útil de 8-10 años
- Baterías estacionarias: Son las que presentan una vida útil más larga, unos 20 años, al mismo tiempo que necesitan un mantenimiento mínimo, haciendo que sean las idóneas para instalaciones con consumo diario durante largos periodos de tiempo, siendo su único contrapunto su precio. Están compuestas por acumulación de vasos, de 2V cada vaso.
- Baterías de litio: Presentan el tiempo de carga más rápido, son más pequeñas que el resto y pueden realizar descargas totales sin dañar las

baterías. El principal problema de este tipo de baterías recae sobre su elevado precio y su corta vida útil solo 3 años.

En la siguiente tabla se encuentra recogido las principales características de las diversas tecnologías.

Tipos de baterías							
Tecnología	MONOBLOC			ESTACIONARIAS			
	Plomo ácido Plomo	AGM / GEL Plomo	Litio Litio	OPZS / TOPZS Plomo	OPZV Plomo	AGM / Gel Plomo	Litio Litio
Vida útil	4-5 años	5-8 años	Más de 10 años	12-15 años	12-15 años	5-8 años	Más de 10 años
Tipo de Instalación	Muy bajo consumo	Pequeñas instalaciones con poco consumo o sistemas móviles	Pequeñas instalaciones con consumos bajos o medios con necesidad de corrientes elevadas	Grandes instalaciones aisladas (granjas, 1ª vivienda...). Descarga de energía constante.	Grandes instalaciones aisladas (pueden tumbadas). Descarga de energía constante.	Instalaciones de tamaño medio con descarga de energía constante. Adecuadas para lugares con vibración	Instalaciones de cualquier tamaño. Con altos requerimientos de carga/descarga. Además, se pueden hacer más de 1 ciclo de carga diario
Profundidad de descarga máxima	No debería sobrepasar el 50-60 %	No debería sobrepasar el 50-60 %	95-100%	No debería sobrepasar el 50-60 %	No debería sobrepasar el 50-60 %	No debería sobrepasar el 50-60 %	95-100%
Requerimientos de instalación	Sencillos	Sencillos	Temperaturas no extremas	Se debe prestar atención a la ventilación	Sencillos	Sencillos	Temperaturas no extremas
Mantenimiento	Mínimo	Mínimo	1 vez al año	Entre 2-6 meses	Entre 2-6 meses	Mínimo	1 vez al año
Ampliación con otros modelos	X	X	Posible	X	X	X	Posible
Buen soporte de arranque	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Impacto medioambiental	Alto	Alto	Moderado - Bajo	Alto	Alto	Alto	Moderado - Bajo

Tabla 1 Tipos de baterías Fuente energías-renovables.com

5.2 Conexión

Para instalaciones aisladas que funcionan diariamente, las baterías más usadas son las estacionarias. Al estar formadas por vasos de 2 V será necesario realizar varias conexiones en serie y en paralelo para conseguir la tensión y la capacidad necesarias para la instalación.

Una conexión en serie consiste en unir el polo positivo de una batería con el negativo de la siguiente y así sucesivamente.

CONEXIÓN DE BATERÍAS EN SERIE

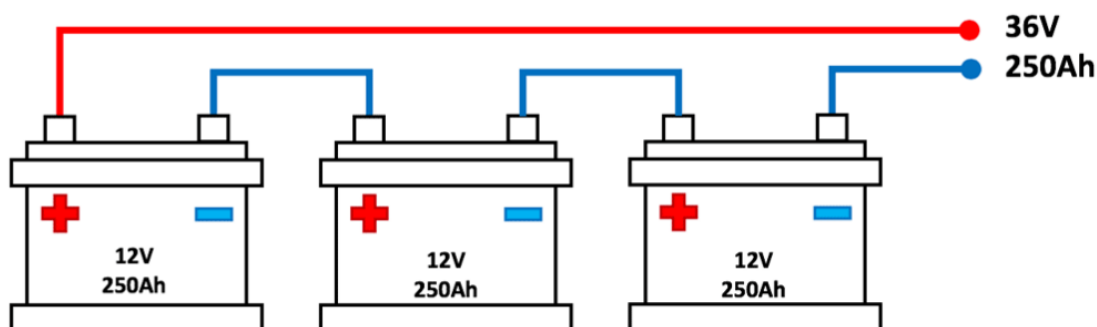


Figura 9 conexión baterías en serie Fuente monsolar.com

Con este tipo de conexión conseguimos sumar las tensiones mientras que la capacidad se mantiene.

En una conexión en paralelo se unen todos los positivos de la batería por un lado y todos los negativos por otro

CONEXIÓN DE BATERÍAS EN PARALELO

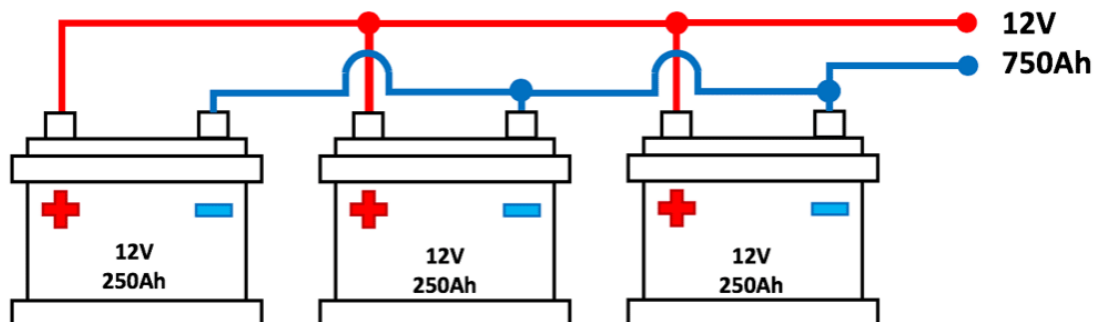


Figura 10 conexión baterías en paralelo Fuente monsolar.com

Con este tipo de conexión conseguimos sumar la capacidad de las baterías mientras se mantiene la tensión, justo lo inverso a lo que ocurría antes.

5.3 Características

Al conjunto de baterías se le suele llamar sistema acumulador. Las principales características del acumulador son:

- Capacidad nominal, C (Ah): es la cantidad de carga eléctrica que es posible extraer de una batería en un número determinado de horas, medido a la temperatura de 20°C.
- Régimen de carga (o descarga): es un parámetro que relaciona la capacidad nominal de la batería y el valor de la corriente a la cual se realiza la carga (o descarga). Se expresa en horas, y se representa como un subíndice en el símbolo de la capacidad.
- Profundidad de descarga (PD o DOD): es el cociente entre la carga extraída de la batería y su capacidad nominal, expresada en %.
- Capacidad útil: es la capacidad disponible de la batería y se define como el producto de la profundidad máxima de descarga por la capacidad nominal.

6 INVERSOR

El convertidor de corriente DC/AC, también denominado inversor, es el dispositivo electrónico de potencia encargado de convertir la corriente continua (DC) proveniente de los generadores fotovoltaicos en corriente alterna (AC) para consumo en la instalación.

Los inversores vienen determinados por la tensión de entrada desde las baterías, la potencia máxima que proporciona y su rendimiento de potencia, definido como la relación entre la potencia eléctrica que le inversor entrega para su uso (potencia de salida) y la potencia eléctrica que absorbe del sistema de baterías o de los generadores fotovoltaicos (potencia de entrada).



Figura 11 Inversor Fuente Datasheet voltronic Axpert

7 CABLEADO

El transporte de energía eléctrica entre los distintos elementos que conforman nuestro sistema de generación fotovoltaico, y entre este y las cargas se realiza mediante líneas eléctricas. Para dimensionar los distintos tramos de cable que conformarán nuestra instalación, tanto su sección como el material y tipo de aislamiento, se deben tener en cuenta:

- La intensidad máxima admisible por el conductor en régimen permanente, es decir, la corriente que puede circular por el conductor sin que este alcance una temperatura que afecte a sus propiedades o deteriore su aislamiento
- Intensidad máxima admisible por los conductores en caso de cortocircuito, en caso de producirse un cortocircuito los conductores deberán ser capaces de soportar la corriente de falta hasta que los dispositivos de protección actúen.
- Caída de tensión máxima admisible: La caída de tensión que se produce en cada conductor depende sobre todo de la longitud de este y del receptor al que esté alimentando.

8 ESTRUCTURA DE SOPORTE

Los módulos fotovoltaicos irán colocados sobre unas estructuras metálicas. Mediante estas estructuras se define la orientación e inclinación de los módulos fotovoltaicos. En el mercado podemos encontrar una gran variedad de estructuras, tanto de inclinación fija (para distintos ángulos), como de inclinación variable en función de la estación e incluso motorizadas con un dispositivo de orientación mediante seguimiento solar incorporado.

También hay distintos modelos en función de la ubicación que se quiera dar a la instalación fotovoltaica, en la cubierta de un edificio (ya sea esta plana o inclinada), en superficies planas...

A la hora de definir la ubicación de las estructuras y los módulos fotovoltaicos hay que tener en cuenta los posibles obstáculos que puedan provocar pérdidas por sombras. Así mismo cuando los módulos se disponen en varias filas, hay

que calcular la distancia mínima entre estas para asegurar que no se afecten entre ellas, es decir, que las filas delanteras no produzcan sombras sobre los módulos de las filas traseras.



Figura 12 Estructuras para placas fotovoltaica Fuente solenersa.com

9 PROTECCIONES

Las protecciones de la instalación vendrán definidas por la corriente que haya en esa parte de la instalación; corriente continua o corriente alterna. En cuanto a las protecciones de corriente alterna distinguimos dos:

- Un interruptor magnetotérmico con intensidad de cortocircuito superior a la establecida en el punto de conexión. Este interruptor debe ser accesible en todo momento, con objeto de poder realizar la desconexión manual en un momento determinad.
- Un interruptor automático diferencial, con el fin de proteger a las personas en el caso de derivación de algún elemento de la instalación.

Por otro lado, tenemos las protecciones de corriente continua:

- Existirán bastidores entre positivo y tierra y negativo y tierra para el generador fotovoltaico, contra sobreintensidades inducidas por descargas atmosféricas.
- Un fusible con función seccionadora siempre y cuando exista una sobreintensidad.

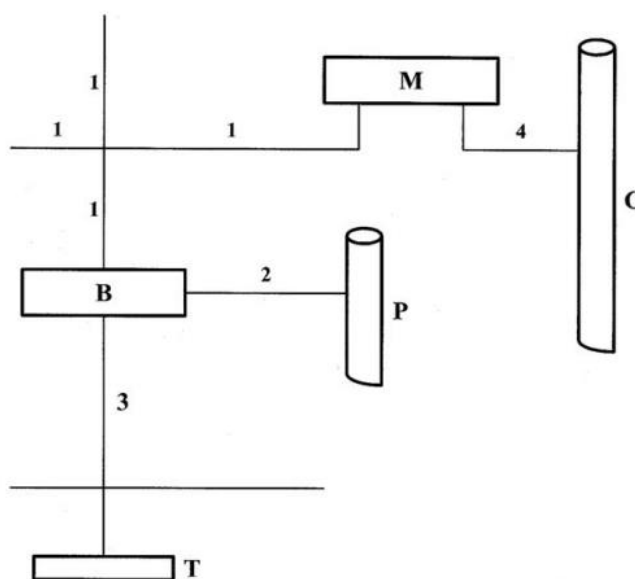


Figura 13 Magnetotérmico Fuente efectoled.es

10 PUESTA A TIERRA

La puesta a tierra consiste en unir todas las masas metálicas, que componen el sistema fotovoltaico, con tierra. De esta manera se protege la instalación contra tormentas y contra la acumulación de cargas electrostáticas.

Para que la puesta a tierra en las instalaciones fotovoltaicas sea eficaz se deben unir todos los marcos entre sí, y estos a la estructura. En estos casos la protección se a efectuar por medio de picas unidas entre sí por un conductor desnudo ininterrumpido. En el caso de los sistemas aislados y según el REBT Todas las instalaciones con tensiones nominales superiores a 48 voltios contarán con una toma de tierra a la que estará conectada, como mínimo, la estructura soporte del generador y los marcos metálicos de los módulos.



Leyenda

- 1 Conductor de protección.
- 2 Conductor de unión equipotencial principal.
- 3 Conductor de tierra o línea de enlace con el electrodo de puesta a tierra.
- 4 Conductor de equipotencialidad suplementaria.
- B Borne principal de tierra, o punto de puesta a tierra
- M Masa.
- C Elemento conductor.
- P Canalización metálica principal de agua.
- T Toma de tierra.

Figurara 14 Puesta a tierra fuente ITC-BT-18

11 CONDICIONES CLIMATICAS

En este apartado se van a comentar los factores climatológicos que afectan al estudio de las instalaciones fotovoltaicas. Algunos términos importantes son:

- Radiación solar: Es la energía proveniente del sol en forma de ondas electromagnéticas.
- Irrradiación: Es la energía incidente en una superficie, por unidad de superficie y de tiempo. Su unidad es KWh/m² o MJ/m².

11.1 tipos de radiación

La energía solar que incide sobre la superficie de nuestro planeta se manifiesta de las siguientes maneras:

- Radiación solar directa: La que llega a una superficie sin haber sufrido dispersión en su trayectoria a través de la atmósfera. Esto ocurre cuando el sol es totalmente visible.
- Radiación solar difusa: La que llega a una superficie después de sufrir múltiples desviaciones en su trayectoria al atravesar la atmósfera, o después de ser reflejada en múltiples direcciones por las superficies donde previamente haya incidido.
- Radiación de albedo o reflejada: es aquella que proviene “rebotada” de la superficie terrestre. La cantidad de este tipo de radiación depende del llamado coeficiente de reflexión de la superficie o “albedo”. Son únicamente las superficies verticales (perpendiculares a la superficie terrestre) las que reciben esta radiación.
- Radiación global: es el conjunto de todas las radiaciones directas y difusa.

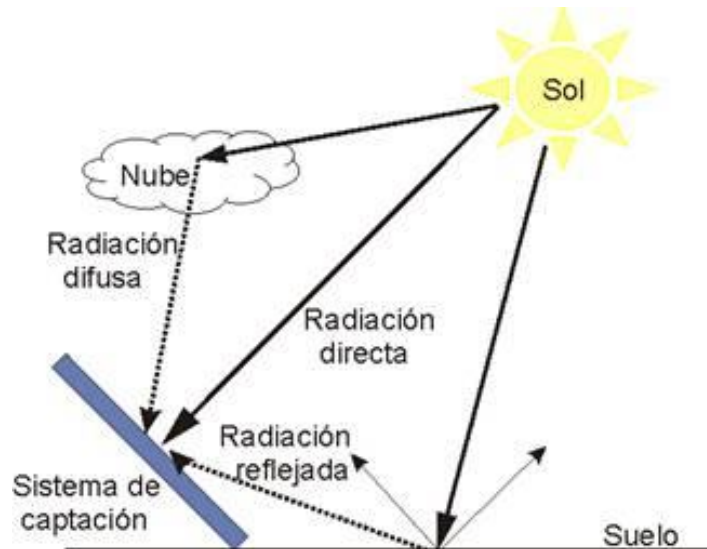


Figura 15 radiación solar Fuente sfe-solar.com

11.2 Hora solar pico (HSP)

La Hora solar pico (HSP) es la energía que recibimos en horas por m^2 , y esta energía no es la misma depende de la localización (cuanto más cerca del ecuador mayor será) y de la época del año.

La HSP, se puede definir como el número de horas en que disponemos de una hipotética radiación solar constante de 1000 W/m^2 . Es una forma de contabilizar la energía recibida del sol agrupándola en paquetes, siendo cada uno de estos paquetes de 1 hora y recibiendo 1000 W/m^2 . Por ello que este valor coincide con el de la irradiación global diaria que se a obtenido en la tabla que nos proporciona PVsyst.

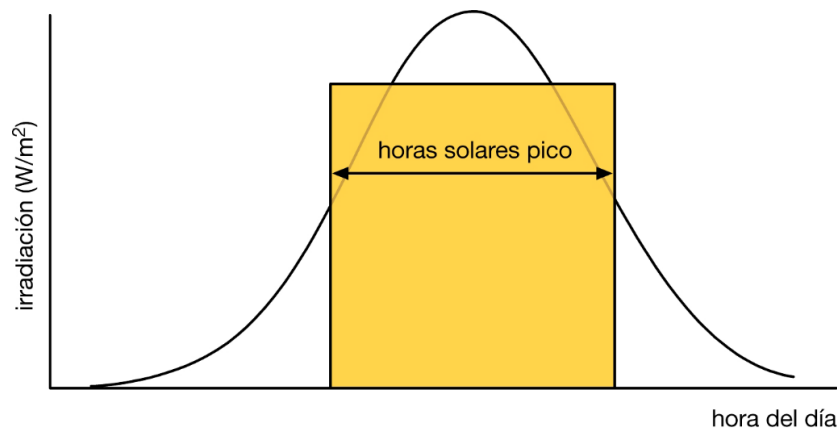


Figura 16 Hora solar pico Fuente certificacionenergetica.info

12 DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

En este apartado se comentan todo lo relacionado con las necesidades y elementos seleccionados para el correcto funcionamiento de la planta fotovoltaica que será instalada en el colegio.

La instalación será del tipo aislada, una instalación de generación eléctrica sin necesidad de conexión a la red eléctrica. Especialmente útil como en caso como en el que aquí tratamos una zona rural donde no llega la red eléctrica o es muy deficiente.

A consecuencia de no siempre coincide la necesidad energética con la producción eléctrica, hacen falta unas baterías que almacenan la energía generada por los módulos y no se consume en ese momento, como por ejemplo durante la noche o cuando la potencia consumida es mayor que la generada en ese instante.

12.1 Necesidades energéticas

Para el correcto funcionamiento de la instalación fotovoltaica es necesaria realizar una previsión del consumo energético que requiere la instalación, para elegir los componentes adecuados.

El consumo energético no siempre será el mismo en la instalación, pero al ser un centro que va a funcionar los 365 días del año, se ha hecho una previsión del consumo medio diario. Para lo que se a cuantifica la potencia de los equipos instalados en el colegio y sus horas de funcionamiento. Los cuales has sido contrastados con la organizadora de la fundación del Crerev.

ELEMENTOS DE LA INSTALACION				
Elemento	Unidades	Potencia	Horas	energía diaria (Wh)
minicamara frigorifica 11m3	1			4800
picadora de carne	1	800	0,5	400
licuadora	1	900	0,5	450
batidora	1	1200	0,5	600
horno de pan	1	2000	1	2000
incubadora de huevo	1	80	24	1920
televisor	1	150	4	600
ordenador	2	200	3	1200
impresora	1	30	0,5	15
camara de vigilancia	4	10	10	400
molino de grano	1	2000	0,25	500
luces interiores	9	18	8	1296
luces exteriores	12	30	8	2880
otros				500

Consumo total	17561
---------------	-------

Tabla 2 Consumo estimados de la instalación

Este es el valor estimado para un día normal de consumo, que se a dividido en los consumos por hora a lo largo del día en el siguiente gráfico.

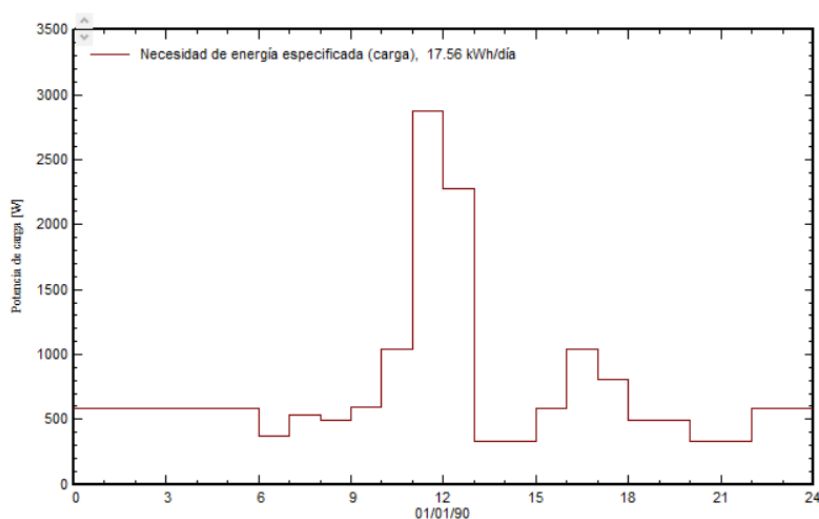


Tabla 3 Grafico consumo estimados por horas Fuente programa PVsyst

12.2 Irradiación y Horas solar pico

Para la obtención de la irradiación diaria en los diversos meses del año en la localidad de Kimpese, se ha hecho uso del software de cálculo para instalaciones fotovoltaicas PVsyst, que obtiene sus valores de una base de datos meteorológica.

	Irradiación horizontal global kWh/m ² /día	Irradiación difusa horizontal kWh/m ² /día	Temperatura °C	Velocidad del viento m/s	Turbidez Linke [-]	Humedad relativa %
Enero	5.47	2.83	26.3	1.79	4.461	79.4
Febrero	5.39	2.79	26.6	2.00	4.892	78.4
Marzo	5.71	2.65	27.1	2.00	4.310	76.6
Abril	5.54	2.32	26.5	1.89	3.703	79.8
Mayo	4.73	2.33	26.3	1.90	4.523	79.6
Junio	4.48	2.31	24.0	2.00	5.159	79.6
Julio	4.60	2.27	23.4	2.20	5.862	75.0
Agosto	4.60	2.64	24.1	2.50	6.883	71.1
Septiembre	4.70	2.74	25.1	2.60	6.092	72.4
Octubre	4.75	2.62	26.1	2.30	4.394	75.5
Noviembre	5.45	2.73	25.7	1.99	3.647	81.1
Diciembre	5.04	2.37	26.0	1.79	4.102	81.2
Año	5.04	2.55	25.6	2.1	4.836	77.5

Irradiación horizontal global variabilidad año a año 4.1%

Tabla 4 Datos meteorológicos Kimpese Fuente programa PVsyst

De todos los valores que nos ofrece la tabla de datos que nos proporciona el programa, el de mayor interés es la irradiación horizontal global, que contiene el conjunto de valores de las radiaciones solares difusa y directa, en KWh/m²/día.

Se observa que el valor más alto de radiación global se da en marzo 5.71 y el menor 4.48 se produce en el mes de junio. La variación de irradiación de un mes a otro no es muy alta esto se debe a que la localidad de Kimpese está localizada muy cerca de la línea del ecuador, por lo que la trayectoria solar se mantiene sin apenas variaciones a lo largo del año.

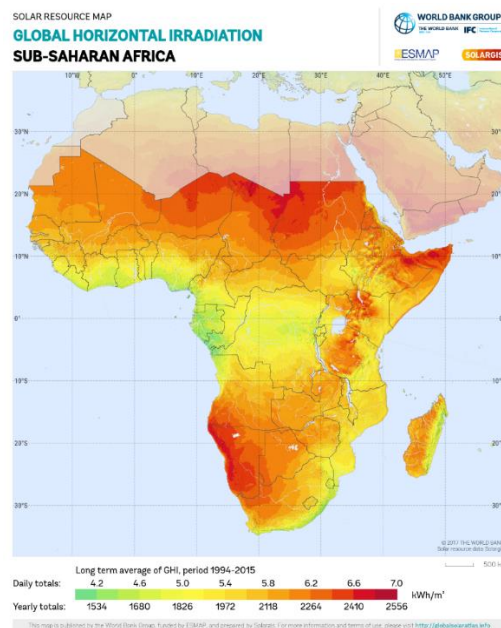


Figura 17 hora solar pico africa Fuente solargis.com

12.3 Inclinación y orientación

La inclinación y orientación de los módulos es un punto fundamental para un buen aprovechamiento de la energía solar. Nuestra instalación sea del tipo fija, por lo debemos escoger un ángulo óptimo para maximizar la producción, pero sin perjudicar al mes más desfavorable, junio en nuestro caso.

Según la latitud donde se sitúa nuestra instalación las placas deben poseer un azimut de 180° , es decir las placas se encontrarán orientadas al norte. Para la selección del ángulo de inclinación óptimo como se comenta en el anexo de cálculo al no ser recomendable tomar una inclinación inferior a 15° se tomará este valor.

12.4 Energía real del sistema

El conjunto de los paneles fotovoltaicos no se puede dimensionar únicamente con los datos del consumo, hay que tener en cuenta las pérdidas que se generan en la instalación para un correcto funcionamiento.

Los cálculos de estas pérdidas se han calculado usando valores estándar como se a descrito en el anexo de cálculo. Dando como resultado un consumo real de 23925 (Kh/día).

12.5 Panel fotovoltaico

Los paneles fotovoltaicos usado en esta instalación han sido suministrados con anterioridad por lo que se a intentado, ajustar la instalación para el uso de estos paneles.

La instalación se compone de 24 módulos tipo JC255M-24/Bb de la marca Renesola,

Panel solar policristalino 255W de Resenosla	
Potencia nominal (W)	255
Eficiencia del modulo (%)	15,7
Corriente punto maximo, I_{mp} (A)	8,39
Tension maxima potencia, V_{mp} (V)	30,4
Corriente de cortocircuito (A)	8,86
Tension circuito abierto (V)	37,5

Tabla 5 Características panel fotovoltaico

La configuración de los paneles se hace de forma conjunta al regulador de carga que se ha seleccionado. Dando como resultado una configuración de una hilera compuesta por 4 ramas en paralelo cada una de 6 módulos en serie. El regulador seleccionado tiene además la ventaja de que no trabaja a su máxima carga por lo que puede aumentarse el numero de módulos conexionado en un futuro.

12.6 Regulador fotovoltaico

El regulador usado es del tipo MPPT que es el encargado de controlar el flujo energético que circula entre las placas solares y las baterías de la instalación y además evita el flujo inverso. Los reguladores MPPT son mas eficientes al extraer la máxima potencia de los paneles.

En el anexo de calculo se encuentra el calculo de las condiciones que debe cumplir, así como las comprobaciones para un correcto funcionamiento

La instalación estará compuesta por un regulador SmartSolar 250/100 de la marca Victron.

Controlador de carga SmartSolar	
Tension nominal (V)	48
Corriente carga nominal (A)	100
Potencia nominal (W)	5800
Corriente de cortocircuito (A)	70
Tensión circuito abierto (V)	245
Eficacia máxima (%)	99

Tabla 6 Características del Regulador fotovoltaico

12.7 Sistema de baterías

El sistema de baterías es el punto fundamental de las instalaciones aisladas ya que permite el uso de la energía eléctrica, cuando no hay radiación solar.

Nuestro sistema de acumulación esta compuesto por 24 baterías estacionarios del modelo 2V 12 RES OPzV 2120 de la marca Sunlight, se a elegido este tipo de baterías por su larga vida útil, y su fácil manteniendo.

Para su elección se han tenido en cuenta varios factores como son los días de autonomía, 3 días según el pliego de condiciones IDEA, y la profundidad de descarga.

Los cálculos necesarios para la elección de baterías se encuentran en el anexo de cálculo.

12.8 Inversor

El convertidor de corriente DC/AC, también denominado inversor, es el dispositivo electrónico de potencia encargado de convertir la corriente continua (DC) proveniente de los generadores fotovoltaicos en corriente alterna (AC) para consumo en la instalación.

Según lo especificado en el anexo de cálculo, se ha optado por el inversor Axpert VM III 5000/48.

12.9 Estructura de soporte

La estructura de soporte es de la marca Vico, y esta pensada para ser montada tanto en el suelo como en la cubierta del edificio. Los paneles se conectarán en una hilera de 6 módulos en serie por cada rama de las 4 en paralelo.

En el proyecto no se ha tenido en cuenta el efecto de sombras externas por que los paneles se situaran encima del edificio y no hay alrededor ningún árbol o edificio que genere ninguna sombra que afecte a nuestro sistema.

Se a calculado la distancia mínima de separación entre panees para que no produzcan sombras, esta es 1.83m, y el espacio que ocupara el conjunto.

12.10 Cableado de la instalación

El calculo de el cableado se encuentra explicado en el anexo de cálculo.

Es importante calcular la sección del cable correcta, ya que, si la intensidad máxima que circula es superior a la admisible, puede reducir la vida útil del cableado y incluso generar un incendio.

Para los cálculos de cableado se han supuestos cables de cobre, con aislamiento XLPE. Para un correcto dimensionamiento de la instalación se ha subdivido el cableado de la instalación en diferentes subtramos.

- Tramo 1 Paneles fotovoltaico a caja de conexión
- Tramo 2 Caja de conexión al regulador
- Tramo 3 Regulador a baterías
- Tramo 4 Baterías al inversor
- Tramo 5 Inversor al cuadro de corriente alterna

Para el calculo del cableado se a seguido el criterio de máxima caída de tensión permitida.

12.11 Protecciones de la instalación

Las protecciones de nuestro sistema fotovoltaico se realizarán mediante fusibles, que permiten abrir el circuito en caso de sobrepasar los valores de intensidad calculados, evitando daños a los equipos y cableado.

También se dispondrá de un sistema de puesta a tierra mediante pica al que se conectara la estructura de soporte de los marcos metálicos de los paneles.

13 IMPACTO DEL PROYECTO

Cualquier proyecto realizado tendrá impactos positivos y negativos, en mayor o menor medida, dependiendo de su desarrollo y el entorno de realización de este. Para evaluar los impactos del proyecto presente de manera efectiva, se realizará un estudio más profundo acerca de impactos medioambientales, sociales y económicos.

13.1 Impacto económico

Los impactos económicos fundamentales para destacar de la instalación FV son los relacionados con la autonomía eléctrica que esta les confiere.

La liberación de dependencia eléctrica en un país que por la falta de infraestructura, está sometido a continuos cortes de eléctricos, o incluso en la que no llega está a ciertas regiones. Por ello, uno de los impactos más importante es la modificación de la estructura vertical jerárquica que existe en la sociedad, contribuyendo a la horizontalidad de esta.

Otro de los aspectos cruciales que implica la instalación está relacionado con el ámbito laboral. La contratación del personal de Kimpese, promoviendo y enriqueciendo la economía local y apoyando a la creación de empleo. Como queda patente en la distribución de la energía que producirá la planta, que aparte de para el colegio también servirá para para la instalación de cámaras frigoríficas donde guardar la cosecha, y para antiguos proyectos de la organización del Crerev como la conserva y venta de comestibles.

13.2 Impacto ambiental

Los beneficios medioambientales de una instalación fotovoltaica como ésta son múltiples:

- Es una energía limpia, que no produce CO₂ ni ningún otro gas residual. Contribuye a la descarbonización del sector eléctrico.
- El impacto ambiental de la instalación es inapreciable, ya que ocupa un espacio vacío en un tejado, algo con nulo valor para la fauna y flora autóctona.
- A diferencia incluso de otras renovables, es un método de generación silencioso y poco invasivo en el hábitat local.

13.3 Impacto social

Es fundamental, al tratarse de un proyecto humanitario, tener presente todos los impactos sociales que pueden aparecer. De esta manera, una de las características que se ha intentado respetar durante toda la realización del trabajo es la importancia del marco social y cultural, por que limitar cualquier proyecto ingenieril al ámbito técnico exclusivamente supondría el fracaso de este. Por ello se ha prestado especial atención a la integración de la comunidad de Kimpese para la instalación y control de la instalación.

A continuación, se llevará a cabo una breve descripción de los posibles efectos que producirá en la sociedad, la llegada de este tipo de tecnología a una comunidad rural como es Kimpese. Los cambios que conlleva entran dentro del ámbito social y cultural y de cómo se desarrollará la comunidad.

Uno de los impactos fundamentales es el cambio de ritmo de vida cotidiana. Dotar a una escuela de iluminación y comunicación. De esta manera, también se reduce el aislamiento de la población, gracias al acceso a los medios de comunicación como pueden ser televisiones, internet, etc.

La distribución vertical jerárquica de la economía. La no dependencia del acceso a la energía puede contribuir al cambio por una sociedad más

horizontal.

Por último, uno de los impactos más importantes o, quizá el que más, es la capacidad de autogestión de la energía. Una vez realizado todo el proyecto, y a lo largo de la puesta en marcha y mantenimiento, cambia radialmente la posición de la comunidad respecto a lo anterior.

La iluminación de las calles por las noches gracias al sistema fotovoltaico con baterías, que permite iluminar cuando no hay luz solar, es un punto muy importante en esta región que durante la noche se vuelve bastante insegura, pero este se verá drásticamente reducido en vías que cuentan con iluminación. Lo que asegura una menor tasa de criminalidad en la zona, haciendo principal hincapié en la protección de las mujeres que son las que sufren el mayor número de asaltos.

14 SIMULACION PVSYST

Para comprobar el correcto funcionamiento y la elección de componentes de la instalación fotovoltaica se ha simulado la instalación a proyectar con el programa de simulación Pvsyst.

Project summary			
Geographical Site		Situation	
Kimpese		Latitude -5.57 °S	
Congo		Longitude 14.42 °E	
		Altitude 321 m	
		Time zone UTC+1	
Meteo data			
Kimpese			
Meteonorm 8.0 (1986-2005), Sat=100% - Sintético			
System summary			
Stand alone system		Stand alone system with batteries	
PV Field Orientation		User's needs	
Fixed plane		Daily profile	
Tilt/Azimuth		Constant over the year	
15 / -180 °		Average	
		17.6 kWh/Day	
System information		Battery pack	
PV Array		Technology	
Nb. of modules		Lead-acid, sealed, Gel	
Pnom total		Nb. of units	
		24 units	
		Voltage	
		48 V	
		Capacity	
		1680 Ah	
Results summary			
Available Energy		8870 kWh/year	
Used Energy		6410 kWh/year	
		Specific production	
		1449 kWh/kWp/year	
		Perf. Ratio PR	
		59.10 %	
		Solar Fraction SF	
		100.00 %	

En este sumario se resume los datos de localización de la posición geográfica de la instalación, y la fuente meteorológica que usa el programa para obtener los datos ambientales anuales necesario, como son la irradiación o las horas solares pico.

Se establece la inclinación de 15° de los módulos y su orientación hacia el norte, así como la necesidad energética que debe proporcionar la instalación que son 17600 W/día.

PV Array Characteristics			
PV module		Battery	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	JC255M-24/Bb	Model	2V 12 RES OPzV 2120
(Original PVsyst database)		Technology	Lead-acid, sealed, Gel
Unit Nom. Power	255 Wp	Nb. of units	24 in series
Number of PV modules	24 units	Discharging min. SOC	20.0 %
Nominal (STC)	6.12 kWp	Stored energy	64.5 kWh
Modules	4 Strings x 6 in series	Battery Pack Characteristics	
At operating cond. (50°C)		Voltage	48 V
Pmpp	5.51 kWp	Nominal Capacity	1680 Ah (C10)
U mpp	165 V	Temperature	External ambient temperature
I mpp	33 A	Battery Management control	
Controller		Threshold commands as	Battery voltage
Manufacturer	Generic	Charging	57.3 / 50.1 V
Model	SmartSolar MPPT 250/100 48V	Corresp. SOC	0.95 / 0.75
Technology	MPPT converter	Discharging	46.8 / 48.9 V
Temp coeff.	-2.7 mV/°C/Elem.	Corresp. SOC	0.18 / 0.45
Converter			
Maxi and EURO efficiencies	99.0 / 97.0 %		
Total PV power			
Nominal (STC)	6 kWp		
Total	24 modules		
Module area	39.0 m²		
Cell area	35.0 m²		

El sistema está compuesto por 24 módulos fotovoltaicos distribuidos en 4 cadenas de 6 módulos en serie cada una, estos módulos de 255 Watios de la marca Renesola ofrecen una potencia nominal en conjunto de 6,12Kwp. Este sistema se colocará sobre el techo de la escuela ocupando un espacio de 39m².

Para el grupo de baterías se ha optado por las baterías del tipo OPzV, por presentar una gran vida útil y no necesitar apenas mantenimiento, el grupo de acumulación se compondrá de 24 baterías colocadas en serie para proporcionar los 48 Voltios que necesita la instalación, y de 2100 Ah(C72) al suponerse una autonomía de tres días para instalación.

El regulador usado será del tipo MPPT que permite hacer funcionar las placas solares en su punto de máxima potencia obteniéndose así la máxima eficiencia de producción en cada momento, al adapta la entrada fotovoltaica a la tensión de las baterías.

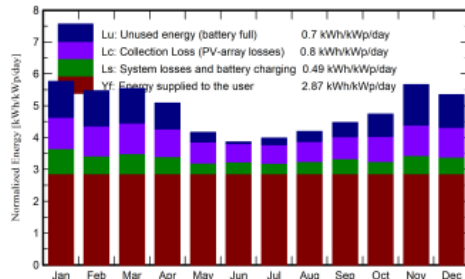
Main results

System Production

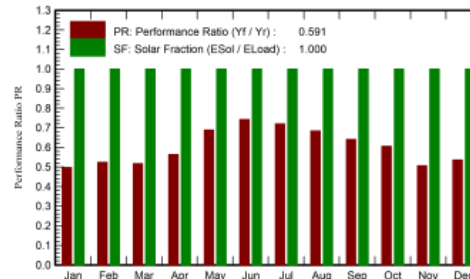
Available Energy	8889 kWh/year
Used Energy	6410 kWh/year
Excess (unused)	1567 kWh/year
Loss of Load	
Time Fraction	0.0 %
Missing Energy	0 kWh/year

Specific production	1452 kWh/kWp/year
Performance Ratio PR	59.10 %
Solar Fraction SF	100.00 %
Battery aging (State of Wear)	
Cycles SOW	96.3 %
Static SOW	94.0 %
Battery lifetime	16.7 years

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR

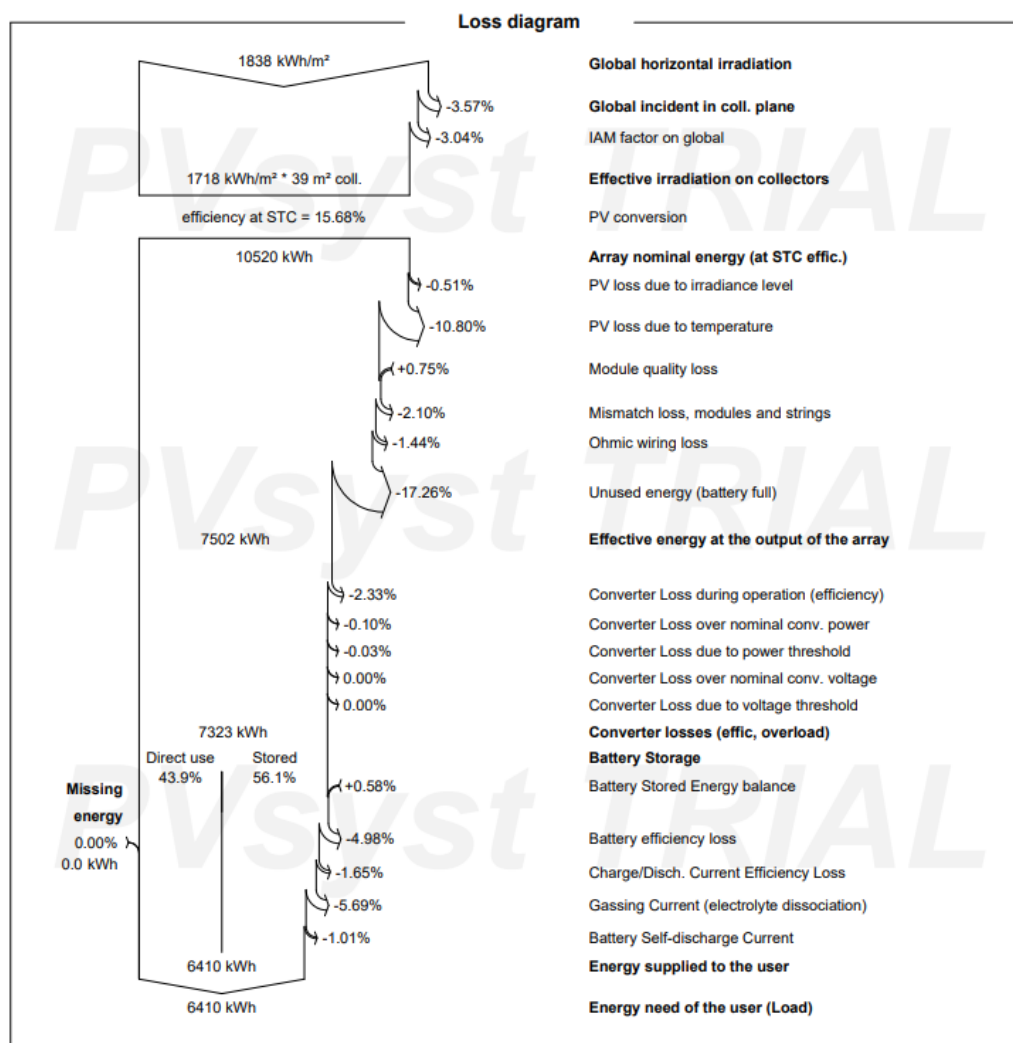


Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	169.6	174.4	891.7	213.5	0.000	544.4	544.4	1.000
February	150.9	149.7	762.4	189.7	0.000	491.7	491.7	1.000
March	177.0	167.1	853.3	205.3	0.000	544.4	544.4	1.000
April	166.2	147.6	759.1	149.4	0.000	526.8	526.8	1.000
May	146.6	124.0	648.6	56.3	0.000	544.4	544.4	1.000
June	134.5	110.8	590.4	9.3	0.000	526.8	526.8	1.000
July	142.7	118.4	631.1	39.0	0.000	544.4	544.4	1.000
August	142.6	125.4	662.0	59.1	0.000	544.4	544.4	1.000
September	141.1	130.2	680.6	82.2	0.000	526.8	526.8	1.000
October	147.2	143.0	736.0	133.3	0.000	544.4	544.4	1.000
November	163.4	165.9	851.4	233.7	0.000	526.8	526.8	1.000
December	156.2	161.9	822.6	195.9	0.000	544.4	544.4	1.000
Year	1837.9	1718.3	8889.2	1566.7	0.000	6409.8	6409.8	1.000

El sistema genera a lo largo del año un total de 8889.2 kWh de los que serán usados 6409.8 para abastecer la instalación, como se observa hay meses en los que se desprecia mucha energía sin ser utilizada, esto se debe a que el estudio sobre la instalación aislada, al ser la energía fotovoltaica su única fuente de energía se tiene que cumplir que en el mes más desfavorable, junio en este caso, el aporte energético sea suficiente para abastecer la demanda.

El Performance ratio es del 59.10 % que está dentro de lo normal para este tipo de instalaciones. La columna SolFrac es resultado de la división de la columna E_Load, que es la energía aportada, entre E_user, que es la energía que necesita la instalación, como se observa su valor es 1 en todos los campos indicando que se consigue aportar en todo momento la energía suficiente por parte del conjunto fotovoltaico para abastecer las necesidades energéticas del colegio.



Pvsyst nos proporciona un cálculo automático de las pérdidas más importantes del sistema:

- Pérdidas por orientación e inclinación

Al tratarse de una instalación de paneles fijos, la radiación incidente sobre los paneles no será la óptima a lo largo de todo el año. Esto se debe en este caso también a como se ha comentado en el anexo de la memoria de cálculo, que como consecuencia de la proximidad de Kimpese a la latitud 0, sus placas no pueden ser orientadas en su posición óptima y deben orientarse con una inclinación de 15° que es la recomendada por la IDAE para que no se produzca acumulación de aguas y polvos en los paneles.

El efecto por incidencia (IAM, Incidence angle modifier) corresponde al decremento de la radiación solar que realmente llega a los paneles fotovoltaicos, con respecto a la incidencia en circunstancias normales. Este efecto se debe principalmente a la reflexión sobre el cristal que cubre las placas, este efecto se incrementa con el ángulo de incidencia.

- Pérdidas debido a la temperatura

Las altas temperaturas influyen negativamente en la generación energética. Este aumento de temperatura no se debe exclusivamente a la irradiación incidente en

el panel tiene un efecto sobre la temperatura, sino que la ventilación de éstos, también tiene influye.

Esta perdida es calculada internamente por el programa mediante la formula:

$$T_{cell} = T_{amb} + 1/U \cdot (\alpha \cdot G_{inc} \cdot (1 - \text{Effic}))$$

-Tamb la temperatura obtenida de los datos meteorológicos

-Ginc la irradiación en los módulos fotovoltaicos

-alpha es el valor del coeficiente de absorción solar, valor común 0.9

-effic es la eficiencia del módulo fotovoltaico

-U es el factor de perdida térmico

Pvsyst calcula unas perdidas del 10.8%

- Perdidas por el cableado

Las perdidas por el efecto óhmico del cableado no podrán sobrepasar el 1,5% tal como establece el REBT. Principalmente son debidas al efecto Joule, la longitud y sección del cable. se calcula como $P_{loss} = R_w \cdot I_{array}^2$

-Rw resistencia del cable

-Iarray intensidad que circula por las sub-ramas que forman los paneles fotovoltaicos.

- Perdidas por mismatch

Estas perdidas se originan como consecuencia, de que pese a ser todos los módulos fotovoltaicos idénticos y deberían tener las mismas características, esto no es cien por cien exacto pues presentan pequeñas diferencias de fabricación. La conexión de estos módulos en serie provoca que la corriente que se transporte sea la del menos capacidad, actuando como cuello de botella y haciendo que el resto tampoco trabaje a su máximo potencial.

Esto es lo que se denomina perdidas por mismatch y en la instalacion son del 2.1%

- Perdidas en las baterías

Las perdidas en las baterías son principalmente a causa de la energía que no se usa en la instalación y se pierde, esto es común en este tipo de instalaciones, por que como se ha comentado previamente el sistema está calculado para proveer del 100% de la potencia que consume en el mes menos desfavorables.

Las demás perdidas en la batería se deben principalmente la perdida de eficiencia, las baterías van perdiendo capacidad en cada ciclo de descarga y carga.

- Perdidas en el inversor

El rendimiento del inversor suele estar comprendido entre el 95% y 98% ya que la conversión de energía no es perfecta. Además, el inversor tendrá un consumo en las horas en que no se esté utilizando, como por la noche. A estos consumos

de los aparatos eléctricos se les llama autoconsumos. Nuestro inversor causara unas pérdidas del 2.33% como se puede ver en el informe.

15 BIBLIOGRAFIA

Mascaros Mateo, Vicente. Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas. Paraninfo. Madrid : Paraninfo; 2016

Cucó Pardillos, Salvador. Sistemas aislados de generación eléctrica con baterías, Caso práctico: vivienda aislada con fotovoltaica. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia : UPV; 2021

Cantos Serrano, Julián. Configuración de instalaciones solares fotovoltaica. Paraninfo. Madrid : Paraninfo; 2016

Ruiz Gómez, Abraham. Energía solar fotovoltaica. Autoconsumo. Energía solar térmica. CEF. Madrid : Centro de Estudios Financieros; 2019

Pareja Aparicio, Miguel. Energía solar fotovoltaica. Cálculo de una instalación aislada. Marcombo ediciones técnicas. Barcelona : Marcombo; 2020

Jutglar, Lluís. Generación de energía solar fotovoltaica. Marcombo ediciones técnicas. Barcelona : Marcombo; 2012

Ishaq M. Design Of An Off Grid Photovoltaic System A Case Study Of Government Technical College Wudil Kano State.

Ayaz A. Khamisani. Design Methodology of Off-Grid PV Solar Powered System (A Case Study of Solar Powered Bus Shelter)

Dr.Hla Aye Thar. Design and Calculation of Stand-alone PV System for Electrification of YTU Hostel

Energías-renovables.com

Monosolar.com

Solarweb.net

Monografías.com

<https://hgingenieria.com.co>

<https://endef.com/>

<https://joint-research-centre.ec.europa.eu/>