



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Proyecto de electrificación rural en Nyumbani Village
(Kitui, Kenia): planificación de la generación de la
energía mediante paneles fotovoltaicos

Autor: Clara de Soto Vergara

Director: Miguel Riaza Moreno

Madrid, junio 2022

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

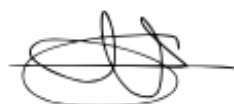
Proyecto de electrificación rural en Nyumbani Village (Kitui, Kenia): planificación de la
generación de la energía mediante paneles fotovoltaicos

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

curso académico 2021/2022 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.



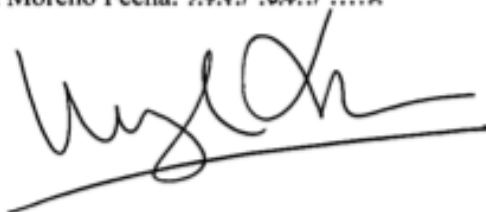
Fdo.: Clara de Soto Vergara

Fecha: 28/ 06/ 2022

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Miguel Rianza Moreno Fecha: 28.06.2022





GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Proyecto de electrificación rural en Nyumbani Village
(Kitui, Kenia): planificación de la generación de la
energía mediante paneles fotovoltaicos

Autor: Clara de Soto Vergara

Director: Miguel Riaza Moreno

Madrid, junio 2022

Agradecimientos

A mis compañeros Joaquín Benjumeda, Jaime Sáenz de Tejada y Jesús López por la dedicación y el compromiso que han mostrado en relación a este proyecto conformado por el trabajo de fin de grado de cada uno de nosotros. Ha sido todo un placer trabajar en un ambiente tan agradable. A Miguel Riaza por su paciencia a lo largo de estos meses y el tiempo dedicado. Finalmente, a mi familia por su apoyo continuo.

PROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN RURAL EN NYUMBANI VILLAGE (KITUI, KENIA): PLANIFICACIÓN DE LA GENERACIÓN DE LA ENERGÍA MEDIANTE PANELES FOTOVOLTAICOS

Autor: Soto Vergara, Clara de.

Director: Riaza Moreno, Miguel.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

El siguiente documento se divide en tres secciones: el análisis del funcionamiento de un sistema solar fotovoltaico ya existente en Nyumbani Village (Kenia), la estimación del consumo que tendrá en un futuro próximo la aldea, y el diseño de tres sistemas fotovoltaicos aislados de la conexión a la red eléctrica partiendo de una potencia nominal de 45 kW, 90 kW y 250 kW.

Palabras clave: Solar fotovoltaica, módulos, paneles, inversores.

1. Introducción

El desarrollo de las ciudades depende en gran medida de la energía que tiene una comunidad a su disponibilidad. Por esta razón, en la Agenda 2030 creada por Naciones Unidas en 2015, el objetivo número siete de los Objetivos de Desarrollo Sostenible es “garantizar el acceso a energía asequible, segura y moderna”. No obstante, según el informe de seguimiento del ODS 7 de 2022, realizado por el Banco Mundial, la Organización Mundial de la Salud y las Naciones Unidas se estima que si se continúa con el ritmo actual, en 2030 seguirá habiendo 670 millones de personas sin electricidad. Este proyecto contribuye con varios de los ODS, pero especialmente con el número siete, ya que su finalidad es aumentar el suministro de energía de Nyumbani Village, una aldea localizada en Kitui, Kenia, donde conviven aproximadamente mil niños huérfanos y alrededor de 100 abuelas que han perdido a sus hijos a causa del SIDA.

2. Definición del Proyecto

Este proyecto analiza exclusivamente la sección dedicada a la generación de energía de un sistema solar fotovoltaico aislado, por esta razón, no se estudiará el funcionamiento y selección de baterías, ni la distribución de la energía en la aldea. Esas secciones se investigarán en dos trabajos de fin de grado diferentes realizados por dos alumnos de ICAI.

El proyecto se puede dividir en tres secciones, en primer lugar, la estimación del consumo total de la aldea, por otra parte, el análisis del funcionamiento del sistema solar fotovoltaico instalado por ESF en 2014 y finalmente, el diseño de tres sistemas solares aislados de la conexión a la red eléctrica partiendo de una potencia nominal de 45 kW, 90 kW y 250 kW.

Con el objetivo de tener una visión global del consumo que hay en la aldea se han examinado los cuadros de consumos que evaluó y corrigió Energía Sin Fronteras después de su estancia en la aldea.

Para entender el huerto solar instalado por Energía Sin Fronteras, primero se ha analizado la documentación y presentación que la organización realizó, y posteriormente se ha contrastado con el rendimiento que muestra el portal de monitorización de energía fotovoltaica, Sunny Portal.

El diseño de las instalaciones solares fotovoltaicas suele partir del cálculo de una necesidad energética, sin embargo, en este proyecto los tres sistemas propuestos se han basado en una potencia nominal por parte de los inversores preestablecida de 45 kW, 90 kW y 250 kW. La razón de esto es que Nyumbani Village depende de las donaciones que empresas o particulares estén dispuestas a realizar y estos tres sistemas presentan presupuestos bastante distintos. Además, las dos instalaciones más pequeñas se han realizado con el mismo tipo de inversor cuya potencia nominal es de 15 kW. De este modo, se puede empezar por la de menor generación que no supone una inversión inicial tan excesiva, y conforme se vayan obteniendo nuevos fondos se podrá ir redimensionando. Con una mayor producción energética, se lograría un aumento de horas productivas laborales que conllevaría un crecimiento económico y desarrollo de la aldea, así como una mejora en la calidad de vida de sus habitantes.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

El análisis de la instalación fotovoltaica ya existente, se ha realizado empleando la herramienta Sunny Portal. Como ya se ha explicado, este software permite observar la energía que está produciendo el sistema en kWh en todo momento. Se debe aclarar que los datos que se han visualizado durante la realización de este proyecto no son del todo completos. Sunny Portal requiere de una conexión a internet estable para poder aportar una monitorización exacta, y la conexión en la aldea es poco constante.

En cuanto a la sección del diseño de los tres sistemas de 45 kW, 90 kW y 250 kW nominales se ha empleado PVGIS, un programa creado por la Comisión Europea Joint Research Center y del cual se han obtenido los datos de irradiancia en Kitui, la temperatura mínima, y ha permitido el análisis de la variación de producción conforme se modificaban tanto el ángulo de inclinación de los módulos como el de la orientación. Las instalaciones se habían diseñado de modo que la potencia pico total de los paneles solares superara la nominal de los inversores, originalmente con un sobredimensionamiento del 20%. Además, para que los cálculos fueran los más exactos posibles, se ha calculado el rendimiento máximo de los módulos solares teniendo en cuenta la mínima temperatura de Kitui. Debido al hecho de que en el programa se SMA, todos los inversores deben estar diseñados de la misma forma, el número de paneles de las instalaciones tenía que ser divisible entre el número de inversores

y entre 14, el número de módulos por cada string. Consecuentemente, el sobredimensionamiento acabó siendo del 25% para las tres instalaciones.

4. Resultados

Las presentaciones creadas por Energía Sin Fronteras, daban a entender que mediante el huerto solar de 44,28 kWp que instalaron en 2014, se le suministraría la energía necesaria para el bombeo de agua, y para la maquinaria e iluminación del centro politécnico y de las escuelas. Tras llevarse 96 módulos del huerto solar para que se dedicaran exclusivamente a generar energía para el bombeo de agua, sólo quedaron 120 paneles con los que se consigue una potencia pico de 24,6 kWp. Sin embargo, considerando que los datos aportados por Sunny Portal son correctos, en la aldea se estaban generando alrededor de 12.000 kWh anuales, que no cubren el consumo que la propia organización calculó de 81.360,085 kWh, como se puede observar en la Figura A. En el cálculo no se consideraron las bombas de agua.

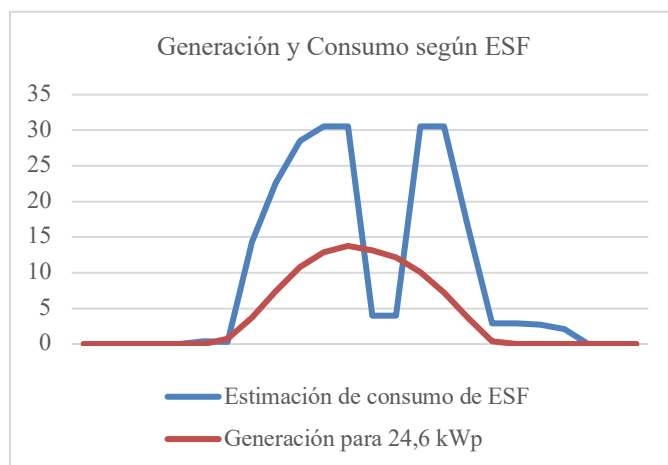


Figura A: Generación y consumo de energía según ESF

De los tres nuevos sistemas diseñados, el único que no llega a suplir el consumo total calculado por Energía Sin Fronteras más un consumo adicional que se ha estimado que requerirán las viviendas en un futuro cercano, es la de 45 kW nominales. (Ver Figura B)

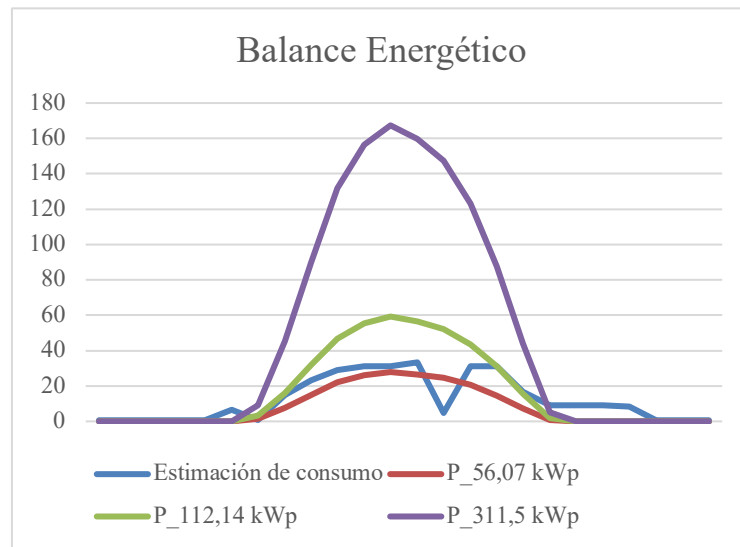


Figura B: Balance energético para los tres diseños y la estimación de consumo.

5. Conclusiones

En el presente proyecto se han desarrollado todos los aspectos técnicos del diseño de la parte dedicada específicamente la generación de energía de una instalación fotovoltaica y se han ofrecido tres alternativas. A partir de este punto, se depende de la voluntad de alguna empresa para financiar el proyecto y poder llevarlo a su cabo. A pesar de que no se llegue a tener un campo fotovoltaico de 300 kWp, cualquier aumento en la generación de energía supondrá una mejora de las condiciones en las que vive los habitantes de Nyumbani Village.

RURAL ELECTRIFICATION PROJECT IN NYUMBANI VILLAGE (KITUI, KENYA): POWER GENERATION PLANNING USING PHOTOVOLTAIC PANELS

Author: Soto Vergara, Clara de.

Supervisor: Riaza Moreno, Miguel.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

The following study is divided into three sections: the analysis of the performance of an existing solar photovoltaic system in Nyumbani Village (Kenya), the estimation of the near future consumption of the village, and the design of three off-grid photovoltaic systems based on a nominal power of 45 kW, 90 kW and 250 kW.

Keywords: Solar photovoltaic, modules, panels, inverters.

1. Introduction

The development of cities depends largely on the energy that a community has at its availability. For this reason, in the 2030 Agenda created by the United Nations in 2015, objective number seven of the Sustainable Development Goals is to "ensure access to affordable, secure and modern energy". However, according to the 2022 SDG 7 monitoring report by the World Bank, the World Health Organization and the United Nations, it is estimated that if the current pace continues, there will still be 670 million people without electricity in 2030. This project contributes to several of the SDGs, but especially to SDG 7, as it aims to increase the energy supply of Nyumbani Village, a rural community located in Kitui, Kenya, where approximately 1,000 orphaned children and around 100 grandmothers who have lost their children to AIDS live together.

2. Project Definition

This project will look exclusively at the power generation section of an off-grid solar photovoltaic system. For this reason, the operation and selection of batteries and the distribution of power in the village will not be studied. These sections will be investigated in two different end-of-degree projects carried out by two ICAI students.

The project can be divided into three sections, firstly, the estimation of the total consumption of the village; Secondly, the analysis of the performance of the solar PV system installed by Energy Without Borders in 2014; Finally, the design of three off-grid solar systems starting from a nominal power of 45 kW, 90 kW and 250 kW.

3. Description of the system

The analysis of the existing PV system was carried out using the software Sunny Portal. As already explained, this software allows observing the energy being produced by the system

in kWh at all times. It should be clarified that the data that has been visualized during the realization of this project is not entirely complete. Sunny Portal requires a stable internet connection in order to provide accurate monitoring, and the connection in the village is not very constant.

For the design section of the three systems of 45 kW, 90 kW and 250 kW nominal, PVGIS, a program created by the European Commission Joint Research Center, was used to obtain the irradiance data in Kitui, the minimum temperature, and allowed the analysis of the variation of production as the angle of inclination of the modules and the orientation were modified. The installations had been designed so that the total peak power of the solar panels exceeded the nominal power of the inverters, originally with an oversizing of 20%. In order to make the calculations as accurate as possible, the maximum yield of the solar modules was calculated taking into account the minimum Kitui temperature. Due to the fact that in the SMA program, all inverters must be designed in the same way, the number of panels of the installations had to be divisible by the number of inverters and by 14, the number of modules per string. Consequently, the oversizing ended up being 25% for all three systems.

4. Results

The presentations created by Energy Without Borders implied that the 44.28 kWp solar farm they installed in 2014 would supply the energy needed for water pumping, machinery and lighting for the polytechnic center and schools. After taking 96 modules from the solar farm to be dedicated exclusively to generating power for water pumping, only 120 panels remained with which a peak power of 24.6 kWp is achieved. However, considering that the data provided by Sunny Portal is correct, the village was generating around 12,000 kWh per year, which does not cover the organization's own calculated consumption of 81,360.085 kWh, as can be seen in Figure A. Water pumps were not considered in the calculation.

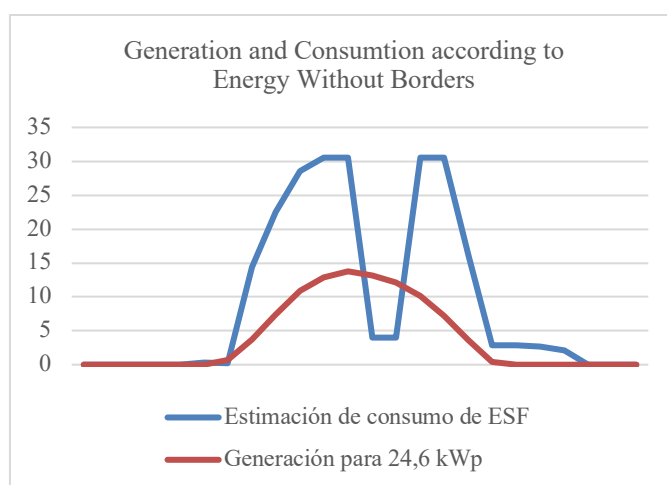


Figure A: Energy generation and consumption according to Energy Without Borders

Of the three new systems designed, the only one that does not meet the total consumption calculated by Energy Without Borders plus additional consumption estimated to be required by the homes in the near future is the nominal 45 kW (see Figure B).

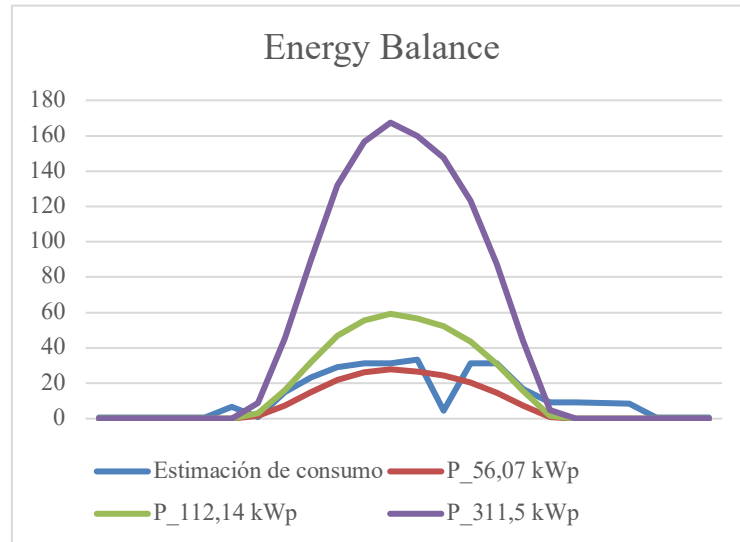


Figure B: Energy balance for the three designs and estimated consumption.

5. Conclusions

In the present project, all the technical aspects of the design of the specific power generation part of a photovoltaic installation have been developed and three alternatives have been offered. From this point on, it depends on the willingness of a company to finance the project and be able to carry it out. Even if a 300 kWp photovoltaic field is not achieved, any increase in energy generation will improve the living conditions of the residents of the village.

Índice de la memoria

<i>Índice de la memoria</i>	<i>I</i>
<i>Índice de figuras</i>	<i>IV</i>
<i>Índice de tablas</i>	<i>VI</i>
Capítulo 1. Introducción	8
1.1 Motivación	8
1.2 Antecedente.....	9
1.3 Objetivo del Proyecto	9
1.4 Metodología	10
Capítulo 2. Investigación Contextual	13
2.1 Datos básicos	13
2.2 Geografía.....	13
2.3 Contexto Histórico	14
2.4 Población y Sociedad.....	15
2.5 Economía	16
2.6 Clima.....	16
Capítulo 3. Estado de la Cuestión	18
3.1 Nyumbani Kenia	18
3.1.1 Nyumbani Village.....	19
3.2 Energía Sin Fronteras.....	21
3.3 Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	24
3.3.1 Agenda 2030.....	24
3.3.2 Alineación del Proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	25
3.4 Problemática para el Desarrollo Integral Completo.....	26
Capítulo 4. Tendencia Energética	28
4.1 Consecuencias de la Producción de Energía.....	28
4.2 Energías Renovables	31
4.3 Energía Solar Fotovoltaica.....	32

Capítulo 5. Teoría.....	34
5.1 Sistema Fotovoltaico.....	34
5.1.1 Sistemas de Paneles Solares	34
5.1.2 Inversor	37
5.1.3 Batería.....	38
5.1.4 Regulador de Carga.....	38
5.2 Tipos de Instalaciones Fotovoltaicas	39
5.2.1 Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red.....	39
5.2.2 Sistemas Fotovoltaicos Aislados.....	39
5.3 Radiación Solar	40
5.4 Irradiancia	41
5.5 Geometría Solar	43
5.6 Inclinación y Azimut del Panel Solar	44
Capítulo 6. Definición del Trabajo.....	47
6.1 Necesidades Energéticas.....	47
6.2 Curva de Carga y Perfil de Consumo	55
6.3 Análisis mediante Sunny Design de la Planta Fotovoltaica Actualmente Instalada.....	57
6.4 Diseño Partiendo de una Potencia Nominal Establecida	63
6.4.1 Rendimiento de los Paneles Solares	63
6.4.2 Sobredimensionamiento.....	65
6.4.3 Cálculos de la Producción.....	66
6.5 Cálculo de la Sección del Cableado.....	71
6.6 Informes de Sunny Design.....	75
6.6.1 Planta de 45 kW de Potencial Nominal	76
6.6.2 Planta de 90 kW de Potencia Nominal	81
6.6.3 Planta de 250 kW de Potencial Nominal	87
6.7 Elementos de Protección de la Instalación Fotovoltaica.....	93
Capítulo 7. Análisis Económico.....	95
7.1 Coste Directo	95
7.2 Coste Indirecto	97
Capítulo 8. Análisis de los Resultados.....	98

Capítulo 9. Conclusiones y Trabajos Futuros.....	100
---	------------

Capítulo 10. Bibliografía.....	102
---------------------------------------	------------

ANEXO I 106

A) Presupuesto Enviada por Cat:	106
B) Ficha Técnica del Inversor Sunny Tripower.....	107
C) Ficha Técnica del Módulo Solar	111
D) Ficha Técnica del Fusible	113
E) Ficha Técnica del Descargador de Sobretensiones	115

Índice de figuras

Figura A: Generación y consumo de energía según ESF	11
Figura B: Balance energético para los tres diseños y la estimación de consumo.	12
Figura 1: Cronograma de la realización del proyecto	12
Figura 2: Localización de Kenia en la primera imagen y del condado de Kitui en la segunda	14
Figura 3: Pirámide poblacional de Kenia en 2020. Fuente: Expansión	15
Figura 4: Logo de Nyumbani	19
Figura 5: Alumnos en la escuela de Nyumbani Village.....	20
Figura 6: Vista aérea de Nyumbani Village	21
Figura 7: Esquema del Solar Farm de la Eco Aldea de Nyumbani. Elaboración propia	23
Figura 8: Vista aérea de los paneles solares que se encuentran actualmente en el huerto solar. Fuente: Google Earth	23
Figura 9: Sunny Tripower y Sunny Island instalados. Fuente: Energía Sin Fronteras	24
Figura 10: Objetivos de Desarrollo Sostenible que conforman la Agenda 2030. Fuente: ONU	25
Figura 11: Distribución porcentual del suministro mundial de energía primaria en 2019 según la fuente. Fuente: Statista.....	28
Figura 13: Estimaciones para 2050 de las fuentes de energías renovables. Fuente: U.S. Energy Information Administration's	31
Figura 14: Crecimiento de la capacidad las energías renovables. Fuente: IRENA.....	32
Figura 15: Potencias fotovoltaicas según estadísticas de IRENA en el año 2020.	33
Figura 16: Sección transversal de una célula solar. Fuente: Solar Magazine	35
Figura 17: Tipos principales de paneles solares fotovoltaicos. Fuente: Solar Magazine....	36
Figura 18: Curva tensión-intensidad que emplea el MPPT. Fuente: Victron Energy.....	38
Figura 19: Órbita elíptica de la Tierra alrededor del sol. Fuente: SunFields	41
Figura 20: Perfil de irradiancia y temperatura en Kitui. Fuente: PVGIS.....	42
Figura 21: Geometría solar específica para un panel solar fotovoltaico. Fuente: SunField	43

Figura 22: Porcentaje de variación de energía generada mensualmente con respecto al ángulo de inclinación de 0° en Kitui. Fuente: PVGIS.....	45
Figura 23: Porcentaje de variación de energía generada mensualmente con respecto al ángulo de inclinación de 0° en Madrid. PVGIS	45
Figura 24: Porcentaje de variación de energía generada mensualmente con respecto a un azimut del panel de 0° en Kitui	46
Figura 25: Porcentaje de variación de energía generada mensualmente con respecto a un azimut del panel de 0° en Madrid.....	46
Figura 26: Contraste de la estimación de necesidad energética realizada originalmente por ESF y teniendo en cuenta consumos futuros en las viviendas. Elaboración propia.....	51
Figura 27: Curva de generación de electricidad y curva de consumo estimada por ESF. Elaboración propia.	51
Figura 28: Consumo mensual en kWh de año 2021. Fuente: Sunny Portal.....	56
Figura 29: Perfil de consumo medio diario en el mes de febrero distinguiendo los días laborables del fin de semana. Fuente: Sunny Portal.....	56
.....	57
Figura 30: Perfil de consumo medio diario en el mes de octubre distinguiendo los días laborables del fin de semana. Fuente: Sunny Portal.....	57
Figura 31: Irradiancia global media de cada mes por horas en Kitui. Fuente: PVGIS	64
Figura 32: Rendimiento de un módulo solar en función de la temperatura bajo las mismas condiciones de radiación. Fuente: SunFields	65
Figura 33: Curva de generación de un sistema fotovoltaico. Fuente Amara-e	66
condiciones de radiación. Fuente: SunFields	66
Figura 34: Distancia entre los inversores y el panel más alejado en la instalación de ESF. Fuente: Google Earth.	72
Figura 35: Curvas de ambas estimaciones de consumo y generación para la combinación de la instalación de 56,07 kWp y la de 24,6 kWp.....	99

Índice de tablas

Tabla 1: Datos básicos de Kenia. Fuente: Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación	13
Tabla 2: Tabla climática de Kitui. Fuente: Climate-Data	17
Tabla 3: Cuadro de potencia de cada dispositivo eléctrico. Fuente: Energía Sin Fronteras	50
Tabla 4: Cuadro de potencia consumida por horas de cada dispositivo eléctrico. Fuente: Energía Sin Fronteras	54
Tabla 5: Consumo mensual de los años 2020 y 2021 según Sunny Portal. Fuente: Sunny Portal	58
Tabla 6: Datos del panel solar y del inversor que se han empleado en los cálculos. Elaboración propia.	67
Tabla 7: Cálculo del número de paneles por string. Elaboración propia.	69
Tabla 8: Cálculo de la potencia pico para la instalación de 45 kW de potencia nominal. Elaboración propia.	70
Tabla 9: Cálculo de la potencia pico para la instalación de 90 kW de potencia nominal. Elaboración propia.	70
Tabla 10: Cálculo de la potencia pico para la instalación de 250 kW de potencia nominal. Elaboración propia.	71
Tabla 11: Datos para el cálculo de la caída de tensión.....	73
Tabla 13: Caída de tensión conocida la potencia para un cable de cobre. Elaboración propia.	73
Tabla 12: Caída de tensión conocida la intensidad para un cable de cobre. Elaboración propia.....	73
Tabla 15: Caída de tensión conocida la potencia para un cable de aluminio. Elaboración propia.....	74
Tabla 14: Caída de tensión conocida la intensidad para un cable de aluminio. Elaboración propia.....	74
Tabla 17: Distancias máximas y mínimas con los resultados obtenidos conocida la potencia. Elaboración propia.	74

Tabla 16: Distancias máximas y mínimas con los resultados obtenidos conocida la intensidad. Elaboración propia.....	74
Tabla 18: Costes directos de la instalación de 45 kW nominales	96
Tabla 19: Costes directos de la instalación de 90 kW nominales	96
Tabla 20: Costes directos de la instalación de 250 kW nominales	96

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se explica la motivación que ha impulsado la creación de este proyecto, un breve contexto de la situación, los objetivos que se pretenden alcanzar y la metodología que se ha seguido.

1.1 MOTIVACIÓN

La ingeniería aporta una capacidad analítica y una visión estratégica que permite a los ingenieros colaborar en la mejora del mundo, este es el motivo por el cual yo decidí estudiar el doble grado de Ingeniería Industrial y Administración y Dirección de Empresas.

Actualmente existen numerosos problemas a nivel mundial como son: la pobreza, la desigualdad, la superpoblación y el cambio climático. Y considero que los ingenieros tienen la responsabilidad de intentar desarrollar soluciones con el fin de contribuir en la mejora de la calidad de vida de las personas afectadas.

Cuando uno de mis compañeros con los que realizo este Trabajo de Fin de Grado me propuso basar mi TFG en el análisis de un sistema fotovoltaico en una aldea de Kenia, tuve claro quería formar parte de este proyecto. Este trabajo tiene un claro componente filantrópico, puesto que con él se pretende crear una sociedad más justa intentando reducir la situación de pobreza de la aldea de Nyumbani Village en Kenia. Además, con él se contribuirá a la consecución de la Agenda 2030 donde Naciones Unidas aprobó los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible en 2015, haciendo frente a la pobreza y a la emergencia climática que supone el cambio climático.

Una de las principales motivaciones que presenta este trabajo surge del deseo de querer ayudar a personas que viven en condiciones desfavorecidas de extrema pobreza. La mayor parte de las casas de la aldea no disponen de más electricidad que la necesaria para iluminar tres bombillas. El hecho de dotar a la comunidad con mayor energía eléctrica, y hacerla accesible a sus hogares, centros de educación y de salud, impulsará la

productividad de la aldea y mejorará la calidad de vida de las personas que habitan en ella.

La otra gran motivación es poder emplear los conocimientos técnicos adquiridos a lo largo de estos últimos cuatro años de estudios universitarios en ICAI en un proyecto real.

Este trabajo es una gran oportunidad para actuar acorde con los principios de uno mismo y poder poner a prueba lo aprendido en la universidad.

1.2 ANTECEDENTE

Según el Programa Conjunto de las Naciones Unidas sobre el VIH/SIDA (ONUSIDA), “680.000 personas fallecieron a causa de enfermedades relacionadas con el SIDA en 2020”. Actualmente muchos niños quedan huérfanos debido al VIH encontrándose en un estado de miseria absoluta.

Nyumbani Village es un poblado situado en la provincia de Kitui en Kenia, que acoge a 1.000 niños huérfanos que han sido afectados por los crueles efectos del SIDA. Esta aldea no tiene acceso a la red de distribución eléctrica y la mayor parte de la energía generada proviene de sistemas fotovoltaicos, es por ello que se denomina Eco-Aldea. En 2014, Energía Sin Fronteras junto con la colaboración de SMA, SunPower, Hidroeléctrica del Cantábrico, Iberdrola, Generalia, Praxia y Tudor instalaron un huerto solar de 44.3 kWp, compuesto por 216 paneles de 990x1660 mm de 205Wp cada uno para abastecer de energía a los centros de formación profesional de la aldea.

Actualmente las instalaciones están dispersas por el poblado y sin conexión entre ellas. El objetivo del proyecto es organizar la generación de dicha instalación, además de analizar las posibilidades de cómo sobredimensionarla.

1.3 OBJETIVO DEL PROYECTO

El principal objetivo del proyecto es aumentar la generación de energía mediante un redimensionamiento del sistema fotovoltaico aislado, además de lograr una organización adecuada de la instalación fotovoltaica que existe actualmente en la aldea de Kitui. Con

el fin de alcanzar el objetivo primordial, el estudio de la situación se ha dividido en la obtención de varios objetivos específicos que se explican a continuación.

- Análisis de la instalación realizada por Energías Sin Fronteras, quien en 2014 instaló un huerto solar de 44.280 vatios pico, formado por 216 paneles solares. Con este sistema aislado se pretendía abastecer de energía a la escuela politécnica de Nyumbani para que se pudiera emplear la maquinaria y suministrar la energía necesaria para el bombeo del agua.
- Estudio de la producción de energía de un sistema solar de una instalación en Kitui con el software PVGIS, donde simplemente había que introducir los datos de la ubicación, la potencia nominal del sistema, las pérdidas que se deben tener en cuenta debido al polvo, cableado y sombreado entre otras, y por último la inclinación y el azimut del panel solar.
- Estudio de la producción de energía según el software Sunny Portal que muestra la energía generada en la instalación ya existente.
- La variación de energía eléctrica generada según el grado de azimut y de inclinación en el que se instalen los módulos solares.
- Desarrollo de un proyecto real con todos los dispositivos necesarios para diferentes potencias nominales. De este modo dependiendo de la financiación que consiga obtener en un futuro existirán distintas propuestas.
- Finalmente, un cálculo detallado del coste total de la instalación con el fin de presentarlo en posibles subvenciones.

1.4 METODOLOGÍA

El estudio se divide en cuatro partes con el fin de lograr los objetivos anteriormente mencionados. La organización es la siguiente:

Con el propósito de entender la situación del país en el que se basa este proyecto se comenzará con una investigación contextual de Kenia que se centrará en el clima y la geografía del país. Seguidamente, se estudiará la situación actual de la producción

energética, las consecuencias medioambientales que conlleva, el avance de la energía renovable y más en concreto la evolución de la energía solar fotovoltaica.

En la segunda etapa se empleará el software PVGIS para obtener los datos de radiación solar en Kitui, se observará la variación de energía generada según la inclinación y orientación en la que se sitúen los módulos fotovoltaicos, y se comparará estos datos con los que se obtendrían en Madrid con el fin de entender el impacto que tiene la localización del lugar de la instalación. Además, se empleará en software Sunny Portal que monitoriza los inversores que instaló Energía Sin Fronteras, para conocer el consumo actual de la aldea.

En la tercera fase se crearán tres proyectos distintos de instalaciones reales para una potencia nominal total de los inversores de 45 kW, 90 kW y 250 kW. De esta forma se tendrán tres alternativas diferentes que se adaptarán a la subvención futura que se reciba. En el diseño de las instalaciones se tendrán en cuenta el número de paneles solares necesarios, de inversores y el cableado requerido desde los paneles a los inversores.

Por último, se pedirá presupuesto a proveedores de Kenia para poder hacer un cálculo de cuánto costarían los dispositivos imprescindibles para la instalación.

El cronograma que se planteó desde un comienzo se puede observar en la Figura 1.

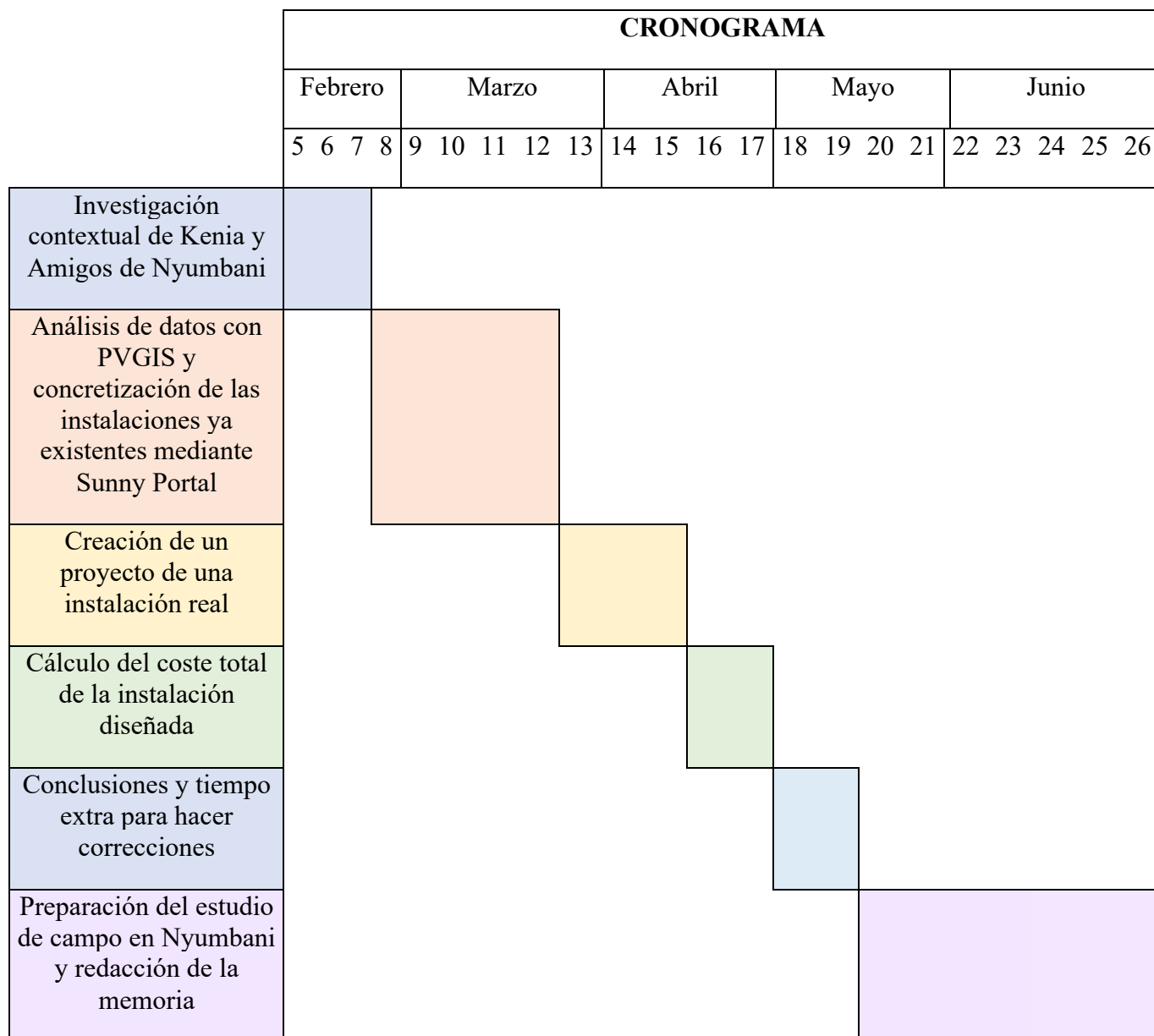


Figura 1: Cronograma de la realización del proyecto

Capítulo 2. INVESTIGACIÓN CONTEXTUAL

Para comprender el entorno en el que se va a desarrollar el proyecto de electrificación rural de Nyumbani Village, se va a hacer un breve análisis contextual sobre el país de Kenia.

2.1 DATOS BÁSICOS

Nombre oficial	República de Kenia
Superficie	591.958 km ²
Situación	Ambos lados del Ecuador
Límites	Sudán, Etiopía, Tanzania, Somalia, Océano Índico, Uganda y el Lago Victoria.
Población	54.986.000
Capital	Nairobi
Otras ciudades	Mombasa, Kisumu, Nakuru, Ruiru, y Eldoret
Idiomas oficiales	Inglés y suajili
Hora	+3hs (GTM), sin cambio de hora estacional.
Religiones	Mayoritaria el cristianismo y minoritaria el islam
Sistema de gobierno	República presidencialista.
Moneda	Chelín keniano

Tabla 1: Datos básicos de Kenia. Fuente: Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación

2.2 GEOGRAFÍA

Kenia se encuentra en el este del continente africano, tiene fronteras con Sudán, Etiopía, Tanzania, Somalia y Uganda. Además, el país posee 536 km de costa que dan hacia el

Océano Índico donde se encuentra Mombasa, su ciudad portuaria más importante. El país está dividido en cinco regiones geográficas: El Valle del Rift, las tierras bajas de la meseta oriental, las regiones áridas y semiáridas del norte, la costa, y por último la cuenca del lago Victoria. Esta cuenca la conforma una meseta que tiene una altura que varía entre los 900 y los 1200 metros sobre el nivel del mar y se extiende entre la escarpa de Mau y la orilla del lago. (Terrasa, 2019)



Figura 2: Localización de Kenia en la primera imagen y del condado de Kitui en la segunda

2.3 CONTEXTO HISTÓRICO

Varios paleontólogos consideran Kenia como la cuna de la humanidad tras encontrar en proyectos de excavación el fósil de un Homo Habilis con más de 2 millones de años de antigüedad. Este país siempre ha sido deseado por distintas civilizaciones, de hecho, en el siglo VII los árabes establecieron ciudades portuarias donde se produjeron relaciones comerciales con Persia e India. El primer europeo en llegar a esta nación fue Vasco de Gama en 1498, desde aquel momento los portugueses conquistaron varias ciudades costeras. Su presencia era repelida por lo locales y los conflictos por el control de la zona era constante, por estos motivos su estancia no superó los 200 años. En el siglo XIX Kenia fue adjudicada al imperio británico en la Conferencia de Berlín cuando los países europeos se repartieron las colonias africanas. Durante el dominio británico, a la gente

local se le usurpó sus tierras y se les obligó a trabajar en ellas y en otras obras públicas a cambio de salarios ridículamente bajos. Tras varios años de opresión, en 1920 se empezaron a generar los primeros movimientos de protesta hasta finalmente lograr su independencia el 12 de diciembre de 1963. (Embassy of the Republic of Kenya, s.f.).

2.4 POBLACIÓN Y SOCIEDAD

En 2020 Kenia tenía una población de 53.771.300 personas, con una esperanza de vida de 66,99 años lo que causa que tenga una pirámide poblacional expansiva, característica de países tercermundistas (ver Figura 3). La densidad de población según la región del país es muy variante, en 2009 según Embassy of the Republic of Kenya (s.f.): “En las regiones semiáridas del norte y noreste la densidad de población apenas alcanza 2 habitantes por kilómetro cuadrado, mientras que en la rica y fértil área occidental, la densidad de población se eleva a 120 personas por kilómetro cuadrado.”



Figura 3: Pirámide poblacional de Kenia en 2020. Fuente: Expansión

En Kenia existen 42 etnias agrupadas en tres lenguas: bantúe, nilóticos y kushitas. El mayor grupo étnico es el kikuyu que representa el 20% de la población y cuya lengua es el bantúe, esta etnia es la dominante en el sector de la política y los negocios. (ICEX, 2021). El 99,67% de la población de Kenia es creyente, conformando los cristianos un 80,63% y el islam un 10,45%. (Datosmacro.com, 2022).

2.5 ECONOMÍA

En mayo de 2022 la tasa de variación anual del IPC en Kenia fue del 7,1%, siendo la inflación acumulada en los primeros cinco meses de este año del 4,1%. El PIB per cápita de la nación en 2020 fue de 1.653 euros lo que refleja un nivel de vida muy bajo al igual que lo hace el índice de desarrollo humano (IDH) de 0,601 elaborado por las Naciones Unidas en 2019. (Datosmacro.com, 2022). Desde su independencia de Gran Bretaña, la economía del país se ha basado en el libre mercado, representando los safaris y el turismo el 60% del PIB. El 75% del terreno es propiedad de productores que dedican sus tierras a la agricultura de subsistencia cultivando principalmente maíz blanco, y al ganado de vacas, cabras y ovejas. El salario medio de la población keniana es de 200 euros mensuales (de Antonio, 2021).

2.6 CLIMA

Al ser un país cruzado por la línea ecuatorial, Kenia tiene un clima tropical donde no hay grandes diferencias de temperaturas entre las estaciones, no obstante, dentro de la nación el clima varía principalmente dependiendo de la altitud. En el norte las precipitaciones son escasas, sin embargo, en la mitad sur se dan dos estaciones lluviosas al año, de marzo a mayo y de octubre a diciembre. En Kitui que es el condado donde se encuentra Nyumbani Village (ver Figura 2), la temperatura media es de 23,4°C siendo febrero el mes más caluroso. Entre los meses secos y húmedos la diferencia de lluvias es de 202 mm aproximadamente, además como se puede observar en la Tabla 2, la máxima diferencia de horas de sol a lo largo del año es de 2,6 horas, mientras que en España llega a ser de 5,6 horas. (Climate-Data, s.f.).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	22.4	23.4	23.4	22.4	21.7	20.9	20.4	20.6	21.7	22.3	21.5	21.6
Temperatura mín. (°C)	17.9	18.3	19	18.8	17.8	16.4	15.6	15.8	16.5	17.6	18.2	18.1
Temperatura máx. (°C)	27.1	28.7	28.5	27	26.1	25.7	25.5	25.9	27.6	27.9	25.8	25.8
Precipitación (mm)	72	54	105	145	65	10	7	8	10	57	209	139
Humedad(%)	67%	60%	66%	74%	70%	63%	59%	58%	56%	61%	77%	76%
Días lluviosos (días)	9	6	14	18	10	2	1	1	2	8	18	16
Horas de sol (horas)	8.2	8.6	7.8	7.0	7.2	6.9	6.6	6.9	8.0	8.0	6.0	7.0

Tabla 2: Tabla climática de Kitui. Fuente: Climate-Data

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

3.1 NYUMBANI KENIA

Nyumbani es una organización sin ánimo de lucro, internacional no gubernamental que nació en 1992 gracias a la iniciativa de Father Ángelo D'Agostino, médico, psiquiatra y padre jesuita. El objetivo del fundador era ponerle solución al aumento del número de niños afligidos por la enfermedad del SIDA combatiendo las enfermedades, el abandono y el hambre que amenazan a muchas personas inocentes.

Aproximadamente 1,2 millones de huérfanos viven en Kenia y alrededor de 100.000 de ellos son seropositivos, con la finalidad de intentar ayudar a muchas de estas personas, Nyumbani ha desarrollado cuatro proyectos: Nyumbani Home, un orfanato cerca de Nairobi; Lea Toto, programa que ayuda a los barrios más pobres de la capital keniana; Nyumbani Village, una ecoaldea en Kitui, un pueblo más al este del país; y finalmente un laboratorio de diagnóstico. Todos ellos tienen el propósito de frenar el número de niños y familiares afectados por el SIDA, y brindar a los niños que han contraído la enfermedad un mejor apoyo nutricional, médico, psicológico y social.

Children Of God Relief Institute (COGRI) es la organización responsable de la gestión de Nyumbani Kenia que dirige Sister Mary Owens. Nyumbani significa hogar en suajili, y es que el deseo de Father Ángelo D'Agostino era proporcionar al mayor número de personas perjudicadas por el SIDA un hogar donde poder continuar su vida. COGRI establece comunidades sostenibles para niños afectados por el VIH gracias a las donaciones que recibe de asociaciones que proviene de diferentes países como España, Estados Unidos, Italia, Reino Unido y la propia Kenia. (Amigos de Nyumbani, 2015a).

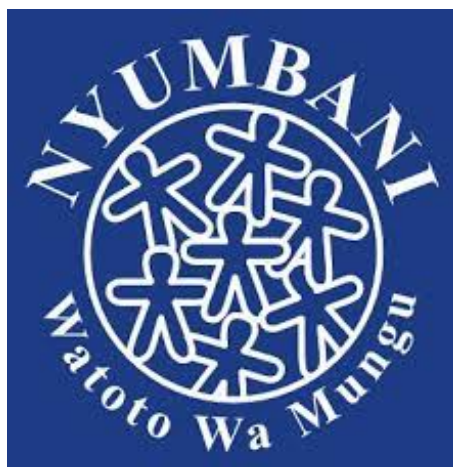


Figura 4: Logo de Nyumbani

3.1.1 NYUMBANI VILLAGE

Nyumbani Village es una aldea donde personas mayores y niños que han perdido a sus seres queridos debido al SIDA conviven y se cuidan mutuamente. Los niños huérfanos son más propensos a sufrir desnutrición, no continuar con sus estudios básicos y ser víctimas de explotación y abuso infantil. Nyumbani Village se crea en 2006, con la idea de que ancianos que han perdido a sus hijos debido a la enfermedad del VIH cuiden a niños que se han quedado huérfanos por el mismo problema. De esta forma ambas partes pueden beneficiarse de la compañía que se proporcionan mutuamente pues los pequeños aún necesitan sentirse cuidados y respaldados por personas adultas, y a su vez las abuelas recibirán el cariño de estos y no tendrán sensación de soledad. La aldea se encuentra ubicada en Kitui, Kenia, tiene 406 Ha, 60 de ellas construidas con el siguiente conjunto de infraestructuras: 100 casas cada una de ellas para entre 10-12 niños y una abuela, un centro comunitario, una escuela primaria, una de secundaria, dos centros politécnicos donde se trabaja la madera y el metal, un centro sanitario, otro comunitario, una unidad administrativa de policía, una casa de invitados, campos de juego, un huerto común y una red de caminos y carreteras. (Ver Figura 6). En 2014 en la aldea ya había 964 niños y 100 abuelas, alcanzándose casi la capacidad máxima aun habiendo una alta demanda. (Amigos de Nyumbani, 2015b).



Figura 5: Alumnos en la escuela de Nyumbani Village

La organización Nyumbani prioriza la sostenibilidad, por ello en la aldea se ha intentado implementar el mayor uso de energías renovables. Antes de 2014, la energía de la iluminación de las aulas provenía de paneles fotovoltaicos individuales, la del alumbrado de los viales de paneles por luminarias, y los generadores de gasoil suministraban la energía del aula de ordenadores, el bombeo de agua, la molienda de grano y la de los talleres de los politécnicos. Ese año, mediante la instalación de un huerto solar llevado a cabo por Energía Sin Fronteras, se pretendía suministrar energía a todos aquellos consumos cuyos proveedores eran los generadores de gasoil. (Amigos de Nyumbani, 2015b).

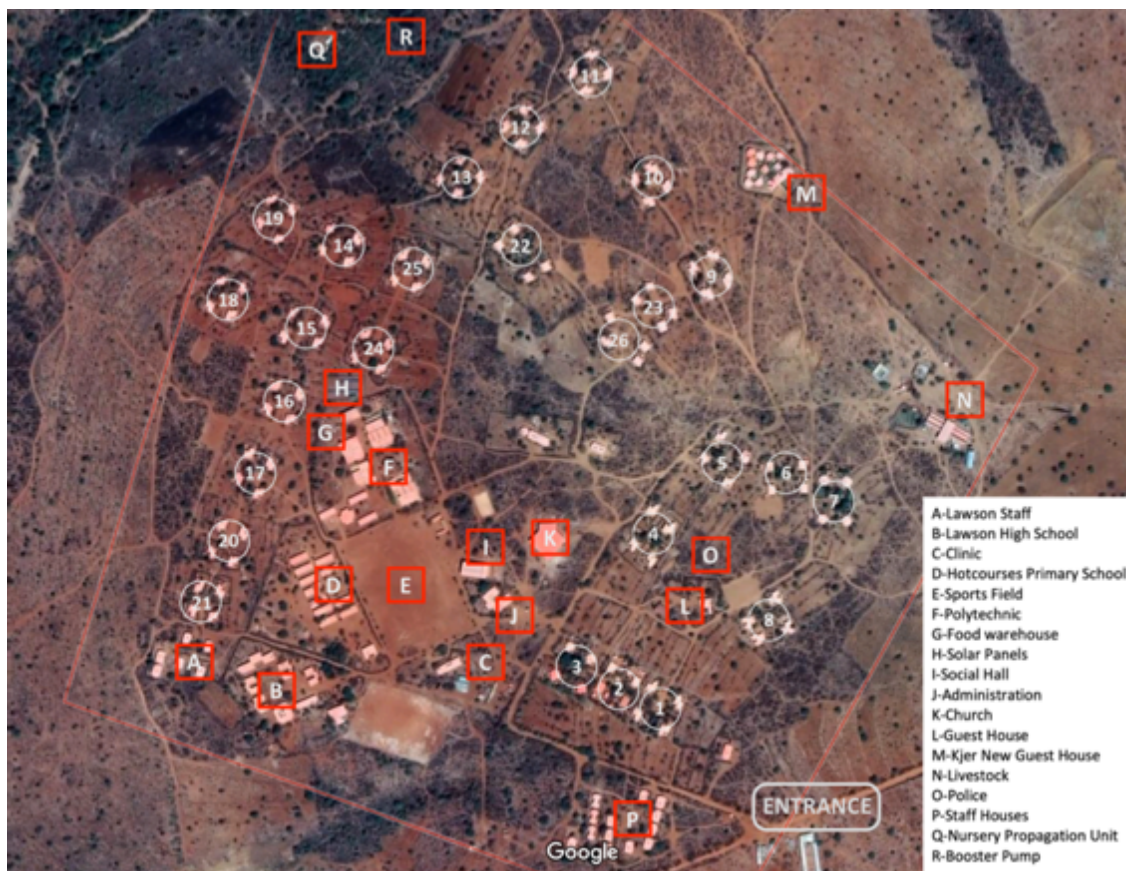


Figura 6: Vista aérea de Nyumbani Village

3.2 ENERGÍA SIN FRONTERAS

Como se ha comentado en el apartado de antecedentes del proyecto, en 2014 Energía Sin Fronteras instaló en Nyumbani Village un huerto solar de 44.280 vatios formado por 216 paneles solares PowerLight con una potencia de 205 vatios pico cada uno. Este proyecto fue posible gracias a la colaboración de las empresas SunPower, HidroCantábrico, Iberdrola, Generali, SMA, Praxia y Sönnnesnschein.

Originalmente se había planeado que la energía generada se destinara mayoritariamente al centro politécnico para poder hacer uso de la maquinaria disponible fomentando el conocimiento técnico, y que durante las horas de descanso del día laboral y los fines de semana se empleara la energía para el bombeo del agua. No obstante, este plan inicial se

modificó tras su instalación y se desplazaron 96 de los 216 paneles que se habían instalado originalmente para que se utilizasen exclusivamente en el bombeo del agua. (Compromiso RSE, 2014).

Antes de que Energías Sin Fronteras llevara a cabo la instalación fotovoltaica, la energía necesaria para el bombeo del agua y para las máquinas del centro politécnico era suministrada por generadores de gasoil que le suponían a Nyumbani Village un coste de 30.000 euros al año en combustible. Según un artículo de Renewable Energy Magazine: “El número total de beneficiarios directos es de 4.152 personas. Los huérfanos, sus abuelas y los trabajadores de Nyumbani son 1.193 almas. A ellas hay que sumar las 1.752 mujeres y los 1.207 hombres que recibieron asistencia sanitaria en la ecoaldea, según el cómputo realizado en 2012.” (Alfonso, 2015).

El sistema fotovoltaico establecido por Energía Sin Fronteras una vez retirados los 96 módulos que se destinaron para bombear agua, se encuentra representado en la Figura 7. Con la herramienta de Google Earth se ha obtenido una vista aérea (Figura 8) donde se puede observar como inicialmente había tres filas con 72 paneles solares en cada una de ellas, y actualmente solo se ve una fila completa y dos tercios de otra, por tanto 120 módulos en total siendo la potencia total de 24,6 kWp.

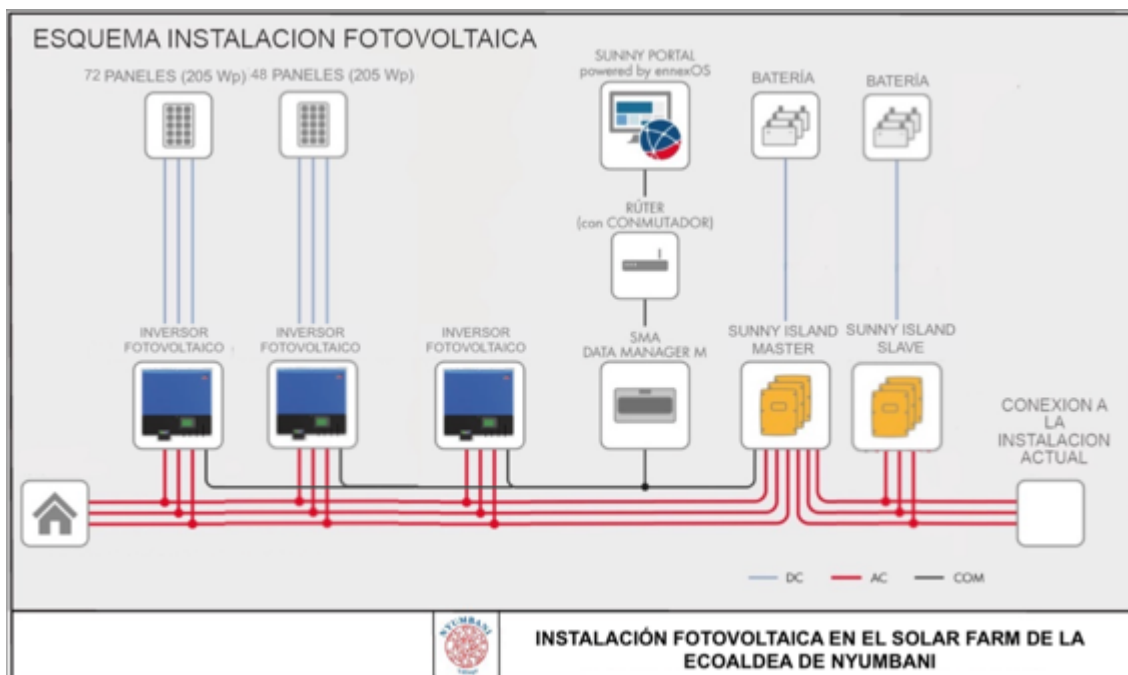


Figura 7: Esquema del Solar Farm de la Eco Aldea de Nyumbani. Elaboración propia



Figura 8: Vista aérea de los paneles solares que se encuentran actualmente en el huerto solar. Fuente: Google Earth

Los dispositivos que la ONG instaló y que aún se encuentran en funcionamiento allí para la generación de energía son los siguientes (Ver Figura 9):

- 2 inversores Sunny Tripower 15000TLEE-10 con un rendimiento del 98,4%, existe otro más pero no está siendo utilizado.
- 6 inversores de batería Sunny Island 6.0H
- 120 paneles solares PowerLight PL-220 de 205 vatios pico con unas dimensiones de 1660x990x50 mm



Figura 9: Sunny Tripower y Sunny Island instalados. Fuente: Energía Sin Fronteras

3.3 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

3.3.1 AGENDA 2030

En 2015 la Asamblea General de la ONU adoptó 17 objetivos de desarrollo sostenible recogidos en la denominada Agenda 2030 (ver Figura 10). Estos objetivos están divididos en 169 metas que deben alcanzarse en el año 2030 que pretenden garantizar cierta calidad de vida para las próximas generaciones en nuestro planeta. La Agenda 2030 tiene cinco pilares principales, también llamados las 5P que son las siguientes: Las personas, el planeta, la prosperidad, la paz y la participación colectiva.



Figura 10: Objetivos de Desarrollo Sostenible que conforman la Agenda 2030. Fuente:

ONU

3.3.2 ALINEACIÓN DEL PROYECTO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Este proyecto incluye varios de los objetivos de desarrollo sostenible, de este modo contribuirá a alcanzar los objetivos establecidos por las Naciones Unidas para el año 2030.



El propósito de este proyecto es proporcionar un acceso continuo y estable a la energía eléctrica a los habitantes de Nyumbani. Abastecer a colegios y hospitales de mayor cantidad de energía eléctrica supondrá un gran progreso para la aldea y una mejora en la calidad de vida de las personas que viven en ella.



La energía eléctrica que se plantea continuar suministrando en Nyumbani será generada mediante paneles solares fotovoltaicos. Se trata de un tipo de energía renovable y limpia, pues es inagotable y no contaminante. La emisión de dióxido de carbono relativa a la energía fotovoltaica es mínima comparada con aquella proveniente de combustibles fósiles, por tanto, este proyecto contribuirá a la lucha contra el cambio climático, además de un gran ahorro económico para la comunidad.



Dotar de mayor electricidad a la aldea, permitirá que los niños de Nyumbani reciban una educación de mejor calidad y unos servicios hospitalarios más avanzados. Habilitar el acceso a la luz artificial, permitirá un mayor número de horas de productividad generando un crecimiento económico y una reducción de desigualdades económicas y sociales entre comunidades.



El proyecto consiste en la instalación de una nueva planta fotovoltaica aislada además de un análisis de la ya existente. El objetivo es lograr abastecer a todos los consumos de energía limpia y renovable.

3.4 PROBLEMÁTICA PARA EL DESARROLLO INTEGRAL COMPLETO

En Nyumbani Village existe una clara falta de visión integral en cuanto a lo que respecta a la instalación fotovoltaica debido a la dependencia de la aldea en las donaciones para poder ampliar su suministro de energía eléctrica.

Los dispositivos instalados por cada empresa colaboradora son de distintos fabricantes y tienen distintas potencias. En ningún momento se buscó la uniformidad, por ello se pueden encontrar módulos solares de 235 W, de 160 W y de 205 W.

Existe una gran desorganización en cuanto a los dispositivos que se encuentran instalados en Nyumbani Village. Jesús Santiago López, como parte de su TFG ha tratado de hacer una recopilación de todos los dispositivos que se encuentran instalados, ya sea mediante fotos que se le ha pedido a la gente de la aldea o por documentos que se han ido consiguiendo. Entre los inversores, las baterías, los MPPT y los paneles, de lo que menos información se ha conseguido ha sido de los este último dispositivo, Jesús ha anotado cuántos hay y la potencia pico que tienen, pero no ha podido obtener información del modelo o la marca.

Gracias a la oportunidad de que Miguel Riaza, nuestro director de TFG, mis tres compañeros de proyecto, y yo podamos ir a Nyumbani Village durante el mes de julio de 2022, se podrán solucionar varios problemas como el que se acaba de comentar. Pretendemos evaluar el funcionamiento de los equipos y crear un Excel con todos los datos de dispositivos que allí se encuentran. Esto será de gran utilidad para cuando otras personas quieran analizar el sistema fotovoltaico de la aldea.

Capítulo 4. TENDENCIA ENERGÉTICA

4.1 CONSECUENCIAS DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

La energía es un componente fundamental en el desarrollo de las sociedades. El continuo crecimiento demográfico y económico han impulsado el aumento del consumo energético. El inconveniente que esto implica es que actualmente, según las Naciones Unidas, los combustibles fósiles comprenden el 80% del suministro de energía primaria a nivel mundial. Este modelo energético es insostenible por dos motivos principales: El primero de ellos es que las fuentes de energía principales (ver Figura 11) son recursos limitados y si se continúa empleando al ritmo actual, se estima que por ejemplo las reservas mundiales de gas natural se agoten en menos de 50 años. La segunda causa, es la repercusión que tiene la producción de energía en la emisión de gases de efecto invernadero. Según la Agencia Europea de Medio Ambiente, aproximadamente dos tercios de las emisiones de estos gases están ligados a la quema de combustibles fósiles que se usan para calefacción, electricidad, transporte e industria.

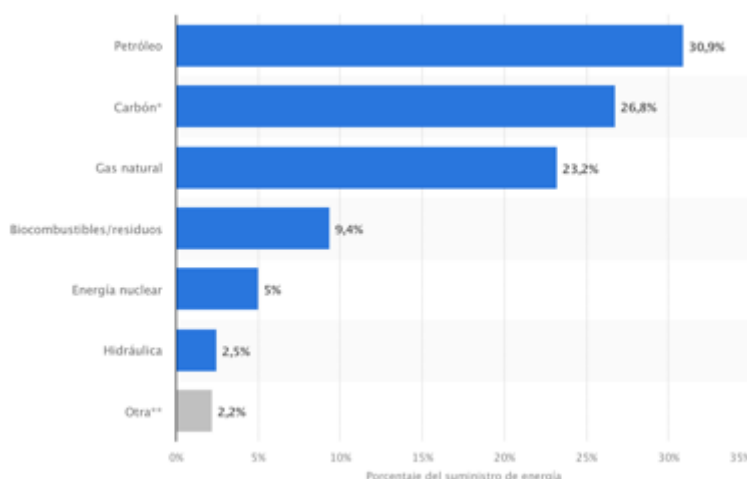
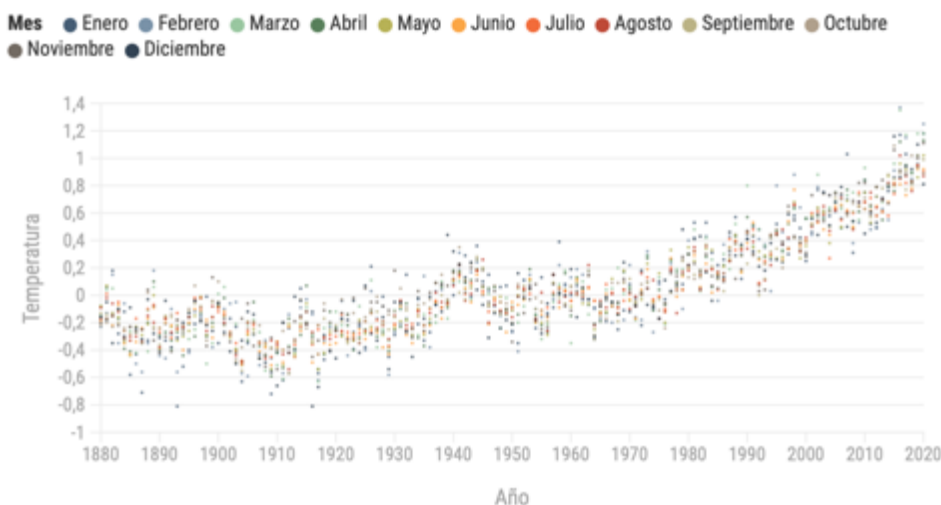


Figura 11: Distribución porcentual del suministro mundial de energía primaria en 2019 según la fuente. Fuente: Statista

En la atmósfera existen de forma natural gases de efecto invernadero que permiten que la temperatura media de la Tierra sea de 15°C, en lugar de 18°C bajo cero. El problema es que la actividad del ser humano está generando un exceso de gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático. Entre las consecuencias del calentamiento global se encuentran: el aumento del nivel del mar debido al deshielo de los glaciares que a su vez provoca inundaciones, y la aparición de fenómenos meteorológicos extremos como vientos y sequías que causan la destrucción de ecosistemas y la extinción de especies. Por estos motivos, el cambio climático lleva siendo en las últimas décadas una emergencia mundial, que llevó a líderes de diferentes países a reunirse en diciembre de 2015 para crear el Acuerdo de París. En El Acuerdo se establecieron objetivos a largo plazo como no permitir que el aumento de la temperatura media mundial alcance los 2°C con respecto a los niveles preindustriales e intentar limitarlo a 1,5°C. Como se puede observar en la Figura 12, el aumento de la temperatura media es cada vez más drástico. Las 193 partes que firmaron el acuerdo pretenden llegar a emisiones netas nulas en 2050, es decir, lograr un equilibrio entre las emisiones de gases de efecto invernadero y la absorción por los sumideros de estos.

La clave para alcanzar los objetivos establecidos es la transición energética, es decir, transformar un sistema energético basado en combustible fósiles en uno basado en fuentes renovables. La electrificación de los consumos es fundamental, ya que existe la posibilidad de descarbonizar la electricidad haciendo que sea generada por fuentes renovables. (Agencia Europea de Medioambiente, 2021).



Fuente: NASA • Gráfico: Oriol Vidal

Figura 12: Temperatura media global por meses (1880-2020). Fuente: La Vanguardia

Según un estudio realizado por U.S. Energy Information Administration's (EIA) (2021), si se mantienen las tendencias tecnológicas y la normativa actual, el consumo de energía global en 2050 habrá aumentado un 50% en comparación con 2020. Los principales motivos de este aumento son el crecimiento demográfico y económico de países no pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), particularmente países asiáticos.

Se prevé que los combustibles líquidos sigan siendo la mayor fuente de energía. No obstante, se espera que la energía renovable que actualmente es la segunda fuente que menor energía proporciona, pase a alcanzar niveles próximos a los de los combustibles líquidos en 2050, como se puede observar en la Figura 13. Las energías renovables están recibiendo un gran respaldo por parte de los gobiernos que participaron en el Acuerdo de París. Según IRENA, las energías limpias junto con un aumento de la eficiencia energética serían las responsables del 90% de la reducción de emisión de dióxido de carbono necesaria para 2050. (U.S. Energy Information Administration (EIA), 2021).

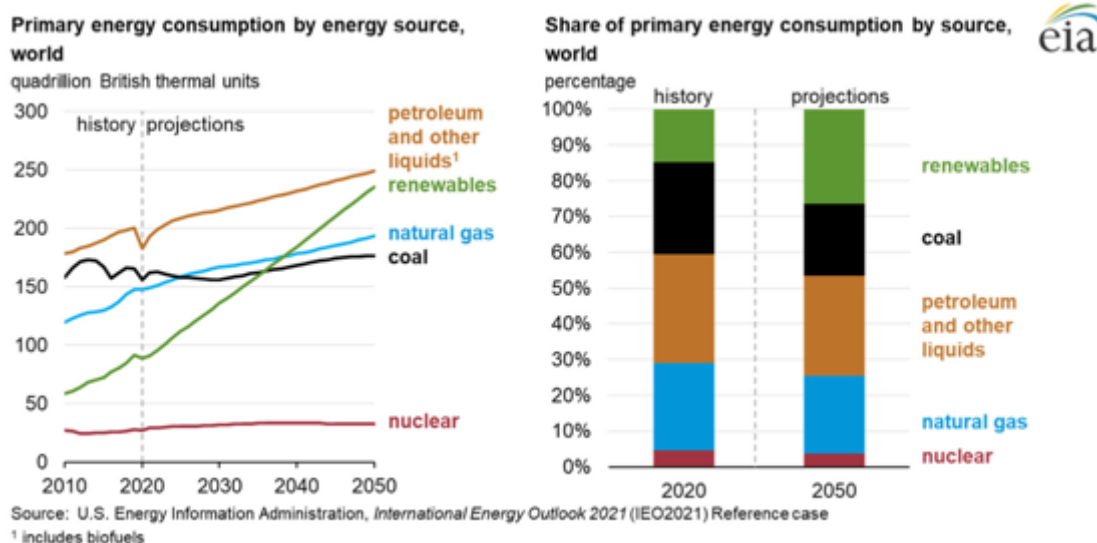


Figura 13: Estimaciones para 2050 de las fuentes de energías renovables. Fuente: U.S.

Energy Information Administration's

4.2 ENERGÍAS RENOVABLES

Según las estadísticas de energías renovables publicados en 2022 de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), en 2021 el 81 % de todas las nuevas instalaciones de energía a nivel mundial provino de fuentes renovables, una cifra que marcó un récord que demuestra la velocidad a la que se están extendiendo las energías mínimamente contaminantes. A finales de 2021, la capacidad de generación renovable mundial alcanzó 3.064 gigavatios (GW), aumentando las reservas de energía en un 9,1%. Si bien la energía hidroeléctrica conforma la mayor parte de la capacidad renovable total del mundo, la energía solar y eólica predominan en cuanto a nueva capacidad de generación. Según datos proporcionados por IRENA (2022c), la capacidad mundial de generación renovable neta en 2021 fue de 257 GW. La energía solar aumentó 133 GW (+19%), seguida de la energía eólica con 93 GW (+13%), la capacidad hidroeléctrica se incrementó en 19 GW (+2%) y la bioenergía en 10 GW (+8%). La energía geotérmica creció 1,6 GW. Estos datos se encuentran representados en la Figura 14.

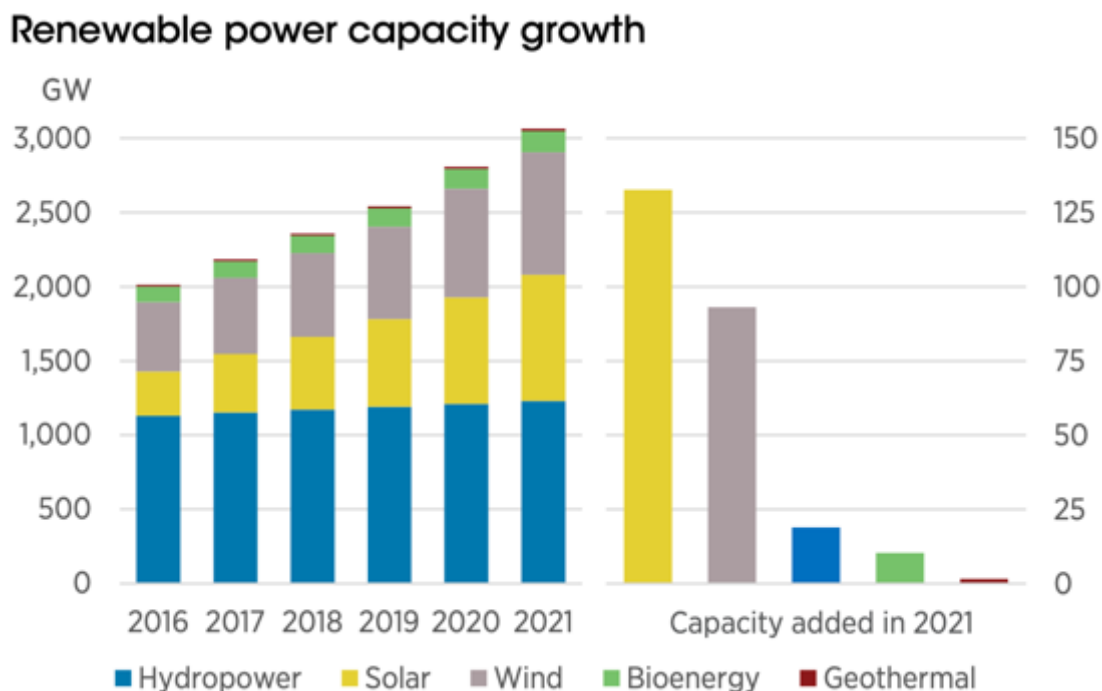


Figura 14: Crecimiento de la capacidad las energías renovables. Fuente: IRENA

En conjunto, la energía solar y eólica proporcionan el 88% de toda la nueva capacidad renovable instalada en 2021. (IRENA, 2022c). A pesar de estar alcanzando un crecimiento jamás antes visto, en el World Energy Transition Outlook de 2022, se explica que la transición energética no está alcanzando el ritmo necesario para conseguir mantener la temperatura mundial por debajo de 1,5°C con respecto a los niveles preindustriales. La energía renovable debe superar el ritmo de crecimiento de la demanda de energía para cumplir los objetivos climáticos. (IRENA, 2022b).

4.3 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La rapidez con la que está creciendo la energía solar y su incursión en el mundo está revolucionando el futuro del planeta. Desde la caída del costo de producir un megavatio hora (MWh) los paneles solares se han convertido en la forma más económica de generar electricidad. Según IRENA, desde 2010, el costo de la energía solar ha disminuido en un 85 %, de \$0,28 a \$0,04 por kWh. Según investigadores del Instituto de Tecnologías de

Massachusetts (MIT), la principal causa de la reducción del coste de la energía solar fotovoltaica han sido las economías de escala y las políticas públicas. Los principales productores de energía solar van a pasar a ser las potencias energéticas de un futuro cercano.

Muchos países ya están involucrados en la industria de la energía solar, siendo China el irrefutable líder. En 2020, el presidente Xi Jinping prometió que China se convertiría en un país neutral en carbono para el 2060. No obstante, el país asiático continúa siendo el mayor emisor de CO₂ del mundo.

Países como Japón y Alemania que en 2020 se encontraban en tercera y cuarta posición respectivamente, como se puede observar en el Figura 15, han demostrado que es viable ser productor de energía solar a pesar de no tener no tener una alta potencia solar. (Gil, 2021).

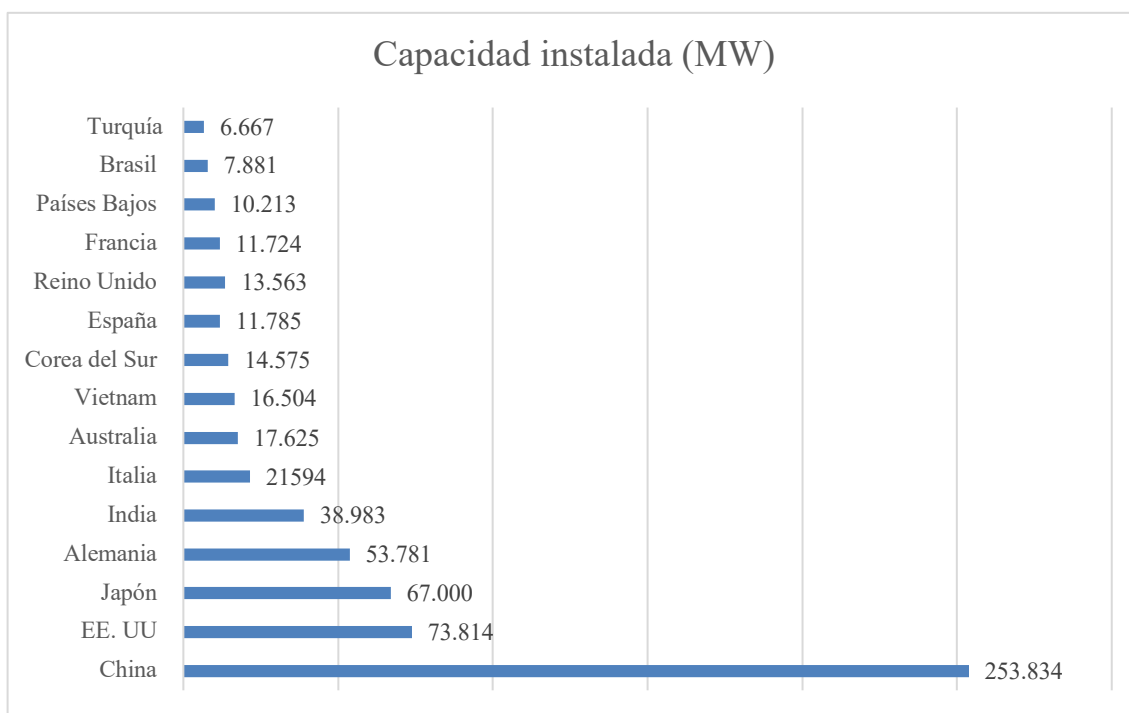


Figura 15: Potencias fotovoltaicas según estadísticas de IRENA en el año 2020.

Capítulo 5. TEORÍA

5.1 *SISTEMA FOTOVOLTAICO*

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos que convierten la energía solar en electricidad utilizable, es decir, en corriente alterna. Los principales componentes son el sistema de paneles solares, la batería, el regulador de carga, el inversor y el medidor bidireccional.

5.1.1 SISTEMAS DE PANELES SOLARES

Un sistema de paneles solares es un conjunto de células solares fotovoltaicas interconectadas que absorben la energía emitida por el sol y la convierten en corriente continua. Actualmente, las células están hechas principalmente de materiales semiconductores, generalmente de silicio. Dado que el silicio puro no transfiere corriente eléctrica, se le añade pequeñas cantidades de fósforo y boro creándose una diferencia de potencial. La parte de silicio con contenido de fósforo se denomina silicio tipo N, cargada negativamente pues contiene un exceso de electrones. Al contrario que esta, el silicio dopado con boro se llama de tipo P y tiene una deficiencia de electrones. Esta diferencia de carga en el módulo solar se encuentra representada en la Figura 16. Cuando la celda solar se expone al sol y captura la energía del sol, los fotones logran desplazar los electrones de la parte cargada negativamente a la parte donde faltaban, aquellos electrones no empleados siguen creando una zona cargada más negativamente haciendo que el proceso vuelva a comenzar. El flujo de electrones genera corriente eléctrica, y el campo eléctrico del módulo solar origina voltaje. (Solar Magazine, 2021)

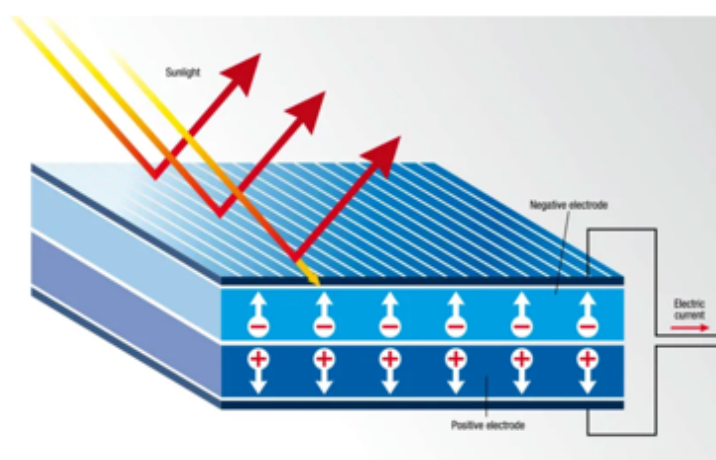


Figura 16: Sección transversal de una célula solar. Fuente: Solar Magazine

5.1.1.1 Tipos de paneles solares fotovoltaicos

Generalmente un panel solar está compuesto por aproximadamente 60 células fotoeléctricas conectadas en seis filas. Existen tres tipos de paneles solares fotovoltaicos, los monocristalinos, los policristalinos y los paneles de capa fina, todos fácilmente diferenciables a simple vista como se puede observar en la Figura 17.

Los paneles monocristalinos están hechos de un solo cristal de silicio cortado en obleas y son fácilmente distinguibles debido a su color negro y las esquinas recortadas en forma de chaflán. El crecimiento de este cristal ha sido controlado para que se forme en una sola dirección, logrando la mejor alineación posible de todos los componentes. La gran ventaja de este tipo de panel es su eficiencia que alcanza resultados de entre el 17% y el 20%, aunque se debe tener en consideración que el proceso de producción requiere grandes cantidades de energía y su costo es alto. Generalmente se emplean en proyectos solares a gran escala y se recomiendan para situaciones en las que el espacio está restringido. (Medina & Neumeier, 2021).

Los paneles policristalinos se diferencian a simple vista de los monocristalinos por su color azul oscuro y sus esquinas en ángulo recto. Están formados por un conjunto de diferentes cristales unidos entre sí, en ocasiones, los fragmentos cristalinos son restos de la producción de paneles monocristalinos. Este proceso de fabricación es más económico y produce menos residuos que el del anterior tipo de panel, causando que el coste final

sea menor. Estas células son menos eficientes pues contienen silicio de peor calidad y la eficiencia máxima que logran obtener es del 16%, es por ello que para producir la misma cantidad de potencia que los paneles monocristalinos, se requiere más espacio. No obstante, tienen una excelente relación de calidad-eficiencia. (Medina & Neumeier, 2021).

El panel solar de capa fina es el más barato de los tres y consecuentemente es el que más se emplea en el sector doméstico. El silicio empleado en su fabricación es el menos puro, lo que resulta en un rango de eficiencia de entre el 11% y el 15%. Este tipo de dispositivo es flexible y se adapta a diferentes superficies, por ello su instalación es más cara, no obstante, sigue siendo el más económico. (Inarquia, 2022)

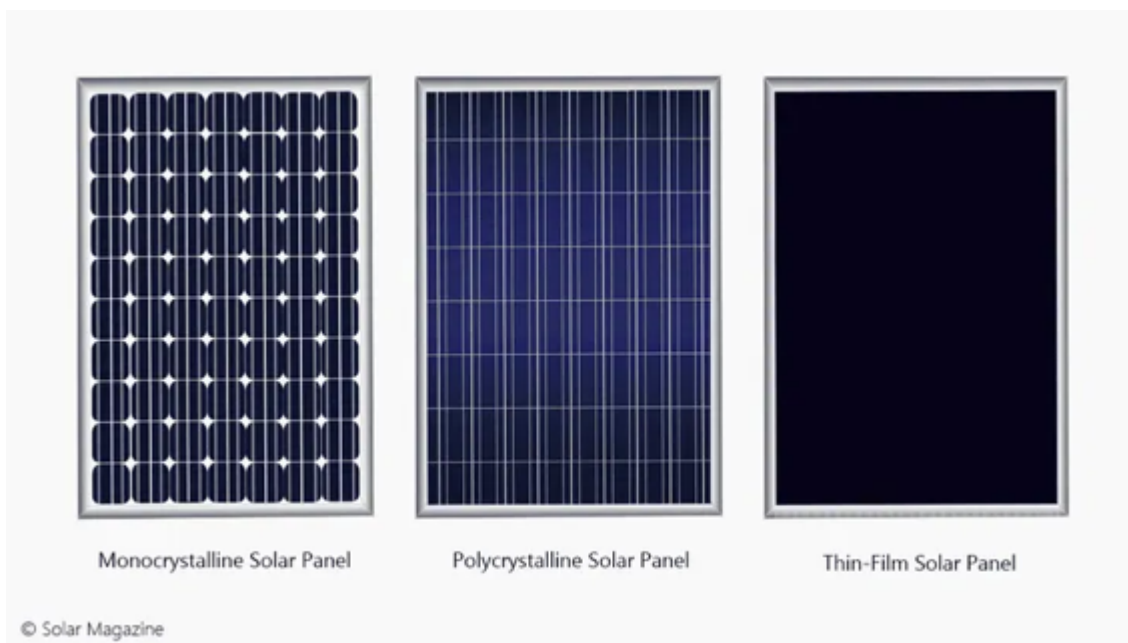


Figura 17: Tipos principales de paneles solares fotovoltaicos. Fuente: Solar Magazine

5.1.1.2 Características técnicas de los paneles solares

En la ficha técnica de un módulo solar se proporcionan los siguientes parámetros:

- Intensidad de cortocircuito (I_{cc} o I_{sc}): Corriente existente cuando el panel está a tensión nula.
- Tensión de circuito abierto (V_{ca} o V_{oc}): Tensión máxima del panel cuando no tiene ninguna carga conectada.

- Corriente en el punto de máxima potencia (I_{mp}): Es la intensidad máxima que puede llegar a tener el panel en unas condiciones estándar de medida.
- Voltaje en el punto de máxima potencia (V_{mp}): Es la tensión máxima que se produce bajo unas condiciones óptimas, si el panel es de 12V o 24V, este parámetro deberá tener un valor entre 15 y 19V y entre 36 y 39V respectivamente. Este parámetro se debe tener en consideración, pues debe superar el voltaje de carga de la batería.
- Potencia máxima (P_{max}): Se obtiene del producto del voltaje y la corriente en el punto de máxima potencia, se mide en vatios pico (W_p)
- Eficiencia (η): Relación entre la potencia eléctrica generada por el panel y la potencia proveniente de la radiación.
- Coeficiente de temperatura de la potencia: Indica el porcentaje de pérdida de potencia por cada grado centígrado que esta aumente con respecto a 25°C.
- Coeficiente de temperatura de la tensión: Indica el porcentaje de pérdida de tensión por cada grado centígrado que esta aumente con respecto a 25°C.
- Coeficiente de temperatura de la intensidad de corriente: Indica el porcentaje de pérdida de intensidad de corriente por cada grado centígrado que esta aumente con respecto a 25°C.

Además de los valores de estos parámetros, en la ficha técnica también se indican las dimensiones y el peso del módulo, y curvas de corriente-tensión a diferentes temperaturas e irradiancias. (Techno Sun, 2022).

5.1.2 INVERSOR

El inversor se encarga de transformar la corriente continua producida por los paneles en corriente alterna para su consumo final. Existen distintos tipos de inversores, una de las múltiples clasificaciones es dependiendo de si se encuentra en una instalación aislada o conectada a red. En caso de ser un sistema conectado a la red eléctrica externa, se requiere identificar la tensión y frecuencia de la red para que el dispositivo cree una corriente de salida senoidal en fase con la de la red. Sin embargo, los inversores aislados producen una tensión que no tiene que ser una tensión senoidal pura, pues muchos consumos no la exigen para su funcionamiento. (SESLab, s.f.).

5.1.3 BATERÍA

Se ocupa de almacenar y regular la electricidad producida, la acumula para posteriormente proporcionarla cuando la demanda supere la generación del momento o en horas en las que no hay luz. Tiene especial protagonismo en los sistemas aislados pues son los que proporcionan la autonomía energética en momentos de menos radiación solar.

5.1.4 REGULADOR DE CARGA

El regulador de carga se encuentra ubicado entre el panel y la batería y es el responsable de controlar la intensidad y el voltaje de carga de la batería. Protege la batería de sobrecargas o descargar demasiado bruscas y es un componente crítico para alargar su vida útil. Existen dos tipos de reguladores de carga que se distinguen por la tensión a la que fuerzan a trabajar a los generadores solares, los PWM y los MPPT. El regulador PWM es básicamente un interruptor que conecta el panel solar a la batería. Su objetivo es bajar la tensión del string hasta alcanzar la de la batería. Por otro lado, el regulador MPPT es más complejo, pues es capaz de identificar el punto de máxima potencia en la curva de corriente-tensión del panel en cualquier momento. (Ver Figura 18) Este punto va cambiando según las condiciones de temperatura o de radiación solar que se estén dando. El MPPT adapta la tensión de entrada de los paneles solares para conseguir el rendimiento óptimo y transforma esa potencia para suministrar la tensión variable requerida por la batería, logrando desacoplar las tensiones de la batería y los generadores. (Victron Energy, 2020).

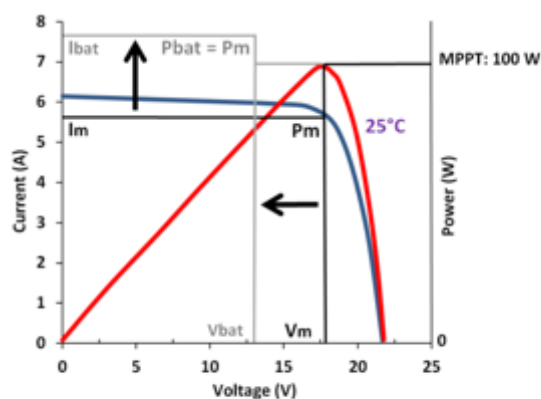


Fig 6: MPPT controller, graphical representation of the DC to DC transformation
 $P_m = V_m \times I_m = 18 \text{ V} \times 5,6 \text{ A} = 100 \text{ W}$, and
 $P_{bat} = V_{bat} \times I_{bat} = 13 \text{ V} \times 7,7 \text{ A} = 100 \text{ W}$

Figura 18: Curva tensión-intensidad que emplea el MPPT. Fuente: Victron Energy.

5.2 TIPOS DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

Existen dos tipos principales de instalación fotovoltaica dependiendo de si se encuentra conectada a la red.

5.2.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A RED

En el caso de la instalación de conexión a red, se pretende reducir el precio de la factura de electricidad, disminuyendo la dependencia de la red y apoyándose en la energía producida por los paneles solares. Es el sistema más común instalado en las viviendas, ya que vertiendo el exceso de producción a la red se obtiene una retribución que se refleja en una reducción del coste de la factura eléctrica mensual.

5.2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS

Los sistemas fotovoltaicos aislados permiten al consumidor ser autosuficiente para la producción energética, por ello son apropiados para zonas rurales donde no hay conexión a la red eléctrica debido al elevado gasto que supondría construir la infraestructura necesaria. Al contrario que en los sistemas conectados a red en los que la instalación de baterías es opcional, en estos casos los acumuladores son necesarios para que almacenen la energía producida sobrante y pueda emplearse en momentos en los que no haya luz. Esto supone un encarecimiento del precio de la instalación ya que es el dispositivo fotovoltaico más caro, y además deben ser reemplazados cada cierto tiempo pues tienen una vida útil más corta que la de los módulos solares.

Un dimensionamiento correcto es crucial para los sistemas fotovoltaicos aislados para garantizar su longevidad y el funcionamiento normal del sistema. Se debe tener un remanente de energía, para asegurar que las baterías no se sobrecarguen. Los principales

factores que se deben determinar y en los que se profundizará más adelante son el consumo energético y el lugar de la instalación. (Guijarro, 2021).

En instalaciones aisladas, a modo de prevención es recomendable disponer de un grupo electrógeno de respaldo para proporcionar energía en caso de varios días de mal tiempo o por algún fallo técnico. Este dispositivo está alimentado por combustible como el diésel o el gas natural que le permite generar electricidad. A pesar de que los generadores de gas cuesten más que los de diésel, los primeros se vuelven competitivos en instalaciones en las que estos dispositivos trabajen más de mil horas al año. Según Manuel Aguilera, Gas Product Manager en HIMOINSA: “pasados cuatro años desde el arranque del proyecto, se garantiza el retorno de inversión. Los costes de propano son inferiores a los del diésel, se reducen las emisiones de CO₂ en un 15% y hasta un 95% las de NO_x y partículas en suspensión”. La combinación de grupos electrógenos y energía renovables se denomina sistema energético híbrido y el grupo electrógeno sólo se enciende cuando la demanda supera la energía renovable producida. (Himoinsa, s.f.).

5.3 RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar es la energía emitida por el sol que se propaga mediante ondas electromagnéticas. Al atravesar la atmósfera esta potencia se atenúa debido a que las moléculas presentes causan difusión, reflexión y absorción. Una vez alcanza la superficie terrestre, parte de la radiación será absorbida y el resto reflejada. Se distinguen tres tipos de radiación solar según la forma en la que arriben en la Tierra: la directa, la difusa y la reflejada. La radiación solar directa llega a la superficie terrestre sin haber sufrido dispersión, simplemente cierta absorción, depende de la nubosidad y de la estación del año. La radiación difusa es la que ha sufrido dispersión, y ha visto su trayectoria alterada por los componentes de la atmósfera. Por último, la radiación reflejada o de albedo, es

aquella fracción de radiación solar que al incidir sobre la superficie terrestre es reflejada por la misma. (Iberdrola, 2021).

5.4 IRRADIANCIA

La irradiancia es la radiación solar medida como potencia por unidad de superficie (W/m^2). La constante solar con valor medio de $1367 \text{ W}/\text{m}^2$, es la irradiancia que experimenta perpendicularmente la parte externa de la atmósfera terrestre. Uno de los factores principales que afectan a la potencia radiante del sol que llega a la superficie terrestre es la distancia entre el planeta y el sol, que varía debido a que la órbita que la Tierra describe es elíptica. Como se muestra en la Figura 19, el perihelio, es decir, el punto donde tiene lugar la mínima distancia entre ambos astros es aproximadamente 15 días tras el solsticio de diciembre. La irradiancia que llega a los paneles solares no solo se ve reducida al atravesar la atmósfera, sino que también depende de la inclinación, la orientación, la suciedad, la nubosidad y la hora del día. Si se midiese la irradiancia por unidad de tiempo, se obtendría la irradiación ($\text{Wh}/\text{m}^2/\text{día}$). (Alonso, 2022).

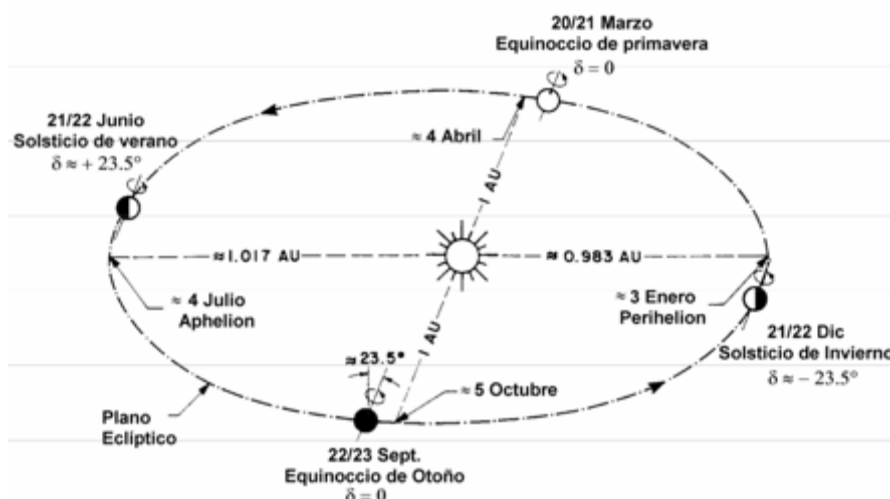


Figura 19: Órbita elíptica de la Tierra alrededor del sol. Fuente: SunFields

Mediante la herramienta de PVGIS se ha obtenido el perfil diario de irradiancia para una inclinación de 10° y un azimut de 0° en Kitui. En la Figura 20 se muestran todos los datos,

siendo $G(i)$ la irradiancia global en W/m^2 , $G_b(i)$ la irradiancia directa en W/m^2 , $G_d(i)$ la irradiancia difusa en W/m^2 y T_{2m} la temperatura ambiente a dos metros del suelo en grados Celsius.

Time(UTC+3)	Results for January				Results for February				Results for March				Results for April			
	G(i)	G _b (i)	G _d (i)	T _{2m}	G(i)	G _b (i)	G _d (i)	T _{2m}	G(i)	G _b (i)	G _d (i)	T _{2m}	G(i)	G _b (i)	G _d (i)	T _{2m}
0:00	0	0	0	19,39	0	0	0	20,68	0	0	0	20,17	0	0	0	19,32
1:00	0	0	0	19,31	0	0	0	20,41	0	0	0	19,89	0	0	0	19,14
2:00	0	0	0	19,24	0	0	0	20,14	0	0	0	19,62	0	0	0	18,96
3:00	0	0	0	19,13	0	0	0	19,85	0	0	0	19,36	0	0	0	18,79
4:00	0	0	0	18,67	0	0	0	19,34	0	0	0	19,06	0	0	0	18,66
5:00	0	0	0	18,23	0	0	0	18,83	0	0	0	18,76	0	0	0	18,52
6:00	0	0	0	17,75	0	0	0	18,32	0	0	0	18,46	0	0	0	18,39
7:00	39,84	12,64	26,34	18,98	29,15	8,22	20,88	19,56	34,45	9,23	25,17	19,45	42,08	9,6	32,41	19,27
8:00	207,48	94,18	112,8	20,22	197	86,78	109,93	20,8	198,48	81,26	116,91	20,44	204,08	80,93	122,83	20,15
9:00	402,73	206,86	195,29	21,45	422,46	229,36	192,48	22,04	418,95	234,41	203,91	21,42	413,21	205,62	206,93	21,03
10:00	401,81	382,19	252,54	22,81	643,87	396,65	246,26	23,68	632,11	367,63	263,51	22,94	603,54	332,07	270,52	22,22
11:00	842,46	575,36	269,86	24,18	845,88	584,03	260,59	25,32	827,39	550,28	275,84	24,45	743,96	486,87	257,92	23,4
12:00	980,63	723,83	254,77	25,54	976	720,12	254,43	26,96	950,57	686,09	263,02	25,96	851,15	563,85	286,36	24,59
13:00	1064,97	773,12	248,38	25,85	1013,44	769,3	242,63	27,39	975,25	721,34	252,41	26,58	841,08	564,04	275,71	25,07
14:00	951,95	732,15	218,41	26,16	970,43	753,44	215,55	27,81	915,27	694,5	219,37	27,21	788,62	542,59	244,78	25,55
15:00	824,3	637,21	185,91	26,47	832,13	633,9	197,01	28,23	783,55	554,84	207,55	27,84	658,6	455,9	201,65	26,03
16:00	618,6	456,75	160,98	25,86	627,89	455,41	171,56	27,66	566,83	392,13	173,82	27,19	462,89	304,02	158,12	25,33
17:00	375,75	255,49	119,75	25,24	387,15	258,83	127,77	27,09	326,89	199,62	126,76	26,55	252,06	148,17	103,47	24,63
18:00	136,07	73,27	56,64	24,63	138,56	75,02	63,36	26,52	95,5	42,85	53,31	25,9	41,19	14,1	27,01	23,92
19:00	0	0	0	23,29	0	0	0	25,08	0	0	0	24,55	0	0	0	22,88
20:00	0	0	0	21,96	0	0	0	23,63	0	0	0	23,2	0	0	0	21,84
21:00	0	0	0	20,62	0	0	0	22,18	0	0	0	21,85	0	0	0	20,8
22:00	0	0	0	20,21	0	0	0	21,68	0	0	0	21,29	0	0	0	20,3
23:00	0	0	0	19,8	0	0	0	21,18	0	0	0	20,73	0	0	0	19,81
TOTAL GLOBAL IRRADIANCE	292,6329167				295,165				279,385				245,915833			
MIN TEMPERATURE					17,75				16,32				18,46			

Time(UTC+3)	Results for May				Results for June				Results for July				Results for August			
	G(i)	G _b (i)	G _d (i)	T _{2m}	G(i)	G _b (i)	G _d (i)	T _{2m}	G(i)	G _b (i)	G _d (i)	T _{2m}	G(i)	G _b (i)	G _d (i)	T _{2m}
0:00	0	0	0	18,67	0	0	0	17,81	0	0	0	17,21	0	0	0	17,59
1:00	0	0	0	18,5	0	0	0	17,57	0	0	0	16,89	0	0	0	17,28
2:00	0	0	0	18,32	0	0	0	17,32	0	0	0	16,58	0	0	0	16,93
3:00	0	0	0	18,19	0	0	0	17,12	0	0	0	16,25	0	0	0	16,59
4:00	0	0	0	17,88	0	0	0	16,73	0	0	0	15,87	0	0	0	16,16
5:00	0	0	0	17,54	0	0	0	16,34	0	0	0	15,5	0	0	0	15,73
6:00	0	0	0	17,24	0	0	0	15,95	0	0	0	15,12	0	0	0	15,3
7:00	45,25	10,52	34,65	18,33	31,81	4,07	27,68	17,06	21,68	2,08	19,56	16,22	25,49	4,43	21,01	16,45
8:00	201,29	90,59	110,36	19,42	161,81	55,49	106,05	18,17	130,58	37,82	92,54	17,33	142,04	49,35	92,46	17,6
9:00	389,19	202	186,55	20,51	319,32	144,69	174,1	19,28	280,92	108,03	172,44	18,44	317,41	142,56	174,35	18,75
10:00	552,93	308,66	243,37	21,66	478,76	246,47	231,51	20,72	440,42	201,24	238,47	20,02	408,56	251,71	246,06	20,45
11:00	658,12	367,08	289,98	22,82	577,99	300,87	276,19	22,17	564	283,28	279,81	23,61	615,91	318,49	296,44	22,15
12:00	715,01	409,03	304,83	23,98	605,28	298,66	305,65	23,62	589,83	284,51	304,37	23,19	659,43	334,32	324,07	23,85
13:00	696,35	394,88	300,36	24,4	575,68	276,74	298,81	24,03	563,7	244,56	316,24	23,61	628,64	312,3	315,35	24,26
14:00	658,61	394,5	263,04	24,82	550,36	270,48	278,99	24,44	492,04	194,32	296,93	24,03	572,78	267,93	303,95	24,67
15:00	527,93	297,39	229,68	25,24	453,82	219,24	233,83	24,85	434,65	181,07	252,88	24,46	476,53	215,21	260,57	25,07
16:00	376,28	211,65	164	24,5	331,1	156,07	174,48	24,29	318,36	127,37	190,47	23,97	359,85	159,72	199,55	24,51
17:00	195,32	91,92	103,06	23,77	171,38	71,38	105,69	23,75	183,91	66,21	117,38	23,48	208,5	82,31	125,86	23,84
18:00	19,36	2,27	17,04	23,03	23,53	1,73	21,73	23,16	46,23	4,96	35,19	22,99	50,66	10,4	40,17	23,38
19:00	0	0	0	22,08	0	0	0	22,3	0	0	0	21,85	0	0	0	22,22
20:00	0	0	0	21,13	0	0	0	21,04	0	0	0	20,73	0	0	0	21,07
21:00	0	0	0	20,18	0	0	0	19,98	0	0	0	19,57	0	0	0	19,91
22:00	0	0	0	19,68	0	0	0	19,26	0	0	0	18,78	0	0	0	19,14
23:00	0	0	0	19,17	0	0	0	18,53	0	0	0	18	0	0	0	18,36
TOTAL GLOBAL IRRADIANCE	209,818333				178,618333				169,096667				189,825			
MIN TEMPERATURE					17,24				15,95				15,12			

Time(UTC+3)	Results for September				Results for October				Results for November				Results for December			
	G(i)	G _b (i)	G _d (i)	T _{2m}	G(i)	G _b (i)	G _d (i)	T _{2m}	G(i)	G _b (i)	G _d (i)	T _{2m}	G(i)	G _b (i)	G _d (i)	T _{2m}
0:00	0	0	0	18,39	0	0	0	19,05	0	0	0	18,64	0	0	0	18,7
1:00	0	0	0	18,02	0	0	0	18,78	0	0	0	18,52	0	0	0	18,6
2:00	0	0	0	17,66	0	0	0	18,51	0	0	0	18,4	0	0	0	18,49
3:00	0	0	0	17,25	0	0	0	18,22	0	0	0	18,29	0	0	0	18,38
4:00	0	0	0	16,79	0	0	0	17,88	0	0	0	18,17	0	0	0	18,15
5:00	0	0	0	16,32	0	0	0	17,54	0	0	0	18,05	0	0	0	17,91
6:00	0	0	0	15,86	0	0	0	17,2	0	0	0	17,93	0	0	0	17,68
7:00	54,77	15,46	39,22	17,19	85,64	31,96	53,55	18,36	81,29	26,56	54,62	18,78	64,23	19,74	44,4	18,84
8:00	216,19	93,94	121,92	18,52	273,01	134,71	137,89	19,52	250,26	104,01	145,89	19,63	243,26	103,47	139,44	20
9:00	429,97	230,08	199,23	19,83	487,99	272,09	215,56	20,68	450,57	212,4	237,5	20,48	432,3	227,83	223,82	21,17
10:00	622,48	365,65	255,86	21,59	685,7	414,43	270,24	22,31	683,22	398,93	283,29	23,65	686,81	425,11	260,71	22,18
11:00	750,78	457,09	292,53	23,33	832,9	538,49	293,36	23,94	850,61	568,14	281,22	22,83	863,2	602,41	259,54	23,19
12:00	800,39	496,59	302,56	25,07	900,03	596,81	301,86	25,56	931,96	658,79	271,8	24	946,14	690,45	254,31	24,2
13:00	760,19	458,44	300,57	25,57	859	555,09	302,62	26,15	902,9	636,91	264,66	24,59	946,01	707,96	236,67	24,55
14:00	708,92	424,44	283,39	26,07	797,12	526,4	269,52	26,73	824,82	597,04	226,57	25,18	864,26	637,22	225,79	24,9
15:00	571,49	333,99	236,62	26,57	623,44	388,72	233,79	27,31	658,22	454,23	203,05	25,77	718,11	528,54	188,54	25,25
16:00	423,73	236,74	186,33	25,87	454,46	284,61	169,17	26,38	463,24	303,52	158,06	24,85	531,34	381,25	149,35	24,55
17:00	235,71	123,57	111,78	25,17	237,79	134,61	102,84	25,45	245,72	146,16	99,23	23,93	300,42	191,34	108,69	23,85
18:00	34,18	11,54	22,57	24,47	13,69	4,36	9,3	24,52	17,25	6,6	10,63	23,02	67,45	36,29	31,08	23,15
19:00	0	0	0	23,24	0	0	0	23,41	0	0	0	22	0	0	0	22,11
20:00	0	0	0	22,01	0	0	0	22,29	0	0	0	20,98	0	0	0	21,07
21:00	0	0	0	20,78	0	0	0	21,17	0	0	0	19,97	0	0	0	20,03
22:00	0	0	0	19,98	0	0	0	20,46	0	0	0					

5.5 GEOMETRÍA SOLAR

Para poder conocer la incidencia de la radiación solar sobre los módulos solares se debe saber la posición del sol, esta viene definida por la altura (α) y el azimut (ψ). La altura solar es el ángulo que forma la recta que une la posición del sol con el punto de observación y el horizonte celestial del observador, varía entre 0° y 90° . Su ángulo complementario es el cenital (θ_z) y si su valor fuera 0° , indicaría que el sol se encuentra en una posición completamente perpendicular. Conforme aumenta su valor el recorrido que tendrá que realizar la radiación a través de la atmósfera incrementa, y por tanto la porción que logra alcanzar la superficie terrestre disminuye. Para poder comparar este recorrido, se definió el concepto de masa de aire (AM) que es el cociente entre la longitud que recorre la luz en la atmósfera entre la distancia que recorrería si el sol se encontrara en el zenit del observador, a una altura solar de $\alpha = 90^\circ$ y por tanto un ángulo cenital de $\theta_z = 0^\circ$. El azimut es el ángulo entre la proyección horizontal del sol y la recta norte-sur del punto referencia, es decir, el meridiano del observador. Se considera que el ángulo 0° es la orientación sur, y el ángulo varía desde 0° hasta $\pm 180^\circ$, siendo positivo hacia el este y negativo hacia el oeste. Todos los ángulos que se acaban de explicar se muestran representados en la Figura 21. (Alonso, 2022).

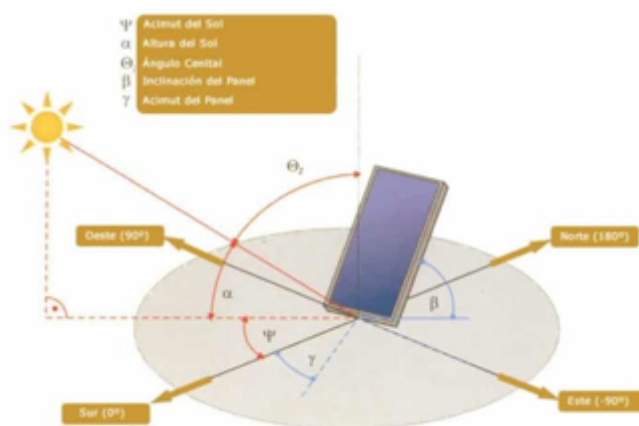


Figura 21: Geometría solar específica para un panel solar fotovoltaico. Fuente:

SunField

5.6 INCLINACIÓN Y AZIMUT DEL PANEL SOLAR

Tanto la inclinación como el azimut, es decir su desviación respecto del sur del panel, tienen un gran impacto en la cantidad de radiación solar que llegará a impactar sobre él. La porción de radiación solar que captarán los módulos solares será óptima si estos se encuentran orientados perpendicularmente a la dirección de la radiación solar. El inconveniente es que el azimut y la altura solar cambian a lo largo del día y a lo largo del año. Existen seguidores solares que logran que los módulos solares se adapten tanto en inclinación como la orientación según la situación del sol. No obstante, su mantenimiento es muy costoso, es por ello que generalmente se emplea una estructura con una inclinación permanente.

Afortunadamente, como Kenia se encuentra en la zona ecuatorial, Kitui exactamente a una latitud de $-1,366^\circ$ y una longitud de $38,012^\circ$, la desviación del ángulo de inclinación óptimo no tiene tanta repercusión sobre la generación como en otros lugares. Con el objetivo de entender esto mejor se ha analizado cómo varía la energía producida al mes para 1 kilovatio pico variando el ángulo de inclinación de 0 a 30° en Kitui y se ha comparado con cómo cambia en Madrid donde la latitud es de $40,420^\circ$ y la longitud es de $-3,692^\circ$. Se obtuvieron las gráficas que se muestran en las figuras 22 y 23, donde se muestra el porcentaje de variación de la energía generada mensualmente con respecto a un ángulo de inclinación de 0° . Según el método experimental, en Kitui la inclinación óptima es de aproximadamente 2° mientras que en Madrid supera los 30° . Otro método para saber la inclinación óptima anual de un panel solar es empleando la siguiente fórmula: $\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 * |\phi|$, donde ϕ es la latitud del lugar.

$$\beta_{opt_{Kitui}} = 3,7 + 0,69 * |-1,366| = 4,6425^\circ$$

$$\beta_{opt_{Madrid}} = 3,7 + 0,69 * |40,42| = 31,5898^\circ$$

La fórmula no permite obtener un ángulo menor de $3,7^\circ$ ya que la latitud va en valor absoluto. No obstante, los valores no difieren demasiado de lo que se observa en la gráficas del método experimental.

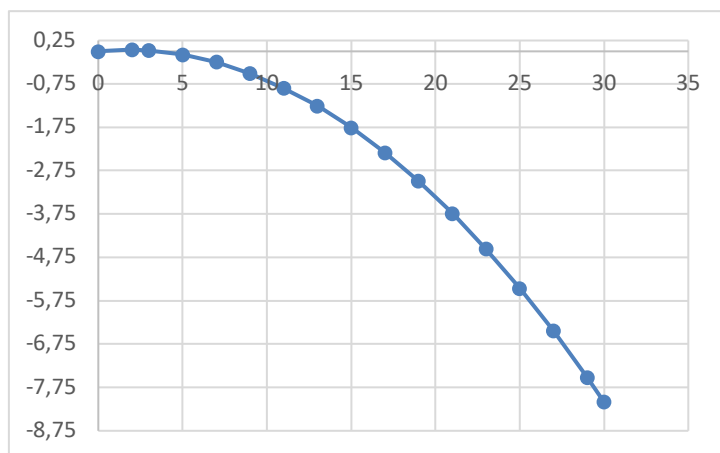


Figura 22: Porcentaje de variación de energía generada mensualmente con respecto al ángulo de inclinación de 0° en Kitui. Fuente: PVGIS

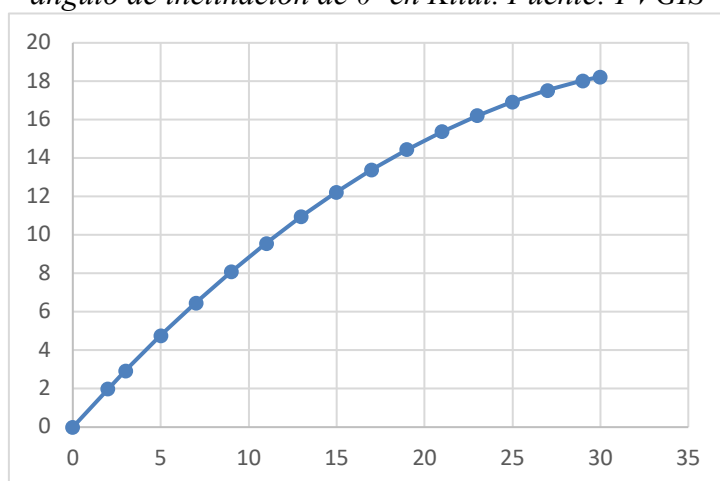


Figura 23: Porcentaje de variación de energía generada mensualmente con respecto al ángulo de inclinación de 0° en Madrid. PVGIS

También se ha comparado cómo varía la energía generada mensualmente si se modifica el azimut desde -45° a 45° en intervalos de 5 grados, y se han obtenido la siguientes gráficas que se muestran en la figuras 24 y 25, donde se observa que en Kitui el azimut óptimo es mayor que 45° y sin embargo en Madrid es de 0° . Merece la pena mencionar que como se ha comentado previamente, si uno se fija en cuánto cambia porcentualmente la producción al variar el ángulo, en Kitui es menor que Madrid, pues se encuentra a menor latitud.

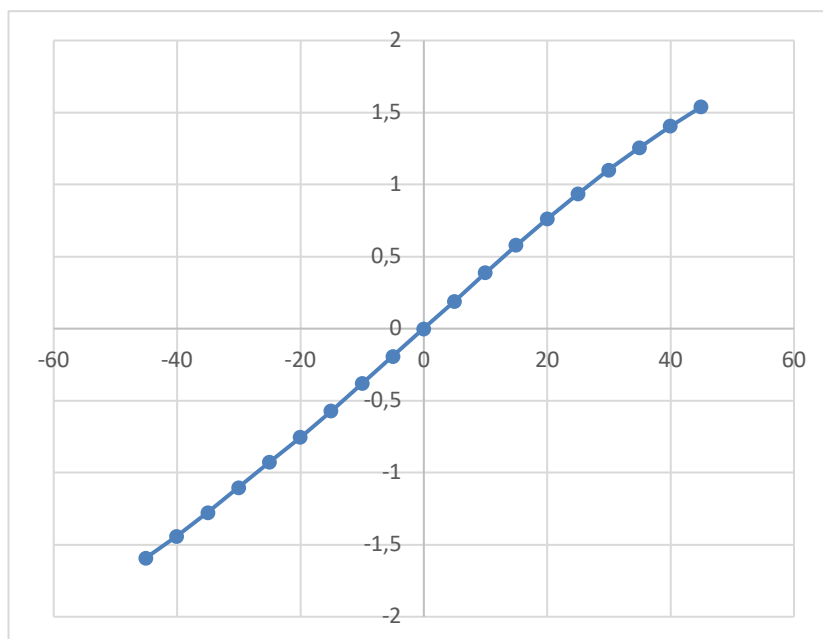


Figura 24: Porcentaje de variación de energía generada mensualmente con respecto a un azimut del panel de 0° en Kitui

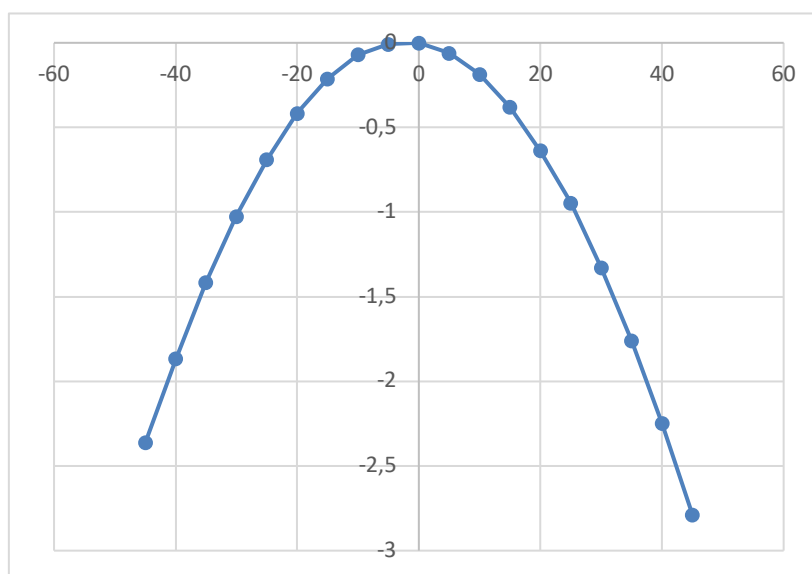


Figura 25: Porcentaje de variación de energía generada mensualmente con respecto a un azimut del panel de 0° en Madrid

Capítulo 6. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

El principal objetivo de este trabajo es diseñar un nuevo sistema fotovoltaico para instalar en Nyumbani Village. Se realizarán varias propuestas de instalaciones que serán calculadas de formas distintas. La primera de ellas se hará partiendo de las necesidades energéticas de la eco aldea, y la segunda partiendo de una potencia nominal establecida. No obstante, primero se analizarán las necesidades energéticas que comprobó el equipo de Energía Sin Fronteras durante su estancia en Nyumbani Village y el perfil de consumo que muestra el software de Sunny Portal de la instalación ya existente.

6.1 NECESIDADES ENERGÉTICAS

El primer paso para dimensionar una instalación fotovoltaica es conocer la necesidad energética del lugar. Para ello se debe realizar un listado de los dispositivos que vayan a requerir electricidad, calcular su potencia unitaria y determinar las horas que se estarán utilizando. Afortunadamente, en 2014 cuando Energía Sin Fronteras fue a Nyumbani Village realizó dos cuadros de consumos que evaluó y corrigió después de su estancia en la aldea. Ambos están divididos según el edificio de la aldea; En el primero de ellos está determinado el número de dispositivos del mismo tipo, la potencia unitaria, la total, y la total con el factor simultaneidad aplicado (ver Tabla 3). El factor de simultaneidad es un valor que tiene en consideración que no todos los dispositivos eléctricos estarán conectados a la vez y permite saber cuánta potencia eléctrica se requiere realmente. La Tabla 4 muestra el segundo cuadro donde se ha determinado el consumo total por horas. Como ESF no consideró el consumo de las casas de la aldea, se ha añadido una estimación de los consumos en ambos cuadros considerando que en cada casa hay tres bombillas LED, y que en un futuro se instalará un frigorífico por cada diez casas y un conjunto de vitrocerámica y horno por cada cuatro.

Primary School						
CONSUMOS	CANT	P unit (w)	P total(w)	Fs	Fu	Total (kW)
ORDENADORES	8	80	640	0,6	1	0,384
ILUMINACION EXTERIOR	3	9	27	0,7	1	0,0189
ILUMINACION STAFFROOM	1	9	9	0,7	1	0,0063
ILUMINACION ALMACENES	1	9	9	0,7	1	0,0063
ILUMINACION MAIN OFFICE	1	9	9	0,7	1	0,0063
FOTOCOPIADORA MAIN OFFICE	1	1200	1200	0,1	1	0,12
ORD PORTATIL MAIN OFFICE	1	80	80	0,4	1	0,032
ILUMINACION CLASES (x10)	40	9	360	0,7	1	0,252

ADMINISTRATION BLOCK						
CONSUMOS	CANT	P unit (w)	P total(w)	Fs	Fu	Total (kW)
Principal Office-ILUMINACIÓN	1	11	11	0,7	1	0,0077
Principal Office-ORD MESA	1	100	100	0,7	1	0,07
Principal Office-IMPRESORA	1	150	150	0,1	1	0,015
Secretary-ILUMINACIÓN	1	11	11	0,5	1	0,0055
Secretary-ORD PORTATIL	1	80	80	0,4	1	0,032
Secretary-IMPRESORA	1	150	150	0,2	1	0,03
Secretary-FOTOCOPIADORA	1	150	150	0,1	1	0,015
Secretary-TEL. FIJO	1	-	-	-	-	-
Secretary-ENCHUFE	1	60	60	0,4	1	0,024
Deputy-ILUMINACION	2	11	22	0,5	1	0,011
Deputy-ENCHUFE	1	60	60	0,4	1	0,024
Staffroom-ILUMINACION	2	11	22	0,5	1	0,011

LIBRARY						
CONSUMOS	CANT	P unit (w)	P total(w)	Fs	Fu	Total (kW)
Biblioteca-ILUMINACION	12	11	132	0,5	1	0,066
Sala de ord-ILUMINACION	3	11	33	0,5	1	0,0165
Sala de ord-ORD PORTATIL	20	80	1600	0,5	1	0,8
Sala de ord-ORD MESA	20	100	2000	0,5	1	1

CLASE A						
CONSUMOS	CANT	P unit (w)	P total(w)	Fs	Fu	Total (kW)
ILUMINACION CLASES (x2)	12	11	132	0,7	1	0,0924
ILUMINACION EXTERIOR	1	11	11	0,7	1	0,0077

CLASE B						
CONSUMOS	CANT	P unit (w)	P total(w)	Fs	Fu	Total (kW)
ILUMINACION CLASES (x2)	12	11	132	0,7	1	0,0924
ILUMINACION EXTERIOR	1	11	11	0,7	1	0,0077

CLASES NUEVAS						
CONSUMOS	CANT	P unit (w)	P total(w)	Fs	Fu	Total (kW)
ILUMINACION CLASES (x2)	12	11	132	0,7	1	0,0924

TALLER Y POLITÉCNICO						
CONSUMOS	CANT	P unit (w)	P total(w)	Fs	Fu	Total (kW)
TALLER Y POLITÉCNICO	2	20000	40000	0,7	1	28

CASAS						
CONSUMOS	CANT	P unit (w)	P total(w)	Fs	Fu	Total (kW)
ILUMINACION	300	9	2700	0,7	1	1,89
FRIGORIFICO	10	90	900	0,7	1	0,63
Cocina - VITROCERÁMICA Y HORNO	25	2300	57500	0,5	1	28,75

Tabla 3: Cuadro de potencia de cada dispositivo eléctrico. Fuente: Energía Sin Fronteras

A continuación, se muestran gráficas en las que se compara la necesidad energética calculada por Energía Sin Fronteras, y la estimación de consumo futuro si se incluyeran los tres dispositivos que posiblemente se instalen en las viviendas en un futuro próximo. En la Figura 26 se puede apreciar un pico en lugar de un valle en la curva roja tras haber añadido el uso del horno o vitrocerámica a la una de la tarde para preparar la comida. Al principio se valoró la opción de añadir en la estimación futura del consumo de las viviendas el uso de la vitrocerámica o el horno sobre las siete de la tarde para elaborar la comida para la cena. No obstante, como a esa hora ya no hay luz solar, la diferencia entre la potencia generada y la demanda era excesiva. Con el fin de optimizar las horas de sol, en Nyumbani Village se propondrá la idea de cocinar la comida de la cena a la vez que la del almuerzo, momento del día en el cual hay bastante irradiancia y por tanto también generación fotovoltaica. En la Figura 27 se ha representado la curva de consumo calculada por ESF y la de generación para una potencia pico de 24,6 kWp, se están considerando 120 paneles de 205 Wp (los que quedaban tras llevarse algunos para el bombeo de agua). En este caso no se han tenido en cuenta la corrección por la temperatura mínima. La energía producida se ha calculado con el software PVGIS, donde se ha especificado que la inclinación de los módulos es de 10°, el azimut es de 0° y el sistema sufre unas pérdidas del 21,5% debido a factores como la suciedad, el polvo, las sombras... El software generó una tabla donde se mostraba la potencia generada para un sistema de 1 kWp por horas, para todos los días del año 2020 que se encuentra adjuntada en el anexo. Con los datos de todo el año se realizó el promedio horario. En la Figura 27 se contempla una clara diferencia entre la potencia generada y la consumida, el huerto solar instalado

por Energía Sin Fronteras es incapaz de suministrarle energía a todos los dispositivos que la organización tuvo en consideración en la realización de su tabla de consumos.

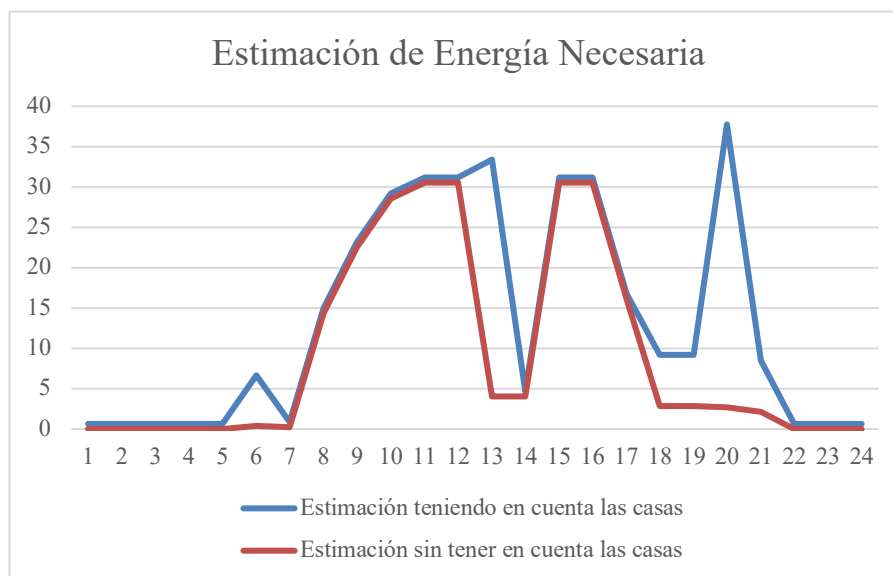


Figura 26: Contraste de la estimación de necesidad energética realizada originalmente por ESF y teniendo en cuenta consumos futuros en las viviendas. Elaboración propia.

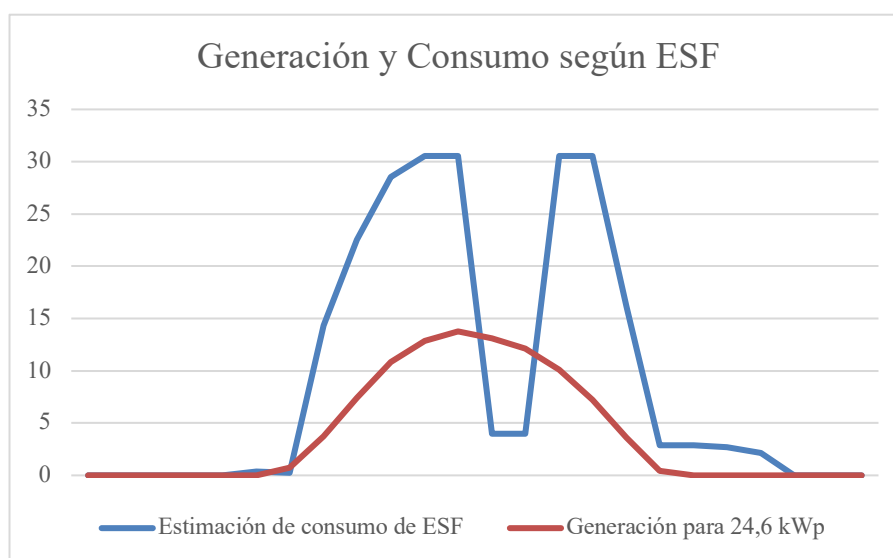


Figura 27: Curva de generación de electricidad y curva de consumo estimada por ESF. Elaboración propia.

TIPO DE CONSUMO	CONSUMO HORARIO DE ENERGÍA (kWh/h)																								TOTAL
	NOCHE					DIA												NOCHE							(kWh/día)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Primary School																									
ORDENADORES								0,384	0,384	0,384	0,384	0,384			0,384	0,384									2,688
ILUMINACION EXTERIOR																		0,019	0,019	0,019	0,019				0,076
ILUMINACION STAFFROOM						0,006	0,006											0,006	0,006	0,006					0,03
ILUMINACION ALMACENES																		0,006	0,006						0,012
ILUMINACION MAIN OFFICE																		0,006	0,006						0,012
FOTOCOPIADORA MAIN OFFICE									0,12	0,12	0,12	0,12			0,12	0,12	0,12								0,84
ORD PORTATIL MAIN OFFICE								0,032	0,032	0,032	0,032	0,032			0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032					0,352
ILUMINACION CLASES (x10)																		0,252	0,252	0,252					0,756
ADMINISTRATION BLOCK																									
Principal Office-ILUMINACIÓN																		0,008	0,008	0,008	0,008				0,032
Principal Office-ORD MESA									0,07	0,07	0,07	0,07			0,07	0,07	0,07	0,07	0,07						0,63
Principal Office-IMPRESORA									0,015	0,015	0,015	0,015			0,015	0,015	0,015								0,105
Secretary-ILUMINACIÓN																		0,006	0,006						0,012
Secretary-ORD PORTATIL								0,032	0,032	0,032	0,032	0,032			0,032	0,032	0,032	0,032	0,032						0,32
Secretary-IMPRESORA								0,03	0,03	0,03	0,03	0,03			0,03	0,03	0,03	0,03	0,03						0,3
Secretary-FOTOCOPIADORA								0,015	0,015	0,015	0,015	0,015			0,015	0,015	0,015	0,015	0,015						0,15



DEFINICIÓN DEL TRABAJO

53



DEFINICIÓN DEL TRABAJO

Tabla 4: Cuadro de potencia consumida por horas de cada dispositivo eléctrico. Fuente: Energía Sin Fronteras

6.2 CURVA DE CARGA Y PERFIL DE CONSUMO

Como se ha mencionado en varias ocasiones anteriormente, Energía Sin Fronteras instaló un huerto solar con una potencia de 44,3 kWp para la escuela politécnica de Nyumbani en 2014. Actualmente la instalación tiene una potencia pico 24,6 kWp y mediante el software Sunny Portal se puede acceder a los datos de rendimiento del sistema instalado y visualizar la potencia y la energía fotovoltaica en tiempo real. Además, el portal genera informes diarios y mensuales del rendimiento de los inversores. La energía que se muestra es la demandada en la aldea que a su vez es igual a la generada, el software no distingue la que acaba estando acumulada en las baterías de la que se entrega en el momento.

Antes de analizar los datos que se han extraído del software, se debe aclarar que no es seguro que la monitorización del portal esté siendo precisa. Además, por motivos de baja calidad de conexión a internet, en algunas ocasiones los datos no se recogen correctamente. Como se comentó en una sección anterior, tres de mis compañeros cuyos TFGs componen junto al mío la instalación completa del sistema fotovoltaico en Nyumbani Village, nuestro director Miguel Riaza, y yo, iremos en el mes de julio a la aldea como voluntarios y se aprovechará la ocasión para comprobar si la monitorización se está haciendo correctamente, además de evaluar los niveles de consumo y comprobar si ha habido modificaciones en cuanto a los dispositivos electrónicos que anotaron los de Energía Sin Fronteras.

Se continuará con el estudio de los datos que ofrece Sunny Portal suponiendo que la información mostrada en el software es precisa y acertada. Se ha analizado el consumo de 2021 ya que es el año finalizado más reciente. **Primero se ha representado en la Figura 28 el consumo en kWh para cada mes**, se observa que el mes en el que más energía se consumió fue en febrero y en abril en el que menos. Seguidamente, se ha representado el perfil de consumo diario medio distinguiendo los días laborables de los del fin de semana tanto para el mes de febrero como para el de octubre, que fue el tercer mes con menor generación.

Comparando las figuras 29 y 30, se puede evaluar que la forma de ambos meses es similar. Para ambos momentos del año el perfil de consumo de un día laboral alcanza el primer pico sobre las 9:00-10:00 de la mañana cuando se comienza a trabajar en el politécnico. En las gráficas se refleja el tiempo de descanso para comer mediante una caída de la demanda entre la 13:00 y las 15:00. Finalmente, esta vuelve a aumentar tras el descanso y disminuye progresivamente hasta las 19:00, hora en la que finaliza la jornada laboral habiéndose acumulado un consumo diario medio de 34 kWh. Los fines de semana como las clases están cerradas el consumo es mucho menor siendo la media diaria de aproximadamente 16 kWh.

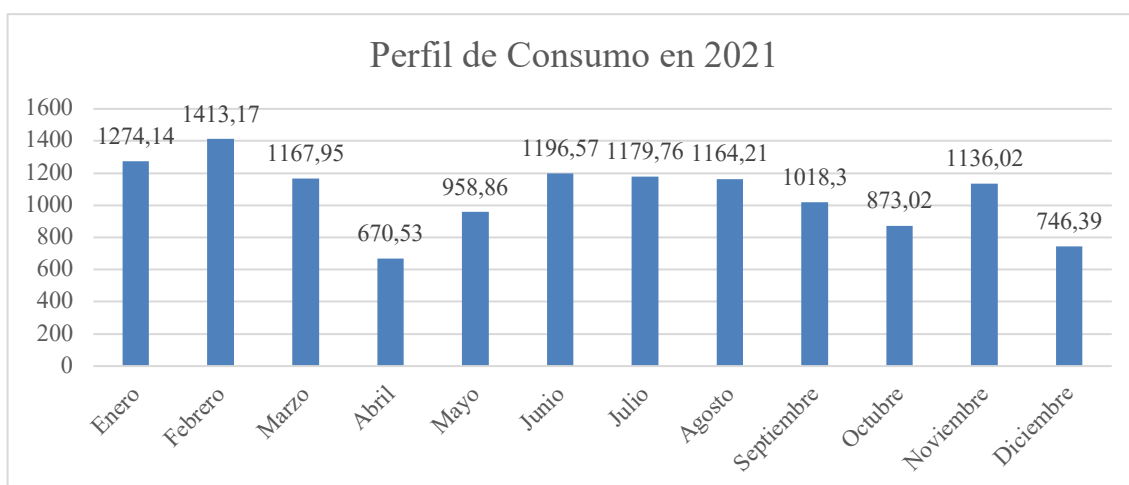


Figura 28: Consumo mensual en kWh de año 2021. Fuente: Sunny Portal

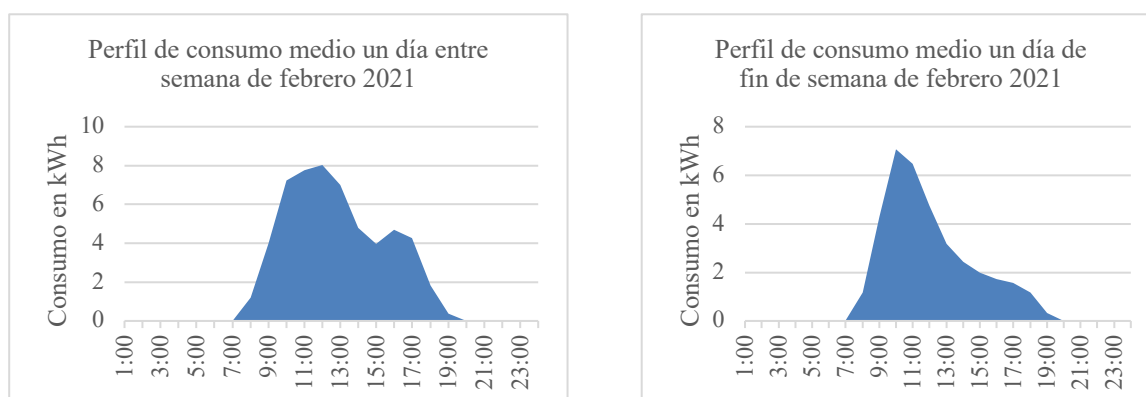


Figura 29: Perfil de consumo medio diario en el mes de febrero distinguiendo los días laborables del fin de semana. Fuente: Sunny Portal

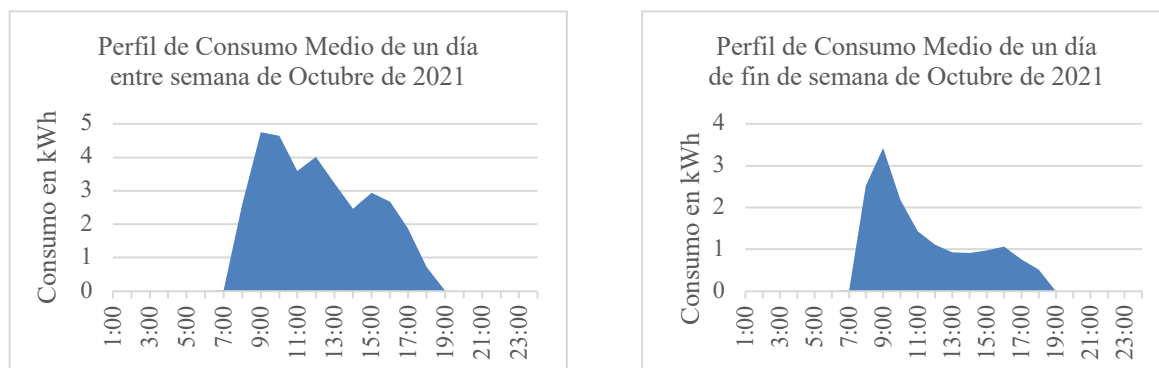


Figura 30: Perfil de consumo medio diario en el mes de octubre distinguiendo los días laborables del fin de semana. Fuente: Sunny Portal

6.3 ANÁLISIS MEDIANTE SUNNY DESIGN DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA ACTUALMENTE INSTALADA

El software Sunny Design de SMA permite desarrollar plantas fotovoltaicas ya sea de conexión a red o en aislada, adaptándolas a las condiciones que el usuario desee y permitiendo su evaluación de viabilidad.

El objetivo del primer proyecto que se ha desarrollado con esta herramienta es reflejar lo que realmente hay en la aldea actualmente. Lo primero que se debe determinar es el lugar donde se va a localizar la instalación, en este caso, Kitui, Kenia. A continuación, la web solicita que el usuario introduzca los datos del perfil de consumo, para esta ocasión se han empleado los generados por el software Sunny Portal para los años 2020 y 2021 que se encuentran representados en la Tabla 5. Seguidamente, se ha introducido que los generadores serán 120 paneles de Powerlight. Como Sunny Design no ofrece el modelo de módulo solar de potencia pico 205 Wp, se ha usado el de 210 Wp, consecuentemente la instalación completa tiene una potencia pico de 25,5 kWp, en lugar de 24,6 kWp. Se ha elegido dos inversores STP 15000TL-30 que son los dos que supuestamente están funcionando en Nyumbani, y gracias a un multicluster se ha podido seleccionar dos equipos trifásicos de Sunny Island 6.0H. En

una de las presentaciones del proyecto del campo solar elaborado por ESF se indicaba que las baterías instaladas en aquel momento eran de gel de 1363 Ah C10 distribuidas en dos bancadas, como de nuevo el software no daba opción al tipo de batería de gel, se ha seleccionado la de plomo y se ha establecido una capacidad de 65 kWh que equivale a 1354 Ah. Finalmente, se ha determinado las características del cableado, para la parte de circuito en corriente continua la sección del cable es de 6 mm², y se ha especificado una distancia de 50 metros, se ha aproximado por exceso, porque como se puede observar en la Figura 34 del apartado 6.5 la distancia máxima cuando había 216 paneles era de 42,75 metros. Para la sección de circuito en alterna se ha fijado una distancia de 10 metros y una sección de 16 mm². El informe generado por Sunny Design se encuentra adjuntado a continuación.

	2020 [kWh]	2021 [kWh]
Enero	1047,04	1274,14
Febrero	978,3	1413,17
Marzo	1130,73	1167,95
Abril	828,76	670,53
Mayo	789,97	958,86
Junio	788,38	1196,57
Julio	766,45	1179,76
Agosto	755,23	1164,21
Septiembre	819,744	1018,3
Octubre	1034,36	873,02
Noviembre	1146,11	1136,02
Diciembre	967,07	746,39
TOTAL	11555,12	12798,92
PROMEDIO ANUAL		12177,02

Tabla 5: Consumo mensual de los años 2020 y 2021 según Sunny Portal. Fuente: Sunny Portal

Proyecto: Perfil de consumo Sunny Portal **Emplazamiento:** Kenia / Kitui
Número del proyecto: ---

Tensión de red: 230V (230V / 400V)

Vista general del sistema

120 x Powerlight PL-210QM-I (09/2008) (Generador FV 1)

Acimut: 180 °, Inclinación: 2 °, Tipo de montaje: Montaje libre, Potencia pico: 25,20 kWp



2 x SMA STP 15000TL-30

Batería



1 x SMA MC-Box-6.3

Baterías: Plomo



6 x SMA Sunny Island 6.0H

Capacidad nominal total: 130,00 kWh (equivalente a 2708Ah con C10)

Disponible: 65,00 kWh (equivalente a 1354Ah con C10)

Datos de diseño fotovoltaicos

Cantidad total de módulos:	120	Rendimiento energético específico*:	1594 kWh/kWp
Potencia pico:	25,20 kWp	Pérdidas de línea (% de la energía):	0,35 %
Número de inversores fotovoltaicos:	2	Carga desequilibrada:	0,00 VA
Potencia nominal de CA de los inversores fotovoltaicos:	30,00 kW	Energía fotovoltaica utilizada:	12.610,64 kWh
Potencia activa de CA:	30,00 kW	Porcentaje de energía fotovoltaica utilizada:	31,4 %
Relación de la potencia activa:	119 %	Porcentaje de energía fotovoltaica en el suministro de energía (a lo largo del día):	105,6 %
Energía fotovoltaica máx. disponible*:	40.165 kWh	Grado de cobertura solar medio anual:	100 %
Factor de aprovecham. de energía:	100 %		

Firma

*Importante: Los valores de rendimiento que se muestran constituyen solo una estimación y se generan de forma matemática. SMA Solar Technology AG no asume la responsabilidad del valor real del rendimiento, que puede diferir de los valores aquí mostrados debido a circunstancias externas como por ejemplo, módulos sucios o variaciones en su rendimiento.

Diseños de los inversores

Proyecto: Perfil de consumo Sunny Portal

Número del proyecto:

Emplazamiento: Kenia / Kitui

Temperatura ambiente:

Temperatura mínima: 15 °C

Temperatura de diseño: 25 °C

Temperatura máxima: 32 °C

Subproyecto Subproyecto 1

2 x SMA STP 15000TL-30 (Parte de la planta 1)

Potencia pico:	25,20 kWp
Cantidad total de módulos:	120
Número de inversores fotovoltaicos:	2
Potencia de CC (cos φ = 1) máx.:	15,33 kW
Potencia activa máx. de CA (cos φ = 1):	15,00 kW
Tensión de red:	230V (230V / 400V)
Ratio de potencia nominal:	122 %
Factor de dimensionamiento:	84 %
Factor de desfase cos φ :	1
Horas de carga completa:	1338,8 h



SMA STP 15000TL-30

Datos de diseño fotovoltaicos

Entrada A: Generador FV 1

30 x Powerlight PL-210QM-I (09/2008), Acimut: 180 °, Inclinación: 2 °, Tipo de montaje: Montaje libre

Entrada B: Generador FV 1

30 x Powerlight PL-210QM-I (09/2008), Acimut: 180 °, Inclinación: 2 °, Tipo de montaje: Montaje libre

	Entrada A:	Entrada B:	
Número de strings:	2	2	
Módulos fotovoltaicos:	15	15	
Potencia pico (de entrada):	6,30 kWp	6,30 kWp	
Tensión de CC mín. INVERSOR (Tensión de red 230 V):	150 V	150 V	
Tensión fotovoltaica normal:	✓ 401 V	✓ 401 V	
Tensión mín.:	380 V	380 V	
Tensión de CC (Módulo fotovoltaico): máx.	1000 V	1000 V	
Tensión fotovoltaica máx.	✓ 559 V	✓ 559 V	
Corriente de entrada máx. por entrada de regulación del MPP:	33 A	33 A	
Corriente máx. del generador:	✓ 14,6 A	✓ 14,6 A	
Corriente de cortocircuito máx. por entrada de regulación del MPP:	43 A	43 A	
Corriente máx. de cortocircuito FV	✓ 16,0 A	✓ 16,0 A	

Compatible con FV/inversor

Este inversor incluye SMA ShadeFix. SMA ShadeFix es un software para inversores patentado que optimiza de forma automática el rendimiento de las plantas fotovoltaicas en cualquier situación. También con sombra.

Dimensionado del cableado

Proyecto: Perfil de consumo Sunny Portal

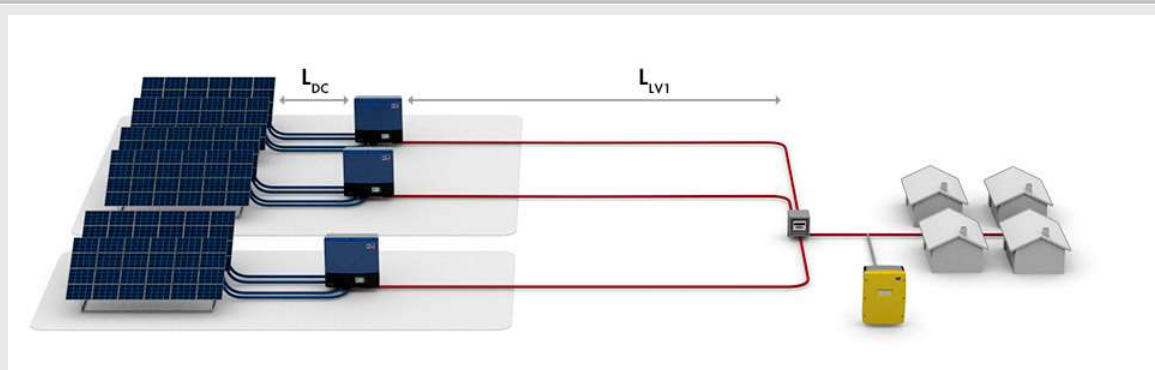
Emplazamiento: Kenia / Kitui

Número del proyecto:

Vista general

	✓ CC	✓ BT	✓ Total
Pérdida de potencia en funcionamiento nominal	190,75 W	74,27 W	265,02 W
Pérdida relativa de potencia en funcionamiento nominal	0,65 %	0,26 %	0,91 %
Longitud total del cable	800,00 m	20,00 m	820,00 m
Secciones de cable	6 mm ²	6 mm ²	6 mm ²

Gráfico



Cables de CC

		Material de los cables	Longitud simple	Sección	Caída de tensión	Pérdida relativa de potencia	
Subproyecto 1							
	2 x SMA STP 15000TL-30 Parte de la planta 1	A	Cobre	50,00 m	6 mm²	2,6 V	0,65 %
		B	Cobre	50,00 m	6 mm²	2,6 V	0,65 %

Cables LV1

	Material de los cables	Longitud simple	Sección	Resistencia de línea	Pérdida relativa de potencia
Subproyecto 1					
 2 x SMA STP 15000TL-30 Parte de la planta 1	Cobre	10,00 m	6 mm ²	R: 9,556 mΩ XL: 0,750 mΩ	0,26 %

Los resultados mostrados son valores aproximados basados en la información general del usuario sobre posibles resultados de servicio. Los resultados se determinan matemáticamente. Los resultados de servicio reales dependen en gran medida de las condiciones climáticas reales, de la eficiencia real y de las condiciones operativas de los componentes del sistema, así como del comportamiento de consumo particular, y pueden diferir de los resultados calculados. Por esta razón, SMA Solar Technology AG no asume responsabilidad alguna si los resultados calculados difieren de los resultados operativos reales.

Análisis de energía y potencia del sistema

Proyecto: Perfil de consumo Sunny Portal

Emplazamiento: Kenia / Kitui

Número del proyecto:

Potencia

✓ Sistema compatible

Potencia nominal de CA del inversor fotovoltaico/sistema de almacenamiento: 1,09



Potencia nominal de CA del grupo electrógeno o sistema de baterías: ---

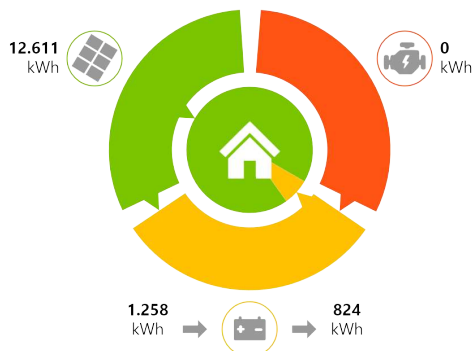
Capacidad de almacenamiento útil: 65 kWh (1,8 d)



Potencia nominal de CA total del sistema:	57,6 kW
Potencia nominal de CA del inversor fotovoltaico:	30 kW
Potencia nominal de CA del sistema de baterías:	27,6 kW
Potencia nominal de CA del grupo electrógeno:	---
Exceso de potencia:	0 kW
Déficit de energía:	0 kWh
Potencia nominal de CA del inversor fotovoltaico/sistema de almacenamiento:	1,09
Potencia nominal de CA del grupo electrógeno o sistema de baterías:	---
Capacidad de almacenamiento útil:	65 kWh
Autonomía:	1,8 d
Grado de cobertura solar medio anual:	100 %

Energía

Distribución de la energía



Consumo de energía anual:	12.177 kWh
Energía fotovoltaica máx. disponible:	40.165 kWh
Energía fotovoltaica utilizada:	12.611 kWh
Energía fotovoltaica consumida directamente:	11.353 kWh
Energía fotovoltaica almacenada temporalmente:	1.258 kWh
Producción de energía anual del grupo electrógeno:	0 kWh
Flujos anuales de capacidad nominal de la batería:	10
Consumo anual de combustible:	0 l

Los resultados mostrados son valores aproximados basados en la información general del usuario sobre posibles resultados de servicio. Los resultados se calculan matemáticamente basándose en suposiciones estandarizadas. Los resultados de servicio reales dependen en gran medida de las condiciones de irradiación reales, de la eficiencia real y de las condiciones operativas de los grupos electrógenos, así como del comportamiento de consumo particular, y pueden diferir de los resultados calculados. POR ESTA RAZÓN, SMA SOLAR TECHNOLOGY AG NO ASUME RESPONSABILIDAD ALGUNA EN CASO DE QUE EL RENDIMIENTO SEA MENOR SI LOS RESULTADOS DE SERVICIO REALES DIFIEREN DE LOS CALCULADOS.

El rendimiento específico de una instalación de módulos solares fotovoltaicos determina cuánta energía en kilovatio hora (kWh) se produce por cada kilovatio pico (kWp) en un año. Este indicador depende de factores como la ubicación de la planta fotovoltaica, los datos meteorológicos, la orientación de los módulos, el modelo de panel y el balance de eficiencia de la planta. El software de diseño de SMA ha estimado que el rendimiento energético específico en Kitui es de 1594 kWh/kWp, por tanto, el huerto solar instalado por ESF de 24,6 kWp puede producir 39.212,4 kWh. El cálculo que se ha realizado es el siguiente:

$$1594 \frac{kWh}{kWp} * 24,6 kWp = 39.212,4 kWh$$

Como el dato de consumo anual que se ha establecido es de 12.177,02 kWh de antemano se sabía que la instalación era capaz de proveer suficiente. En el análisis de energía y potencia generado por Sunny Design muestra que la energía fotovoltaica máxima disponible es de 40.165 kWh anuales, esta es mayor que la calculada porque como se ha explicado previamente, los paneles que se han tenido que emplear en el diseño son de 210 Wp en lugar de 205 Wp, siendo la potencia pico de 25,2 kWp. Del total de energía utilizada, el 90% es consumida directamente y el 10% restante antes de ser consumida se almacena en las baterías.

6.4 DISEÑO PARTIENDO DE UNA POTENCIA NOMINAL ESTABLECIDA

6.4.1 RENDIMIENTO DE LOS PANELES SOLARES

Todos los sistemas eléctricos pierden cierta energía en forma de calor debido al efecto Joule. No obstante, en el caso de los paneles solares la potencia pico de salida que es la que viene indicada en su ficha técnica sólo se da bajo las siguientes condiciones: una radiación solar de 1000 W/m², una temperatura ambiente de 25°C y un espectro AM es de 1,5, estas son denominadas las condiciones STC (*Standard Test Condition*). Sin embargo, estas no son las

condiciones en las que se suelen encontrar los módulos fotovoltaicos generalmente. (EnchufeSolar, 2022).

En la Figura 31 se ha representado la irradiancia global media de cada mes por horas en Kitui. Según el promedio de los datos recogidos por PVGIS dentro de una serie temporal de varios años, sólo se alcanzan los 1000 W/m^2 de irradiancia a medio día durante los meses de enero y febrero. El hecho de que la irradiancia suela ser inferior a la de las condiciones de prueba de laboratorio, causa que la potencia de salida de los módulos sea menor que la de STC.

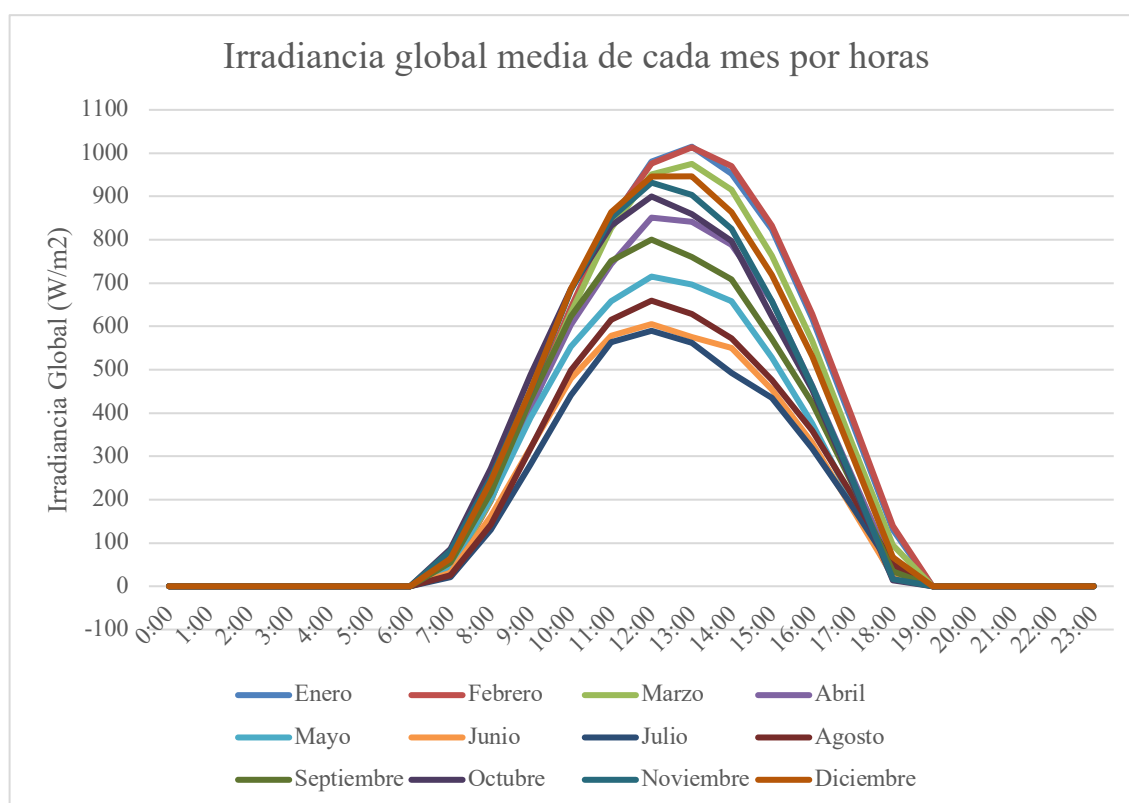


Figura 31: Irradiancia global media de cada mes por horas en Kitui. Fuente: PVGIS

Otro factor que afecta al rendimiento de los paneles solares es la temperatura. Como ya se explicó en apartados anteriores, los módulos solares están formados de silicio, este material semiconductor modifica sus propiedades según la temperatura ambiente, reduciéndose su

tensión conforme esta aumenta, y por tanto produciendo menos energía. En la Figura 32 se observa cómo varía el rendimiento con respecto a la temperatura. En la ficha técnica de los paneles se indica un coeficiente de temperatura de la potencia máxima, esto indica la pérdida porcentual por cada grado centígrado de variación con respecto a 25°C. Este coeficiente suele tener un valor entre $-0,2\%/^{\circ}\text{C}$ y $-0,5\%/^{\circ}\text{C}$, cuanto menor sea este, mejor eficiencia mostrará el módulo. (EnchufeSolar, 2022).

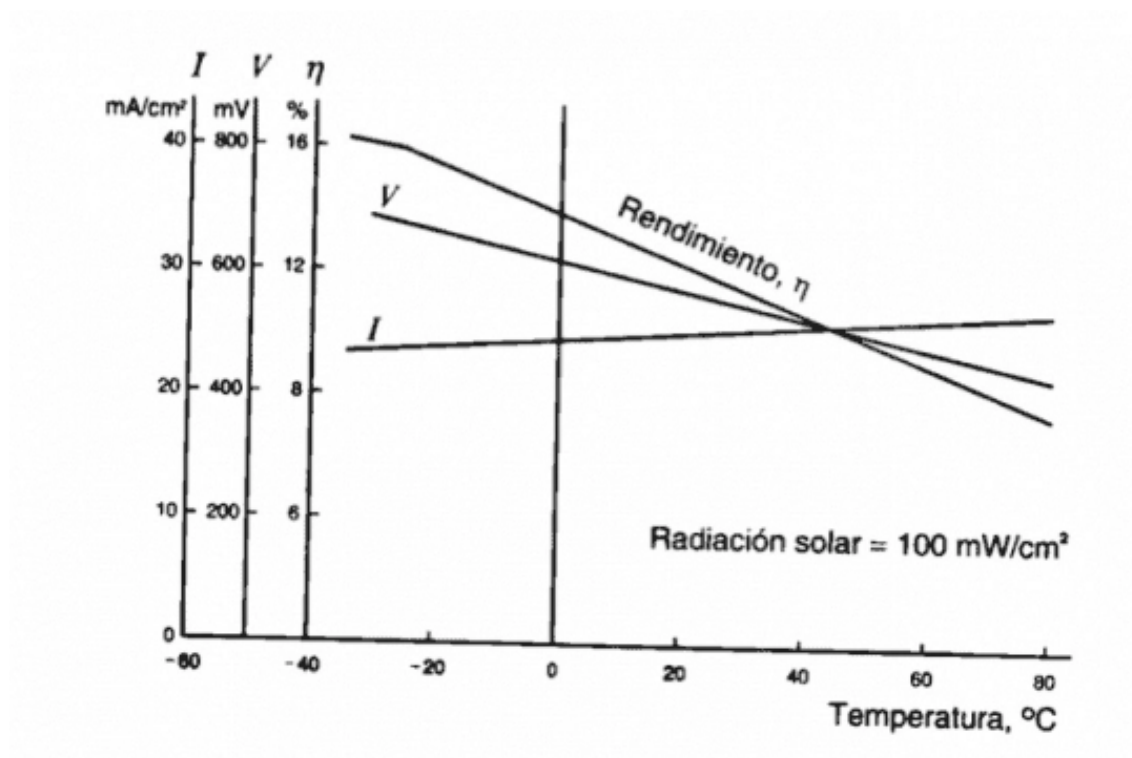
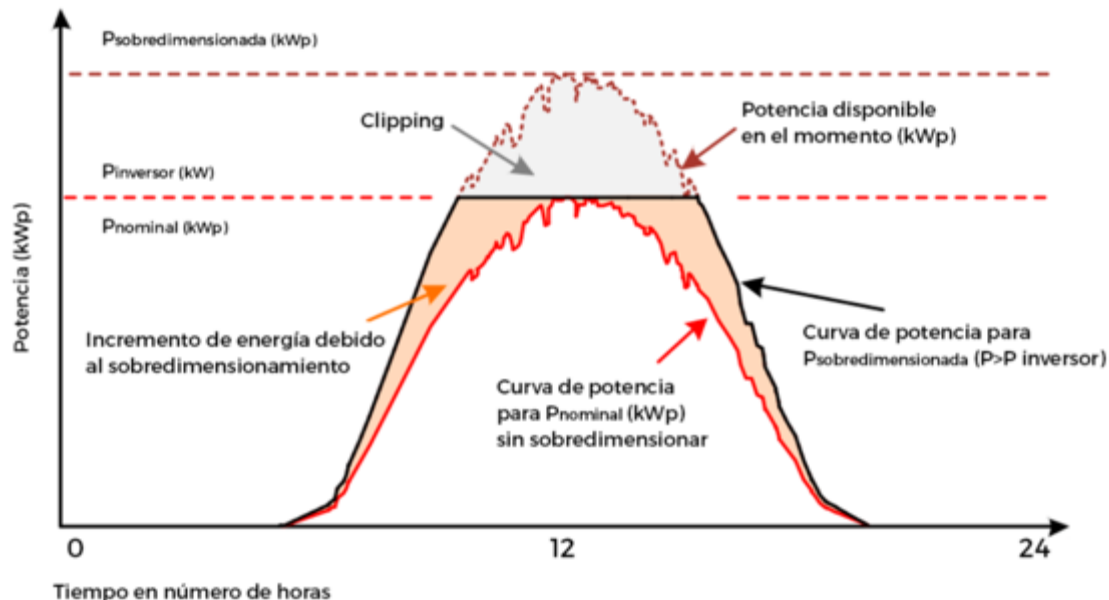


Figura 32: Rendimiento de un módulo solar en función de la temperatura bajo las mismas condiciones de radiación. Fuente: SunFields

6.4.2 SOBREDIMENSIONAMIENTO

Los sistemas fotovoltaicos se diseñan con cierto sobredimensionamiento con respecto al inversor, esto significa que se decide instalar mayor potencia pico de los paneles solares que la potencia nominal del inversor. Esto se hace por dos motivos principales: El primero de ellos es que como se acaba de explicar en el apartado anterior, los módulos solares no suelen

alcanzar la potencia pico indicada en su ficha técnica porque no se encuentran en condiciones STC. El segundo es que los inversores son capaces de adaptar su tensión para que la potencia entregada por los paneles no supere la nominal del dispositivo. El efecto clipping consiste en cortes en la producción de energía cuando los generadores producen mayor potencia que la nominal del inversor, esto se entiende mejor en la Figura 33. El incremento de energía producida durante el resto del día gracias al sobredimensionamiento (zona sombreada en naranja en la figura) compensa las pérdidas de las horas punta. Se trata de no superar un 30% de sobredimensionamiento. (Amara-e, 2021).



*Figura 33: Curva de generación de un sistema fotovoltaico. Fuente Amara-e
 condiciones de radiación. Fuente: SunFields*

6.4.3 CÁLCULOS DE LA PRODUCCIÓN

Se ha decidido diseñar tres instalaciones cada una de ellas con una potencia nominal de 45kW, 90kW y 250 kW con un sobredimensionamiento del 20%, por tanto, la potencia pico de los módulos solares será aproximadamente de 54 kWp, 108 kWp y 300 kWp respectivamente. Para las dos primeras instalaciones se ha pensado en emplear inversores

Sunny Tripower de 15 kW, para la primera de ellas con tres será suficiente y para la segunda se necesitarán seis. El sistema de mayor potencia se ha diseñado pensando que se instalarán diez inversores Sunny Tripower de 25 kW cada uno.

Para decidir cuántos módulos solares se van a instalar, se debe conocer la tensión asignada a la entrada del inversor para así calcular el número de paneles conectados en serie, es decir, cuántos forman un string. Para realizar este cálculo se ha comparado las temperaturas mínimas de la Figura 20, y se ha decidido operar considerando una temperatura mínima de 15°C en Kitui. Además, se han extraído los siguientes datos de las fichas técnicas del módulo solar y del inversor:

<u>CARACTERÍSTICAS DEL PANEL FOTOVOLTAICO</u>	
<i>Amerisolar AS-6M144-HC</i>	
Tensión a la máxima potencia (V _{mp})	41,6
Coefficiente de temperatura (V _{OC}) %/°C	-0,28
Tensión en circuito abierto (V _{oc})	50

<u>CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR</u>	
<i>Sunny Tripower 15000TL</i>	
Rango de tensión MPP (V)	240-800
Tensión asignada de entrada (V)	600
Potencia pico de los paneles (W)	445

MAX PÉRDIDAS	1,50%
TEMP MIN EN NYUMBANI (°C)	15

Tabla 6: Datos del panel solar y del inversor que se han empleado en los cálculos.

Elaboración propia.

Antes de nada, se calculará la tensión adicional que debe considerarse debido a que en Kitui la temperatura mínima es inferior a 25°C. Se comenzará averiguando cuántos voltios

aumenta la tensión por cada grado centígrado que supere los 25°C, y la variación de temperatura máxima por debajo de 25 °C de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} & \text{Coeficiente de temperatura en } V/^{\circ}C \\ & = \text{Tensión } V_{OC} * \text{Coeficiente de temperatura} = V_{OC} * T_{V_{OC}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Variación de temperatura } (\Delta T) \\ & = \text{Temperatura mínima en Nyumbani Village} - 25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Tensión adicional } (V_{adicional}) \\ & = \text{Variación de temperatura} \\ & * \text{Variación de tensión en voltios función de la temperatura} \end{aligned}$$

$$V_{adicional} = \Delta T * V_{OC} * T_{V_{OC}}$$

Una vez se sabe la tensión máxima sumando la tensión adicional y la máxima que se especifica en la ficha técnica, se puede calcular el número de paneles por string dividiendo la tensión de entrada del inversor entre la última tensión calculada. Las fórmulas son las siguientes:

$$\text{Tensión máxima teniendo en cuenta la temperatura mínima} = V_{adicional} + V_{mp}$$

Nº paneles por string

$$= \frac{\text{Tensión asignada de entrada del inversor}}{\text{Tensión máxima teniendo en cuenta la temperatura mínima}}$$

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 7:

	-0,14
Coeficiente de temperatura en V/°C	
Variación de temperatura con respecto a 25°C	-10,00
$\Delta T * \text{Coef de temp}$	1,40
V _{mp} teniendo en cuenta la temp min (V)	43,00

En mi string lo ideal es que tenga (V):	609
Nº paneles por string	14

Tabla 7: Cálculo del número de paneles por string. Elaboración propia.

Con el fin de saber cuánto será la potencia máxima en condiciones STC, se calculará la potencia total en cada string y el número de strings necesarios. Las fórmulas empleadas para los cálculos que se muestran en las Tablas 8, 9 y 10 son los siguientes:

$$\text{Potencia de cada string} = \text{Nº paneles por string} * \text{Potencia pico de los paneles}$$

$$\text{Nº de strings necesarios} = \frac{\text{Potencia pico total}}{\text{Potencia de cada string}}$$

Como el programa Sunny Design diseña todos los inversores de la instalación con la misma configuración, se ha adaptado el número total de paneles para que sea múltiplo del número de inversores y del número de paneles por cada string. Consecuentemente, el sobredimensionamiento acabará siendo del 25% para los tres sistemas. Para conocer estas potencias pico se ha realizado el siguiente cálculo:

$$\text{Potencia pico de la instalación}$$

$$= \text{Nº strings ajustado para ser múltiplo del nº de inversores} \\ * \text{Nº paneles por string} * \text{Potencia pico de los paneles}$$

Potencia de cada string (W)	6.230
Nº de strings en la instalación exacto	8,67
Nº de strings ajustado para ser múltiplo del nº de inversores	9
Potencia pico de la instalación (Wp)	56.070
Sobredimensionamiento	1,25
Nº paneles	126,00

Tabla 8: Cálculo de la potencia pico para la instalación de 45 kW de potencia nominal.

Elaboración propia.

Potencia de cada string (W)	6.230
Nº de strings en la instalación exacto	17,34
Nº de strings ajustado para ser múltiplo del nº de inversores	18
Potencia pico de la instalación (Wp)	112.140
Sobredimensionamiento	1,25
Nº paneles	252,00

Tabla 9: Cálculo de la potencia pico para la instalación de 90 kW de potencia nominal.

Elaboración propia.

Potencia de cada string (W)	6.230
Nº de strings en la instalación exacto	48,15
Nº de strings ajustado para ser múltiplo del nº de inversores	50
Potencia pico de la instalación (Wp)	311.500
Sobredimensionamiento	1,25
Nº paneles	700,00

Tabla 10: Cálculo de la potencia pico para la instalación de 250 kW de potencia nominal.

Elaboración propia.

6.5 CÁLCULO DE LA SECCIÓN DEL CABLEADO

A continuación, se medirá la distancia existente entre el panel más alejado y el inversor en la instalación realizada por Energía Sin Fronteras cuando había 216 módulos solares, de este modo se tendrá cierto orden de magnitud para realizar una estimación. Utilizando la herramienta de Google Earth que ofrece la posibilidad de medir distancias, se ha seleccionado un punto de partida en el contenedor de inversores y un punto final en la fila de módulos más alejada. El resultado obtenido es de 42,75 metros como se observa en la Figura 34. El número de módulos necesarios para las tres instalaciones propuestas es de 126, 252 y 700, la última de ellas probablemente no se organizará en seis filas como hizo ESF ya que las filas medirían más de 100 metros y la longitud de los cables tendría que ser bastante extensa. Sin embargo, para las dos primeras esa disposición puede ser apropiada, por ello se optará por una distancia de 50 metros.

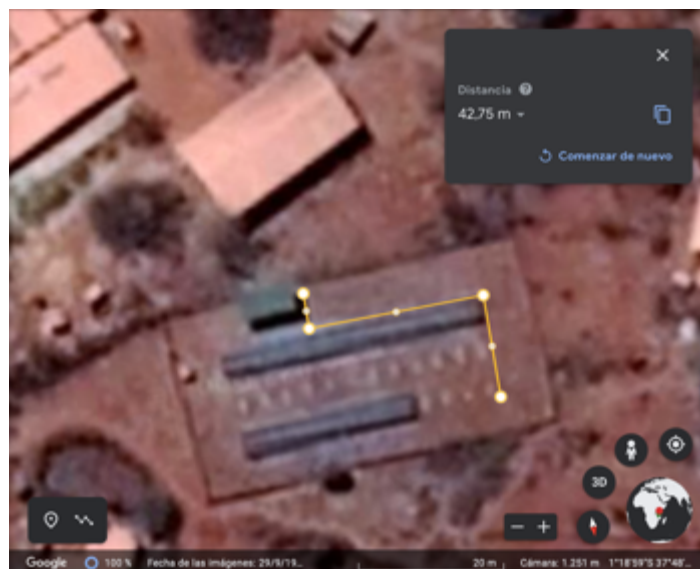


Figura 34: Distancia entre los inversores y el panel más alejado en la instalación de ESF.

Fuente: Google Earth.

El método con el que se calculará la sección del cableado del circuito de corriente continua es mediante ensayo y error. Originalmente se establecerá una sección de 6mm² y luego se comprobará si es apropiada observando si la caída de tensión se encuentra dentro del rango permitido. Según Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) en las instalaciones generadoras de baja tensión (ITC-BT-40) el valor máximo admisible para la parte CC es 1,5%, siendo recomendable no superar el 0,5%. Las fórmulas que se emplearán son las siguientes:

$$\text{Conocida la intensidad} \rightarrow e = \frac{2 L I \cos\varphi}{C S}$$

$$\text{Conocida la potencia} \rightarrow e = \frac{2 L P}{C S U}$$

$$\% e = \frac{e}{\text{Tensión total de un string}}$$

Siendo:

- S: Sección de los conductores en mm²
- L: Longitud de la línea en metros
- C: Conductividad en (m/ohm mm²)
- P: Potencia pico de cada módulo solar en vatios
- e: Caída de tensión en voltios en voltios
- U: Tensión máxima de cada string
- I: Intensidad de los módulos en amperios
- P: Potencia total en cada string en vatios

Los cálculos se realizarán para dos tipos de cable, uno de cobre y otro de aluminio. Los datos empleados se encuentran en la Tabla 11 y los resultados obtenidos en la tabla 12, 13, 14 y 15. Como se puede apreciar, en todos los casos el porcentaje de caída de tensión es superior a 0,5% e inferior a 1,5%, por tanto, la sección del cableado puede ser de 6 mm².

S =	6
L =	50
C_cobre =	44
C_aluminio	28
P_panel =	445
e =	?
V_mp =	41,6
I_sc =	11,22
Nº paneles por string	14
V_mp_serie	598,7072

Tabla 11: Datos para el cálculo de la caída de tensión

CONOCIDA LA INTENSIDAD	
e =	4,2500
% e =	0,7099

Tabla 12: Caída de tensión conocida la intensidad para un cable de cobre.

Elaboración propia.

CONOCIDA LA POTENCIA	
e =	3,9416
% e =	0,6583

Tabla 13: Caída de tensión conocida la potencia para un cable de cobre.

Elaboración propia.

CONOCIDA LA INTENSIDAD	
e =	4,4952
% e =	0,7508

Tabla 14: Caída de tensión conocida la intensidad para un cable de aluminio. Elaboración propia.

CONOCIDA LA POTENCIA	
e =	6,1939
% e =	1,0345

Tabla 15: Caída de tensión conocida la potencia para un cable de aluminio. Elaboración propia.

Las distancias mínimas y máximas permitidas para una sección de 6 mm², son las que se muestran en las tablas 16 y 17 que han sido calculados utilizando las siguientes fórmulas:

$$L_{max} = \frac{6 \cdot C \cdot 1,5 \cdot V_{mp_{serie}}}{2 \cdot I_{sc}} ; L_{min} = \frac{6 \cdot C \cdot 0,5 \cdot V_{mp_{serie}}}{2 \cdot I_{sc}}$$

CONOCIDA LA INTENSIDAD		
Cobre	L_max	105,6542
	L_min	35,2181
Aluminio	L_max	67,2345
	L_min	22,4115

Tabla 16: Distancias máximas y mínimas con los resultados obtenidos conocida la intensidad. Elaboración propia.

CONOCIDA LA POTENCIA		
Cobre	L_max	110,8187
	L_min	36,9396
Aluminio	L_max	70,5210
	L_min	23,5070

Tabla 17: Distancias máximas y mínimas con los resultados obtenidos conocida la potencia. Elaboración propia.

6.6 INFORMES DE SUNNY DESIGN

Una vez calculados todos los parámetros de diseño, se han introducido en el Software Sunny Design. Se ha especificado que los módulos solares debían ser AmeriSolar de 445 Wp, puesto que son los que han sido presupuestados, y los inversores para las dos instalaciones más pequeñas debían ser de 15 kW y para la de 250 kW de 25 kW cada uno. El consumo que se ha especificado en la instalación de 45 kW ha sido de 12.177,02 kWh que es lo que Sunny Portal indicaba que se consumía actualmente proveniente del huerto solar de ESF. Para las instalaciones de 90 y 250 kW nominales, el consumo anual introducido ha sido de 107.784,1 kWh (consumo anual estimado para la aldea que se muestra en la Tabla 4), ya que cuando se realizaron los cálculos que se muestran a continuación, se observó que la energía producida la superaba.

$$1594 \frac{kWh}{kWp} * 112,14 kWp = 178.751,16 kWh$$

$$1594 \frac{kWh}{kWp} * 311,5 kWp = 496.531 kWh$$

6.6.1 PLANTA DE 45 kW DE POTENCIAL NOMINAL

Proyecto: Dimensionamiento partiendo de una $P_n=45$ **Emplazamiento:** Kenia / Kitui

Número del proyecto: ---

Tensión de red: 230V (230V / 400V)

Vista general del sistema

126 x Worldwide Energy and Manufacturing USA Inc. (Amerisolar) AS-6M144-HC-445 (1000V) (12/2020) (Generador FV 1)

Acimut: 180 °, Inclinação: 2 °, Tipo de montaje: Montaje libre, Potencia pico: 56,07 kWp

 **3 x SMA STP 15000TL-30**

Batería

 **1 x SMA MC-Box-6.3**

Baterías: Plomo

 **6 x SMA Sunny Island 6.0H**

Capacidad nominal total: 260,00 kWh (equivale a 5417Ah con C10)

Disponibile: 130,00 kWh (equivale a 2708Ah con C10)

Datos de diseño fotovoltaicos

Cantidad total de módulos:	126	Rendimiento energético específico*:	1605 kWh/kWp
Potencia pico:	56,07 kWp	Pérdidas de línea (% de la energía):	0,18 %
Número de inversores fotovoltaicos:	3	Carga desequilibrada:	0,00 VA
Potencia nominal de CA de los inversores fotovoltaicos:	45,00 kW	Energía fotovoltaica utilizada:	12.405,30 kWh
Potencia activa de CA:	45,00 kW	Porcentaje de energía fotovoltaica utilizada:	13,8 %
Relación de la potencia activa:	80,3 %	Porcentaje de energía fotovoltaica en el suministro de energía (a lo largo del día):	103,5 %
Energía fotovoltaica máx. disponible*:	89.967 kWh	Grado de cobertura solar medio anual:	100 %
Factor de aprovecham. de energía:	96,4 %		

Firma

*Importante: Los valores de rendimiento que se muestran constituyen solo una estimación y se generan de forma matemática. SMA Solar Technology AG no asume la responsabilidad del valor real del rendimiento, que puede diferir de los valores aquí mostrados debido a circunstancias externas como por ejemplo, módulos sucios o variaciones en su rendimiento.

Diseños de los inversores

Proyecto: Dimensionamiento partiendo de una Pn=45

Número del proyecto:

Emplazamiento: Kenia / Kitui

Temperatura ambiente:

Temperatura mínima: 15 °C

Temperatura de diseño: 25 °C

Temperatura máxima: 32 °C

Subproyecto Subproyecto 1

3 x SMA STP 15000TL-30 (Parte de la planta 2)

Potencia pico:	56,07 kWp
Cantidad total de módulos:	126
Número de inversores fotovoltaicos:	3
Potencia de CC (cos φ = 1) máx.:	15,33 kW
Potencia activa máx. de CA (cos φ = 1):	15,00 kW
Tensión de red:	230V (230V / 400V)
Ratio de potencia nominal:	82 %
Factor de dimensionamiento:	124,6 %
Factor de desfase cos φ :	1
Horas de carga completa:	1999,3 h



SMA STP 15000TL-30

Datos de diseño fotovoltaicos

Entrada A: Generador FV 1

28 x Worldwide Energy and Manufacturing USA Inc. (Amerisolar) AS-6M144-HC-445 (1000V) (12/2020), Acimut: 180 °, Inclinación: 2 °, Tipo de montaje: Montaje libre

Entrada B: Generador FV 1

14 x Worldwide Energy and Manufacturing USA Inc. (Amerisolar) AS-6M144-HC-445 (1000V) (12/2020), Acimut: 180 °, Inclinación: 2 °, Tipo de montaje: Montaje libre

	Entrada A:	Entrada B:	
Número de strings:	2	1	
Módulos fotovoltaicos:	14	14	
Potencia pico (de entrada):	12,46 kWp	6,23 kWp	
Tensión de CC mín. INVERSOR (Tensión de red 230 V):	150 V	150 V	
Tensión fotovoltaica normal:	✓ 551 V	✓ 551 V	
Tensión mín.:	529 V	529 V	
Tensión de CC (Módulo fotovoltaico): máx.	1000 V	1000 V	
Tensión fotovoltaica máx.	✓ 720 V	✓ 720 V	
Corriente de entrada máx. por entrada de regulación del MPP:	33 A	33 A	
Corriente máx. del generador:	✓ 21,4 A	✓ 10,7 A	
Corriente de cortocircuito máx. por entrada de regulación del MPP:	43 A	43 A	
Corriente máx. de cortocircuito FV	✓ 22,4 A	✓ 11,2 A	

Generador FV/inversor comp. bajo ciertas cond.

El generador fotovoltaico y el tipo de inversor solo son compatibles en determinados casos, pues el inversor está subdimensionado para esta combinación (< 98 %).

Este inversor incluye SMA ShadeFix. SMA ShadeFix es un software para inversores patentado que optimiza de forma automática el rendimiento de las plantas fotovoltaicas en cualquier situación. También con sombra.

Dimensionado del cableado

Proyecto: Dimensionamiento partiendo de una $P_n=45$

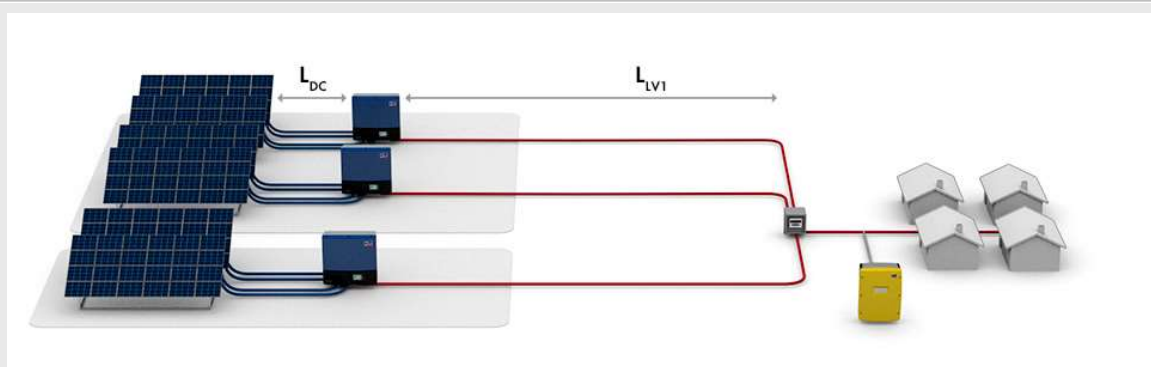
Emplazamiento: Kenia / Kitui

Número del proyecto:

Vista general

	✓ CC	✓ BT	✓ Total
Pérdida de potencia en funcionamiento nominal	216,58 W	121,93 W	338,50 W
Pérdida relativa de potencia en funcionamiento nominal	0,33 %	0,27 %	0,60 %
Longitud total del cable	180,00 m	30,00 m	210,00 m
Secciones de cable	2,5 mm ²	6 mm ²	2,5 mm ² 6 mm ²

Gráfico



Cables de CC

		Material de los cables	Longitud simple	Sección	Caída de tensión	Pérdida relativa de potencia	
Subproyecto 1							
	3 x SMA STP 15000TL-30 Parte de la planta 2	A	Cobre	10,00 m	2,5 mm²	1,8 V	0,33 %
		B	Cobre	10,00 m	2,5 mm²	1,8 V	0,33 %

Cables LV1

	Material de los cables	Longitud simple	Sección	Resistencia de línea	Pérdida relativa de potencia
Subproyecto 1					
 3 x SMA STP 15000TL-30 Parte de la planta 2	Cobre	10,00 m	6 mm ²	R: 9,556 mΩ XL: 0,750 mΩ	0,27 %

Los resultados mostrados son valores aproximados basados en la información general del usuario sobre posibles resultados de servicio. Los resultados se determinan matemáticamente. Los resultados de servicio reales dependen en gran medida de las condiciones climáticas reales, de la eficiencia real y de las condiciones operativas de los componentes del sistema, así como del comportamiento de consumo particular, y pueden diferir de los resultados calculados. Por esta razón, SMA Solar Technology AG no asume responsabilidad alguna si los resultados calculados difieren de los resultados operativos reales.

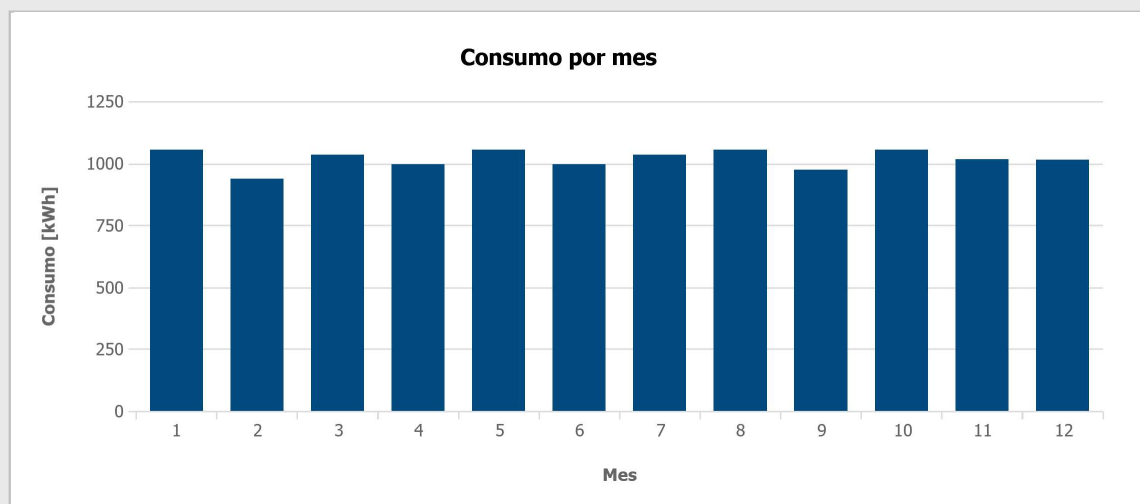
Valores mensuales

Proyecto: Dimensionamiento partiendo de una Pn=45

Emplazamiento: Kenia / Kitui

Número del proyecto:

Diagrama



Tabla

Mes	Energía fotovoltaica máx. disponible [kWh]	Energía fotovoltaica utilizada [kWh]	Consumo [kWh]	Grado de cobertura solar
1	8976	1069	1051	100 %
2	8341	947	934	100 %
3	8819	1047	1031	100 %
4	7467	1009	991	100 %
5	7046	1070	1051	100 %
6	6320	1011	991	100 %
7	5881	1059	1031	100 %
8	5981	1070	1051	100 %
9	7345	989	971	100 %
10	8121	1069	1051	100 %
11	7273	1037	1012	100 %
12	8396	1028	1010	100 %

Análisis de energía y potencia del sistema

Proyecto: Dimensionamiento partiendo de una $P_n=45$

Emplazamiento: Kenia / Kitui

Número del proyecto:

Potencia

✓ Sistema compatible

Potencia nominal de CA del inversor fotovoltaico/sistema de almacenamiento: 1,63



Potencia nominal de CA del grupo electrógeno o sistema de baterías: ---

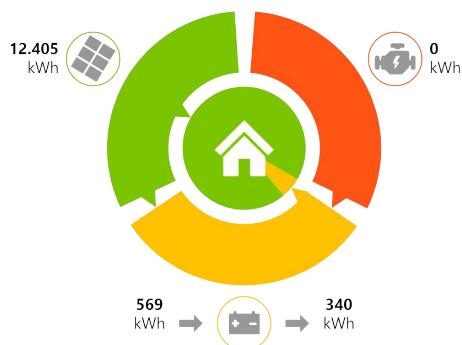
Capacidad de almacenamiento útil: 130 kWh (3,5 d)



Potencia nominal de CA total del sistema:	72,6 kW
Potencia nominal de CA del inversor fotovoltaico:	45 kW
Potencia nominal de CA del sistema de baterías:	27,6 kW
Potencia nominal de CA del grupo electrógeno:	---
Exceso de potencia:	0 kW
Déficit de energía:	0 kWh
Potencia nominal de CA del inversor fotovoltaico/sistema de almacenamiento:	1,63
Potencia nominal de CA del grupo electrógeno o sistema de baterías:	---
Capacidad de almacenamiento útil:	130 kWh
Autonomía:	3,5 d
Grado de cobertura solar medio anual:	100 %

Energía

Distribución de la energía



Consumo de energía anual:	12.177 kWh
Energía fotovoltaica máx. disponible:	89.967 kWh
Energía fotovoltaica utilizada:	12.405 kWh
Energía fotovoltaica consumida directamente:	11.837 kWh
Energía fotovoltaica almacenada temporalmente:	569 kWh
Producción de energía anual del grupo electrógeno:	0 kWh
Flujos anuales de capacidad nominal de la batería:	2
Consumo anual de combustible:	0 l

Los resultados mostrados son valores aproximados basados en la información general del usuario sobre posibles resultados de servicio. Los resultados se calculan matemáticamente basándose en suposiciones estandarizadas. Los resultados de servicio reales dependen en gran medida de las condiciones de irradiación reales, de la eficiencia real y de las condiciones operativas de los grupos electrógenos, así como del comportamiento de consumo particular, y pueden diferir de los resultados calculados. POR ESTA RAZÓN, SMA SOLAR TECHNOLOGY AG NO ASUME RESPONSABILIDAD ALGUNA EN CASO DE QUE EL RENDIMIENTO SEA MENOR SI LOS RESULTADOS DE SERVICIO REALES DIFIEREN DE LOS CALCULADOS.

6.6.2 PLANTA DE 90 kW DE POTENCIA NOMINAL

Proyecto: Dim partiendo PN=90

Emplazamiento: Kenia / Kitui

Número del proyecto: ---

Tensión de red: 230V (230V / 400V)

Vista general del sistema

252 x Worldwide Energy and Manufacturing USA Inc. (Amerisolar) AS-6M144-HC-445 (1000V) (12/2020) (Generador FV 1)

Acimut: 0 °, Inclinación: 10 °, Tipo de montaje: Montaje libre, Potencia pico: 112,14 kWp



6 x SMA STP 15000TL-30

Batería



1 x SMA MC-Box-12.3-20 (Off-Grid) Baterías: Plomo



12 x SMA Sunny Island 6.0H

Capacidad nominal total: 800,00 kWh (equivale a 16667Ah con C10)

Disponible: 400,00 kWh (equivale a 8333Ah con C10)

Genset



Potencia activa: 400 kW

Eficiencia energética media: 3,50 kWh/l

Vista general de proyectos

Datos de diseño fotovoltaicos

Cantidad total de módulos:	252	Rendimiento energético específico*:	1597 kWh/kWp
Potencia pico:	112,14 kWp	Pérdidas de línea (% de la energía):	0,28 %
Número de inversores fotovoltaicos:	6	Carga desequilibrada:	0,00 VA
Potencia nominal de CA de los inversores fotovoltaicos:	90,00 kW	Energía fotovoltaica utilizada:	109,76 MWh
Potencia activa de CA:	90,00 kW	Porcentaje de energía fotovoltaica utilizada:	61,3 %
Relación de la potencia activa:	80,3 %	Porcentaje de energía fotovoltaica en el suministro de energía (a lo largo del día):	117,9 %
Energía fotovoltaica máx. disponible*:	179,07 MWh	Grado de cobertura solar medio anual:	98 %
Factor de aprovecham. de energía:	96,3 %		

Diseños de los inversores

Proyecto: Dim partiendo PN=90

Número del proyecto:

Emplazamiento: Kenia / Kitui

Temperatura ambiente:

Temperatura mínima: 15 °C

Temperatura de diseño: 25 °C

Temperatura máxima: 32 °C

Subproyecto Subproyecto 1

6 x SMA STP 15000TL-30 (Parte de la planta 1)

Potencia pico:	112,14 kWp
Cantidad total de módulos:	252
Número de inversores fotovoltaicos:	6
Potencia de CC (cos $\varphi = 1$) máx.:	15,33 kW
Potencia activa máx. de CA (cos $\varphi = 1$):	15,00 kW
Tensión de red:	230V (230V / 400V)
Ratio de potencia nominal:	82 %
Factor de dimensionamiento:	124,6 %
Factor de desfase cos φ :	1
Horas de carga completa:	1989,6 h



SMA STP 15000TL-30

Datos de diseño fotovoltaicos

Entrada A: Generador FV 1

28 x Worldwide Energy and Manufacturing USA Inc. (Amerisolar) AS-6M144-HC-445 (1000V) (12/2020), Acimut: 0 °, Inclinação: 10 °, Tipo de montaje: Montaje libre

Entrada B: Generador FV 1

14 x Worldwide Energy and Manufacturing USA Inc. (Amerisolar) AS-6M144-HC-445 (1000V) (12/2020), Acimut: 0 °, Inclinação: 10 °, Tipo de montaje: Montaje libre

	Entrada A:	Entrada B:	
Número de strings:	2	1	
Módulos fotovoltaicos:	14	14	
Potencia pico (de entrada):	12,46 kWp	6,23 kWp	
Tensión de CC mín. INVERSOR (Tensión de red 230 V):	150 V	150 V	
Tensión fotovoltaica normal:	✓ 551 V	✓ 551 V	
Tensión mín.:	529 V	529 V	
Tensión de CC (Módulo fotovoltaico): máx.	1000 V	1000 V	
Tensión fotovoltaica máx.	✓ 720 V	✓ 720 V	
Corriente de entrada máx. por entrada de regulación del MPP:	33 A	33 A	
Corriente máx. del generador:	✓ 21,4 A	✓ 10,7 A	
Corriente de cortocircuito máx. por entrada de regulación del MPP:	43 A	43 A	
Corriente máx. de cortocircuito FV	✓ 22,4 A	✓ 11,2 A	

Generador FV/inversor comp. bajo ciertas cond.

El generador fotovoltaico y el tipo de inversor solo son compatibles en determinados casos, pues el inversor está subdimensionado para esta combinación (< 99 %).

Este inversor incluye SMA ShadeFix. SMA ShadeFix es un software para inversores patentado que optimiza de forma automática el rendimiento de las plantas fotovoltaicas en cualquier situación. También con sombra.

Dimensionado del cableado

Proyecto: Dim partiendo PN=90

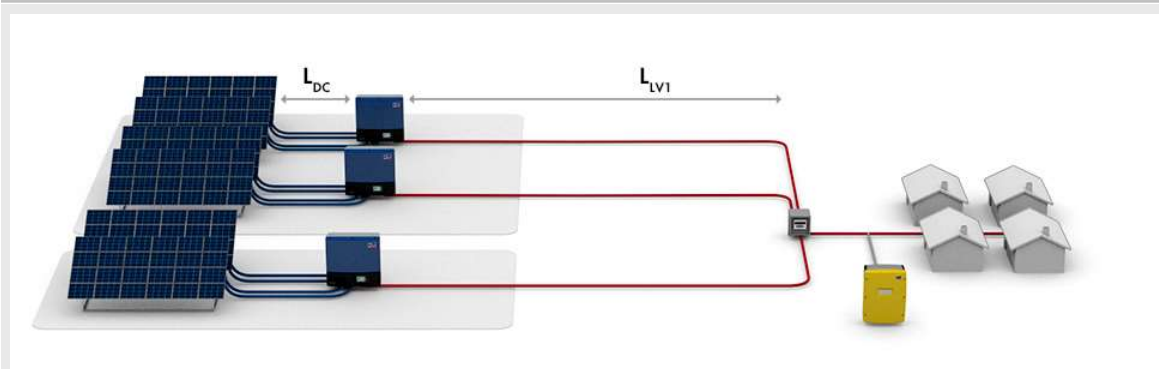
Emplazamiento: Kenia / Kitui

Número del proyecto:

Vista general

	✓ CC	✓ BT	✓ Total
Pérdida de potencia en funcionamiento nominal	647,96 W	91,45 W	739,41 W
Pérdida relativa de potencia en funcionamiento nominal	0,50 %	0,10 %	0,60 %
Longitud total del cable	1320,00 m	60,00 m	1380,00 m
Secciones de cable	6 mm ²	16 mm ²	6 mm ² 16 mm ²

Gráfico



Cables de CC

		Material de los cables	Longitud simple	Sección	Caída de tensión	Pérdida relativa de potencia	
Subproyecto 1							
	6 x SMA STP 15000TL-30 Parte de la planta 1	A	Cobre	50,00 m	6 mm²	3,8 V	0,68 %
		B	Cobre	10,00 m	6 mm²	750,3 mV	0,14 %

Cables LV1

	Material de los cables	Longitud simple	Sección	Resistencia de línea	Pérdida relativa de potencia
Subproyecto 1					
 6 x SMA STP 15000TL-30 Parte de la planta 1	Cobre	10,00 m	16 mm ²	R: 3,583 mΩ XL: 0,750 mΩ	0,10 %

Los resultados mostrados son valores aproximados basados en la información general del usuario sobre posibles resultados de servicio. Los resultados se determinan matemáticamente. Los resultados de servicio reales dependen en gran medida de las condiciones climáticas reales, de la eficiencia real y de las condiciones operativas de los componentes del sistema, así como del comportamiento de consumo particular, y pueden diferir de los resultados calculados. Por esta razón, SMA Solar Technology AG no asume responsabilidad alguna si los resultados calculados difieren de los resultados operativos reales.

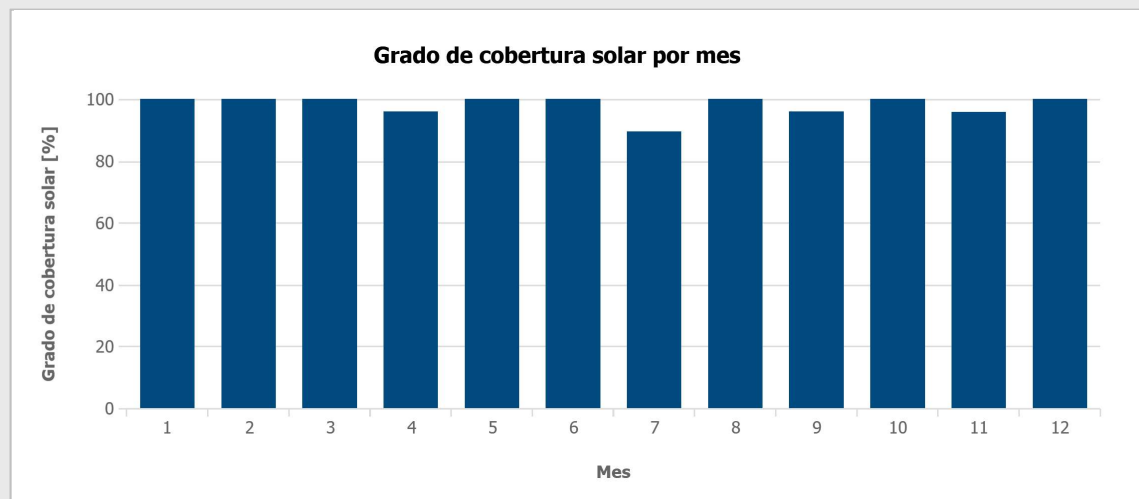
Valores mensuales

Proyecto: Dim partiendo PN=90

Emplazamiento: Kenia / Kitui

Número del proyecto:

Diagrama



Tabla

Mes	Energía fotovoltaica máx. disponible [kWh]	Energía fotovoltaica utilizada [kWh]	Consumo [kWh]	Grado de cobertura solar
1	18887	9529	9016	100 %
2	17091	8565	8144	100 %
3	17528	9545	9016	100 %
4	14408	8989	8726	96 %
5	13290	9706	9016	100 %
6	11757	9268	8726	100 %
7	10936	8133	8095	89 %
8	11466	8735	8095	100 %
9	14417	9001	8726	96 %
10	16496	9615	9016	100 %
11	15148	9058	8726	96 %
12	17644	9616	9016	100 %

Análisis de energía y potencia del sistema

Proyecto: Dim partiendo PN=90

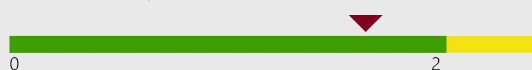
Emplazamiento: Kenia / Kitui

Número del proyecto:

Potencia

Sistema compatible con limitaciones

Potencia nominal de CA del inversor fotovoltaico/sistema de almacenamiento: 1,63



Potencia nominal de CA del grupo electrógeno o sistema de baterías: 9,06



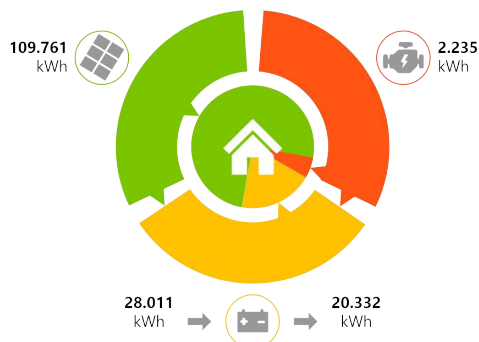
Capacidad de almacenamiento útil: 400 kWh (1,3 d)



Potencia nominal de CA total del sistema:	645,2 kW
Potencia nominal de CA del inversor fotovoltaico:	90 kW
Potencia nominal de CA del sistema de baterías:	55,2 kW
Potencia nominal de CA del grupo electrógeno:	500 kW
Exceso de potencia:	0 kW
Déficit de energía:	0 kWh
Potencia nominal de CA del inversor fotovoltaico/sistema de almacenamiento:	1,63
Potencia nominal de CA del grupo electrógeno o sistema de baterías:	9,06
Capacidad de almacenamiento útil:	400 kWh
Autonomía:	1,3 d
Grado de cobertura solar medio anual:	98 %

Energía

Distribución de la energía



Consumo de energía anual:	104 MWh
Energía fotovoltaica máx. disponible:	179 MWh
Energía fotovoltaica utilizada:	110 MWh
Energía fotovoltaica consumida directamente:	83.829 kWh
Energía fotovoltaica almacenada temporalmente:	25.932 kWh
Producción de energía anual del grupo electrógeno:	2.235 kWh
Flujos anuales de capacidad nominal de la batería:	35
Consumo anual de combustible:	1.160 l

Los resultados mostrados son valores aproximados basados en la información general del usuario sobre posibles resultados de servicio. Los resultados se calculan matemáticamente basándose en suposiciones estandarizadas. Los resultados de servicio reales dependen en gran medida de las condiciones de irradiación reales, de la eficiencia real y de las condiciones operativas de los grupos electrógenos, así como del comportamiento de consumo particular, y pueden diferir de los resultados calculados. POR ESTA RAZÓN, SMA SOLAR TECHNOLOGY AG NO ASUME RESPONSABILIDAD ALGUNA EN CASO DE QUE EL RENDIMIENTO SEA MENOR SI LOS RESULTADOS DE SERVICIO REALES DIFIEREN DE LOS CALCULADOS.

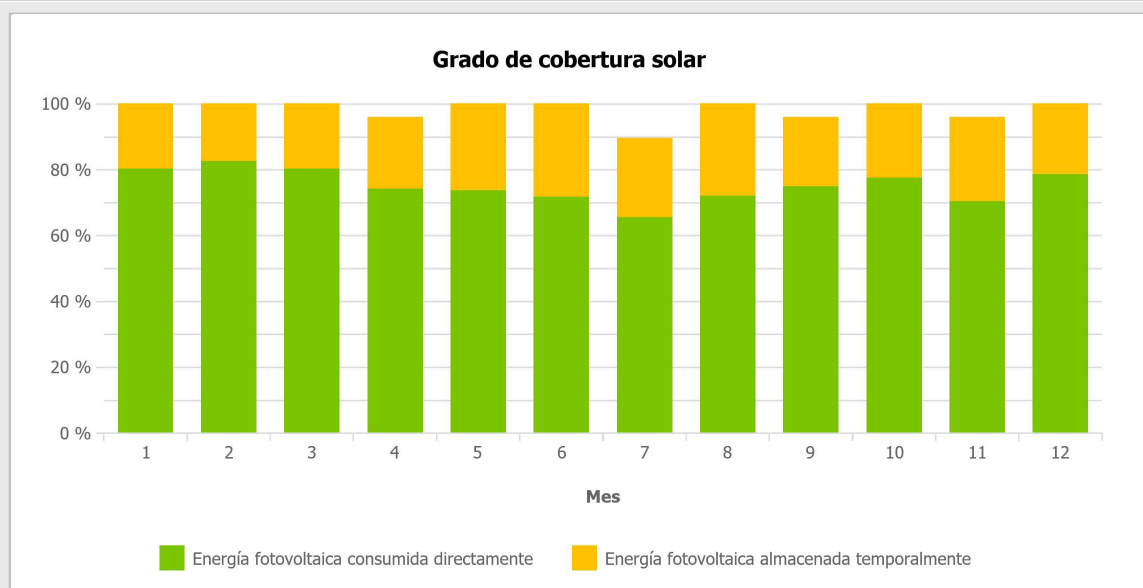
Análisis de energía y potencia del sistema

Proyecto: Dim partiendo PN=90

Emplazamiento: Kenia / Kitui

Número del proyecto:

Grado de cobertura solar



Mes	Grado de cobertura solar [%]	Porcentaje de energía fotovoltaica utilizada [%]	Consumo de energía total combustible [l]
1	100	50	0
2	100	50	0
3	100	54	0
4	96	62	225
5	100	73	0
6	100	79	0
7	89	74	486
8	100	76	0
9	96	62	225
10	100	58	0
11	96	60	225
12	100	54	0

Los resultados mostrados son valores aproximados basados en la información general del usuario sobre posibles resultados de servicio. Los resultados se calculan matemáticamente basándose en suposiciones estandarizadas. Los resultados de servicio reales dependen en gran medida de las condiciones de irradiación reales, de la eficiencia real y de las condiciones operativas de los grupos electrógenos, así como del comportamiento de consumo particular, y pueden diferir de los resultados calculados. POR ESTA RAZÓN, SMA SOLAR TECHNOLOGY AG NO ASUME RESPONSABILIDAD ALGUNA EN CASO DE QUE EL RENDIMIENTO SEA MENOR SI LOS RESULTADOS DE SERVICIO REALES DIFIEREN DE LOS CALCULADOS.

6.6.3 PLANTA DE 250 kW DE POTENCIAL NOMINAL

Proyecto: Dim partiendo PN=250
Número del proyecto: ---

Emplazamiento: Kenia / Kitui

Tensión de red: 230V (230V / 400V)

Vista general del sistema

700 x Worldwide Energy and Manufacturing USA Inc. (Amerisolar) AS-6M144-HC-445 (1000V) (12/2020)
(Generador FV 1)

Acimut: 180 °, Inclinación: 2 °, Tipo de montaje: Montaje libre, Potencia pico: 311,50 kWp



10 x SMA STP 25000TL-30

Batería



1 x SMA MC-Box-36.3

Baterías: Plomo



36 x SMA Sunny Island 6.0H

Capacidad nominal total: 1.560,00 kWh (equivalente a 32500Ah con C10)

Disponible: 780,00 kWh (equivalente a 16250Ah con C10)

Datos de diseño fotovoltaicos

Cantidad total de módulos:	700	Rendimiento energético específico*:	1602 kWh/kWp
Potencia pico:	311,50 kWp	Pérdidas de línea (% de la energía):	0,37 %
Número de inversores fotovoltaicos:	10	Carga desequilibrada:	0,00 VA
Potencia nominal de CA de los inversores fotovoltaicos:	250,00 kW	Energía fotovoltaica utilizada:	116,83 MWh
Potencia activa de CA:	250,00 kW	Porcentaje de energía fotovoltaica utilizada:	23,4 %
Relación de la potencia activa:	80,3 %	Porcentaje de energía fotovoltaica en el suministro de energía (a lo largo del día):	120,6 %
Energía fotovoltaica máx. disponible*:	499,07 MWh	Grado de cobertura solar medio anual:	100 %
Factor de aprovecham. de energía:	96,5 %		

Firma

*Importante: Los valores de rendimiento que se muestran constituyen solo una estimación y se generan de forma matemática. SMA Solar Technology AG no asume la responsabilidad del valor real del rendimiento, que puede diferir de los valores aquí mostrados debido a circunstancias externas como por ejemplo, módulos sucios o variaciones en su rendimiento.

Diseños de los inversores

Proyecto: Dim partiendo PN=250

Número del proyecto:

Emplazamiento: Kenia / Kitui

Temperatura ambiente:

Temperatura mínima: 15 °C

Temperatura de diseño: 25 °C

Temperatura máxima: 32 °C

Subproyecto Subproyecto 1

10 x SMA STP 25000TL-30 (Parte de la planta 1)

Potencia pico:	311,50 kWp
Cantidad total de módulos:	700
Número de inversores fotovoltaicos:	10
Potencia de CC (cos ϕ = 1) máx.:	25,55 kW
Potencia activa máx. de CA (cos ϕ = 1):	25,00 kW
Tensión de red:	230V (230V / 400V)
Ratio de potencia nominal:	82 %
Factor de dimensionamiento:	124,6 %
Factor de desfase cos ϕ :	1
Horas de carga completa:	1996,3 h



SMA STP 25000TL-30

Datos de diseño fotovoltaicos

Entrada A: Generador FV 1

42 x Worldwide Energy and Manufacturing USA Inc. (Amerisolar) AS-6M144-HC-445 (1000V) (12/2020), Acimut: 180 °, Inclinación: 2 °, Tipo de montaje: Montaje libre

Entrada B: Generador FV 1

28 x Worldwide Energy and Manufacturing USA Inc. (Amerisolar) AS-6M144-HC-445 (1000V) (12/2020), Acimut: 180 °, Inclinación: 2 °, Tipo de montaje: Montaje libre

	Entrada A:	Entrada B:	
Número de strings:	3	2	
Módulos fotovoltaicos:	14	14	
Potencia pico (de entrada):	18,69 kWp	12,46 kWp	
Tensión de CC mín. INVERTOR (Tensión de red 230 V):	150 V	150 V	
Tensión fotovoltaica normal:	✓ 551 V	✓ 551 V	
Tensión mín.:	529 V	529 V	
Tensión de CC (Módulo fotovoltaico): máx.	1000 V	1000 V	
Tensión fotovoltaica máx.	✓ 720 V	✓ 720 V	
Corriente de entrada máx. por entrada de regulación del MPP:	33 A	33 A	
Corriente máx. del generador:	✓ 32,1 A	✓ 21,4 A	
Corriente de cortocircuito máx. por entrada de regulación del MPP:	43 A	43 A	
Corriente máx. de cortocircuito FV	✓ 33,7 A	✓ 22,4 A	

Generador FV/inversor comp. bajo ciertas cond.

El generador fotovoltaico y el tipo de inversor solo son compatibles en determinados casos, pues el inversor está subdimensionado para esta combinación (< 98 %).

Este inversor incluye SMA ShadeFix. SMA ShadeFix es un software para inversores patentado que optimiza de forma automática el rendimiento de las plantas fotovoltaicas en cualquier situación. También con sombra.

Dimensionado del cableado

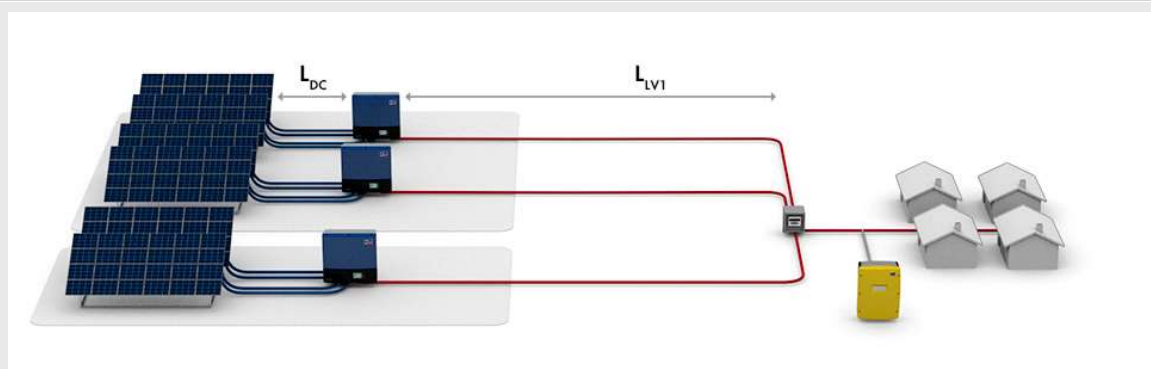
Proyecto: Dim partiendo PN=250

Emplazamiento: Kenia / Kitui

Número del proyecto:

Vista general			
	✓ CC	✓ BT	✓ Total
Pérdida de potencia en funcionamiento nominal	2,51 kW	1,13 kW	3,64 kW
Pérdida relativa de potencia en funcionamiento nominal	0,68 %	0,45 %	1,13 %
Longitud total del cable	5000,00 m	100,00 m	5100,00 m
Secciones de cable	6 mm ²	6 mm ²	6 mm ²

Gráfico



Cables de CC

		Material de los cables	Longitud simple		Sección	Caída de tensión	Pérdida relativa de potencia
Subproyecto 1							
	10 x SMA STP 25000TL-30	A	Cobre	50,00 m	6 mm ²	3,8 V	0,68 %
	Parte de la planta 1	B	Cobre	50,00 m	6 mm ²	3,8 V	0,68 %

Cables LV1

		Material de los cables	Longitud simple	Sección	Resistencia de línea	Pérdida relativa de potencia
Subproyecto 1						
	10 x SMA STP 25000TL-30 Parte de la planta 1	Cobre	10,00 m	6 mm²	R: 9,556 mΩ XL: 0,750 mΩ	0,45 %

Los resultados mostrados son valores aproximados basados en la información general del usuario sobre posibles resultados de servicio. Los resultados se determinan matemáticamente. Los resultados de servicio reales dependen en gran medida de las condiciones climáticas reales, de la eficiencia real y de las condiciones operativas de los componentes del sistema, así como del comportamiento de consumo particular, y pueden diferir de los resultados calculados. Por esta razón, SMA Solar Technology AG no asume responsabilidad alguna si los resultados calculados difieren de los resultados operativos reales.

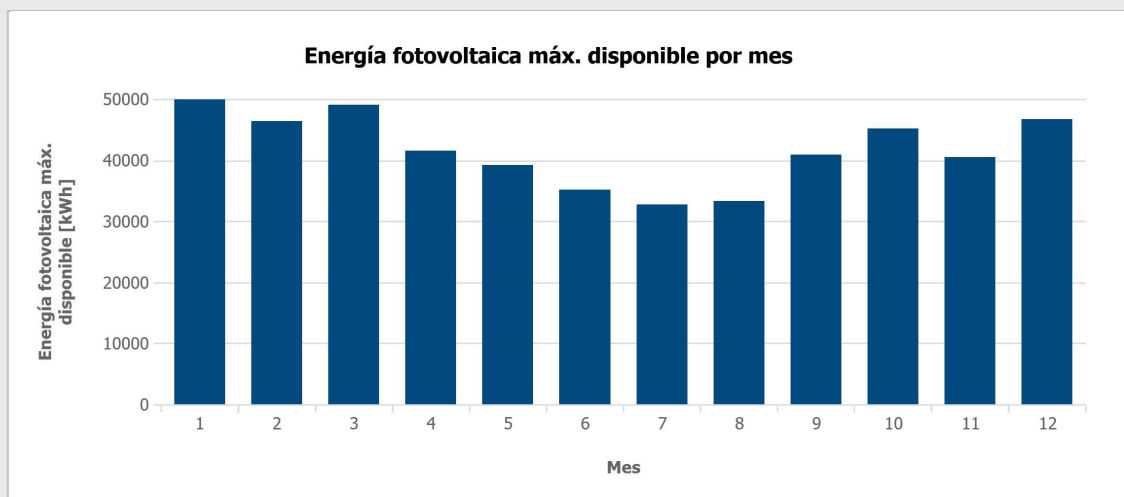
Valores mensuales

Proyecto: Dim partiendo PN=250

Emplazamiento: Kenia / Kitui

Número del proyecto:

Diagrama



Tabla

Mes	Energía fotovoltaica máx. disponible [kWh]	Energía fotovoltaica utilizada [kWh]	Consumo [kWh]	Grado de cobertura solar
1	49776	10062	9316	100 %
2	46257	9081	8414	100 %
3	48916	10073	9316	100 %
4	41423	9779	9015	100 %
5	39088	10081	9316	100 %
6	35057	9770	9015	100 %
7	32637	9149	8364	100 %
8	33200	9080	8364	100 %
9	40747	9756	9015	100 %
10	45034	10080	9316	100 %
11	40361	9847	9015	100 %
12	46572	10071	9316	100 %

Análisis de energía y potencia del sistema

Proyecto: Dim partiendo PN=250

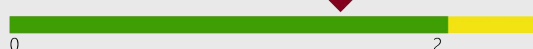
Emplazamiento: Kenia / Kitui

Número del proyecto:

Potencia

✓ Sistema compatible

Potencia nominal de CA del inversor fotovoltaico/sistema de almacenamiento: 1,51



Potencia nominal de CA del grupo electrógeno o sistema de baterías: ---

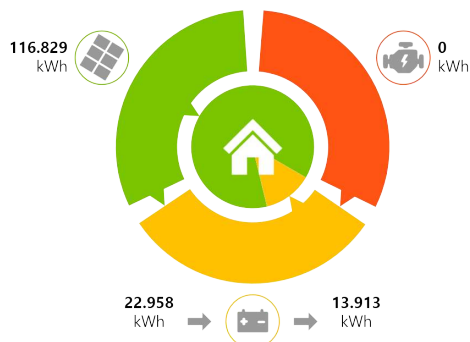
Capacidad de almacenamiento útil: 780 kWh (2,4 d)



Potencia nominal de CA total del sistema:	415,6 kW
Potencia nominal de CA del inversor fotovoltaico:	250 kW
Potencia nominal de CA del sistema de baterías:	165,6 kW
Potencia nominal de CA del grupo electrógeno:	---
Exceso de potencia:	0 kW
Déficit de energía:	0 kWh
Potencia nominal de CA del inversor fotovoltaico/sistema de almacenamiento:	1,51
Potencia nominal de CA del grupo electrógeno o sistema de baterías:	---
Capacidad de almacenamiento útil:	780 kWh
Autonomía:	2,4 d
Grado de cobertura solar medio anual:	100 %

Energía

Distribución de la energía



Consumo de energía anual:	108 MWh
Energía fotovoltaica máx. disponible:	499 MWh
Energía fotovoltaica utilizada:	117 MWh
Energía fotovoltaica consumida directamente:	93.871 kWh
Energía fotovoltaica almacenada temporalmente:	22.958 kWh
Producción de energía anual del grupo electrógeno:	0 kWh
Flujos anuales de capacidad nominal de la batería:	15
Consumo anual de combustible:	0 l

Los resultados mostrados son valores aproximados basados en la información general del usuario sobre posibles resultados de servicio. Los resultados se calculan matemáticamente basándose en suposiciones estandarizadas. Los resultados de servicio reales dependen en gran medida de las condiciones de irradiación reales, de la eficiencia real y de las condiciones operativas de los grupos electrógenos, así como del comportamiento de consumo particular, y pueden diferir de los resultados calculados. POR ESTA RAZÓN, SMA SOLAR TECHNOLOGY AG NO ASUME RESPONSABILIDAD ALGUNA EN CASO DE QUE EL RENDIMIENTO SEA MENOR SI LOS RESULTADOS DE SERVICIO REALES DIFIEREN DE LOS CALCULADOS.

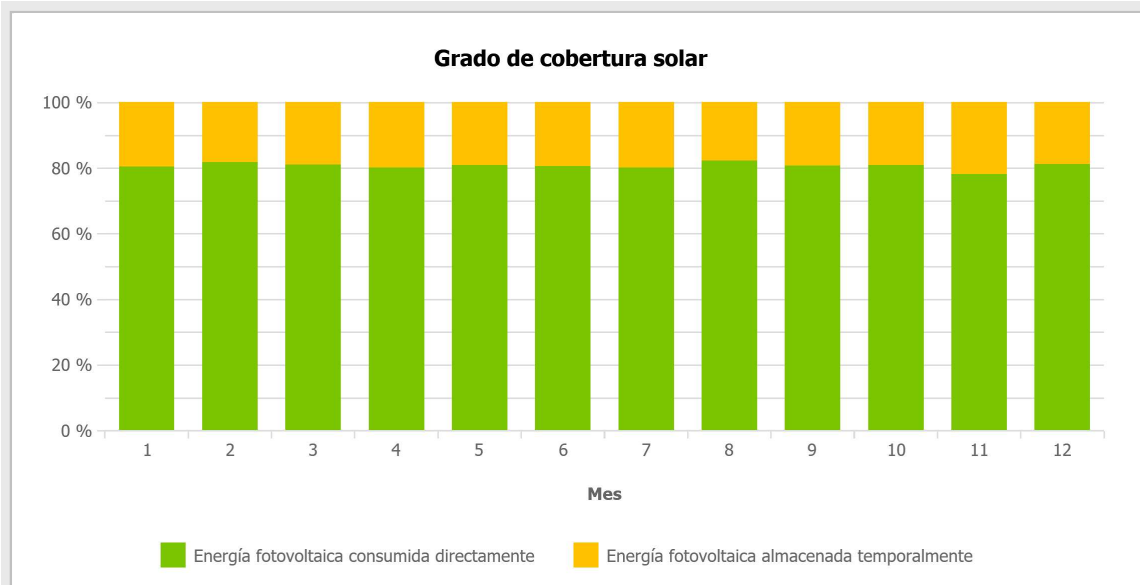
Análisis de energía y potencia del sistema

Proyecto: Dim partiendo PN=250

Emplazamiento: Kenia / Kitui

Número del proyecto:

Grado de cobertura solar



Mes	Grado de cobertura solar [%]	Porcentaje de energía fotovoltaica utilizada [%]	Consumo de energía total combustible [l]
1	100	20	0
2	100	20	0
3	100	21	0
4	100	24	0
5	100	26	0
6	100	28	0
7	100	28	0
8	100	27	0
9	100	24	0
10	100	22	0
11	100	24	0
12	100	22	0

Los resultados mostrados son valores aproximados basados en la información general del usuario sobre posibles resultados de servicio. Los resultados se calculan matemáticamente basándose en suposiciones estandarizadas. Los resultados de servicio reales dependen en gran medida de las condiciones de irradiación reales, de la eficiencia real y de las condiciones operativas de los grupos electrógenos, así como del comportamiento de consumo particular, y pueden diferir de los resultados calculados. POR ESTA RAZÓN, SMA SOLAR TECHNOLOGY AG NO ASUME RESPONSABILIDAD ALGUNA EN CASO DE QUE EL RENDIMIENTO SEA MENOR SI LOS RESULTADOS DE SERVICIO REALES DIFIEREN DE LOS CALCULADOS.

6.7 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Las instalaciones eléctricas deben cumplir con ciertas medidas de protección que eviten accidentes en la mayor medida de lo posible, y los sistemas fotovoltaicos no son excepción. Los elementos de protección que han considerado más apropiados para esta instalación son los fusibles y los descargadores de sobretensiones.

Los fusibles están diseñados para proteger a los módulos fotovoltaicos de sobrecorrientes. Según la normativa IEC62548, los fusibles son obligatorios si la corriente del string supera la corriente de reversión indicada en la ficha técnica del panel, es decir, si se cumple lo siguiente:

$$I_{SCString} = (N_s - 1) * I_{SCMod} > I_{ModMaxOCPR}$$

Siendo:

- N_s : El número total de strings en paralelo
- I_{SCMod} : Corriente de cortocircuito del panel
- $I_{ModMaxOCPR}$: Corriente de fusible máximo

Aplicándolo al panel de Amerisolar de 445W:

$$I_{SCString} = (3 - 1) * 11,22 > 20 \rightarrow 22,24 > 20 \rightarrow \text{Fusible obligatorio}$$

Los descargadores de sobretensiones se instalan sobre cada uno de los strings de paneles solares que se conectan con el inversor. La función de estos es controlar el voltaje, de forma que cuando la tensión de los paneles conectados en serie sea superior al umbral máximo, se accione una toma a tierra para que la sobretensión no llegue al inversor.

Para los diseños planteados, se ha optado por incluir el fusible de DC Solar Energy cuya corriente nominal es de 15 A que supera la corriente de cortocircuito de los paneles de 11,22

A. El modelo de descargador de sobretensión SA2EDGK10M3 de Lovato Electric cuya tensión nominal es de 1100 V, ambas fichas técnicas se encuentran adjuntadas en el anexo.

Capítulo 7. ANÁLISIS ECONÓMICO

Una vez que se han diseñado los tres nuevos sistemas partiendo de la potencia nominal de los inversores, se estimará el coste que supondrá la instalación. En el presente capítulo se ha dividido en dos secciones, los costes directos de la inversión que incluye los componentes del sistema sin tener en cuenta las baterías y el cableado de distribución, y el coste indirecto que supone su implementación y mantenimiento.

7.1 COSTE DIRECTO

Con el objetivo de poder calcular el coste de los dispositivos que conforman el sistema, se contactó con cuatro proveedores keniatas pero solo se obtuvo respuesta de uno de ellos. El presupuesto que envió Cat (Center for Alternative Technologies) de Nairobi se encuentra adjunto en el anexo, y está conformado por los módulos de 445Wp de Amerisolar, conectores y el cableado para el circuito de corriente continua. En el presupuesto también se determinó el precio para seis inversores Victron de 15 kW, pero estos no son los que se han usado en el diseño, puesto que se ha preferido emplear los Sunny Tripower de SMA. La estructura de los paneles se ha obtenido de AutoSolar. Los costes directos de las tres instalaciones de potencias nominales 45 kW, 90 kW y 250 kW se encuentra en las tablas 18, 19 y 20. Porcentualmente el coste de los equipos supone un 91,23% de la instalación completa.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Módulo Solar: Amerisolar Solar Panel AS-6M-HC 445 W	126	225	28350
Inversor Sunny Tripower 25000TL-30 15kW SMA	3	5900	17700
MC4 Connectors Male	100	6	600
MC4 Connectors Female	100	6	600
6mm Flex DC Double Insulated Cable	600	2,4	1440
Estructura para 4 paneles 60c	32	316	10112
PRECIO TOTAL DE LOS DISPOSITIVOS			\$ 58.802,00
Fusible 20A 1000VDC 10x38	3	8,28	24,84
Protector contra sobretensiones Lovato	9	65,66	590,94
PRECIO TOTAL DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN			\$ 615,78
Mano de obra de 3 personas encargadas de la instalación	144 horas	24	3456
Transporte del equipo	1	-	2500
TOTAL			\$ 65.373,78
PRECIO POR CADA VATIO PICO			\$ 1,17

Tabla 18: Costes directos de la instalación de 45 kW nominales

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Módulo Solar: Amerisolar Solar Panel AS-6M-HC 445 W	252	225	56700
Inversor Sunny Tripower 25000TL-30 15kW SMA	6	5900	35400
MC4 Connectors Male	100	6	600
MC4 Connectors Female	100	6	600
6mm Flex DC Double Insulated Cable	720	2,4	1728
Estructura para 4 paneles 60c	63	316	19908
PRECIO TOTAL DE LOS DISPOSITIVOS			\$ 114.936,00
Fusible 20A 1000VDC 10x38	6	8,28	49,68
Protector contra sobretensiones Lovato	18	65,66	1181,88
PRECIO TOTAL DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN			\$ 1.231,56
Mano de obra de 7 personas encargadas de la instalación	305 horas	24	7320
Transporte del equipo	1	-	2500
TOTAL			\$ 125.987,56
PRECIO POR CADA VATIO PICO			\$ 1,12

Tabla 19: Costes directos de la instalación de 90 kW nominales

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Módulo Solar: Amerisolar Solar Panel AS-6M-HC 445 W	700	225	157500
Inversor Sunny Tripower 25000TL-30 25kW SMA	10	8000	80000
MC4 Connectors Male	100	6	600
MC4 Connectors Female	100	6	600
6mm Flex DC Double Insulated Cable	4000	2,4	9600
Estructura para 4 paneles 60c	175	316	55300
PRECIO TOTAL DE LOS DISPOSITIVOS			\$ 303.600,00
Fusible 20A 1000VDC 10x38	10	8,28	82,80
Protector contra sobretensiones Lovato	50	65,66	3283,00
PRECIO TOTAL DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN			\$ 3.365,80
Mano de obra de 18 personas encargadas de la instalación	862 horas	24	17240
Transporte del equipo	1	-	2500
TOTAL			\$ 326.705,80
PRECIO POR CADA VATIO PICO			\$ 1,05

Tabla 20: Costes directos de la instalación de 250 kW nominales

7.2 *COSTE INDIRECTO*

Los sistemas fotovoltaicos requieren cierto mantenimiento tras su instalación, esto engloba la limpieza y la sustitución o reparación de elementos defectuosos. Es importante supervisar la instalación con cierta asiduidad para comprobar que el funcionamiento es correcto, suele ser de gran utilidad un multímetro digital de alta calidad a la hora de comprobar la corriente y tensión de salida de los generadores, y a la entrada y salida de los inversores. Para conseguir un buen rendimiento se debe revisar que no se estén proyectando sombras sobre los módulos solares y que la cara de estos esté limpia. Una adecuada limpieza de los paneles solares puede lograr que las pérdidas de producción se mantengan por debajo del 1%, mientras que si se acumula suciedad en el panel, la radiación que este recibirá será menor y las pérdidas pueden llegar a ser del 8%. Afortunadamente, la limpieza de los módulos solares es básica y no muy cara, simplemente se precisa de jabón, una esponja suave que no vaya a arañar la superficie y agua para el aclarado. Se recomienda limpiar los módulos entre tres y cuatro veces al año, aunque esto dependerá de la zona en la que estos se encuentren instalados. (Carrasco, 2021). Los inversores no requieren tanta limpieza como los módulos solares, pero sí que se recomienda mantenerlos limpios de polvo. Estimando por exceso, anualmente el mantenimiento puede requerir un 10% del precio inicial de la inversión.

Capítulo 8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Según documentos proporcionados por la organización de Nyumbani, el huerto solar que instaló Energía Sin Fronteras era capaz de abastecer todos los consumos que dicha organización evaluó y corrigió durante su estancia en la aldea. No obstante, al contrastarlo con la producción que mostraba Sunny Portal, se cuestionó que eso fuera cierto, pues la producción que estaba siendo monitorizada era un 14,965% de la que aparecía en los documentos. A pesar de que como ya se mencionó anteriormente los datos del portal no son del todo exactos debido a problemas con la conexión a internet, la diferencia es demasiado significativa. Lo primero que se realizó para evaluar si la documentación de ESF era correcta, fue calcular cuántos kilovatios pico eran necesarios para suministrar 81.369 kWh anuales, para ello se ha empleado el rendimiento energético específico indicado por Sunny Design en el diseño que mostraba la instalación actual en la sección 6.3. (1594 kWh/kWp). Esto daba un resultado de 51,05 kWp, por tanto, se concluyó que era inviable que el huerto solar estuviera suministrando energía para todos los dispositivos que ESF tuvo en cuanto en el cálculo de la necesidad energética mostrado en la Tabla 4 sin incluir la sección de viviendas. Además, la desviación no hubiera sido tan considerable, si los 81.369 kWh anuales de consumo hubieran incluido las bombas de agua, pues al principio, con 216 módulos solares la potencia pico de la instalación fotovoltaica era de 44,28 kWp.

De los tres diseños que se han realizado de 45 kW, 90 kW y 250 kW nominales con un sobredimensionamiento del 25% y por tanto potencias pico de 56,07 kWp, 112,14 kWp y 311,5 kWp, el de menor potencia no puede suministrar por sí solo suficiente energía para los consumos evaluados por ESF más la estimación que requerirán las viviendas en un futuro próximo, esto se puede observar en la Figura A. No obstante, el de 45 kW junto con lo ya instalado lograrían producir 129.179,4 kWh anuales (curva de generación verde en la Figura 35) que alcanza lo 81.369,085 kWh (curva de consumo roja en la Figura 35), y los 107.784,1 kWh que es el consumo total si se incluyen las estimaciones de las viviendas (curva de consumo azul en la Figura 35).

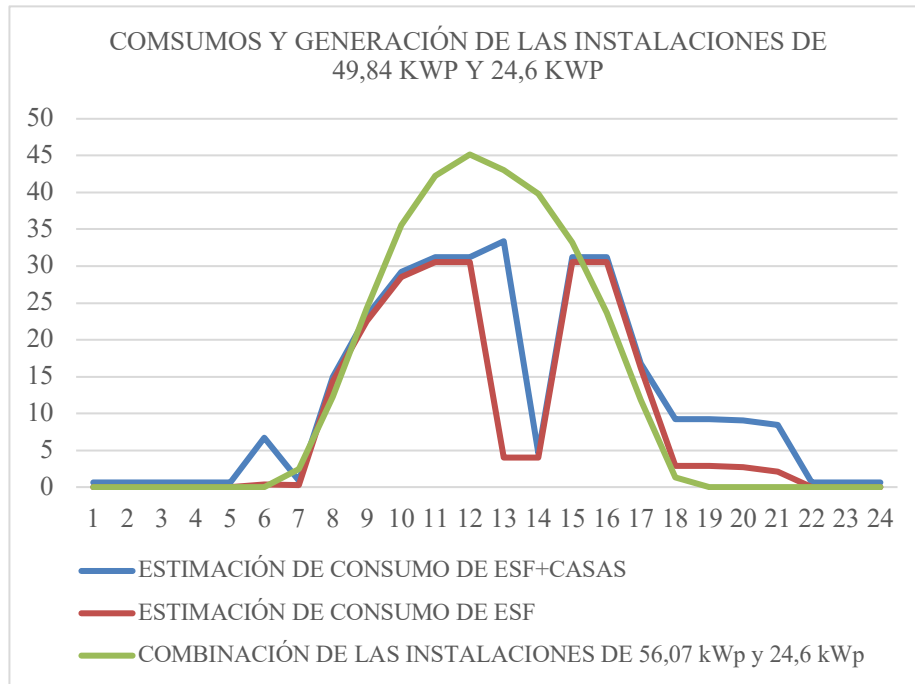


Figura 35: Curvas de ambas estimaciones de consumo y generación para la combinación de la instalación de 56,07 kWp y la de 24,6 kWp

Si se analiza el informe generado en por Sunny Design para el sistema de 90 kW nominales (sección 6.6.2), uno se da cuenta de que cuenta con el apoyo de un grupo electrógeno. Esto es porque en principio, cuando se hizo el producto de la potencia pico de la instalación por el rendimiento energético específico, se pensó que como la energía anual resultante superaba la energía consumida anualmente, la instalación sería capaz de abastecer a todos los dispositivos. Sin embargo, esto es un cálculo aproximado y bastante global, y Sunny Design que hace un estudio más detallado, avisaba que los módulos que se había introducido no eran capaces de generar suficiente energía durante los meses de abril, julio, septiembre y noviembre y que por ello se necesitaba un grupo electrógeno.

Capítulo 9. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Garantizarle a Nyumbani Village mayor acceso a la energía eléctrica en sus hogares, escuelas, centros de formación, y centros sanitarios entre otros, promoverá el desarrollo de la aldea y una disminución de la diferencia económica y educativa que esta comunidad presenta frente a muchas otras. Este proyecto pretende mejorar la calidad de vida de las personas que han pasado por situaciones muy complicadas debido a la enfermedad del SIDA. Además, el trabajo fomenta la contribución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU.

Tras haber completado el análisis, se puede asegurar que el mayor inconveniente al que ha habido que hacer frente en la realización de este proyecto, ha sido la falta de información precisa. El hecho de que nadie se haya encargado de mantener cierta organización en cuanto a las instalaciones fotovoltaicas que se han realizado en la aldea, han dificultado el desarrollo de este trabajo.

Después de haber realizado el análisis económico de todos los dispositivos que se ha calculado que se requerirán para cada una de las plantas diseñadas, se ha concluido que los tres proyectos son viables, resultando la generación de energía más económica la del sistema de 250 kW nominal, aunque también la que mayor inversión inicial precisa.

Como trabajo futuro a corto plazo, se debe fusionar este proyecto de fin de grado con el de mis compañeros Jaime Sáenz de Tejada, Joaquín Benjumeda y Jesús López, para así tener el estudio de la instalación completa. Además, una vez hecho eso, habrá que crear una presentación para poder conseguir financiación por parte de empresas privadas.

Gracias a la oportunidad de poder ir a la aldea este mes de julio, se podrán corroborar todos los cálculos realizados, además de comprobar cuáles son los dispositivos que funcionan correctamente. Todos los cálculos se han realizado en tablas de Excel para que sea cómodo rectificar cualquier número. Considero que el hecho de haber sabido que íbamos a ir a

Nyumbani Village una vez finalizado el trabajo, ha hecho que tengamos una conexión especial con el proyecto y estemos ralmente comprometidos con él.

Capítulo 10. BIBLIOGRAFÍA

Agencia Europea de Medioambiente. (2021, 11 mayo). *La energía y el cambio climático*.

<https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2017-configuracion-del-futuro/articulos/la-energia-y-el-cambio-climatico>

Alfonso., J. A. (2015, 15 abril). *Energía solar FV, solución para 1.300 millones de personas*. Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias.

<https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/energia-solar-fv-solucion-para-1-300-20150415>

Alonso, J. A. (2022, 31 enero). *Radiación, Irradiancia, Azimut y Hora sol Pico en*

Fotovoltaica. SunFields. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>

Amara-e. (2021, 14 abril). *Qué es el sobredimensionamiento*. <https://www.amara-e.com/sobredimensionar/>

Amigos de Nyumbani. (2015a, diciembre 2). *Presentación*.

<https://www.amigosdenyumbani.es/presentacion/>

Amigos de Nyumbani. (2015b, diciembre 16). *Nyumbani Village, Comunidad sostenible*.

<https://www.amigosdenyumbani.es/nyumbani-village-comunidad-sostenible/>

Carrasco, A. (2021, 8 noviembre). *Mantenimiento y Limpieza de las Placas Solares*. Otovo

Blog. <https://www.otovo.es/blog/placas-solares/mantenimiento-placas-solares/>

Climate-Data. (s. f.). *Clima Kitui*. <https://es.climate-data.org/africa/kenia/kitui/kitui-11147/>

- Compromiso RSE. (2014, 17 abril). *Energía Sin Fronteras lleva energía solar a estudiantes huérfanos del VIH/SIDA en Kenia*.
<https://www.compromisorse.com/rse/2014/04/17/energia-sin-fronteras-lleva-energia-solar-a-estudiantes-huerfanos-del-vihsida-en-kenia-/?year=2014&month=04&day=17&titleurl=energia-sin-fronteras-lleva-energia-solar-a-estudiantes-huerfanos-del-vihsida-en-kenia->
- Datosmacro.com. (2022). *Kenia: Economía y demografía 2022*. Expansión:
Datosmacro.com. <https://datosmacro.expansion.com/paises/kenia>
- de Antonio, E. (2021, 26 enero). *¿Cómo es la economía de Kenia?* Karibu Kenia.
<https://karibukenia.es/2021/01/26/como-es-la-economia-en-kenia/>
- Embassy of the Republic of Kenya in Spain. (s. f.). *Sobre Kenia*.
http://www.kenyaembassyspain.es/sobre_kenia/
- EnchufeSolar. (2022, 3 mayo). *¿Cómo afecta la temperatura al rendimiento de las placas solares?* <https://enchufesolar.com/blog/como-afecta-la-temperatura-al-rendimiento-de-las-placas-solares/>
- Gil, A. (2021, 9 marzo). *Los grandes productores de energía solar en el mundo*. El Orden Mundial - EOM. <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/grandes-productores-energia-solar-mundo/>
- Guijarro, C. (2021, 4 noviembre). *Sistemas fotovoltaicos aislados: ventajas, usos y dimensionamiento*. Selectra.
<https://selectra.es/autoconsumo/info/instalacion/aislada#dimensionado>
- Himoinsa. (s. f.). *Grupos electrógenos para la integración con sistemas fotovoltaicos* |HIMOINSA. <https://www.himoinsa.com>.

<https://www.himoina.com/esp/noticias/24/news/grupos-electrogenos-para-la-integracion-con-sistemas-fotovoltaicos-himoina.html>

Iberdrola. (2021, 22 abril). *Radiación solar: ¿Cuál es su impacto sobre el planeta y el ser humano?* <https://www.iberdrola.com/compromiso-social/radiacion-solar>

ICEX. (2021, abril). *Kenia: MARCO GEOGRÁFICO*.

<https://www.icex.es/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/paises/navegacion-principal/el-pais/informacion-economica-y-comercial/marco-geografico/index.html?idPais=KE>

IRENA. (2022a). *Renewable Capacity Statistics 2022*.

<https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022>

IRENA. (2022b). *World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C Pathway*.

https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Mar/IRENA_World_Energy_Transitions_Outlook_2022.pdf

IRENA. (2022c, abril). *Renewable capacity highlights*. [https://www.irena.org/-](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA_RE_Capacity_Highlights_2022.pdf?la=en&hash=6122BF5666A36BECD5AAA2050B011ECE255B3BC7)

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA_RE_Capacity_Highlights_2022.pdf?la=en&hash=6122BF5666A36BECD5AAA2050B011ECE255B3BC7](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA_RE_Capacity_Highlights_2022.pdf?la=en&hash=6122BF5666A36BECD5AAA2050B011ECE255B3BC7)

Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación. (2022, marzo). *Ficha*

País: Kenia.

https://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/KENIA_FICHA%20PAIS.pdf

- Techno Sun. (2022, 24 junio). *¿Cómo leer la ficha técnica de un panel solar?* | *Techno Sun Webportal B2B*. Techno Sun, SLU. <https://b2b.technosun.com/en/blog/our-blog-1/post/como-leer-la-ficha-tecnica-de-un-panel-solar-86>
- Terrasa, D. (2019, 15 agosto). *Kenia: relieve e hidrografía*. La Guía.
<https://geografia.laguia2000.com/geografia-regional/afrika/kenia-relieve-e-hidrografia>
- U.S. Energy Information Administration (EIA). (2021, octubre). *International Energy Outlook 2021 with Projections to 2050*.
https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/IEO2021_Narrative.pdf
- Vidal, O. (2021, 28 mayo). *El aumento de la temperatura del planeta en tres gráficos*. La Vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/vida/junior-report/20210325/6605302/aumento-temperatura-planeta-tres-graficos.html>
- World Bank Group. (2022, 3 junio). *Informe: La pandemia de COVID-19 demora el avance hacia el acceso universal a la energía*. World Bank.
<https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2022/06/01/report-covid-19-slows-progress-towards-universal-energy-access>

ANEXO I

A) PRESUPUESTO ENVIADA POR CAT:



Pro Forma Invoice

Centre For Alternative Technologies LTD
Baba Dogo Rd
Abacus Lane
Nairobi Nairobi
Ph: 0720635153 Fax:
Email: info@cat.co.ke
Reg: VAT: P051184963F

Number: QU-000006592
Date: 09/05/2022
Page: 1
Reference:
Required: 16/05/2022
Account: CUS003

Sold To:
Customer

Ship To:
Customer

Customer VAT:

Sales Person: Karani Kirabui

Line	Item	Description	Quantity	Unit	Unit Price	Discount	%	VAT	Total
1 01-231		Amerisolar Solar Panel AS-6M-HC 445W	244	EA	225.00	20.00		0.00	43,920.00
2 02-150		Victron Solar Quattro48/15000 Inv/C200-100/100 230	6	EA	5,900.00	20.00		0.00	28,320.00
3 03-022		MC4 solar Connectors Male	100	EA	6.00	20.00		76.80	480.00
4 03-023		MC4 solar Connectors Female	100	EA	6.00	20.00		76.80	480.00
5 13-216		6mm Flex DC Double Insulated Cable	200	EA	2.40	0.00		76.80	480.00
								Subtotal:	US\$ 73,680.00
								Discount:	US\$ 0.00
								Delivery:	US\$ 0.00
								VAT:	US\$ 230.40
								Total:	US\$ 73,910.40

PAYMENT BANK:
Diamond Trust Bank
Thika Road Mall Branch
Nairobi, Kenya
Beneficiary:
Centre for Alternative Technologies LTD
Account KES=0224114001
Account USD=0224114002
SWIFT code: DTKEKENA
Garden City Mall Branch
BANK CODE: 063
BRANCH CODE : 046

ALTERNATIVE PAYMENT BANK
Bank of Africa, Ruaraka Branch
Nairobi, Kenya
Beneficiary: Centre for Alternative Technologies LTD
Account KES=07024260006
Account USD=07024260019
SWIFT: AFRIKENX

B) FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR SUNNY TRIPOWER

SUNNY TRIPOWER
15000TL / 20000TL / 25000TL




STP 15000TL-30 / STP 20000TL-30 / STP 25000TL-30

Servicio inteligente con SMA Smart Connected

SMA ShadeFix
STRING LEVEL OPTIMIZATION

Rentable	Seguro	Flexible	Innovador
- Rendimiento máximo del 98,4 % - Aumento del rendimiento sin trabajo de montaje gracias a la gestión de sombras integrada SMA ShadeFix	Descargador de sobretensión de CC integrable (DPS tipo II)	- Tensión de entrada de CC hasta 1000 V - Diseño de plantas perfecto gracias al concepto de multistring - Pantalla opcional	- Innovadoras funciones de gestión de red gracias a Integrated Plant Control - Suministro de potencia reactiva las 24 horas del día (Q on Demand 24/7)

SUNNY TRIPOWER 15000TL / 20000TL / 25000TL

El especialista flexible para plantas comerciales y centrales fotovoltaicas de gran tamaño

El Sunny Tripower es el inversor ideal para plantas de gran tamaño en el sector comercial e industrial. Gracias a su rendimiento del 98,4 %, no solo garantiza unas ganancias excepcionalmente elevadas, sino que a través de su concepto de multistring combinado con un amplio rango de tensión de entrada también ofrece una alta flexibilidad de diseño y compatibilidad con muchos módulos fotovoltaicos disponibles.

La integración de nuevas funciones de gestión de energía como, por ejemplo, Integrated Plant Control, que permite regular la potencia reactiva en el punto de conexión a la red tan solo por medio del inversor, es una firme apuesta de futuro. Esto permite prescindir de unidades de control de orden superior y reducir los costes del sistema. El suministro de potencia reactiva las 24 horas del día (Q on Demand 24/7) es otra de las novedades que ofrece.

SMA SMART CONNECTED

Servicio técnico integrado para un confort absoluto

SMA Smart Connected* es la monitorización gratuita del inversor a través de Sunny Portal de SMA. Si se produce un error en un inversor, SMA informa de manera proactiva al operador de la planta y al instalador. Esto ahorrará valiosas horas de trabajo y costes.

Con SMA Smart Connected el instalador se beneficia del diagnóstico rápido de SMA, lo que le permite solucionar los errores con rapidez y ganarse la simpatía del cliente con atractivas prestaciones adicionales.



ACTIVACIÓN DE SMA SMART CONNECTED

El instalador activa SMA Smart Connected durante el registro de la planta en Sunny Portal y de este modo se beneficia de la monitorización automática de inversores por parte de SMA.



MONITORIZACIÓN AUTOMÁTICA DE INVERSORES

Con SMA Smart Connected, SMA se hace cargo de la monitorización de los inversores. SMA supervisa cada uno de los inversores de forma automática y permanente para detectar anomalías en el funcionamiento. De este modo, los clientes se benefician de la vasta experiencia de SMA.



COMUNICACIÓN PROACTIVA EN CASO DE ERRORES

Tras el diagnóstico y el análisis de un error, SMA informa de inmediato al instalador y al cliente final por correo electrónico. Así todas las partes están perfectamente preparadas para corregir el error. Esto minimiza el tiempo de parada y, en consecuencia, ahorra tiempo y dinero. Gracias a los informes regulares sobre el rendimiento se obtienen valiosas conclusiones adicionales acerca del sistema completo.



SERVICIO DE RECAMBIO

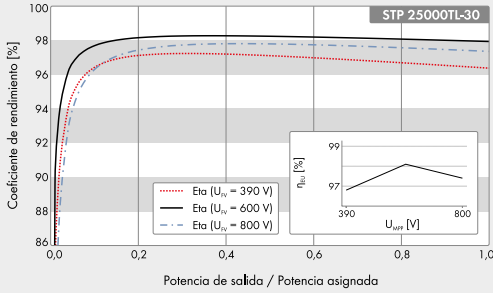
En caso de requerirse un equipo de recambio, SMA suministra automáticamente un nuevo inversor en el plazo de 1 a 3 días tras diagnosticarse el error. El instalador puede dirigirse de forma activa al operador de la planta para la sustitución del inversor.

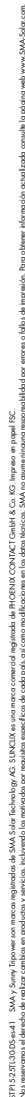


SERVICIO DE RENDIMIENTO

El operador de la planta puede exigir un pago compensatorio de parte de SMA si el inversor de recambio no se entrega dentro del plazo de 3 días.

* Para más detalles, véase el documento "Descripción de los servicios: SMA SMART CONNECTED"

Curva de rendimiento 			
Accesorios  Interfaz RS485 DM-485CB-10  Power Control Module PWCMD-10  Descargador de sobretensión de CC tipo II, entradas A y B DCSPD KIT3-10  Relé multifunción MFR01-10 ● De serie ○ Opcional — No disponible Datos en condiciones nominales Actualizado: 02/2021			
Datos técnicos	Sunny Tripower 15000TL	Sunny Tripower 20000TL	Sunny Tripower 25000TL
Entrada (CC)			
Potencia máx. del generador fotovoltaico	27000 Wp	36000 Wp	45000 Wp
Potencia asignada de CC	15330 W	20440 W	25550 W
Tensión de entrada máx.	1000 V	1000 V	1000 V
Rango de tensión MPP/tensión asignada de entrada	240 V a 800 V/600 V	320 V a 800 V/600 V	390 V a 800 V/600 V
Tensión de entrada mín./de inicio	150 V/188 V	150 V/188 V	150 V/188 V
Corriente máx. de entrada, entradas A/B	33 A/33 A	33 A/33 A	33 A/33 A
Corriente de cortocircuito máx. por entrada A/B	43 A/43 A	43 A/43 A	43 A/43 A
Número de entradas de MPP independientes/strings por entrada de MPP	2/A:3; B:3	2/A:3; B:3	2/A:3; B:3
Salida (CA)			
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)	15000 W	20000 W	25000 W
Potencia máx. aparente de CA	15000 VA	20000 VA	25000 VA
Tensión nominal de CA		3 / N / PE; 220 V / 380 V 3 / N / PE; 230 V / 400 V 3 / N / PE; 240 V / 415 V 180 V a 280 V	
Rango de tensión de CA		50 Hz/44 Hz a 55 Hz 60 Hz/54 Hz a 65 Hz	
Frecuencia de red de CA/rango		50 Hz/230 V	
Frecuencia asignada de red/tensión asignada de red		29 A/21,7 A	36,2 A/36,2 A
Corriente máx. de salida/corriente asignada de salida		1/0 inductivo a 0 capacitivo	
Factor de potencia a potencia asignada/Factor de desfase ajustable		≤ 3%	
THD		3/3	
Fases de inyección/conexión			
Rendimiento			
Rendimiento máx./europeo	98,4%/98,0%	98,4%/98,0%	98,3%/98,1%
Dispositivos de protección			
Punto de desconexión en el lado de entrada		●	
Monitorización de toma a tierra/de red		● / ●	
Descargador de sobretensión de CC: DPS tipo II		○	
Protección contra polarización inversa de CC/resistencia al cortocircuito de CA/con separación galvánica		● / ● / —	
Unidad de seguimiento de la corriente residual sensible a la corriente universal			
Clase de protección (según IEC 62109-1)/categoría de sobretensión (según IEC 62109-1)		I / AC; III; DC; II	
Datos generales			
Dimensiones (ancho/alto/fondo)		661/682/264 mm (26,0/26,9/10,4 in)	
Peso		61 kg (134,48 lb)	
Rango de temperatura de servicio		-25 °C a +60 °C (-13 °F a +140 °F)	
Emisión sonora, típica		51 dB(A)	
Autoconsumo nocturno		1 W	
Topología/principio de refrigeración		Sin transformador/OptiCool	
Tipo de protección (según IEC 60529)		IP65	
Clase climática (según IEC 60721-3-4)		4K4H	
Valor máximo permitido para la humedad relativa (sin condensación)		100%	
Equipamiento / función / accesorios			
Conexión de CC/CA		SUNCLIX/Borne de conexión por resorte	
Pantalla		○	
Interfaz: RS485, Speedwire/Webconnect		○ / ●	
Interfaz de datos: SMA Modbus / SunSpec Modbus		● / ●	
Relé multifunción/Power Control Module		○ / ○	
Gestión de sombras SMA ShadeFix/Integrated Plant Control/Q on Demand 24/7		● / ● / ●	
Compatible con redes aisladas/con SMA Fuel Save Controller		● / ●	
Garantía: 5/10/15/20 años		● / ○ / ○ / ○	
Certificados y autorizaciones (otros a petición)		ANRE 30, AS 4777, BDEW 2008, C10/11:2012, CE, CEI 0-16, CEI 0-21, DEWA 2.0, EN 50438:2013*, G59/3, IEC 60068-2-x, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116, MEA 2013, NBR 16149, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PEA 2013, PPC, RD 1699/413, RD 661/2007, Res. n.º 7:2013, RfG compliant, SI4777, TCR D4, TR 3.2.2, UTE C15-712-1, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, VFR 2014	
Modelo comercial	STP 15000TL-30	STP 20000TL-30	STP 25000TL-30



C) FICHA TÉCNICA DEL MÓDULO SOLAR

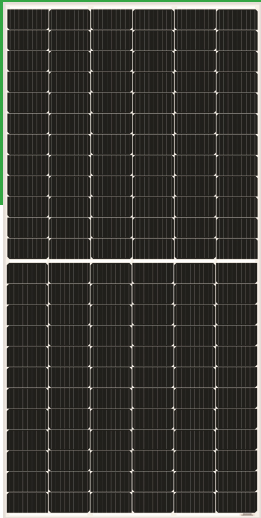


Amerisolar | New Energy New World®

AS-6M144-HC

430W~450W

MONOCRYSTALLINE MODULE



ADVANCED PERFORMANCE & PROVEN ADVANTAGES

- High module conversion efficiency up to 20.37% by using innovative Half-cell design and Multi-busbar(MBB) cell technology.
- Low temperature coefficient and excellent performance under high temperature and low light conditions.
- Robust aluminum frame ensures the modules to withstand wind loads up to 2400Pa and snow loads up to 5400Pa.
- High reliability against extreme environmental conditions (passing salt mist, ammonia and hail tests).
- Potential induced degradation (PID) resistance.
- Positive power tolerance of 0 ~ +3 %.

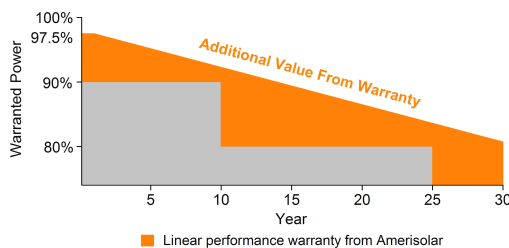
CERTIFICATIONS

- IEC 61215, IEC 61730, UL 1703, IEC 62716, IEC 61701, IEC TS 62804, CE, CQC
- ISO 9001:2015: Quality management system
- ISO 14001:2015: Environmental management system
- ISO 45001:2018: Occupational health and safety management system

SPECIAL WARRANTY

- 20 years product warranty
- 30 years linear power output warranty

Passionately
committed to
delivering innovative
energy solution



■ Linear performance warranty from Amerisolar
 ■ Standard performance warranty

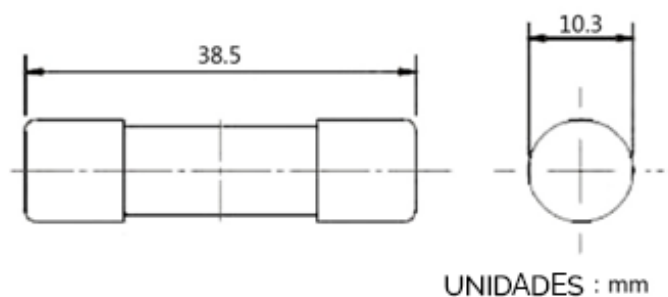
D) FICHA TÉCNICA DEL FUSIBLE

PARÁMETROS TÉCNICOS

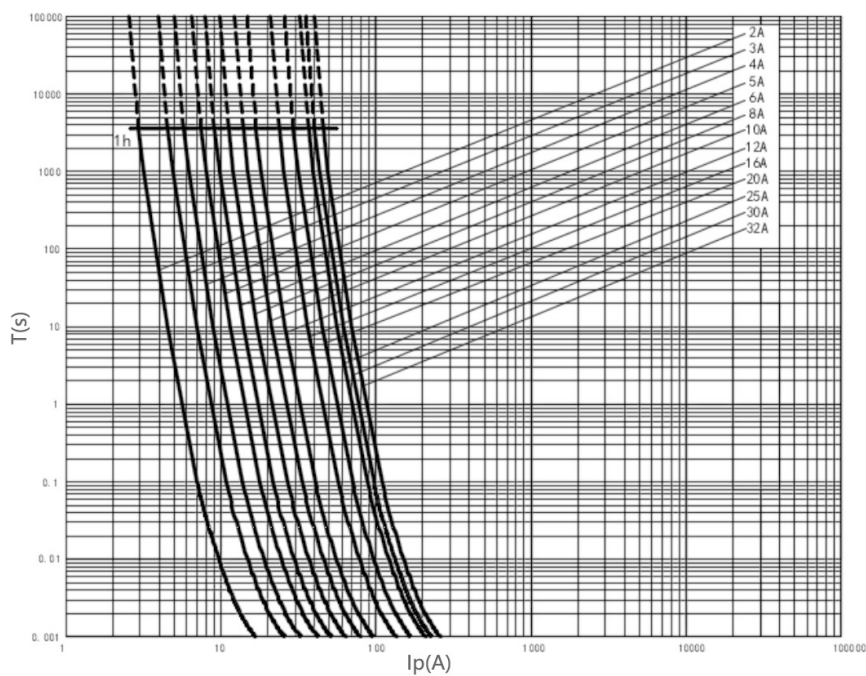
MODELO			ZTPV 25	
Imagen				
Tamaño (mm)			10x38	
Tensión nominal Ue (V)			DC1000	
Corriente nominal In (A)			1 2 3 4 5 6 8 10 12 15 16 20 25 30 32	
Capacidad de ruptura nominal (33)			33	
Clase de operación			gPV	
Temperatura de trabajo			-50~105	
Altitud (m)			≤ 2000	
Peso (g)			10	
Estándar			IEC60269.6	
Detalles del material				
Nombre de la pieza	Tapa	Cuerpo	Elemento fusible	Agente extintor de arcos
Material	Cobre rojo	Óxido de aluminio	Plata	Silicio

FUSIBLE SOLAR ZTPV-25 10X38

DIBUJO ACOTADO



CURVA DE CARACTERÍSTICAS



E) FICHA TÉCNICA DEL DESCARGADOR DE SOBRETENSIONES



SA2EDGK10M3

SCARICATORE DI SOVRATENSIONE TIPO 2 PER APPLICAZIONI FOTOVOLTAICHE A CARTUCCIA ESTRAIBILE, CORRENTE DI CORTO CIRCUITO ISCPV 9KA, +, -, PE. SENZA CONTATTO REMOTO



Denominazione del prodotto

Scaricatore di
sovratensione
(SPD)

Tipo

SA2E

Tipo di tensione di funzionamento

DC

Applicazione

DC Power lines

Numero di moduli DIN

3

Caratteristiche elettriche

Tensione di funzionamento nominale DC	VDC	1100
Tensione massima continuativa Ucpv	V	1100
Corrente massima di scarica I _{max} 8/20 (L-N/N-PE)	kA	40
Corrente nominale di scarica I _n 8/20 (L-N/N-PE)	kA	20
Livello di protezione U _p (L-N/N-PE)	kV	<4.0
Livello di protezione U _p (L-L/L-PE)	kV	<4.0
Fusibile di backup (IEC) per alimentazione con I _{sc} >100A	Class/A	Not needed
Corrente massima di corto circuito a 50Hz	kA	50
Corrente massima di corto circuito I _{scpv}	kA	9
Indicazione di stato - funzionamento / fine vita		Frontal indication

Condizioni ambientali

Temperatura di impiego

min	°C	-40
max	°C	+85

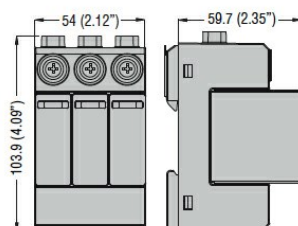
Altitudine massima

m 2000

Caratteristiche meccaniche

Fissaggio		Guida DIN
Sezione dei conduttori Flessibili max (IEC)	mm ²	25
Sezione dei conduttori Rigidi max (IEC)	mm ²	35
Lunghezza spelatura cavo	mm	15
Peso prodotto	g	329

Dimensioni

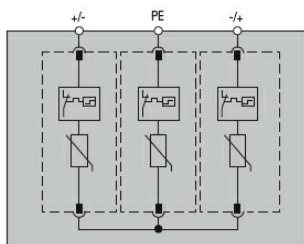


Schemi elettrici



SA2EDGK10M3

SCARICATORE DI SOVRATENSIONE TIPO 2 PER APPLICAZIONI FOTOVOLTAICHE A
CARTUCCIA ESTRAIBILE, CORRENTE DI CORTO CIRCUITO ISCPV 9KA, +, -, PE. SENZA
CONTATTO REMOTO



Omologazioni e conformità

Conformità

IEC/EN/BS 50539-11

Omologazioni

EAC

