



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO PLAN DIRECTOR DE ELECTRIFICACIÓN RURAL EN NYUMBANI VILLAGE (KITUI, KENIA)

Autor: Raúl Pardo Baquedano

Director: Miguel Rianza Moreno

Madrid, Agosto 2023

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

Plan director de electrificación rural en Nyumbani Village (Kitui, Kenia)

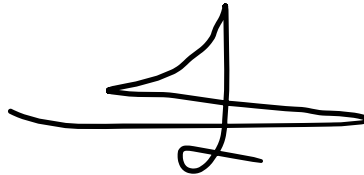
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2022/2023 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.: Raúl Pardo Baquedano

Fecha: 26/08/2023

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Miguel Riaza Moreno

Fecha: 28/08/2023





GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO PLAN DIRECTOR DE ELECTRIFICACIÓN RURAL EN NYUMBANI VILLAGE (KITUI, KENIA)

Autor: Raúl Pardo Baquedano

Director: Miguel Rianza Moreno

Madrid, Agosto 2023

Agradecimientos

Primero y, ante todo, me gustaría expresar mi más profundo agradecimiento a mi tutor, Miguel Riaza, cuya guía y apoyo constante me han llevado a culminar este proyecto. Su paciencia, conocimientos y motivación han sido esenciales en cada paso.

No puedo dejar de mencionar a mis padres, Inmaculada y Javier, quienes me han brindado un amor incondicional y han sido mi pilar durante toda esta travesía académica. Su fe en mí y sus sacrificios me han impulsado a alcanzar metas que jamás imaginé.

Además, quisiera agradecer a mi tía Teresa, cuyo apoyo moral y cariño han sido invaluableles en los momentos más desafiantes. Su presencia y aliento han hecho que este viaje sea más llevadero.

Finalmente, quiero expresar mi gratitud a todos aquellos que, de una forma u otra, han sido parte de este proceso, enriqueciendo mi experiencia y formación.

PLAN DIRECTOR DE ELECTRIFICACIÓN RURAL EN NYUMBANI VILLAGE (KITUI, KENIA)

Autor: Pardo Baquedano, Raúl.

Director: Riaza Moreno, Miguel.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

El siguiente proyecto estudia la mejora del sistema eléctrico en Nyumbani. Se realiza un flujo de cargas para analizar el comportamiento de la red en el que se concluye con la ampliación de la planta fotovoltaica existente a 44 kW y la creación de una nueva de 45 kW ampliable a 90 kW. Se incluye también el cableado la red. Se analiza la instalación de un variador de frecuencia para controlar una bomba de agua en Nyumbani.

Palabras clave: Flujo de cargas, Variador, Generación, Consumo, Fotovoltaica

1. Introducción

En Kenia, el 34,9% de la población vive en condiciones de vulnerabilidad a la pobreza, una situación más pronunciada en áreas rurales y entre grupos marginados, exacerbada por el alto desempleo y la desigualdad de ingresos. Además, el país enfrenta graves impactos debido al VIH, en especial entre huérfanos que enfrentan barreras para recibir atención médica y tratamiento antirretroviral. Sumado a esto, la pobreza energética es un desafío, con el 25% de los hogares sin acceso a electricidad en 2021, restringiendo la educación, la salud y la productividad. Sin embargo, el gobierno keniano ha implementado programas, incluido el Programa Nacional de Electrificación, para abordar estos problemas.

La ONG "Nyumbani" en Kuiti, Kenya, se encarga del cuidado y educación de huérfanos debido al SIDA. La aldea Nyumbani Village, considerada una ecoaldea, aloja a 964 niños huérfanos y 100 ancianos en unidades familiares desde el año 2004, sosteniéndose con energía fotovoltaica. Además de la educación formal, ofrecen formación en oficios y, desde 2015, en energías renovables.

2. Definición del Proyecto

El proyecto tiene como objetivo mejorar la infraestructura energética del poblado a través de varias iniciativas claves. En primer lugar, se diseñará una red eléctrica centralizada que sustituirá la necesidad de placas fotovoltaicas individuales en cada sitio. Esta red promoverá la sostenibilidad, impulsará el desarrollo socioeconómico y mejorará la calidad de vida. Para su evaluación, se utilizará el software PSS/E.

Se propone también la creación de una nueva planta fotovoltaica que, junto a la planta existente, concentrarán la producción de energía en dos puntos, permitiendo una gestión y mantenimiento más eficientes y seguros.

A nivel de presentación y planificación, se desarrollará un modelo 3D que representará tanto la red eléctrica como las plantas fotovoltaicas. Esta herramienta facilitará la

comunicación con donantes y será de gran utilidad para los equipos de construcción y mantenimiento.

Por último, se investigará la posibilidad de alimentar una bomba de agua de 4 kW con electricidad solar procedente de 44 placas de 205 W conmutada con un generador diesel. Esto implica evaluar la introducción de un variador de frecuencia para mejorar la eficiencia y reducir costes.

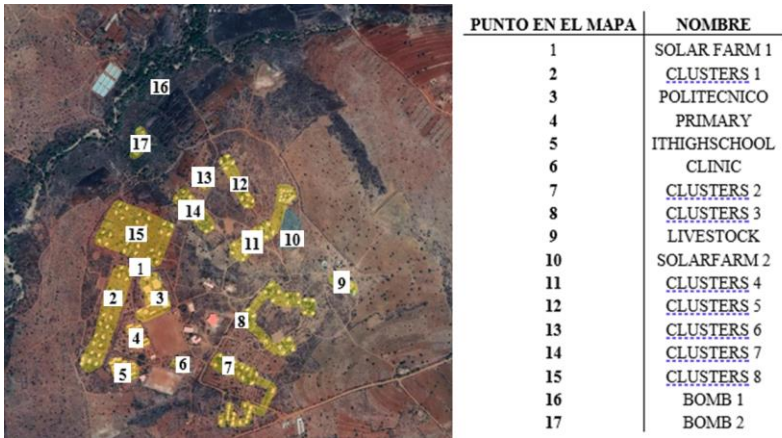
3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

Para el estudio del sistema completo se ha modelado en el software PSS/E, capaz de realizar flujos de cargas.

Para comenzar describirán todos los nudos en el sistema. Es fundamental estudiar los nudos para determinar la viabilidad del sistema, considerando demandas máximas y sobredimensionamiento.

Los nudos de consumo/demanda considerarán pérdidas y posibles ampliaciones para establecer la demanda máxima. Es vital conocer la generación adicional necesaria en los nudos de generación. Los nudos con pequeños paneles solares en edificios reducirán la potencia consumida.

Respecto a los tipos de nudos, hay nudos PQ, que son 13 en total. Algunos, como CLINIC y HIGH SCHOOL, también tienen generación. Los CLUSTERS son agrupaciones de 4 viviendas para niños y un cuidador con una estimada potencia de consumo de 0,5 kW. POLITÉCNICO es un edificio con maquinaria antigua y un consumo de 43,375 kW, pero se establece en 40 kW. PRIMARY es una escuela básica con consumo principal de iluminación y tabletas, establecido en 8 kW. IT HIGH SCHOOL es para estudiantes avanzados con un consumo de 8kW. CLINIC es un centro de salud con un consumo máximo de 0,508 kW, pero se establece en 6 kW. LIVESTOCK es una granja sin electricidad actual con un consumo estimado de 10 kW. BOMBAS son dos nudos con bombas de 4 kW cada uno. En cuanto a los nudos de generación, pueden ser Swing o PV. Hay 2 nudos de generación: SOLAR FARM 1 que será el nudo PV y SOLAR FARM 2 que actuará como nudo swing o de referencia.. La tensión de funcionamiento es de 400 V y se definen los consumos y generaciones.



1. Nudos del sistema

Para las líneas, es crucial conocer resistencia, reactancia y capacitancia, así como la longitud de las líneas para el modelo. Solo se considerarán los parámetros serie debido a las dimensiones y la baja tensión.

Se emplearán dos tipos de cables: un cable de aluminio de 240mm² para el anillo principal y un cable de cobre de 35mm² para conexiones adicionales. La marca escogida es “METSEC-CABLES LIMITED” de Kenia.

Los parámetros del cable de Aluminio 240 son: resistencia de 0,138 Ω /km después de correcciones y reactancia de 0,01435 Ω /km. Para el cable de Cobre 35, se han obtenido datos de la ficha técnica, y la resistencia corregida es de 1,15 Ω /km.

4. Resultados

Se estudiaron dos posibles escenarios, el primero únicamente tendría en cuenta la instalación de una nueva planta fotovoltaica mientras que el segundo buscaría ampliar la primera a 44 kW ya que es su capacidad máxima instalable y construir una nueva ampliable. Con esta opción la nueva planta tendría que generar 35,03 kW frente a los 59,24 kW que tendría que generar de base en el otro escenario.

Comparando los resultados resulta más estable la segunda opción puesto que no solo las tensiones son más próximas a 400V en todo el sistema, sino que también se producen menos pérdidas en las líneas (4,03 kW frente a 8,84 kW) al estar el politécnico, la mayor carga del sistema, más próximo al lugar de generación.

Bus Number	Bus Name	Base kV	Code	Voltage (pu)	Angle (deg)
1	SOLARFARM1	0,4	2	0,995	0,16
2	CLUSTERS1	0,4	1	0,9705	0
3	POLITECNICO	0,4	1	0,9122	-0,51
4	PRIMARY	0,4	1	0,9162	-0,55
5	ITHIGHSCHOOL	0,4	2	0,9327	-0,58
6	CLINIC	0,4	2	0,945	-0,36
7	CLUSTERS2	0,4	1	0,9545	-0,24
8	CLUSTERS3	0,4	1	0,9761	-0,12
9	FARM	0,4	1	0,897	-0,29
10	SOLARFARM2	0,4	3	1	0
11	CLUSTERS4	0,4	1	0,9896	-0,04
12	CLUSTERS5	0,4	1	0,9786	-0,06
13	CLUSTERS6	0,4	1	0,972	-0,07
14	CLUSTERS7	0,4	1	0,9728	-0,04
15	CLUSTERS8	0,4	1	0,9827	0,06
16	BOMB1	0,4	1	0,8542	-0,4
17	BOMB2	0,4	1	0,9138	-0,21

2. Tabla con tensiones y ángulos en los nudos

Como se comentaba anteriormente, para una mejor visualización de el recorrido de las líneas se ha creado un modelo 3D con Sketchup.



3. Modelo 3D del sistema

En cuanto a la bomba de 4 kW será conectada a el generador y a las placas fotovoltaicas mediante un variador solar SALICRU CV30-040-4F PV y un autoconmutador que actuará activando el generador diésel cuando la potencia de las placas no sea suficiente ATS MOD-550-4-PV de la misma marca.

5. Conclusiones y coste

El proyecto cumple con su principal objetivo, mejorar las condiciones de vida de unos 1000 niños huérfanos en Nyumbani al expandir el sistema eléctrico, lo que permitirá la incorporación de más máquinas, ordenadores, cocinas, neveras y otros elementos esenciales para su desarrollo. La ampliación se divide en tres fases:

1. Instalación de la red y ampliación de la planta fotovoltaica existente con un coste de 110,000€.
2. Instalación de una nueva planta fotovoltaica de 45 kW por 60,000€.
3. Duplicación de la potencia de la planta anterior por otro coste de 60,000€, aunque esta fase no es tan crítica como las dos primeras.

El proyecto es de carácter benéfico y depende de donaciones para llevarse a cabo. La creación de un modelado 3D tiene como objetivo atraer a donantes potenciales y brindarles una visión más clara del proyecto, especialmente a aquellos no familiarizados con el ámbito eléctrico o que no conocen Nyumbani.

Por último, se destaca que la instalación del variador de frecuencia, que es el aspecto menos costoso del proyecto, será la primera tarea que ejecutar, ya que supondrá un significativo ahorro en combustible en relación con su inversión. El coste total está estimado en 695€.

En la siguiente tabla se recoge el gasto tanto en euros como en chelines kenianos para llevar a cabo la elaboración de este proyecto:

	COSTE EN €	COSTE EN KSh
CABLEADO	90876,36	14176711,24
Cables Aluminio 240	71147,12	11098950
Cables Cobre 35	19729,25	3077762,8
INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	126844,75	19787779,72
Ampliación de la planta existente a 44 kW	10004,85	1560756,5
Nueva planta de 45 kW	59490,1	9280455
Ampliación a 90 kW	57349,8	8946568,22
VARIADOR DE FRECUENCIA	695	108419,99
TOTAL	218416,11	34072910,95

4. Tabla con resumen económico

6. Referencias

- [1] Banco Mundial. “Panorama general “. Entendiendo la pobreza. Septiembre, 2022.
<https://www.bancomundial.org/es/topic/poverty/overview>.
- [2] Human Development Reports. “2019 GLOBAL MULTIDIMENSIONAL POVERTY INDEX (MPI)”, Enero 2019. <https://hdr.undp.org/content/2019-global-multidimensional-poverty-index-mpi>
- [3] Echevarren Cerezo. F.M.. “AMPLIACIÓN DE SS DE ENERGÍA ELÉCTRICA. “. . Agosto, 2019.
- [4] Ines Come, E. “Renewable Energy for Rural Electrification and Developement in Mozambique “. KTH School of Industrial Engineering and Management . Junio, 2015.
- [5] Soto, C. S. V. “PROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN RURAL EN NYUMBANI VILLAGE (KITUI, KENIA): PLANIFICACIÓN DE LA GENERACIÓN DE LA ENERGÍA MEDIANTE PANELES FOTOVOLTAICOS”. Agosto 2022
- [6] Benjumeda Hektoen, J. “Proyecto de electrificación rural en Nyumbani Village (Kitui, Kenya): planificación de la red de distribución”. Agosto 2022

RURAL ELECTRIFICATION MASTER PLAN IN NYUMBANI VILLAGE (KITUI, KENYA)

Author: Pardo Baquedano, Raúl

Supervisor: Riaza Moreno, Miguel.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

The following project examines the improvement of the electrical system in Nyumbani. A load flow is carried out to analyze the behavior of the network, concluding with the expansion of the existing photovoltaic plant to 44 kW and the creation of a new one at 45 kW, which can be expanded to 90 kW. The network wiring is also included. The installation of a variable-frequency drive to control a water pump in Nyumbani is analyzed.

Keywords: Power flow, Variable-frequency drive (VFD), Generation, Consumption, Photovoltaic

1. Introduction

In Kenya, 34.9% of the population lives in conditions vulnerable to poverty, a situation that is more pronounced in rural areas and among marginalized groups. This is exacerbated by high unemployment and income inequality. Additionally, the country faces severe impacts due to HIV, especially among orphans who face barriers to receiving medical care and antiretroviral treatment. On top of this, energy poverty is a challenge, with 25% of households lacking access to electricity in 2021, hindering education, health, and productivity. However, the Kenyan government has implemented programs, including the National Electrification Program, to address these issues.

The NGO "Nyumbani" in Kuiti, Kenya, is responsible for the care and education of orphans due to AIDS. The Nyumbani Village, considered an eco-village, has housed 964 orphan kids and 100 elderly people in family units since 2004, powered by photovoltaic energy. In addition to formal education, they offer vocational training, and since 2015, training in renewable energies.

2. Project Definition

The project aims to improve the energy infrastructure of the village through several key initiatives. First, a centralized electrical grid will be designed to replace the need for individual photovoltaic panels at each site. This network will promote sustainability, boost socioeconomic development, and improve the quality of life. For its evaluation, the PSS/E software will be used.

It is also proposed to create a new photovoltaic plant which, together with the existing one, will concentrate energy production at two points, allowing for more efficient and safe management and maintenance.

At the presentation and planning level, a 3D model will be developed representing both the electrical network and the photovoltaic plants. This tool will facilitate

communication with donors and will be invaluable for construction and maintenance teams.

Lastly, the possibility of powering a water pump with solar electricity switched with a diesel generator will be investigated. This implies evaluating the introduction of a frequency converter to improve efficiency and reduce costs.

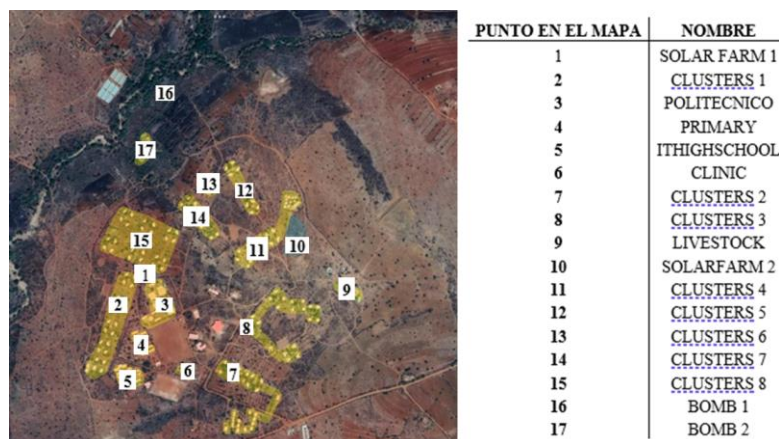
3. Model description/System/Tools

For the study of the complete system, it has been modeled in the PSS/E software, capable of performing power flows.

To begin, all the nodes in the system will be described. It is essential to study the nodes to determine the viability of the system, considering peak demands and oversizing.

The consumption/demand nodes will consider losses and possible expansions to establish the maximum demand. It is vital to know the additional generation needed at the generation nodes. Nodes with small solar panels on buildings will reduce the consumed power.

Regarding the types of nodes, there are PQ nodes, 13 in total. Some, such as CLINIC and HIGH SCHOOL, also have generation. The CLUSTERS are groups of 4 houses for children and a caregiver with an estimated power consumption of 0.5 kW. POLITÉCNICO is a building with old machinery and a consumption of 43.375 kW but is set at 40 kW. PRIMARY is a basic school with main consumption from lighting and tablets, set at 8 kW. IT HIGH SCHOOL is for advanced students with a consumption of 8 kW. CLINIC is a health center with a maximum consumption of 0.508 kW but set at 6 kW. LIVESTOCK is a farm without current electricity with an estimated consumption of 10 kW. PUMPS are two nodes with pumps of 4 kW each. As for the generation nodes, they can be Swing or PV. There are 2 generation nodes: SOLAR FARM 1 which will be the PV node, and SOLAR FARM 2 which will act as a swing or reference node. The operating voltage is 400 V, and the consumptions and generations are defined.



5. System nodes

For the lines, it's crucial to know the resistance, reactance, and capacitance, as well as the length of the lines for the model. Only series parameters will be considered due to the dimensions and low voltage.

Two types of cables will be used: a 240mm² aluminum cable for the main ring and a 35mm² copper cable for additional connections. The chosen brand is "METSEC-CABLES LIMITED" from Kenya.

The parameters for the 240 Aluminum cable are: resistance of 0.138 Ω /km after corrections and reactance of 0.01435 Ω /km. For the 35 Copper cable, data has been obtained from the technical sheet, and the corrected resistance is 1.15 Ω /km.

4. Results

Two potential scenarios were studied: the first would only consider the installation of a new photovoltaic plant, while the second would aim to expand the first one to 44 kW since that is its maximum installable capacity and to build another one that's expandable. With this option, the new plant would have to generate 35.03 kW compared to the 59.24 kW it would have to generate as a baseline in the other scenario.

Comparing the results, the second option proves to be more stable. Not only are the voltages closer to 400V throughout the system, but there are also fewer losses in the lines (4,03 kW compared to 8,84 kW) since the "POLITÉCNICO", the system's largest load, is closer to the generation site.

Bus Number	Bus Name	Base kV	Code	Voltage (pu)	Angle (deg)
1	SOLARFARM1	0,4	2	0,995	0,16
2	CLUSTERS1	0,4	1	0,9705	0
3	POLITECNICO	0,4	1	0,9122	-0,51
4	PRIMARY	0,4	1	0,9162	-0,55
5	ITHIGHSCHOOL	0,4	2	0,9327	-0,58
6	CLINIC	0,4	2	0,945	-0,36
7	CLUSTERS2	0,4	1	0,9545	-0,24
8	CLUSTERS3	0,4	1	0,9761	-0,12
9	FARM	0,4	1	0,897	-0,29
10	SOLARFARM2	0,4	3	1	0
11	CLUSTERS4	0,4	1	0,9896	-0,04
12	CLUSTERS5	0,4	1	0,9786	-0,06
13	CLUSTERS6	0,4	1	0,972	-0,07
14	CLUSTERS7	0,4	1	0,9728	-0,04
15	CLUSTERS8	0,4	1	0,9827	0,06
16	BOMB1	0,4	1	0,8542	-0,4
17	BOMB2	0,4	1	0,9138	-0,21

6. Table with voltages and angles

As mentioned earlier, for a better visualization of the route of the lines, a 3D model has been created with Sketchup.



7. 3D model of the system

Regarding the 4 kW pump, it will be connected to the generator and the photovoltaic panels using a SALICRU CV30-040-4F PV solar inverter and an auto-switch that will activate the diesel generator when the power from the panels is not sufficient, using the ATS MOD-550-4-PV from the same brand.

5. Conclusions and cost

The project meets its primary goal: to improve the living conditions of about 1,000 orphaned children in Nyumbani by expanding the electrical system. This will allow the addition of more machinery, computers, kitchens, refrigerators, and other essential elements for their development. The expansion is divided into three phases:

1. Installation of the network and expansion of the existing photovoltaic plant at a cost of €110,000.
2. Installation of a new 45 kW photovoltaic plant for €60,000.
3. Doubling the power of the previous plant for an additional €60,000, although this phase is not as critical as the first two.

The project is charitable in nature and relies on donations to be carried out. The creation of a 3D model aims to attract potential donors and provide them with a clearer view of the project, especially those not familiar with the electrical field or unaware of Nyumbani.

Lastly, it is worth noting that the installation of the frequency converter, which is the least costly aspect of the project, will be the first task to be carried out, as it will result in significant fuel savings relative to its investment. The total cost is estimated in 695€.

The following table lists the expenses both in euros and in Kenyan shillings required to implement this project:

	COST IN €	COST IN KSh
WIRING	90876,36	14176711,24
Aluminum Cables 240	71147,12	11098950
Copper Cables 35	19729,25	3077762,8
PHOTOVOLTAIC INSTALLATION	126844,75	19787779,72
Expansion of existing plant to 44 kW	10004,85	1560756,5
New 45 kW plant	59490,1	9280455
Expansion to 90 kW	57349,8	8946568,22
FREQUENCY CONVERTER	695	108419,99
TOTAL	218416,11	34072910,95

8. Financial summary table

6. References

- [1] Banco Mundial. “Panorama general “. Entendiendo la pobreza. Septiembre, 2022. <https://www.bancomundial.org/es/topic/poverty/overview>.
- [2] Human Development Reports. “2019 GLOBAL MULTIDIMENSIONAL POVERTY INDEX (MPI)”, Enero 2019. <https://hdr.undp.org/content/2019-global-multidimensional-poverty-index-mpi>
- [3] Echevarren Cerezo. F.M.. “AMPLIACIÓN DE SS DE ENERGÍA ELÉCTRICA. “. Agosto, 2019.
- [4] Ines Come, E. “Renewable Energy for Rural Electrification and Developement in Mozambique “. KTH School of Industrial Engineering and Management . Junio, 2015.
- [5] Soto, C. S. V. “PROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN RURAL EN NYUMBANI VILLAGE (KITUI, KENIA): PLANIFICACIÓN DE LA GENERACIÓN DE LA ENERGÍA MEDIANTE PANELES FOTOVOLTAICOS”. Agosto 2022
- [6] Benjumeda Hektoen, J. “Proyecto de electrificación rural en Nyumbani Village (Kitui, Kenya): planificación de la red de distribución”. Agosto 2022

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	7
1.1 Motivación del proyecto.....	7
1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	9
1.2.1 Planificación de la Red de Distribución.....	9
1.2.2 Estudio de la Implementación de un Nuevo Huerto Solar	9
1.2.3 Modelado 3D del Proyecto.....	9
1.2.4 Estudio de la instalación de un variador de frecuencia en una bomba	10
1.3 Antecedentes	11
1.4 Cronograma y metodología de trabajo	12
Capítulo 2. Contextualización del Proyecto.....	14
2.1 Marco General.....	14
2.1.1 La Pobreza Mundial	14
2.1.2 El VIH.....	14
2.1.3 La Pobreza Energética	15
2.1.4 Kenia	16
2.2 Nyumbani Village	18
2.2.1 Amigos de nyumbani.....	19
Capítulo 3. Estado de la cuestión.....	20
3.1 Resumen de las investigaciones anteriores.....	20
3.2 Evaluación de las metodologías utilizadas	21
3.3 Justificación de la nueva investigación	21
3.4 Alineación con los ODS	22
Capítulo 4. Definición del Trabajo	25
4.1 Descripción de la red.....	25
4.1.1 Nudos.....	25
4.1.2 Líneas	28
4.1.3 Generación Y Consumos	29
4.1.4 Almacenamiento	30
4.2 Bomba y su generación	31

Capítulo 5. Descripción de las Tecnologías.....	34
5.1 Flujo de cargas.....	34
5.1.1 ¿Por qué es importante el flujo de cargas?.....	34
5.1.2 Las líneas de distribución.....	35
5.1.3 Definición del flujo de cargas	41
5.1.4 Método Newton-Raphson	44
5.2 Variador de frecuencia	47
5.2.1 Sistema de energía híbridos con energía solar y generación diésel	47
5.2.2 Funcionamiento de un variador de frecuencia para un sistema de energía híbrido	48
Capítulo 6. Desarrollo del sistema para el flujo de cargas	49
6.1 Definición de los nudos.....	49
6.1.1 Nudos de demanda	49
6.1.2 Nudos de generación	54
6.1.3 Nudos dentro de PSS/E.....	55
6.2 Definición de las líneas	57
6.2.1 Identificación de parámetros cable de Aluminio 240.....	57
6.2.2 Identificación de parámetros cable Cobre 35	59
6.2.3 Líneas en PSS/E.....	60
6.2.4 Visualización del proyecto	62
Capítulo 7. Análisis de resultados del flujo de cargas.....	64
7.1 Resultados sin ampliación del huerto solar instalado por energía sin fronteras	64
7.1.1 Tensiones y ángulos en los nudos.....	64
7.1.2 Balance de potencias.....	68
7.2 Resultados con ampliación del huerto solar instalado por energía sin fronteras a 44 kW ..	69
7.2.1 Tensiones y ángulos en los nudos.....	69
7.2.2 Balance de potencias.....	71
7.3 Comparativa de los resultados obtenidos	72
Capítulo 8. Ampliación de la capacidad de generación	74
8.1 Ampliación del huerto solar instalado por energía sin fronteras a 44 kW.....	74
8.2 Diseño del nuevo solar farm.....	76
8.2.1 Capacidad espacial	76

8.2.2 Construcción de la planta	77
Capítulo 9. Instalación del variador de frecuencia	79
Capítulo 10. Análisis económico.....	83
10.1 Coste de las líneas	83
10.2 Coste de la ampliación de la planta fotovoltaica	85
10.3 Coste de la nueva planta fotovoltaica.....	86
10.4 Análisis económico de la instalación del variador	87
10.4.1 Ahorro en combustible con la instalación del variador	87
10.5 Resumen del coste total del proyecto	88
Capítulo 11. Conclusiones.....	89
Capítulo 12. Bibliografía.....	90
ANEXO I. Fichas técnicas	93
ANEXO II. Informes de C.S. nuevo solar farm	113

Índice de figuras

Figura 1. Fotografía Aérea de Nyumbani Village	8
Figura 2. Instalación de un sistema minigríd eléctrico en Nyumbani (Kenia)	15
Figura 3. Bandera Mapa de Kenia	16
Figura 4. Huerto de Nyumbani	19
Figura 5. Logo ONG Amigos de Nyumbani	19
Figura 6. Objetivos de Desarrollo Sostenible	24
Figura 7. Vista satélite y lista de edificios	25
Figura 8. Mapa con los nudos en Nyumbani	27
Figura 9. Recorrido de los cables	29
Figura 10. Estimación del consumo diario en Nyumbani	30
Figura 11. Placas solares. Generación solar de la bomba	32
Figura 12. Grupo electrógeno. Generación térmica de la bomba	33
Figura 13. Partes de un cable comercial	35
Figura 14. Parámetros de una línea	37
Figura 15. Efecto pelicular en conductores	38
Figura 16. Ley de Ampère y Ley de Lenz	39
Figura 17. Esquema del modelo en π	41
Figura 18. Gráfico ejemplo para la explicación del metodo Newton-Raphson	45
Figura 19. Vista de Politécnico en el modelo 3D	51
Figura 20. Vistsa de Primary en el modelo 3D	52
Figura 21. Vista de IT High School en el modelo 3D	52
Figura 22. Vista de Clinic en el modelo 3D	53
Figura 23. Vista de Livestock en el modelo 3D	53
Figura 24. Vista de Solar Farm 1 en el modelo 3D	54
Figura 25. Vista de Solar Farm 2 en el modelo 3D	55
Figura 26. Listado de nudos en PSS/E	55
Figura 27. Cargas en PSS/E	56
Figura 28. Generación en PSS/E	56

Figura 29. Cables de aluminio utilizados	57
Figura 30. Cables de cobre utilizados.....	59
Figura 31. Parámetros de cables de cobre por secciones.....	60
Figura 32. Parámetros de las líneas en PSS/E (longitud en km)	61
Figura 33. Clasificación de las líneas por distancia y material	61
Figura 34. Vista del sistema completo en 3D 1	62
Figura 35. Vista del sistema en completo en 3D 2	63
Figura 36. Tensiones en los nudos 1 [pu].....	65
Figura 37. Mapa de calor de las tensiones en los nudos 1.....	66
Figura 38. Porcentaje de potencia consumida por nudo dentro del sistema.....	67
Figura 39. Potencias del sistema 1 [kW]	68
Figura 40. Tensiones en los nudos 2 [pu].....	70
Figura 41. Mapa de calor de las tensiones en los nudos 2.....	71
Figura 42. Potencias del sistema 2 [kW]	72
Figura 43. Esquema conexión Solar Farm.....	75
Figura 44. Comprobación del numero de placas instalables	77
Figura 45. SALICRU CV30-040-4F PV	80
Figura 46. ATS MOD-550-4-PV.....	81
Figura 47. Diagrama de bloques ATS	81
Figura 48. Esquema eléctrico variador de frecuencia.....	82
Figura 49. Cable de aluminio y precio	83
Figura 50. Cable de cobre y precio.....	84

Índice de tablas

Tabla 1. Cronograma del proyecto	13
Tabla 2. Nudos en Nyumbani	26
Tabla 3. Clasificación de cables de la red	28
Tabla 4. Almacenamiento	31
Tabla 5. Datos de la bomba	32
Tabla 6. Datos de los paneles destinados a la generación solar para la bomba	32
Tabla 7. Clasificación de los nudos	43
Tabla 8. Elementos de la matriz de admitancias nodales Ybus producidos por una línea ..	43
Tabla 9. Potencia de los nudos CLUSTERS	50
Tabla 10. Tensiones en los nudos después del flujo de cargas 1	64
Tabla 11. Tensiones en los nudos después del flujo de cargas 2	69
Tabla 12. Inversores en el Solar Farm existentes	74
Tabla 13. Coste de la ampliación del solar farm de ESF	85
Tabla 14. Costes de la instalación de 45 kW y su ampliación a 90 kW	86
Tabla 15. Resumen Gasto	88

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 *MOTIVACIÓN DEL PROYECTO*

A la hora de escoger el trabajo, recibí la recomendación de otro estudiante de ICAI sobre una iniciativa en la que participaba Comillas Solidaria y no dudé en ponerme en contacto con Miguel Riaza, el director de este TFG y ofrecer mi ayuda. Miguel había dirigido ya proyectos de este tipo en años anteriores y los alumnos han podido colaborar directamente con la causa.

Se me dio la oportunidad de poder trabajar en este proyecto, el cual junta dos aspectos fundamentales para mí: el poder realizar un trabajo de ingeniería eléctrica y poder ayudar a los demás. Un ingeniero debe ser capaz de poder realizar un proyecto de la manera más eficiente, incluso con recursos limitados. En este caso las limitaciones son significativas, ya que se desarrolla en un lugar donde el acceso a los recursos es muy complicado si se compara a otro proyecto que se realizase en un país del primer mundo. Este proyecto no solo tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de personas, sino también brindarles acceso a muchas más oportunidades para desarrollarse y formarse tener una vida más digna y equitativa.

No se entendería el mundo actual sin acceso a la electricidad, en los países desarrollados es casi inconcebible que haya personas que no tengan este derecho, pero lamentablemente, no es el caso en países del tercer mundo. En Nyumbani Village, un poblado en Kenia donde se llevará a cabo este proyecto, la electricidad es un recurso muy preciado. Aunque disponen de tecnologías de generación solar actualmente, la cantidad de energía a la que tienen acceso está muy limitada.



Figura 1. Fotografía Aérea de Nyumbani Village

En el poblado viven niños huérfanos cuyos padres fallecieron a causa del SIDA. Allí, aparte de darles un hogar se les enseñan todo tipo de tareas, desde las necesarias para la vida, como una educación básica o aprender a cocinar, a tareas más especializadas como carpintería, que les ayudarán a labrarse un futuro mejor.

El SIDA es un gran problema en Kenia y la labor que hace esta organización para poder ayudar, educar y mejorar la situación futura de los niños huérfanos y vulnerables a causa de la enfermedad es admirable. Estoy encantado de poder colaborar en este proyecto y contribuir a su labor.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 PLANIFICACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Uno de los objetivos principales del TFG es diseñar una nueva red de distribución eléctrica en el poblado, que permita llevar energía eléctrica a todos los puntos sin la necesidad de utilizar placas fotovoltaicas independientes en cada uno de ellos. Esta nueva red de distribución eléctrica será una solución sostenible y eficiente que permitirá satisfacer las necesidades energéticas de la comunidad, promoviendo el desarrollo socioeconómico del poblado y así mejorando la calidad de vida de sus habitantes. Se utilizará un Software para analizar cómo se comportaría el sistema con esta nueva distribución.

1.2.2 ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN NUEVO HUERTO SOLAR

Otro de los objetivos principales de este trabajo es la instalación de un nuevo huerto solar en el poblado. Este huerto solar tendrá como objetivo concentrar toda la producción de energía solar en un mismo sitio, permitiendo una gestión más ordenada y eficiente de la producción energética. A diferencia del modelo actual, en el que la producción de energía solar está dispersa por todo el poblado, la instalación del huerto solar permitirá concentrar todos los recursos necesarios en un único lugar, facilitando la tarea de mantenimiento y reduciendo los costos operativos.

Además, la instalación del nuevo huerto solar permitirá aumentar la capacidad de producción de energía eléctrica en el poblado, permitiendo satisfacer las necesidades energéticas de la comunidad de manera más eficiente y sostenible

1.2.3 MODELADO 3D DEL PROYECTO

Otro de los objetivos fundamentales de mi TFG es la creación de un modelo 3D del proyecto. Este modelo 3D será una herramienta esencial para mejorar la comunicación y la presentación del proyecto de la nueva red de distribución eléctrica y del huerto solar. La creación de un modelo 3D permitirá a los donantes y patrocinadores visualizar de manera

más clara y concisa los detalles del proyecto, y entender mejor cómo se utilizarán los fondos donados y el impacto positivo que tendrán en la comunidad.

Además, el modelo 3D será una herramienta muy útil para el equipo de construcción encargado de la ejecución del proyecto, ya que les permitirá tener una representación clara y precisa del diseño, y facilitará la construcción y puesta en marcha del proyecto. También será útil para el equipo de mantenimiento, ya que les permitirá visualizar la infraestructura y los equipos instalados en el proyecto, y planificar mejor las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo.

1.2.4 ESTUDIO DE LA INSTALACIÓN DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA EN UNA BOMBA

También se estudiará la opción de arrancar una de las bombas de agua mediante la electricidad proporcionada por una instalación fotovoltaica, lo que permitiría un gran ahorro económico en combustible que es lo que se utiliza actualmente para conseguir la intensidad de arranque necesaria. Estas bombas son fundamentales para la vida en Nyumbani ya que abastecen de agua a toda la población. En la actualidad, la bomba funciona con un generador diésel que produce electricidad para hacerla funcionar.

El objetivo de este proyecto es cambiar la forma de generación de electricidad para la bomba, pasando de usar un generador diésel a utilizar energía solar fotovoltaica. Para ello, se estudiará la viabilidad técnica y económica de instalar un variador de frecuencia, que permita arrancar la bomba con la energía generada por las placas solares existentes en el techo del lugar donde se encuentra el generador diésel.

1.3 ANTECEDENTES

Nyumbani Village es una comunidad ubicada en la provincia de Kitui, en Kenia, que brinda refugio y cuidado a alrededor de 1.000 niños que han quedado huérfanos debido a los devastadores efectos del VIH/SIDA. Esta aldea se destaca por su enfoque ecológico y sostenible, ya que no cuenta con acceso a la red eléctrica convencional. En su lugar, depende en gran medida de sistemas de energía solar fotovoltaica para satisfacer sus necesidades energéticas. Esta iniciativa ha llevado a la denominación de Nyumbani Village como una "Eco-Aldea".

En 2014, en colaboración con organizaciones como Energía Sin Fronteras, SMA, Hidroeléctrica del Cantábrico, SunPower, Iberdrola, Generalia, Praxia y Tudor, se implementó un proyecto para instalar un huerto solar en Nyumbani Village. Este huerto solar tiene una capacidad de 44.3 kWp y consta de 216 paneles solares, cada uno con dimensiones de 990x1660 mm y una capacidad de generación de 205Wp. El objetivo principal de este proyecto fue proporcionar energía sostenible y confiable a los centros de formación profesional en la aldea, contribuyendo así al desarrollo y bienestar de los niños que residen allí.

Los antecedentes de este proyecto en Nyumbani Village destacan el compromiso de diversas organizaciones y empresas en la promoción de soluciones energéticas sostenibles y el apoyo a comunidades vulnerables afectadas por el VIH/SIDA en Kenia. Este contexto proporciona una base sólida para investigar y desarrollar propuestas que mejoren aún más el acceso a la energía y la calidad de vida en Nyumbani Village.

A la hora de la construcción del proyecto, se produjo una distribución desordenada de los paneles solares, lo que llevó a que a día de hoy se encuentren dispersos por toda la aldea. Esta distribución poco organizada resultó en una gestión ineficiente de la energía la cual ha llevado a dificultades para mantener y monitorear el sistema.

Además, durante la instalación de los paneles se colocaron 44 de ellos con el propósito de alimentar una bomba fundamental para abastecer de agua al poblado. Sin embargo, surgió un gran inconveniente inesperado: los paneles, aunque tenían una potencia instalada suficiente como para que la bomba funcionase, no eran capaces de proporcionar la corriente de arranque necesaria para ponerla en funcionamiento. Como solución temporal, se tuvo que recurrir a la instalación de un grupo electrógeno diésel para arrancar la bomba.

La necesidad de utilizar este grupo electrógeno ha generado un gasto adicional significativo para la aldea. El combustible necesario para alimentar el generador representa un gasto continuo y cada vez mayor debido al aumento del precio del petróleo a nivel mundial. Además de ser contaminante, no como la idea inicial de funcionar con energía limpia.

1.4 CRONOGRAMA Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para realizar este trabajo cuento con la ayuda de mi director del TFG, con el cual tengo una reunión semanal para comentar el proceso y cuáles van a ser los pasos que seguir en cada momento.

Los primeros meses estuve informándome sobre cómo era la situación en Nyumbani y que era lo que se estaba buscando realizar. Para ello me serví de los trabajos de otros alumnos que también colaboraron con el proyecto. Estos trabajos trataban sobre la distribución, generación y almacenamiento de la energía.

Esta recogida de información se realizó con la finalidad de realizar el modelado técnico en PSS/E del proyecto completo para poder tener una visión general de este. Este modelado es muy útil ya que en un futuro si se quiere aplicar algún cambio sobre la red simplemente habrá que modificar el parámetro dentro del programa y comprobar su funcionamiento.

Otro aspecto fundamental era modelar el proyecto en 3D para lo cual he tenido que formarme en el uso de SketchUp, un software de diseño en 3D muy utilizado en ingeniería y arquitectura.

Por último, para poder conocer el estado real de la bomba ha sido necesario tomar medidas en Nyumbani por parte de unos alumnos de la universidad que viajaron allí durante el mes de Julio.

Una vez tomadas todas las medidas y realizados todos los cálculos y tomas de decisión sobre los elementos a incluir dentro del sistema procedí con la elaboración de esta memoria.

ANTES DE ENERO	Lectura de proyectos anteriores y recogida de información
ENERO	Comienzo del modelado de la red en el Software PSS/E.
FEBRERO	Primeras simulaciones.
MARZO	Simulaciones y continuación del modelado
ABRIL	Comienzo del modelado en 3D y simulaciones.
MAYO	Comienzo de redacción del informe modelado y estudio de las diferentes opciones de instalación de variadores para la bomba.
JUNIO	Terminación del modelado 3D y PSS/E.
JULIO	Análisis de los resultados obtenidos en las simulaciones. Decisión sobre el variador a utilizar conocidas las medidas. Redacción de la memoria
AGOSTO	Redacción de la memoria. Renderizado del proyecto 3D para una mejor visualización. Presentación

Tabla 1. Cronograma del proyecto

Capítulo 2. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROYECTO

2.1 *MARCO GENERAL*

2.1.1 LA POBREZA MUNDIAL

El mundo en 2023, a pesar de los grandes avances sociales que se han producido, sigue siendo un mundo mal repartido. La desigualdad dentro de los propios países ha ido en aumento, aunque la desigualdad internacional se ha visto disminuida. La reciente pandemia del COVID-19 no ha mejorado esta situación, sino que la ha ralentizado. Según datos del Banco Mundial el número de personas en situación de pobreza extrema habría aumentado en 2022 entre 75 y 95 millones de personas con respecto a las previsiones previas a la pandemia, teniendo en cuenta también los efectos de catástrofes como la guerra de Ucrania o el aumento de la inflación.

2.1.2 EL VIH

El Virus de Inmunodeficiencia Humana, más conocido por sus siglas como VIH, es una enfermedad vírica que afecta severamente al sistema inmunológico humano. Las principales fuentes de transmisión de esta enfermedad son las relaciones sexuales sin protección, el contacto con sangre contaminada (comúnmente por el uso compartido de agujas y jeringas) y la transmisión de madre a hijo durante el parto, embarazo o el periodo de lactancia.

En las últimas décadas, el VIH ha sido una de las mayores crisis sanitarias a nivel mundial. En el año 2021, según datos de la Organización Mundial de la Salud y el Programa Conjunto de las Naciones Unidas sobre el VIH/SIDA (ONUSIDA) se estimaba que alrededor de 38,4 millones de personas vivían infectadas de esta enfermedad en todo el mundo, siendo más de dos tercios de ellas habitantes de África. Aunque si que se hayan logrado grandes avances en cuanto a la prevención y tratamiento de el SIDA, la enfermedad sigue siendo una carga considerable a nivel mundial.

2.1.3 LA POBREZA ENERGÉTICA

Cuando hablamos de pobreza energética nos referimos a la falta de acceso a servicios energéticos modernos, asequibles y confiables, así como a la incapacidad de cubrir las necesidades básicas de energía para el hogar. Este fenómeno afecta a millones de personas en todo el mundo, especialmente en los países en desarrollo.

Según un comunicado de prensa de la Organización Mundial de la Salud, en Junio de 2023 había 675 millones de personas sin acceso a electricidad y 2300 millones que usan combustibles nocivos para cocinar. El comunicado destaca los hallazgos de un informe conjunto de la Agencia Internacional de Energía, la Agencia Internacional de Energías Renovables, la División de Estadística de las Naciones Unidas, el Banco Mundial y la Organización Mundial de la Salud sobre el progreso insuficiente para alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7 (ODS 7) sobre la energía para 2030, sobre el cual se hablará en el punto 3.4 de este proyecto.

El informe indica que el mundo está lejos de lograr el acceso universal a la energía asequible, segura, sostenible y moderna, que incluye la electricidad y la cocina con combustibles no contaminantes. También señala la necesidad de aumentar significativamente el uso de energías renovables en la combinación energética mundial y mejorar la eficiencia energética y la necesidad de invertir en los países menos desarrollados para lograr avanzar equitativamente hacia el logro del ODS 7.



Figura 2. Instalación de un sistema minigríd eléctrico en Nyumbani (Kenia)

2.1.4 KENIA

Kenia es un país ubicado en el este de África, se caracteriza por su diversidad étnica, su rica cultura y sus impresionantes paisajes. A pesar de su potencial económico y su gran variedad de recursos naturales, Kenia enfrenta desafíos significativos en términos de pobreza y desigualdad.

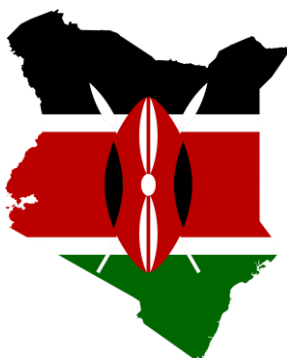


Figura 3. Bandera Mapa de Kenia

2.1.4.1 La pobreza en Kenia

La pobreza en Kenia afecta a una gran parte de la población, con un estimado del 34,9% de los kenianos viviendo en condiciones de vulnerabilidad a la pobreza multidimensional (Índice de Pobreza Multidimensional, 2019). Esta situación se concentra principalmente en áreas rurales, donde la falta de oportunidades económicas y la dependencia de la agricultura de subsistencia representan desafíos significativos. Grupos marginados, como las comunidades indígenas, mujeres, niños y personas con discapacidad, son especialmente vulnerables. El alto desempleo, especialmente entre los jóvenes, y la desigualdad de ingresos con un coeficiente de Gini de aproximadamente 0.41, el cual mide el nivel de desigualdad de 0 a 1 siendo el 0 la perfecta igualdad.

2.1.4.2 El VIH en Kenia

El VIH ha tenido un gran impacto en Kenia, especialmente en los huérfanos que han perdido a sus padres debido a la enfermedad. Estos huérfanos enfrentan desafíos físicos, emocionales y sociales, como falta de cuidado, nutrición y educación. También sufren estigma y discriminación. Aunque se han implementado programas para apoyar a estos huérfanos, todavía hay barreras en el acceso a la atención médica y el tratamiento antirretroviral. Actualmente, el gobierno de Kenia está realizando esfuerzos para reducir el estigma y brindar apoyo a los huérfanos afectados por el VIH.

2.1.4.3 La pobreza energética en Kenia

La pobreza energética es un desafío significativo en Kenia, especialmente en las áreas rurales y entre los segmentos más pobres de la población. Aproximadamente el 25% de los hogares en Kenia carecían de electricidad en Kenia en 2021 según datos del Banco Mundial. Esto significa que millones de personas dependen de fuentes de energía tradicionales y poco saludables, como la quema de biomasa (madera, carbón vegetal y estiércol animal) para cocinar y calentar, lo que tiene graves repercusiones para la salud y el medio ambiente.

La falta de acceso a la electricidad tiene un impacto negativo en varios aspectos de la vida diaria de las personas. Por ejemplo, limita las oportunidades educativas, ya que los estudiantes no pueden estudiar por las noches debido a la falta de iluminación. Además, afecta a la productividad económica, ya que las actividades comerciales y agrícolas se ven obstaculizadas sin una fuente de energía confiable. La falta de electricidad también dificulta el acceso a servicios básicos de salud, ya que los centros médicos no pueden funcionar de manera eficiente y no tienen la capacidad de almacenar medicamentos que requieren refrigeración.

El gobierno de Kenia ha reconocido la importancia de abordar la pobreza energética y ha implementado diversas iniciativas para mejorar el acceso a la electricidad en todo el país. Uno de los programas más destacados es el Programa Nacional de Electrificación, que tiene como objetivo llevar la electricidad a áreas rurales y marginadas a través de una

combinación de conexiones a la red eléctrica nacional y soluciones descentralizadas, como sistemas solares domésticos y microrredes.

2.2 NYUMBANI VILLAGE

La ONG keniana “Nyumbani” se sitúa en Nyumbani Village, un poblado que se encuentra en Kuiti, Kenya, concretamente a unos 150km de la capital, Nairobi.

En Nyumbani la organización se encarga íntegramente del cuidado y la educación de niños que quedaron huérfanos a causa del SIDA. El proyecto fue fundado por el ya fallecido Jesuita Angelo D’Agostino en 1992. Nyumbani Village abrió sus puertas en 2004 y acoge a un total de 964 huérfanos y 100 personas mayores. El funcionamiento del poblado se basa en la división de los huérfanos y las personas mayores en núcleos familiares donde una persona mayor es la encargada de varios niños. Para garantizar el bienestar de estas personas trabaja un equipo de alrededor de 126 personas entre empleados y voluntarios.

Nyumbani Village es considerada una ecoaldea, es decir, una comunidad diseñada de manera intencional donde los habitantes conviven de manera sostenible y armoniosa con la naturaleza. Uno de los objetivos principales de las ecoaldeas es poder ser autosuficientes energéticamente a partir del uso de energías renovables. En el caso de Nyumbani Village la fuente de energía principal es la energía fotovoltaica. La aldea no se encuentra conectada a una red de distribución externa sino que tiene que ser capaz de producir su propia energía para satisfacer su demanda.

El desafío principal de Nyumbani es ser un centro de aprendizaje y formación para garantizar un futuro digno a los niños que viven allí. Es por esto que hay varios centros de formación donde se enseñan diferentes aptitudes. La escolarización de los niños va desde la primaria a la secundaria, existiendo también talleres donde aprenden oficios como la carpintería o la agricultura, como se muestra en la Figura 4. Huerto de Nyumbani . Desde el año 2015 existe un proyecto de formación profesional orientado a formar electricistas especializados en energías renovables.



Figura 4. Huerto de Nyumbani

2.2.1 AMIGOS DE NYUMBANI

La asociación encargada de ayudar en este proyecto desde otros países es Amigos de Nyumbani desde el año 2007. Es la asociación a través de la cual yo he podido colaborar con esta causa por lo que es necesaria su mención dentro de este proyecto . El grupo se encarga de buscar financiación para el proyecto y contribuir a la mejora de la calidad de vida de los niños afectados por el SIDA de una manera digna y sostenible.



Figura 5. Logo ONG Amigos de Nyumbani

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

3.1 RESUMEN DE LAS INVESTIGACIONES ANTERIORES

Durante el curso 2021/2022 se realizaron cuatro trabajos los cuales se cubrían aspectos de generación, distribución y almacenamiento de la aldea. El trabajo de estos cuatro alumnos es fundamental para la realización de este proyecto, puesto que ellos pudieron realizar un trabajo in situ y poder tomar datos de campo.

El trabajo enfocado en la generación consistió en un estudio tanto de la ampliación del sistema de generación ya existente en la aldea como el diseño de una nueva planta con tres posibles potencias: 45kW, 90kW y 250kW . Llegando a la conclusión de que para poder cubrir la demanda mínima de electricidad de la aldea sería necesaria la instalación de un parque de mínimo 45kW de generación más la ampliación de la existente a una planta de también 45kW.

En cuanto a la distribución se realizó un trabajo el cual se enfocó en diseñar una red para poder interconectar toda la aldea y minimizar las pérdidas en los cables de la manera más económicamente eficiente posible.

El proyecto de almacenamiento es clave para poder estudiar el sistema completo y posibles ampliaciones y mejoras puesto que, como ya se ha comentado anteriormente en este apartado, los alumnos pudieron acudir a Nyumbani y documentar todas las posibles cargas que iban a ser conectadas a la red. Esto permite estimar de manera más real el consumo en cada uno de los edificios en la aldea y conocer que elementos se pueden tener o no en cuenta a la hora de realizar el proyecto.

Otro aspecto importante que comentar dentro de este proyecto es el diseño de la alimentación eléctrica de las bombas que extraen el agua para poder abastecer a la aldea. En un primer momento la energía para abastecer a las bombas iba a ser completamente

renovable, pero no se tuvo en cuenta la alta corriente de arranque que tenían y hubo que instalar grupos electrógenos para poder arrancarlas. A la vez de no ser una fuente de energía renovable, este grupo electrógeno utiliza el diésel como fuente de energía y produce un sobre coste muy elevado a la aldea. Este problema se ha planteado en gran cantidad de ocasiones debido al regadío y es por eso por lo que actualmente se conoce como bombeo solar a aquellas bombas que funcionan íntegramente con placas fotovoltaicas. Gracias a la necesidad de aumentar la eficiencia de estas bombas han surgido soluciones para problemas similares. En este caso la solución más eficiente será la instalación de un variador particularizado para este tipo de uso, el cual permite la conmutación entre las placas y el grupo electrógeno ya instalado para así maximizar su eficiencia.

3.2 EVALUACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS UTILIZADAS

Para el estudio de la generación se utilizó el software PVGIS con la finalidad de estudiar la incidencia solar en la aldea y estimar cual sería la curva de generación de la planta. Los datos fueron comparados con los recibidos a partir del Sunny Portal, una herramienta a través de la cual se monitoriza la generación de la planta ya existente y también los inversores instalados en los diferentes edificios para así conocer realmente el consumo total en Nyumbani.

La red de distribución fue diseñada priorizando las pérdidas en los cables, buscando unos que permitiesen satisfacer las necesidades de la aldea. Otro aspecto fundamental es el económico, puesto que al ser una ONG los recursos son verdaderamente limitados y el gasto ha de ser lo más eficiente posible.

3.3 JUSTIFICACIÓN DE LA NUEVA INVESTIGACIÓN

Los proyectos se realizaron de manera independiente y esto plantea problemas a la hora de presentar el proyecto como un proyecto conjunto puesto que no permite la visualización ni el estudio del nuevo sistema eléctrico de manera completa. Es también problemático a la

hora de estudiar posibles ampliaciones o cambios puesto que no es posible saber si un cambio en uno de los proyectos afectaría a los otros o serían compatibles. Para solucionar este problema, en este proyecto se va a analizar el sistema con el software PSSE/E, el cual permite realizar flujos de cargas y analizar el comportamiento de redes de distribución y de cada uno de sus puntos. Tampoco se tiene un presupuesto claro de cuál sería la inversión total que habría que realizar en el proyecto ni de cuanto iría destinado a cada parte. Aunque no sea un proyecto rentable puesto a que va dirigido a una causa benéfica, es completamente necesario presentar un proyecto conjunto a los posibles inversores para que estos puedan ver la magnitud real de éste y se puedan hacer una idea de todo lo que implica. Es por esto también que hay que presentarlo de una manera estética y gráfica, indicando el lugar por el cual van a ir las líneas y donde se va a situar el nuevo parque. Para ello se va a realizar una modelización del proyecto con un software 3D.

Como ya se ha comentado anteriormente en este apartado de la memoria, el gasto en combustible para las bombas presenta un gasto muy considerable en la aldea, por la que es necesaria la instalación de un variador para ahorrar costes a largo plazo.

3.4 ALINEACIÓN CON LOS ODS

Este trabajo tiene una clara alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, voy a enumerar varios de los más relevantes relacionando cada uno con la labor de este proyecto:

Objetivo 4: Educación de calidad: El proyecto se centra en la educación y el bienestar de los niños y niñas huérfanos del SIDA en Nyumbani Village, proporcionándoles un lugar seguro y un entorno educativo adecuado. Al mejorar la capacidad de generación y distribución de energía eléctrica, se asegura la calidad de los servicios educativos y otros servicios básicos.

Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante: La ampliación del sistema eléctrico y la instalación de una nueva granja solar aumentará la capacidad de generación de energía renovable en Nyumbani Village, lo que significa que más edificios podrán ser conectados a

la red y se evitará la falta de suministro en los elementos ya conectados. Esto contribuirá a reducir la dependencia de los combustibles fósiles y disminuir la huella de carbono.

Objetivo 10: Reducción de las desigualdades: El proyecto tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de los niños y niñas huérfanos del SIDA y las personas mayores de Nyumbani Village, muchos de los cuales provienen de familias pobres y marginadas. Al mejorar la capacidad de generación y distribución de energía eléctrica, se garantiza que los servicios básicos lleguen a todos los edificios y se reduzca la brecha en el acceso a los servicios básicos.

Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles: El proyecto tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de los niños y ancianos del poblado de Nyumbani, lo que implica el fortalecimiento de una comunidad sostenible y resiliente.

Objetivo 13: Acción por el clima: La ampliación del sistema eléctrico y la instalación de una nueva granja solar contribuirá a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero al aumentar la capacidad de generación de energía renovable y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles. También fomentará la resiliencia ante el cambio climático al asegurar que los servicios básicos sigan funcionando incluso en caso de cortes de energía eléctrica causados por eventos climáticos extremos.



Figura 6. Objetivos de Desarrollo Sostenible

Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA RED

4.1.1 NUDOS

Gran parte de este proyecto se basa en realizar el flujo de cargas del sistema completo, pero para ello es imprescindible conocer e identificar todos los elementos que lo constituyen. Todos los edificios y sus nombres se muestran en la Figura 7. Vista satélite y lista de edificios.

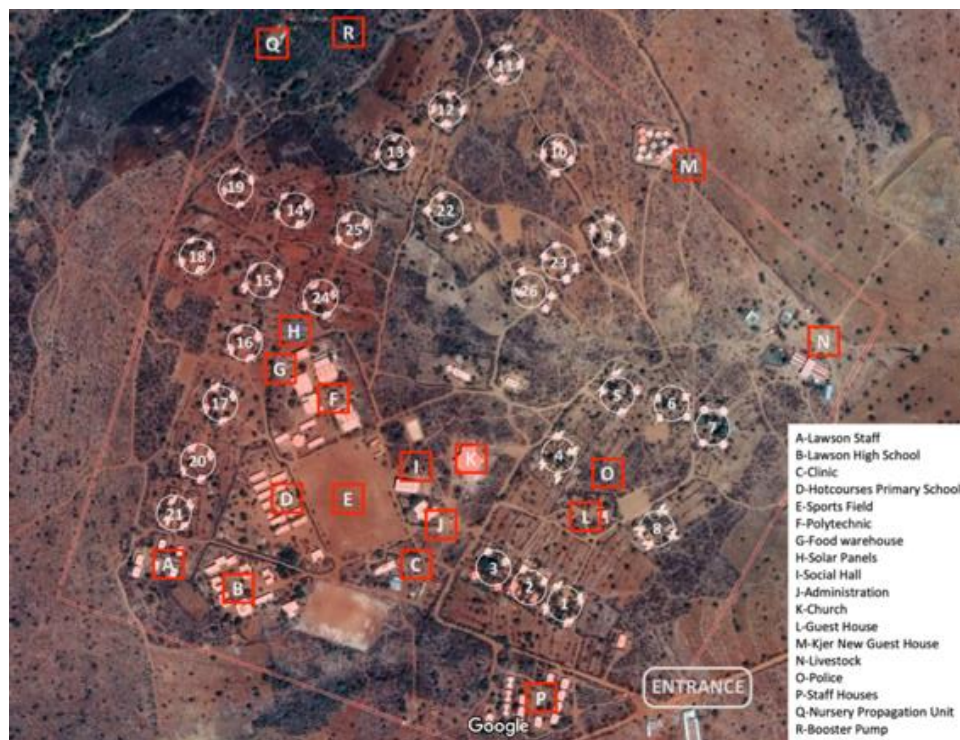


Figura 7. Vista satélite y lista de edificios

Una vez situados los edificios, se muestran los diferentes nudos del sistema en Nyumbani y los nombres con los que van a ser referidos a la hora de evaluar el flujo de cargas:

PUNTO EN EL MAPA	NOMBRE
1	SOLAR FARM 1
2	CLUSTERS 1
3	POLITECNICO
4	PRIMARY
5	ITHIGHSCHOOL
6	CLINIC
7	CLUSTERS 2
8	CLUSTERS 3
9	LIVESTOCK
10	SOLARFARM 2
11	CLUSTERS 4
12	CLUSTERS 5
13	CLUSTERS 6
14	CLUSTERS 7
15	CLUSTERS 8
16	BOMB 1
17	BOMB 2

Tabla 2. Nudos en Nyumbani



Figura 8. Mapa con los nudos en Nyumbani

Como se puede observar en la Figura 8. Mapa con los nudos en Nyumbani los nudos en algunas ocasiones son agrupaciones de algunos edificios diferentes. Esto se debe a que el flujo de cargas se va a realizar sobre la red principal y la herramienta PSS/E con licencia para estudiantes admite un número máximo de 35 conexiones. Como los cables que interconectan estos puntos van a tener pérdidas prácticamente nulas en comparación a los de la red principal se tomarán como un único punto conectado a la red de distribución. En la Figura 8. Mapa con los nudos en Nyumbani los nudos de consumo se representan en amarillo mientras que los de generación están pintados en color azul.

4.1.2 LÍNEAS

La nueva red de distribución planteada recorre todo el poblado e interconecta todos los edificios que hay en él. La red se basa en la elaborada por Joaquín Benjumeda en su Trabajo de Fin de Grado teniendo en cuenta medidas que fueron tomadas “in-situ”, no solo se obtuvieron medidas de los consumos de cada uno de los nudos del poblado, sino que también, utilizando la aplicación para móvil WikiLoc, se recorrió el camino por el cual circulará la red. A partir de las medidas tomadas, se calcularon los cables a utilizar minimizando las pérdidas en estos, llegando a la conclusión de que la conexión óptima de la red es la siguiente:

<i>COLOR</i>	<i>TIPO DE CABLE</i> <i>(Material y sección [mm²])</i>
ROJO	Cobre 6
VERDE	Aluminio 240
AZUL MARINO	Cobre 35
AZUL CLARO	Cobre 10

Tabla 3. Clasificación de cables de la red



Figura 9. Recorrido de los cables

Como se ha comentado la medida de distancia de estos cables se realizó gracias a “WikiLoc”, una aplicación destinada a medir rutas con una alta precisión. Utilizando esas medidas se conoce entonces la distancia entre los diferentes nudos del sistema, que será fundamental para calcular los parámetros de las líneas en el flujo de cargas.

4.1.3 GENERACIÓN Y CONSUMOS

Para realizar este proyecto, se evaluaron los consumos que había recogido la ONG Energía Sin Fronteras cuando realizó trabajos en la aldea y se estimaron los consumos futuros cuando todas las viviendas estuviesen conectadas a la red. La curva de consumo diario total del poblado estimada fue la siguiente:

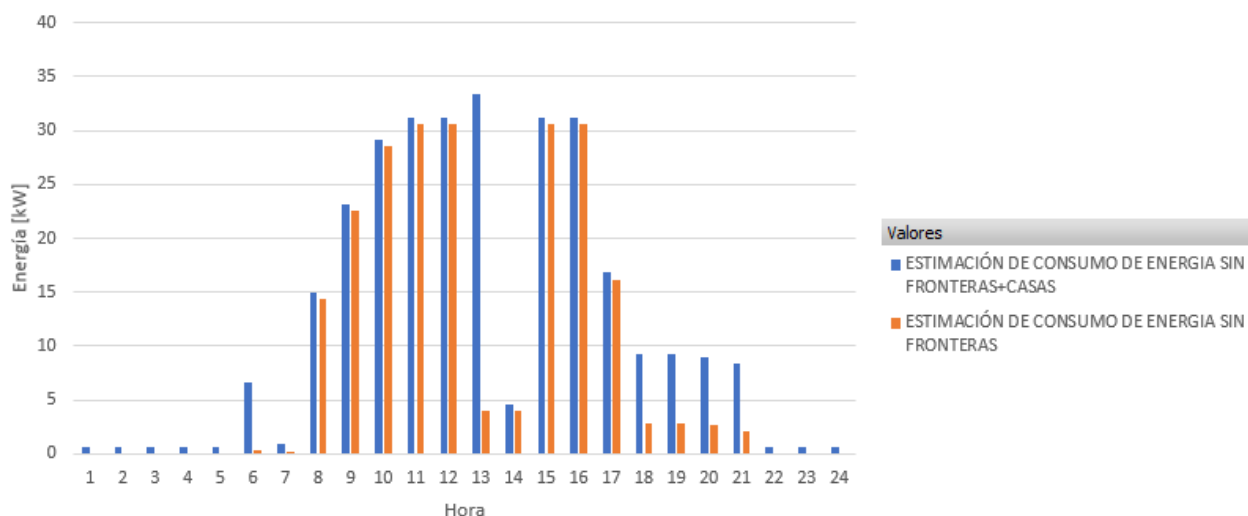


Figura 10. Estimación del consumo diario en Nyumbani

Los trabajos de Energía sin Fronteras consistieron en la puesta en marcha de una planta solar de 24,6 kW de pico y elementos de telemedida. Esta planta originalmente era de 45 kW de pico, pero solo fueron instalados un poco más de la mitad de los paneles. Evaluando el consumo total se estimó que la nueva planta diseñada debía ser de más de 56,07 kW nominales si se ampliaba la capacidad de la instalada por Energía sin Fronteras a los 45 kW del diseño original. Teniendo esto en cuenta los dos puntos de generación que se usarán para este proyecto serán esos dos, para comprobar que el funcionamiento del sistema completo es el correcto. Como la instalación de placas siempre dependerá de la voluntad de posibles benefactores, siempre podrá ser instalada más potencia en la nueva planta mediante ampliaciones ya que el espacio donde va a ser instalada tiene capacidad para ello.

4.1.4 ALMACENAMIENTO

En los edificios donde hay electricidad, ya que la fuente de energía es solar, fue necesario instalar baterías para poder tener conexión en momentos que no hay luz. Gracias a la labor de Jesús López, un alumno que realizó un listado del inventario que hay en el poblado se conoce la capacidad de almacenamiento de los diferentes puntos.

	Energía almacenable [kWh]		Energía almacenable [kWh]
High School Instalación IT	36	Policia	8.88
High School Resto	24.3	Cluster	2.4
Primary School Library	8.88	Monjas	27
Primary School Class 8	8.88	Sacerdote	2.4
Kjer House	14.4	Iglesia	4.8
Guest House	4.44	Director	4.8
Clínica	18	Staff	2.4

Tabla 4. Almacenamiento

4.2 BOMBA Y SU GENERACIÓN

La bomba instalada es la encargada de sacar agua de un pozo subterráneo para el consumo de Nyumbani. Es importante saber que la bomba tiene una potencia nominal de 4 kW y una intensidad de arranque de 49 A. El conjunto de datos de funcionamiento de la bomba se muestra en la Tabla 5. Datos de la bomba.

Marca	Modelo	KW	HP	Vn [A]	In [A]	Iarr [A]	Eficiencia	FP	RPM	N
STAIRS	4R518	4	5,5	400	9,8	49	0,75	0,85	2850	5000

Tabla 5. Datos de la bomba

En dicha bomba, como se ha comentado hay instalados 44 paneles, que producen hasta un máximo de 9 Kw destinados a su funcionamiento durante el día. Para su arranque y funcionamiento durante la noche se utiliza un grupo electrógeno de diésel.

Marca	Modelo	Voc(V)	Icc(A)	Potencia (W)	Número	Potencia máxima total (W)
PowerLight	PL-205-QP-I	35,32	7,85	205	44	9020

Tabla 6. Datos de los paneles destinados a la generación solar para la bomba



Figura 11. Placas solares. Generación solar de la bomba



Figura 12. Grupo electrógeno. Generación térmica de la bomba

Capítulo 5. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

5.1 FLUJO DE CARGAS

El flujo de cargas o flujo de potencias es un análisis que permite conocer el estado de un sistema eléctrico en términos de magnitudes eléctricas como tensiones, corrientes y ángulos de fase en cada uno de los nodos del sistema. Esto es esencial para la correcta operación de las redes eléctricas y se utiliza en un amplio rango de aplicaciones, desde la distribución de energía hasta la planificación de la red y el análisis de su seguridad.

Cuando hablamos de "cargas" en este contexto, nos referimos a los dispositivos y sistemas que consumen electricidad. El "flujo" se refiere a cómo se mueve la energía eléctrica a través de la red para satisfacer estas demandas. En otras palabras, cómo se distribuye la energía desde los puntos de generación hasta los puntos de consumo.

5.1.1 ¿POR QUÉ ES IMPORTANTE EL FLUJO DE CARGAS?

La importancia del flujo de cargas radica en su uso para garantizar la estabilidad y eficiencia del sistema eléctrico. Mediante el análisis de flujo de cargas, los ingenieros pueden entender cómo se distribuye la energía en la red bajo condiciones normales y en caso de fallos. Esto les permite diseñar sistemas eléctricos eficientes y fiables.

Por ejemplo, si un nuevo consumidor de electricidad quiere conectarse a la red, se debe realizar un análisis de flujo de cargas para entender cómo esta nueva carga afectará al sistema. Si no se realizara este análisis, podrían producirse sobrecargas y, en consecuencia, fallos en el sistema.

Además, al llevar a cabo un análisis de flujo de cargas, los operadores del sistema pueden optimizar la generación y la distribución de la energía para minimizar los costes.

5.1.2 LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN

Las líneas de distribución eléctrica son una de las partes más fundamentales de un sistema eléctrico. Tienen la función del transporte de la electricidad desde los puntos de generación a los puntos de consumo. Estudiar correctamente las líneas a aplicar en un sistema no tiene importancia solo en su funcionamiento, sino que también desde un punto de vista económico.

Generalmente un cable eléctrico está compuesto por uno o más conductores, junto a los aislantes que los sustentan o rodean. Los conductores se pueden clasificar en dos grupos principales:

- Conductores activos: Son los principales y fundamentales, encargados del transporte de la corriente. Normalmente están contruidos con cobre o aluminio y se agrupan en fases.
- Conductores pasivos: Una línea eléctrica no tiene por que contener estos conductores, sus funciones son otras, normalmente se utilizan como protección.

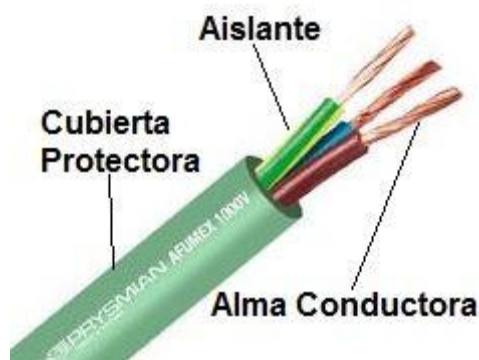


Figura 13. Partes de un cable comercial

Dependiendo del medio en el que se encuentran podemos distinguir entre líneas aéreas o cables aislados. En esta memoria nos centraremos en los conductores aislados ya que los cables que se utilizarán en Nyumbani son cables subterráneos, los cuales se incluyen en el grupo de aislados.

5.1.2.1 Los cables aislados

Aunque los primeros cables aislados se remontan a principios del siglo XX, su apogeo ha tenido lugar en las últimas décadas. Este auge se debe a la resistencia social a las líneas aéreas y al significativo progreso tecnológico, particularmente en los materiales aislantes. Estos cables se utilizan principalmente en sistemas de media y baja tensión y representan la única opción en áreas urbanas por razones de seguridad.

Generalmente, estos cables se emplean para conexiones cortas como: el enterramiento de partes de líneas aéreas, enlaces submarinos, áreas urbanas y regiones con alto desarrollo urbanístico, conexión de industrias de alta potencia a la red, conexión de generadores a la red de transporte, conexión de líneas aéreas a subestaciones y conexión de transformadores de potencia en subestaciones blindadas, entre otros.

Los cables aislados constan de varias capas, de las cuales las principales, de adentro hacia afuera, son cuatro:

1. Conductor central: Este componente transporta la energía eléctrica y soporta las tensiones mecánicas del tendido. Puede estar hecho de cobre o aluminio y normalmente consiste en un conjunto de hilos conductores trenzados o compactados.
2. Aislamiento: Este componente aísla el conductor del entorno externo y homogeneiza el campo eléctrico alrededor del conductor. El aislamiento puede ser estratificado (papel impregnado en una mezcla aislante o en aceite fluido, o bien polipropileno laminado) o extruido (polímeros como el PVC, PE o XLPE).
3. Pantalla: Este es un elemento conductor adicional (conductor pasivo) que se utiliza para orientar de forma radial el campo eléctrico sobre el aislamiento y limitar la influencia mutua entre cables.

4. Cubierta exterior: Esta parte cumple con el rol principal de proteger el cable de factores químicos y atmosféricos. Normalmente se utilizan polímeros, como el PE o el PVC.

5.1.2.2 Parámetros de las líneas

Para poder realizar un flujo de cargas es necesario parametrizar las líneas que hay en el sistema para poder incluirlas en el modelo.

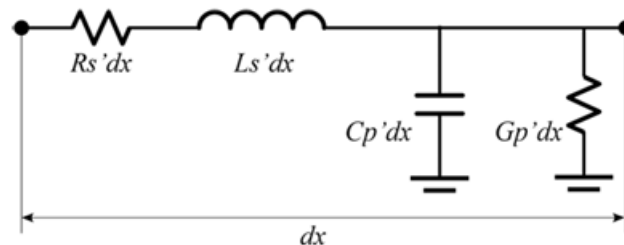


Figura 14. Parámetros de una línea

Si se selecciona un diferencial dx de la línea eléctrica se caracterizan 4 parámetros fundamentales. Hay que diferenciar entre los parámetros serie y los parámetros en paralelo:

Parámetros serie: son los encargados de determinar la caída de tensión en función a la corriente que circula por la línea. Se dividen en:

- $R_s' [\Omega/m]$: Resistencia serie

Se define como la cuantificación de la oposición que tiene un material al paso de la corriente eléctrica a través de el mismo. Para obtenerla hay que aplicar la Ley de Ohm, es decir, la división de la resistividad eléctrica ρ y la superficie del cable en el caso que aplica.

$$R_{s',DC,Tref} = \frac{\rho}{S}$$

Los fabricantes están obligados a incluir la sección del conductor, puesto que no se trata de la sección de todo el conductor sino de la parte efectiva, que es por donde

realmente circula la corriente eléctrica. Mientras tanto, la resistividad eléctrica es un valor que aplica al material y ha sido medido a una temperatura de referencia. Esta resistencia es calculada normalmente con respecto a una temperatura de referencia, por lo que si la temperatura de trabajo es distinta habrá que corregirla utilizando el coeficiente térmico de resistividad α de la siguiente manera:

$$Rs'_{DC,T} = Rs'_{DC,Tref} * [1 + \alpha(T - Tref)]$$

Para pasar a corriente alterna habrá que tener también en cuenta que la distribución de la intensidad de corriente será irregular, por lo que afectará a la corriente disminuyendo su área efectiva. Este efecto es conocido como efecto pelicular.

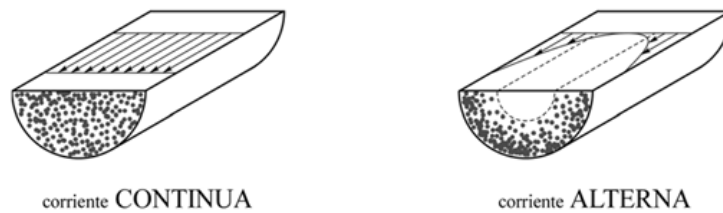


Figura 15. Efecto pelicular en conductores

Este efecto pelicular también afecta a la resistividad y se representa mediante el coeficiente ys tal y como se representa en la siguiente ecuación:

$$Rs'_{DC,T} = Rs'_{DC,Tref} * [1 + \alpha(T - Tref)] * (1 + ys)$$

- Ls' [H/m] : Inductancia serie

Cuando la corriente eléctrica fluye a través de los conductores, se generan campos magnéticos en su entorno, y cualquier cambio en estos campos resulta en caídas de tensión tanto en el propio conductor que transporta la corriente como en otros conductores cercanos. La inductancia o reactancia serie por unidad de longitud Ls' se utiliza para cuantificar la relación entre estas caídas de tensión y las variaciones en el tiempo de las corrientes. Además, la reactancia serie por unidad de longitud Xs' se emplea para medir la relación entre las caídas de tensión y las corrientes

expresadas en forma de fasores, a una frecuencia específica. En el caso de este proyecto la frecuencia será de 50 Hz.

Para su definición matemática habrá que tener en cuenta dos leyes fundamentales que permiten relacionar directamente la corriente alterna que circula por el cable y las fuerzas electromotrices que induce la variación en el tiempo de la corriente en el mismo conductor y en los que tiene a su alrededor.

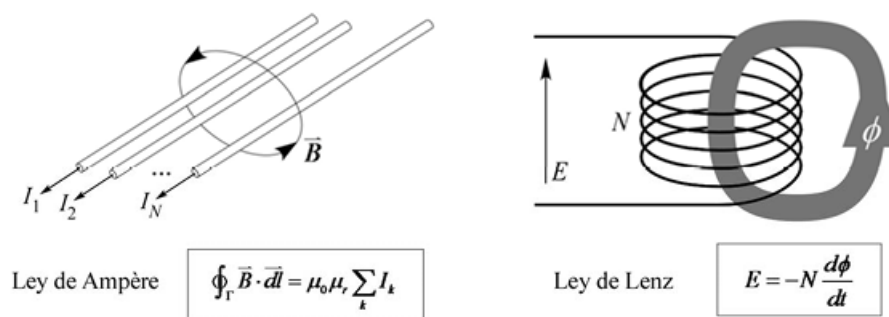


Figura 16. Ley de Ampère y Ley de Lenz

Donde:

μ_0 = Permeabilidad magnética en el vacío, tiene un valor de $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$

Parámetros paralelo: relacionan la corriente que se fuga a tierra con la tensión a la que está sometida la línea. Estos se dividen en:

- $C_p' [\text{F/m}]$: Capacidad

Como su nombre indica mide la capacidad del cable para almacenar energía cuando se le aplica una caída de tensión.

En este caso, al tratarse de cables aislados su configuración, uno o más conductores principales y pantallas, simplifica mucho su cálculo. El único efecto capacitivo que tiene cada conductor es el de su pantalla. Siendo la capacidad conductor-pantalla la siguiente:

$$C = \frac{2 * \pi * \epsilon_0 * \epsilon_r}{\ln \frac{r_p}{r_c}}$$

- r_c = radio del conductor
- r_p = radio de la pantalla
- ϵ_r = permitividad relativa del aislamiento
- ϵ_0 = permitividad relativa en el vacío, tiene un valor de $8,88 \cdot 10^{-12}$ F/m

Cuando la capacidad se multiplica por la w del sistema se obtiene la susceptancia Bp' por unidad de longitud.

- Gp' [S/m] : Conductancia

La conductancia mide la facilidad con la que el cable permite el flujo de corriente eléctrica a través de el cuando se le aplica una diferencia de potencial.

5.1.2.3 Modelo simplificado en π

Para poder simplificar las líneas y así incluirlas en las ecuaciones del flujo de cargas es importante simplificar el modelo. Hay varias formas de simplificar el modelo, como el modelo en T o el modelo en L, pero en este caso interesa conocer lo que es el modelo en PI (π).

Antes de nada es importante definir dos parámetros; la impedancia en serie Zs' y la admitancia paralelo Yp' . Estos parámetros dependen de los definidos en el punto 5.1.2.2.

$$Zs' = Rs' + jXs'$$

$$Yp' = Gp' + jBp'$$

Una vez conocidos estos parámetros se calculan la impedancia característica Zc y la constante de propagación γ :

$$Zc = \sqrt{Zs' * Yp'}$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{Zs'}{Yp'}}$$

Ya con esto, y teniendo en cuenta que el parámetro l es la longitud de la línea podemos calcular todos los componentes del modelo en π :

$$Zs'_{\pi} = Zc * \gamma * l = Zs' * l$$

$$\frac{Yp'_{\pi}}{2} = \frac{1}{Zc} * \frac{\gamma * l}{2} = \frac{Yp' * l}{2}$$

Siendo el esquema el siguiente:

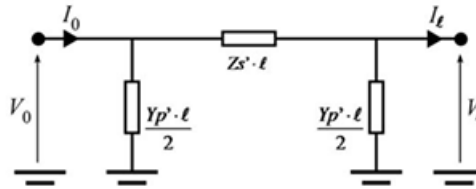


Figura 17. Esquema del modelo en π

5.1.3 DEFINICIÓN DEL FLUJO DE CARGAS

El estudio del flujo de cargas surge debido a la necesidad de determinar el estado de una red eléctrica basándose en las potencias inyectadas en sus nudos. El estado de la red se define por los módulos y las fases de las tensiones en todos sus nudos. Mientras que, en los circuitos lineales, las fuentes de tensión y corriente son comunes, en la operación real de los sistemas de energía eléctrica estas fuentes no existen. En su lugar, encontramos nodos de demanda donde se establecen consumos específicos de potencia activa y reactiva que deben respetarse, ya que los clientes pagan por ellas. Simultáneamente, en las unidades de generación se programa la potencia a producir por cada unidad.

El problema de flujo de cargas plantea un conjunto de ecuaciones que garantizan que las potencias netas en los nodos sean iguales a las especificadas. No obstante, el reto radica en que estas ecuaciones no son lineales con respecto a las magnitudes y fases de las tensiones. Esto nos lleva a un sistema de ecuaciones no lineales que requiere el uso de métodos iterativos para resolverlo.

El cálculo del flujo de cargas surge como una ecuación de equilibrio entre las potencias inyectadas en la red eléctrica desde los distintos nudos (potencia calculada S_c) y la potencia neta resultante entre los recursos de generación y las cargas asociadas a cada nudo (potencia especificada S_e).

Este problema inicialmente involucra a las tensiones y corrientes de los nodos como variables. Sin embargo, debido a la configuración de la red, existe una relación entre estas variables, lo que significa que las intensidades I_i pueden ser expresadas en función de las tensiones V_i . Por lo tanto, las únicas variables del problema son los módulos y ángulos de las tensiones en los nudos. Para presentar el problema de manera habitual, se definen los desajustes “mismatches” M de todos los diferentes nudos como la resta entre la potencia especificada y la potencia calculada, y el objetivo es que estos desajustes se anulen para obtener una solución válida. Siendo MP el mismatch de potencia activa y MQ el de reactiva; las funciones que el flujo de cargas trata de resolver son:

$$MP = P_e - P_c(\theta, V) = 0$$

$$MQ = Q_e - Q_c(\theta, V) = 0$$

Los diferentes nudos en la red hay que clasificarlos dependiendo de su naturaleza y poder conocer el número de ecuaciones del sistema en el que se encuentran N nudos , conteniendo M de ellos generación. En la Tabla 7. Clasificación de los nudos se muestra cómo se clasifican:

<i>Tipo</i>	<i>Número de nudos</i>	<i>Existe MP?</i>	<i>Existe MQ?</i>	<i>θ Variable?</i>	<i>V variable?</i>
<i>Slack/swing</i>	<i>1</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>	<i>NO</i>
<i>PV</i>	<i>M-1</i>	<i>SI</i>	<i>NO</i>	<i>SI</i>	<i>NO</i>
<i>PQ</i>	<i>N-M</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>

TODOS	N	N-1	N-M	N-1	N-M
-------	---	-----	-----	-----	-----

Tabla 7. Clasificación de los nudos

Por lo que tendremos $2N-M-1$ variables para el mismo número de ecuaciones (o mismatches) siendo el nudo swing aquel nudo de generación que se utilizará como referencia.

Se usará la matriz Y_{bus} para relacionar las tensiones y las intensidades inyectadas de todos los nudos del sistema:

$$\bar{I} = \overline{Y_{bus}} * \bar{V}$$

Esta matriz estará formada por la superposición de las matrices que generan todos los elementos de la red, en este caso, al no haber otra cosa como transformadores, únicamente se tendrán en cuenta las impedancias de las líneas en su modelo en π . Las partes de la matriz Y_{bus} correspondientes a la línea que une los puntos i y j será entonces:

$\overline{Y_{bus}}_{uu} \leftarrow \overline{Y_{bus}}_{uu} + \frac{Yp_{\pi}}{2} + \frac{1}{Zs_{\pi}}$	$\overline{Y_{bus}}_{uj} \leftarrow \overline{Y_{bus}}_{uj} - \frac{1}{Zs_{\pi}}$
$\overline{Y_{bus}}_{ju} \leftarrow \overline{Y_{bus}}_{ju} - \frac{1}{Zs_{\pi}}$	$\overline{Y_{bus}}_{jj} \leftarrow \overline{Y_{bus}}_{jj} + \frac{Yp_{\pi}}{2} + \frac{1}{Zs_{\pi}}$

Tabla 8. Elementos de la matriz de admitancias nodales Y_{bus} producidos por una línea

Aplicando la matriz Y_{bus} a los mismatches de potencia activa y reactiva se llega entonces a las ecuaciones que dan solución al flujo de cargas. Estas ecuaciones dependen únicamente de el ángulo y tensión de los nudos y la matriz Y_{bus} se dividirá en su parte real G y su parte imaginaria B .

$$0 = MP_i = Pe_i - Pc_i(\theta, V) = Pe_i - [V_i^2 G_{ii} + \sum_{j \neq i} V_i V_j * (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij})]$$

$$0 = MQ_i = Qe_i - Qc_i(\theta, V) = Qe_i - [-V_i^2 G_{ii} + \sum_{j \neq i} V_i V_j * (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij})]$$

5.1.4 MÉTODO NEWTON-RAPHSON

El método de Newton-Raphson es una herramienta matemática que se utiliza para resolver ecuaciones. En términos simples, el método de Newton-Raphson se utiliza para encontrar la raíz de una ecuación (es decir, el valor de la variable que hace que la ecuación sea verdadera).

En el análisis del flujo de cargas, las ecuaciones que describen el sistema son altamente no lineales. Esto significa que no pueden resolverse directamente y, en cambio, deben resolverse mediante un método iterativo como Newton-Raphson.

El proceso general de Newton-Raphson comienza con una estimación inicial de la solución. Luego, se utiliza el valor actual de la función y su derivada para generar una mejor aproximación. Este proceso se repite iterativamente hasta que se llega a una solución que cumple con cierto nivel de precisión, es decir, el método se basa en iteraciones.

Este método es apreciado en el análisis de flujo de cargas porque, aunque el proceso de configuración puede ser complicado, una vez establecido, proporciona una solución rápidamente y con un alto grado de precisión, lo que es esencial para el análisis en tiempo real y la optimización de la red eléctrica.

5.1.4.1 Explicación geométrica

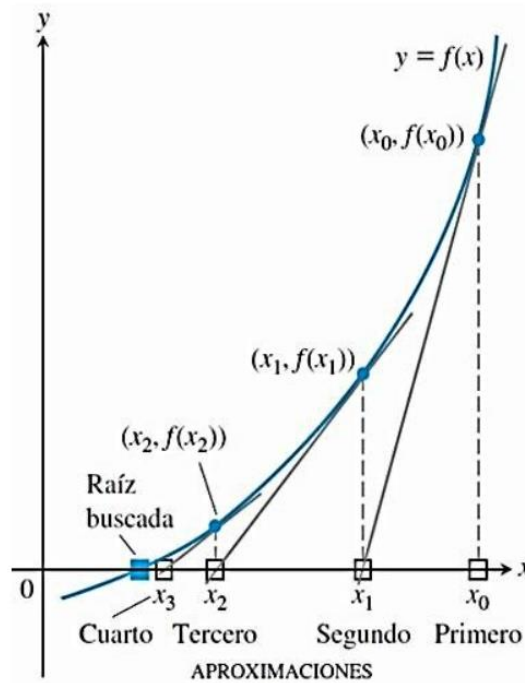


Figura 18. Gráfico ejemplo para la explicación del método Newton-Raphson

Dibujada en color azul se tiene la función de la forma:

$$y = f(x)$$

El objetivo será encontrar un cero para esta ecuación utilizando el método Newton-Raphson. Para ello se comienza tomando un punto x_0 el cual se considere que es cercano a la raíz y a partir de este se traza una tangente a la curva y se observa el punto de corte con el eje x , en este caso sería el punto x_1 . Desde este punto se vuelve a realizar el mismo proceso y se halla el punto x_2 y así sucesivamente hasta encontrar la mejor aproximación posible.

5.1.4.2 Explicación analítica

En términos analíticos, este método se define a partir de la fórmula de Taylor para una función $f(x)$. En el caso del método de Newton-Raphson, se realiza la aproximación de primer orden de la función en el punto x , que se da como:

$$f(x + h) \approx f(x) + f'(x) * h$$

Si reescribimos h como Δx y lo despejamos de la ecuación, nos queda la siguiente expresión para la iteración del método de Newton-Raphson:

$$\Delta x = \frac{-f(x)}{f'(x)}$$

Por lo tanto, la regla de actualización iterativa de Newton-Raphson es:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{-f(x_n)}{f'(x_n)}$$

Donde:

x_{n+1} es la próxima estimación de la raíz,

x_n es la estimación actual de la raíz,

$f(x_n)$ es el valor de la función en la estimación actual,

$f'(x_n)$ es el valor de la derivada de la función en la estimación actual.

Esto significa que, en cada iteración, se hace una aproximación de la función por su tangente en el punto actual, y se toma como próxima estimación el punto donde esa tangente corta al eje x . Este proceso se repite hasta que se alcance una solución satisfactoriamente precisa o hasta que se alcance un número máximo de iteraciones.

Es importante tener en cuenta que el método de Newton-Raphson solo es garantizado de converger (es decir, de llegar a una respuesta) si se empieza lo suficientemente cerca de la raíz, y la función es suficientemente "bien comportada" en el vecindario de la raíz. Además, el método requiere el cálculo de la derivada de la función, lo cual no siempre es fácil o posible.

5.1.4.3 Papel del Método Newton-Raphson dentro del flujo de cargas

El método Newton-Raphson juega un papel crucial en el análisis del flujo de cargas. Realizar el análisis de un flujo de cargas conlleva la resolución de ecuaciones algebraicas no lineales que describen la red. Estas ecuaciones relacionan las potencias activas y reactivas, las tensiones y los ángulos de fase de todos los puntos de la red, por lo que el método es realmente útil para hallar una convergencia rápida y el manejo de no linealidades. La resolución del sistema utilizando este método es muy compleja de manera que se calculará utilizando el programa PSS/E, el cual permite crear un modelo del sistema eléctrico y poder realizar flujos de cargas y otros estudios del sistema.

5.2 VARIADOR DE FRECUENCIA

El variador de frecuencia es un dispositivo electrónico el cual permite controlar la velocidad y el par de un motor eléctrico variando la frecuencia y la tensión suministrada. Esto resulta en un control preciso y eficiente de la velocidad del motor, evitando arranques bruscos y reduciendo el desgaste mecánico.

En sistemas industriales y comerciales, los variadores de frecuencia se utilizan ampliamente para mejorar la eficiencia energética y prolongar la vida útil del equipo. En el caso específico de controlar una bomba, que es el caso que se da en este proyecto, el variador de frecuencia ajusta la velocidad de la bomba según la demanda de flujo requerida, lo que resulta en un ahorro de energía y una reducción de los costes operativos.

5.2.1 SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDOS CON ENERGÍA SOLAR Y GENERACIÓN DIÉSEL

Los sistemas de energía híbridos tienen la función de integrar varias fuentes de energía, buscando que la generación sea más equilibrada y confiable. En este proyecto la combinación será de energía solar, proveniente de paneles fotovoltaicos y de un generador diésel, el cual funciona quemando combustible para producir electricidad.

5.2.2 FUNCIONAMIENTO DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA PARA UN SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDO

El variador de frecuencia o también conocido en estos casos por su finalidad específica como variador solar tendrá 4 funciones principales:

1. Conversión de corriente continua a corriente alterna:

En un sistema de energía híbrido, los paneles solares generan energía en forma de corriente continua (CC) que debe ser convertida a corriente alterna (CA) para alimentar el motor de la bomba. El variador de frecuencia actúa como un inversor, convirtiendo la CC proveniente de los paneles solares a una CA de frecuencia variable y controlable.

2. Control de la frecuencia y tensión de salida:

El variador de frecuencia ajusta la frecuencia y la tensión de salida según la demanda de energía requerida para el funcionamiento de la bomba. Durante los periodos de alta radiación solar, el variador puede aumentar la frecuencia y la tensión para acelerar la velocidad del motor de la bomba, lo que aumenta el flujo de agua transportado. Por otro lado, en momentos de baja radiación solar, el variador puede disminuir la frecuencia y tensión para ralentizar el motor y reducir la velocidad de bombeo.

3. Prioridad de las fuentes de energía:

En un sistema de energía híbrido, el variador de frecuencia debe ser programado para priorizar el uso de la energía solar cuando esté disponible y complementar con el generador diesel cuando la radiación solar no sea suficiente. Esto implica una estrategia de control para cambiar automáticamente entre las fuentes de energía en función de la radiación solar y la demanda de energía de la bomba.

4. Sincronización y estabilidad:

El variador de frecuencia debe garantizar la sincronización adecuada del motor de la bomba con la frecuencia y tensión suministrada. Esto asegura que el motor opere de manera eficiente y evita problemas de inestabilidad en el sistema

Capítulo 6. DESARROLLO DEL SISTEMA PARA EL FLUJO DE CARGAS

6.1 DEFINICIÓN DE LOS NUDOS

En este apartado se van a describir uno por uno todos los nudos que se incluyen en el sistema. Para poder estudiar si el sistema es viable es necesario estudiar las situaciones límite por lo que hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Nudos de consumo/demanda: Se evaluará cual es la demanda de potencia máxima de cada nudo y se sobredimensionará razonadamente ya que el consumo real será mayor debido a pérdidas o posibles ampliaciones.
- Nudos de generación: Lo que realmente importa es conocer cuanta generación extra a la existente necesita el sistema. Debido a esto considerará que los nudos que actualmente están generando no tienen generación en el caso de las pequeñas placas instaladas en los edificios ya que lo único que harán será actuar como un autoconsumo y reducirán la potencia consumida por el edificio en el que se encuentran. Otra consideración será que la generación no es máxima en el caso de la planta fotovoltaica instalada por Energía Sin Fronteras.

6.1.1 NUDOS DE DEMANDA

Los nudos de demanda, es decir, nudos PQ dentro del flujo de cargas como se comentaba en el apartado 5.1.3. Dentro de este sistema existen un total de 13 nudos de este tipo. Hay nudos que a parte de la demanda también tienen generación, estos nudos dentro del flujo de cargas tienen que ser tratados como nudos PV, es el caso del “Clinic” y del “High School”.

6.1.1.1 CLUSTERS

Este nudo está compuesto por 5 “clusters”, cada uno de ellos es la agrupación de 4 viviendas donde residen los niños y el anciano encargado de cuidar a los de dicha agrupación. Hay que tener en cuenta que no todos los edificios que se encuentran en los nudos “CLUSTERS” son viviendas para los niños, pero se ha estimado que la potencia de consumo será la misma. Basándonos en las medidas tomadas allí y reflejadas en trabajos anteriores se decidió establecer 0,5 kW de consumo por cada uno. Por lo que el consumo total de cada agrupación de “clusters” será la que se muestra en la Tabla 9. Potencia de los nudos CLUSTERS .

NOMBRE	Número de Clusters	Potencia [kW]
CLUSTERS 1	5	2,5
CLUSTERS 2	7	3,5
CLUSTERS 3	5	2,5
CLUSTERS 4	6	3
CLUSTERS 5	2	1
CLUSTERS 6	1	0,5
CLUSTERS 7	2	1
CLUSTERS 8	6	3

Tabla 9. Potencia de los nudos CLUSTERS

6.1.1.2 POLITÉCNICO

El politécnico es un edificio donde se encuentran diferentes máquinas para que los alumnos puedan desarrollar habilidades como la carpintería o la conexión de circuitos eléctricos. Hay máquinas como tornos, fresadoras, planchas metálicas. Este edificio se encuentra actualmente conectado a la planta fotovoltaica existente y tiene un consumo considerable. Como ya hemos dicho se iba a estudiar el sistema sobredimensionado, actualmente la demanda máxima, es decir, con todo conectado a la vez sería de 43,375 kW. La maquinaria instalada es muy antigua y consume más potencia que las máquinas actuales, por lo que en este caso no es tan necesario sobredimensionar la potencia ya que si

se produce algún cambio va a ser orientado a mejorar la eficiencia por lo que se establece una potencia de 40 kW.



Figura 19. Vista de Politécnico en el modelo 3D

6.1.1.3 PRIMARY

El primary es la escuela donde los niños estudian su educación básica, los únicos consumos notables actualmente son la iluminación y las tabletas con la que estudian los niños. Estas tabletas consumen cada una 360 W de potencia, por lo que todas a la vez darían una carga de alrededor de 1,1 kW. Con la intención de iluminar mejor las estancias y poder ampliar la capacidad energética para la instalación de ordenadores u otras ampliaciones se ha establecido una potencia de 8 kW a este nudo.



Figura 20. Vistsa de Primary en el modelo 3D

6.1.1.4 IT HIGH SCHOOL

En este nudo se encuentran los edificios donde los niños, una vez terminados sus estudios en el primary school toman clases más avanzadas. Aquí se encuentra también el IT, donde hay ordenadores y otros elementos electrónicos. Como en el caso anterior, la potencia será de 8kW por el mismo motivo. En este nudo hay instalada una generación de 8 Kw.



Figura 21. Vista de IT High School en el modelo 3D

6.1.1.5 CLINIC

Destinado a ser el centro de salud de Nyumbani, el nudo “CLINIC” tiene una potencia máxima consumida de 0,508 kW, por lo que se definirá su potencia en 6 kW para el estudio del sistema. Hay que tener en cuenta que en este nudo hay instalada una potencia de generación de 15 kW de potencia que habrá que tener en cuenta cuando se realice el flujo de cargas del sistema.

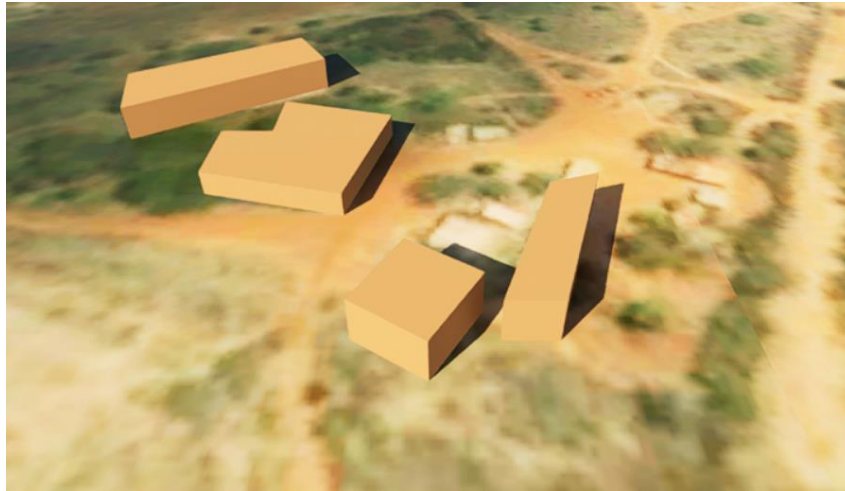


Figura 22. Vista de Clinic en el modelo 3D

6.1.1.6 LIVESTOCK

Aquí se encuentran los animales del poblado. Actualmente estos edificios que actúan como granja no tienen electricidad y sería conveniente que estuviesen conectados a la red para poder instalar un refrigerador para guardar los medicamentos para los animales, iluminación y también una ordeñadora. La potencia estimada es en este caso de 10 kW. Dentro del modelo PSS/E se llamará a este nudo “FARM”.

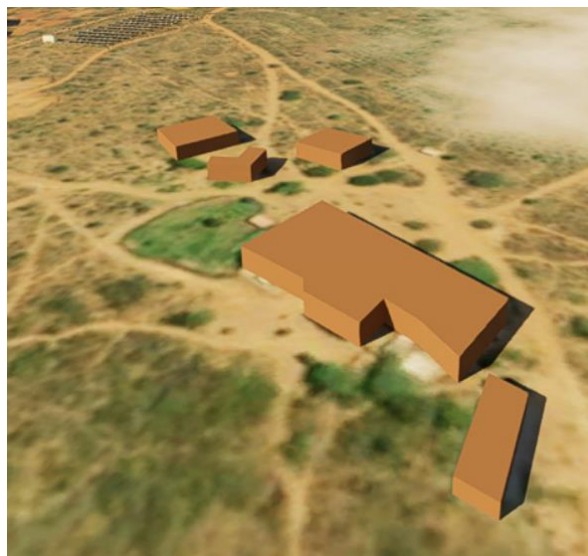


Figura 23. Vista de Livestock en el modelo 3D

6.1.1.7 BOMBAS

Los nudos de las bombas son dos y se encuentran alejados del anillo principal. En cada uno de ellos hay una bomba de 4 kW. Las bombas son denominadas “Government Pump” y “Booster Pump”, nudos BOMB 1 y BOMB 2 respectivamente. Cada una de ellas consta de 44 paneles fotovoltaicos de 250Wp y un grupo electrógeno para alimentarlas. Aunque este proyecto estudia también la instalación del variador de frecuencia en la “Booster pump”, se busca que actúen como cargas en el sistema y estén conectadas a la red por lo que la carga de cada nudo será de 4,5 kW.

6.1.2 NUDOS DE GENERACIÓN

Estos nudos pueden ser de dos tipos: Swing o PV. Únicamente puede haber un nudo Swing o nudo de referencia, el cual podrá tener una generación variable para ajustarse al sistema. Únicamente existen 2 nudos de generación, en SOLAR FARM 1 en el que se encuentra la planta existente de 24,6 kW y el SOLAR FARM 2 donde está la de estudio por lo que, como es de esperar, se usará el segundo como nudo de referencia.



Figura 24. Vista de Solar Farm 1 en el modelo 3D



Figura 25. Vista de Solar Farm 2 en el modelo 3D

6.1.3 NUDOS DENTRO DE PSS/E

En el software PSS/E se incluyen todos los nudos del sistema y se determina tanto su tipo (1:PQ, 2:PV, 3:Slack) como su tensión base, que en este caso será 400 V en todos, ya que es la tensión de funcionamiento del sistema.

Bus	Bus	Base kV	Area	Code
1	SOLARFARM1	0,4	1	2
2	CLUSTERS1	0,4	1	1
3	POLITECNICO	0,4	1	1
4	PRIMARY	0,4	1	1
5	ITHIGHSCHOOL	0,4	1	2
6	CLINIC	0,4	1	2
7	CLUSTERS2	0,4	1	1
8	CLUSTERS3	0,4	1	1
9	FARM	0,4	1	1
10	SOLARFARM2	0,4	1	3
11	CLUSTERS4	0,4	1	1
12	CLUSTERS5	0,4	1	1
13	CLUSTERS6	0,4	1	1
14	CLUSTERS7	0,4	1	1
15	CLUSTERS8	0,4	1	1
16	BOMB1	0,4	1	1
17	BOMB2	0,4	1	1

Figura 26. Listado de nudos en PSS/E

También se definen los consumos de los nudos de carga y la potencia que pueden generar los nudos de generación.

Bus	Bus	Id	Cod	Pload
2	CLUSTERS1 0,4000	1	1	0,0250
3	POLITECNICO 0,4000	1	1	0,4000
4	PRIMARY 0,4000	1	1	0,0800
5	ITHIGHSCHOOL0,4000	1	2	0,0800
6	CLINIC 0,4000	1	2	0,0600
7	CLUSTERS2 0,4000	1	1	0,0350
8	CLUSTERS3 0,4000	1	1	0,0250
9	FARM 0,4000	1	1	0,1000
11	CLUSTERS4 0,4000	1	1	0,0300
12	CLUSTERS5 0,4000	1	1	0,0100
13	CLUSTERS6 0,4000	1	1	0,0050
14	CLUSTERS7 0,4000	1	1	0,0100
15	CLUSTERS8 0,4000	1	1	0,0300
16	BOMB1 0,4000	1	1	0,0450
17	BOMB2 0,4000	1	1	0,0450

Figura 27. Cargas en PSS/E

Bus	Zon	Code	PGen
SOLARFARM1 0,4000		2	0,2460
ITHIGHSCHOOL0,4000		2	0,0800
CLINIC 0,4000		2	0,1500
SOLARFARM2 0,4000		3	0,0000

Figura 28. Generación en PSS/E

Las potencias se muestran en unitarias y la potencia base del sistema son 100 kW. Hay que tener en cuenta que estos datos son en el caso base y es por esto por lo que en la Figura 28. Generación en PSS/E la potencia del Solar Farm 2 está establecida en 0 W. Hay que tener en cuenta que se estudiará un segundo escenario, el cual consistiría en la ampliación del Solar Farm 1 a una planta de 45 kW de pico por lo que habrá que modificar este parámetro dentro del modelo a 0,45 p.u..

En la Figura 27. Cargas en PSS/E la “Pload” se refiere a la potencia generada por cada nudo del sistema en p.u.

6.2 DEFINICIÓN DE LAS LÍNEAS

Como ya se comentó en el apartado 5.1.2.2 es importante conocer tanto la resistencia, reactancia y capacitancia, como la longitud de estos para poder incluirlos en el modelo. Para calcular los parámetros se utilizarán las fórmulas comentadas en dicho apartado. La capacitancia del conductor si no se pueden extraer de la ficha técnica que proporciona la marca. Debido a que el sistema es de baja tensión y las dimensiones son pequeñas únicamente se tendrán en cuenta los parámetros serie de las líneas.

En las conexiones del sistema se van a emplear dos tipos de cable, uno de aluminio de 240mm² que recorrerá el doble anillo principal y otro de cobre de 35mm² para la conexión desde las bombas y el Live Stock a el anillo principal.

Hay que tener en cuenta que los cables tienen que poder conseguirse en Kenia por lo que la marca escogida es “METSEC-CABLES LIMITED”, que fabrica cables dentro del propio país.

6.2.1 IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS CABLE DE ALUMINIO 240

Los cables de aluminio escogidos dentro de los que ofrece la marca son los siguientes:

**Aluminium Conductor XLPE ARMoured
CABLE(NA2XRY) 0.6/1kV Cable**



Figura 29. Cables de aluminio utilizados

Concretamente 4COREx240MM

- Resistencia (Ω/km):

Se obtiene la resistencia DC de la siguiente manera, teniendo en cuenta que la resistividad del aluminio es de 0,028 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$:

$$Rs'_{DC,Tref} = \frac{\rho}{S} = \frac{0,028}{240} = 0,000116667 \frac{\Omega}{m} \approx 0,117 \frac{\Omega}{km}$$

Ahora habría que aplicarle tanto el factor de corrección AC ys como el de la temperatura. El factor de corrección ys que es del orden del 3% al 5%:

$$Rs'_{DC,Tref} = Rs'_{DC,Tref} * (1 + ys) = 0,117 * (1 + 0,05) = 0,1225 \frac{\Omega}{km}$$

En este caso la resistencia que se proporciona en la ficha técnica es para corriente continua a 20° y tiene un valor de 0,125 Ω/km que es bastante similar al calculado. Se escogerá el de la ficha técnica por lo que habrá que aplicarle el factor de corrección de la temperatura y el factor del efecto pelicular ys , teniendo en cuenta que el coeficiente térmico de resistividad α en el caso del aluminio tiene un valor de 0.00390°C⁻¹ y que la temperatura más alta en Nairobi ronda los 27° (se ha escogido Nairobi ya que los registros en Nyumbani son escasos y Nairobi se encuentra próximo en distancia y altitud)

$$Rs'_{DC,T} = Rs'_{DC,Tref} * [1 + \alpha(T - Tref)] * (1 + ys)$$

$$= 0,125 * [1 + 0.00390 * (27 - 20)] * (1 + 0,05) = 0,138 \frac{\Omega}{km}$$

- Reactancia (Ω/km): La inductancia serie del cable tiene un valor de 0,287 mH/km , que a una frecuencia de 50 Hz daría lugar a una reactancia de 0,01435 Ω /km .

6.2.2 IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS CABLE COBRE 35

Los cables de cobre escogidos dentro de los que ofrece la marca son los siguientes:

**COPPER CONDUCTOR MULTI CORE
BS 5467 SWA PVC 0.6/1KV CABLE**



Figura 30. Cables de cobre utilizados

Concretamente 4COREx35MM.

En el caso de el cable de cobre se pueden extraer sus datos directamente de la ficha técnica ya que están medidos en corriente alterna a 90°:

- Resistencia (Ω/km):

La resistencia r proporcionada tiene un valor de $1,15 \Omega/\text{km}$ que con la corrección de temperatura teniendo en cuenta que para el cobre, el coeficiente térmico de resistividad α tiene un valor de $0.00382^\circ\text{C}^{-1}$

$$\begin{aligned}Rs'_{DC,T} &= Rs'_{DC,T_{ref}} * [1 + \alpha(T - T_{ref})] = 1,15 * [1 + 0.00382 * (27 - 90)] \\ &= 0,873 \frac{\Omega}{\text{km}}\end{aligned}$$

- Reactancia (Ω/km):

En este caso se puede encontrar el valor de la reactancia directamente en la ficha técnica y tiene un valor de $0,135 \Omega/\text{km}$.

Como son valores altos y las longitudes de las líneas son considerables es posible que en alguna de las conexiones hacia las bombas haya que utilizar cables de cobre con más diámetro, cuyos parámetros ya corregidos con respecto a la ficha técnica se muestran a continuación:

SECCIÓN	Rs a 90°	Rs a 27°	Xs
50	0,86	0,6530324	0,135
70	0,59	0,4480106	0,13
95	0,43	0,3265162	0,13
120	0,34	0,2581756	0,13
150	0,28	0,2126152	0,125
185	0,22	0,1670548	0,125
240	0,175	0,1328845	0,125
300	0,14	0,1063076	0,12

Figura 31. Parámetros de cables de cobre por secciones

6.2.3 LÍNEAS EN PSS/E

Los valores de las líneas dentro del software hay que introducirlos en p.u. del sistema, que en este caso son:

$$S_b = 100000 \text{ VA}$$

$$V_b = 400 \text{ V}$$

Por lo que:

$$Z_b = \frac{V_b^2}{S_b} = 1,6 \text{ } \Omega$$

También hay que tener en cuenta la distancia en km de las diferentes líneas para hallar su resistencia y reactancia en Ω para luego dividirla por la Z_b y así conseguir los parámetros de las líneas en p.u. del sistema. A continuación, se muestran ya calculados todos los parámetros de las líneas:

From Bus Number	From Bus Name	To Bus Number	To Bus Name	Line R (pu)	Line X (pu)	Length
1	SOLARFARM1 0,4000	10	SOLARFARM2	0,049296	0,005128	0,572
1	SOLARFARM1 0,4000	15	CLUSTERS8	0,012464	0,001297	0,145
1	SOLARFARM1 0,4000	2	CLUSTERS1	0,006779	0,000705	0,079
2	CLUSTERS1 0,4000	3	POLITECNICO	0,017242	0,001794	0,200
3	POLITECNICO 0,4000	4	PRIMARY	0,004356	0,000453	0,051
4	PRIMARY 0,4000	5	ITHIGHSCHOO	0,009491	0,000987	0,110
5	ITHIGHSCHOOL 0,4000	6	CLINIC	0,007360	0,000766	0,085
6	CLINIC 0,4000	7	CLUSTERS2	0,013663	0,001421	0,158
7	CLUSTERS2 0,4000	8	CLUSTERS3	0,020561	0,002139	0,238
8	CLUSTERS3 0,4000	10	SOLARFARM2	0,018370	0,001911	0,213
9	FARM 0,4000	10	SOLARFARM2	0,092367	0,004486	0,169
10	SOLARFARM2 0,4000	11	CLUSTERS4	0,011601	0,001207	0,135
11	CLUSTERS4 0,4000	12	CLUSTERS5	0,018489	0,001923	0,214
12	CLUSTERS5 0,4000	13	CLUSTERS6	0,013340	0,001388	0,155
13	CLUSTERS6 0,4000	16	BOMB1	0,223992	0,010879	0,410
13	CLUSTERS6 0,4000	14	CLUSTERS7	0,008901	0,000926	0,103
14	CLUSTERS7 0,4000	17	BOMB2	0,119863	0,005822	0,220
14	CLUSTERS7 0,4000	15	CLUSTERS8	0,014602	0,001519	0,169

Figura 32. Parámetros de las líneas en PSS/E (longitud en km)

A continuación, se muestra un gráfico de las líneas por distancia en m:

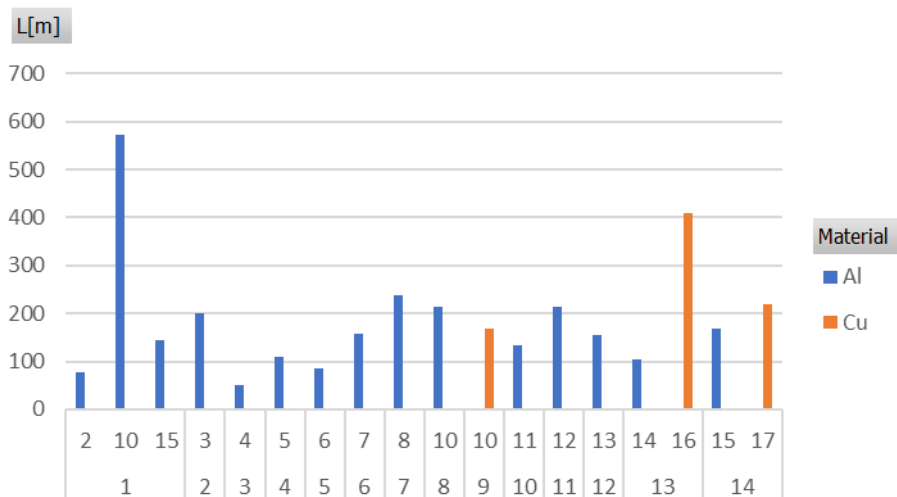


Figura 33. Clasificación de las líneas por distancia y material

Como se puede apreciar la línea más larga sería la que une las dos plantas fotovoltaicas. Esta línea es necesaria por seguridad del sistema, para evitar que quede todo conectado por un mismo anillo, es decir, en serie. Con la línea se forma un doble anillo que permite actuar a las dos plantas como un mismo nudo de generación. En caso de falta en una de las

líneas el sistema no quedaría completamente desconectado sino que permitiría seguir funcionando al resto de instalaciones conectadas.

En la Figura 33. Clasificación de las líneas por distancia y material se puede apreciar que los tres únicos nudos que no están conectadas al anillo principal por medio de el cable de acero son las dos bombas y el Farm o Live Stock.

6.2.4 VISUALIZACIÓN DEL PROYECTO

Para una mejor idea de por donde circularían las líneas del anillo principal se ha modelizado en 3D utilizando la herramienta “SketchUp 2022” y se ha renderizado con el software “D5 Render”.



Figura 34. Vista del sistema completo en 3D 1



Figura 35. Vista del sistema en completo en 3D 2

La modelización del modelo es importante ya que Sketchup da la posibilidad de geolocalizar el modelo. Como el modelo está realizado a escala 1:1 y al estar geolocalizado es posible utilizarlo más adelante para estudiar la incidencia de los rayos solares en la nueva planta. El diseño de esta, no es parte de este trabajo, pero se busca llegar a una conclusión sobre la potencia que debería generar teniendo en cuenta todos los consumos y generaciones y el diseño de la red, obteniendo una visión general del sistema.

Capítulo 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL FLUJO DE CARGAS

Se ha realizado el flujo de cargas completo y a continuación se mostrarán y se analizarán los resultados de este. Para tener una imagen completa del sistema es importante enfocarse en las tensiones de los nudos, en sus ángulos de desfase con respecto al nudo de referencia y en el balance de potencias del sistema. Tensiones y ángulos en los nudos

7.1 RESULTADOS SIN AMPLIACIÓN DEL HUERTO SOLAR INSTALADO POR ENERGÍA SIN FRONTERAS

7.1.1 TENSIONES Y ÁNGULOS EN LOS NUDOS

Bus Number	Bus Name	Base kV	Code	Voltage (pu)	Angle (deg)
1	SOLARFARM1	0,4	2	0,9421	-1,04
2	CLUSTERS1	0,4	1	0,9186	-1,14
3	POLITECNICO	0,4	1	0,8634	-1,36
4	PRIMARY	0,4	1	0,8696	-1,29
5	ITHIGHSCHOOL	0,4	2	0,8919	-1,06
6	CLINIC	0,4	2	0,9091	-0,84
7	CLUSTERS2	0,4	1	0,9277	-0,64
8	CLUSTERS3	0,4	1	0,9634	-0,31
9	FARM	0,4	1	0,897	-0,29
10	SOLARFARM2	0,4	3	1	0
11	CLUSTERS4	0,4	1	0,9815	-0,2
12	CLUSTERS5	0,4	1	0,9578	-0,5
13	CLUSTERS6	0,4	1	0,942	-0,71
14	CLUSTERS7	0,4	1	0,9369	-0,83
15	CLUSTERS8	0,4	1	0,9376	-0,96
16	BOMB1	0,4	1	0,8189	-1,07
17	BOMB2	0,4	1	0,8753	-1,01

Tabla 10. Tensiones en los nudos después del flujo de cargas 1

En la Tabla 10. Tensiones en los nudos después del flujo de cargas se puede observar que cuando se encuentran todos los nudos consumiendo su potencia máxima el desfase máximo con respecto al nudo de referencia se produce en el nudo “PRIMARY”. En cuanto a las tensiones se encuentran todas por debajo de 1 p.u., esto se debe a las pérdidas que se producen en las líneas. Hay que tener en cuenta que se está analizando el sistema cuando se encuentran conectadas todas las cargas a su máxima potencia, caso que nunca se va a dar en la realidad.

Para poder observar mejor las tensiones de cada uno de los nudos se incluye un gráfico y un mapa de calor del sistema. En el mapa de calor cuanto más verde se encuentra el nudo significa que más cerca está de la unidad. Mientras que cuanto más azul se encuentre el nudo, menor será su tensión.

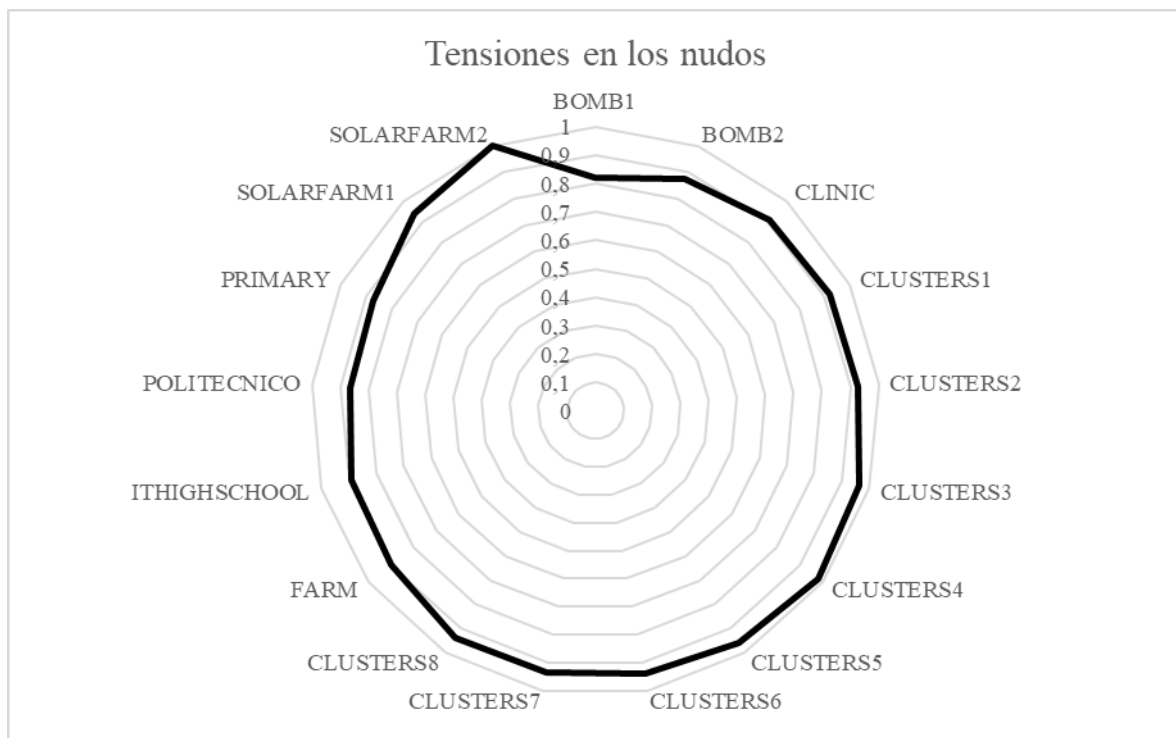


Figura 36. Tensiones en los nudos 1 [pu]

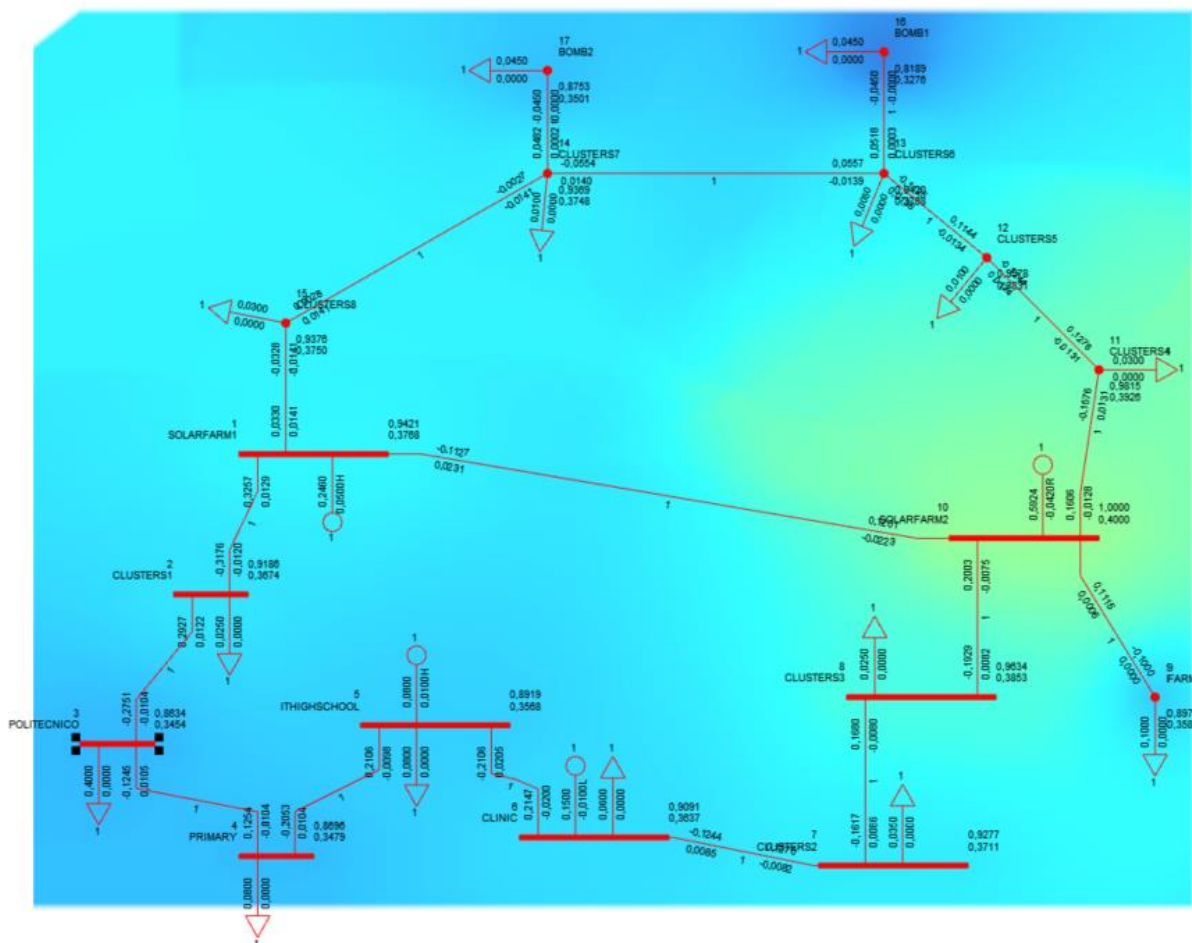


Figura 37. Mapa de calor de las tensiones en los nudos 1

Analizando tanto la Figura 36. Tensiones en los nudos 1 [pu] como la Figura 37. Mapa de calor de las tensiones en los nudos se puede observar como se puede hacer una división entre dos zonas del sistema donde más caídas de tensión hay.

Por una parte están los nudos conectados al anillo mediante las líneas de cobre, principalmente los nudos “BOMB 1” y “BOMB 2”, con unas tensiones de 0,8189 p.u. y 0,8753 p.u. respectivamente, que equivaldrían a 330V y 350V. Las bombas que hay en los nudos tienen una tensión nominal de 400V por lo que estas bajas tensiones podían reducir su capacidad de funcionamiento, sin embargo, las bombas tienen instaladas placas fotovoltaicas y grupos electrógenos para poder funcionar de manera independiente. Las placas servirían como apoyo a la red y así las bombas dejarían de depender de la

generación diésel. Las bajas tensiones en este caso son originadas por las caídas de tensión en las líneas de cobre, puesto que, como ya se comentó en el apartado 6.2.3 Líneas en PSS/E los valores de resistencia y reactancia de estos cables son más elevados que los de acero.

Por otra parte es identificable que se producen caídas de tensión considerables en los nudos “POLITÉCNICO” y “PRIMARY”. Esto se debe a que son los nudos con mayor demanda y se encuentran próximos, aproximadamente un 41% de la carga total del sistema el nudo “POLITÉCNICO” y un 8% el nudo “PRIMARY”.

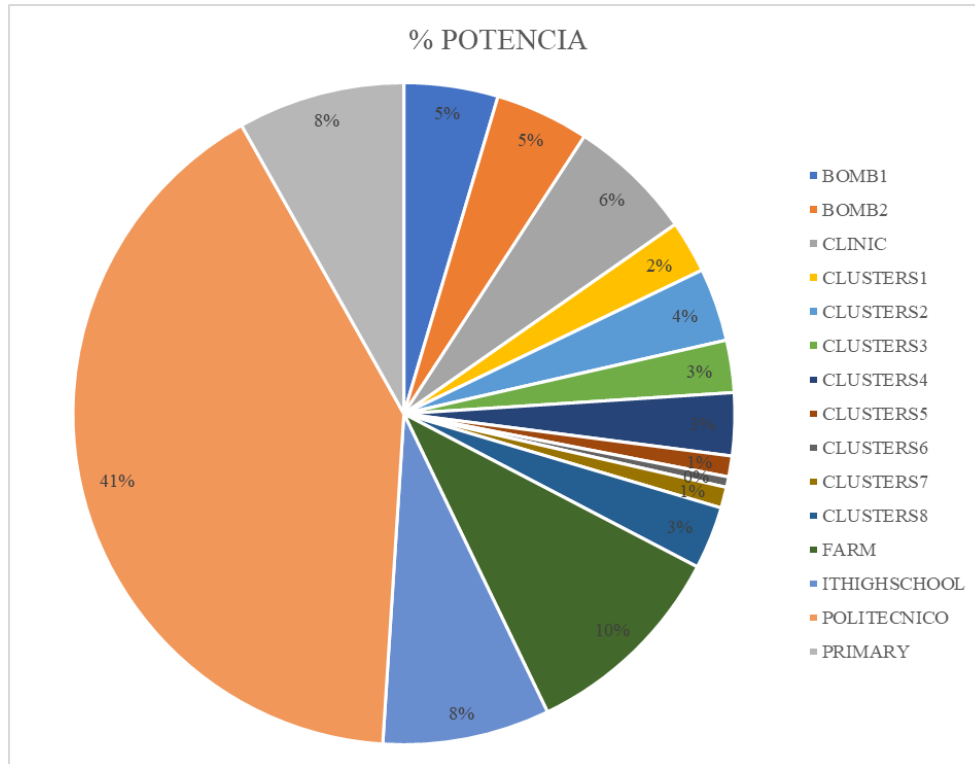


Figura 38. Porcentaje de potencia consumida por nudo dentro del sistema

7.1.2 BALANCE DE POTENCIAS

Tras el flujo de potencias se ha hallado la potencia que debería generar la nueva planta fotovoltaica para cumplir los requisitos del sistema. La potencia generada necesaria es de 59,24 kW por lo que no valdría con la planta de 45 kW que se mencionaba en el apartado 3.1 Resumen de las investigaciones anteriores.

La potencia total consumida por todas las líneas del sistema es de 8,84 kW. Esta potencia es considerable si se compara con la consumida por el resto de las cargas del sistema. Esto es normal y esperado, es debido a las largas distancias que tienen las mismas para tratarse de un sistema de baja tensión.

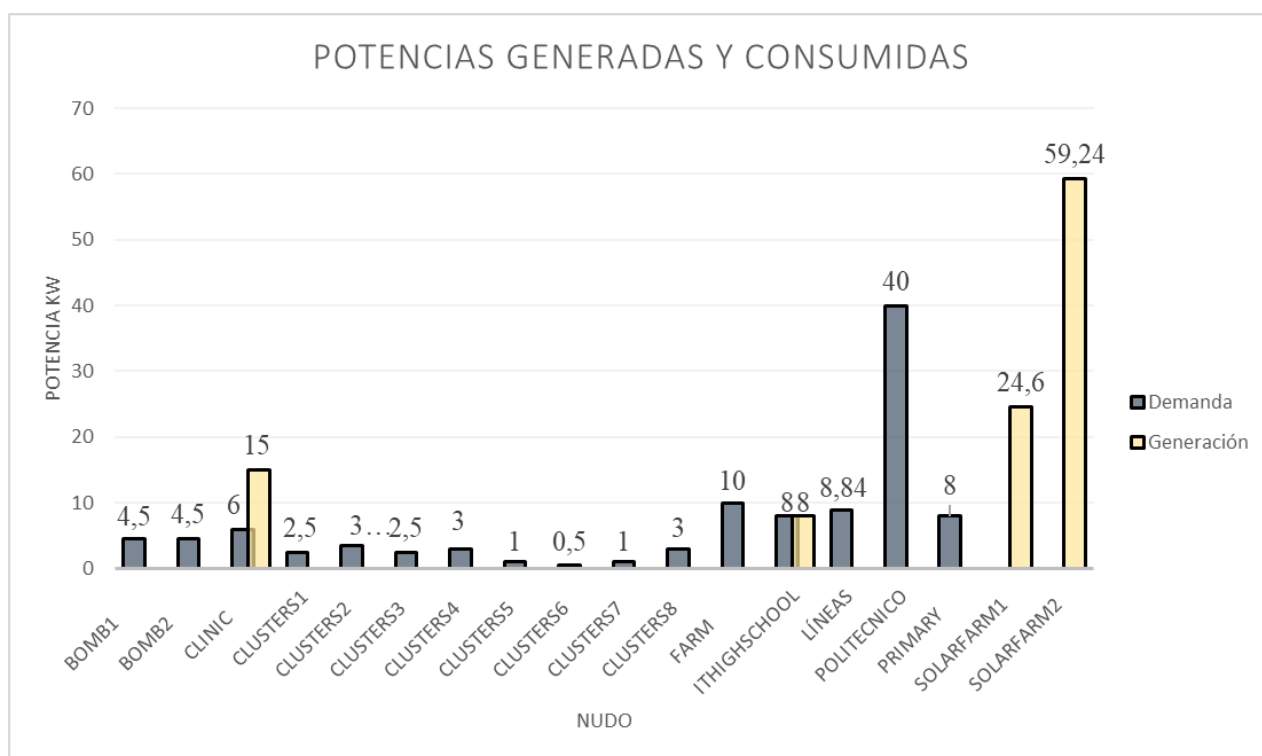


Figura 39. Potencias del sistema 1 [kW]

7.2 RESULTADOS CON AMPLIACIÓN DEL HUERTO SOLAR INSTALADO POR ENERGÍA SIN FRONTERAS A 44 kW

7.2.1 TENSIONES Y ÁNGULOS EN LOS NUDOS

Como en el caso anterior se muestra una tabla, un gráfico y un mapa de calor para poder analizar las tensiones y fases en los nudos del sistema.

Bus Number	Bus Name	Base kV	Code	Voltage (pu)	Angle (deg)
1	SOLARFARM1	0,4	2	0,995	0,16
2	CLUSTERS1	0,4	1	0,9705	0
3	POLITECNICO	0,4	1	0,9122	-0,51
4	PRIMARY	0,4	1	0,9162	-0,55
5	ITHIGHSCHOOL	0,4	2	0,9327	-0,58
6	CLINIC	0,4	2	0,945	-0,36
7	CLUSTERS2	0,4	1	0,9545	-0,24
8	CLUSTERS3	0,4	1	0,9761	-0,12
9	FARM	0,4	1	0,897	-0,29
10	SOLARFARM2	0,4	3	1	0
11	CLUSTERS4	0,4	1	0,9896	-0,04
12	CLUSTERS5	0,4	1	0,9786	-0,06
13	CLUSTERS6	0,4	1	0,972	-0,07
14	CLUSTERS7	0,4	1	0,9728	-0,04
15	CLUSTERS8	0,4	1	0,9827	0,06
16	BOMB1	0,4	1	0,8542	-0,4
17	BOMB2	0,4	1	0,9138	-0,21

Tabla 11. Tensiones en los nudos después del flujo de cargas 2

A primera vista ya se puede apreciar que las tensiones son mayores que en el caso anterior y que todos los desfases con respecto al nudo de referencia son también menores.

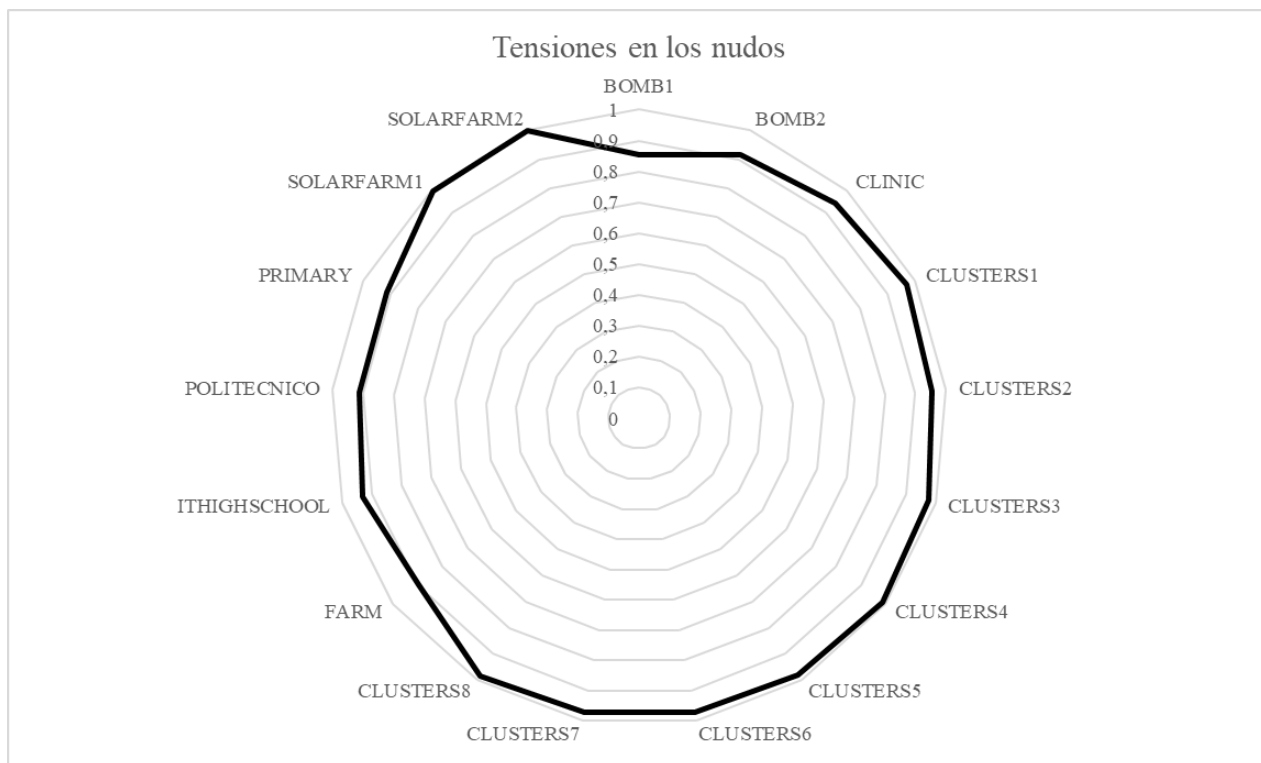


Figura 40. Tensiones en los nudos 2 [pu]

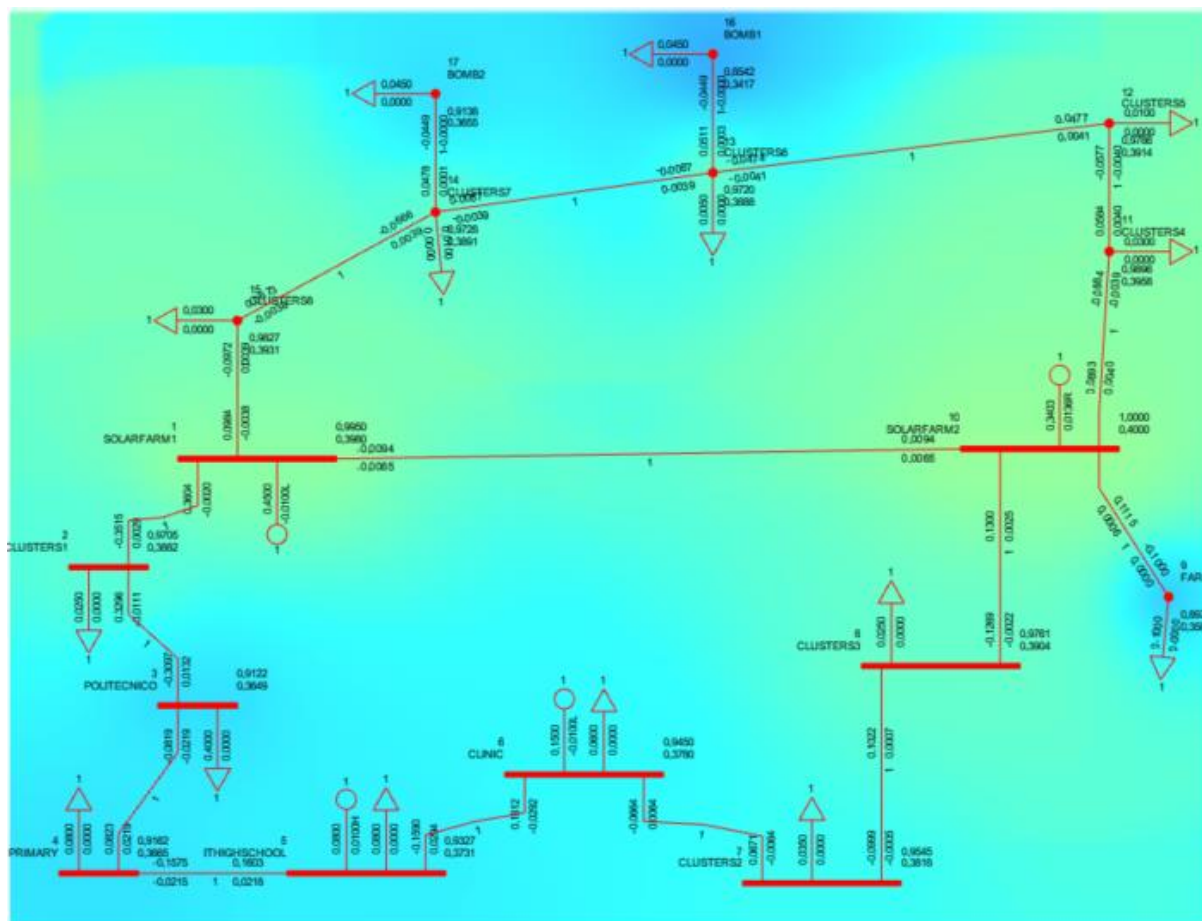


Figura 41. Mapa de calor de las tensiones en los nudos 2

En este caso las tensiones que más caen son las de los nudos “POLITÉCNICO”, “BOMB 1” y “BOMB 2” a 0,9122 p.u., 0,8542 p.u. y 0,9138 p.u. respectivamente. Esto equivaldría a 364,88 V, 341,68 V y 365,52 V.

La explicación a este fenómeno es la misma que en el anterior caso. Cabe destacar que ahora la tensión del Solar Farm 1 es muy próxima a la unidad ya que ha aumentado su potencia a casi el doble.

7.2.2 BALANCE DE POTENCIAS

La potencia generada por el nudo “SOLAR FARM 2” es ahora de 35,03 kW y las líneas consumen en su totalidad una potencia de 4,03 kW. La cual sigue siendo una potencia considerable dentro del sistema.

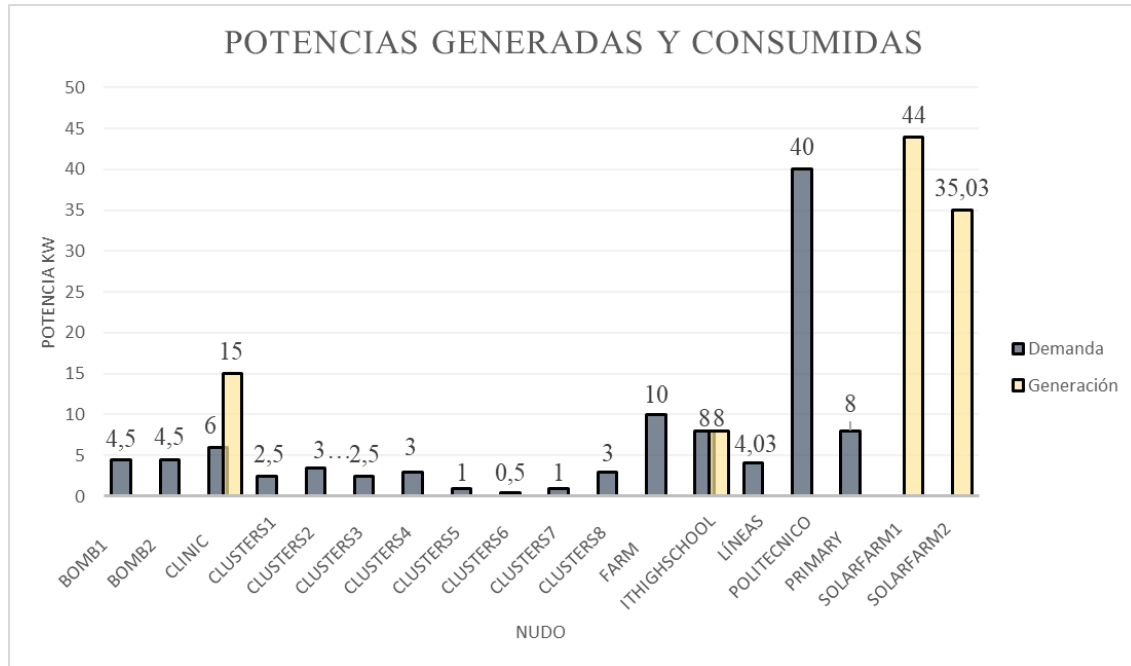


Figura 42. Potencias del sistema 2 [kW]

7.3 COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Si se comparan las dos propuestas estudiadas se puede apreciar claramente que la segunda opción es la que resulta en un sistema más fiable y estable. Al haber más generación concentrada al lado de las cargas más altas los cables tienen que transportar menos energía y por ello tienen también menos pérdidas. Las líneas en la segunda opción consumen únicamente 4,03 kW en comparación con los 8,84 kW que consumían en la primera.

Con la segunda opción solo habría un único nudo en el cual las tensiones caerían por debajo de los 0,9 p.u., que es el “BOMB 1”, este nudo ya se veía perjudicado en la primera opción y como se comentaba, tiene su propia generación por lo que no debería ser problemático.

Teniendo todo esto en cuenta se decide seguir adelante con la segunda opción y ampliar la generación del huerto solar existente a 44 kW y crear una nueva planta para poder cubrir la demanda restante. Una vez aclarado que rumbo debe tomar la ampliación del sistema hay

que estimar cual sería la posible generación máxima de la nueva planta solar, teniendo en cuenta el terreno y la localización.

Capítulo 8. AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN

8.1 AMPLIACIÓN DEL HUERTO SOLAR INSTALADO POR ENERGÍA SIN FRONTERAS A 44 kW

El primer camino que se debería tomar es la instalación de los paneles solares que faltan por instalar en la planta fotovoltaica instalada por Energía Sin fronteras. Para ello es necesario conocer el inventario actual con el que cuenta la planta. Actualmente hay instalados 120 paneles de 205 W de potencia, conectados a 3 inversores trifásicos, 6 inversores monofásicos y 48 baterías.

Los 3 inversores monofásicos son los siguientes:

Marca	Modelo	Potencia nominal	Vout CA [V]	Vin CC [V]
SMA	STP 15000TLEE-10	15 kW	400	580-800

Tabla 12. Inversores en el Solar Farm existentes

Al primer inversor van conectados 72 paneles, al segundo 48 y el último está libre para poder conectar más. Siendo el esquema del conexionado actual el siguiente:

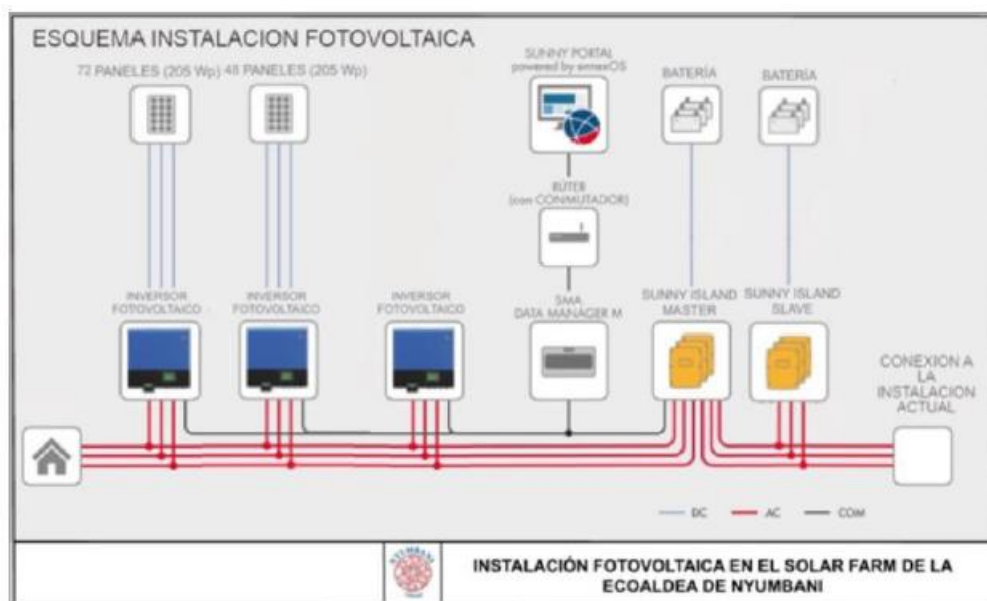


Figura 43. Esquema conexión Solar Farm

Es decir, actualmente quedan libres de conexión 24 paneles con las mismas características que los actuales en el segundo inversor y una potencia de hasta 15 kW en el tercero. Para poder conseguir los 15 kW de potencia en el segundo inversor sería necesario utilizar los mismos paneles que los que hay instalados, los SunPower, PL-205-QP-I . Sin embargo, en el inversor que está libre se utilizarán unos paneles más modernos ya que podrán producir más potencia a un menor coste.

Para la elección de los paneles es necesario tener en cuenta las propiedades del inversor. También hay que saber que para la conexión de paneles fotovoltaicos existen dos formas, en serie y en paralelo. En cada paralelo debe haber conectados el mismo número de paneles y la tensión producida será igual a la suma de la producida por los paneles en serie.

Para que todo proyecto se realice de forma homogénea y siguiendo la línea del proyecto realizado por Clara Soto sobre el estudio de la generación en Nyumbani, se escogerán las mismas placas que se emplearán para la construcción de la nueva planta fotovoltaica. Las placas son de la marca Amerisolar, el modelo AS-6M144-HC-445W, las cuales son capaces de producir 445W de potencia y tienen una tensión de vacío de 50V. Utilizando estos paneles serían necesarios un total de 36 paneles para poder producir los 15 kW de

potencia, aunque realmente serán 16,02 kW por lo que la instalación de estos nuevos paneles quedará sobredimensionada en un 6,8 %.

8.2 DISEÑO DEL NUEVO SOLAR FARM

8.2.1 CAPACIDAD ESPACIAL

Para la construcción del nuevo Solar Farm es necesario estudiar la capacidad espacial del terreno donde se van a colocar los paneles fotovoltaicos. Esto permitirá conocer cuantas placas se pueden instalar y por tanto cuanta potencia seremos capaces de producir. Como se comentaba en el apartado anterior los paneles utilizados serán los Amerisolar AS-6M144-HC-445W los cuales tienen unas dimensiones de 2108x1048x40mm.

Al encontrarse Nyumbani en el hemisferio sur las placas deberán ir orientadas al norte. La distancia entre estas para evitar sombras y perdidas de rendimiento es necesario calcular la distancia d que hay que dejar entre las placas. Para ello es necesario estimar el ángulo de inclinación de las placas y su orientación.

Las planta fotovoltaica se situará en las coordenadas $1^{\circ}18'54''S$ y $37^{\circ}48'27''E$ y es prácticamente llano. Las placas se quieren aprovechar durante todo el año por lo que su grado de inclinación será de 2° que es aproximadamente su grado de latitud. Mientras que su orientación será hacia el norte. Las placas irán colocadas sobre un soporte de aproximadamente 1m de altura por lo que la sombra proyectada será casi nula y no afectará a las placas cercanas. Teniendo esto en cuenta, con la finalidad de poder trabajar entre los paneles y dejar una distancia de seguridad, la distancia entre filas de paneles será de 2 m de distancia y una distancia de 4m entre el borde del terreno y los paneles.

Teniendo todo esto en cuenta se calculan los paneles que se podrían instalar en el terreno y queda un total de 1168 paneles instalables, que darían un total de 519,76 kW , muy por encima de lo necesario.

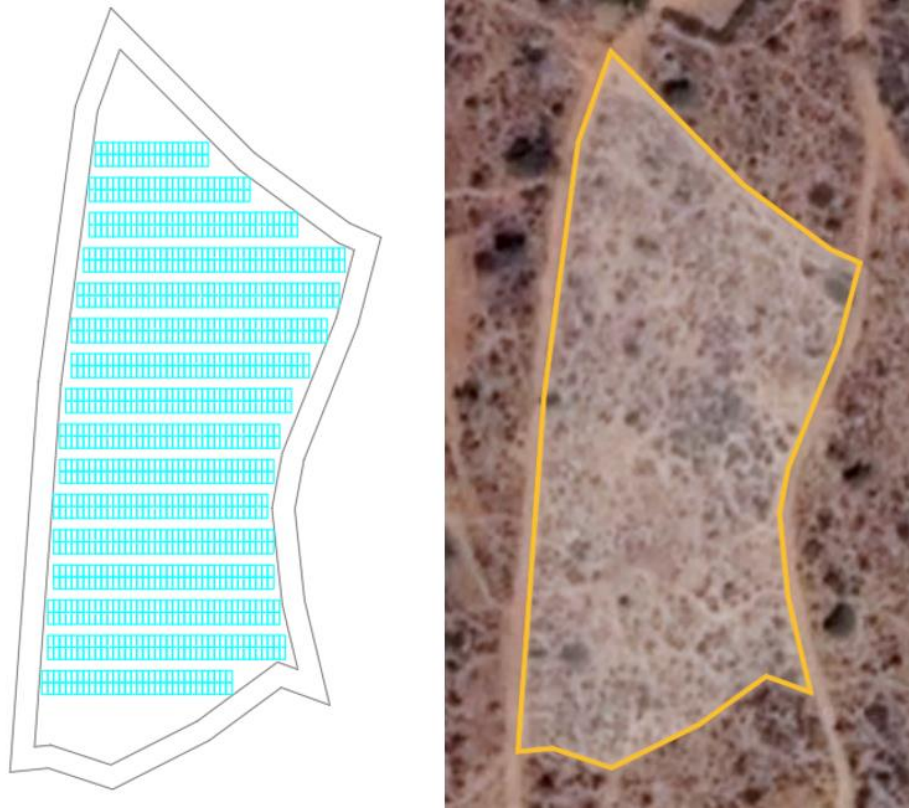


Figura 44. Comprobación del número de placas instalables

8.2.2 CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA

Clara Soto, en su Trabajo de Final de Grado “Proyecto de electrificación rural en Nyumbani Village (Kitui, Kenia): planificación de la generación de la energía mediante paneles fotovoltaicos” propuso tres posibles potencias a instalar en el parque fotovoltaico; una primera de 45 kW, una segunda de 90 kW y por último una de 250 kW de potencia. Como se ha podido comprobar en el Capítulo 7. Análisis de resultados del flujo de cargas, únicamente son necesarios 35,03 kW. Esto significa que con la planta de 45 kW sería suficiente para el abastecimiento energético de Nyumbani. Sin embargo, es necesario comentar también la planta de 90 kW ya que el poblado siempre puede agradecer la instalación de más potencia en un futuro. La instalación de 250 kW ya no merecería la pena en un futuro próximo, puesto que sería muy costosa y no existe tanta necesidad energética. Por eso se propone una primera instalación de la planta fotovoltaica y una futura ampliación si se consiguen los recursos necesarios.

8.2.2.1 Nueva planta de 45 Kw

Para la planta de 45 Kw sobredimensionada serán necesarios:

- 126 paneles fotovoltaicos Amerisolar AS-6M144-HC-445. Que producirán una potencia de 56,07 kWp.
- 3 inversores SMA STP 15000TL-30.
- Para el conexionado de las baterías: 1 SMA MC-Box-6.3
- 6 SMA Sunny Island 6.0H.

A cada inversor irán conectados 42 paneles fotovoltaicos, conectados en 3 paralelos de 14 paneles cada uno, produciendo una tensión de CC que oscilará entre los 529 V y los 720 V, la cual se encuentra dentro de los límites del inversor.

8.2.2.2 Ampliación de la planta a 90 kW

Como era de esperar, para la ampliación de la planta se necesitará duplicar toda la paramenta de la planta anterior. Esta planta esta sobredimensionada para producir una potencia de 112,14 kWp.

Para el conexionado de las baterías, la caja se necesitaría cambiar por una más grande: SMA MC-Box-12.3-20. Para poder ampliar la planta y puesto a que la caja de conexiones no ha de ser una limitación se instalará esta desde un principio ya que tiene un máximo de conexión de doce inversores.

Capítulo 9. INSTALACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

Otro de los objetivos fundamentales de este proyecto es la instalación de un variador de frecuencia para el arranque y control de la bomba “Tower Pump”. La bomba está destinada a llevar el agua a todos los grifos de Nyumbani puesto que es necesaria para cocinar y para la higiene personal de los habitantes de la aldea.

Tal y como se comentaba en el apartado 4.2 Bomba y su generación la bomba tiene una potencia nominal de 4 kW y está conectada a un generador diésel.

Hay otra bomba conectada a 44 paneles fotovoltaicos, de los cuales se pretende aprovechar la energía para el uso de esta bomba también. Los paneles son de marca SunPower, concretamente el modelo PL-205-QP-I. Están conectados en paralelo 22 y 22, de que son capaces de generar una potencia de 9,02 kW, y una Voc de hasta 777,04 V, suficiente para el funcionamiento normal de la bomba que alimentan (también de 4,5 kW) y de la Tower Pump a la cual se van a conectar. Se han tomado medidas de la tensión a la salida de las placas con un polímetro FLUKE 376 FC y se ha medido una tensión de 508.1 V durante una primera medición y otra de 638,5 V en corriente continua. Estas mediciones se hicieron mientras la bomba estaba en funcionamiento y alimentada únicamente por los paneles solares por lo que es normal que exista cierta diferencia de tensión entre una y otra. También hay que tener en cuenta que los cables están conectados de manera muy rudimentaria y expuestos a la intemperie por lo que es fácil que haya errores en la medida. Las mediciones se hicieron únicamente para comprobar la capacidad de generar tensión de las placas por lo que tampoco es tan necesaria la precisión ya que son medidas de comprobación.

Para el variador solar se ha escogido uno de la marca SALICRU, puesto que tienen una línea especializada en este tipo de variadores. Concretamente el modelo escogido es el CV30-040-4F PV, el modelo está diseñado para bombas de 4 kW con las mismas características de generación que la instalada.



Figura 45. SALICRU CV30-040-4F PV

La entrada DC recomendada para este variador es de entre 300 V y 750 V por lo que las comprobaciones realizadas son correctas ya que la tensión proporcionada por las placas recomendada es de 550V. El propio variador se conectará a las terminales de máximo y mínimo nivel del depósito para que la bomba actúe cuando el depósito está vacío y deje de hacerlo cuando el depósito esté lleno. Estas entradas serán las terminales S2 y S3 dentro del propio variador.

En cuanto a la entrada AC del variador se conectará el grupo electrógeno existente, permitiendo una fuente fiable de energía.

Para poder escoger entre la energía solar o la del grupo se instalará un módulo de conmutación automática ATS que ofrece SALICRU.



Figura 46. ATS MOD-550-4-PV

Con este auto conmutador, el variador pasa a alimentarse de la red o de un grupo electrógeno cuando la energía disponible en los paneles solares no es suficiente, y vuelve a alimentarse de éstos cuando sí lo es. El diagrama de bloques con el funcionamiento del módulo de conmutación automática es el siguiente:

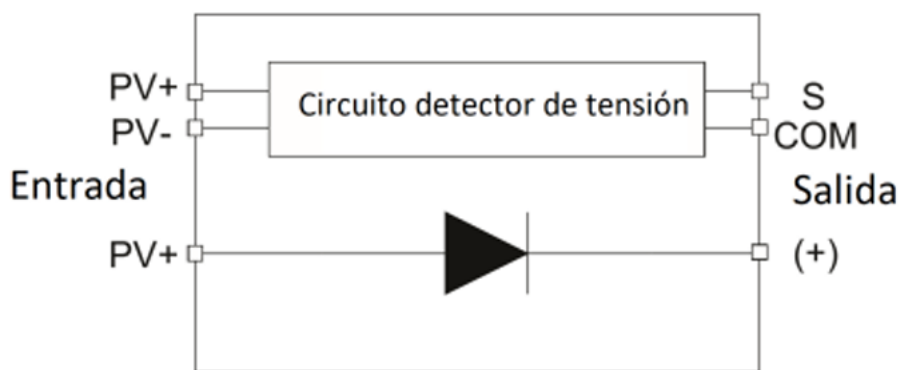


Figura 47. Diagrama de bloques ATS

El detector activa o desactiva la señal de S, COM basándose en un umbral predeterminado, este se activará cuando la tensión de las placas caiga por debajo de los 300 V, que es la tensión mínima del variador. Esta salida se conecta a los terminales HDI, COM del variador de manera que se permite la selección del tipo de energía en todo momento.

El esquema eléctrico que incluye el módulo de conmutación automática, el variador de frecuencia, ambas entradas y la bomba queda entonces de la siguiente manera:

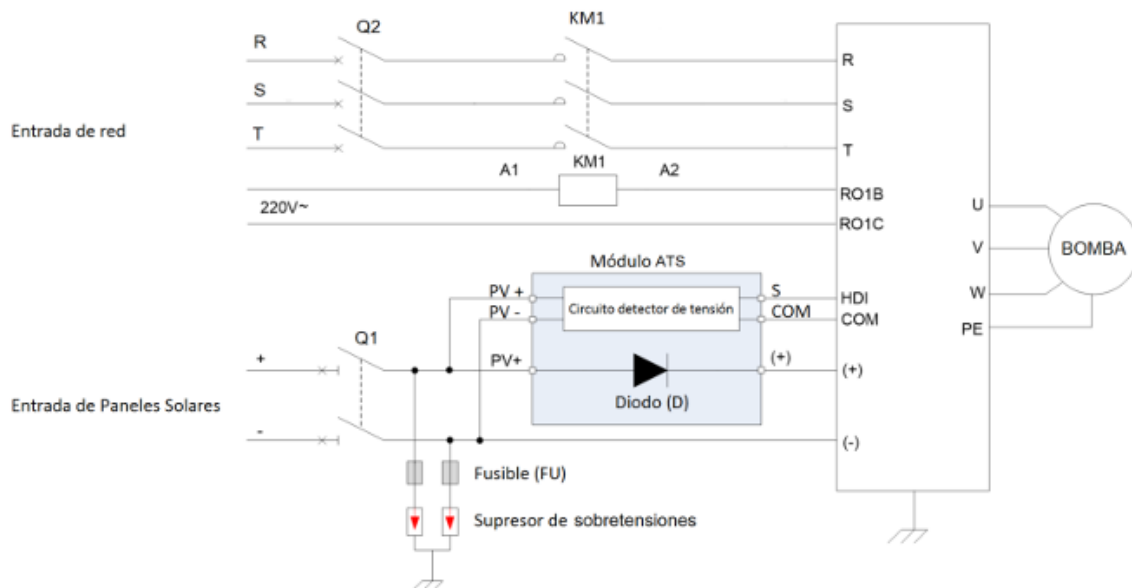


Figura 48. Esquema eléctrico variador de frecuencia.

Capítulo 10. ANÁLISIS ECONÓMICO

En este apartado se va a calcular el coste total del proyecto, al ser benéfico no se busca sacar ninguna rentabilidad sobre este sino mejorar la vida de los habitantes de Nyumbani. Hay que tener en cuenta que el proyecto se realiza en Kenia y la moneda utilizada es el chelín keniano. Actualmente el cambio de divisa a euros es $1\text{€} = 156\text{ KSh}$

10.1 COSTE DE LAS LÍNEAS

La marca escogida para los cables será METSEC, una empresa keniana especializada en la producción de cables. La elección se debe a la proximidad con la fábrica, el envío gratuito dentro del territorio nacional y a los precios de los cables.

El cable utilizado para el anillo principal, de aluminio 240 es el siguiente:



METSEC AL/XLPE/SWA/PVC ARMoured CABLE
4COREx240.00MM BLACK (SECTOR) - Loose

SKU: CARMXA240004BK1>

[Download Datasheet](#)

KSh 4,548.75 ex. VAT/meter

Figura 49. Cable de aluminio y precio

Con un precio por metro de 4548,75 KSh y la línea medida “in-situ” tiene una distancia total de 2440m por lo que el coste del cable será de:

$$Al\ 240\ [\text{€}] = 2440\ m * 4548,75 \frac{\text{KSh}}{m} = 11098950\ \text{KSh} = 71147,12\ \text{€}$$

Para los tres ramales de cobre hacia las bombas y hacia el Livestock desde el anillo principal el cable utilizado será de cobre 35. También de la misma marca.



METSEC CU/XLPE/SWA/PVC ARMoured CABLE
4COREx35.00MM BLACK (SECTOR) - Loose

SKU: CARMXCo35004BK1>

[Download Datasheet](#)

KSh 3,323.00 ex. VAT/meter

Figura 50. Cable de cobre y precio

En este caso las distancias que deberán tener las líneas son las siguientes:

- Anillo-Booster Pump : 292,7 m
- Anillo-Government Pump : 430,3m
- Anillo-Livestock : 203,2 m

Por lo que la distancia total de cable de cobre necesaria será de 926,2 m y tendrán un precio de:

$$Cu\ 35\ [€] = 926,2\ m * 3323\ \frac{KSh}{m} = 3077762,6\ KSh = 19729,25\ €$$

Joaquín Benjumeda, quien estuvo en Nyumbani trabajando con el electricista del poblado estimó el coste de el metro de zanja para enterrar las líneas en 200 KSh, por lo que el precio total de enterrar los 3366,2 m de línea sería de:

$$Instalación\ de\ los\ cables\ [€] = 3366,2\ m * 200\ \frac{KSh}{m} = 673240\ KSh = 4315,64\ €$$

Teniendo todo esto en cuenta el gasto total de las líneas se estima en 90876,36€.

Otro gasto importante que no se ha tenido en cuenta ya que esas líneas no han sido utilizadas en el flujo de cargas porque fueron tomadas como nudos son las conexiones del High School y de los Clusters. El coste de estas líneas también hay que incluirlo dentro del proyecto. La línea de conexión desde el anillo principal al High school será de cobre, con una sección de 6mm² y tendrá un coste de 867,3€ y las conexiones de los diferentes

Clusters al anillo se realizarán con líneas de cobre y sección 10 mm². Teniendo estas un coste total de 18750,6€.

10.2 COSTE DE LA AMPLIACIÓN DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA EXISTENTE

Como se comentaba en el apartado 8.1 la planta fotovoltaica cuenta con toda la paramenta para poder ampliarla, únicamente faltaría la instalación de los paneles fotovoltaicos. Los paneles serán de dos tipos, unos para completar los que ya están instalados en uno de los variadores y que se instalarán en un variador que no tiene nada conectado.

Los paneles que se necesitan son entonces:

- 24 paneles SunPower PL-205-QP-I : Estos paneles ya no se encuentran disponibles en el mercado, pero puesto a que con la instalación del nuevo sistema las bombas no necesitarán tanta generación independiente simplemente habría que reubicar 24 de los 88 paneles totales que hay instalados en las bombas.
- 36 paneles Amerisolar AS-6M144-HC-445W: Estos paneles además necesitarán la estructura donde van montados ya que no tienen las mismas dimensiones que los de SunPower. Por lo que el coste será el siguiente:

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO €	PRECIO TOTAL €
Módulo solar Amerisolar AS-6M144-HC-445W	36	205,50	7398
Estructura para 4 paneles 60c	9	289,65	2606,85
TOTAL			10004,85

Tabla 13. Coste de la ampliación del solar farm de ESF

10.3 COSTE DE LA NUEVA PLANTA FOTOVOLTAICA

Este cálculo fue realizado por Clara Soto y se recoge en la siguiente tabla:

INSTALACIÓN 45 kW	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO €	PRECIO TOTAL €
Módulo Solar: Amerisolar Solar Panel AS-6M-HC 445W	126	204,8	25798,5
Inversor Sunny Tripower 25000TL-30 15kW SMA	3	5369,0	16107,0
MC4 Conectores Male	100	5,5	546,0
MC4 Conectores Female	100	5,5	546,0
6mm Flex DC Double Insulated Cable	600	2,2	1310,4
Estructura para 4 paneles 60c	32	287,6	9201,9
Fusible 2 A 1000 VDC 10x38	3	7,5	22,6
Protector contra sobretensiones Lovato	9	59,8	537,8
Mano de obra 3 personas [horas]	144	21,8	3145,0
Transporte del equipo	1	2275,0	2275,0
TOTAL 45 Kw			59490,1
AMPLIACIÓN A 90 Kw			
Módulo Solar: Amerisolar Solar Panel AS-6M-HC 445W	126	204,8	25798,5
Inversor Sunny Tripower 25000TL-30 15kW SMA	3	5369,0	16107,0
6mm Flex DC Double Insulated Cable	120	2,2	262,1
Estructura para 4 paneles 60c	32	287,6	9201,9
Fusible 2 A 1000 VDC 10x38	3	7,5	22,6
Protector contra sobretensiones Lovato	9	59,8	537,8
Mano de obra 3 personas [horas]	144	21,8	3145,0
Transporte del equipo	1	2275,0	2275,0
TOTAL AMPLIACIÓN 90 Kw			57349,8

Tabla 14. Costes de la instalación de 45 kW y su ampliación a 90 kW

Como era de esperar tiene aproximadamente un coste similar la primera instalación de 45 kW como su futura ampliación, los equipos que representan un gasto más significativo son los paneles, sus soportes y los inversores.

10.4 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA INSTALACIÓN DEL VARIADOR

Se ha pedido presupuesto del variador y el auto conmutador a SALICRU y los precios son los siguientes:

- Variador solar CV30-040-4F PV : $400€ + 21\% \text{ IVA} = 484€$
- Módulo de conmutación automática ATS MOD-550-4-PV : $94€ + 21\% \text{ IVA} = 113,74€$

Teniendo en cuenta que el cableado necesario para la conexión a la bomba y a las fuentes de energía ya está instalado y simplemente haría falta conectarlo al variador y que la mano de obra de la instalación sería gratuita por parte del electricista de la aldea, únicamente habría que añadir el coste de transporte del variador desde España.

Puesto a que desde España van voluntarios a Nyumbani a lo largo de todo el año, la manera más segura y económica de llevar el variador sería con uno de esos voluntarios. Por lo que se estima el transporte en 100€ debido a la facturación en el vuelo.

El coste total de la instalación del variador sería por tanto de 695 €.

10.4.1 AHORRO EN COMBUSTIBLE CON LA INSTALACIÓN DEL VARIADOR

Actualmente el gasto de combustible en Nyumbani destinado a el generador diesel de la bomba es de 120 litros al mes. Lo que a un precio medio de 1,15€/l representa un gasto mensual de 138€. Con el variador de frecuencia se espera reducir el gasto de combustible en más de un 60%, puesto que ya no será necesario el grupo electrógeno para su arranque. Lo que significaría un ahorro de alrededor de 82,8 € mensuales, quedando así amortizada la instalación del variador en menos de 8 meses si la consideramos lineal.

10.5 RESUMEN DEL COSTE TOTAL DEL PROYECTO

Por último, en la Tabla 15. Resumen Gasto se muestra un resumen completo del coste del proyecto para poder tener una visión general:

	COSTE EN €	COSTE EN KSh
CABLEADO	90876,36	14176711,24
Cables Aluminio 240	71147,12	11098950
Cables Cobre 35	19729,25	3077762,8
INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	126844,75	19787779,72
Ampliación de la planta existente a 44 kW	10004,85	1560756,5
Nueva planta de 45 kW	59490,1	9280455
Ampliación a 90 kW	57349,8	8946568,22
VARIADOR DE FRECUENCIA	695	108419,99
TOTAL	218416,11	34072910,95

Tabla 15. Resumen Gasto

Capítulo 11. CONCLUSIONES Y FUTURO

Con este proyecto se consigue claramente el objetivo principal que tenía, mejorar la vida de alrededor de 1000 niños huérfanos en Nyumbani. Gracias a la instalación del sistema eléctrico podrán instalar más máquinas que aprender a usar, más ordenadores, cocinas, neveras, luz y muchas otras cosas fundamentales para su desarrollo.

El proceso de ampliación del sistema eléctrico queda dividido entonces en tres tramos. El primero, con un coste de alrededor de 110000€ que se destinarán a la instalación de la red y a la ampliación de la planta fotovoltaica existente. Un segundo tramo que tratará de la instalación de una nueva planta fotovoltaica de 45 kW con un coste de alrededor de 60000€ y por último la ampliación de esta al doble de potencia por otros 60000€. El último tramo del proyecto no es tan fundamental como los anteriores puesto que como se ha visto en los resultados del flujo de cargas no es necesaria tanta potencia aún habiendo sobredimensionado el sistema. En un futuro, cuando se haya conseguido recaudar suficiente dinero sería imprescindible realizar un diseño detallado de la nueva planta fotovoltaica.

Como ya se ha comentado este proyecto es benéfico y depende de donaciones para su realización por lo que su realización dependerá plenamente en la caridad de las personas. Con la realización del modelado 3D se pretende acercar el proyecto a personas que no estén familiarizadas con el mundo eléctrico o que no hayan visitado Nyumbani y tengan una imagen más clara.

La parte que menos gasto requiere, de manera muy notoria, es la instalación del variador de frecuencia, y su instalación será la primera labor que se realice ya que representará un gran ahorro en combustible en comparación a la inversión que hay que realizar.

Capítulo 12. BIBLIOGRAFÍA

- [7] Banco Mundial. “Panorama general“. Entendiendo la pobreza. Septiembre, 2022.
<https://www.bancomundial.org/es/topic/poverty/overview>.
- [8] Human Development Reports. “2019 GLOBAL MULTIDIMENSIONAL POVERTY INDEX (MPI)”, Enero 2019. <https://hdr.undp.org/content/2019-global-multidimensional-poverty-index-mpi>
- [9] Echevarren Cerezo. F.M.. “AMPLIACIÓN DE SS DE ENERGÍA ELÉCTRICA. “. .
Agosto, 2019.
- [10] Ines Come, E. “Renewable Energy for Rural Electrification and Developement in Mozambique “. KTH School of Industrial Engineering and Management . Junio, 2015.
- [11] Alfonso Gallego Rendón, R. “Flujo de carga en sistemas de transmisión “. Editorial UTP.
2016.
- [12] Santiago López – Varela Centeno, J. “Integración de equipos existentes en una nueva red de distribución eléctrica, en nyumbani village (kitui, kenya)”. Agosto 2022
- [13] Benjumeda Hektoen, J. “Proyecto de electrificación rural en Nyumbani Village (Kitui, Kenya): planificación de la red de distribución”. Agosto 2022
- [14] Soto, C. S. V. “Proyecto de electrificación rural en nyumbani village (kitui, kenia): planificación de la generación de la energía mediante paneles fotovoltaicos”. Agosto 2022
- [15] Compromiso RSE. “Nuevo proyecto de Energía sin Fronteras en la ecoaldea Nyumbani Village, en Kenia”. Enero 2015. <https://www.compromisorse.com/rse/2015/01/19/nuevo-proyecto-de-energia-sin-fronteras-en-la-ecoaldea-nyumbani-village-en-kenia/>
- [16] El blog de energía. “Sistema Bombeo solar con variador de frecuencia”. Octubre 2020.
<https://elblogenergia.com/energia/sistema-bombeo-solar-variador-frecuencia>

- [17] Pravos García, L. “Análisis de flujos de carga para el análisis de redes de distribución. Implementación del algoritmo “Foward and backward””. Septiembre 2021
- [18] Colorado State University. “LAB1-INTRODUCTION TO PSS/E”
- [19] UNAIDS. “HIV and AIDs Estimates Kenya 2022”
<https://www.unaids.org/en/regionscountries/countries/kenya>
- [20] DatosMundial.com. “Indicadores de la economía en Kenia”.
<https://www.datosmundial.com/africa/kenia/economia.php>
- [21] Techno Sun. “¿Qué es la fotovoltaica aislada?”. Agosto 2020.
<https://www.technosun.com/es/blog/que-es-la-fotovoltaica-aislada/>
- [22] Diez Aznar, J.M., Blasco Espinos, P.A. . “Apuntes de Instalaciones Eléctricas de Baja tensión”. Universidad Politécnica de Valencia.
- [23] Datosmacro.com. Kenia: Economía y demografía. Periódico Expansión.
https://datosmacro.expansion.com/paises/kenia?gclid=CjwKCAjwxanBhBQEIwA84TVXBJE0yMJXgG2NCJWuwJdjSQJHb2FTThcHQ3egRQ5E6O2lRC66EeYDWB0CdZIQAvD_BwE
- [24] Calle Cabrero, J., Diseño en 3D con SketchUp. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- [25] Electropreguntas.com. “Red Eléctrica Subterránea: Ventajas Y Desventajas En Distribución De Energía”. <https://electropreguntas.com/red-electrica-subterranea-ventajas-y-desventajas-en-distribucion-de-energia/>
- [26] Amigos de Nyumbani. “Luz en los hogares”.
<https://www.amigosdenyumbani.es/proyectos-luz/>
- [27] Amigos de Nyumbani. “Semilla solar” <https://www.amigosdenyumbani.es/proyectos-semilla-solar/>

- [28] Perker México Team. “Arrancador Suave o Variador de Frecuencia”. Junio 2019.
<https://blog.parker.com/site/MX/details-home-page/arrancador-suave-o-variador-de-frecuencia-mx>

ANEXO I. FICHAS TÉCNICAS

1. Ficha técnica bomba 4R518

DIMENSIONS AND WEIGHTS

2 WIRE SINGLE-PHASE MOTORS 50Hz & 60Hz

P2		H	Weight	Thrust Load
kW	HP	mm	Kg	N
0.37	0.5	396	7.7	2000
0.55	0.75	416	8.6	2000
0.75	1	431	9.2	2000
1.1	1.5	456	10.4	2000
1.5	2	491	11.9	2000

3 WIRE SINGLE-PHASE MOTORS 50Hz & 60Hz

P2		H	Weight	Thrust Load
kW	HP	mm	Kg	N
0.37	0.5	346	7.3	2000
0.55	0.75	365	8.2	2000
0.75	1	380	8.8	2000
1.1	1.5	405	10.0	2000
1.5	2	440	11.5	2000
2.2	3	495	14.0	3000
3	4	607	19.4	5000
3.7	5	683	22.7	5000
4	5.5	683	22.8	5000

3 WIRE THREE-PHASE MOTORS 50Hz & 60Hz

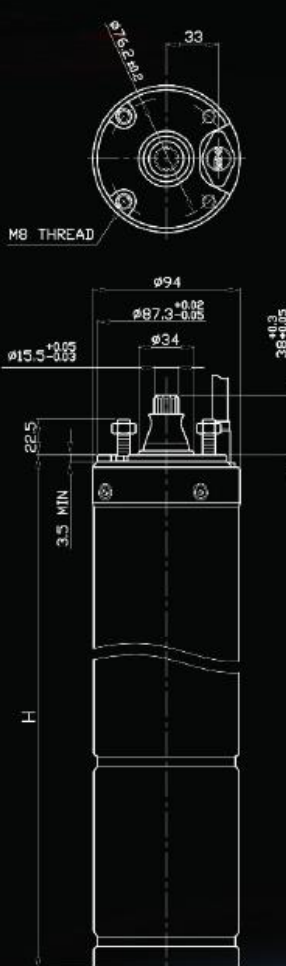
P2		H	Weight	Thrust Load
kW	HP	mm	Kg	N
0.37	0.5	330	6.7	2000
0.55	0.75	346	7.4	2000
0.75	1	365	8.2	2000
1.1	1.5	380	8.9	2000
1.5	2	405	10.0	2000
2.2	3	440	11.6	3000
3	4	516	15.2	5000
3.7	5	607	19.5	5000
4	5.5	607	19.5	5000
5.5	7.5	683	23.1	5000
7.5	10	783	27.5	5000

MATERIAL SPECIFICATIONS

Component	Material
Motor Shell	304 Stainless steel
Sand Guard	NBR
Cable Connector	EPDM
Upper end bracket cover	304 Stainless steel
Upper end bracket	Zinc plated cast iron
Mechanical seal	Ceramic/Carbon
Shaft (0.5 - 3 HP)	304 Stainless steel
Shaft (4 - 10HP)	430 Stainless steel
Rotor (0.5 - 3 HP)	Aluminum
Rotor (4 - 10HP)	Copper
Connector	PPS
Winding	Copper
Lower end bracket	Aluminum
Lower end bracket cover	304 Stainless steel
Diaphragm	NBR

Note:
Specifications subject to change without notice.

STAIRS INDUSTRIAL CO., LTD.
NO.3-8, Sanchial Tsun, Lutao Hsiang, Chial Hsien, Taiwan,
 E-mail: stairs@stairs.com.tw
 Website: www.stairs.com.tw



Technical drawing of the pump 4R518 showing top and side views with dimensions. The top view shows a circular motor housing with mounting holes and a central shaft. The side view shows the pump assembly with dimensions for height (H), motor housing diameter (99.4), and other features.

THREE-PHASE MOTORS 50 HZ DOL

Motor Type 3-Wire	P2		Voltage	In	Istart	Efficiency	PF	Nn	Thrust Load	Capacitor	Cable	
	KW	HP	V	A	A	%	COSφ	RPM	N	μF	mm2	m
4R222	0.37	0.5	230	2.9	7.8	60	0.80	2870	2000		1.5	1.7
4R223	0.55	0.75	230	3.4	11.6	64	0.80	2850	2000		1.5	1.7
4R224	0.75	1	230	4.0	15	66	0.80	2840	2000		1.5	1.7
4R225	1.1	1.5	230	5.3	21	70	0.80	2850	2000		1.5	1.7
4R226	1.5	2	230	6.9	24	72	0.80	2850	2000		1.5	1.7
4R328	2.2	3	230	9.7	38	71	0.85	2850	3000		1.5	2.5
4R529	3	4	230	12.8	74	73	0.85	2850	5000		2.0	2.5
4R530	4	5.5	230	17.1	84	75	0.85	2850	5000		2.0	2.5
4R531	5.5	7.5	230	23.7	123	76	0.85	2850	5000		2.0	2.5
4R533	7.5	10	230	32.8	166	76	0.85	2850	5000		2.0	2.5
4R210	0.37	0.5	400	1.6	4.5	60	0.80	2820	2000		1.5	1.7
4R211	0.55	0.75	400	1.9	6.7	64	0.80	2840	2000		1.5	1.7
4R212	0.75	1	400	2.3	8.9	66	0.80	2840	2000		1.5	1.7
4R213	1.1	1.5	400	3.1	12	70	0.80	2850	2000		1.5	1.7
4R214	1.5	2	400	4.0	14	72	0.80	2850	2000		1.5	1.7
4R316	2.2	3	400	5.6	22	71	0.85	2850	3000		1.5	2.5
4R517	3	4	400	7.4	43	73	0.85	2840	5000		2.0	2.5
4R518	4	5.5	400	9.8	49	75	0.85	2850	5000		2.0	2.5
4R519	5.5	7.5	400	13.7	71	76	0.85	2850	5000		2.0	2.5
4R521	7.5	10	400	18.9	96	76	0.85	2850	5000		2.0	2.5

GENERAL SPECIFICATIONS

Mounting flange	4" NEMA standard
Degree of protection	IP 68
Insulation class	F
Single phase motors	0.37 kW up to 4.0 kW
Three phase motors	0.37 kW up to 7.5 kW
Standard voltages	1~207-244 (50Hz) 1~100-116 or 254 or 207-244(60Hz) 3~207-244 or 360-424(50Hz) 3~360-424 or 207-244(60Hz)
Cable length	1.7 M 0.37 kW up to 1.5 kW 2.5 M 2.2 kW up to 7.5 kW

OPERATING PARAMETERS

Max voltage variation	+ 10% / - 10%
Max starts / h	40
Max water temperature	35°C
Flow rate	0.2m/sec
Axial thrust	2000N from 0.37 kW up to 1.5 kW 3000N 2.2 kW 5000N from 3 kW up to 7.5 kW
Max immersion depth	200m

2. Presupuesto y características variador solar SALICRU CV30-040-4F

Modelo: CV30-040-4F PV

POTENCIA	TENSIÓN AC	TENSIÓN DC	INTENSIDAD SAL.	CONSOLA	
4,00 KW	3 x 400 V	300...750 V	9,5 A	Extraíble	
Variador de frecuencia para bombeo solar. Algoritmo avanzado MPPT integrado: rastreo del punto de máxima potencia de los paneles solares. Arranque y parada automática en función de la radiación solar. Protecciones fotovoltaicas específicas: sobretensión, polaridad inversa, etc. Detección de pozo seco y depósito lleno. Permite la alimentación aislada, híbrida y conmutada mediante la instalación de un módulo opcional. Consola con display LED de 5 dígitos. Sobrecarga máxima admitida: 150% durante 1 minuto; 180% durante 10 segundos. Comunicación RS-485 Modbus RTU. Filtro EMC integrado categoría C3 según EN 61800-3. Montaje en fondo de armario.					
DIMENSIONES (F x AN x AL)	167 x 146 x 256 mm	PESO	3 Kg	PRECIO NETO UNIDAD	400,00 €

3. Presupuesto y características módulo de conmutación automática SALICRU ATS MOD-550-4-PV

Modelo: ATS MOD-550-4-PV

Módulo de conmutación automática para variadores de la serie CV30-PV. Permite realizar una instalación conmutada automática. El variador pasa a alimentarse de la red o de un grupo electrógeno cuando la energía disponible en los paneles solares no es suficiente, y vuelve a alimentarse de éstos cuando sí lo es. Para variadores CV30-040...150-4F PV. Dimensiones: 116 x 90 x 231 mm (F x AN x AL) Peso: 1,07Kg	 
PRECIO NETO UNIDAD	94,00 €

4. Cable de Aluminio 240 mm²



Aluminium Conductor XLPE ARMOURED CABLE(NA2XRY) 0.6/1kV Cable



APPLICATION

Can be used in underground installations since the cable is very suitable for mechanical compulsion and harsh operating conditions. Suitable for comparatively high ambient temperature due to high maximum permissible conductor temperature.

CHARACTERISTICS

Voltage Rating U₀/U 0.6/1kV

Temperature Range
Fixed: -5°C to +90°C

Minimum Bending Radius
15 x overall diameter

CONSTRUCTION

Conductor
Class 2 stranded aluminium conductor

Insulation
XLPE (Cross-Linked Polyethylene)

Filler
PVC (Polyvinyl Chloride)

Armour
SWA (Galvanized round steel wire)

Sheath
PVC (Polyvinyl Chloride)

STANDARDS

KS IEC 60502-1
Flame Retardant according to IEC/EN 60332-1-2



CORE IDENTIFICATION

2 core: Red Black
3 core: Red Yellow Blue
4 core: Red Yellow Blue Black
5 core: Red Yellow Blue Black
Green/yellow
7 core and above: White cores with Black numbers

Sheath Colour

● Black



CONDUCTORS

Class 2 Stranded Conductors for Single Core and Multi-Core Cables

NOMINAL CROSS SECTIONAL AREA	MAXIMUM DC RESISTANCE OF CONDUCTOR AT 20°C
mm ²	ohms/km
16	1.91
25	1.2
35	0.868
50	0.641
70	0.443
95	0.32
120	0.253
95	0.32
150	0.206
185	0.164
240	0.125

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Current Carrying Capacity

NOMINAL CROSS SECTIONAL AREA mm ²	CURRENT CARRYING CAPACITY Amps	
	In Ground	In Air
16	76	77
25	90	97
35	112	120
50	136	146
70	174	187
95	211	227
120	245	263
150	283	304
185	323	347
240	382	409

All of the above information, including drawings, illustrations and graphic designs, reflects our present understanding and is to the best of our knowledge and belief correct reliable. Users, however, should independently evaluate the suitability of each product for the desired application. Under no circumstances does this constitute an assurance any particular quality or performance. Such an assurance is only provided in the context of our product specifications or explicit contractual arrangements. Our liability for products set forth our standard terms and conditions of sale





DIMENSIONS

NO. OF CORES	NOMINAL CROSS SECTIONAL AREA mm ²	NOMINAL OVERALL DIAMETER mm	NOMINAL WEIGHT kg/km
2	25	25	1270
3	25	25.6	1325
3	35	28.2	1592
3	50	34.6	2381
3	70	36.5	2679
3	95	41.8	3640
3	120	49	4736
3	25/16	27.8	1487
3	35/16	30.4	1722
3	50/25	35.8	2440
3	70/35	39.8	2950
3	95/50	45.9	4033
3	240/120	66.6	8162
3	300/150	72.2	9318
4	25	29.1	1643
4	35	32.2	1970
4	50	37.7	2754
4	70	43	3696
4	95	48.2	4546
4	120	52.2	5264
4	150	57.7	6289
4	185	66.9	8596
4	240	74	10334
5	16	26.1	1373
5	25	30.3	1802
5	35	34.5	2415
5	50	39.9	3330
5	70	45.1	4124
5	95	50.9	5198



Scan QR Code

5. Cable de Cobre 35 mm²

COPPER CONDUCTOR MULTI CORE BS 5467 SWA PVC 0.6/1KV CABLE



APPLICATION

Multi-core PVC cable with steel wire armour (SWA). Power and auxiliary fixed wiring cables for use in power networks, underground, outdoor and indoor applications and for use in cable ducting.

CHARACTERISTICS

Voltage Rating U₀/U
0.6/1kV

Temperature Rating
Fixed: -25°C to +90°C

Minimum Bending Radius
1.5mm² to 16mm² - Fixed: 6 x overall diameter
25mm² and above - Fixed: 8 x overall diameter

CABLE THIRD-PARTY ACCREDITATIONS

Cables are type tested and accredited by Kenya Bureau and Standards (KEBS)

STANDARDS

KS IEC/EN 60502-1, IEC/EN 60228
Flame Retardant according to IEC/EN 60332-1-2



CONSTRUCTION

Conductor
Class 2 stranded copper conductor

Insulation
XLPE (Cross-Linked Polyethylene)

Bedding
PVC (Polyvinyl Chloride)

Armour
SWA (Steel Wire Armour)

Sheath
PVC (Polyvinyl Chloride)

CORE IDENTIFICATION

1 core: Red Black
2 core: Red Black
3 core: Red Yellow Blue
4 core: Red Yellow Blue Black
5 core and above: Red Yellow Blue Black
Green/yellow Blue Black

Sheath Colour
● Black



DIMENSIONS

NO. OF CORES	NOMINAL CROSS SECTIONAL AREA (mm)	NOMINAL THICKNESS OF INSULATION (mm)	NOMINAL DIAMETER (mm)		NOMINAL WEIGHT kg/km	BW/CW GLAND	WRAPARO UND CLEATS
			Under Armour	Overall			
2	1.5	0.6	7.3	12.1	302	20S	CC5
2	2.5	0.7	8.5	13.6	346	20S	CC6
2	4	0.7	9.4	14.7	410	20S	CC7
2	6	0.7	10.5	15.9	499	20	CC7
2	10	0.7	12.3	18	648	20	CC8
2	16	0.7	14.3	20.4	978	20	CC9
2	25	0.9	14.7	20.4	1290	25	CC9
2	35	0.9	16.8	23.3	1500	25	CC10
2	50	1	19	25.8	1890	25	CC11
2	70	1.1	22	29	2450	32	CC12
2	95	1.1	25.1	33.1	3300	32	CC14
2	120	1.2	27.9	36.1	4020	40	CC16
2	150	1.4	30.9	39.3	4750	40	CC16
3	1.5	0.6	7.8	12.6	330	20S	CC5
3	2.5	0.7	9.2	14.1	390	20S	CC6
3	4	0.7	10	15.3	464	20S	CC7
3	6	0.7	11.2	16.6	568	20	CC7
3	10	0.7	13.1	19.5	866	20	CC8
3	16	0.7	15.3	21.6	1152	25	CC9
3	25	0.9	18.9	23.6	1800	25	CC11
3	35	0.9	21.3	25.7	2230	32	CC12
3	50	1	21.7	28.5	2490	32	CC12
3	70	1.1	25.2	32.2	3290	32	CC14
3	95	1.1	28.8	37	4440	40	CC16
3	120	1.2	32	40.4	5470	40	CC16
3	150	1.4	35.9	45.5	6930	50S	CC18
3	185	1.6	40	49.8	8350	63S	CC20
3	240	1.7	44.9	55.1	10400	63S	
3	300	1.8	49.8	60.2	12600	63S	
3	400	2	55.8	66.6	14600	75S	
4	1.5	0.6	8.5	13.3	365	20S	CC6
4	2.5	0.7	9.9	15	438	20S	CC6
4	4	0.7	11	16.4	532	20	CC7
4	6	0.7	12.3	18.7	764	20	CC8
4	10	0.7	14.5	21.1	1013	25	CC9
4	16	0.7	17	23.4	1360	25	CC10
4	25	0.9	21	26.1	2160	32	CC11
4	35	0.9	23.6	28.6	2690	32	CC12
4	50	1	25	32	3130	32	CC14
4	70	1.1	29.5	37.7	4500	40	CC16
4	95	1.1	33.3	41.7	5600	50S	CC18
4	120	1.2	37.5	47.1	7400	50	CC20
4	150	1.4	41.6	51.4	8780	50	
4	185	1.6	46.4	56.6	10630	63S	



SCAN QR CODE



4	240	1.7	52.6	63	13390	63	
4	300	1.8	58	68.8	16290	755	
4	400	2	65.4	78.1	19800	90	
5	1.5	0.6	9.7	14.3	410	205	CC6
5	2.5	0.7	11.7	16.1	470	205	CC7
5	4	0.7	13	17.8	710	20	CC7
5	6	0.7	14.5	20	876	25	CC8
5	10	0.7	17.2	22.9	1165	25	CC10
5	16	0.7	20	26.6	1742	32	CC11
5	25	0.9	24.7	31.5	2323	32	CC14
5	35	0.9	27.8	34.8	2932	40	CC14
5	50	1	32.4	40.4	4192	505	CC16
7	1.5	0.6	10.2	15.2	470	205	CC6
7	2.5	0.7	12.3	17.1	600	20	CC7
7	4	0.7	13.6	19.1	881	20	CC8
12	1.5	0.6	13.7	19.4	780	20	CC8
12	2.5	0.7	16.3	22.4	1000	25	CC9
19	1.5	0.6	16.2	22.2	1000	25	CC9
19	2.5	0.7	19.9	26.6	1540	25	CC11
27	1.5	0.6	20	26.7	1500	32	CC11
27	2.5	0.7	24	30.7	1950	32	CC14
37	1.5	0.6	22.3	29	1800	32	CC12
37	2.5	0.7	26.9	33.8	2350	40	CC14





CONDUCTORS

Class 2 Stranded Conductors for Single Core and Multi-Core Cables

NOMINAL CROSS SECTIONAL AREA mm ²	MINIMUM NO. OF WIRES IN CONDUCTOR						MAXIMUM RESISTANCE OF CONDUCTOR AT 20°C ohms/km
	Circular		Circular Compacted		Shaped		Annealed Copper Conductor
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Plain Wires
1.5	7	-	6	-	-	-	12.1
2.5	7	-	6	-	-	-	7.41
4	7	-	6	-	-	-	4.61
6	7	-	6	-	-	-	3.08
10	7	7	6	6	-	-	1.83
16	7	7	6	6	-	-	1.15
25	7	7	6	6	6	6	0.727
35	7	7	6	6	6	6	0.524
50	19	19	6	6	6	6	0.387
70	19	19	12	12	12	12	0.268
95	19	19	15	15	15	15	0.193
120	37	37	18	15	18	15	0.153
150	37	37	18	15	18	15	0.124
185	37	37	30	30	30	30	0.0991
240	37	37	34	30	34	30	0.0754
300	61	61	34	30	34	30	0.0601
400	61	61	53	53	53	53	0.047





ELECTRICAL CHARACTERISTICS XLPE/PVC/SWA/PVC

Current Carrying Capacity

NOMINAL CROSS SECTIONAL AREA mm ²	REFERENCE METHOD C (CLIPPED DIRECT)		REFERENCE METHOD E (IN FREE AIR OR ON A PERFORATED CABLE TRAY, HORIZONTAL OR VERTICAL)		REFERENCE METHOD D (DIRECT IN GROUND OR IN DUCTING IN GROUND, IN OR AROUND BUILDINGS)	
	Amps		Amps		Amps	
	1 Two Core Cable Single-Phase	1 Three or 1 Four Core Cable Three-Phase	1 Two Core Cable Single-Phase	1 Three or 1 Four Core Cable Three-Phase	1 Two Core Cable Single-Phase	1 Four Core Cable Three-Phase
	AC or DC	AC	AC or DC	AC	AC or DC	AC
1.5	27	23	29	25	25	21
2.5	36	31	39	33	33	28
4	49	42	52	44	43	36
6	62	53	66	56	53	44
10	85	73	90	78	71	58
16	110	94	115	99	91	75
25	146	124	152	131	116	96
35	180	154	188	162	139	115
50	219	187	228	197	164	135
70	279	238	291	251	203	167
95	338	289	354	304	239	197
120	392	335	410	353	271	223
150	451	386	472	406	306	251
185	515	441	539	463	343	281
240	607	520	636	546	395	324
300	698	599	732	628	446	365
400	787	673	847	728	-	570

Air ambient temperature:
30°C Ground ambient
temperature: 20°C
Conductor operating temperature: 90°C

Notes

- Where a conductor operates at a temperature exceeding 70°C it must be ascertained that the equipment connected to the conductor is suitable for the conductor operating temperature (see Regulation 512.1.2 of the 17th Edition of IEE Wiring Regulations).
- Where cables in this table are connected to equipment or accessories designed to operate at a temperature not exceeding 70°C, the current ratings given in the equivalent table for 70°C thermoplastic insulated cables (Table 4D4A) must be used (see also Regulation 523.1 of the 17th Edition of IEE Wiring Regulations).

The above table is in accordance with Table 4E4A of the 18th Edition of IEE Wiring Regulations BS7671 and IEC 60364-5-52



SCAN QR CODE



VOLTAGE DROP

NOMINAL CROSS SECTIONAL AREA	TWO CORE CABLE DC	TWO CORE CABLE SINGLE- PHASE AC			THREE OR FOUR CORE CABLE THREE- PHASE AC		
mm ²		mV/A/m			mV/A/m		
1.5	31	31			27		
2.5	19	19			16		
4	12	12			10		
6	7.9	7.9			6.8		
10	4.7	4.7			4		
16	2.9	2.9			2.5		
		r	x	z	r	x	z
25	1.85	1.85	0.16	1.9	1.6	0.14	1.65
35	1.35	1.35	0.155	1.35	1.15	0.135	1.15
50	0.98	0.99	0.155	1	0.86	0.135	0.87
70	0.67	0.67	0.15	0.69	0.59	0.13	0.6
95	0.49	0.5	0.15	0.52	0.43	0.13	0.45
120	0.39	0.4	0.145	0.42	0.34	0.13	0.37
150	0.31	0.32	0.145	0.35	0.28	0.125	0.3
185	0.25	0.26	0.145	0.29	0.22	0.125	0.26
240	0.195	0.2	0.14	0.24	0.175	0.125	0.21
300	0.155	0.16	0.14	0.21	0.14	0.12	0.185
400	0.12	0.13	0.14	0.19	0.115	0.12	0.165

Conductor operating temperature: 90°C

R = Resistive Component

x = Reactive Component

z = Impedance Value

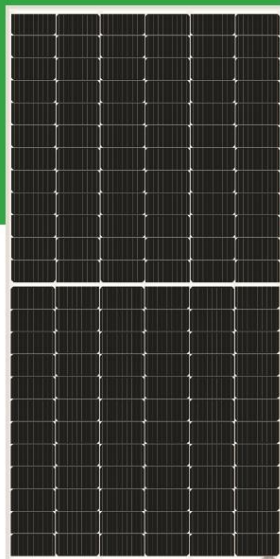
The above table is in accordance with Table 4E4B of the 18th Edition of IEE Wiring Regulations BS7671 and IEC 60364-5-52

For cables having conductors of 16mm² or less cross sectional area their inductances can be ignored and (mV/A/m) r values only are tabulated. For cables having conductors greater than 16mm², cross sectional area the impedance values are given as (mV/A/m) z, together with the resistive component (mV/A/m) r and the reactive component (mV/A/m) x.

The above paragraph is extracted from Appendix 4 of the 18th Edition of IEE Wiring Regulations BS7671



6. Módulo solar Amerisolar Solar Panel AS-6M-HC 445W



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

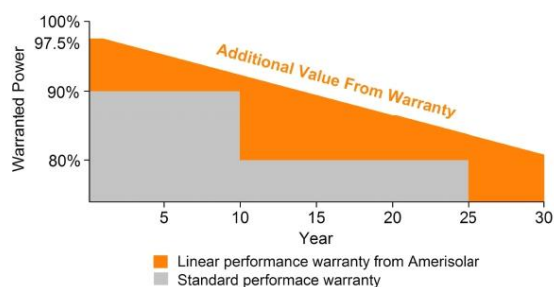


- IEC 61215, IEC 61730, UL 1703, IEC 62716, IEC 61701, IEC TS 62804, CE, CQC
- ISO 9001:2015: Quality management system
- ISO 14001:2015: Environmental management system
- ISO 45001:2018: Occupational health and safety management system

SPECIAL WARRANTY

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

**Passionately
committed to
delivering innovative
energy solution**



ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT STC

Maximum Power (P_{max})	430W	435W	440W	445W	450W
Open Circuit Voltage (V_{oc})	48.4V	49.6V	49.8V	50.0V	50.2V
Short Circuit Current (I_{sc})	11.04A	11.10A	11.16A	11.22A	11.28A
Voltage at Maximum Power (V_{mp})	41.0V	41.2V	41.4V	41.6V	41.8V
Current at Maximum Power (I_{mp})	10.49A	10.56A	10.63A	10.70A	10.77A
Module Efficiency (%)	19.46	19.69	19.92	20.14	20.37
Operating Temperature	-40°C to +85°C				
Maximum System Voltage	1000V DC/1500V DC				
Fire Resistance Rating	Type 1 (in accordance with UL1703)/Class C(IEC61730)				
Maximum Series Fuse Rating	20A				

STC: Irradiance 1000W/m², Cell temperature 25°C, AM1.5

ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT NOCT

Maximum Power (P_{max})	319W	323W	327W	331W	335W
Open Circuit Voltage (V_{oc})	45.4V	45.6V	45.8V	46.0V	46.2V
Short Circuit Current (I_{sc})	8.94A	8.99A	9.04A	9.09A	9.14A
Voltage at Maximum Power (V_{mp})	37.2V	37.4V	37.6V	37.8V	38.0V
Current at Maximum Power (I_{mp})	8.58A	8.64A	8.70A	8.76A	8.82A

NOCT: Irradiance 800W/m², Ambient temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Monocrystalline PERC 166*83mm
Number of cells	144 (6x24)
Module dimensions	2108x1048x40mm (82.99x41.26x1.57inches)
Weight	24kg (52.9lbs)
Front cover	3.2mm (0.13inches) tempered glass with AR coating
Frame	Anodized aluminum alloy
Junction box	IP68, 3 diodes
Cable	4mm ² (0.006inches ²), Portrait: 300mm (11.81inches); Landscape: 1400mm (55.12inches)
Connector	MC4 or MC4 compatible

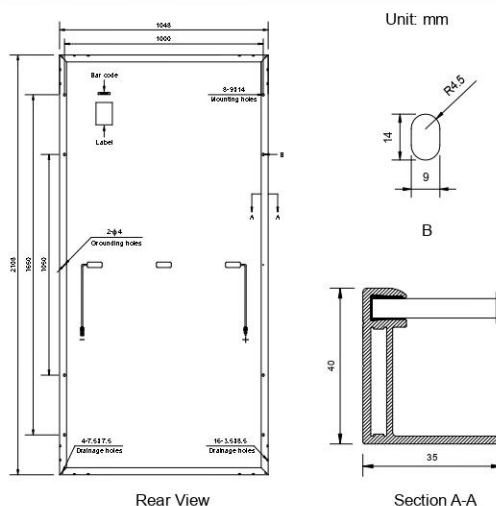
TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	43°C±2°C
Temperature Coefficients of P_{max}	-0.36%/°C
Temperature Coefficients of V_{oc}	-0.28%/°C
Temperature Coefficients of I_{sc}	0.05%/°C

PACKAGING

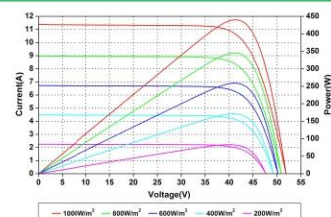
Standard packaging	27pcs/pallet
Module quantity per 20' container	135pcs
Module quantity per 40' container	594pcs

ENGINEERING DRAWINGS

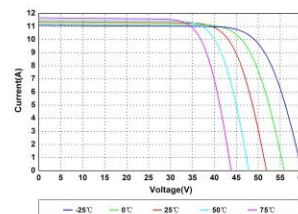


Specifications in this datasheet are subject to change without prior notice.

IV CURVES



Current-Voltage and Power-Voltage Curves at Different Irradiances



Current-Voltage Curves at Different Temperatures

Amerisolar and Amerisolar logo denoted with © are registered trademarks of Worldwide Energy and Manufacturing USA Co., Ltd.

7. Inversor Sunny Tripower 25000TL-30 15kW SMA

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

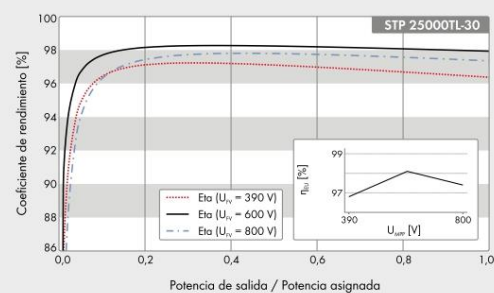
Rentable • Rendimiento máximo del 98,4 % • Aumento del rendimiento sin trabajo de montaje gracias a la gestión de sombras integrada SMA ShadeFix	Seguro • Descargador de sobretensión de CC integrable (DPS tipo II)	Flexible • Tensión de entrada de CC hasta 1000 V • Diseño de plantas perfecto gracias al concepto de multistring • Pantalla opcional	Innovador • 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.

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		
Rango de tensión de CA	180 V a 280 V		
Frecuencia de red de CA/rango	50 Hz/44 Hz a 55 Hz 60 Hz/54 Hz a 65 Hz		
Frecuencia asignada de red/tensión asignada de red	50 Hz/230 V		
Corriente máx. de salida/corriente asignada de salida	29 A/21,7 A	29 A/29 A	36,2 A/36,2 A
Factor de potencia a potencia asignada/Factor de desfase ajustable	1/0 inductivo a 0 capacitivo		
THD	≤ 3%		
Fases de inyección/conexión	3/3		
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 60068-2-4, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116, MEA 2013, NBR 16149, NEN EN 50438, NRS 0972-1, PEA 2013, PPC, RD 1699/413, RD 661/2007, Res. n°7:2013, RfG compliant, SI4777, TOR D4, TR 3.2.2, UTE C15.712-1, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, VFR 2014		
* No es válido para todas las ediciones nacionales de la norma EN 50438			
Modelo comercial	STP 15000TL-30	STP 20000TL-30	STP 25000TL-30

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"



ANEXO II. INFORMES DE C.S. NUEVO SOLAR FARM

1. Planta de 45 kW

Proyecto: Dimensionamiento partiendo de un $P_n = 45$ 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 °, Inclinación: 2 °, Tipo de montaje: Montaje libre, Potencia pico: 56,07 kWp

3 x SMA STP 1500TL-30

Batería

1 x SMA MC-Box-6.3

Baterías: Plomo

6 x SMA Sunny Island 6.0H

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

Disponible: 130,00 kWh (equivalente 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 $P_n = 45$
 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 ($\cos \varphi = 1$) 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 $\cos \varphi$:	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 °, Inclinação: 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 °, Inclinação: 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 $P_n = 45$

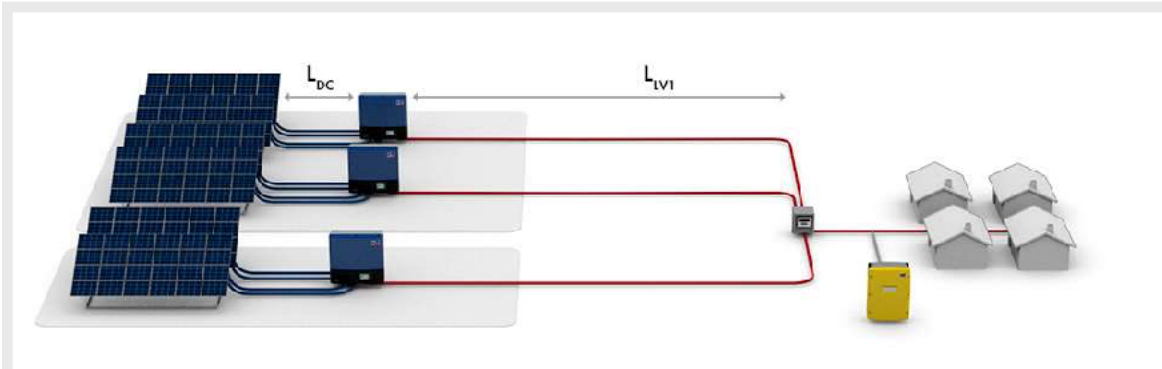
Emplazamiento: Kenia / Kitui

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.

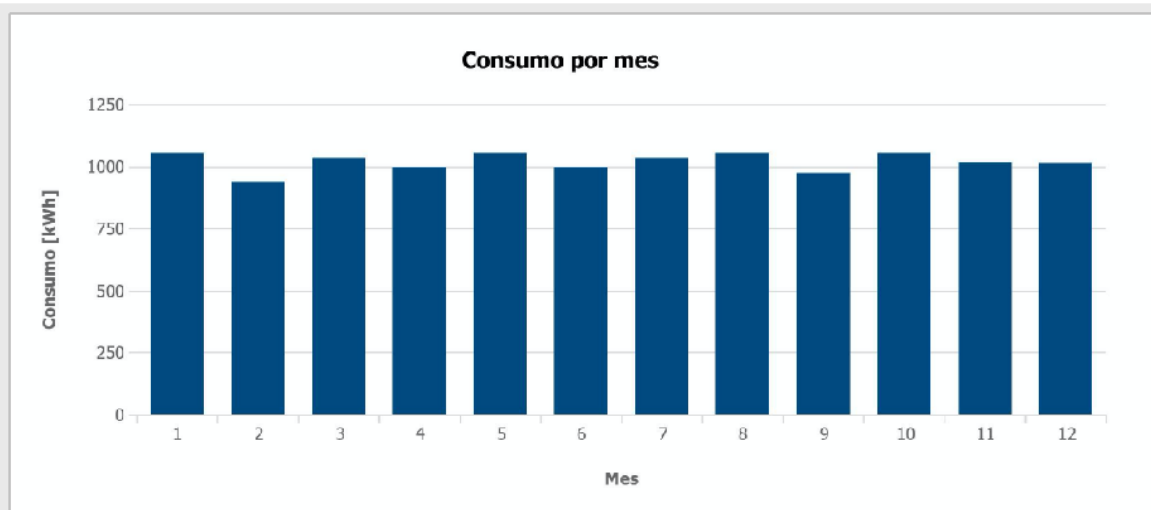
Valores mensuales

Proyecto: Dimensionamiento partiendo de una $P_n = 45$

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

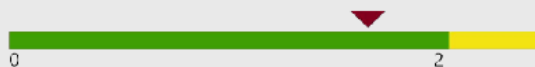
Proyecto: Dimensionamiento partiendo de una $P_n=45$
Número del proyecto:

Emplazamiento: Kenia / Kitui

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: ---

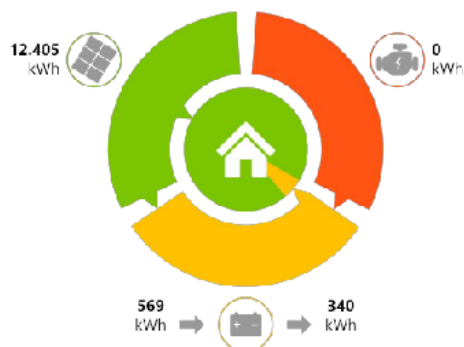
Potencia nominal de CA total del sistema:	72,6 kW
Potencia nominal de CA del inversor fotovoltaico:	45 kW
Potencia nominal de CA del sistema de baterías:	27,6 kW
Potencia nominal de CA del grupo electrógeno:	---
Exceso de potencia:	0 kW
Déficit de energía:	0 kWh
Potencia nominal de CA del inversor fotovoltaico/sistema 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 %

Capacidad de almacenamiento útil: 130 kWh (3.5 d)



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.

2. Planta de 90 kW

Proyecto: Dim partiendo PN=90
Número del proyecto: ---

Emplazamiento: Kenia / Kitui

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 (equivalente a 16667Ah con C10)

Disponible: 400,00 kWh (equivalente 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 o 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 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:	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 °, Inclinación: 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 °, Inclinación: 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.

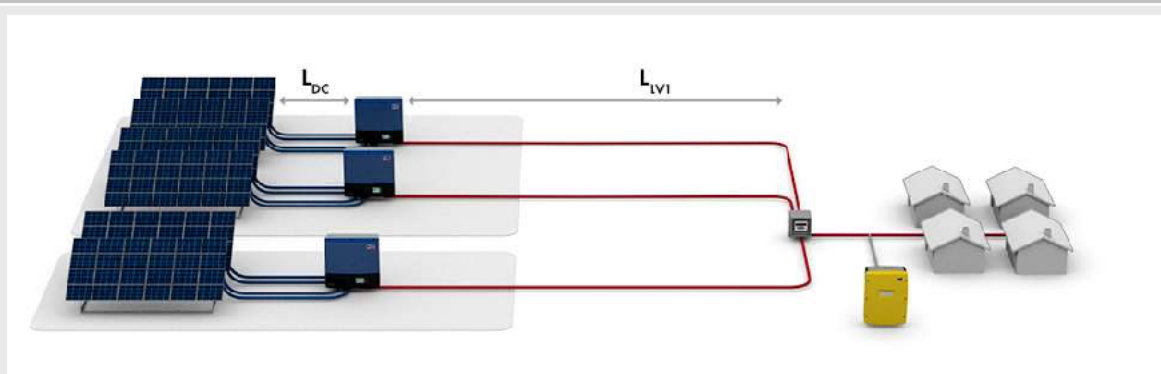
Dimensionado del cableado

Proyecto: Dim partiendo PN= 90
 Número del proyecto:

Emplazamiento: Kenia / Kitui

Vista general			
		CC	
		BT	
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 mm ²	3,8 V
		B	Cobre	10,00 m	6 mm ²	750,3 mV

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

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.

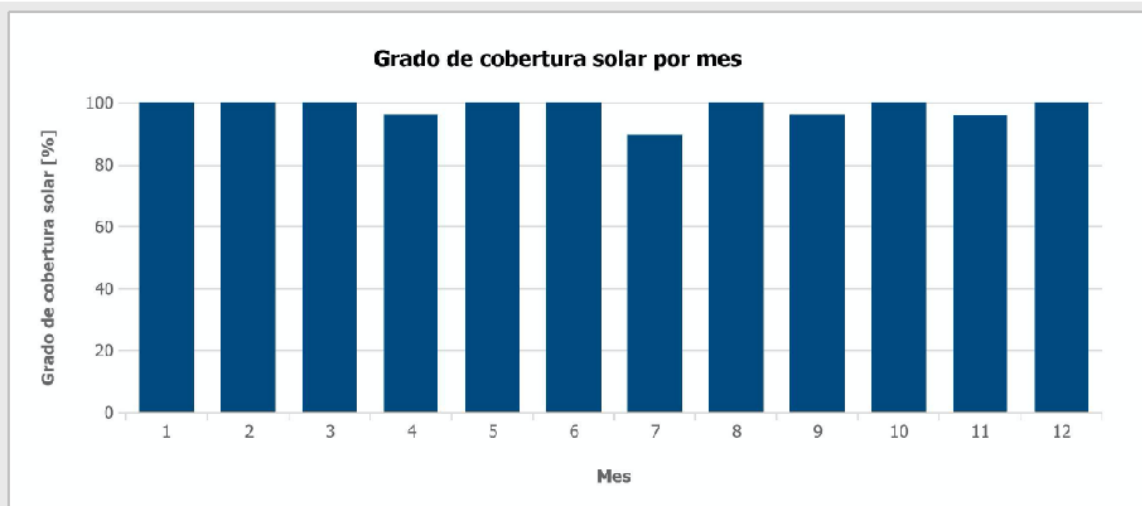
Valores mensuales

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
Número del proyecto:

Emplazamiento: Kenia / Kitui

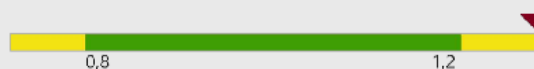
Potencia

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



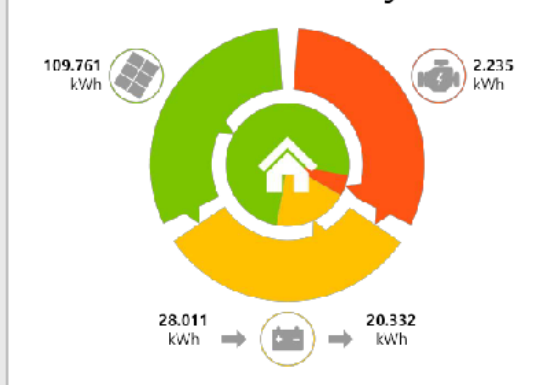
Capacidad de almacenamiento útil: 400 kWh (1,3 d)



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.