



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Proyecto de electrificación rural en Nyumbani Village
(Kitui, Kenya): planificación de la red de distribución

Autor: Joaquín Benjumedá Hektoen

Director: Miguel Ríaza Moreno

Madrid, agosto 2022

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Proyecto de electrificación rural en Nyumbani Village (Kitui, Kenya): planificación de
la red de distribución en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia
Comillas en el curso académico 2021/22 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.
El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

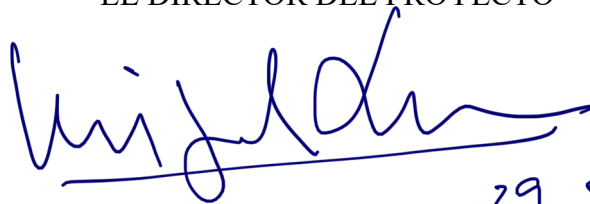


Fdo.: Joaquín Benjumeda Hektoen

Fecha: 18/ 08/ 2022

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Miguel Rianza Moreno

Fecha: 29. 8. 2022



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Proyecto de electrificación rural en Nyumbani Village
(Kitui, Kenya): planificación de la red de distribución

Autor: Joaquín Benjumeda Hektoen

Director: Miguel Rianza Moreno

Madrid, agosto 2022

Agradecimientos

A mi familia, por el apoyo y la ayuda que he recibido siempre. A mis compañeros Clara Soto, Jaime Sáenz de Tejada y Jesús López-Varela, por haber hecho de este proyecto un trabajo muy ameno y haber mostrado apoyo y compromiso a la hora de llevarlo a cabo. A Miguel Riaza, por dar su tiempo y paciencia durante todos estos meses y por involucrarme con la causa de Nyumbani. A Susana Ortiz y Miguel Riaza por habernos brindado la oportunidad de vivir una experiencia inolvidable en Kenia.

PROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN RURAL EN NYUMBANI VILLAGE (KITUI, KENYA): PLANIFICACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Autor: Benjumedá Hektoen, Joaquín.

Director: Riaza Moreno, Miguel.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas)

RESUMEN DEL PROYECTO

El proyecto que aquí consta analiza los consumos actuales y verdaderos de Nyumbani, obtenidos al realizar el trabajo de campo durante el mes de julio de 2022; estudia si la ampliación del Solar Farm junto con otros conjuntos de placas solares es capaz de satisfacer dichos consumos y calcula la red de distribución más óptima para llevar la electricidad a todos los puntos del Village.

Palabras clave: Red de Distribución, Potencia, Consumos, Cobre, Aluminio, Subterráneo.

1. Introducción

Nyumbani Village es una aldea en la que conviven dos generaciones, hay más de mil niños, huérfanos a causa del VIH, que conviven con más de 100 abuelas, que perdieron a sus respectivos hijos a causa de esta enfermedad. En un país como Kenia donde según el Banco Mundial, el 37,3% de la población rural sigue sin acceso a la electricidad hay que hacer énfasis en cumplir y conseguir los Objetivos de Desarrollo Sostenible de los que habla la ONU.

Nyumbani, acoge, cuida, educa y sana a huérfanos del VIH desde 1992, cumpliendo muchos ODS, pero contribuye especialmente con el número tres, “Salud y bienestar” y el cuatro “Educación de calidad”. Gracias a este proyecto, Nyumbani se acerca a ser un ejemplo a seguir en cuanto al ODS número 7, “Energía asequible y no contaminante”. Por ende, se realiza este proyecto con una perspectiva humana y con la finalidad de llevar la ingeniería a todos los rincones del mundo, en específico a dicha aldea de Kitui, Kenia.

2. Definición del proyecto

Este Proyecto forma parte de un conjunto de cuatro trabajos de fin de grado, divididos en: Generación, Almacenamiento, Distribución y Adaptación de equipos existentes. Cada uno de estos trabajos ha sido llevado a cabo por estudiantes de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de ICAI.

La planificación de la red de distribución es la finalidad de este proyecto, para conseguirlo hay cuatro apartados fundamentales que han conseguido obtener el resultado final. El primero, es el estudio de las potencias actuales que tiene Nyumbani, El segundo, es el análisis de la distribución actual de Nyumbani, por otra parte, se ha diseñado la distribución más óptima, y por último se ha calculado el dimensionamiento de la red.

El estudio de las potencias actuales del Village se ha llevado a cabo “in situ” durante la estancia en Kenia de los voluntarios. Medir los consumos máximos de cada instalación, ha sido imprescindible para poder dimensionar acorde con las necesidades de cada edificación, así como para poder mirar al futuro y ver como estos consumos aumentarían, y por ende, las diferentes líneas han de ser capaces de soportar estos aumentos de potencias demandadas en las diferentes cargas de la aldea. Los picos de potencia se han medido gracias a una serie de aparatos, que hemos podido utilizar, estos son el Fluke, el Emporia Vue y el Energomonitor. También se han medido las potencias manualmente, estudiando los consumos de los aparatos que disponen.

En el anterior proyecto llevado a cabo en el Village por Energías sin Fronteras, se instaló un huerto solar, el cual suministraba energía al Politécnico, a ciertas estaciones de bombeo, a la administración y a algunas edificaciones más. Sin embargo, algunas de estas conexiones fallaron, al no haber tenido en cuenta las potencias de arranque de ciertas máquinas. Además, tener consciencia de las instalaciones llevadas a cabo por dicha ONG, nos ha servido para poder estudiar las caídas de tensión que tienen las líneas en un terreno como es el de Nyumbani, y para aprovechar las conexiones realizadas.

Las bases de este proyecto son solidarias, lo que significa que toda la financiación que necesitan ha de venir donada por instituciones, gobiernos o empresas, esto supone una barrera a la hora de realizar proyectos de gran escala, como lo es la implantación de una red de distribución. Por lo tanto, se ha tenido que diseñar la conexión óptima de los diferentes nodos y la localización de un segundo Solar Farm según necesidades energéticas presentes y futuras. Esta conexión óptima se ha conseguido gracias a aplicaciones como RNM y Wikiloc, así como de la ayuda de Google Maps, que proporciona distancias cuyo valor no se aleja mucho del real, lo que permite usarlo en cálculos.

Tras obtener la red eléctrica de Nyumbani, se lleva a cabo un cálculo de líneas, la obtención de caídas de tensión, de pérdidas de potencia y del cálculo de secciones. Estos análisis son fundamentales debido a que el incorrecto dimensionamiento de la red, es decir, elegir una sección que no soporta las potencias demandadas es la principal causa de avería en las líneas. Finalmente, se ha de tener en cuenta que el sobredimensionamiento es esencial en ciertas partes del Village, debido al avance continuo y la modernización de la aldea.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

Como se comenta en la definición del proyecto, se han usado ciertas herramientas para todas las diferentes áreas de este proyecto, todos los diferentes pasos que se han seguido para conseguir un resultado óptimo han hecho uso de más de un aparato de medida o herramienta.

El estudio de los consumos ha sido posible gracias al Fluke, al Energomonitor y al Emporia Vue. Estos son aparatos de medida y de monitorización de consumos. El Emporia Vue es un aparato de medida que se instala en los cuadros eléctricos de las diferentes edificaciones, y permite ver tanto los picos de potencia consumidos como los perfiles de consumo. El Fluke es una pinza amperimétrica que utiliza un filtro paso bajo

integrado para mediciones precisas de señales no lineales, permitiendo la medición tanto de intensidades como de tensiones, permitiendo por ende la obtención de potencias. El energomonitor es un aparato que se instala en el panel de control de las edificaciones y retransmite de manera inalámbrica los datos cada seis segundos.

El programa RNM “Reference Network Model” ha sido desarrollado a través de un código en C++ por el Instituto de Investigación Tecnológica de Comillas “IIT”. Este programa, suministrándole las potencias consumidas y generadas en las diferentes coordenadas genera una red de distribución eléctrica de referencia, calculando la conexión más óptima considerando unos precios orientativos, las potencias y las distancias introducidas entre las diferentes cargas. El resultado de RNM es la base sobre la cual se ha trabajado con la aplicación de Wikiloc, gracias a la cual el Village a sido recorriendo para así encontrar el camino real más óptimo por el que puede ir la línea. Wikiloc calcula distancias exactas así como desniveles.

El libro de Instalaciones eléctricas en media y baja tensión, de José García Trasancos, proporciona la teoría necesaria para todo el calculo de secciones y de caída de tensión que han permitido desarrollar el dimensionamiento del proyecto, asegurando esta vez que las bombas sean capaces de arrancar y que las líneas puedan soportar unos consumos futuros que se estima que tendrá Nyumbani.

4. Resultados

El correcto dimensionamiento de una “mini-grid”, se consigue proporcionando unos consumos reales. Las demandas de cada edificación para este proyecto se han obtenido gracias a mediciones con aparatos de medida y mediciones manuales, lo que ha derivado en un perfil de consumos y en unos consumos máximos muy precisos. Los consumos de Nyumbani se pueden observar a continuación.

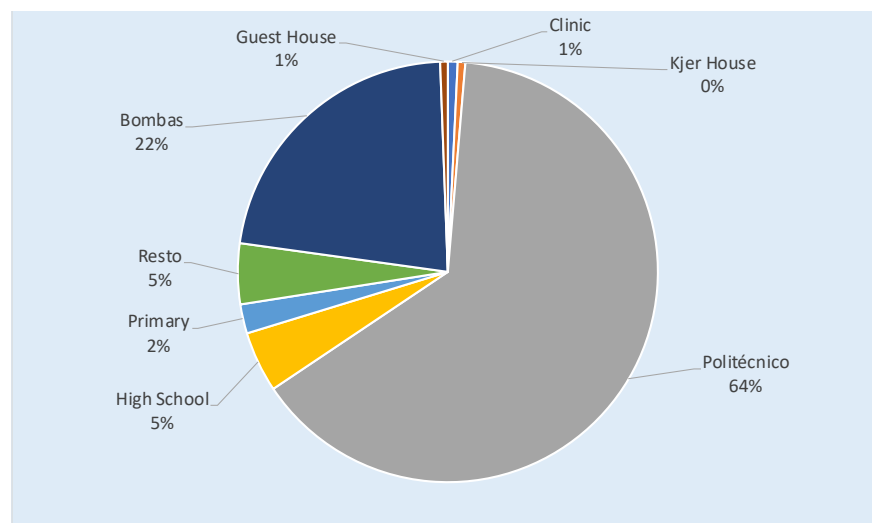


Figura I: Potencias máximas de Nyumbani

Clinic	Kjer House	Politécnico	High School	Primary	Resto	Bombas	Guest House	Unidades
0,508	0,395	43,38	3,15	1,515	3,1475	15	0,395	(kW)
0,8%	0,6%	64,3%	4,7%	2,2%	4,7%	22,2%	0,6%	

Figura II: Valores de los consumos máximos de Nyumbani

Una vez obtenidas las potencias, ejecutado el programa RNM, y calculada la red de distribución más óptima por la que debe circular las intensidades, se ha llegado a la siguiente distribución de energía , siendo, las líneas verdes Al 240, las azul marino Cu 35, las rojas Cu 6 y las azul claro Cu 10.



Figura III: Red de distribución de energía eléctrica de Nyumbani

5. Conclusiones

Tras el estudio de las diferentes maneras de distribuir la energía, se ha optado por el conexionado que se muestra en la “Figura III”, este conexionado es subterráneo y esta compuesto tanto por líneas de aluminio como de cobre, decisión tomada tras el estudio del coste y las pérdidas de cada material. Este conexionado proporciona a Nyumbani la capacidad de satisfacer todas las demandas con la ampliación del Solar Farm y de distribuir dicha energía sin tener cortes de suministro por caídas de tensión demasiado altas.

RURAL ELECTRIFICATION PROJECT IN NYUMBANI VILLAGE (KITUI, KENIA): ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORK PLANNING

Author: Benjumeda Hektoen, Joaquín.

Supervisor: Riaza Moreno, Miguel.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas)

ABSTRACT

The present project: analyses the actual and actual consumption of Nyumbani, obtained from the field work during the month of July 2022; studies whether the extension of the Solar Farm together with other arrays of solar panels is able to satisfy these consumptions and calculates the most optimal distribution network to bring electricity to all the locations in the Village.

Keywords: Distribution Network, Power, Consumption, Copper, Aluminum, Underground.

1. Introduction

Nyumbani is a village where two generations live together. There are more than a thousand children, orphaned by HIV, who live with more than 100 grandmothers, who lost their respective children to this disease. In a country like Kenya where, according to the World Bank, 37.3% of the rural population still has no access to electricity, emphasis must be placed on meeting and achieving the Sustainable Development Goals of which the UN speaks.

Nyumbani has been nurturing, educating and treating HIV orphans since 1992. the NGO who fosters the kids from Nyumbani has achieved many SDGs, but especially number three, "Good Health and wellbeing" and number four, "Quality education". Thanks to this project, Nyumbani is getting closer to being an example regarding SDG 7, "Affordable and clean energy". Therefore, this project is carried out with a human perspective and with the aim of bringing engineering to all corners of the world, specifically to this village in Kitui, Kenya.

2. Project Description

This project is part of a set of four final degree projects, divided into: Generation, Storage, Distribution and Adaptation of existing equipment. Each of these projects has been carried out by students from ICAI's School of Engineering.

The planning of the distribution network is the aim of this project, and to achieve this there are four fundamental areas which have led to the final result. The first one is the study of Nyumbani's current powers, the second one is the analysis of Nyumbani's current distribution, the third one is the design of the most optimal distribution network and the last one is the calculation of the system's sizing.

The study of the current power consumption in the Village was carried out on site during the volunteers' stay in Kenya. Measuring the maximum consumption of each installation has been essential for designing the network according to the needs of each building, as well as being able to look to the future and seeing how this consumption will increase. Therefore, the different lines have to be able to support these increases in power demanded by the different loads in the village. The power peaks have been measured thanks to a series of devices that we have been able to use, these are the Fluke, the Emporia Vue and the Energomonitor. The power has also been calculated manually by studying the consumption of the devices on each building.

The previous project carried out in the Village by Energias sin Fronteras was the installation of a solar farm, which supplied energy to the Polytechnic, some pumping stations, the administration and some other buildings. However, some of these connections failed, as the starting power of certain machines was not taken into account. In addition, being aware of the installations carried out by this NGO has helped us study the voltage drops of the lines in Nyumbani, and to take into account the connections installed.

The foundations of this project is based on solidarity, which means all the funding they need has to be donated by institutions, governments or companies, meaning that it is a barrier when it comes to carrying out large-scale projects, such as the implementation of a distribution network. Therefore, it has been necessary to design the optimal connection of the different nodes and the location of a second Solar Farm according to present and future energy needs. This optimal connection has been achieved thanks to applications such as RNM and Wikiloc, as well as the help of Google Maps, which provides distances whose value is not very far from the real one, allowing it to be used in calculations.

After obtaining Nyumbani's electrical network, a calculation of lines, voltage drops, power losses and section needed is carried out. These analyses are fundamental because the incorrect dimensioning of the network, i.e. choosing a section that does not support the power demanded, is the main cause of line failures. Finally, it has to be taken into account that over-sizing is essential in certain parts of the Village, due to the continuous progress and modernization.

3. Description of the model/system/tool

As mentioned in the project description, certain tools have been used for all the different areas of this project. All the different steps that have been followed to achieve an optimal outcome have made use of more than one measuring device or tool.

The consumption study has been possible thanks to the Fluke, the Energomonitor and the Emporia Vue. These measures and monitors consumptions. The Emporia Vue is a measuring device that is installed in the electric switchboards of buildings and makes it possible to see both the power peaks consumed and the consumption profiles. The Fluke is an amperemeter clamp that uses an integrated low-pass filter for accurate measurements of non-linear signals, allowing the measurement of both currents and voltages, thus allowing to obtain power. The energomonitor is a device that is installed in the building control panel and wirelessly relays data every six seconds.

The RNM "Reference Network Model" program has been developed through a C++ code by the "Instituto de Investigación Tecnológica de Comillas" (IIT). This program, providing the powers consumed and generated in the different coordinates, generates a reference electrical distribution network, calculating the most optimal connection considering approximate prices, the powers and the distances introduced between the different loads. The result of RNM is the basis on which Wikiloc application has been worked on, thanks to which the Village has been navigated in order to find the most optimal real path along which the line can go. Wikiloc calculates exact distances as well as elevation differences.

The book "Instalaciones eléctricas en media y baja tensión", written by José García Trasancos, provides the necessary theory for all the calculations of sections and voltage drops that have allowed the project sizing to be developed. Ensuring the pumps are able to start up and the lines can withstand the estimated future consumption that Nyumbani is expected to have.

4. Results

The correct dimensioning of the mini grid is achieved by providing real consumption. The demands of each building for this project have been obtained thanks to measurements and handmade calculations, which have resulted in a consumption profile and a very precise maximum consumption. The consumptions of Nyumbani can be seen below.

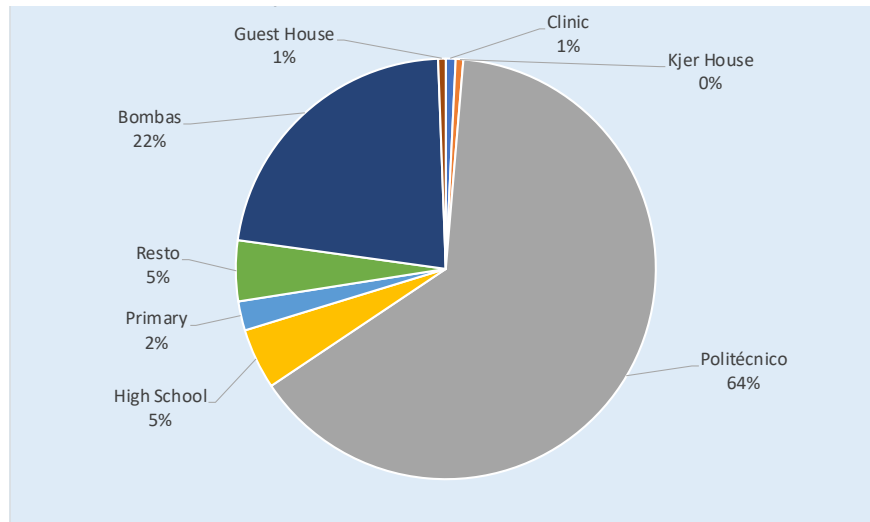


Figure I: Nyumbani's maximum consumptions

Clinic	Kjer House	Politécnico	High School	Primary	Resto	Bombas	Guest House	Unidades
0,508	0,395	43,38	3,15	1,515	3,1475	15	0,395	(kW)
0,8%	0,6%	64,3%	4,7%	2,2%	4,7%	22,2%	0,6%	

Figure II: Power peak consumption values for Nyumbani

Once the power demands have been obtained, the RNM programme has been run, and the most optimal distribution network has been calculated, the results is shown in the

following map. Where the green lines are Al 240, the navy-blue lines are Cu 35, the red lines are Cu 6, and the light blue lines are Cu 10.



Figure III: Nyumbani's electricity distribution network

5. Conclusions

After studying the different ways of distributing the energy, we have chosen the connection shown in "Figure III", this connection is underground and is made up of both aluminum and copper lines, a decision taken after studying the cost and losses of each material. This connection system provides Nyumbani with the capacity to meet all the demands with the extension of the Solar Farm and to distribute this energy without having power cuts due to voltage drops that are too high.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	8
1.1 Motivación	8
1.2 Objetivos del proyecto	11
1.3 Metodología & Herramientas de Trabajo	14
1.4 Trabajo “in situ”	15
Capítulo 2. Investigación Contextual	17
2.1 Antecedentes	17
2.1.1 Kenia	17
2.1.2 Pandemia del VIH	19
2.2 Comparativa eléctrica entre Kenia y España	21
2.2.1 Kenia y España, comparativa a nivel de generación	21
2.2.2 Kenia y España, comparativa a nivel de distribución	23
2.2.3 Kenia y España, comparativa a nivel de consumo	25
Capítulo 3. Estado de la cuestión	28
3.1 Nyumbani	28
3.1.1 Nyumbani Kenia	28
3.1.2 Amigos de Nyumbani	30
3.2 Objetivos de desarrollo sostenible	31
3.2.1 ODS que cumple el Proyecto	32
3.3 Energías sin fronteras	34
3.3.1 Generación actual	35
3.3.2 Almacenamiento actual	36
3.3.3 Distribución actual	37
3.4 Potencias actuales	45
3.4.1 Emporia – the Gen 2 Vue Energy Monitor	46
3.4.2 Fluke 376 FC	49
3.4.3 Energomonitor Powersense	55
3.4.4 Consumos medidos manualmente	56
3.4.5 Consumo Futuro Live Stock	60
3.4.6 Consumos totales	61

Capítulo 4. Teoría.....	63
4.1.1 Sistema fotovoltaico aislado.....	63
4.1.2 Red de distribución.....	64
4.1.3 Transporte en AC o DC.....	65
4.1.4 BT, MT y AT.....	66
4.1.5 Generación distribuida o concentrada	67
4.1.6 Cobre Vs Aluminio	70
4.1.7 Aéreo Vs Subterráneo.....	74
4.1.8 Barra de distribución de cobre – conectores	77
4.1.9 Calculo de líneas eléctricas	80
4.1.10 Secciones normalizadas de cobre y aluminio	81
Capítulo 5. Método.....	82
5.1 Objetivos y especificación	82
5.2 Datos	82
5.3 Generación :	85
5.3.1 Ampliación del Solar Farm.....	86
5.3.2 Segundo Solar Farm.....	88
5.4 Distribución:.....	90
5.4.1 RNM	90
5.4.2 Wikiloc.....	97
5.4.3 Red.....	101
5.5 Dimensionamiento	104
5.5.1 Calculo de caída de tensión hasta el punto más lejano del resultado de RNM.....	104
5.5.2 Perdidas y caídas de tensión en Bombas	106
5.5.3 Estudio del doble anillo de distribución	110
5.5.4 Calculo de Ramales de cobre.....	117
Capítulo 6. Análisis de Resultados	138
6.1 Coste de la línea	138
6.1.1 Anillos de distribución	138
6.1.2 líneas de Cobre.....	139
6.1.3 Línea a elegir en las Estaciones de Bombeo.....	141
6.2 Cableado elegido y precios	143

6.3 Gasto en zanjas.....	144
6.4 Ahorro en gasolina en las estaciones de bombeo.....	145
Capítulo 7. Análisis de los resultados.....	146
Capítulo 8. Conclusiones y Trabajos Futuros.....	148
Capítulo 9. Bibliografía.....	149
ANEXO I 155	
1. Fichero técnico Emporia Vue (EMCT-V2):	155
2. Fichero de resultados de RNM.....	156
3. Características de la bomba de Tana Athy Pump.....	160
4. Características del motor que alimenta la bomba del Government Pump	162
5. Características del Energomonitor Powersense	163
6. Ficha técnica del Fluke 376 FC.....	165

Índice de figuras

Figura 1. Niños y compañeros voluntarios de Nyumbani.....	9
Figura 2. Mapa de Nyumbani.....	10
Figura 3: Instalación de Placas Solares del Kjer House.....	12
Figura 4: Niños del colegio de Nyumbani	16
Figura 5: Figura nocturna del globo terráqueo.....	18
Figura 6: Niños de 0 - 14 que viven con VIH. Fuente: Banco Mundial	19
Figura 7: Cobertura del tratamiento antirretroviral (% de las personas que viven con el VIH) en Kenia. Fuente: Banco mundial / ONUSIDA	21
<i>Figura 8: Producción de electricidad a partir de fuentes renovables, excluida la hidroeléctrica en % del total. Fuente Banco Mundial</i>	<i>22</i>
<i>Figura 9: reparto de generación de energía eléctrica en 2020 en Kenia. Fuente ICEX....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 10: Acceso a la electricidad (% de población). Fuente: Banco Mundial</i>	<i>24</i>
<i>Figura 11: Consumo de electricidad en España. Fuente: Expansión</i>	<i>26</i>
<i>Figura 12: Consumo de electricidad en Kenia. Fuente: Expansión</i>	<i>27</i>
Figura 13: puntos de Generación de energía solar en Nyumbani	36
Figura 14: Baterías y características de cada edificio	37
Figura 15: Distribución del Solar Farm.....	38
Figura 16: Características de las conexiones del Solar Farm y derivados	39
Figura 17: Distribución del Primary.....	40
Figura 18: Características de las conexiones del Primary.....	41
Figura 19: Distribución del High School	41
Figura 20: Características de las conexiones del High School.....	42
Figura 21: Distribución del bombeo al Pozo.....	43
Figura 22: Características de la conexión entre uno de los pozos y el generador que alimenta la bomba	44
Figura 23: Características del Government Pump antigua.....	44
Figura 24: Perfil de consumo de la Clínica el 15-07.....	48
Figura 25: Potencia máxima demandada cada día medido en la Clínica	48

Figura 26: Perfil de consumo Kjer House el 13-07	49
Figura 27: Consumo máximo de “Ordenadores”	52
Figura 28: Consumo máximo de “Carpintería”	53
Figura 29: Perfil de consumo máximo de “Metalurgia”	53
Figura 30: Perfil de consumo máximo de “Welding”	54
Figura 31: Consumos máximos según Ciclo formativo	54
Figura 32: Perfil de consumo del High School	56
Figura 33: Tabla de consumos del Primary	57
Figura 34: Tabla de Consumos del "Resto"	58
Figura 35: Proporción de Consumos por Grupos	59
Figura 36: Tabla de potencias de las bombas	59
Figura 37: Consumo Futuro Live Stock	61
Figura 38: Potencias máximas de Nyumbani	62
Figura 39: Tabla de consumos máximos de Nyumbani	62
Figura 40: Sistema Fotovoltaico asilado de Nyumbani. Fuente: (Soto, 2022)	64
Figura 41: Puntos de Generación de Nyumbani	69
Figura 42: Características entre el Cobre y el Aluminio	71
Figura 43: Comparativa entre Cobre y Aluminio. Fuente: (Alvarado, 2017)	72
Figura 44: Conductividad de Materiales. Fuente: (Recio, 2022)	74
Figura 45: Características de redes aéreas y subterráneas	76
Figura 46: Conector bimetálico de ojo	79
Figura 47: Conector bimetálico de pala	79
Figura 48: Conector bimetálico de pin	79
Figura 49: Secciones Normalizadas	81
Figura 50: Potencias Demandadas	83
Figura 51: Puntos de Generación	84
Figura 52: Puntos de Generación	85
Figura 53: Vista Aérea del Solar Farm	86
Figura 54: Equipo de voluntarios, y Benson Wasua, en el Solar Farm	88
Figura 55: Segundo punto de Generación delimitado por las líneas azules	89

Figura 56: datos a introducir en RNM	91
Figura 57: Código introducido en RNM	92
Figura 58: Visualización de QGIS-LRT de las conexiones.	93
Figura 59: Iteración del RNM con dos anillos cerrados.....	95
Figura 60: Tabla Resultados RNM I	95
Figura 61: Tabla resultados RNM II	96
Figura 62: Distancias entre puntos en Pixeles.....	97
Figura 63: Circuito de Nyumbani.....	99
Figura 64: Circuito de Nyumbani.2.....	100
Figura 65: mapa farolas Nyumbani	102
Figura 66: Distancia Solar – Staff.....	104
Figura 67: Localización de las estaciones de bombeo,	106
Figura 68: Características Generador Booster	107
Figura 69: Medidas en el Booster	108
Figura 70: Medidas en el Tower Pump	108
Figura 71: Calculo de caída de tensión.	109
Figura 72: Calculo de caída de tensión.	110
Figura 73: Tabla 1º de calculo de secciones para el anillo de distribución.....	112
Figura 74: Tabla 2º de calculo de secciones para el anillo de distribución.....	113
Figura 75: Caídas de tensión según longitud y potencia para una sección de Aluminio 240	115
Figura 76: Calculo de la caída de Tensión en función de la corriente de arranque	116
Figura 77: Caídas de tensión con Aluminio 240	117
Figura 78: Caída de tensión a Corriente de la bomba estable, con Aluminio 240	117
Figura 79: Datos de las bombas a usar en el calculo de las líneas	118
Figura 80: ramal de cobre al High School.....	119
Figura 81: camino elegido para la línea de conexión del Booster	120
Figura 82: Conexión del Government al anillo de distribución	124
Figura 83: Conexión del Government a través del Booster	126
Figura 84: Secciones según las diferentes puestas en marcha de las bombas.....	127

Figura 85: Conexión Live Stock	129
Figura 86: Cocina del Cluster 23.....	130
Figura 87: Red eléctrica de Nyumbani.....	131
Figura 88: distribución de cobre I	132
Figura 89: Longitud y potencia de cada carga	132
Figura 90: Distribución de cobre II.....	133
Figura 91: Datos para el calculo de Intensidad en modulo y real	134
Figura 92: Longitudes entre cargas	134
Figura 93: Circuito y demandas de Intensidad.....	135
Figura 94: Distribución de Cobre III.....	136
Figura 95: Longitudes y potencias de cada carga	136
Figura 96: Cable a usar para la instalación de Al 240.....	139
Figura 97: Calculo del Precio del anillo de Al 240	139
Figura 98: Características de las líneas de los ramales de cobre.....	139
Figura 99: Cable a usar para la instalación de Cu 6	140
Figura 100: Cable a usar para la instalación de Cu 10	140
Figura 101: Calculo del Precio de los ramales de cobre	141
Figura 102: Características de las líneas de las bombas.....	141
Figura 103: Cable a usar para la instalación de Cu 35	142
Figura 104: Cable a usar para la instalación de Cu 70	142
Figura 105: Calculo del Precio de las líneas de Cobre en las bombas	143
Figura 106: Características de todas las líneas a instalar	143
Figura 107: Curva de tiempo necesario para realizar la instalación eléctrica según personas contratadas.....	144
Figura 108: Material y Sección del cable.....	146
Figura 109: Red eléctrica a instalar en Nyumbani	146

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

En este primer apartado se van a explicar las bases del proyecto así como la motivación que hemos tenido a la hora de avanzar y hacer este proyecto, los objetivos del mismo, la metodología y las herramientas que se han usado y la importancia del trabajo de campo realizado

1.1 MOTIVACIÓN

Habitamos un planeta en el que según El Economista, el 85% de la población mundial vive con menos de 30 dólares al día, este porcentaje traído a la realidad significa que hay 6.590 millones de personas que viven con esa cantidad de dinero, lo equivalente a la población de veinte Estados Unidos. Además, uno de cada diez personas vive en extrema pobreza, con menos de 1,9 dólares al día.

Las personas o siendo más precisos los ingenieros, debemos de tener cierta responsabilidad de intentar ayudar a esa gente que vive en condiciones de pobreza para ayudarles a cubrir sus necesidades básicas, que muchas veces se pueden cubrir realizando proyectos de ingeniería, como puede ser por ejemplo, construir pozos o llevar a cabo proyectos de electrificación.

Por eso personalmente este proyecto tiene dos motivaciones diferentes: la primera motivación y la más importante es dotar a Nyumbani, una aldea rural de Kenia, con energía para poder mejorar sus condiciones de habitabilidad y de trabajo. Poder llevarle luz a los hogares, luz al colegio y a la clínica que tiene la aldea, es el propósito de este proyecto y lo que nos motiva y es lo que ha sido nuestra gasolina durante todo el tiempo que hemos estado realizando el trabajo.

De tal manera, al realizar este trabajo estamos dándole a esos niños que se han quedado huérfanos por el VIH una vida más digna. No se nos puede olvidar que Nyumbani ayuda a estos niños dándoles medicación contra sus enfermedades, comida y ocupándose de que tengan una casa y una nueva familia. Antes de encontrar Nyumbani la mayoría de estos niños no tenían ninguna de estas tres necesidades básicas cubiertas.



Figura 1. Niños y compañeros voluntarios de Nyumbani

El segundo motor que me ha llevado a trabajar en este proyecto es una motivación personal. Tras cuatro años estudiando el doble grado de ingeniería de las tecnologías industriales y administración y dirección de empresa, realizar un trabajo de fin de grado humanitario es una oportunidad de poner en practica todo lo aprendido en las diferentes aulas de ICAI, a la par que ayudar a aquellos que lo necesitan.

Por ende, realizando este trabajo de fin de grado estoy utilizando no solo los conocimientos aprendidos en la carrera sino también los valores aprendidos durante mi vida, combinándolos para crear un trabajo que se implementara, ayudando a los más de mil niños que hemos tenido la oportunidad de conocer durante nuestra estancia en Nyumbani Village.

Poder planificar la red de distribución de energía eléctrica de Nyumbani no solo me va a ayudar a crecer como ingeniero, adentrándome en campos de estudio como la optimización de redes de conexión y de sistemas de energía eléctrica, sino también a crecer como humano, poniendo mi tiempo y dedicación a la disposición de otros.

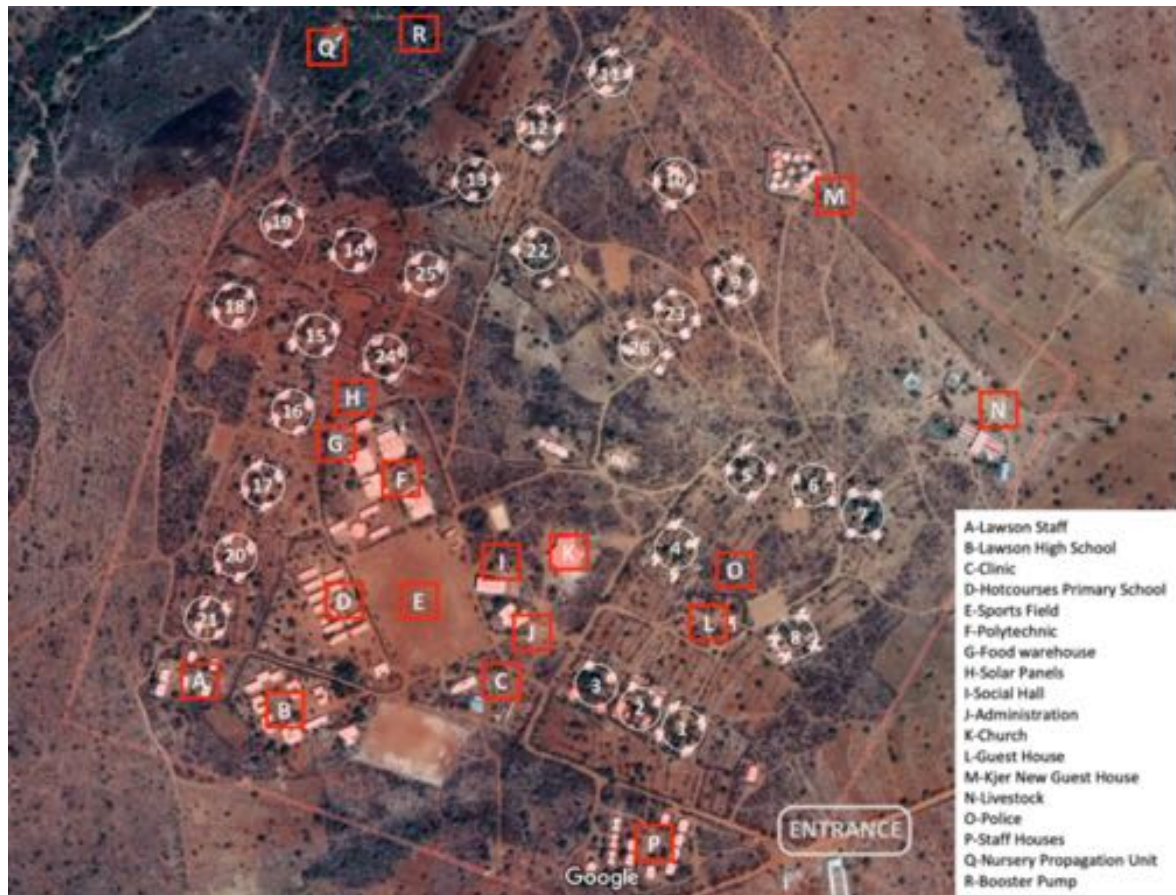


Figura 2. Mapa de Nyumbani

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Como comentaremos más adelante, energía sin fronteras de la mano con Amigos de Nyumbani han llevado a cabo dos proyectos de electrificación en Nyumbani Village, “Luz en los Hogares”, que se centró en poner unas instalaciones aisladas en cada Cluster para que hubiese luz en las casas y el “Solar Farm”, en el cual se instalaron 44kWp de paneles solares para dar luz a ciertas instalaciones, como el CVTC, la administración y todo el Politécnico.

Por lo tanto este proyecto es muy amplio, y consta de cuatro partes: generación, almacenamiento, distribución y adaptación de equipos existentes. Este proyecto, es el de Distribución, pero no hemos de olvidarnos que esta entrelazado con los otros tres, de tal manera que juntos tienen una sinergia completa para hacer frente a todas las cuestiones energéticas que puede tener Nyumbani, desde la generación a través de paneles solares, pasando por el uso de los equipos que ya tienen en el Village, hasta asegurarnos que puedan tener mayores consumos en un futuro, sobredimensionando ciertas partes de la aldea conforme a sus necesidades futuras.

Procedemos a comentar los objetivos que mis compañeros y yo tenemos para este proyecto, adentrándonos más en los objetivos de la distribución, que es este proyecto específico.



Figura 3: Instalación de Placas Solares del Kjer House

Generación:

- Estudio de la generación que se obtiene en el Solar Farm a través de software Sunny Portal.
- “Estudio de la producción de energía de un sistema solar de una instalación en Kitui con el software PVGIS” (Soto, 2022), para hacer frente a la demanda de Nyumbani

Almacenamiento

- Estudio de las curvas de producción y de demanda de Nyumbani por edificaciones.

- Estudio de la capacidad y el estado de las baterías instaladas, para poder hacer frente a los consumos actuales.
- Estudio de las baterías necesarias según capacidad y Amperios – hora, para hacer frente a los consumos futuros de Nyumbani.

Distribución – este proyecto.

- Estudio de las instalaciones ya conectadas en Nyumbani, así como el tipo de cable que las conecta y las pérdidas que hay por las líneas existentes.
- Medir y calcular según las edificaciones las potencias pico demandadas por instalación, para poder construir una red de distribución que soporte los picos calculados y minimice las pérdidas que puede haber en la línea.
- Estudio de las estaciones de bombeo, estas tienen una intensidad de arranque elevada, que no se tuvo en cuenta en las anteriores instalaciones y por ende no arrancaban, se pretende dimensionar el cableado según dicha intensidad de arranque.
- Encontrar la óptima red de distribución de Nyumbani, minimizando los costes del cableado y aprovechando las instalaciones ya existentes para conectarlas a dicha red y poder aprovechar la instalación ya montada y la generación de dichos paneles.
- Estudio de los materiales a usar en la instalación, para tener en cuenta no solo una conexión óptima sino económica.

Adaptación de equipos existentes

- Ver la capacidad de las instalaciones actuales de Nyumbani y estudiar su posible conexión a la red a implementar.
- Estudiar el estado de paneles y baterías instalados, así como su posible reutilización.

1.3 METODOLOGÍA & HERRAMIENTAS DE TRABAJO

El proyecto de electrificación de Nyumbani se comenzó a labrar en noviembre de 2021, y se acabo en agosto de 2022. Durante estos meses se ha trabajado con diferentes herramientas para poder hacer frente a todas las cuestiones que nos han surgido por el camino. Se puede diferenciar en dos etapas tanto la metodología de trabajo como las herramientas usadas según el periodo de trabajo, el periodo de noviembre a junio y el de Julio.

La etapa de noviembre hasta junio ha sido la puesta en escena del proyecto, estudiando a través de RNM las conexiones posibles que puede tener Nyumbani centrándonos exclusivamente en el conexionado más optimo, es decir, la conexión de Nyumbani que tiene menos kilómetros de línea. También se ha estudiado la localización del posible segundo Solar Farm, según las perdidas de la línea y la localización de las edificaciones o instalaciones que más consumen.

Durante esta primera etapa, también hemos sido capaces de adentrarnos en toda la teoría, los antecedentes y las diferencias entre Kenia y España a nivel eléctrico, para así poder profundizar en el estudio del dimensionamiento y el calculo de las líneas, tanto de las secciones necesarias y de las caídas de tensión, que hemos podido abordar gracias a Matlab y a Google Earth. Estos dos programas nos han servido para obtener las distancias entre los puntos con bastante definición, y así poder hacer unos cálculos más exactos.

La etapa de julio fue cuando tuvimos la posibilidad de ir a Kenia a realizar el trabajo de campo. Durante ese mes hemos sido capaces de medir con ciertos aparatos como el Emporia Vue 2, el Fluke 376 FC y el Energomonitor las potencias consumidas máximas, los perfiles de consumo y los picos de consumo de las diferentes edificaciones, para así poder dimensionar la red según los consumos máximos y evitar que la línea se sobrecargue.

Además, también hemos podido recopilar medidas más exactas sobre el terreno, como las distancias que debe recorrer nuestra red, la potencias nominales e intensidades de arranque de las bombas, la localización exacta de estas y el camino más optimo a seguir teniendo en cuenta la topografía y la flora del terreno y estudiar la red según una futura ampliación, según

los planes de los habitantes del Village y la distancia entre posibles localizaciones de granjas solares, dándonos la ventaja de haber podido definir la red posible para una futura ampliación.

1.4 TRABAJO “IN SITU”

Como hemos comentado en la Motivación, ayudar a una comunidad en la que viven más de mil niños huérfanos a causa del SIDA, es una experiencia increíble, además de poder convivir con ellos, como hemos comentado en la “Metodología y Herramientas de trabajo” nos ha ayudado también para avanzar y realizar un trabajo de campo necesario para el proyecto, que es lo que ha marcado la diferencia entre un Proyecto a papel y un Proyecto real.

Haber vivido en Nyumbani Village conociendo la aldea, sus necesidades y su modo de vivir no es una experiencia que tiene cualquiera, ha sido increíble tanto a nivel profesional como a nivel personal.

A nivel profesional hemos tenido la oportunidad de poder realizar mediciones reales, de ver los consumos y enterarnos de las necesidades de todos y cada una de las edificaciones, para así poder realizar no solo un proyecto en papel, sino un trabajo de campo que va a permitir usar estos datos y estas conclusiones a las que llegamos, dándole al proyecto la realidad que todo estudiante desea que obtenga su TFG.

A nivel personal hemos podido pasar tiempo con los niños de la aldea, ver la sonrisa sincera de todos esos niños cuando les saludas, estar con ellos en el colegio enseñándoles y aprendiendo de ellos, y jugar con ellos a todas horas, escuchando constantemente esa risa tan eterna que sigue sonando en España con nosotros. Ha sido una experiencia muy enriquecedora, cercana y real.



Figura 4: Niños del colegio de Nyumbani

Realizar el trabajo “in situ” nos ha dado la posibilidad de aprender más sobre la profesión que llevamos formándonos cuatro años, lo bonita que es cuando se ejerce y el bien que se puede hacer con ella cuando se proyecta en un fin solidario. También nos ha enseñado a comportarnos con los pies en la tierra, a agradecer lo que tenemos, y a trabajar no solo por uno mismo, sino por el resto de las personas a las que puedes ayudar, porque grano a grano, se lleno el desierto de arena.

Capítulo 2. INVESTIGACIÓN CONTEXTUAL

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 KENIA

Kenia es un país con 54,9 millones de habitantes, un país muy rico en biodiversidad, fauna y flora, que hace frontera con 5 países, y tiene 2 lenguas oficiales, el swahili y el inglés. En dicho país viven más de 42 etnias diferentes. Hay dos grandes campos que debemos de abarcar para poder entender bien el proyecto, uno es la electrificación de Kenia y el otro es la salud de sus conciudadanos.

El país destino de todo el mundo para disfrutar de su naturaleza, es no solo más extenso que España, sino que también tiene más población. Como se puede ver en la Figura que adjuntamos, es un país en el que hay aproximadamente 15 millones de personas que no tienen acceso a la electricidad, y los que tienen acceso, no suelen poder hacer uso de dicho bien cuando lo necesitan, sino que tienen que usarlo como un bien preciado, sin gastar más de lo debido, debido a su alto coste. Este uso se puede apreciar cuando estudiamos el consumo eléctrico per cápita, en el que nos adentramos en profundidad en el siguiente capítulo.



Figura 5: Figura nocturna del globo terráqueo

Gracias a la globalización y a la sensibilización del resto de naciones, los países subdesarrollados están alcanzando niveles cada vez más altos de electrificación, estando por ejemplo, las zonas rurales de Kenia electrificadas al 62,7%. A medida que se ha ido electrificando el país, al vivir la mayor parte de la población en zonas rurales, se han ido instalando muchas instalaciones en Isla, que no están conectadas a la red y que forman su propia minigríd.

Según el ICEX, la mayor parte de la energía que produce Kenia procede de fuentes renovables, estas son: la geotérmica y la hidráulica. En el país ecuatorial se han centrado en obtener su energía de una manera limpia, de tal forma que a día de hoy el 92% de su energía proviene de fuentes renovables (ICEX Kenia, s. f.) mientras que en España, esta cifra puede llegar al 50% según el mes del año y el consumo per cápita.

Debido al alto coste del combustible fósil, a la aldea de Nyumbani le favorece el estudio y la implantación de un huerto solar, a través del cual pueda generar la energía necesaria para los consumos de toda la aldea sin tener que hacer uso de combustibles fósiles a la vez que velan por preservar la naturaleza y reducir sus emisiones de CO₂.

2.1.2 PANDEMIA DEL VIH

En cuanto a salud, Kenia no ha sido un país con las mayores suertes. La falta de agua potable, de alimento, y la pandemia del VIH han provocado que Kenia durante muchos años haya estado en el punto de mira internacional en cuanto a la salud de sus conciudadanos.

En 2004 se llegó a alcanzar casi el cuarto de millón de niños de menos de 14 años infectados por VIH. En aquel año, según Expansión, el 44,21% de la población tenía entre 0 y 14 años (Kenia - Pirámide de población 2021, 2022), y en Kenia vivían 35,64 millones de personas. Gracias a la medicina y al apoyo internacional esta cifra ha podido bajar como se puede ver en la grafica que adjuntamos. A día de hoy se estima que hay 82.000 niños menores de 14 años infectados.

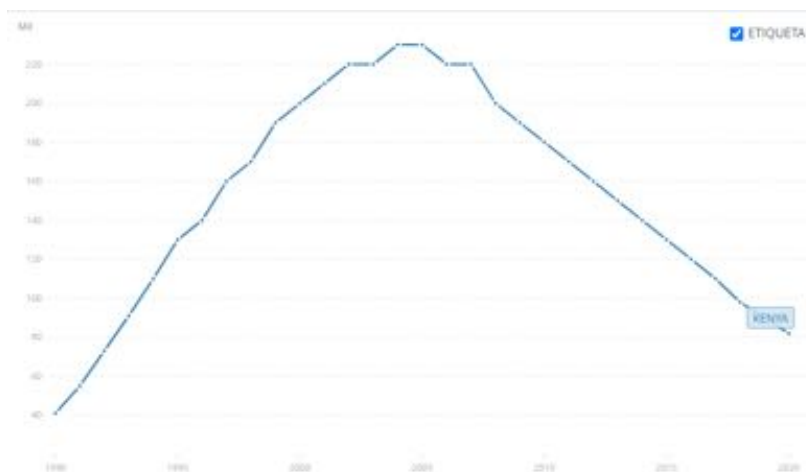


Figura 6: Niños de 0 - 14 que viven con VIH. Fuente: Banco Mundial

Esta bajada de casos se ha conseguido gracias a dos pilares fundamentales, la ayuda internacional, que se ha conseguido gracias a organizaciones como la de COGRI –

Nyumbani, que desde que empezó la misión en 1992, da servicio y asistencia sanitaria a más de 5.000 supervivientes del SIDA.

Nyumbani cuenta con un total de 4 proyectos, Nyumbani Home, Nyumbani Village, Lea Toto y el Laboratorio de Diagnostico. En Nyumbani home hay acogidos a 100 niños seropositivos huérfanos, en el Village viven 1000 niños que se han perdido a ambos de sus padres a causa de este virus de inmunodeficiencia, y Lea Toto es un programa de asistencia a domicilio a los niños seropositivos y a sus familias que viven en las comunidades más desfavorecidas de ciudades como Nyumbani, en las denominadas “slums”.

El ultimo proyecto de Nyumbani es el Laboratorio de Diagnostico, en el cual estudian la evolución de los casos y detectan dicha enfermedad, gracias a este laboratorio y al empeño de Nyumbani, todos los seropositivos son tratados con el tratamiento antirretroviral. Este tratamiento es el segundo pilar que se comentaba que ha ayudado a frenar la pandemia del sida que se ha sufrido en Kenia.

Según ONUSIDA, se estima que la cobertura del tratamiento antirretroviral le llega al 86% de las personas que viven con el VIH en Kenia, cifra que incrementa con los años y ha crecido de manera exponencial desde que se empezó a usar a comienzos de siglo. Este tratamiento es capaz de salvaguardar la vida de aquellos que reciben la medicación, pero por desgracia aun hay gente que no la recibe. ONUSIDA estimó en 2016 que en Kenia había aproximadamente 1,5 millones de personas que viven con esta enfermedad (UNAIDS, 2016), y según datos del Gobierno Keniano del 2015, es el causante del 29% de las muertes.

En la grafica que podemos ver a continuación, se muestra la evolución del fármaco que es usado para frenar la enfermedad del VIH, este fármaco lo reparte el gobierno de manera gratuita a todos aquellos que lo necesitan.

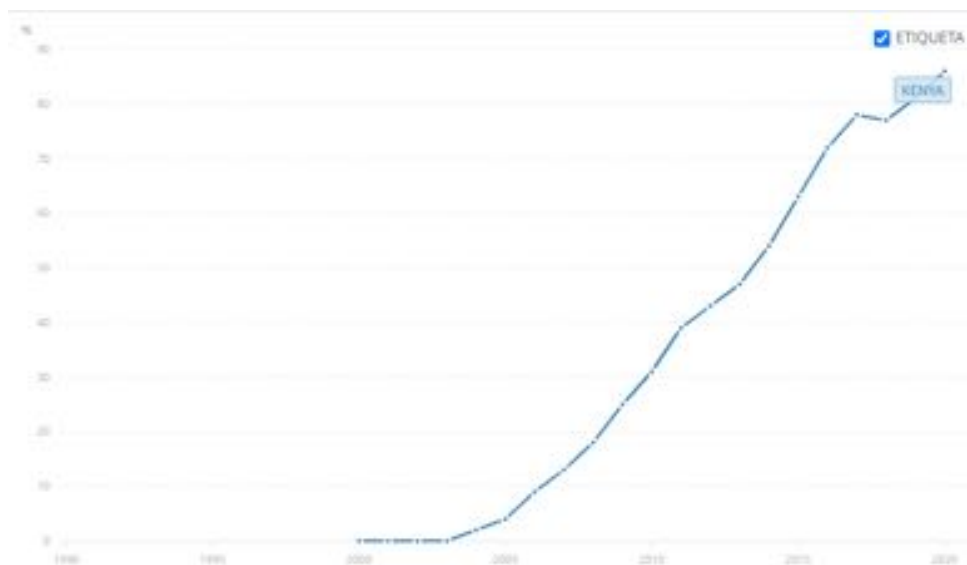


Figura 7: Cobertura del tratamiento antirretroviral (% de las personas que viven con el VIH) en Kenia.

Fuente: Banco mundial / ONUSIDA

2.2 COMPARATIVA ELÉCTRICA ENTRE KENIA Y ESPAÑA

una de las principales causas por las que se ha decidido realizar este proyecto de electrificación rural en Nyumbani Village, ha sido para poder traer más igualdad a este mundo en el que vivimos, y para ello es necesario entender las diferencias que existen entre Kenia y España, para poder darnos cuenta de la situación actual que se vive en dicho país y del por que es necesario ayudar en la medida de lo posible.

Vamos a hacer una comparativa en los tres niveles existentes, la generación, la distribución y el consumo, centrándonos más en los dos últimos, debido a que este proyecto es la planificación de la red de distribución de Nyumbani.

2.2.1 KENIA Y ESPAÑA, COMPARATIVA A NIVEL DE GENERACIÓN

Cuando hablamos de Producción de electricidad a partir de fuentes renovables, excluida la hidroeléctrica (kilovatio-hora), según el banco mundial, en 2015, España producía 68.950

GWh, mientras que Kenia 4.660 GWh, es decir, España produce más electricidad proveniente de fuentes renovables que Kenia, pero hay que tener muy en cuenta también la Producción de electricidad a partir de fuentes renovables, excluida la hidroeléctrica en % del total, ya que es un dato más real en cuanto a que país se ha focalizado más en la obtención de “energía verde”. (Banco Mundial, s. f.-b)

Cuando observamos esta producción en porcentaje, Kenia supera a España con creces, obteniendo en 2015 un 45,7% de su energía de fuentes renovables, mientras que España dicho año obtuvo de fuentes renovables un 25,9 %. En la grafica adjuntada a continuación se puede ver como ambos países han ido focalizando cada vez más su producción de energía hacia una más limpia y sostenible.

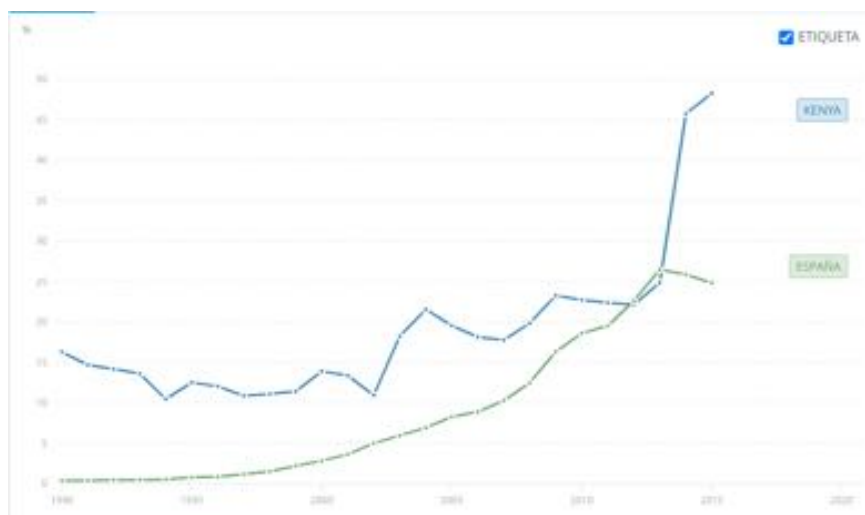


Figura 8: Producción de electricidad a partir de fuentes renovables, excluida la hidroeléctrica en % del total. Fuente Banco Mundial

La grafica expuesta anteriormente nos ha permitido ver el avance de la generación de energía renovable en Kenia hasta 2015, sin embargo a día de hoy “el 92% de la energía en Kenia es generada a partir de fuentes renovables, con la energía geotérmica a la cabeza, siendo el noveno productor a nivel mundial.” (ICEX, s. f.) A diferencia de España, que a pesar de las fluctuación que hay en el mercado eléctrico, según Red Eléctrica Española ha llegado a

generar en el mes de abril de 2022 el 50,3% de energía a través de fuentes renovables. (Red Eléctrica, s. f.)

Centrándonos en la generación de energía en Kenia, según el ICEX, las principales fuentes de energía en Kenia son las siguientes:

Reporte generación energía eléctrica 2020	
Fuentes de energía	%
Geotérmica	44%
Hidráulica	36%
Eólica	11%
Térmica	7%
Solar	1%
Otras	1%

Figura 9: reparto de generación de energía eléctrica en 2020 en Kenia. Fuente ICEX

2.2.2 KENIA Y ESPAÑA, COMPARATIVA A NIVEL DE DISTRIBUCIÓN

A la hora de estudiar la distribución de energía eléctrica en Kenia, hay tres aspectos a tener en cuenta, el primero es el porcentaje de población que tiene acceso a electricidad, el segundo es la cantidad de km de línea que conforman la red de distribución de cada país y el tercero es el porcentaje de pérdidas que tiene dicha red de distribución.

En cuanto a la cantidad de población que tiene acceso a electricidad, en España según los datos del banco mundial es del 100%, sin embargo en Kenia hay que diferenciar entre la población urbana, población rural y población total. Según los datos del banco mundial, actualizados hasta 2020, el 94% de la población urbana de Kenia tiene acceso a la

electricidad, mientras que solo el 62,7% de la población rural cuenta con ese bien fundamental.

Centrándonos en la población global de los países, en Kenia disponen de acceso a la electricidad el 71,4% de las personas, mientras que en España este dato es del 100%. A continuación podemos ver como ha ido evolucionando estos datos entre los dos países desde 1990 hasta 2020, mostrando en la grafica adjunta el porcentaje de la población total que cuenta con acceso a electricidad a través de dichos años.

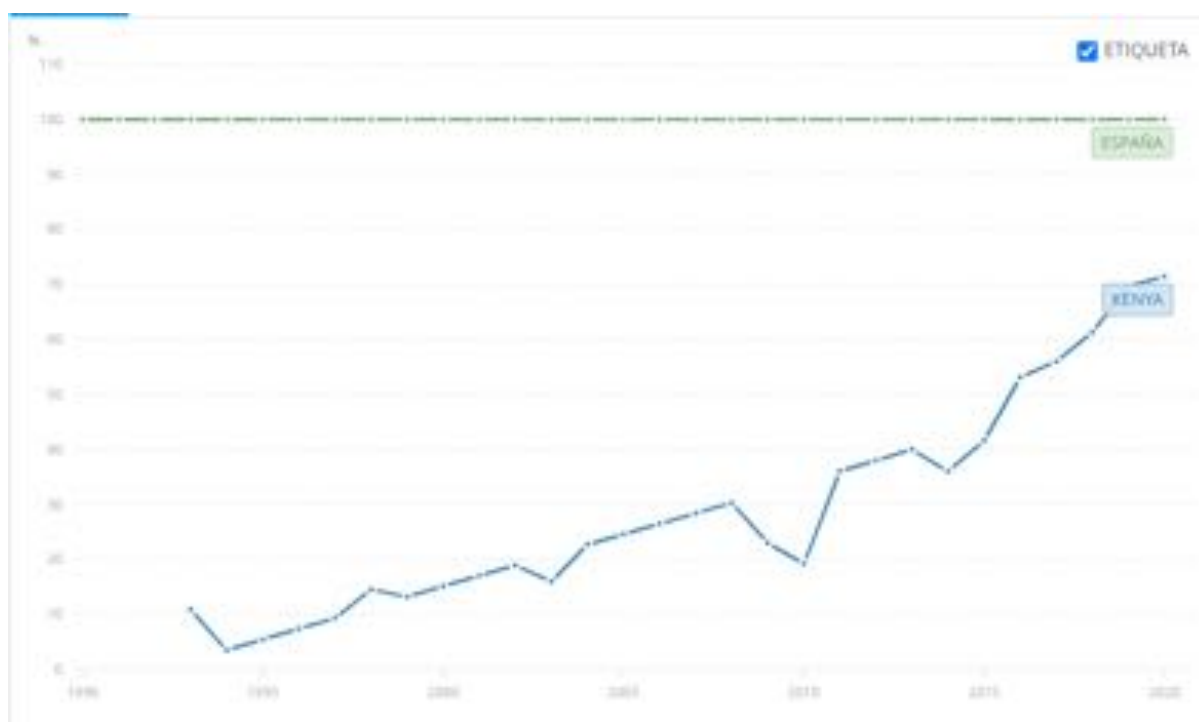


Figura 10: Acceso a la electricidad (% de población). Fuente: Banco Mundial

Centrándonos a continuación en la red de distribución y la longitud de esta en los diferentes países, España según REE (Red Eléctrica Española) cuenta con 44.769 km de líneas, de 400kV, 220 kV y 32kV (Red Eléctrica s. f.-b). Esta red no es tan amplia en Kenia como lo

es en España, el país subsahariano cuenta con una red de distribución eléctrica de 6.294 km, de los cuales el 37,5% de estos son propiedad de KETRACO, corporación estatal 100% propiedad del gobierno (KETRACO, s. f.).

KETRACO, tiene un proyecto de 20 años de duración comenzado en 2018. Pretende construir un total de 8469 Km más de red, llegado a alcanzar más de 10.000 Km en 2038. Toda esta red que se va a interconectar no es solo nacional, sino que pretende expandir sus interconexiones con Uganda, Etiopía y Tanzania, tres de los cinco países vecinos. (Power Transmission and Distribution System – Renewable Energy Portal, s. f.)

Finalmente y como comentado, es importante estudiar las pérdidas de la red eléctrica. Kenia pierde lo equivalente a 17 millones de dólares estadounidenses al año en la transmisión de la energía (Power Transmission and Distribution System – Renewable Energy Portal, s. f.). Según la CIA, en 2019 Kenia tenía unas pérdidas de energía en su red de transmisión/distribución de 2.724 GWh, esta cifra, comparándola con la energía consumida por los keniatas es descomunal. Estos consumían en 2019 8.243 GWh, y en 2020 alcanzaron una demanda de 11.604 GWh (CIA, s. f.).

Según el ICEX “Las pérdidas de transmisión y distribución representaron el 31,7% del total de la generación local en 2020.” (ICEX, s. f.). Para compararlo con España, vemos los datos que se encuentran en la web oficial de REE (Red Eléctrica Española), en julio de 2022, había una demanda de 23.531 GWh y unas pérdidas de transporte de 282 GWh.

2.2.3 KENIA Y ESPAÑA, COMPARATIVA A NIVEL DE CONSUMO

Según la Agencia Central de Inteligencia estadounidense (CIA), en 2019, España ocupa el puesto número 46 de energía consumida por cápita, consumiendo 129,4268 GJ/persona, mientras que Kenia ocupaba el puesto 166, consumiendo una media de 6,6574 GJ/persona. España consume por cápita 19,4 veces más que Kenia. (CIA - The World Factbook, s. f.)

Estudiando el consumo de energía per cápita según Expansión, el consumo de los keniatas en 2019 fue de 173,2 kWh (Expansión, s. f.-b), mientras que en España, el mismo dato esta cifra ascendía a 5.591,6 kWh. (Expansión, s. f.-a). A continuación adjuntamos las tablas de Expansión, donde se puede observar la variación de consumos de los dos países a lo largo de los años, y como mientras que en un país se estabiliza en el otro aumenta significativamente a medida que pasan los años.

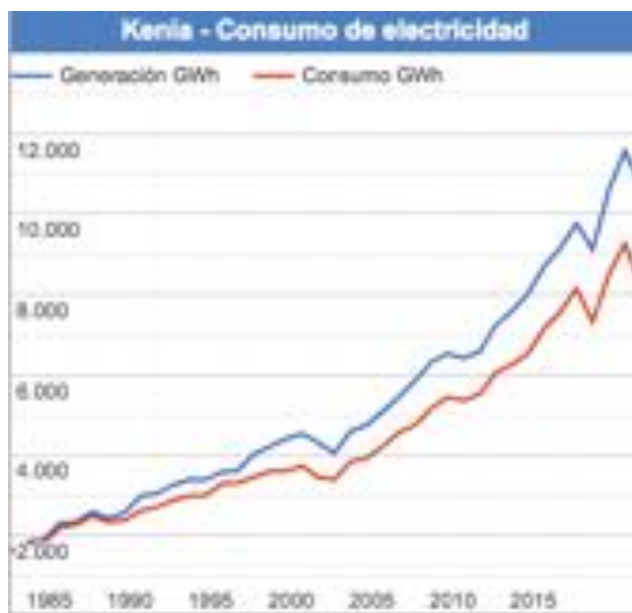


Figura 11: Consumo de electricidad en España. Fuente: Expansión



Figura 12: Consumo de electricidad en Kenia. Fuente: Expansión

Tras haber expuesto los datos de consumo, generación y distribución, se espera que el lector pueda entender la importancia de este proyecto. Al poder visualizar las diferencias energéticas que tienen ambos países. Uno es más consciente de la falta de energía que algunos países pueden llegar a tener, cuando se observa de manera visual a través de datos la diferencia entre el consumo de los españoles y los keniatas.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

3.1 NYUMBANI

3.1.1 NYUMBANI KENIA

Nyumbani Kenia (Children of God Relief Institute, COGRI) es una ONG fundada en el año 1992 por el Padre Ángel D'Agostino, Jesuita de la Universidad de Georgetown, junto con Sister Mary Owens IBVM (encargada a día de hoy, tras fallecer el Father D'Agostino en 2006). Mediante esta iniciativa, comienzan a ofrecer a los niños y niñas seropositivos abandonados por su condición, la posibilidad de obtener una calidad de vida digna en sus breves vidas, tanto médica como afectivamente.

La desinformación y miedos basados en la ignorancia de la sociedad keniana respecto a la transmisión del VIH fomentan el constante rechazo y la exclusión de las personas infectadas, lo cual lleva a Father D'Agostino a luchar incansablemente por sus derechos. Gracias a sus extraordinarios esfuerzos, logra la reinserción de estos niños en colegios estatales tras un tedioso enfrentamiento legal con el gobierno de Kenia. Siendo la primera persona que lucha por este tipo de derechos humanitarios. A día de hoy COGRI-Nyumbani continúa la labor y el legado, centrando sus esfuerzos principalmente en cuatro proyectos: Nyumbani Home, Nyumbani Village, Lea Toto, y un laboratorio de diagnóstico.

En primer lugar, Nyumbani Home ofrece acogida a niños huérfanos (alrededor de 100) seropositivos. El rango de edad oscila desde el recién nacido hasta los 23 o 24 años, pudiendo emanciparse antes si cumple la edad mínima para ello y se encuentra en un buen estado de salud. Esto se consigue gracias a los cuidados tanto médicos como nutricionales y educativos que ofrece el orfanato para dotar de mayores oportunidades a los niños una vez salgan de allí, y a la vez aportarles una calidad de vida digna durante su estancia.

Por otro lado, Lea Toto, cuyo significado en swahili es criar un Niño, es un programa fundado en el año 1998 que atiende a niños VIH+ y a sus familias, cuyas condiciones de vida en Nairobi son de extrema pobreza. Gracias a este programa, dicha gente puede acceder a servicios médicos, nutricionales, psicológicos, educativos y sociales. Estos centros trabajan en 8 localizaciones de la capital cuya labor permite cada año el cuidado de más de 4.000 niños y niñas y alrededor de 18.000 familiares.

En tercer lugar, el Laboratorio Médico de Diagnóstico cuenta con máquinas avanzadas que les da la habilidad de detectar el VIH entre otras muchas. Sin embargo, su labor va mucho más allá, puesto que la investigación y la realización de diversos tipos de estudios son otras de sus grandes funciones.

Por último, pero no por ello menos importante, se encuentra Nyumbani Village, localidad donde hemos realizado los diferentes trabajos de fin de grado mis compañeros y yo. El Village es una comunidad auto sostenible creada en 2005, dedicada principalmente al servicio y la acogida de huérfanos y ancianos afectados por la enfermedad del sida, actualmente hay más de 1000 niños y 100 abuelas viviendo en la aldea. Al unir estas dos generaciones, se pretende crear una simbiosis en la cual los jóvenes aporten su vitalidad a los más mayores mientras estos les sirvan de “guías” en cuanto a su madurez y edad mucho más adulta.

De esta forma se facilita el proceso de crear estructuras familiares que alienten esperanza, cariño y oportunidades. De ahí el propio nombre de “Nyumbani”, que en swahili quiere decir “Hogar”. Cada casa de la eco aldea cuenta con diez niños y un abuelo o abuela. El Village cuenta con una estructura general que permite que entre estas “familias” se puedan apoyar y relacionarse, creando un mayor sentimiento de pertenencia. Gracias a esta aldea, se hace posible que estos niños reciban educación, atención médica, apoyo psicológico y alimentos saludables.

Para poder subsistir y crear una economía en torno al Village, se han desarrollado dos principales áreas de trabajo, la agricultura y la ganadería, aparte de estas, también producen

artesanías e inmobiliario. El énfasis que pone el Village en estas prácticas es debido a que se desea en un futuro llegar a ser autosuficientes, y no necesitar de financiación externa.

3.1.2 AMIGOS DE NYUMBANI

Amigos de Nyumbani (AdN), Asociación sin ánimo de lucro fundada en el año 2007, nace con el objetivo de colaborar con el proyecto iniciado por COGRI-Nyumbani, comentado anteriormente, desde España. De esta manera, su misión consiste principalmente en el desarrollo de proyectos orientados hacia la mejora de las instalaciones de las diferentes comunidades, Nyumbani Home y Nyumbani Village, mejorando carreteras, haciendo proyectos eléctricos etc. También centran esfuerzos en captación de fondos, sensibilización, actividades de información y gestión del voluntariado en Kenia.

Uno de sus principales objetivos trata de que estos niños también se reintegren a posteriori en la sociedad adecuadamente, sin dejar de lado sus raíces culturales, esto lo consiguen con proyectos de microcréditos, a través de los cuales apoyan las pequeñas empresas que quieren crear los graduados, para darles un empujón en la vida laboral.

Las principales actividades en las que se agrupan los últimos proyectos de Amigos de Nyumbani se centran en: la educación, la ayuda al emprendimiento y el desarrollo de energías renovables.

Para llevar a cabo estas actividades han creado distintos proyectos como, por ejemplo, el Fondo de Educación de Nyumbani, el cual aporta becas a los niños que hayan demostrado sus capacidades en los estudios terciarios, para que puedan lograr sus ambiciones profesionales. También se instauró en 2019 una nueva certificación en Electricidad y Energía Solar Fotovoltaica dentro del Centro de Formación Profesional del Nyumbani Village.

Por otro lado, “Creando Caminos de Futuro”, es un proyecto instaurado en 2015 orientado a los ya graduados del Centro de Formación Profesional del Nyumbani Village, donde se

imparten conocimientos de metalurgia, carpintería, peluquería, sastrería...De este modo, se les conceden microcréditos para fomentar su integración social y laboral al salir del Village.

En el año 2014, en colaboración con Generalia, fue creado un huerto solar con capacidad de 44 kWp. Una de mis compañeras se ha encargado de estudiar dicho huerto solar, ver como se puede optimizar la producción y hacer una ampliación, para cubrir los consumos de la aldea.

Asimismo, “Luz en los Hogares”, proyecto nacido en el año 2015 con Energía sin Fronteras, llevó electricidad a las viviendas y a los caminos del Village. Gracias a este espíritu colaborador, las mas de cien viviendas que componen Nyumbani tienen acceso a electricidad.

A la postre, AdN financió en el año 2019 la construcción de una segunda balsa para la recogida de agua de lluvia, cuya importancia es de gran relevancia tanto para su propia auto sostenibilidad como para poder hacer frente a las épocas de sequía, las cuales son cada vez más frecuentes en el país. En esta línea, ese mismo año construyeron un set de invernaderos resistentes a las termitas y fabricados en aluminio, para así poder cultivar sus principales productos que son el kale, tomate y otras verduras que permiten, no solo su propio consumo, sino el comercio con la comunidad de alrededor.

3.2 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

El 15 de septiembre de 2015, el mundo se sentó para recapacitar sobre las desigualdades y sobre el daño ambiental que provocamos en la naturaleza. Las naciones unidas focalizaron en que hay que cumplir un conjunto de 17 objetivos, cada uno de estos tienen metas diferentes que hay que conseguir de aquí a 2030, y no son solo los gobiernos y las entidades publicas las que tienen que trabajar en cumplir estos objetivos, sino todos como ciudadanos del mundo.

No se nos puede olvidar que habitamos la tierra, pero no estamos solos, por lo que siempre hay que tener en cuenta a todas las personas y a la naturaleza, por eso es importante recalcar los objetivos que cumple nuestro proyecto, no solo para ayudar a la comunidad de Nyumbani, sino para sensibilizar a la población de lo importante que es hacer Ingeniería con Propósito.

Al ser Nyumbani un proyecto de acogida de niños huérfanos que se encarga de cubrirles las necesidades básicas que antes no tenían, como son una buena salud, una buena alimentación y buenas condiciones de vida, cubren muchísimos objetivos, pero nos vamos a centrar en los que cubren el proyecto que estamos desarrollando de electrificación.

3.2.1 ODS QUE CUMPLE EL PROYECTO



1. Fin de la Pobreza la finalidad de este proyecto es proporcionar a Nyumbani de energía limpia y gratuita, conseguida a través de placas solares. Esto supone un paso hacia la

globalización y progreso del pueblo, suprimiendo el uso de diésel para la generación de energía, abasteciéndoles con energía limpia que podrán utilizar para los colegios y hospitales de la aldea.

3. Salud y bienestar & 4.Educacion de calidad al proporcionar a Nyumbani con energía suficiente para abastecer las necesidades de la aldea, se le va a permitir poder tener más aparatos en uso en la clínica, en el colegio y en el politécnico. Poder usar más maquinas y maquinas que necesiten de mayor energía para curar enfermedades, para la investigación de dichas, para mejorar el aprendizaje de los ciclos formativos del politécnico, para poder usar los ordenadores de los que disponen, sin tener que racionalizar su uso etc.

7. Energía asequible y no contaminante el proyecto de electrificación de Nyumbani se compone de la generación, el almacenamiento y la distribución de energía solar producida a través de placas solares, con la finalidad de poder cubrir todas las necesidades energéticas presentes y futuras de Nyumbani de una manera sostenible, con energía solar, que es una fuente no contaminante.

9. Industria innovación e infraestructura crear la red de distribución de energía eléctrica en Nyumbani mejora la infraestructura de la aldea, conectando todos los puntos de generación de consumo, dándoles la posibilidad de consumir energía en aquellos lugares en los que antes no podían por falta de suministro. Industrialmente hablando Nyumbani tiene unos centros profesiones de carpintería, soldadura y metalurgia, que cuando se conecten con la red de distribución en isla, podrán optimizar su uso, y avanzar más en sus respectivas producciones, ya que a día de hoy tienen que racionalizarlo debido a la falta de generación de la aldea.

10. Reducción de las desigualdades El 100% de la población rural española tiene acceso a electricidad, sin embargo, según los datos del Banco Mundial, solo el 62,7% de la población rural keniana tiene acceso a este bien básico en 2022 (Banco Mundial, s. f.-a). La necesidad que tiene Nyumbani de poder dar a los niños electricidad es esencial, tanto para poder llevar a cabo unas clases optimas en el colegio, como para garantizar su seguridad iluminando las calles por la noche y tener luz en sus casas. Garantizarles luz es un paso de acercamiento hacia la reducción de las desigualdades sociales.

11. Ciudades y comunidades sostenibles Nyumbani a día de hoy es una eco aldea, sin embargo, cuando sus paneles solares no le proporcionan la energía necesaria, se ven obligados a hacer uso de generadores diésel, por lo que este proyecto de electrificación en el que se pretende que el 100% de su energía venga de una fuente renovable como lo es la solar, colabora a la hora de crear una comunidad más sostenible.

3.3 ENERGÍAS SIN FRONTERAS

Nyumbani Village cuenta con dos proyectos de Energía Solar Fotovoltaica realizados. Estos proyectos llevados a cabo son el Huerto Solar (Solar Farm) y Luz en los Hogares. El proyecto del Huerto Solar se realizó en 2014, y supuso la puesta en marcha de un huerto de energía solar con una potencia de 44kW. El proyecto de luz en los hogares se puso en marcha en 2015 y su función fue electrificar las viviendas de Nyumbani, para que todos los Clusters y las viviendas de los Staff tuviesen acceso a la electricidad. Se llevó a cabo un sistema descentralizado en el que cada vivienda contaba con su propia generación, almacenamiento y consumo. Estas instalaciones se llevaron a cabo en más de cien viviendas.

Centrándonos en el proyecto del Solar Farm, se instalaron un total de 216 paneles solares de 205 Wp, con una potencia de 44.280 kWp, . Por lo tanto, el Huerto Solar, es una micro red que alimenta a las principales edificaciones que más consumen, como son el Politécnico, el CVTC y la Administración. En un principio se pretendía alimentar también a una de las bombas de agua, al Government Pump, sin embargo, la línea se tuvo que levantar porque había demasiada caída de tensión al encender la bomba y esta no arrancaba, para solventar este problema se quitaron 96 paneles del Solar Farm. De estos 96 paneles, 88 se posicionaron las estaciones de bombeo del Booster y del Government Pump, se pusieron 44 paneles en cada localización. El huerto solar, cuenta con una potencia de 24,6 kilovatio pico, generado por los 120 paneles que siguen en la instalación.

El objetivo de Energía sin fronteras fue Diseñar una instalación que con la energía suministrada por los paneles, consiga los mejores rendimientos energéticos, el máximo ahorro en combustible de los generadores diésel y la mínima utilización del almacenamiento de energía. EsF, aparte de los paneles solares, también puso a disposición de Nyumbani tres inversores Sunny Tripower 15000TLEE-10 de los que están en funcionamiento dos, seis inversores de batería Sunny Island 6.0H y un total de 48 baterías de 1.695 Ah C₁₂₀ cada una.

3.3.1 GENERACIÓN ACTUAL

Tras la instalación de energía sin fronteras y otros paneles adquiridos con donaciones, tenemos cinco puntos de generación solar activos, sin contar con las instalaciones de autoconsumo de las que dispone cada vivienda, como los Clusters, que tienen un sistema de autoabastecimiento, pero estas no las vamos a tener en cuenta a la hora de crear la red de distribución, debido a que aunque puedan autoabastecerse, en el futuro se pretende poder alimentar dichas edificaciones desde uno o varios puntos de generación.

Los puntos de generación en **negrita** son los que vamos a conectar a la red, estos son las instalaciones existentes en los dos pozos de agua potable, la Solar Farm, la clínica y el High School. Las otras dos estaciones de bombeo son de agua de regadío.

Puntos de generación Solar	nº de paneles	Wattios pico por panel	Potencia pico de la instalación (Wp)
Solar Farm	120	205	24.600
Booster	44	205	9.020
Government Pump	44	205	9.020
<i>Tana Athy Pump</i>	32	330	10.560
<i>T4C Pump</i>	24	275	6.600
Clinica	8	320	2.560
High School I	20	160	3.200
High School II	8	235	1.880

Figura 13: puntos de Generación de energía solar en Nyumbani

3.3.2 ALMACENAMIENTO ACTUAL

Nyumbani cuenta con un sistema de almacenamiento aislado, es decir, cada sistema tiene su propio almacenamiento distribuido y sin conectar. Esto conlleva a que en algunas partes no tengan energía por un consumo alto, mientras que otras tienen una carga completa. Dicha falta de carga se podría evitar si estuviese todo conectado.

De todas las baterías que mostramos a continuación, las que se van a tener en cuenta a la hora de almacenar energía en nuestra red de distribución son las del Solar Farm y las del High School IT.

Las baterías y la capacidad que tienen son las siguientes:

Localizacion de las Baterías	nº de baterías	capacidad por bateria (Ah)
Cluster	26	200
Solar Farm	48	1695
High School	-	-
IT	16	375
form 1	2	200
form 2	2	210
form 3	2	202
form 4	2	200
lab	2	200
Primary	-	-
library	4	370
clase 8	4	370
kjer house	6	200
monjas	6	375
cura	3	200
iglesia	2	200
Staff Houses	13	200
guest	2	370
clinic	1	375
policia	4	370
Director	2	200

Figura 14: Baterías y características de cada edificio

3.3.3 DISTRIBUCIÓN ACTUAL

Actualmente muchos de los lugares tienen su propia instalación eléctrica, de manera aislada, con paneles fotovoltaicos, baterías, y una distribución eléctrica para cada edificio. Sin embargo, hay ciertas instalaciones fotovoltaicas que aportan energía a más de un edificio. Estas instalaciones se han ido haciendo a medida que las necesidades energéticas iban aumentando.

Algunas de las instalaciones que se autoabastecen son la iglesia, la clínica y las casas, sin embargo hay otros puntos cuya demanda excede la producción de energía solar. Esto se suele dar en los pozos y las bombas de agua, por eso, aparte de tener paneles solares, tienen generadores diésel, para poder sufragar la demanda en caso de poco sol o en caso de que se necesite extraer más agua de la estimada que es necesaria.

El punto de generación de energía más importante es la Solar Farm, debido a que aporta energía a todo el politécnico, al edificación de la administración de Nyumbani, al Social Hall, al CVTC y a los contenedores de comida (lugar en el que almacenan y distribuyen la comida a las familias de Nyumbani).

A continuación vamos a comentar la conexiones que hay actualmente en Nyumbani, el cable que tienen dichas instalaciones y la sección de dichos cables.

3.3.3.1 Solar Farm – Politécnico, Administración, Contenedores, Social Hall, Granero



Figura 15: Distribución del Solar Farm

El Solar Farm actualmente da electricidad a todo el politécnico, a la administración, al social hall, al granero y a los contenedores.

Estas conexiones están hechas todas de manera subterránea y todos los cables son de cobre, sin embargo la sección de las líneas varían según a que edificación vayan a suministrar electricidad.

Todas las conexiones dentro del conglomerado CVTC son de 6 mm^2 . El cable es del fabricante “Connect Kenia”. El CVTC tiene cargas monofásicas, sin embargo, la línea que va desde la carpintería hasta el CVTC es un cable trifásico.

La diferencia ente la distribución desde el Solar Farm hasta las edificaciones del politécnico y desde la carpintería hasta las diferentes edificaciones del CVTC, es que al se transporta la energía en monofásico a pesar de que el cable sea trifásico, y a las edificaciones del politécnico, se transporta en trifásico.

A la hora de estudiar el Granero, es importante saber que solo se dispone de su utilidad en horas de luz, por lo que no necesita Baterías, y de que su potencia máxima demandada es de 7,5 kW.

Adjuntamos la tabla donde se pueden visualizar las distancias entre puntos de conexionado, las características de las líneas y su conexión, si es aérea o subterránea.

Solar Farm -- Politecnico -- CVTC						
A	B	Diametro	Material	S / A	+	Distancia aproximadas(m)
Solar Farm	Electric / Fashion	10	Cobre	S		36,72
Solar Farm	Granero	4	Cobre	A		10,92
Electric / Fashion	Production	4	Cobre	S		20,06
Solar Farm	Carpinteria	6	Cobre	S		121,05
Solar Farm	Welding / Peluqueria	10	Cobre	S		24,36
Carpinteria	CVTC	10	Cobre	S		37,56
Administration	Social Hall	4	Cobre	S	3 cables (no hay neutro)	21,43
Carpinteria	Administration	6	Cobre	S		149,34
CVTC	Edificios CVTC	6	Cobre	S	trifasico pero solo se usa una fase	35,54
						26,96
						24,82
						19,13
Carpinteria	Contenedor	6	Cobre	S		58,61

Figura 16: Características de las conexiones del Solar Farm y derivados

3.3.3.2 Conexión Primary



Figura 17: Distribución del Primary

El Primary se divide por edades, desde los 4 – 7 años y desde los 8 – 14 años. Las aulas de los menores son las edificaciones 1, 2 y 9. Estas no están conectadas ni tienen acceso a electricidad.

El resto de las aulas que siguen la Figura y que están conectadas, funcionan gracias a un equipo que se encuentra en la edificación numero 5, y se distribuye mediante cables aéreos al resto de edificaciones.

Las edificaciones 6 y 11 tienen una conexión aérea, debido a que la edificación 11 tiene una instalación con panel solar y batería. Ambas instalaciones funcionan gracias a paneles y baterías. Los paneles se pueden observar en la Figura.

La cocina del Primary se encuentra a la derecha del todo del complejo del colegio, y esta conectada al High School.

El cable que conecta las dos edificaciones es de 6 mm^2 . Es trifásico pero solo se usa una fase, además, es aéreo y de cobre.

Los cables que se ven en la figura 14 que van de la edificación 5 a las edificaciones 3, 4, 8 y 10 son de $2,5 \text{ mm}^2$, monofásico y aéreo.

A	B	Diametro	Material	S / A	+
<u>Primary</u>					
Library	Staff	2,5	Cobre	A	monofasico (solo un cable)
Staff	Clases	2,5	Cobre	A	monofasico (solo un cable)

Figura 18: Características de las conexiones del Primary

3.3.3.3 IT High School – Administration del High School, Cocina & dining Hall



Figura 19: Distribución del High School

Dentro del recinto del High School de Nyumbani, hay una serie de edificaciones, que son aulas, laboratorios, el comedor y la administración.

Las aulas y los laboratorios tienen su propia minigríd, que consta de uno o varios paneles, dos baterías y la distribución para poder tener bombillas. Sin embargo el IT del High School, tiene una instalación fotovoltaica mayor, que gracias a una pequeña red de distribución da energía a la administración del colegio, al comedor y a la cocina del Primary, que hoy en día tiene 3 bombillas conectadas.

La conexión que hay entre el comedor y la administración es un cable de 4 mm^2 monofásico. Por lo que a futuro, habría que conectarlo con la red trifásica. Solo lo conecta una fase.

Las conexiones desde el IT hasta el Administración del High School y el Dining Hall, son subterráneas, de 6 mm^2 , trifásicas. Es el mismo que hay en el politécnico, la diferencia es que solo usa una fase, el circuito es monofásico.

A día de hoy, la cocina del Primary, es alimentada por el High School y solo dispone de tres bombillas. Es interesante facilitar un punto de conexión cercano para poder satisfacer futuras necesidades, como lo pueden ser unas cocinas más modernizadas, ya que se sigue cocinando con leña.

A	B	Diametro	Material	S / A	+	Distancia
<u>High School</u>						
HS Administration	Cocina	4	Cobre	S	1 phase	83,45
High School IT	HS Administration	6	Cobre	S	trifasico pero solo se usa una fase	25,1
HS Administration	Dinning Hall	6	Cobre	S	trifasico pero solo se usa una fase	32,68

Figura 20: Características de las conexiones del High School.

3.3.3.4 Tower Pump – Booster



Figura 21: Distribución del bombeo al Pozo

Se explica a continuación el funcionamiento de esta instalación del Village. El agua se extrae desde el pozo “Tower Pump”, y se lleva a la estación de bombeo, donde se almacena en un depósito. Una vez el agua está en la estación de bombeo, se lleva a través de tuberías hasta los depósitos de la aldea (situados en una colina en la entrada de Nyumbani), gracias al “Booster Pump” desde donde se distribuye a todo el pueblo a través de gravedad.

Para mover el agua de un punto a otro, se hace uso de dos bombas. La primera bomba, la Tower Pump, es la que extrae el agua del pozo subterráneo. Esta es una bomba que funciona con un generador diésel, debido a la insuficiente energía fotovoltaica producida por los paneles solares ubicados en la estación de bombeo en el momento de arranque de la bomba.

La línea eléctrica que va desde la estación de bombeo hasta el pozo es de cobre y subterránea, de 10 mm^2 . Esta línea es la que se utiliza para transportar la energía al pozo. El generador es de 27,2 kW.

El conjunto de 44 paneles solares se usan para alimentar dos bombas de 5,5 kW cada una que transportan el agua desde la estación de bombeo hasta los tanques de agua.

A	B	Diametro	Material	S / A	+	Distancia
Pump	Pozo	10	Cobre	S	-	280,41

Figura 22: Características de la conexión entre uno de los pozos y el generador que alimenta la bomba

3.3.3.5 Solar Farm – Government Pump

Cuando se construyó la instalación del solar Farm y las conexiones a la aldea, se instaló una línea que iba desde el Solar Farm hasta el Government Pump. Esta línea se tuvo que retirar, debido a que no se calculó de manera adecuada la caída de tensión que iba a tener la línea, por lo que cuando se intentó encender la bomba de agua, esta no arrancaba.

Las características a tener en cuenta de la bomba que no arrancaba son las siguientes:

Government Pump antigua
Grundfos SP 8A-25 4kW
I start 35 A
Current 9,6 A

Figura 23: Características del Government Pump antigua

La hemos llamado como Government Pump antigua debido a que esta bomba ya no está en funcionamiento y a día de hoy hay un modelo diferente instalado. Como podemos observar en las especificaciones, esta bomba necesita de una corriente de arranque de 35 Amperios.

La caída de tensión de esta línea, conocida la intensidad necesaria, con un cable de 10 mm^2 nos sale de 108 Voltios, lo equivalente a un 27,2%. La normativa establece una caída de

tensión máxima de un 5%, por lo que tiene sentido que no arrancase, ya que a la bomba le llegaba una tensión de 291 Voltios.

Se entrará más en detalle cuando abordemos el tema de la caída de tensión, pero se considera oportuno nombrarlo en este apartado debido a que la línea se acabó levantando y se usó para conectar algunos Staff Houses y algunos Clusters.

3.4 POTENCIAS ACTUALES

Durante el año trabajando en el proyecto, hemos estimado las potencias demandadas y generadas por los diferentes edificaciones del Village para poder realizar una red de distribución de referencia a través de RNM. Durante nuestra estancia en Kenia durante el mes de Julio, hemos podido medir estas demandas, para poder trabajar con datos reales, y crear la red de distribución acorde con sus necesidades presentes y futuras.

A continuación vamos a comentar los consumos actuales que tienen las diferentes edificaciones e instalaciones de Nyumbani, para poder crear una red de distribución acorde con las potencias que demanda cada punto.

Para medir las potencias consumidas por las diferentes instalaciones de Nyumbani hemos utilizado diferentes aparatos de medida, que nos han proporcionado los consumos reales. Las herramientas usadas para almacenar estos datos han sido:

- Emporia Vue, con el que hemos monitorizado la energía consumida del Kjer House y la clínica.
- Energomonitor que nos ha proporcionado los consumos del High School
- Fluke 376 FC, nos ha permitido medir las tensiones e intensidades del politécnico.

Los consumos del Primary, los Clusters, la policía, el cura, la iglesia y los Staff Houses, se han calculado manualmente, analizando todos los dispositivos que consumen energía de cada lugar. Entramos en detalle del calculo de las potencias de cada grupo consumidor más adelante, cuando los comentamos de manera independiente.

Los diferentes datos que vamos a ver a continuación los hemos recopilado mis compañeros y yo, estos son usados por varios de nosotros, debido a que mi compañero Jaime Sáenz de Tejada necesita estudiar los perfiles de consumo para dimensionar las baterías y yo necesito las potencias máximas, para evitar sobrecargas en la red y por ende un cortocircuito.

El 5 de julio llegamos a Nyumbani, Kenia, y tras haber estado trabajando con consumos estimados durante los últimos meses. Al venir aquí hemos tenido la suerte de poder realizar el trabajo de campo necesario para poder obtener con certeza los consumos máximos de todos los lugares de la aldea, así como estudiar a fondo las necesidades de los diferentes pozos, escuelas, colegios y demás.

3.4.1 EMPORIA – THE GEN 2 VUE ENERGY MONITOR

3.4.1.1 Sobre Emporia Vue

Gracias a Emporia – the Gen 2 Vue Energy Monitor, hemos podido monitorizar los consumos de las diferentes edificaciones de Nyumbani, como la clínica y el Kjer House.

Emporia Vue es un aparato de medida que se instala en los cuadros eléctricos de las diferentes edificaciones, para poder medir a tiempo real la energía consumida. Da la posibilidad de medir tanto potencias e intensidades monofásicas como trifásicas. Además da la posibilidad de obtener los consumos en diferentes medidas, como Amperios o Vatios.

Los datos recopilados se pueden visualizar a través de una aplicación móvil, o exportando los archivos mediante Excel. Estos datos son transferidos instantáneamente debido a que el aparato esta conectado a la nube a través de internet.

En los anexos adjuntamos la descripción, características y especificaciones del Emporio Vue, el fichero técnico proporcionado por la empresa comercializadora.

3.4.1.2 Conexión de Emporia Vue en la Clínica

Hemos conectado el Emporio Vue a la clínica durante 5 días, desde el jueves 14 de julio de 2022 hasta el lunes 18 de julio de 2022. Durante estos días hemos obtenido los perfiles de consumo demandados por la clínica, además de la potencia máxima demandada por esta.

En las gráficas correspondientes a los fines de semana, se puede observar que hay menos actividad en la clínica, lo que conlleva que salvo excepciones, la potencia máxima demandada se da durante los días laborales.

A continuación adjuntamos la grafica del día que más picos de potencia hubo, que es la grafica del viernes 15 de Julio. La grafica adjuntada nos da el pico en kW que hubo cada cuarto de hora y el perfil de demanda que tuvo ese día.

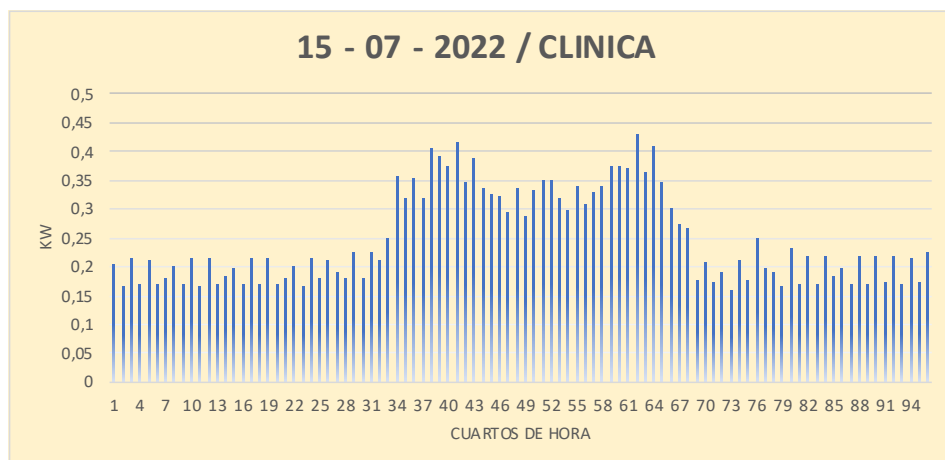


Figura 24: Perfil de consumo de la Clínica el 15-07

La grafica adjunta muestra el perfil de consumo obtenido de la clínica durante el 15 de julio, y en la tabla añadida a continuación podemos ver la potencia máxima demanda cada día. Utilizaremos las potencias máximas de la clínica para dimensionar la red de distribución, y así evitar que se den sobrecargas en la red por un dimensionamiento inferior al necesario.

Fecha	Potencia maxima demandada (kW)
14/07/2022	0,3679
15/07/2022	0,4301
16/07/2022	0,2682
17/07/2022	0,5028
18/07/2022	0,3626

Figura 25: Potencia máxima demandada cada día medido en la Clínica

Por lo tanto, la Potencia máxima demandada por la clínica durante los días que monitorizamos su consumo es de 0,5028 kW.

3.4.1.3 Conexión de Emporia Vue en el Kjer House

El día 13 de junio de 2022, monitorizamos el consumo de la Kjer House, gracias al Emporio Vue y a las potencias consumidas por minuto, hemos podido crear la grafica de potencia demandada por la Kjer House y obtener su máxima potencia demandada, esta es de 0,395 kW.

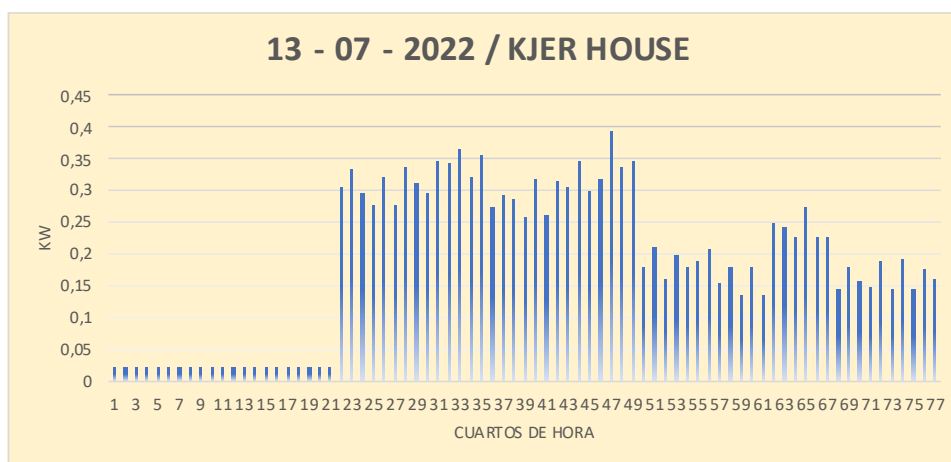


Figura 26: Perfil de consumo Kjer House el 13-07

3.4.2 FLUKE 376 FC

3.4.2.1 Sobre Fluke 376 FC

El Fluke 376 FC “es una pinza amperimetrica que utiliza un filtro paso bajo integrado para mediciones precisas de señales no lineales” (Fluke, 2021), es capaz de medir tensiones e intensidades tanto en corriente alterna como en corriente continua. Tiene una precisión del $1\% \pm 5$ dígitos para la medida de tensiones tanto en CA como en CC, de $2\% \pm 5$ dígitos para la medida de Corriente en CA y de $2\% \pm 5$ dígitos en las medidas de Corriente en CC. En los anexos adjuntamos la ficha técnica de esta herramienta, para que se pueda acceder a más información sobre el producto si se necesita.

3.4.2.2 Mediciones del Fluke en el Politécnico

El politécnico es un conjunto de edificaciones en el cual se forma a los estudiantes de Nyumbani que ya han salido del High School y deciden no ir a la universidad. En el Politécnico se imparten ciclos de formación profesional de Peluquería, Carpintería, Metalurgia, Informática, Electricidad, Soldadura, Costura ...

Por lo tanto, a la hora de medir con el Fluke en el cuadro eléctrico de cada edificación hemos tomado datos de cuatro salidas, cada una de ellas mide más de un ciclo de formación profesional, debido a que estos cables distribuyen la energía a las diferentes edificaciones, y en cada edificación se imparten clases de más de un ciclo formativo. Como observamos en la red de distribución actual, cada cable alimenta a varios puntos de consumo, estos son:

- La primera salida es la denominada “Ordenadores”, esta salida mide los consumos de los ciclos de Informática, Electricidad y Costura.
- La segunda salida, llamada “Metalurgia” ha medido los perfiles de consumo de los ciclos formativos de Metalurgia y Peluquería.
- La tercera salida, “Carpintería”, mide la Carpintería, el CVTC, el Administración y el Social Hall.
- La cuarta salida, “Welding”, mide los consumos del ciclo de soldadura.

Con el Fluke hemos podido medir tanto tensión como intensidad de todos los cuadros eléctricos, aprovechando el trabajo de campo, y conectando por zonas las máximas máquinas posibles para poder medir las intensidades pico que circulaban por la red, gracias a esto hemos obtenido las potencias que el politécnico puede llegar a demandar funcionando en su plena capacidad.

Al estar hablando con los profesores de cada departamento, estos nos han comentado el sobredimensionamiento que les gustaría obtener, es decir, a día de hoy, la metalurgia por ejemplo, solo trabaja con tres máquinas conectadas al mismo tiempo, debido a que no se

pueden permitir un consumo tan elevado, y aprovechando nuestra estancia, hemos medido un total de 5 aparatos funcionando a la vez, que sería idílico para que estos profesores puedan impartir sus clases de la manera más óptima.

Todas las tablas que vamos a ver a continuación han sido obtenidas conectando aparatos, para así poder estudiar los consumos de cada edificación cuando estos están utilizando las máximas máquinas posibles. **Hay que tener claro, que nunca se da el caso de tener tantas máquinas conectadas a la vez en cada Ciclo de FP, ni se da el caso de que todos los ciclos estén trabajando al mismo tiempo. Por lo tanto, los datos obtenidos a continuación, es forzando cada ciclo al máximo.**

Los ordenadores funcionan en monofásico, y tienen dos fases en uso de las tres posibles, por lo que para calcular las Potencias demandadas en cada fase, sacamos la tensión entre fase y neutro $= \frac{U_{ff}}{\sqrt{3}}$, y la multiplicamos por la corriente de la línea. Obtenemos una Pmax de 6,041 kW.

Ordenadores	
V1	396,4
V2	396,1
V3	398,7
I comienzo	0,3
Todo conectado	
I max (L1)	2,6
I max (L3)	6,2
Pmax estable L1 (W)	1.785,12
Pmax estable L3 (W)	4.256,83
	6.041,95

Figura 27: Consumo máximo de “Ordenadores”

El resto de las edificaciones a calcular tienen todas maquinas trifásicas, por lo que calculamos la potencia trifásica demandada. $P_{III} = U_{f-n} * I_L * 3$, como hemos medido la tension entre fase y fase, hemos de dividirla entre $\sqrt{3}$ para obtener la U_{f-n} .

Por lo tanto la formula usada para obtener las potencias es:

$$P_{III} = \frac{U_{f-f}}{\sqrt{3}} * I_L * 3$$

Carpinteria		Maquina I	
		I Arranque	30
V1	393	I Estable	8
V2	394		
V3	394	Maquina II	
		I Arranque	40
I comienzo	4,7	I Estable	10,6
		Maquina III	
		I Arranque	30
		I Estable	13,7
		Maquina IV	
		I Estable (sin pico de arranque)	14,2
		Pmax estable (W)	9.690,48

Figura 28: Consumo máximo de “Carpintería”

Metalurgia		Maquina I	
		I Arranque	14,3
V1	398,3	I Estable	9,7
V2	398		
V3	398,6	Maquina II	
		I Estable (sin pico de arranque)	13,1
I comienzo	1,8		
		Maquina III	
		I Estable (sin pico de arranque)	17,8
		Maquina IV	
		I Arranque	31,7
		I Estable	23,1
		Maquina V	
		I arranque	55,6
		Pmax estable (W)	15.924,13

Figura 29: Perfil de consumo máximo de “Metalurgia”

Welding		Maquina I	
		I Estable	12
V1	398,3		
V2	398	Maquina II	
V3	398,6	I Estable	15,4
I comienzo	1,8	Maquina III	
		I Estable	17
		Soldando	
		Máximo	52
		Pmax estable (W)	11.719,06

Figura 30: Perfil de consumo máximo de “Welding”



Figura 31: Consumos máximos según Ciclo formativo

Para dimensionar la red, hemos de ponernos en la situación de que todas las líneas estén demandando su máximo, esta demanda máxima del politécnico será la suma de las máximas potencias demandadas por cada línea. La máxima potencia que el politécnico puede demandar es:

$$6,041 + 9,69 + 15,924 + 11,719 = 43.375,61 \text{ W}$$

3.4.3 ENERGOMONITOR POWERSENSE

3.4.3.1 Sobre Energomonitor Powersense

El energomonitor es una herramienta que consta de tres aparatos, estos son el Probe, el Transmitter y el Homebase. Estos están instalados en el panel de control de las edificaciones y retransmiten de manera inalámbrica los datos cada seis segundos.

La funcionalidad del aparato es medir los consumos de electricidad y la producción de esta a tiempo real. Por lo que nos ofrece los datos tanto de producción de energía como de demanda, que nos permite saber cuando los paneles solares están generando de mas, o cuando el sistema hace uso de la energía almacenada en las baterías. En anexos adjuntamos las especificaciones técnicas.

3.4.3.2 Datos del Energomonitor en el High School

El energomonitor esta conectado al High School, por lo que nos da los consumos a tiempo real de lo consumido en la instalación. Para conseguir ver la potencia máxima, hemos accedido a los registros del energomonitor y buscado la potencia máxima consumida el ultimo mes.

De entre todos los días de julio de 2022, la potencia máxima demandada se ha registrado el día 28 de julio. Adjuntamos el perfil de consumos a continuación, en el que también podemos ver la potencia máxima demandada, que es 3,15kW.

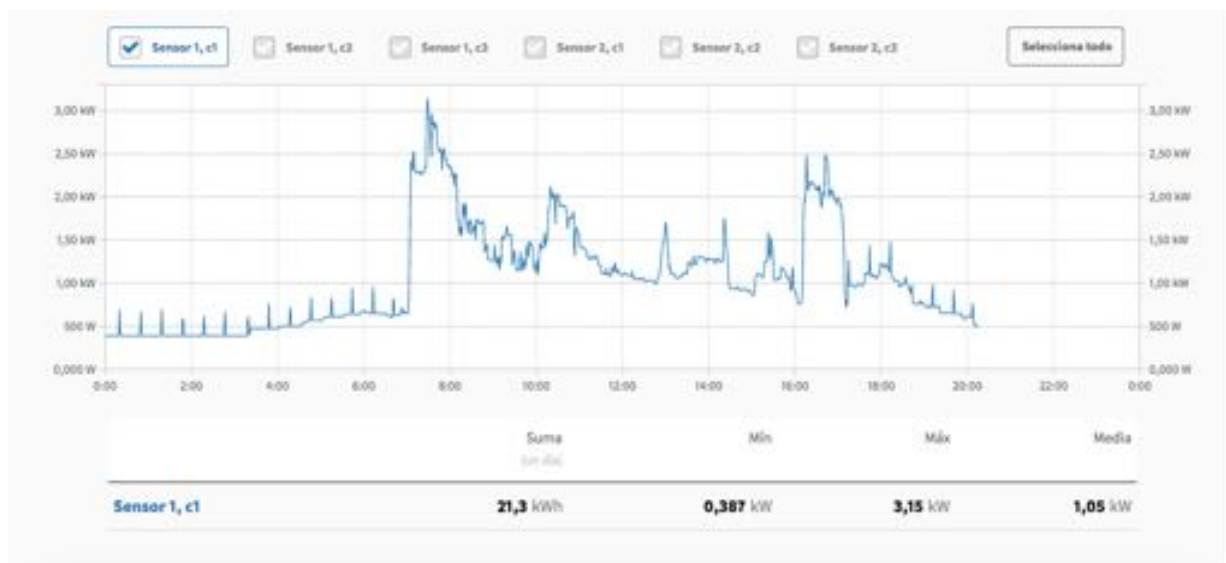


Figura 32: Perfil de consumo del High School

3.4.4 CONSUMOS MEDIDOS MANUALMENTE

Para las siguientes edificaciones, la toma de datos de los consumos se ha hecho de manera diferente. Hemos calculado todos los dispositivos conectados al sistema y calculado la potencia máxima que puede demandar, esta potencia máxima se daría si todo se conectase a la vez. Por lo tanto, se ha documentado el número de bombillas, de enchufes, de ordenadores y otros aparatos.

3.4.4.1 Consumos del Primary

El Primary, tiene los siguientes consumos:

	Nº			
Consumo (W)	elementos por edificio	Consumo (W)	Nº edificios	Potencia (KW)
Bombilas	10	7	12	0,84
Enchufes	20	5	1	0,1
Ordenadores	5	100	1	0,5
Tablets	15	5	1	0,075

Figura 33: Tabla de consumos del Primary

Por ende, la potencia máxima demandada en todo el Primary será el caso en el que todo este conectado a la vez. Esta es:

$$0,84 + 0,1 + 0,5 + 0,075 = 1,515 \text{ kW}$$

3.4.4.2 Consumos del “Resto”

Hay un conglomerado de edificaciones que nos falta por documentar, para poder estudiarlos con más detalle los analizamos todos juntos, y a la hora de calcular los consumos totales, los metemos en la misma categoría, denominada “Resto”.

El Resto esta compuesto por las casas del Policía, del Cura, de las monjas, del director, de los Staff Houses y del Cluster. Se estudian como un conjunto debido a su poca demanda de potencia cuando lo comparamos con todo el consumo del Village, pero también se estudiará el “Resto” detalladamente.

Además, cabe destacar algunos electrodomésticos que tienen por ejemplo, las monjas y el cura, tras hablar con ellos y con los trabajadores de la aldea nos han comentado que muchas veces no pueden hacer uso de estos electrodomésticos, debido a que no tienen el sistema eléctrico suficientemente capacitado para suplir las demandas de dichos aparatos, como por ejemplo, una nevera, que consume 150 W. Adjuntamos a continuación la tabla de consumos de cada edificio.

Grupo	Nº edificios	Nombre elemento	Nº elementos por edificio	Consumo (W)	Potencia (KW)	Potencia por grupo
Cluster	26	bombillas	7	7	1,274	1,274
Policia	1	bombillas	9	7	0,063	0,093
		enchufe	6	5	0,030	
Monjas	1	bombillas	10	7	0,070	0,445
		televisión	1	60	0,060	
		nevera	1	150	0,150	
		dispensador de agua	1	65	0,065	
		ordenadores	1	100	0,100	
Cura	1	bombillas	11	7	0,077	0,482
		ordenadores	1	100	0,100	
		enchufes	4	5	0,020	
		nevera	1	150	0,150	
		ventilador	1	70	0,070	
		dispensador de agua	1	65	0,065	
Director	1	bombillas	8	7	0,056	0,119
		radio	1	2,5	0,003	
		televisión	1	60	0,060	
Staff Houses	15	bombillas	7	7	0,735	0,735
Iglesia	1	bombillas	20	7	0,140	0,140
Potencia total	--	--	--	--	3,1475	

Figura 34: Tabla de Consumos del "Resto"

La potencia total que se aprecia en la tabla superior es la potencia máxima que pueden llegar a demandar todo el conjunto de edificaciones como máximo, esta es 3,148 kW, y a continuación desglosamos dicha potencia por grupos, para poder obtener una Figura de los consumos en proporción.

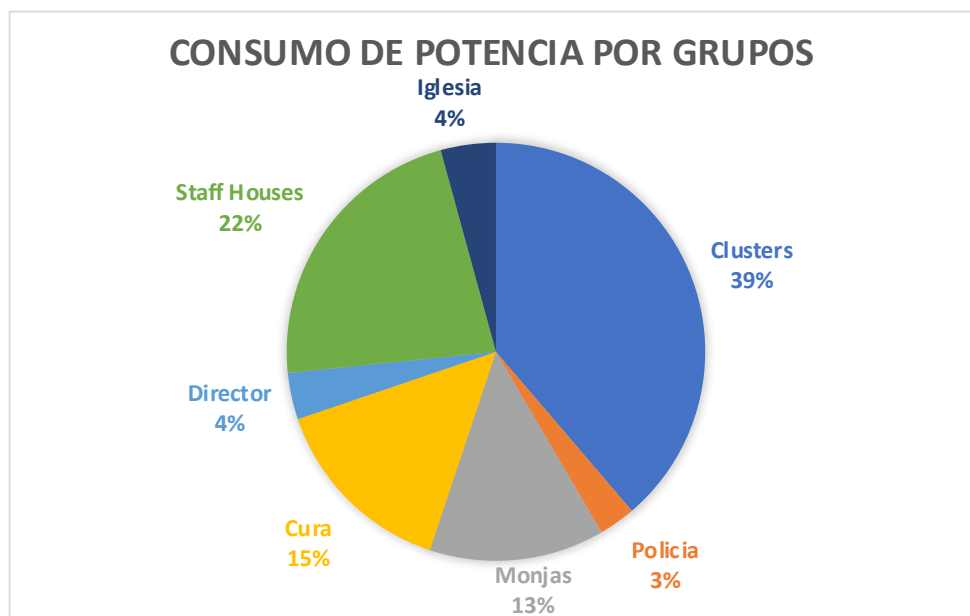


Figura 35: Proporción de Consumos por Grupos

3.4.4.3 Consumos de las Estaciones de Bombeo

Como hemos comentado en el apartado de Distribución Actual, vamos a conectar las dos estaciones de bombeo potables a la red de distribución, pero la red de distribución se pretende modelar para poder crecer en un futuro, esto implica que en un futuro la línea ha de ser capaz de transportar la energía demandada a las otras dos estaciones de bombeo de agua de regadío.

Las potencias de las bombas son:

Pozos	Potencia de las bombas (kW)
Booster	5,5
Tower Pump	5,5
Government Pump	4
Tana Athy Pump	7,5
T4C Pump	4

Figura 36: Tabla de potencias de las bombas

En la tabla insertada arriba, se pueden observar las potencias de todas las bombas que se encuentran en Nyumbani, sin embargo, para analizar las Potencias demandadas actuales, vamos a estudiar el Booster, el Tower Pump y el Government Pump, que son las bombas que se van a conectar a la red de distribución desde una primera instancia, y las potencias demandadas por el resto de las bombas se tendrán en cuenta a la hora de calcular los cables y las líneas.

Por lo tanto, la potencia total demandada por las bombas es:

$$5,5 + 5,5 + 4 = 15 \text{ kW}$$

3.4.5 CONSUMO FUTURO LIVE STOCK

Actualmente el Live Stock no dispone de electricidad, y no tiene conexión alguna, pero para poder aumentar la producción y por ende mejorar la alimentación de los niños del Village, se desea adquirir herramientas que les van a ayudar a avanzar y sacar la máxima producción de su ganado.

El proyecto que Nyumbani tiene en mente consiste de dos métodos de trabajo diferentes, el primero es mejorar sus producción de lácteos, es decir, aumentar su cantidad de vacas ordeñadas al día a 74, cuando ahora se ordeñan 14, es decir 60 vacas mas. El segundo proyecto es avicultura, en el que se quiere poder incubar hasta cien huevos.

Para poder lograr este avance, se propone instalar un cortador de paja, maquinas para ordeñar, nevera para medicamentos y una nevera de hasta 1000 L para el mantenimiento de la leche de vaca, un calentador de agua, incubadoras y “luces para gallinas ponedores”.

Live Stock Power Consumption	Power (W)	Quantity	Power (W)
Milking Machines	746	1	746
Chaff Cutter	746	1	746
Medicine Fridge	400	1	400
Milk Cooler (1000L)	2250	1	2250
Heater (boiler)	2200	1	2200
Lightning	14	14	196
Chicken Incubator	200	2	400
Broiler Lightning	250	2	500
		Total Power	7438

Figura 37: Consumo Futuro Live Stock

Por lo tanto, en los planes de futuro de Nyumbani entra la posibilidad de aumentar su producción de productos lácteos y de avicultura, este aumento no se va a considerar dentro de los consumos totales, debido a que se llevara a cabo cuando el segundo Solar Farm estuviese disponible.

3.4.6 CONSUMOS TOTALES

Ya obtenidos los consumos de todos los lugares del Village, podemos comenzar a crear la red de distribución de energía, asegurándonos que esta es capaz de suministrar a cada punto la potencia máxima si se necesitase.

Las potencias máximas de cada sitio las adjuntamos en la siguiente tabla. Además, es de vital importancia la localización de todas estas potencias, ya que una de las cuestiones de este proyecto es si económica y energéticamente merece la pena un segundo Solar Farm para suministrar a Nyumbani.

Otra decisión importante que tiene que ver con los consumos es el tipo de cable y la sección de este, para poder dimensionar dichas líneas a medida.

Adjuntamos a continuación un reparto visual de las potencias, y una tabla con dichas potencias máximas demandadas.

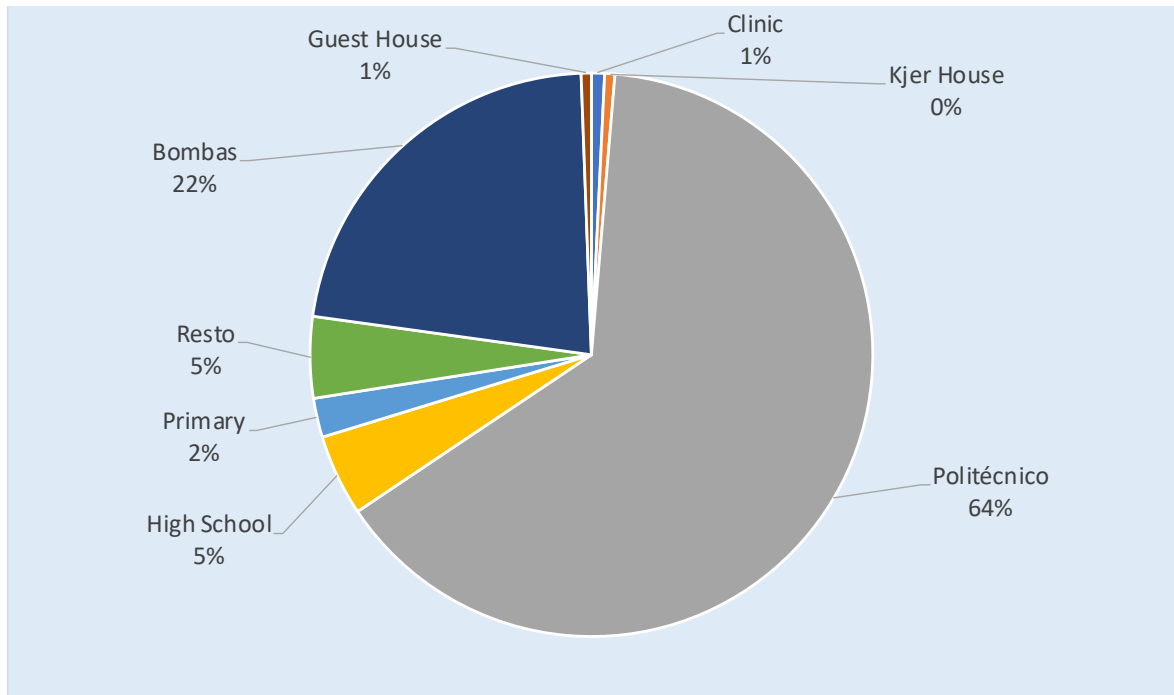


Figura 38: Potencias máximas de Nyumbani

Clinic	Kjer House	Politécnico	High School	Primary	Resto	Bombas	Guest House	Unidades
0,508	0,395	43,38	3,15	1,515	3,1475	15	0,395	(kW)
0,8%	0,6%	64,3%	4,7%	2,2%	4,7%	22,2%	0,6%	

Figura 39: Tabla de consumos máximos de Nyumbani

Capítulo 4. TEORÍA

4.1.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO

En zonas rurales en las que no hay acceso a la red, un sistema fotovoltaico aislado es la manera más óptima de autoabastecerse. La energía solar en lugares como Kenia, que tienen una gran irradiación solar pueden solventar los problemas que tienen en las áreas rurales, como Nyumbani. En lugares remotos como este, antes de contar con un sistema fotovoltaico se generaba energía a través de generadores diésel, que no solo es más contaminante, sino también más caro.

Un sistema fotovoltaico aislado permite a través de la generación de energía solar, alimentar como es nuestro caso una aldea, además de almacenar energía para poder hacer uso de esta energía sobrante durante las horas nocturnas o durante días en los que la producción no cubra los consumos de la aldea.

Los componentes básicos para cualquier instalación fotovoltaica son los paneles solares, el regulador de carga, el banco de batería y el inversor.

Los paneles solares convierten la irradiación solar en energía, estando esta en corriente continua con una tensión irregular. Cuanto mayor sea la irradiación y la eficiencia del panel, mayor será la cantidad de energía producida.

El regulador de carga se encargan de controlar y regular la carga de las baterías solares, evitan que se creen descargas no deseadas y sobre descargas. Estabiliza la tensión de la energía producida por los paneles solares.

Las baterías almacenan la energía producida durante las horas de sol, para alimentar la red cuando la energía producida por los paneles no cubre la potencia demandada.

El inversor es el encargado de transformar la corriente continua en alterna para su uso (Sun, 2021). A continuación podemos observar de manera visual como funciona este conexionado en Nyumbani.

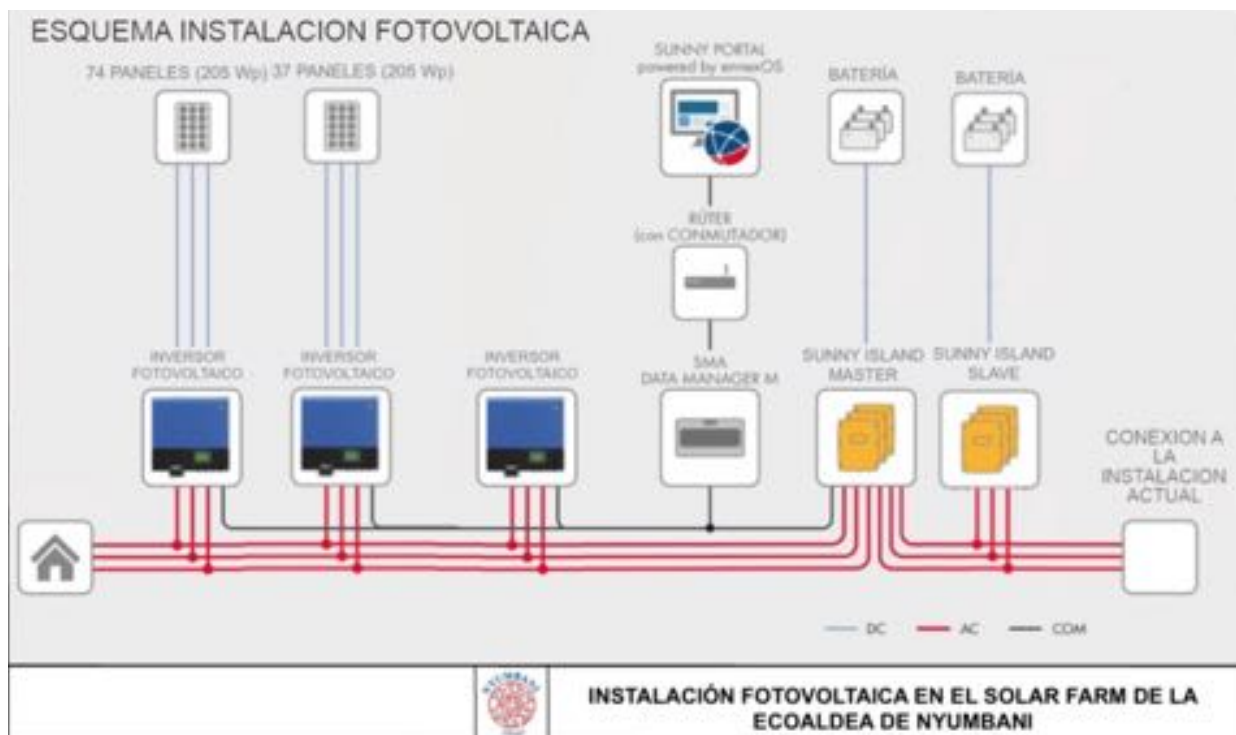


Figura 40: Sistema Fotovoltaico asilado de Nyumbani. Fuente: (Soto, 2022)

4.1.2 RED DE DISTRIBUCIÓN

El sistema de suministro eléctrico lo forman diferentes fases, la generación de energía, el transporte y la distribución. La generación es la encargada de suministrar toda la energía demandada por los clientes, el transporte suele ser de alta o media tensión y lleva la energía a las subestaciones, donde esta se transforma en baja tensión y pasa a ser distribuida a los consumidores.

En el caso de Nyumbani, la red de distribución es off-grid, lo que significa que no está conectado a la red. Por lo que Nyumbani cuenta con su propia red de distribución de

autoconsumo que esta compuesta por la generación y la distribución en baja tensión. No consta de red de transporte. Esto es debido a que no hay distancias tan largas que hagan rentable la subida y bajada de tensión mediante subestaciones y centros de transformación.

Se pretende implementar en Nyumbani una red operada con dos anillos, para obtener un sistema altamente interconectado que no deje sin suministro a todos los clientes posteriores si se produce un error en la red. (Aliyari, s. f.)

Como comentado, nuestra red de distribución cuenta con los apartados de generación y distribución en Baja tensión, la denominada red secundaria. Según el objetivo de este estudio, nos centramos en la distribución en Baja Tensión, que se caracteriza principalmente por tener una tensión nominal entre fases inferior a 1.000V.

La energía en baja tensión puede ser distribuida de manera aérea o subterránea. Lo que regula cada una en España es el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión REBT en su Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT 06 para líneas de distribución aéreas, la ITC-BT 07 para las subterráneas y/o la ITC-BT 08 para las dos.

4.1.3 TRANSPORTE EN AC O DC

Las diferentes instalaciones fotovoltaicas, pueden estar acopladas en Corriente Alterna (CA) o en Corriente Continua (CC). Los paneles solares producen energía en CC y las baterías almacenan en CC. Si los consumos son en Corriente Continua, se prescindirá de un inversor, sin embargo si la red se alimenta en CA, se necesitará de este aparato.

Los sistemas acoplados a CC se han utilizado durante décadas en instalaciones solares fuera de la red y sistemas de pequeña capacidad, en cambio las instalaciones aisladas acopladas a CA están pensadas para sistemas grandes y medianos con demanda en CA (Sun, 2021).

Los sistemas acoplados a CA tienen una mayor eficiencia energética, que se traduce en un mayor rendimiento, además de un menor desgaste de baterías, ya que la energía va directa

al consumo. El sistema que tiene Nyumbani y sobre el que vamos a trabajar es un sistema acoplado a CA.

4.1.4 BT, MT Y AT

Las diferentes tensiones que circulan por las redes son tres, la tensión de alta, de media y de baja. Estas se utilizan en función de el punto de la red en la que nos encontremos y de la utilidad que le demos en cada caso.

Desde la salida de los puntos de generación hasta las subestaciones, que corresponde al transporte de la energía, se utiliza la alta tensión. Por definición, la alta tensión es toda aquella tensión superior a 36 kV. Durante ese tramo se usa dicha tensión para minimizar las pérdidas por la línea.

Una vez llegada la corriente a las subestaciones, se transforma a media tensión. La media tensión es aquella que esta entre 1 y 36 kV. Desde las subestaciones la corriente se transporta a los centros de transformación, estas distancias no suelen ser tan largas, si lo fuesen seguirían siendo redes de alta.

Una vez llegada la corriente a los centros de transformación de MT/BT, se transforma en baja y se distribuye a los nodos de demanda como lo son por ejemplo, los domicilios de una ciudad. La baja tensión es aquella cuya tensión inferior a 1 kV. A los consumos de residencias le suele llegar 230 V o 400V, y los cables de Baja Tensión suelen tener como tensión nominal 600/1000 V.

En Nyumbani, toda la red de distribución es de baja tensión, esto es debido al alto coste que tienen los transformadores de Media a Baja y a que las distancias no son lo suficientemente largas como para rentabilizar una red en Media Tensión.

4.1.5 GENERACIÓN DISTRIBUIDA O CONCENTRADA

En el sistema eléctrico convencional, la mayor parte de la generación se encuentra concentrada, frente a este modelo tradicional surge una nueva alternativa, la generación distribuida. Este nuevo modelo acerca la generación al consumidor. La complementariedad entre ambos modelos es la base para crear una Smart City.

La generación distribuida es un equilibrio entre muchas pequeñas fuentes de generación que se encuentran cerca de los puntos de consumo y centros de generación capaces de administrar una potencia considerada media – grande.

La cercanía entre los puntos de generación y los nodos de demanda supone una mejora ambiental y energética, ya que se disminuyen las pérdidas en el transporte, gracias a eso, la eficiencia del sistema de generación distribuida disminuye los costes económicos.

En Nyumbani se considerarían los centros de generación el Solar Farm y una posible ampliación de esta en otra parte del poblado, y los puntos de micro generación serían los ya instalados, como son por ejemplo, los paneles que se encuentran en la clínica o en el High School.

La generación distribuida tiene ciertas ventajas frente a la generación concentrada, la primera es que reduce las pérdidas en la red eléctrica. Estar más cerca de los puntos de demanda acorta la distancia que tiene que recorrer la corriente, lo que implica una menor caída de tensión, y menos pérdidas en la línea.

La segunda gran ventaja es la capacidad que tiene de mejorar la fiabilidad y la calidad del sistema eléctrico. Al haber varios puntos de micro generación, si hubiese algún altercado en alguna de las fuentes no supondría un apagón en toda la aldea. Además, contando con una red radial, un fallo en alguna de las fuentes tendría un impacto mucho más reducido que si no contásemos con una generación distribuida y una red radial (Fundación Endesa, s. f.)

Estudiando los casos de generación distribuida o concentrada en Nyumbani, la pregunta que resalta es la de poner un segundo Solar Farm en el Village. Aparte de las micro generaciones que tiene Nyumbani en cada una de sus edificaciones, se quiere que todos e incluso las bombas de agua puedan ser suministradas con la energía proveniente del Solar Farm y de ciertas instalaciones grandes, como las de los pozos, el clínico y el High School.

Por ende, Nyumbani cuenta con un punto de generación que es el Solar Farm (no contamos las bombas ya que a día de hoy no tienen si quiera capacidad para autoabastecerse, por ello tienen un generador diésel), y se quiere estudiar los dos posibles caminos que puede seguir Nyumbani a la hora de expandir la capacidad energética generada.

La primera opción sería la de agrandar el Solar Farm, este tiene actualmente 120 Paneles, y se podría agrandar y distribuir desde este punto a toda la aldea. Esto lo consideramos como seguir con una generación distribuida. La segunda opción es la de crear un segundo Solar Farm en Nyumbani, por lo que contaría con dos puntos diferentes de generación. Sería una generación distribuida en dos puntos.

Tras comentar las ventajas de la generación distribuida anteriormente de manera teórica, estudiamos las ventajas e inconvenientes que hemos podido observar a nivel real durante nuestra estancia en Nyumbani, los principales son el Mantenimiento y las Perdidas de potencia por la línea.

Benson Wasua, electricista de Nyumbani, es el encargado de mantener y arreglar toda la instalación eléctrica. Al contar con una generación distribuida a través de micro generación, y con los pocos medios que tienen aquí, no es capaz de cubrir toda la aldea, que tiene una extensión de mil acres, 404,686 hectáreas, y aproximadamente un total de 136 puntos de micro generación. En la tabla encontrada a continuación se puede observar las diferentes edificaciones que cuentan con su propio sistema de autoabastecimiento.

	Edificios con Generacion
Bombas	4
Clusters	26
Kjer house	1
Gest House	1
Clinica	1
Staff Houses	15
High School	6
Primary	2
Solar Farm	1
Casa Cura	1
Casa Monja	1
Iglesia	1
Policia	1
Director	1
Total	62

Figura 41: Puntos de Generación de Nyumbani

Agrandar el Solar Farm, para que este pueda cubrir la demanda de toda la aldea le daría a Benson la facilidad de controlar, hacer el mantenimiento y resolver los problemas de toda la aldea desde un solo lugar. Esto es de vital importancia, debido a que el más simple acto por ejemplo, de limpiar los paneles solares para que tengan una generación optima o de estudiar los estados de las baterías para encontrar problemas de almacenamiento, le supone a Benson recorrerse toda la aldea, sin embargo, si estuviese todo concentrado en el Solar Farm, esta labor podría ser realizada de una manera mucho más eficaz.

Tener uno o dos Solar Farms cuando hablamos de mantenimiento no es gran diferencia, debido a que ya estaríamos pasando de más de ciento treinta puntos de generación a uno o dos. La mejora es sustancial independientemente de la decisión tomada.

En cuanto a pérdidas por la línea, Nyumbani ya experimentó un problema cuando se creó el Solar Farm. Las pérdidas de la línea que se hizo entre el Solar Farm y el Government Pump, no permitían el arranque de la bomba. Estas pérdidas no estudiadas produjeron que Nyumbani se viese obligado no solo a mover paneles de localización, sino a comprar un sistema de generación diésel para que estas pérdidas por la línea no afectasen al funcionamiento de la bomba.

La importancia de las pérdidas también entra en juego cuando estudiamos la ampliación de Nyumbani, no solo en unos consumos futuros más altos sino en una conexión más amplia (por ejemplo, las bombas de regadío no se van a conectar en este primer estudio, pero se desearía que estuviesen conectados en un futuro). Esto significa líneas más largas, que por consecuencia es una mayor caída de tensión y más pérdidas, que de tener dos puntos de generación diferentes no pasaría.

Estudiando hipótesis diferentes, hemos de considerar la posibilidad de que el Solar Farm tenga una avería. Si hubiese una batería y la generación fuese concentrada, esto desencadenaría en toda la aldea perdiendo la electricidad, claro está que la micro generación está de plan B y podría solventar el problema durante un tiempo limitado o funcionaría para producir lo mínimo. De tener dos puntos diferentes, la avería de uno de los Solar Farms no desencadenaría en unos resultados tan graves debido a que tanto la generación como el almacenamiento de uno de ellos podría suplir esta avería.

4.1.6 COBRE VS ALUMINIO

Con los comienzos de la electricidad, en la época de Benjamin Franklin y Michael Faraday se comenzó a utilizar el cobre como conductor. Los metales no magnéticos son los que se usan para distribuir electricidad, esto es debido a su alta conductividad, sin embargo hay una alta diferencia entre la conductividad de unos frente a otros.

El cobre es el conductor por excelencia, es el metal no magnético con mayor conductividad. Los otros tipos de elementos usados para esta función son el aluminio, la plata, el oro y otros más. Sin embargo los que más se usan para instalaciones eléctricas son el cobre y el aluminio, sin embargo hay una gran diferencia entre estos dos metales, no solo a nivel de conductividad sino también en cuanto a propiedades físicas.

A la hora de elegir un conductor, las características más importantes son la conductividad, el precio, la resistencia a la tracción y el peso (Maqueda, 2019). La decisión entre un material u otro se suele tomar teniendo en cuenta estas características. Adjuntamos una tabla comparativa entre estos dos materiales para poder realizar una comparación exhaustiva, y poder decidir con criterio que tipo de material le convendría a Nyumbani.

	Cobre	Aluminio
Mayor conductividad	✓	
Mayor resistencia a la traccion	✓	
Mayor peso	✓	
Menor precio		✓
Mas duradero (cual aguanta mas)	✓	
Mayor riesgo de incendio		✓
Mayor conductividad termica	✓	
Mayor expansion Termica	✓	
Beneficioso para largas distancias		✓
Mas maleable		✓
Altas propiedades ductiles	✓	
Se suelda con facilidad	✓	

Figura 42: Características entre el Cobre y el Aluminio

las características para poder rellenar esta tabla con información corroborada la hemos obtenido las siguientes fuentes, (Maqueda, 2019), (Ventajas y desventajas del cobre vs aluminio en el cableado eléctrico, 2022), (Recio, 2022), (Londoño, 2018)

Además de lo comentado, el aluminio, requiere de más mantenimiento, esto es debido a que la corrosión causada por el agua le afecta más que al cobre, lo que desencadena en más pérdidas en la línea y más facilidad de tener averías.

Según Gómez Maqueda *“El aluminio tiene solo el 60% de la conductividad del cobre, pero solo el 30% de su peso. Eso significa que un cable pelado de aluminio pesa la mitad que uno de cobre con la misma resistencia eléctrica”* (Maqueda, 2019), también hay que tener en cuenta la relación que tienen ambos materiales en cuanto a precio y es que el aluminio es tres veces más barato que el cobre. La comparación entre ambos cables se tiene que llevar a cabo para una misma conductividad, es decir, para una misma resistencia eléctrica.

La importancia que tiene la conductividad se puede observar en el cobre. A mayor conductividad, se puede transportar electricidad con una sección menor, lo que resulta en menos material, que es menos peso y menos coste.

Por lo tanto, como podemos ver en la tabla insertada de “E Management” (Alvarado, 2017), comparamos los dos materiales para la misma conductividad.

Características	Cobre	Aluminio
• Resistencia a la tensión (lb/in ²)	50,000	32,000
• Resistencia a la tensión para la misma conductividad (lb/in ²)	50,000	50,000
• Peso para la misma conductividad	100	54
• Sección transversal para la misma conductividad	100	156
• Resistencia específica (ohms-cir/mil ft) (20 °C ref)	10.6	18.52
• Coeficiente de expansión (por °Cx10 ⁻⁶)	16.6	23

Tabla 1. Nota. La información fue obtenida de los boletines de material y propiedades B12H60 para aluminio de GE

Figura 43: Comparativa entre Cobre y Aluminio. Fuente: (Alvarado, 2017)

Para una misma conductividad y utilizando una corriente específica, según E Management *“la sección transversal de la barra de aluminio será 56 por ciento mayor que la de cobre y la resistencia a la tensión para la misma conductividad será igual en ambos materiales.”* (Alvarado, 2017). Por lo tanto, si trabajamos con la misma potencia transportada, lo que implica secciones diferentes para los diferentes metales, se obtendrá una capacidad de soportar esfuerzos mecánicos generados durante un cortocircuito iguales para el Cobre y el Aluminio.

Hay dos fenómenos que producen grandes pérdidas de energía, estos son el Efecto Corona y el Efecto Joule. El efecto corona es producida por la ionización del aire que rodea a un conductor. Sucede en altas líneas de tensión, y resulta en grandes pérdidas de energía. El aluminio reduce este efecto corona. Por lo que para líneas de alta tensión es más aconsejable el aluminio que el Cobre.

El efecto Joule, se genera por el calentamiento de los cables, debido a la corriente de energía que fluye por los cables. Este calor se debe a la resistividad del material usado. La resistencia de un cable es directamente proporcional a la resistividad del mismo, y la potencia disipada por el efecto Joule es dicha resistencia por la corriente al cuadrado.

Para reducir el efecto joule, se debe o aumentar la sección del cable o ventilar los cables, si estos están distribuidos de manera aérea, tienen mayor ventilación y sus pérdidas por dicho efecto serán menores. En una distribución subterránea la protección y el aislamiento exterior del cable que impide la toma a tierra del cable enterrado dificulta la evacuación del calor. (WordPressMatyse, 2019).

A la hora de calcular la conductividad de un material, influye la temperatura a la que este se encuentra. La caída de tensión de una línea es inversamente proporcional a la conductividad, y esta es inversamente proporcional a la temperatura, por lo tanto, cuando calculamos dicha conductividad lo idílico es calcularla con la máxima temperatura a la que este material puede estar sometido. Nos posicionamos en el caso más desfavorable para dimensionar con cierta

seguridad, y de tal modo asegurarnos que la caída de tensión obtenida no será mayor en función de su conductividad, sino que será el máximo que puede llegar a obtener.

Por lo tanto, a mayor temperatura, menor conductividad y mayor caída de tensión. Por ende, usando la temperatura máxima, obtenemos la caída de tensión máxima según la conductividad. Utilizamos una temperatura de 903 centígrados para hacer los cálculos, con dicha temperatura la conductividad del aluminio es de 27,8 y la del cobre es de 45,49. A continuación adjuntamos una tabla de Prysmian en la que se puede observar la conductividad de ambos materiales en función de su temperatura.

temperatura del conductor			
	20°C	Termoplásticos 70°C	Termoestables 90°C
Cobre	58	48,47	45,49
Aluminio	35,71	29,67	27,8

Figura 44: Conductividad de Materiales. Fuente: (Recio, 2022)

Debido a las diferentes necesidades energéticas de cada edificación del Village, se decide hacer la instalación tanto de Cobre como de Aluminio, debido al precio que tienen estos y las pérdidas que tienen. De tal forma que habrá un circuito de Aluminio que podrá distribuir la energía siguiendo un circuito en “8”, que nos permitirá disminuir las distancias de cobre, a la vez que minimizar el coste, debido a que una distribución en Aluminio es más barata que Cobre, y al poder tener un cable de mayor sección, las pérdidas no tienen porque ser mayores.

4.1.7 AÉREO VS SUBTERRÁNEO

La distribución de energía se puede llevar a cabo a través de un conductor aéreo o subterráneo. La red de distribución aérea, como su propio nombre indica, va soportado a través de aisladores instalados en postes, debido a que el aire ejerce de aislante. Gracias a

esto el conductor puede ir desnudo (Turrubiates, 2019a). La red subterránea es aquella en la que el conductor va bajo tierra, este conductor tiene que ir aislado y no puede tener contacto con la superficie.

Tras tener clara las dos maneras de distribuir la energía, procedemos a estudiar cual de los dos métodos puede ser más efectivo para la red de distribución de Nyumbani. Para esto vamos a comentar las diferentes ventajas e inconvenientes de ambas configuraciones.

Nyumbani no deja de ser una ONG dedicada a los huérfanos del SIDA en Kenia, por lo que dos de los aspectos más importantes a estudiar son la seguridad para los niños y el precio de la instalación.

Centrándonos primero en el precio entre ambas instalaciones, “desarrollar una instalación eléctrica con el tendido eléctrico subterráneo cuesta entre 2 o 3 veces más dinero que construir el tendido eléctrico de forma aérea” (Comuval, 2018). Sin embargo, como bien nos explica el artículo de Comuval, dependiendo de las condiciones del lugar, puede llegar a ser menos costoso cavar y enterrar el cable a hacer el tendido aéreo, por ejemplo, cuando el terreno es fácil de excavar, o cuando no hay obstáculos como tuberías de agua o de teléfono, puede llegar a ser más rentable realizar la instalación bajo tierra. (Comuval, 2018)

En cuanto a la seguridad, la red subterránea no expone a las personas ni los animales a la tensión a la que se encuentran, por lo que hay menos posibilidad de que suceda algún accidente eléctrico con los transeúntes. Además, unas condiciones climatológicas como fuertes vientos pueden provocar que la línea aérea se caiga en un edificio.

Para poder hacer una comparativa más exhaustiva entre ambos tipos de distribución de línea, hemos procedido a realizar la tabla que podemos ver a continuación. Los datos para llegar a esas especificaciones sobre los diferentes tipos de tendido las hemos sacado de los diferentes sitios, (Comuval, 2018), (Turrubiates, 2019a), (Turrubiates, 2019b) y (Granero, 2016).

	Red Aerea	Red Subterranea
Mas accesible	✓	
Mayor coste		✓
Requieren de mayor mantenimiento	✓	
Localizacion de fallos mas facil	✓	
Tiempo de construccion menor	✓	
Mejor estetica		✓
Mas segura		✓
Facil de robar	✓	
Menor perdidas de potencia transportada		✓
Menor caída de tension		✓
Campo electrico afecta a la superficie	✓	
Mayor resistencia a las sobrecargas	✓	
Mayor ciclo de vida	✓	

Figura 45: Características de redes aéreas y subterráneas

Aparte de las características expuestas en la tabla anterior, hemos de desarrollar algunas condiciones que afectan a la hora de elegir entre los diferentes tipos de red. Estas son las condiciones climatológicas y las condiciones de mantenimiento.

Las condiciones climatológicas que tiene la región de un país altera la electricidad que circula por las líneas según si esta es aérea o subterránea. Las redes aéreas tienen más cortes de energía, es decir, son más susceptibles de fallar debido a que están expuestas a grandes variaciones de temperaturas, fuertes vientos, tormentas, polvo u otros fenómenos meteorológicos que generan fallos o grandes pérdidas en la red de distribución.

Como comentado en la tabla, el mantenimiento es más fácil de llevarlo a cabo en las redes aéreas, esto es debido a que son más accesibles. Sin embargo, la mayor parte de los daños que se presentan en redes aéreas no afectan a las redes subterráneas. Por lo tanto, aunque el mantenimiento de las redes subterráneas sea más complicado, la necesidad de acceder a esta línea por motivos de averías es menor ya que no se ven afectadas tanto como las redes aéreas.

Recapitulando lo anterior, podemos darnos cuenta de que las redes subterráneas son más seguras, necesitan de menos mantenimiento, aunque este sea más complicado de realizar y a nivel eléctrico son más efectivas, teniendo menor caída de tensión y menores pérdidas de potencia. Por eso se eligen para la instalación de Nyumbani, porque es más seguro para los niños, necesita de menos mantenimiento y el coste entre realizar la red aérea o subterránea no difiere mucho, debido a que es un terreno fácil de excavar y no hay tuberías, líneas de comunicación, aceras ni calles que dificulten la excavación. Además en cuanto al mantenimiento, el Village solo dispone de un electricista, que es Benson Wasua.

4.1.8 BARRA DE DISTRIBUCIÓN DE COBRE – CONECTORES

En instalaciones eléctricas en las que nos encontramos con Cobre y Aluminio, hay que utilizar conectores para conducir la corriente desde un tipo de material hasta el otro esta unión entre ambos materiales ha de ser realizada por un personal cualificado, debido a que la mala conexión puede causar accidentes. Estos conectores también son llamados Busbar.

Se pueden englobar en dos grupos:

- Los conductores de cobre aislado; es la manera más segura de conectarlo, y se evitan la mayoría de los cortocircuitos empalmando los cables de esta manera, debido a que no se encuentran en contacto con nada excepto su aislante. (Favarello, 2021)
- Los conductores de cobre no aislado; conducen una corriente mayor que los aislados, por lo que no deben de estar en ningún punto de fácil acceso, para evitar accidentes. (Favarello, 2021)

En Nyumbani, se pretende diseñar la red de distribución con los dos materiales, el Aluminio para el mallado principal, que lo constituyen los anillos y el Cobre para los ramales. Para poder llevar a cabo esta instalación, se necesitarán de conectores que aseguren una buena conductividad por las conexiones y una unión segura y duradera.

En los empalmes, hay que asegurarse que la conexión esté hecha de una manera segura tanto mecánica como eléctricamente. Para que la conexión sea mecánicamente segura los cables han de estar lo suficientemente bien sujetos, y para obtener la seguridad eléctrica, no puede haber pérdidas de potencia. (Electricaplicada, 2022).

Los conductores bimetálicos son los que se usan para conectar cables y consta de dos cuerpos, uno de bronce o cobre y otro de aluminio, garantizando su conductividad (Talleres MAF, 2020). Estos conectores bimetálicos tienen ciertas ventajas, las más importantes son que garantizan la conductividad y evitan el par galvánico, además si se aplica grasa inhibidora al conector, se evita la corrosión y se mejora la conductividad (Talleres MAF, 2020).

En los puntos de unión entre estos materiales, se debe evitar que haya agua o humedad, esto no solo es porque el agua sea un excelente conductor, sino porque el Aluminio es un elemento que se oxida muy fácilmente y es muy reactivo. Por lo que el punto de contacto entre ambos metales ha de estar protegido. *“Los conectores están fabricados en dos componentes: piezas de aluminio (E-Al) y de cobre (según EN 13600). Generalmente la parte de aluminio tiene una sección mayor, ya que la menor conductividad se compensa con una sección transversal mayor”* (Klauke, s. f.).

Además, los terminales donde está realizado el empalme entre el Cobre y el Aluminio, no pueden estar sometidos a ningún tipo de tensión de flexión, ya que *“existe riesgo de rotura en el punto de contacto entre ambos materiales. Por tanto, no es posible utilizarlos en líneas aéreas”* (Klauke, s. f.).

Siempre que se haga una conexión entre estos dos metales, hemos de estudiar *“el par galvánico, el efecto creep y la oxidación ya que estos son los tres grandes enemigos de una instalación eléctrica con acometida de aluminio, pues son responsables de que se generen elevaciones de temperatura en los puntos de unión de la red eléctrica.”* (CILES, 2020) Los diferentes tipos de terminales son; los de pala, de ojo y de pin.

El de ojo “se emplea en subestaciones o en tableros con barras de cobre”, el de pala “se utiliza para equipos de potencia, los de medida, los de transformación y los de conducción, alimentados con conductores de aluminio”, y el de pin “Se utiliza en gabinetes de medidores de corriente, y en tableros de servicios generales y zonas comunes que se instalan con acometidas de aluminio.” (CILES, 2020).



Figura 46: Conector bimetalico de ojo



Figura 47: Conector bimetalico de pala



Figura 48: Conector bimetalico de pin

4.1.9 CALCULO DE LÍNEAS ELÉCTRICAS

Se calcula la línea de distribución abierta de sección constante, hay dos maneras de hacer el calculo. La línea será trifásica, y calcularemos la sección en función de la intensidad de corriente que circula por ella y en función de la potencia que consumen los receptores.

Las formulas, el calculo y el procedimiento se han llevado a cabo gracias al libro de “Instalaciones Eléctricas en Media y Baja Tensión”, de José García Trasancos. (Trasancos, 2022). El calculo de la línea en trifásica es el siguiente.

En función de la potencia:

$$s = \frac{\sum L * P}{c * e * V_L}$$

En función de la intensidad:

$$s = \frac{\sqrt{3} * \sum (L * I_L * \cos \varphi)}{c * e}$$

El significado de cada variable es el siguiente:

- V_L : Tension de la línea (V)
- e : caída de tensión de linea (V)
- I_L : intensidad de la línea de cada receptor (A)
- P : Potencia que consume cada receptor conectado (W)
- L : longitud de la línea, del extremo de alimentación a cada receptor (m)
- s : sección del conductor (mm^2)
- c : conductividad del conductor ($\frac{m}{\Omega * mm^2}$)
- $\cos \varphi$: factor de potencia de cada receptor

Hay que tener en cuenta que la densidad de corriente en cada tramo de la línea no debe sobrepasar los valores permitidos por el reglamento electrónico para baja tensión, para esto

se suelen considerar las intensidades de carga en fase, sin descomponerlas en sus componentes activas y reactivas, admitiendo como factor de potencia común el más desfavorable, con lo que las intensidades de corriente serán consideradas por exceso. (Trasancos, 2022).

Una vez hemos calculado la sección del conductor. Se procede a ver que sección normalizada es la mínima capaz de soportar la intensidad y la caída de tensión por dicha línea. Estas secciones comerciales se exponen en el siguiente apartado para que puedan ser consultadas.

4.1.10 SECCIONES NORMALIZADAS DE COBRE Y ALUMINIO

En la siguiente tabla se observa las diferentes secciones normalizadas que se van a poder instalar tanto de Cobre como de Aluminio, estas secciones normalizadas son las mismas para ambos materiales. Se podrá usar cualquiera de estas secciones en la instalación de Nyumbani.

Secciones normalizadas (mm ²)
1,5
2,5
4,0
6,0
10,0
16,0
25,0
35,0
50,0
70,0
95,0
120,0
150,0
185,0
240,0
300,0

Figura 49: Secciones Normalizadas

Capítulo 5. MÉTODO

5.1 OBJETIVOS Y ESPECIFICACIÓN

Tras haber tenido la posibilidad de obtener los consumos actuales de potencia de cada instalación de Nyumbani, y haber estudiado todo lo relacionado sobre la generación distribuida VS concentrada, los tipos de material o la mejor manera de distribuir la energía (Aéreo VS Subterráneo) procedemos a adentrarnos en los dos objetivos de este proyecto.

El primer objetivo es la decisión de un segundo punto de generación, si este fuese necesario. Vamos a estudiar la localización más óptima, teniendo en cuenta las potencias necesarias en cada punto de Nyumbani.

El segundo objetivo es crear una red de distribución que conecte todo Nyumbani, que sea capaz de soportar las caídas de tensión que pueden tener las líneas, las intensidades de arranque de las bombas y una posible máxima demanda, y además que este conectada de una manera que se optimice el cableado de este.

5.2 DATOS

Para elaborar estos resultados, vamos a hacer uso de las potencias máximas consumidas por las edificaciones de Nyumbani, además de la energía generada por cada conjunto de paneles que vamos a considerar para la red de distribución.

Localizacion	Potencia Demandada (kW)
Clusters	1,274
<i>Cada Cluster</i>	0,049
Policia	0,093
Monjas	0,445
Cura	0,482
Director	0,1185
Staff Houses	0,735
<i>Cada Staff House</i>	0,049
Iglesia	0,140
Clinic	0,508
Kjer house	0,395
Politecnico	43,38
High School	3,15
Primary	1,515
Bombas	15
Guest House	0,395

Figura 50: Potencias Demandadas

En la tabla superior hacemos referencia tanto al consumo de cada Cluster y cada Staff House independiente como a el conjunto de estos, ya que por ejemplo, el Staff Houses, se encuentran todos en la misma zona, y por ende no estudiamos cada Staff House de manera separada, sino de manera conjunta, como un solo punto de demanda.

A continuación mostramos una tabla donde se pueden encontrar los diferentes puntos de generación relativamente grandes que tiene actualmente Nyumbani, de estos, los que aparecen en negrita son las que se van a conectar a la red de distribución.

Puntos de generacion Solar	nº de paneles	Wattios pico por panel	Potencia pico de la instalacion (Wp)
Solar Farm	120	205	24.600
Booster	44	205	9.020
Government Pump	44	205	9.020
<i>Tana Athy Pump</i>	32	330	10.560
<i>T4C Pump</i>	24	275	6.600
Clinica	8	320	2.560
High School I	20	160	3.200
High School II	8	235	1.880

Figura 51: Puntos de Generación

No se han añadido los puntos de micro generación, debido a que a la hora de estudiar la red de distribución, se desea que todo Nyumbani pueda ser alimentado por aquellos puntos de generación de tamaño mediano / grande.

Sin embargo, actualmente hay aproximadamente un total de más de cincuenta puntos de micro generación, esto se debe a que en el proyecto de Luz en los hogares llevado a cabo en 2015, se instalo en cada Cluster y Staff House una minigríd para poder generar y almacenar energía.

Por lo tanto los diferentes puntos de generación en Nyumbani se encuentran en las siguientes edificaciones:

	Edificios con Generacion
Bombas	4
Clusters	26
Kjer house	1
Gest House	1
Clinica	1
Staff Houses	15
High School	6
Primary	2
Solar Farm	1
Casa Cura	1
Casa Monja	1
Iglesia	1
Policia	1
Director	1
Total	62

Figura 52: Puntos de Generación

5.3 GENERACIÓN:

El Solar Farm actualmente cuenta con 120 paneles solares, dos inversores en funcionamiento y 48 baterías, Sin embargo, este Solar Farm se creo con la intención de generar más de lo que esta generando a día de hoy, que es 24,6 kWp, en su momento se pretendía llegar a generar un total de 44 kWp gracias a los 216 paneles que instalaron. Sin embargo 88 de estos paneles se destinaron a las zonas de bombeo y los ocho restantes se han roto al cabo del tiempo.

Habiendo ya pasado ocho años desde que se inicio el proyecto del Huerto Solar de Energía sin Fronteras, la tecnología fotovoltaica ha avanzado a pasos agigantados, gracias a ello, hoy podemos completar el Solar Farm con menos paneles que nos podrán dar más vatio pico que los ya instalados.

Nuestra compañera Clara Soto Vergara ha estudiado esta ampliación de la generación que puede tener el Village, teniendo en cuenta tres casos de diferentes vatio Pico. Ha estudiado la generación y el precio que tendrían una instalación de 45 kW nominales, de 90 kW nominales y de 250 kW nominales.

5.3.1 AMPLIACIÓN DEL SOLAR FARM

El primer paso para satisfacer los consumos de Nyumbani es aprovechar los Inversores y las Baterías que hay en el Solar Farm para sacarle el máximo provecho, poniendo paneles donde antes había, de tal manera que cuando Nyumbani este conectado por la red de distribución, llegue toda la Potencia demandada a los diferentes puntos de la aldea. Adjuntamos una Figura del Solar Farm en la que se puede observar los paneles que faltan (marcado en verde se encuentra el lugar donde deberían de estar).



Figura 53: Vista Aérea del Solar Farm

Como se puede observar en la Figura, al Solar Farm le falta una fila de paneles entera y un tercio de otra, estos es lo que comentábamos anteriormente que ha de terminar de instalar paneles solares nuevos. Además en el contenedor donde se encuentran las baterías y los inversores, hay un tercer inversor que no esta en uso.

La ampliación del Solar Farm hay que estudiarla según la potencia que los inversores pueden mandar a la red. A día de hoy hay tres inversores Tripower instalados, cada uno con una capacidad nominal de 15 kW, además, para dimensionar los paneles solares a instalar, hay que dimensionar según el kWp, por lo tanto:

$$15 * 3 * 1,2 = 54$$

En Solar Farm se puede terminar de instalar paneles solares, hasta que estos tengan una potencia pico de 54 kWp, para hallar este numero se sobredimensiona un 20%, debido a que los paneles nunca son capaces de dar el vatio pico que tienen. Actualmente los paneles generan 24,6 kWp, por lo que se pueden instalar paneles que generen un total de 29,4 kWp.

Los inversores pueden dar a la red una potencia activa máxima de $15 * 3 = 45kW$.

Según los consumos máximos calculados, Nyumbani puede llegar a demandar 67,48 kW, lo que implica que completando el Solar Farm, junto con la generación de las bombas (9,02 kWp cada una), del clínico (2,56 kWp) y del High School (5,08 kWp), ya habríamos cubierto la generación máxima necesaria que puede llegar a tener Nyumbani, con la demanda actual.

$$\textit{Potencia demandada} - \textit{potencia generada}$$

$$67,48 - (45 + 9,02 + 9,02 + 2,56 + 5,08) = -3,02kWp$$

Por ende, la ampliación del Solar Farm supone cubrir la máxima potencia demandada por Nyumbani, sin embargo, se prevé que Nyumbani vaya a seguir creciendo, por lo que estudiamos el caso de un segundo Solar Farm.



Figura 54: Equipo de voluntarios, y Benson Wasua, en el Solar Farm

5.3.2 SEGUNDO SOLAR FARM

Un segundo Solar Farm supone una generación más distribuida, que puede suministrar a diferentes puntos de Nyumbani teniendo menos pérdidas. Los consumos de Nyumbani van a ir aumentando con los años. Las viviendas, tanto de los Staff, como los Clusters en un futuro deberán de poder contar con enchufes, más bombillas, una pequeña cocina o el general electrodomésticos que puedan mejorar poco a poco su calidad de vida.

Se pretende en un futuro conectar las otras dos bombas de agua a la red, la Tana Athy Pump y la T4C Pump. En Nyumbani ven como una posibilidad industrializar el Live Stock, por eso se ha analizado los consumos futuros de dicha edificación. Los consumos de Nyumbani van a ir aumentando con los años, de ahí la conciencia que se ha tenido a la hora de estudiar un segundo Solar Farm.

Tras haber podido estudiar los puntos de consumo futuros y los terrenos que están disponibles para albergar una granja de paneles solares, se ha encontrado con el terreno idóneo. Este se encuentra al lado de la Kjer House, con un fácil acceso a las bombas, al live stock y a una ampliación de “Trees 4 Children”, una plantación de arboles creada para financiar el Village que necesitan de un sistema de regadío.



Figura 55: Segundo punto de Generación delimitado por las líneas azules.

Por lo tanto, este segundo punto de generación se instalará según las necesidades futuras y a medida que Nyumbani vaya creciendo. La capacidad de este punto de generación en cuanto a vatio pico hora lo ha estudiado mi compañera Clara Soto, estudiando tres posibles casos de generación, 45 kW, 90 kW y 250 kW. En este estudio no entramos en detalle de la generación o del sistema fotovoltaico que se instalaría, sino en la distribución. Este segundo punto de generación se conectará a los anillos de Aluminio 240.

5.4 DISTRIBUCIÓN:

Para crear la red de distribución, hemos utilizado diferentes herramientas, para poder optimizar los caminos, ver las pendientes reales que tenemos en el terreno y medir las distancias de una manera precisa. Las diferentes herramientas que hemos usado son RNM, Wikiloc y Google Earth.

5.4.1 RNM

5.4.1.1 Funcionamiento del programa

RNM, cuyas siglas en ingles significan “Reference Network Model” es un programa desarrollado a través de un código de C++ por el Instituto de Investigación Tecnológica (IIT) de la Universidad Pontificia Comillas.

Como muestran en la pagina web en la que se explica el funcionamiento del programa y los proyectos en los que se ha utilizado, es una herramienta la cual diseña la red de distribución eléctrica a través de coordenadas GPS y las potencias consumidas y demandadas de cada nodo. Genera una red de distribución eléctrica en alta, media y baja tensión, de la manera más optima posible, considerando distancias, potencias demandadas y un precio orientativo. (Mateo, s. f.)

La finalidad de esta herramienta no es diseñar la red de distribución real, sino una red de referencia, como su propio nombre indica, que nos sirve para tener las estimaciones de longitudes de cable, precios y caminos por los que distribuir la electricidad.

Tiene dos funciones diferentes, Greenfield y Brownfield. Greenfield proporciona una red desde cero, dando a conocer como seria la conexión más optima entre puntos de generación y consumo de los diferentes nodos introducidos. Brownfield nos daría resultados para aumentar una red de distribución ya existente cuando se le añaden puntos de consumo o de generación.

En Nyumbani no existe una red de distribución como tal, por lo que se usa la herramienta “Greenfield”, que nos facilitara el conexionado de toda la aldea de la manera más optima, y podremos usar dichos resultados como los cimientos de nuestra red de distribución.

Para que el programa nos devuelva los resultados hay que introducir los siguientes datos por columnas:

Dato	Unidades	Otras especificaciones
coordenada X	Km	-
coordenada Y	Km	-
coordenada Z	Km	-
S=Settlement, N=outside	-	S
numero estadístico	-	no nos afecta (debido a que solo estudiamos una aldea)
codigo Postal	-	"
Low, Medium or High Voltage	-	LV seguido por un numero
Especificar si el punto consume o genera	-	c = Consume, g= Genera
Especificar si es Subterráneo o Aéreo	-	S= Subterráneo, A=Aéreo
Tension (kV)	kV	-
minimum cost of energy not supplied	-	0, no queremos que nos afecte el resultado
mean cost of energy not supplied	-	"
maximum cost of energy not supplied	-	"
P generada o consumida	kW	(-) si genera (+) si consume
Q generada o consumida	kVAR	"
Nuc: The number of the settlement that the point belongs to.		0, todos los puntos son del mismo Settlement

Figura 56: datos a introducir en RNM

Una vez ejecutado el programa, nos devuelve: un mapa de las líneas que se hace visible utilizando QGIS-LRT, las longitudes de los distintos tipos de cable (baja, media y alta tensión), las pérdidas de potencia y el coste de la red entre otras cosas.

Para nuestro caso específico, al ser una red de distribución en Isla, sin conexión a la red, el valor añadido obtenido gracias a RNM es la posible conexión óptima entre los diferentes puntos, introduciendo las coordenadas y unas potencias demandadas y generadas estimadas.

Hemos creado el siguiente fichero, que tiene los datos especificados anteriormente por columnas para los diferentes puntos de generación y consumo.

```
0.5493116 0.29024 0 S D 10000 LV1 c A 0.4 0 0 0 3 0 0 ;
0.7471840 0.33792 0 S D 10000 LV2 c A 0.4 0 0 0 3 0 0 ;
0.5951189 0.27372 0 S D 10000 LV3 g A 0.4 0 0 0 -5 0 0 ;
0.8453066 0.26984 0 S D 10000 LV4 g A 0.4 0 0 0 -5 0.1 0 ;
0.8097622 0.49312 0 S D 10000 LV5 c A 0.4 0 0 0 15 0.3 0 ;
0.7361782 0.59024 0 S D 10000 LV6 g A 0.4 0 0 0 -71 0 0 ;
0.8902378 0.37209 0 S D 10000 LV7 c A 0.4 0 0 0 5 0 0 ;
0.9645087 0.39537 0 S D 10000 LV8 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
1.1501877 0.33141 0 S D 10000 LV9 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
1.1867334 0.84556 0 S D 10000 LV10 g A 0.4 0 0 0 -1 0 0 ;
1.3956195 0.54631 0 S D 10000 LV11 c A 0.4 0 0 0 3 0 0 ;
1.0456821 0.09650 0 S D 10000 LV12 c A 0.4 0 0 0 3 0 0 ;
1.0456821 0.09650 0 S D 10000 LV13 c A 0.4 0 0 0 3 0 0 ;
0.6979975 1.06295 0 S D 10000 LV14 g A 0.4 0 0 0 -22 0.66 0 ;
0.8888611 0.33842 0 S D 10000 LV15 c A 0.4 0 0 0 5 0 0 ;
0.8106383 0.49299 0 S D 10000 LV16 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
0.8579474 0.84593 0 S D 10000 LV17 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
1.0105131 0.06471 0 S D 10000 LV18 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
0.9309136 0.98463 0 S D 10000 LV19 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
0.9277847 0.75882 0 S D 10000 LV20 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
1.0418513 0.25632 0 S D 10000 LV21 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
1.1652065 0.51564 0 S D 10000 LV22 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
1.2347935 0.49612 0 S D 10000 LV23 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
0.9914894 0.27534 0 S D 10000 LV24 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
1.0806000 0.43084 0 S D 10000 LV25 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
1.0826033 0.69036 0 S D 10000 LV26 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
0.7947434 0.73442 0 S D 10000 LV27 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
0.7536921 0.64681 0 S D 10000 LV28 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
1.0470580 0.65181 0 S D 10000 LV29 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
1.0774718 0.83392 0 S D 10000 LV30 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
0.5859825 0.42003 0 S D 10000 LV31 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
0.5604506 0.35294 0 S D 10000 LV32 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
1.0851064 0.23079 0 S D 10000 LV33 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
0.6415519 0.80150 0 S D 10000 LV34 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
0.5839080 0.70039 0 S D 10000 LV35 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
0.6190238 0.50313 0 S D 10000 LV36 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
0.6523657 0.58573 0 S D 10000 LV37 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
0.6795995 0.67284 0 S D 10000 LV38 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
0.7145181 0.76180 0 S D 10000 LV39 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
0.7116395 0.41352 0 S D 10000 LV40 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
1.2132666 0.32841 0 S D 10000 LV41 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
1.2649562 0.49449 0 S D 10000 LV42 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
1.1471840 0.73041 0 S D 10000 LV43 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
0.8453066 0.26984 0 S D 10000 LV44 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
1.2132666 0.32841 0 S D 10000 LV45 c A 0.4 0 0 0 2 0 0 ;
```

Figura 57: Código introducido en RNM

5.4.1.2 Resultado obtenido en RNM

Como hemos explicado anteriormente, al introducir el código en RNM, hemos obtenido unos resultados utilizando la herramienta Greenfield. Estos resultados son principalmente dos, el mapa de conexionado de referencia y un fichero de resultados.

Adjuntamos a continuación el mapa de conexionado obtenido y el fichero de resultados con los datos que nos son de utilidad. El fichero como tal lo añadimos en Anexos, para que pueda ser consultado si se necesita.

5.4.1.3 Mapa de conexionado

El RNM fue ejecutado en Madrid, por lo que las potencias introducidas eran estimadas, y además había puntos de consumo que desconocíamos, como el Government Pump, que no habíamos decidido aun si conectarlo o no a la red de distribución.

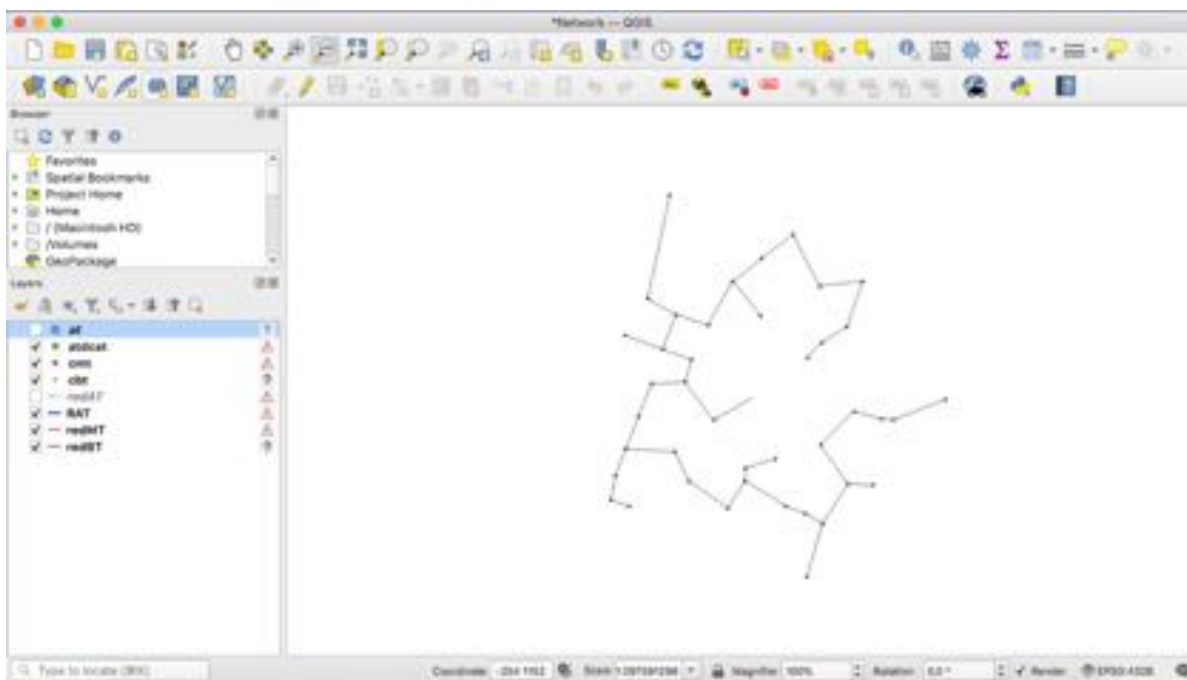


Figura 58: Visualización de QGIS-LRT de las conexiones.

Esta red de distribución es la conexión más optima de los puntos introducidos en RNM y la utilizaremos de referencia, como caso base. Nyumbani a nivel eléctrico es una isla, y queremos que todas las líneas sean LV.

El programa usado también nos devuelve líneas de Media Tensión, Alta Tensión, Subestaciones AT / MT y centros de transformación. Estos resultados no los utilizaremos, debido a que al no estar conectado a red no habra subestación, y porque se desea crear la red de distribución en Baja tensión. Sin tener que introducir Transformadores o líneas de Media / Alta. Esto es debido al coste que suponen dichas líneas o dichos CCTT, y Nyumbani es una ONG, por lo que el precio de la red es substancial a la hora de querer hacer el proyecto realidad.

Para darle más estabilidad a la red hemos decidido cerrar la red creando dos anillos, uno en la zona norte y otro en la zona sur. De tal manera que si se produce una desconexión, de algún punto de la red, a no ser que sea un extremo, pueda seguir suministrándose gracias a la red mallada.

A si quedaría la red de distribución que queremos implementar en Nyumbani.



Figura 59: Iteración del RNM con dos anillos cerrados

5.4.1.4 Fichero de resultados

El fichero de resultados lo añadimos en los anexos, sin embargo, para comentarlos adjuntamos aquí una tabla con los datos más relevantes:

Redes (solo conductores)		Red_BT	Clientes		BT
Longitud (km)		3,94	Número inicial		40
Inmovilizado a Coste Reposición		51497.83	Número puntos suministro		36
Man. Preventivo (anual)		533.66	Potencia contratada (MW)		0.10
			Demanda pico (MW)		0.04
			Energía consumida año 0 (MWh)		125.09
			Factor de potencia medio		1.00
Generacion Distribuida_BT		GD_BT			
Número		5			
Potencia instalada (MVA)		0.10			

Figura 60: Tabla Resultados RNM I

Coste de la red de distribucion		Red BT
Inmovilizado a Coste Reposición	euro	51497.83
Man. Preventivo (anual)	euro	533.66
	horas/año	4
Man. Correctivo (anual)	euro	0.00
Perdidas Año 0	euro	44.82
TOTAL (VAN)	euro	61132.65

Figura 61: Tabla resultados RNM II

Para conseguir los resultados expuestos arriba, hemos ejecutado el programa parcialmente, es decir, solo hemos ejecutado los resultados de baja debido a que al compararlo con los resultados totales (que incluyen los cálculos de líneas de Alta tensión y de Subestaciones AT/MT), nos dan pérdidas de potencia y precios que no son orientativos para nuestro caso.

Por ende, los resultados enseñados con anterioridad nos proporcionan unas estimaciones de la longitud de cable y del precio de este. Nos es de gran utilidad esta primera iteración, debido a que vamos a usar los posibles caminos y conexiones obtenidas como base de la red de distribución.

Para calcular las distancias reales entre cada punto, hemos obtenido gracias a Matlab las distancias en píxeles, adjuntamos a continuación el mapa con las distancias en píxeles. Estas distancias, han sido después cambiadas a metros, y con dichas distancias hemos calculado ciertas pérdidas que podemos encontrar en la sección de dimensionamiento.

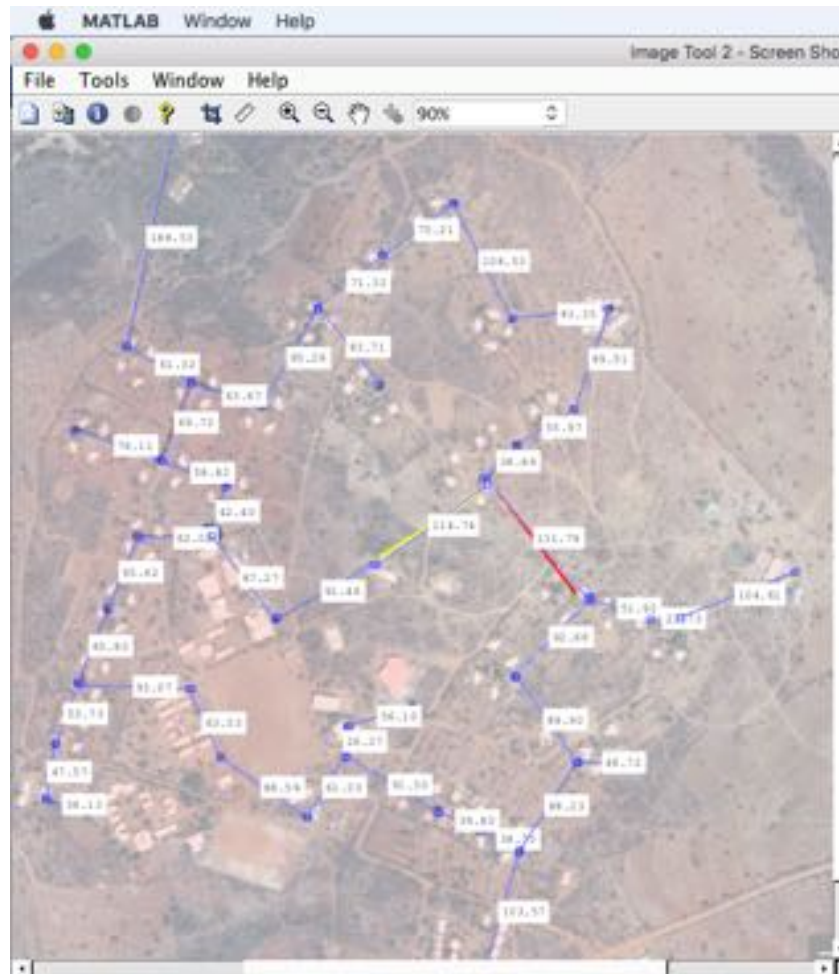


Figura 62: Distancias entre puntos en Pixeles

5.4.2 WIKILOC

5.4.2.1 Funcionamiento del Programa

Wikiloc es una aplicación móvil y web a través de la cual los usuarios pueden crear rutas de senderismo, rutas en bici y todo tipo de recorridos, además la app te devuelve datos como la longitud exacta de la ruta, que nos sirve para saber cuantos metros de cable necesitamos y el desnivel del camino.

5.4.2.2 Resultados obtenidos

Como hemos podido ver en la primera iteración de RNM, una de las maneras más optimas de conectar Nyumbani es mediante dos anillos y ramales. Aprovechando nuestra estancia en Nyumbani, y con la herramienta “Wikiloc” hemos podido recorrer estos dos anillos, obteniendo los perfiles de altura y la distancia exacta del recorrido.

El perfil de altura y las distancias y caminos que va a recorrer el cableado de aluminio 240 son los siguientes:



Figura 63: Circuito de Nyumbani

Esta es la circular que va a tener Nyumbani, que tiene una longitud de 2,04 km. Esta circular se va a cerrar como si fuese un ocho, con el siguiente camino que adjuntamos a continuación, que tiene una longitud de 0,4 km.



Figura 64: Circuito de Nyumbani.2

El camino recorrido permite conectar de manera directa y fácil el Primary, el Clinic y varias viviendas entre si y con el Solar Farm y todo el Politécnico.

Debido a que la red de Wikiloc conecta los principales puntos de mayor consumo y generación, los ramales de cobre que tendrá la red de distribución se van a calcular según las potencias demandadas, sobredimensionando hasta cierto punto, para que en un futuro sirva la red creada y no suponga un costo mayor a el Village. Estos ramales de cobre los vamos a estudiar en el apartado de dimensionamiento.

5.4.3 RED

Tras haber obtenido los caminos de la red de distribución con las aplicaciones y programas descritos anteriormente, se procede a analizar algunas conexiones que los habitantes de Nyumbani ven necesarias.

En 2019 se conectaron 20 farolas en el Village, para que cuando anochebiese (a las 18:30 en julio por ejemplo), los niños pudiesen seguir llegando a casa seguros y parte de los caminos estuviesen de alguna manera iluminados. Es interesante conectar estas farolas a la red de distribución, así como que la red transcurra por los caminos más usados por los alumnos, para que estos puedan llegar a sus domicilios de manera segura.

Actualmente Nyumbani tiene las siguientes farolas en funcionamiento distribuidas de la siguiente manera:



Figura 65: mapa farolas Nyumbani

Tras hablar con el director del Village, este nos ha compartido la idea de electrificar el Live Stock. El Live Stock es el lugar donde guardan los animales que tienen, los ordeñan, los crían y los tratan para que sirvan como alimento, este lugar no cuenta con luz alguna.

El Live Stock no tiene acceso a la electricidad, y según nos han comentado quieren que este disponga de electricidad, para poder trabajar durante más horas al día, o en horas más variadas, es decir, poder trabajar tras la puesta de sol.

Además, la leche es un bien muypreciado en Kenia, y más en Nyumbani, ya que los niños seropositivos necesitan este producto para poder contar con una alimentación adecuada y a día de hoy no disponen de ninguna nevera o ningún refrigerador para poder mantener esta leche durante más tiempo, lo que a veces los lleva a tener que deshacerse de este. Por ende, el Live Stock podría contar con algunas neveras para el mantenimiento de los lácteos ahí obtenidos.

Por ende, en el mapa de conexionado hemos de tener en cuenta tanto las farolas, como un posible consumo elevado en el Live Stock y la conexión de las bombas por dos caminos diferentes. Las líneas que llevarán electricidad a las diferentes zonas se van a calcular en el aparato de dimensionamiento.

5.5 DIMENSIONAMIENTO

5.5.1 CALCULO DE CAÍDA DE TENSIÓN HASTA EL PUNTO MÁS LEJANO DEL RESULTADO DE RNM

Para dimensionar la línea, el primer calculo lo hicimos según el resultado de RNM. cogimos el caso más desfavorable, que es el de mayor distancia desde el generador fotovoltaico (el Solar Farm) y el punto más alejado (los Staff Houses).

El tipo de método de instalación a emplear es el cables multipolares al libre o en bandeja perforada “E” Distancia a la pared no inferior a 0,3 d (siendo d=diámetro del cable). (Trasancos, 2022). El tipo de cable empleado es aquel que trabaja en trifásica con neutro (4 conductores) y con corriente alterna.

A la hora de calcularlo usamos el calculo de líneas de distribución abiertas de sección uniforme, debido a que vamos a estudiarlo con una sección constante, ya que, el día de mañana queremos que la instalación sirva para una posible ampliación, y si ajustamos cada tramo a las necesidades actuales, tendremos más complicación a la hora de agrandar el circuito.

Como comentado en el apartado de RNM, con los caminos obtenidos y cerrando la red en dos anillos, anillo norte y anillo sur, hemos calculado la distancia al punto más lejano del Solar Farm. El punto más alejado del Solar Farm, es el de las Staff Houses, Esta distancia es de 1222,15 metros, y se calculo la distancia en pixeles usando Matlab y la distancia en metros con un factor de conversión.

Calculo de distancias:	en pixeles	en metros	en km
Granja de Paneles - Staff Houses	846,340	1222,152	1,222

Figura 66: Distancia Solar – Staff

Calculamos la caída de tensión en función de la Potencia necesaria, por lo tanto, como podemos observar en la Figura de las distancias, la línea que va desde el Solar Farm hasta el Staff Houses tiene que alimentar a más de un edificio, por lo que calculamos la línea con una potencia demandada de 28 kW. El resto de los datos que utilizamos son los siguientes:

- e = Caída de tensión, utilizamos la máxima, 5%, 20V
- c = Conductividad del Cobre = 44 (m/ohm*mm²)
- c = Conductividad del Aluminio = 28 (m/ohm*mm²)
- V_L = tensión, 400 V
- P = potencia demandada, 28000 W
- L = Longitud de la línea, 1222,15 m

La formula usada para calcular la sección de la línea conocida la Potencia demandada, es la siguiente:

$$s = \frac{\sum L * P}{c * e * V_L}$$

Por lo tanto calculamos la sección necesaria para una línea de cobre y para una línea de aluminio, para así poder comparar ambas.

La sección de la línea de cobre es de 97,21 mm²

La sección de la línea de Aluminio es de 152,76 mm²

5.5.2 PERDIDAS Y CAÍDAS DE TENSIÓN EN BOMBAS



Figura 67: Localización de las estaciones de bombeo,

A la hora de calcular las líneas de distribución, hemos de hacer énfasis en la conexión entre las bombas y la granja solar. En el proyecto inicial de Energía sin Fronteras había conexión ente estas, pero no fructífero debido a que los motores de las bombas no arrancaban por su alta intensidad de arranque.

Por lo tanto vamos a comentar el porque no arrancaban en su momento, y como tenemos que dimensionar estas conexiones para que no vuelva a suceder este problema. Por ende, comentamos las conexiones entre las bombas, el solar y el Booster.

5.5.2.1 *Perdidas de Potencia & caída de tensión en la Línea Tower – Booster*

Durante nuestra estancia en Nyumbani Village, Kenia, hemos podido medir las tensiones e intensidades que tiene la línea que alimenta el Tower Pump. Esta línea va desde el Booster hasta el Tower Pump y es alimentada por un motor diésel que tiene las siguientes características:

Características del generador diésel del Booster:		
Sn	34	kVAR
Pn	27,2	kW
Un	415	V
In	47	A
Phase	3	-
Fn	50	Hz
-	1500	rpm
cos(phi)	0,8	
Conexión		Triangulo

Figura 68: Características Generador Booster

Los datos usados para hallar la potencia al principio y al final de la línea son:

- Voltaje entre fase y fase (U_{f-f})
- Intensidad de línea (I_L),
- $\cos \varphi$ del generador (0,8)

La formula usada es:

$$P = 3 * U_{f-n} * I_L * \cos \varphi$$

Las medidas obtenidas son las siguientes:

Datos en el Booster		
Intensidades (A)	Voltaje (Vf)	Potencia (W)
10,90	410,60	6201,49
10,60	407,60	5986,74
10,80	409,60	6129,63

Figura 69: Medidas en el Booster

Datos en el Pozo		
Intensidades (A)	Voltaje (Vf)	Potencia
10,50	401,30	5838,60
10,60	402,00	5904,49
10,60	399,00	5860,43

Figura 70: Medidas en el Tower Pump

Perdidas de potencia obtenidas:

$$\frac{Potencia_{TOWER} - Potencia_{BOOSTER}}{Potencia_{BOOSTER}} = \frac{5904,49 - 6201,49}{6201,49} = -4,79\%$$

Con estas medidas, obtenemos unas pérdidas por debajo 5%, que es justo el máximo de pérdidas admisibles según el REBT. Sin embargo, como comentado antes, esta bomba esta alimentada por un generador diésel, y no por paneles solares, debido a que tiene una corriente de arranque de 46 Amperios, justo por debajo de la nominal del generador.

Sabiendo la intensidad de arranque que necesita ($I_{arranque} = 35 \text{ A}$), la longitud aproximada de la línea ($L = 280,41 \text{ m}$), el coseno de phi del generador ($\cos \varphi = 0,8$) y la conductividad del material ($Cobre_C = 44 \frac{\text{m}}{\text{ohm} \cdot \text{mm}^2}$), obtenemos la caída de tensión pico que tendrá la línea durante el segundo que tarda en arrancar.

Calculo de Lineas de Tower - Booster					
			Calculo de Caída de Tension conocida la seccion		
S = Sección de los conductores en mm ²	10,00	mm ²			
L = Longitud de la línea en metros	280,41	m	$s = \frac{\sqrt{3} * \sum (L * I_L * \cos \varphi)}{c * e}$		
				40,621	V
				10,2%	
e = Caída de tensión en V (5%)	20,00	V	formula conocida la intensidad		
V_L = Tensión de la línea en V	400,00	V		tension final	359,379
I_L = Intensidad arranque necesaria	46,00	A			
cos(phi)	0,80				
sen(phi)	0,60				
tg(phi)	0,75				
Conductividad del cobre	44,00				

Figura 71: Calculo de caída de tensión.

5.5.2.2 Caída de tensión en la Línea Solar – Government Antigua

Anterior a este estudio, se intento conectar el Solar Farm con el Government Pump con un cable de 10 mm² de Cobre, sin embargo no se conseguía arrancar la bomba, debido a que no le llegaba la corriente de arranque que esta necesitaba, ya que se obtiene una caída de tensión mayor al 5%, como podemos ver en la Figura añadida abajo.

Por ende, se decidió mover paneles solares al Government Pump, para que no hubiese perdidas por la línea, y se consiguiese encender la bomba. La línea la extrajeron y la cambiaron de localización, para alimentar otras partes de la aldea, una de las cosas que hicieron fue la conexión entre las edificaciones de los Clusters.

Por lo tanto hay que volver a dimensionar esta línea, asegurándonos que le llega la potencia necesaria para su funcionamiento y la corriente necesaria para el arranque. En la Figura de abajo vemos la caída de tensión tan elevada que tenia esta línea, la cual era la razón de no arranque.

Calculo de Lineas de Solar - Government Antigua					
S = Sección de los conductores en mm ²	10,00	mm ²	Calculo de Caída de Tension conocida la seccion		
L = Longitud de la línea en metros	987,21	m	$s = \frac{\sqrt{3} * \sum (L * I_L * \cos \varphi)}{c * e}$		
e = Caída de tensión en V	20,00	V		108,812	V
V_L = Tensión de la linea en V	400,00	V	formula conocida la intensidad	tension final	291,188
I_L= Intensidad arranque necesaria	35,00	A			
cos(phi)	0,80				
sen(phi)	0,60				
tg(phi)	0,75				
Conductividad del cobre	44,00				

Figura 72: Calculo de caída de tensión.

EN 2018 se cambió la bomba del Government, y se puso una bomba Dayliff 4kW con motor 4R518, por lo tanto para futuros cálculos de caídas de tensión o perdidas por la línea se usara la nueva bomba instalada.

5.5.3 ESTUDIO DEL DOBLE ANILLO DE DISTRIBUCIÓN

Tras comentar el estudio con las diferentes organizaciones que promueven el crecimiento de Nyumbani e invierten en la educación y cuidado de estos niños nos han comentado que quieren dos anillos principales de distribución. El recorrido de estos anillos se ha llevado a cabo con Wikiloc, y aquí se analiza el material y la sección del cable.

Al ser una línea de 2.440 metros, se ha decidido que debido a la longitud y a las potencias que va a transportar esta sea de aluminio, una vez claro el material de dichos anillos, se ha de concluir en una sección.

Para poder analizar las diferentes secciones que puede tener el cable, se ha creado una tabla de potencias y distancias, que nos proporciona sección de cada caso, para el cable de

Aluminio, Conductividad = 28, una caída de tensión del 5%, 20 V, y una tensión de línea de 400 V.

En esta tabla, que nos proporciona todas las secciones posibles para diferentes Potencias y diferentes longitudes, se ha de analizar cual de estas secciones es la más recomendable para Nyumbani.

La longitud de los anillos total es de 2.440 metros, si se estudia el anillo exterior, sin contar con la conexión de en medio la longitud será de 2.040 metros, por lo que las distancias principales a tener en cuenta son 1.020m, la mitad del anillo, y 2040 m, la longitud del anillo entero.

Para hacer un análisis completo hay que tener en cuenta las potencias que conforman el eje vertical de la tabla adjunta. Nyumbani tiene unos consumos máximos pico de 67,48 kW, es decir, conectando absolutamente todos los aparatos y encendiendo todas las luces al mismo tiempo, Nyumbani tendría un pico de demanda de 67,48 kW. Este caso no se va a dar en ningún momento, aun así, Nyumbani ha de estar Sobredimensionada. Por ello nos fijaremos en que sección es capaz de soportar durante cuantos metros la mitad del consumo pico de Nyumbani, 33,74 kW, el consumo pico del politécnico, 43,38 kW, y la mitad del consumo del politécnico 21,69 kW.

Por ende, viendo la distancia en el eje vertical y la potencia en el eje horizontal, se puede analizar las diferentes secciones que tendrán los anillos de distribución. Se añaden dos imágenes, para así poder ver mejor los valores de las secciones.

Se ha de tener en cuenta cuales son las secciones normalizadas a la hora de observar la tabla, para así poder ver que sección existente cumple con los casos expuestos anteriormente.

-	5.000,00	10.000,00	12.000,00	15.000,00	18.000,00	21.690,00
100,00	2	4	5	7	8	10
200,00	4	9	11	13	16	19
300,00	7	13	16	20	24	29
400,00	9	18	21	27	32	39
500,00	11	22	27	33	40	48
600,00	13	27	32	40	48	58
700,00	16	31	38	47	56	68
800,00	18	36	43	54	64	77
900,00	20	40	48	60	72	87
1.000,00	22	45	54	67	80	97
1.100,00	25	49	59	74	88	107
1.200,00	27	54	64	80	96	116
1.300,00	29	58	70	87	104	126
1.400,00	31	63	75	94	113	136
1.500,00	33	67	80	100	121	145
1.600,00	36	71	86	107	129	155
1.700,00	38	76	91	114	137	165
1.800,00	40	80	96	121	145	174
1.900,00	42	85	102	127	153	184
2.000,00	45	89	107	134	161	194
2.100,00	47	94	113	141	169	203
2.200,00	49	98	118	147	177	213
2.300,00	51	103	123	154	185	223
2.400,00	54	107	129	161	193	232
2.500,00	56	112	134	167	201	242
2.600,00	58	116	139	174	209	252
2.700,00	60	121	145	181	217	261
2.800,00	63	125	150	188	225	271
2.900,00	65	129	155	194	233	281
3.000,00	67	134	161	201	241	290

Figura 73: Tabla 1º de calculo de secciones para el anillo de distribución

-	25.000,00	28.000,00	30.000,00	35.000,00	43.380,00	67.480,00
100,00	11	13	13	16	19	30
200,00	22	25	27	31	39	60
300,00	33	38	40	47	58	90
400,00	45	50	54	63	77	121
500,00	56	63	67	78	97	151
600,00	67	75	80	94	116	181
700,00	78	88	94	109	136	211
800,00	89	100	107	125	155	241
900,00	100	113	121	141	174	271
1.000,00	112	125	134	156	194	301
1.100,00	123	138	147	172	213	331
1.200,00	134	150	161	188	232	362
1.300,00	145	163	174	203	252	392
1.400,00	156	175	188	219	271	422
1.500,00	167	188	201	234	290	452
1.600,00	179	200	214	250	310	482
1.700,00	190	213	228	266	329	512
1.800,00	201	225	241	281	349	542
1.900,00	212	238	254	297	368	572
2.000,00	223	250	268	313	387	603
2.100,00	234	263	281	328	407	633
2.200,00	246	275	295	344	426	663
2.300,00	257	288	308	359	445	693
2.400,00	268	300	321	375	465	723
2.500,00	279	313	335	391	484	753
2.600,00	290	325	348	406	504	783
2.700,00	301	338	362	422	523	813
2.800,00	313	350	375	438	542	844
2.900,00	324	363	388	453	562	874
3.000,00	335	375	402	469	581	904

Figura 74: Tabla 2º de calculo de secciones para el anillo de distribución

Por lo tanto, observando las tablas de las secciones posibles según longitud y potencia, y comprobando las secciones con los casos comentados anteriormente, se concluye que la sección más óptima a implementar es la de Aluminio 240.

- La sección normalizada capaz de transportar la potencia pico del politécnico (43,38 kW) por la mitad del anillo (1,02 km), es la sección de 240 mm^2 .
- La sección que cumple el caso de tener que transportar la mitad de la potencia pico demandada por el politécnico (21,69 kW) a través de todo el anillo (2,44 km), es la sección normalizada de Aluminio 240 mm^2 .

Por lo tanto el Aluminio 240 es la sección que se va a instalar en los anillos de distribución.

En cuanto a las estaciones de bombeo, estas no están en el recorrido de los anillos Al240, sin embargo, tras el estudio de la distribución de energía y las líneas de nuestra minigríd, hemos optado por calcular la caída de tensión de las bombas de dos maneras diferentes, conectándolas con Al240 o a través de un ramal de cobre, estudiando y comparando ambos casos.

Una vez ya decidido la sección de cable, se adjunta una tabla en la que se puede observar las caídas de tensiones según longitud y potencia demandada, Esta tabla pretende ser de ayuda a la hora de estimar dichas caídas de tensión en función de las distancias y los consumos. En la tabla adjuntada se ha marcado de un color naranja el valor de la caída de tensión máxima, que es del 5%, 20 V.

	1000	3000	5000	8000	10000	12000	15000	18000	20000	28000
100	0,037	0,112	0,186	0,298	0,372	0,446	0,558	0,670	0,744	1,042
200	0,074	0,223	0,372	0,595	0,744	0,893	1,116	1,339	1,488	2,083
300	0,112	0,335	0,558	0,893	1,116	1,339	1,674	2,009	2,232	3,125
400	0,149	0,446	0,744	1,190	1,488	1,786	2,232	2,679	2,976	4,167
500	0,186	0,558	0,930	1,488	1,860	2,232	2,790	3,348	3,720	5,208
600	0,223	0,670	1,116	1,786	2,232	2,679	3,348	4,018	4,464	6,250
700	0,260	0,781	1,302	2,083	2,604	3,125	3,906	4,688	5,208	7,292
800	0,298	0,893	1,488	2,381	2,976	3,571	4,464	5,357	5,952	8,333
900	0,335	1,004	1,674	2,679	3,348	4,018	5,022	6,027	6,696	9,375
1000	0,372	1,116	1,860	2,976	3,720	4,464	5,580	6,696	7,440	10,417
1100	0,409	1,228	2,046	3,274	4,092	4,911	6,138	7,366	8,185	11,458
1200	0,446	1,339	2,232	3,571	4,464	5,357	6,696	8,036	8,929	12,500
1300	0,484	1,451	2,418	3,869	4,836	5,804	7,254	8,705	9,673	13,542
1400	0,521	1,563	2,604	4,167	5,208	6,250	7,813	9,375	10,417	14,583
1500	0,558	1,674	2,790	4,464	5,580	6,696	8,371	10,045	11,161	15,625
1600	0,595	1,786	2,976	4,762	5,952	7,143	8,929	10,714	11,905	16,667
1700	0,632	1,897	3,162	5,060	6,324	7,589	9,487	11,384	12,649	17,708
1800	0,670	2,009	3,348	5,357	6,696	8,036	10,045	12,054	13,393	18,750
1900	0,707	2,121	3,534	5,655	7,068	8,482	10,603	12,723	14,137	19,792
2000	0,744	2,232	3,720	5,952	7,440	8,929	11,161	13,393	14,881	20,833
2100	0,781	2,344	3,906	6,250	7,813	9,375	11,719	14,063	15,625	21,875
2200	0,818	2,455	4,092	6,548	8,185	9,821	12,277	14,732	16,369	22,917
2300	0,856	2,567	4,278	6,845	8,557	10,268	12,835	15,402	17,113	23,958
2400	0,893	2,679	4,464	7,143	8,929	10,714	13,393	16,071	17,857	25,000
2500	0,930	2,790	4,650	7,440	9,301	11,161	13,951	16,741	18,601	26,042
2600	0,967	2,902	4,836	7,738	9,673	11,607	14,509	17,411	19,345	27,083
2700	1,004	3,013	5,022	8,036	10,045	12,054	15,067	18,080	20,089	28,125
2800	1,042	3,125	5,208	8,333	10,417	12,500	15,625	18,750	20,833	29,167
2900	1,079	3,237	5,394	8,631	10,789	12,946	16,183	19,420	21,577	30,208
3000	1,116	3,348	5,580	8,929	11,161	13,393	16,741	20,089	22,321	31,250
3100	1,153	3,460	5,766	9,226	11,533	13,839	17,299	20,759	23,065	32,292
3200	1,190	3,571	5,952	9,524	11,905	14,286	17,857	21,429	23,810	33,333
3300	1,228	3,683	6,138	9,821	12,277	14,732	18,415	22,098	24,554	34,375
3400	1,265	3,795	6,324	10,119	12,649	15,179	18,973	22,768	25,298	35,417
3500	1,302	3,906	6,510	10,417	13,021	15,625	19,531	23,438	26,042	36,458
3600	1,339	4,018	6,696	10,714	13,393	16,071	20,089	24,107	26,786	37,500
3700	1,376	4,129	6,882	11,012	13,765	16,518	20,647	24,777	27,530	38,542
3800	1,414	4,241	7,068	11,310	14,137	16,964	21,205	25,446	28,274	39,583
3900	1,451	4,353	7,254	11,607	14,509	17,411	21,763	26,116	29,018	40,625
4000	1,488	4,464	7,440	11,905	14,881	17,857	22,321	26,786	29,762	41,667
4100	1,525	4,576	7,626	12,202	15,253	18,304	22,879	27,455	30,506	42,708
4200	1,563	4,688	7,813	12,500	15,625	18,750	23,438	28,125	31,250	43,750
4300	1,600	4,799	7,999	12,798	15,997	19,196	23,996	28,795	31,994	44,792
4400	1,637	4,911	8,185	13,095	16,369	19,643	24,554	29,464	32,738	45,833
4500	1,674	5,022	8,371	13,393	16,741	20,089	25,112	30,134	33,482	46,875
4600	1,711	5,134	8,557	13,690	17,113	20,536	25,670	30,804	34,226	47,917
4700	1,749	5,246	8,743	13,988	17,485	20,982	26,228	31,473	34,970	48,958
4800	1,786	5,357	8,929	14,286	17,857	21,429	26,786	32,143	35,714	50,000
4900	1,823	5,469	9,115	14,583	18,229	21,875	27,344	32,813	36,458	51,042
5000	1,860	5,580	9,301	14,881	18,601	22,321	27,902	33,482	37,202	52,083
5100	1,897	5,692	9,487	15,179	18,973	22,768	28,460	34,152	37,946	53,125
5200	1,935	5,804	9,673	15,476	19,345	23,214	29,018	34,821	38,690	54,167
5300	1,972	5,915	9,859	15,774	19,717	23,661	29,576	35,491	39,435	55,208
5400	2,009	6,027	10,045	16,071	20,089	24,107	30,134	36,161	40,179	56,250
5500	2,046	6,138	10,231	16,369	20,461	24,554	30,692	36,830	40,923	57,292

Figura 75: Caídas de tensión según longitud y potencia para una sección de Aluminio 240

5.5.3.1 Caída de tensión en la Línea Solar – Government Nueva (Al240)

Para poder hacer cálculos sobre la línea que se puede conectar desde el Solar hasta el Government, hay que conocer esta nueva bomba que esta instalada. Esta nueva bomba es de 4kW, tiene una intensidad de arranque de 49 A y una corriente nominal de 9,8 A.

El solar Farm se pretende conectar a dicha bomba, pero con un cableado de aluminio 240, por lo que hacemos los cálculos conocido el material y la sección del conductor.

Calculo de Lineas de Solar - Government Nueva					
			Calculo de Caída de Tension conocida la seccion		
S = Sección de los conductores en mm ²	240,00	mm ²			
L = Longitud de la línea en metros	987,21	m			
			$s = \frac{\sqrt{3} * \sum (L * I_L * \cos \varphi)}{c * e}$		
e = Caída de tensión en V	20,00	V			9,974 V
V _L = Tensión de la linea en V	400,00	V			2,494%
I _L = Intensidad arranque necesaria	49,00	A	formula conocida la intensidad		
cos(phi)	0,80				tension final
sen(phi)	0,60				390,026
tg(phi)	0,75				
Conductividad del aluminio	28,00				

Figura 76: Calculo de la caída de Tensión en función de la corriente de arranque

5.5.3.2 Caída de tensión de Solar – pozos (Al240)

Ya comentado los fallos que tuvieron las conexiones desde el Solar hasta las bombas, tenemos que asegurarnos que no se comete de nuevo el mismo error. Para evitarlo, calculamos la caída de tensión entre estos puntos, con los siguientes datos:

- Conductividad del aluminio = 28
- Cos(phi) = 0,8
- Sección = 240 mm²
- I arranque del Government Pump 49 A
- Distancia desde el solar hasta el Government Pump = 987,21 m
- I arranque del Tower Pump 46 A

- Distancia desde el Solar Farm hasta el Booster = 572,92 m

La formula que usamos es la siguiente:

$$s = \frac{\sqrt{3} * \sum(L * I_L * \cos \varphi)}{c * e}$$

Las caídas de tensión obtenidas usando la formula conocida la Intensidad, son:

	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)
Solar - Government	9,97	2,49%
Solar - Tower	5,43	1,36%

Figura 77: Caídas de tensión con Aluminio 240

Estas perdidas se darán solo durante el momento de arranque de las bombas, durante el funcionamiento de estas cambia la intensidad, la que demanda el Tower es de 13 A, y la que demanda el Government es de 9,8 A, por lo que las caídas de tensión son las siguientes:

	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)
Solar - Government	1,99	0,50%
Solar - Tower	1,54	0,38%

Figura 78: Caída de tensión a Corriente de la bomba estable, con Aluminio 240

5.5.4 CALCULO DE RAMALES DE COBRE

La red de distribución de Nyumbani va a formarse con dos anillos de aluminio y de ciertos ramales o anillos de cobre. Estas líneas de cobre son las que vamos a estudiar a continuación. Se van a estudiar estas líneas de dos maneras, ya que según la conexión nos interesa ver la

sección de cable necesario para que llegue cierta potencia y para otros la caída de tensión máxima que puede tener suponiendo un sección de cable.

Por ende, los caminos principales que tenemos que conectar van desde la línea de aluminio, de la que será posible conectar líneas de cobre gracias a unas cajas de conexiones donde habra barras de distribución de cobre, hasta las estaciones de bombeo, el Live Stock, el High School y los Clusters y Staff Houses.

Se adjunta una tabla en la que se puede observar las características necesarias de las bombas que vamos a usar para su calculo de secciones.

Características de las Bombas			
	Booster	Tower Pump	Government Pump Nueva
Modelo	Grundfos CR10-16	Grundfos SP 8A-37	Dayliff 3ph sub motor (4R518)
I arranque (A)	9,3	46	49
Potencia Bombas (kW)	5,5	5,5	4
Corriente N (A)	11	13	9,8

Figura 79: Datos de las bombas a usar en el calculo de las líneas

5.5.4.1 Calculo de línea para el High School

Como hemos visto, el ramal de aluminio no va a pasar por el High School, pero este si va a dar electricidad a la minigríd de la aldea. Para dimensionar esta línea hay que tener en cuenta que tiene que soportar, tanto su máximo consumo como su máxima generación. Su máxima generación, es de 2,56 kWp, y su máxima demanda es de 0,508 kWp. Por lo que la línea ha de soportar la circulación de la máxima generación.

La longitud usada para calcular la sección del conductor es la distancia mínima al circuito de aluminio. En la Figura añadida a continuación, se puede observar en verde el camino que llevara el circuito de aluminio y en azul el ramal de cobre que se usara en esta instalación.



Figura 80: ramal de cobre al High School

Para el calculo de esta línea se llevara a cabo el calculo de sección conocida la potencia, la formula usada es la que veremos a continuación, y los datos a añadir son los siguientes:

L= distancia azul que se observa en el mapa: 141,21 metros

P= potencia a circular por dicha línea: 2,56 kWp.

c= Conductividad del cobre: 44

e= caída de tensión: 5%, 20 V

V_L = Tensión: 400 V

$$s = \frac{L * P}{c * e * V_L} = \frac{141,21 * 2560}{44 * 20 * 400} = 1,027 \text{ mm}^2$$

Si optamos por calcular la caída de tensión, cuando se conecta el cable normalizado que le correspondería, en este caso, un cable de sección 1,5, obtendríamos la siguiente caída de tensión:

$$e = \frac{L * P}{c * s * V_L} = \frac{141,21 * 2560}{44 * 1,5 * 400} = 13,7 V$$

5.5.4.2 Calculo de línea para el Booster – según potencia de la bomba

A la hora de calcular la línea que va a conectar el Booster a la minigríd de la eco aldea, escogemos la ruta más cercana al anillo de distribución. Este camino, nos lo hemos recorrido en nuestra estancia ahí, y por el podría ir una línea eléctrica, sin necesidad de grandes obras, debido a que no cruza edificaciones ni arboles grandes que dificulten la obra.

La línea la mostramos en una Figura a continuación, y seguimos la misma leyenda que hemos estado en la Figura del cableado del High School, azul cobre, verde anillo de distribución.



Figura 81: camino elegido para la línea de conexión del Booster

En cuanto a la potencia que va a circular por dicha línea, como va a estar conectada y va a poder aportar energía a la red, hay que coger el caso en el que demande o genere más energía. La máxima potencia generada por el Booster es de 9,2 kW, y la demandada máxima es cuando la bomba de agua esta en funcionamiento (Tower Pump) y cuando el Booster también esta en funcionamiento (cuando se bombea agua a los depósitos de agua de la entrada), esta potencia es de 11 kW. Por lo tanto la que usaremos en los cálculos es la de 11 kW.

L= distancia azul que se observa en el mapa: 292,68 metros

P= potencia a circular por dicha línea: 11 kWp.

c= Conductividad del cobre: 44

e= caída de tensión: 5%, 20 V

V_L = Tensión: 400 V

$$s = \text{seccion del conductor} = \frac{\sum L * P}{c * e * V_L} = \frac{292,68 * 11000}{44 * 20 * 400} = 9,14 \text{ mm}^2$$

Al igual que hemos hecho anteriormente, calculamos ahora la caída de tensión que tendrá la línea si se utiliza un cableado de Cobre de 10 mm², que es la sección normalizada que correspondería a dicha sección calculada, usamos la misma formula, pero con diferente incógnita, que ahora es la e.

$$e = \text{Caída de Tensión} = \frac{\sum L * P}{c * s * V_L} = \frac{292,68 * 11000}{44 * 10 * 400} = 18,29 \text{ V}$$

5.5.4.3 Cálculo de línea para el Booster – según Intensidad de arranque

Para calcular la línea del Booster, según la Intensidad de arranque, suponemos que arrancamos la Tower Pump, que es la bomba de extracción de arranque que se encuentra en el pozo, y el Booster Pump, que es la bomba que bombea agua a los depósitos de la entrada.

Vamos a calcular la sección necesaria suponiendo que se arrancan ambas bombas a la vez, y que admitimos una caída de tensión del 5%, es decir, de 20 V.

- La Tower Pump tiene una Corriente de arranque de 46 A
- La Booster Pump tiene una Corriente de arranque de 9,3 A

Por lo que, usando la formula del calculo de sección conocida la Intensidad, usamos los siguientes datos:

$$I_L = \text{Intensidad de Línea, la de arranque} = 46 + 9,3 = 55,3 \text{ A}$$

$$\cos \varphi = \text{factor de potencia del receptor} = 0,8$$

L, c, e, los mismos que el apartado anterior

$$s = \frac{\sqrt{3} * \sum(L * I_L * \cos \varphi)}{c * e} = 25,48 \text{ mm}^2$$

La siguiente sección de cable normalizado es una sección de 35 mm², por lo que calculamos la caída de tensión con esta sección y los datos de Intensidad de este mismo apartado, con esto obtenemos:

$$e = \frac{\sqrt{3} * \sum(L * I_L * \cos \varphi)}{c * s} = 14,56 \text{ V}$$

5.5.4.4 Calculo de línea Government Pump – según potencia de la bomba

La conexión entre la red circular de Nyumbani y el Government Pump, se puede hacer por dos caminos diferentes. El primero de estos sería alargando la línea que va hasta el Booster, y seguir con dicha línea hasta el Government Pump, y la segunda opción sería tirar un ramal directamente desde Government Pump hasta el circuito circular de Nyumbani. Adjuntamos imágenes de las dos posibles conexiones, antes de hacer los cálculos de cada opción.

La conexión del Government a través del Booster, va a modificar también el cable que se conectaría entre el anillo de distribución y el Booster, debido a que este cable ahora tendría que soportar también la potencia máxima del Government. Por ende, aunque la distancia final sea menor, el precio igual es mayor, dependiendo del sección del cable que necesitemos.

Si embargo, hay que tener en cuenta que en un futuro también se pretenden conectar la bomba de Tana Athy al circuito eléctrico de Nyumbani, esta bomba se enlazará con alguna de las existentes que se calcula en este apartado.

Además, para unas menores pérdidas en la red y una mejor conexión en caso de avería, se quiere que la red sea anillada, no de ramales, por lo que independientemente de la conexión que se elija, el estudio de los dos casos es necesario, ya que puede ser que la conclusión final de este proyecto conecte las dos bombas por dos lugares diferentes con el anillo de distribución, en forma de anillo.

En este apartado, vamos a calcular la conexión del Government directamente al Aluminio, la conexión a través del Booster se estudiara en un apartado diferente, debido a que hay que entrar en más especificaciones y condiciones.



Figura 82: Conexión del Government al anillo de distribución

La potencia máxima pico generada por el Government Pump es de 9,02 kW y la consumida máxima es de 4 kW, por lo que para hacer los cálculos usamos la potencia de 9,02 kW.

Potencia de la línea en el Government = 9,02 kW

Longitud de la línea = 430,4 m

$$s = \frac{\sum L * P}{c * e * V_L} = \frac{(430,3 * 9,02)}{44 * 20 * 400} = 11,02 \text{ mm}^2$$

Si calculamos la caída de tensión con una sección de cobre normalizada, usamos 16 mm² cuadrados de sección y obtenemos la siguiente caída:

$$e = \frac{\sum L * P}{c * s * V_L} = \frac{(430,3 * 9,02)}{44 * 16 * 400} = 13,783 V$$

5.5.4.5 Calculo de línea para el Government Pump – según Intensidad de arranque

Como desarrollado en el apartado anterior, hay dos posibles casos, estudiamos ambos de manera separada, para después en las conclusiones poder decidir que conexión es la que más favorece a Nyumbani, teniendo en cuenta tanto precios como planes de futuro.

La intensidad de arranque que tiene la Government Pump es de 49 A, trabajamos con un $\cos \varphi = 0,8$, cables de cobre, y longitud la misma que en el apartado anterior. Debido a que estos cálculos son meramente para ver que sección es capaz de soportar con una caída de tensión del 5%, el arranque de las bombas de extracción de agua.

$$s = \frac{\sqrt{3} * \sum(L * I_L * \cos \varphi)}{c * e} = \frac{\sqrt{3} * 430,3 * 49 * 0,8}{44 * 20} = 33,2 \text{ mm}^2$$

la sección normalizada que cumple con esos valores es la de 35 mm^2 , por ende, a continuación, calculamos la caída de tensión que tendrá la línea con dicha sección.

$$e = \frac{\sqrt{3} * \sum(L * I_L * \cos \varphi)}{c * s} = \frac{\sqrt{3} * 430,3 * 49 * 0,8}{44 * 35} = 18,97 V$$

5.5.4.6 Calculo Government – Booster

Una posible conexión de las bombas es conectando entre si Booster y el Government al anillo de Aluminio. La conexión de estas bombas entre si puede significar menos cableado total y de una sección de coste más económico, por eso lo estudiamos aquí.

Sin embargo, no se va a estudiar el caso de que ambas bombas se arranque a la vez, pero si de que estén funcionando al mismo tiempo. Es decir, no se va a dimensionar la red para que ambas bombas se conecten en el mismo instante, debido a que aumentaría la sección desproporcionalmente, y no es necesario, debido a que la intensidad de arranque solo se da durante unos segundos o incluso menos tiempo, y no se va a coincidir nunca en la puesta en marcha de ambas bombas en el mismo segundo.

De elegir esta conexión se le notificara al encargado de los pozos de que no puede encender ambas bombas a la vez, y de que tendrá que pasar algo de tiempo entre que se enciende una u otra.

El camino que va a llevar dicha línea es el siguiente:



Figura 83: Conexión del Government a través del Booster

Para estos casos en los que hay cargas diferentes repartidas irregularmente con sección uniforme, se calcula con la formula vista anteriormente, usando los sumatorios, debido a que por el primer tramo pasan todas las intensidades y por el ultimo solo la del ultimo receptor.

Como hemos visto anteriormente, la sección de los cables es mayor cuando se calcula según la intensidad de arranque, por lo que se calcula de dicha manera. En la tabla adjunta al principio de este apartado, se encuentra una tabla donde se muestra las intensidades de dichas bombas. Como comentado anteriormente, se estudian diferentes casos:

- Una bomba conectada, demandando su corriente nominal.
- Una bomba en proceso de arranque, demandando su Intensidad de arranque.

La longitud desde el anillo de distribución al Booster Pump es 292,68 m y la longitud desde el anillo hasta el Government es 536,71 m.

Calculo con I arranque de ambas	66,89	mm ²
Calculo con I nominal de ambas	19,34	mm ²
Calculo con I arranque Booster e I nominal Government	33,77	mm ²
Calculo con I arranque Government e I nominal Booster	52,47	mm ²

Figura 84: Secciones según las diferentes puestas en marcha de las bombas

Estas secciones se han calculado de la siguiente manera:

$$s = \frac{\sqrt{3} * \sum(L * I_L * \cos \varphi)}{c * e}$$

$$= \frac{\sqrt{3} * ((292,68 * I_{BOOSTER} * 0,8) + (536,71 * I_{GOVERNMENT} * 0,8))}{44 * 20}$$

$$\frac{\sqrt{3} * ((292,68 * 24 * 0,8) + (536,71 * 49 * 0,8))}{44 * 20} = 52,47 \text{ mm}^2$$

Por ende, se va a optar por dimensionar la línea de sección mínima 52,47 mm², debido a que la línea podrá aguantar tanto el arranque del Booster estando el Government en marcha, como el arranque del Government Pump estando el Booster Pump en marcha.

La sección normalizada a instalar será por lo tanto 70 mm^2 , ya que es la sección mínima capaz de soportar esas intensidades demandadas. Además, también aguanta la conexión de ambas bombas a la vez.

5.5.4.7 Calculo de línea para el Live Stock

En el apartado de Consumos futuros del Live Stock, se comenta los aparatos que se comprarán en un futuro para aumentar la producción, esta instalación de maquinaria se llevara a cabo en un futuro. Debido a la cercanía entre el Live Stock y el segundo Solar Farm, se conecta directamente a la localización donde se ubicara esta granja solar.

El live Stock tiene una potencia máxima de consumo de 7.438 W, y la distancia que hay entre dicha edificación y el circuito de Aluminio que se encuentra al lado el futuro solar Farm es de 203,21 m.

El calculo de la sección es el siguiente:

$$s = \frac{\sum L * P}{c * e * V_L} = \frac{203,21 * 7.438}{44 * 20 * 400} = 4,29 \text{ mm}^2$$

La sección de Cobre normalizada mínima es 6 mm^2 .



Figura 85: Conexión Live Stock

5.5.4.8 Calculo de la línea para los Clusters & Staff Houses

Para la conexión del resto de edificaciones, se usará un cable estándar de Cobre de 10 mm^2 de sección. Se opta por dicho cable debido a que la siguiente modernización de cada Cluster será poner cocinas en las casas, ya que a día de hoy cocinan en hogueras.

En la Figura adjunta se puede ver el lugar en el que se cocina, donde hacen la hoguera para cocinar, aparte de no tener electrodomésticos, no tienen acceso a electricidad, lo que les restringe las horas en las que pueden desayunar o cenar.



Figura 86: Cocina del Cluster 23

Se ha calculado a continuación la caída de tensión que tendrá para dicha sección, las diferentes líneas teniendo en cuenta sus consumos actuales, para así poder tener en cuenta el margen de consumo del que pueden disponer sin que la línea se sobrecargue.

Los ramales de Cobre que van a ser de 10 mm^2 , son aquellas líneas que van a los Clusters, las Staff Houses, la Guest House, la Kjer House y a la Policía. Se observa en la Figura estas líneas, que son las de color azul claro.



Figura 87: Red eléctrica de Nyumbani

Se calcula la caída de tensión con las potencias actuales de las viviendas, que se han estudiado en el apartado de Potencias Actuales, con la formula conocida la potencia pero siendo la incógnita la caída de tensión (e).

$$e = \text{caída de tensión} = \frac{\sum L * P}{c * s * V_L}$$



Figura 88: distribución de cobre I

Se calcula de la misma manera que se calculo el apartado de l conexión entre dos bombas, es decir, vamos a calcular una sección para unas cargas diferentes repartidas irregularmente con sección uniforme.

Se va a simplificar, el calculo, suponiendo que los cuatro Clusters que se encuentran a la derecha están en el mismo punto a). la fila de “longitud” es desde la conexión al Aluminio hasta cada carga.

	a) 5 Clusters	b) 1 Cluster	c) 1 Cluster	d) 1 Cluster	e) 1 Cluster	Unidades
longitud	65,25	153,38	248,57	316,90	372,79	m
Potencia Demandada	245,00	49,00	49,00	49,00	49,00	W

Figura 89: Longitud y potencia de cada carga

$$e = \frac{(65,25 * 245) + (153,38 * 49) + (248,57 * 49) + (316,9 * 49) + (372,79 * 49)}{44 * 10 * 400}$$

$$= 0,3947 V$$

Otra caída de tensión que se calcula es:



Figura 90: Distribución de cobre II

Este calculo de caída de tensión se va a calcular como una línea en anillo. Este tipo de líneas son aquellas que se alimentan desde un único sitio pero el circuito es cerrado, el principio y el final es el mismo (Área Tecnología, s. f.).

Por lo tanto para dicho calculo se supone que los puntos “x” e “y” son los mismos. El primer paso a la hora de calcular la caída de tensión máxima es encontrar en la línea el punto de mínima tensión PMT, ese será el punto donde se tenga la máxima caída de tensión de la línea (Área Tecnología, s. f.).

La intensidad se calcula con la siguiente formula:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos(\varphi)}$$

Obtenemos los siguientes resultados, con la hipótesis de que todas las cargas están a 400 V y el $\cos(\varphi) = 0,8$.

	a) 1 Cluster	b) 1 Cluster	c) 1 Cluster	d) Guest House	e) Policia	f) 1 Cluster
Potencia Demandada	49	49	49	395	93	49,00
$\cos(\varphi)$	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Tension	400	400	400	400	400	400
Intensidad (modulo)	0,08840676	0,08840676	0,08840676	0,712666739	0,167792422	0,08840676
Intensidad (real)	0,070725408	0,070725408	0,070725408	0,570133391	0,134233938	0,070725408

Figura 91: Datos para el calculo de Intensidad en modulo y real

Para el calculo de del punto de mínima tensión, suponemos que desde “x” e “y” sale una intensidad para alimentar el circuito. La intensidad de “x”, se calcula con la siguiente formula. (las longitudes es desde Y).

$$I_x = \frac{(\sum Longitud * Intensidad_{el\ numero\ real} * \cos(\varphi))}{Longitud\ Total}$$

Con intensidad real, se refiere al numero real de la intensidad cuando la tenemos en forma binomial, que es el modulo $\cdot \cos(\varphi)$. Las longitudes entre cada punto son las siguientes:

	longitud
x-a	75,46
a-b	36,76
b-c	137,75
c-d	69,73
d-e	66,5
e-f	132,48
f-y	37,58
Total	556,26

Figura 92: Longitudes entre cargas

$$I_x = \frac{0,8 * (37,58 * 0,07 + 170,06 * 0,134 + 236,56 * 0,57 + 306,9 * 0,07 + 444,04 * 0,07 + 480,08 * 0,07)}{556,26}$$

$$= 0,43 \text{ Amperios}$$

La intensidad por “y” se calcula restándole todas las “intensidades (real)” a la intensidad de “x”.

$$I_y = \sum I_{cargas} - I_x = (0,07 + 0,134 + 0,57 + 0,07 + 0,07 + 0,07) - 0,43 = 0,5563 \text{ A}$$

“Empezando desde el punto “X”, vamos restando a la I_x , la que absorbe cada receptor. Cuando lleguemos a un punto que la resta nos salga una intensidad negativa, ese punto será el PMT” (Área Tecnología, s. f.).

$$I_{x'} = I_x - I_A = 0,43 - 0,07 = 0,36 \text{ A}$$

$$I_{x''} = I_{x'} - I_B = 0,36 - 0,07 = 0,28 \text{ A}$$

$$I_{x'''} = I_{x''} - I_C = 0,28 - 0,07 = 0,21 \text{ A}$$

$$I_{x''''} = I_{x'''} - I_D = 0,21 - 0,57 = -0,35 \text{ A}$$

Se adjunta a continuación una figura para poder entender de manera visual los cálculos hechos anteriormente.

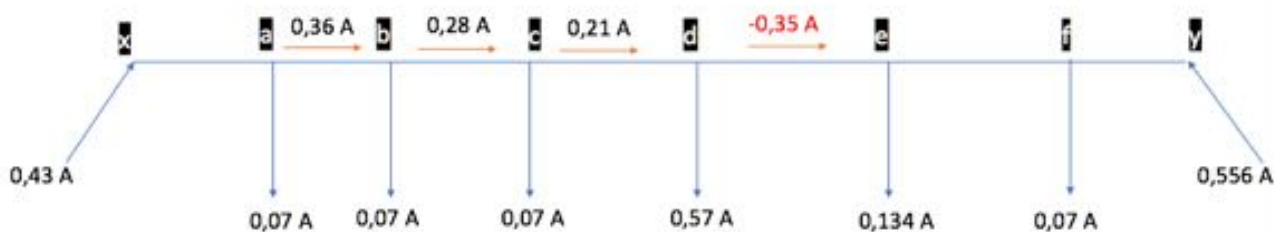


Figura 93: Circuito y demandas de Intensidad

Por lo tanto, como se observa en la figura, el Punto de Mínima Tensión es el punto “d”. Por lo que ahora, se divide el anillo en dos líneas, partiéndolo por el Punto de Mínima Tensión y se calcula la sección para cualquiera de los dos tramos. Independientemente de que tramo se coja, la sección obtenida ha de ser la misma.

Se calcula la caída de tensión desde el extremo “y”.

$$s_y = \frac{\sqrt{3} * \sum(L * I_L * \cos \varphi)}{c * e} = \frac{\sqrt{3} * (0,07 * 37,58 + 0,134 * 170,06 + 0,35 * 236,56)}{44 * 20}$$

$$= 0,2131 \text{ mm}^2$$

Calculamos una ultima caída de tensión de las líneas de Cobre 10 mm^2 para ver la potencia que se le podría instalar a cada carga.



Figura 94: Distribución de Cobre III

	a) 1 Cluster	b) 1 Cluster	c) 1 Cluster	d) Staff Houses	Unidades
longitud	62,19	118,41	172,86	320,10	m
Potencia Demandada	49,00	49,00	49,00	735,00	W

Figura 95: Longitudes y potencias de cada carga

Con estos datos y la formula que adjuntamos a continuación , obtenemos una caída de tensión de 1,25 V.

$$e = \text{caída de tensión} = \frac{\sum L * P}{c * s * V_L}$$

Para el estudio de los consumos futuros que estas viviendas puedan llegar a tener, suponemos una caída de tensión del 5% y calculamos la potencia que cada carga puede tener, en cada edificación, es decir lo calculamos para cada vivienda individual (en cada Cluster hay 4 casas y en el Staff hay 13 viviendas).

$$e = \frac{\sum L * P}{c * s * V_L} = 20 = \frac{(62,19 * X + 118,41 * X + 172,86 * X + 320,1 * Y)}{44 * 10 * 400}$$

$$X = 4 * Z \rightarrow \text{Cada Cluster tiene 4 Viviendas}$$

$$Y = 16 * Z \rightarrow \text{La carga de Staff Houses tiene 13 Viviendas}$$

$$20 = \frac{(62,19 * 4 * Z + 118,41 * 4 * Z + 172,86 * 4 * Z + 320,1 * 16 * Z)}{44 * 10 * 400}$$

$$Z = 631,37 \text{ W}$$

Obtenemos que cada edificación individual puede llegar a consumir hasta 631,37 W, cuando a día de hoy consume 49 W. Por lo que cada Cluster, puede llegar a consumir 2525,49 W, y cada casa del Staff 631,37 W.

Capítulo 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A la hora de estudiar la parte económica de este proyecto hay tres factores a tener en cuenta, estos son el coste del material, el coste de las zanjas y el ahorro que supone en combustible llevar a cabo esta instalación.

El cambio usado en este apartado entre el Chelín Keniano y el Euro es el siguiente:

$$120 \text{ KSH} - 1 \text{ €}$$

6.1 *COSTE DE LA LÍNEA*

Una vez ya se tiene la red de distribución de Nyumbani, se calcula los metros de cable, el tipo de cable a usar y el coste que este tendría. Hay decisiones que tomar dependiendo del coste del material y de la obra.

6.1.1 ANILLOS DE DISTRIBUCIÓN

Para los anillos de Nyumbani se usa Aluminio 240, este circuito es de 2,44 km. El cable a instalar será el siguiente:



Figura 96: Cable a usar para la instalación de Al 240

El precio por metro es de 4.548,75 Chelines kenianos, por lo que al ser nuestra instalación de 2400 metros, nos costara un total de 92.491,25 €.

longitud	precio por metro	chelines totales	euros totales
2440	4.548,75	11.098.950,00	€92.491,25

Figura 97: Calculo del Precio del anillo de Al 240

6.1.2 LÍNEAS DE COBRE

Tenemos diferentes líneas de diferentes secciones que hemos obtenido en el apartado del de “calculo de ramales de cobre”. Estas secciones y longitudes que hemos obtenido son las siguientes:

Localizacion	Longitud de la linea (m)	Seccion (mm ²)
High School	141,21	1,5
Live Stock	203,21	6,0
Ramales a Viviendas	1972,02	10,0

Figura 98: Características de las líneas de los ramales de cobre

A pesar de haber obtenido que el High School ha de conectarse con un cableado de sección $1,5 \text{ mm}^2$, se decide conectarlo con un cable de sección 6 mm^2 para poder hacer frente a consumos y generaciones futuros. Los cables que se han estudiado para la instalación son los siguientes:



Figura 99: Cable a usar para la instalación de Cu 6



Figura 100: Cable a usar para la instalación de Cu 10

El precio total de la instalación con estos cables es de 20.865,94 euros, los cálculos se pueden observar en la siguiente figura.

Localizacion	Longitud de la linea (m)	Seccion (mm ²)	Precio cable por metro	Precio de Instalacion (KSH)	Precio de instalacion (€)
High School	141,21	6,0	737,00	104.071,77	867,26
Live Stock	203,21	6,0	737,00	149.765,77	1.248,05
Ramales a Viviendas	1972,02	10,0	1.141,00	2.250.074,82	18.750,62
					20.865,94

Figura 101: Calculo del Precio de los ramales de cobre

6.1.3 LÍNEA A ELEGIR EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO

Para estudiar el caso de la conexión más óptimo de las bombas, tenemos que estudiar el precio de estas instalaciones. A continuación en la tabla podemos observar las dos posibles conexiones que se pueden llevar a cabo.

Conexion	Longitud de la linea (m)	Seccion (mm ²)
Al240 - Booster - Government	536,71	70
Al240 - Government	430,3	35
Al240 - Booster	292,68	35

Figura 102: Características de las líneas de las bombas

Para estas posibles conexiones se estudian los cables de 35 y de 70 mm². Los cables a estudiar tienen las siguientes especificaciones:



Cable, LV Armoured Cables
METSEC CU/XLPE/SWA/PVC ARMoured CABLE 4COREx35.00MM BLACK – Loose

Add to Wishlist Compare

SKU: CARMXC035004BK0>

Download Datasheet

Hi, I have a question about METSEC CU/XLPE/SWA/PVC ARMoured CABLE 4COREx35.00MM BLACK – Loose

KSh3,323.00 ex. VAT

Figura 103: Cable a usar para la instalación de Cu 35



Cable, LV Armoured Cables
METSEC CU/XLPE/SWA/PVC ARMoured CABLE 4COREx70.00MM BLACK (SECTOR) – Loose

Add to Wishlist Compare

SKU: CARMXC070004BK1>

Download Datasheet

Hi, I have a question about METSEC CU/XLPE/SWA/PVC ARMoured CABLE 4COREx70.00MM BLACK (SECTOR) – Loose

KSh6,341.00 ex. VAT

Figura 104: Cable a usar para la instalación de Cu 70

Se estudia el coste que tiene cada instalación, con los precios de los cables mostrados anteriormente y el coste que tiene realizar la instalación (realizar la Zanja).

Conexion	Longitud de la línea (m)	Seccion (mm ²)	Precio cable por metro	Precio de Instalacion (KSH)	Precio de instalacion (€)
Al240 - Booster - Government	536,71	70	6.341,00	3.403.278,11	28.360,65
Al240 - Government	430,3	35	3.323,00	1.429.886,90	20.020,52
Al240 - Booster	292,68	35	3.323,00	972.575,64	
			Coste de Zanja por metro	Precio de la Zanja (KSH)	Precio Zanja (€)
			200,00	107.342,00	894,52
			200,00	86.060,00	1.204,97
			200,00	58.536,00	

Figura 105: Calculo del Precio de las líneas de Cobre en las bombas

Por ende, cada instalación tiene el siguiente coste total:

- Anillo de distribución – Booster – Government: $28.360,65 + 894,52 = 29.255,7 \text{ €}$
- Anillo de distribución – Bombas: $20.020,52 + 1.204,97 = 21.225,49 \text{ €}$

Sale 8.029,98 € más barato conectar las bombas de manera al Anillo de distribución de manera independiente.

6.2 CABLEADO ELEGIDO Y PRECIOS

Tras haber estudiado las diferentes posibilidades de cada línea, los diferentes caminos y los diferentes tipos de cables, estos son los resultados finales de nuestra instalación.

Instalacion	Longitud de la línea (m)	Material & Seccion	Precio de instalacion (€)
High School	141,21	Cu 6	867,26
Live Stock	203,21	Cu 6	1.248,05
Ramales a Viviendas	1.972,02	Cu 10	18.750,62
Bombas	722,98	Cu 35	20.020,52
Anillo de Al	2.440,00	Al 240	92.491,25
Total	5.479,42		133.377,71

Figura 106: Características de todas las líneas a instalar

6.3 GASTO EN ZANJAS

Durante el mes de Julio hemos trabajado a diario con Benson Wasua, electricista de Nyumbani. Benson ha sido el encargado de realizar el conexionado que tiene el Village, por lo que nos ha facilitado lo costes de realizar una red subterránea.

En una instalación eléctrica, en Kenia se cobra por metros cavados. De media al día se cavan zanjas de ocho metros, y cada metro se paga a 200 Chelines kenianos. Con estos datos se puede calcular el coste total de la instalación y el tiempo que va a tardar esta instalación en realizarse, según el numero de personas que se quiere contratar.

Como hemos visto anteriormente, la red eléctrica de Nyumbani va a constar de 5.479,42 metros de línea. En la grafica adjuntada a continuación se puede observar como a medida que se contrata a más gente, se llega a un punto en el que por cada persona contratada, la instalación de la red eléctrica de Nyumbani no avanzara tanto más rápido. Esta cifra es aproximadamente 11 personas. Llegados a 11 trabajadores, la instalación tardara 2 meses en llevarse a cabo.

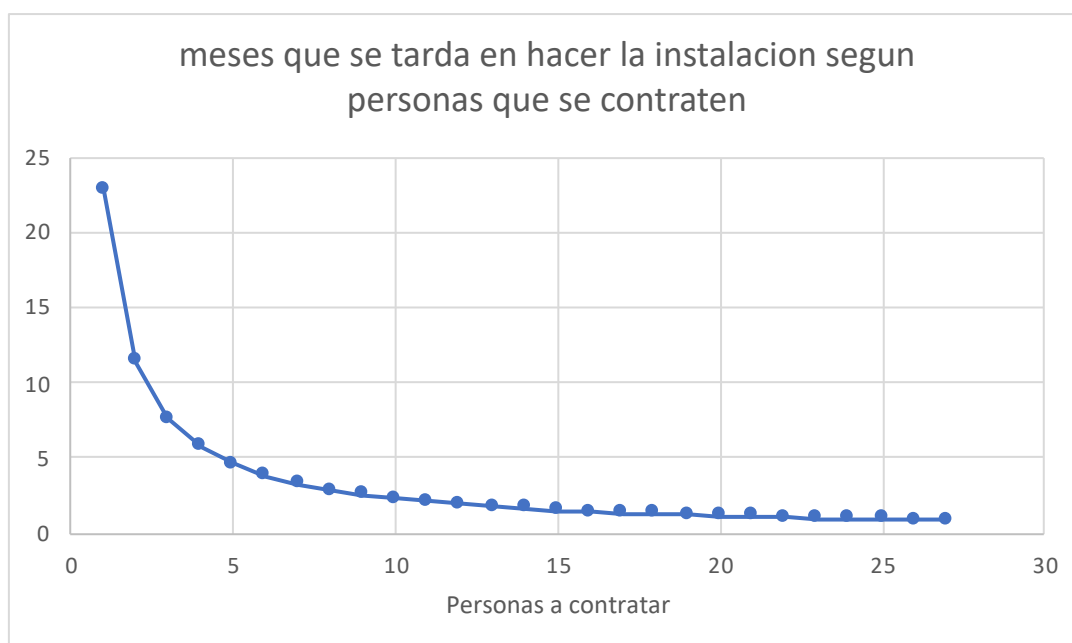


Figura 107: Curva de tiempo necesario para realizar la instalación eléctrica según personas contratadas

El precio de la instalación, al costar 200 Chelines Kenianos cada metro es de 9.132,37 euros.

6.4 AHORRO EN GASOLINA EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO

Como hemos comentado al hablar sobre las estaciones de bombeo, muchas de estas funcionan gracias a generadores diésel, por eso se quieren conectar de una manera adecuada con el Solar Farm, para que el uso de estos generadores no sea necesario y COGRI pueda ahorrar en la compra de combustible, además de reducir su huella de carbono y volverse poco a poco un poblado cada vez más sostenible.

A día de hoy la Tower Pump funciona íntegramente con un generador diésel, y la Government Pump tiene la opción de hacer uso de un generador cuando los paneles que tiene para no generan la suficiente energía. El uso de los generadores diésel le supone al Village una total aproximado de 240 litros al mes de gasolina, a un precio medio de 1,5 dólares el litro. Un total de 360 dólares de media al mes y un total de 4.320 \$ al año, que sería el mismo valor en euros, debido a que el euro y el dólar han alcanzado la paridad.

Por lo que llevar a cabo el proyecto en su conjunto, desde la generación hasta la distribución, le permitirá a Nyumbani utilizar los fondos que ahora se invierten en diésel en una mejor alimentación de los niños, o en arreglos en los Clusters. Es decir, ese gasto mensual en combustible podría estar siendo mejor utilizado, siendo esto una de las razones que hace este proyecto tan vital para el Village.

Capítulo 7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El proyecto desarrollado en las paginas anteriores se puede resumir a fin de cuentas en la figura que tenemos a continuación, esto es debido a que esta es la red que se ha concluido que forma la conexión más optima de Nyumbani.

Color	Característica de la línea
Rojo	Cu 6
Verde	Al 240
Azul Marino	Cu 35
Azul Claro	Cu 10

Figura 108: Material y Sección del cable



Figura 109: Red eléctrica a instalar en Nyumbani

Esta red esta compuesta por líneas de cobre y de Aluminio, conectándolas a través de los conductores bimetálicos que se han comentado en la parte teórica, sin embargo la conexión de estos cables no entra en los objetos de estudio de este proyecto.

La red eléctrica de Nyumbani ha sido elegida de tal manera que optimiza los metros de cable y las pérdidas de potencia, además gracias a la elección de realizarla subterránea, esta tiene menos pérdidas de las que tendría si fuese a ser realizada de manera aérea. Profundizando en dicha elección, esta decisión asienta sus bases en que las redes subterráneas son más seguras, necesitan de menos mantenimiento, y en cuanto al análisis económico, gracias a que el terreno de Nyumbani es fácil de excavar y a la falta de tuberías, líneas de comunicación, aceras, pavimento ... el coste de realizar la red subterránea no difiere mucho del coste de una red aérea.

Al ser una red subterránea, cada cuarenta metros como máximo se ha de instalar una arqueta, para poder medir y manipular la red en caso de averías. La disposición de estas arquetas variarán en función de la localización de las cajas de conexionado. Ni la localización de las arquetas ni las características de las cajas de conexionado, entran en los objetivos de estudio del proyecto, pero merece la pena comentarlo dada su importancia.

La problemática del incremento de las necesidades energéticas de Nyumbani ha sido sufragada, gracias al análisis de un segundo Solar Farm y del sobredimensionamiento de las líneas, que se ha analizado durante las diferentes partes del proyecto, llegando al resultado de que, ampliando el Solar Farm Nyumbani tendría todos las demandas satisfechas y el segundo Solar Farm es necesario para el avance de Nyumbani hacia una comunidad más autosuficiente y moderna, con la mejora de las cocinas y la industrialización del Live Stock.

Capítulo 8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El proyecto de electrificación rural en Kitui Kenia, no es únicamente realizar el Trabajo de Fin de Grado, sino darles la posibilidad a los habitantes de Nyumbani de tener acceso a la electricidad, electrificando todas las edificaciones, desde su centro de salud “el Clinic” hasta los colegios, “el Primary, el High School, el CVTC y el Politécnico”. Esta electrificación se ha conseguido gracias al trabajo de mis compañeros Clara Soto Vergara, Jaime Sáenz de Tejada y Jesús López - Varela y a nuestro director, Miguel Riaza Moreno que ha guiado los cuatro proyectos para conseguir finalmente todo el Proyecto de electrificación.

En cuanto a la planificación de la red de distribución, esta se ha estudiado en detalle, con datos verídicos sobre los consumos, con mediciones exactas de longitudes y calculando caídas de tensión en terreno. Poder realizar el trabajo “in situ” tiene ese valor añadido que materializa el Proyecto, dándole la importancia y el valor que se merece un proyecto de este calibre, además de que manejar datos reales nos ha permitido llegar a conclusiones más solidas. Además, la realización de este proyecto tiene la finalidad de llevarse a cabo cuando se consiga la financiación, lo que ha provocado un compromiso mayor a la hora de realizarlo, y una mayor sensación de pertenencia.

Como trabajo futuro queda pendiente la profundización en las cajas de conexiones entre el aluminio y el cobre, y en la disposición de las arquetas, ambos campos de trabajo son importantes para poder realizar la instalación y por ende, dicho estudio se llevará a cabo.

A la hora de realizar cambios o querer realizar cálculos de líneas, se ha dejado documentado en Excel todas las formulas y todos los cálculos y datos, para facilitar cualquier cambio que pueda haber en el futuro, y poder reutilizar todos los cálculos aquí hechos. De tal manera que al cambiar datos, se obtienen los resultados de manera instantánea.

Capítulo 9. BIBLIOGRAFÍA

- Aliyari, M. A. (s. f.). *Sistemas de distribución de energía primaria y secundaria (explicaciones de diseño)*. crushtymks - Energía y poder para todos.
<https://crushtymks.com/es/power-substation/1337-primary-and-secondary-power-distribution-systems-layouts-explained.html>
- Alvarado, O. A. (2017, 26 julio). *Cobre vs. aluminio en equipos eléctricos: mitos y realidades*. Revista Energy Management. <https://e-management.mx/2017/07/26/cobre-vs-aluminio-en-equipos-electricos-mitos-y-realidades/>
- Área Tecnología. (s. f.). *Calculo Sección Cables Secciones de los Cables Conductores*.
<https://www.areatecnologia.com/electricidad/secciones-de-cables.html>
- Banco Mundial. (s. f.-a). *Acceso a la electricidad, sector rural (% de la población rural) - Kenya, Spain | Data*.
<https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS.RU.ZS?end=2020&location=KE-ES&start=1993&view=chart>
- Banco Mundial. (s. f.-b). *Producción de electricidad a partir de fuentes renovables, excluida la hidroeléctrica (kilovatio-hora) - Kenya, Spain | Data*.
<https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.RNWX.KH?end=2015&location=KE-ES&start=1960&view=chart>
- CIA. (s. f.). *Kenya - The World Factbook*. <https://www.cia.gov/the-world-factbook/countries/kenya/#energy>

CIA - The World Factbook. (s. f.). *Energy consumption per capita - The World Factbook.*

The World Factbook - CIA. <https://www.cia.gov/the-world-factbook/field/energy-consumption-per-capita/country-comparison>

CILES. (2020, 12 marzo). *Cómo usar adecuadamente los conectores bimetálicos* | CILES S.A.S. <https://ciles.co/como-usar-adecuadamente-los-distintos-tipos-de-conectores-bimetalicos/>

Comuval. (2018, 18 abril). *Líneas eléctricas aéreas o subterráneas en una instalación eléctrica.* Comuval Instalaciones Eléctricas. <http://www.comuval.com/blog/lineas-electricas-areas-o-subterraneas.html>

Electricaplicada. (2022, 6 marzo). *Elementos que se deben utilizar para empalmes entre cables eléctricos.* <https://www.electricaplicada.com/empalmes-entre-cables/>

Expansión. (s. f.-a). *España - Consumo de electricidad 2021.* datosmacro.com. <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/electricidad-consumo/espana>

Expansión. (s. f.-b). *Kenia - Consumo de electricidad 2019.* datosmacro.com. <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/electricidad-consumo/kenia>

Favarello, C. (2021, 15 febrero). *Barras colectoras (Busbars) de cobre: ¿qué son y para qué sirven?* Coppermetal. <https://www.coppermetal.com.br/es/blog/es-blog-es-2/>

Fluke. (2021, 16 octubre). *True-RMS Clamp Meter* | Fluke 376 FC AC/DC with iFlex. <https://www.fluke.com/en-us/product/electrical-testing/clamp-meters/fluke-376-fc#>

Fundación Endesa. (s. f.). *Generación distribuida*.

<https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/generacion-distribuida>

Granero, A. G. (2016, 29 junio). *Ventajas e inconvenientes de las líneas aéreas y subterráneas*. Ingeniería de Máquinas y Sistemas Eléctricos.

<http://imseingenieria.blogspot.com/2016/07/ventajas-e-inconvenientes-de-las-lineas.html>

ICEX. (s. f.). *ICEX - Kenia*. <https://www.icex.es/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/paises/navegacion-principal/el-pais/informacion-economica-y-comercial/estructura-de-la-oferta/index.html?idPais=KE>

ICEX Kenia. (s. f.). ICEX. <https://www.icex.es/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/paises/navegacion-principal/el-pais/informacion-economica-y-comercial/estructura-de-la-oferta/index.html?idPais=KE#2>

Kenia - Pirámide de población 2021. (2022, 8 julio). datosmacro.com.

<https://datosmacro.expansion.com/demografia/estructura-poblacion/kenia>

KETRACO. (s. f.). *Our Organization | Kenya Electricity Transmission Co. Ltd.*

<https://www.ketraco.co.ke/about-us/our-organization>

Klauke. (s. f.). *Conexión correcta de aluminio y cobre | Klauke*.

<https://www.klauke.com/es/es/conexion-correcta-de-aluminio-y-cobre>

- Londoño, N. (2018, 15 marzo). *¿Los cables de aleación de aluminio son una buena opción?* TECNO Seguro. <https://www.tecnoseguro.com/analisis/cableado-estructurado/cables-aleacion-aluminio-nexxt>
- Maqueda, G. (2019, 9 agosto). *Conductores de cobre VS conductores de aluminio*. Gómez Maqueda - Material Eléctrico y Automatización Industrial en Sevilla. <https://www.gomezmaqueda.com/conductores-cobre-aluminio/>
- Mateo, C. M. D. (s. f.). *Instituto de Investigación Tecnológica (IIT)*. Instituto de Investigación Tecnológica - Comillas. <https://www.iit.comillas.edu/oferta-tecnologica/rnm>
- Nieto, A. N. (2015, 17 julio). *La Generación Distribuida en Redes e Instalaciones Eléctricas*. Mundo HVAC & R. <https://www.mundohvacr.com.mx/2007/06/la-generacion-distribuida-en-redes-e-instalaciones-electricas-2/>
- Power Transmission and distribution system – Renewable Energy Portal*. (s. f.). Renewable Energy Portal. <https://renewableenergy.go.ke/resources/power-transmission-and-distribution-system/>
- Recio, L. R. M. (2022, 27 julio). *Cálculos de caídas de tensión. Valores oficiales de conductividad para Cu y Al*. Prysmian Club. <https://www.prysmianclub.es/n2-calculos-de-caidas-de-tension-valores-oficiales-de-conductividad-para-cu-y-al/>
- Red Eléctrica. (s. f.-a). *REData - Evolución renovable no renovable*. <https://www.ree.es/es/datos/generacion/evolucion-renovable-no-renovable>
- Red Eléctrica. (s. f.-b). *REData - Kilómetros líneas*. <https://www.ree.es/es/datos/transporte/kilometros-lineas>

- Soto, C. S. V. (2022). *PROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN RURAL EN NYUMBANI VILLAGE (KITUI, KENIA): PLANIFICACIÓN DE LA GENERACIÓN DE LA ENERGÍA MEDIANTE PANELES FOTOVOLTAICOS*.
- Sun, T. (2021, 24 agosto). *¿Qué es la fotovoltaica aislada?* Techno Sun - Distribuidor mayorista. <https://www.technosun.com/es/blog/que-es-la-fotovoltaica-aislada/>
- Talleres MAF. (2020, 24 septiembre). *¿Qué son y para qué sirven los conectores bimetálicos?* | MAF. <https://talleresmaf.com/que-son-y-para-que-sirven-los-conectores-bimetalicos/>
- Trasancos, G. J. (2022). *Instalaciones eléctricas en media y baja tensión 8.ª edición 2020*. Paraninfo.
- Turrubiates, V. T. G. (2019a, marzo 27). *REDES DE DISTRIBUCIÓN AÉREAS Y SUBTERRÁNEAS| Segunda Parte*. Expo Soluciones Energía. https://www.exposolucionesenenergia.com/blog/Redes_distribucion_aereas_subterranas_Part2.php?m=
- Turrubiates, V. T. G. (2019b, abril 8). *REDES DE DISTRIBUCIÓN AÉREAS Y SUBTERRÁNEAS| Tercera Parte*. Expo Soluciones Energía. https://www.exposolucionesenenergia.com/blog/Redes_distribucion_aereas_subterranas_Part3.php?m=
- UNAIDS. (2016, 9 octubre). *Victoria Beckham y su hijo Brooklyn en una misión para la sensibilización sobre el VIH en Kenya con Born Free Africa y ONUSIDA*. <https://www.unaids.org/en/sorrypagenotfound#:~:text=ONUSIDA%20calcula%20que%201%2C5,el%20VIH%20entre%20los%20adultos.>

Ventajas y desventajas del cobre vs aluminio en el cableado eléctrico. (2022, 15 enero).

Electricaplicada. <https://www.electricaplicada.com/ventajas-y-desventajas-del-cobre-vs-aluminio-cableado-electrico/>

WordPressMatyse. (2019, 4 junio). *Líneas eléctricas: diferencias entre las aéreas y las subterráneas.* Matyse. [https://www.matyse.es/lineas-electricas-diferencias-entre-las-aereas-y-las-](https://www.matyse.es/lineas-electricas-diferencias-entre-las-aereas-y-las-subterraneas/#:%7E:text=Se%20llama%20%C2%ABefecto%20Joule%C2%BB%3A,debido%20a%20su%20campo%20el%C3%A9ctrico.)

[subterraneas/#:%7E:text=Se%20llama%20%C2%ABefecto%20Joule%C2%BB%3A,debido%20a%20su%20campo%20el%C3%A9ctrico.](https://www.matyse.es/lineas-electricas-diferencias-entre-las-aereas-y-las-subterraneas/#:%7E:text=Se%20llama%20%C2%ABefecto%20Joule%C2%BB%3A,debido%20a%20su%20campo%20el%C3%A9ctrico.)

ANEXO I

1. FICHERO TÉCNICO EMPORIA VUE (EMCT-V2):

emporia **VUE** Smart Home Energy Monitor for installation in residential circuit panels

EMCT-V2



Description

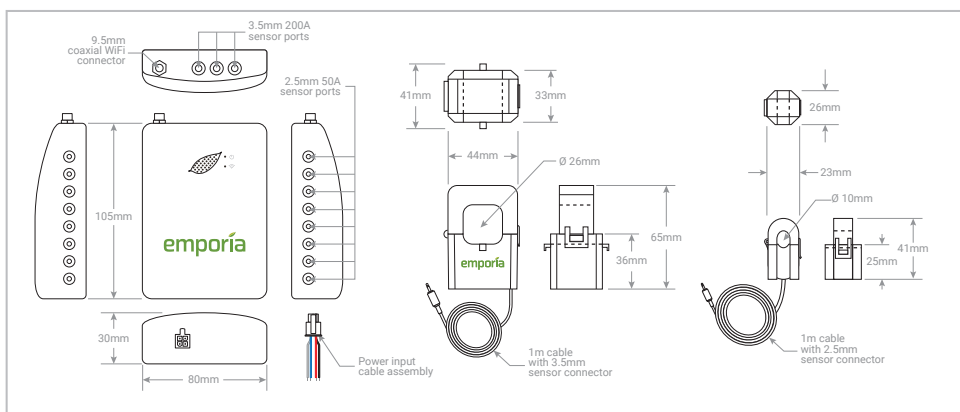
The Emporia Vue Smart Home Energy Monitor installs in the circuit panel of most homes to provide energy monitoring 24/7 of the whole home and can be bundled with 8 or 16 sensors to monitor individual appliances. The Vue connects to your home WiFi network and reports to an app on your phone to help you prevent costly repairs, make your home more energy efficient, and save you money.

Features

- 24/7 real power monitoring
- Real-time data
- Individual circuit monitoring
- Electrician install recommended
- Savings recommendations
- Granular 1 second data
- Connects to cloud over WiFi
- Saves money
- Conserves energy
- Reduces carbon

Specifications

WiFi	2.4 GHz 802.11b/g/n
CT Sensors	2 200A (0.333V) induction sensors (3-phase optional) 0/8/16 50A (0.333V) induction sensors
Power Adapter	100-240VAC 50-60Hz
Power Usage	< 3W
FCC ID	2AS6P-EMPCTV2



emporia 7901 Shaffer Pkwy
 Littleton, CO 80127
www.emporiaenergy.com
info@emporiaenergy.com
 844-EMPORIA (367-6742)



2. FICHERO DE RESULTADOS DE RNM

09/03/2022 10:10

icai\eduardo\icai

FICHERO DE RESULTADOS

Nombre del Caso	
Unidades Constructivas y Parámetros	C:\Proyectos\Ejemplo_RNM3_Greenfield_StreetMap\case\Anexo\catalogo.rnw
Fecha de la Ejecución	Wed Mar 30 09:10:26 2022
Versión del Modelo	Modelo
Tiempo de Ejecución (minutos)	0

Clientes

	Número inicial	Número puntos suministro	Potencia contratada (MW)	Demanda pico (MW)	Energía consumida año 0 (MWh)	Factor de potencia medio
BT	40	36	0.10	0.04	125.00	1.00
MT	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
AT	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTALES	40	36	0.10	0.04	125.00	1.00

Número de clientes BT pasados a MT: 0

Potencia instalada mínima estimada de BT pasada a MT (MVA): 0.000

Generación Distribuida

	Número	Potencia instalada (MVA)
GD_BT	5	0.10
GD_MT	0	0.00
GD_AT	0	0.00
TOTALES	5	0.10

Redes (sólo conductores)

	Longitud (km)		Inmovilizado a Coste Reparación	Man. Preventiva (anual)	Man. Correctiva (anual)
	Aérea	Subterránea			
Red BT	3.94	0.00	51497.83	533.66	0.00

file:///C:/Users/Mapia/Desktop/Proyectos/2021-2022/TW01-IR/004 - Ejemplo_RNM3_Greenfield_StreetMap_jcrai_BT_inmovilizado.html

1/4

CCTT y Subestaciones AT/MT

Costes de la Red de Distribución

Pérdidas de la Red

doi:10.1371/journal.pone.0142600.g001

ANEXOS 12-13

en millones de €

Red AT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTALES	16.00	100.00	0.01	100.00	17.66	100.00	0.01	100.00
Pérdidas en % respecto demanda	12.79%		19.24%		14.12%		21.37%	

Zanjas, Fachadas y Postes (núcleos y polígonos)

	Longitud (km)				Coste			
	Fachada	Poste	Zanja	Total	Fachada	Poste	Zanja	Total
BT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Elementos Red MT

	Número	Inmovilizado a Coste Reposición	Man. Preventivo (anual)	Man. Correctivo (anual)
Reconectores	0	0.00	0.00	0.00
Teleschaltadores	0	0.00	0.00	0.00
Seccionadores	0	0.00	0.00	0.00
Total Protecciones	0	0.00	0.00	0.00
Condensadores	0	0.00	0.00	0.00
Reguladores Tensión	0	0.00	0.00	0.00
Total Tensión	0	0.00	0.00	0.00
Brigadas (corr)	0	0.00	0.00	0.00
Brigadas (prev)	0.00	—	—	—
Mallas	Km Aéreas	0.00	0.00	0.00
	Km Subterráneas	0.00		

Calidad Red MT

Zona	Número CCTT+CMT	Pot. Inst (MVA)	TIEPI	NIEPI
Urbana	0	0.00	0.00	0.00
Semi-Urbana	0	0.00	0.00	0.00

de: (1) Datos: María Belén de Francisco (2013-2015) ICAI. (2) Datos: Francisco Javier López, ICAI (2016-2018)

14

Resumen de Instalaciones

Resumen de Instalaciones

Rural Concentrado	0	0.000	0.00	0.00
Rural Disperso	0	0.000	0.00	0.00
Polygonos	0	0.000	0.00	0.00

Resumen de Instalaciones agregadas por Zonas

TIPO DE INSTALACION	NOMBRE	SackVA)	ZONA FIABILIDAD	Número	RATIO MEDIO E/Imax (pu)	Pot. Inst (MVA)	Inmovilizado (euros)
CCTE	CT_1_3	100	D	1	-0.812	0.100	25467.00

TIPO DE INSTALACION	NOMBRE	SackVA)	ZONA FIABILIDAD	Número	RATIO MEDIO E/Imax (pu)	Longitud (km)	Inmovilizado (euros)
LINEA_BT	LV_1_1	69	D	40	0.02	3.82	49608.42
LINEA_BT	LV_1_2	104	D	1	-0.60	0.12	1649.41

Calidad de Municipios

Municipio	Tipo Zona	Número CCTE+CMT	Pot. Inst (MVA)	TIEPI	NIEPI
-----------	-----------	-----------------	-----------------	-------	-------

3. CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA DE TANA ATHY PUMP

4PD

4" PEDROLLO submersible motors

 Domestic use

 Civil use

 Industrial use



PERFORMANCE

- Power from 0.37 to 1.5 kW

APPLICATION LIMITS

- Maximum liquid temperature +45 °C
- 300 m maximum head
- Starts after 20 s regular intervals
- Maximum flow rate for water cooling 8 m³/h
- Continuous service (S1)

ELECTRIC MOTOR

- 3 pole electric motor, 3600 (n = 2800 rpm)
- Voltage:
 - single phase 230 V
 - three phase 400 V
- Protection class F
- Protection IP 68

CERTIFICATIONS

Complies with management system certified (ISO 9001:2015 / ISO 14001:2015)

CE 

OPTIONS AVAILABLE ON REQUEST

- Other voltages or 60 Hz frequency

SACRIFICIAL ANODE

Supplied on request – code 4334PDAP1

- Manufactured with a special zinc-aluminum-cadmium free alloy suitable for contact with drinking water
- It is easily fitted to the lower extremity of 4PD motor to protect them from corrosion in the presence of irregular currents or particularly aggressive water, greatly increasing the life of the motor component

CONSTRUCTION AND SAFETY STANDARDS

- Oil-filled **explosion-proof** motor made of for use with food
- Shaft: AISI 316 stainless steel
- Shaft: "DUPLEX" stainless steel
- Dimensions of the flange connection in compliance with **DNV** standards
- Complete with power cable of the following length:
 - 2 m power from 0.37 to 2.2 kW
 - 8.8 m power from 3 to 11 kW





PERFORMANCE DATA

Single phase versions

MODEL	Amperage A ₂	Head m	Flow m ³ /h	Working pressure bar	Power kW	Capacity liters/min	Q	Height
SPD-1 (0.36)	0.36 - 1.0	10	1000	1.0	0.12	27	100	70
SPD-1 (0.36)	0.37 - 0.50	2000	2000	1.0	0.15	30	100	60
SPD-1 (0.75)	0.75 - 0.75		2000	1.0	0.15	35	100	55
SPD-1 (1)	0.75 - 1		2000	1.0	0.15	35	100	50
SPD-1 (1.5)	1.0 - 1.5		2000	1.0	0.15	40	100	50
SPD-1 (2)	1.0 - 2		2000	1.0	0.15	40	100	50
SPD-1 (3)	2.0 - 3		2000	1.0	0.15	50	100	50

Three phase versions

MODEL	Amperage A ₂	Head m	Flow m ³ /h	Working pressure bar	Power kW	Capacity liters/min	Q	Height
SPD-3 (0.36)	0.36 - 1.0	10	1000	1.0	0.12	27	100	70
SPD-3 (0.36)	0.37 - 0.50	2000	2000	1.0	0.15	30	100	60
SPD-3 (0.75)	0.75 - 0.75		2000	1.0	0.15	35	100	55
SPD-3 (1)	0.75 - 1		2000	1.0	0.15	35	100	50
SPD-3 (1.5)	1.0 - 1.5		2000	1.0	0.15	40	100	50
SPD-3 (2)	1.0 - 2		2000	1.0	0.15	40	100	50
SPD-3 (3)	2.0 - 3		2000	1.0	0.15	50	100	50
SPD-4	0 - 4	2000	2000	1.0	0.15	40	100	50
SPD-5 (0.36)	0 - 0.36	2000	2000	1.0	0.15	30	100	60
SPD-5 (0.75)	0.75 - 0.75		2000	1.0	0.15	35	100	55
SPD-5 (1)	1.0 - 1.0		2000	1.0	0.15	40	100	50
SPD-5 (1.5)	1.5 - 1.5		2000	1.0	0.15	45	100	50



4. CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR QUE ALIMENTA LA BOMBA DEL GOVERNMENT PUMP

Motor sumergible: ESCALERAS 47 asintótico en aceite 4R518

- Versión 4kW, 400V, 50Hz
- Tolerancia de tensión +10% -10%
- Corriente nominal 9.8A
- máx. número de arranques por hora: 40 por se aplica cuando se usa un convertidor de frecuencia
- máx. temperatura del agua: 35 ° C
- velocidad mínima del agua que fluye alrededor del motor (L2 m/s)
- Carga útil: 5000%

Motores (ESCALERAS) 48 - motores sumergibles, tenes de aceite no tóxico, incoloro y salubridad, que no tiene sabor significativo, apto también para pozos de agua potable. El estator está diseñado teniendo en cuenta la alta eficiencia y la capacidad de trabajar sin fallos incluso con fluctuaciones de voltaje más altas. Solo se utilizan componentes de alta calidad. La carcasa del motor, el eje, la cubierta superior y el cuerpo inferior están hechos de acero inoxidable, el cuerpo superior está hecho de hierro fundido galvanizado y el cable está hecho de un material que no es dañino para la salud. El cable se conecta al motor mediante un conector extraíble resistente al agua para facilitar el mantenimiento.

ESPECIFICACIONES:

- conector de cable extraíble resistente al agua para facilitar el mantenimiento
- cable de material inocuo para la salud
- aceite no tóxico, incoloro e inocuo para la salud sin un sabor fuerte, también adecuado para pozos de agua potable
- carcasa del motor, eje, tapa superior y cuerpo inferior de acero inoxidable
- cuerpo superior de hierro fundido galvanizado
- el estator está diseñado teniendo en cuenta una alta eficiencia y la capacidad de trabajar sin fallos incluso con fluctuaciones de voltaje más altas

Typ motora	Výkon P		Napätie U	Prúd I	I štart	Účinnosť	Účinník	Otáčky	Zaťaženie	Kond.	Kábel	
	kW	HP	V	A	A	%	cosφ	1 / min	N	μF	mm ²	m
4R518	4	5.5	400	9.8	49	75	0.85	2850	5000		1.5	2.5

5. CARACTERÍSTICAS DEL ENERGOMONITOR POWERSENSE



energomonitor

Powersense

Energomonitor will provide you with a complete overview of your energy consumption and production.

The Energomonitor Powersense set measures the electricity consumption and production of the supply point by connecting to 1 or 3 phases.



Why choose Energomonitor

- comprehensive information about consumption, not only to kWh, but also the monetary cost resulting
- real time energy consumption, data saved every 90 seconds, you can browse through the history anytime
- alerts in case of emergency conditions
- warnings about changes in long-term conditions
- weekly and monthly e-mail reports
- watchdog and inspection if everything is in order or as you expect in your household or company
- relevant suggestions for potential economy drive
- the measured data is accessible anytime and from anywhere, from any computer, tablet or mobile phone
- it is not necessary to have any new specific wires or data line installed. Energomonitor uses your current infrastructure

Energomonitor Optosense set contains:

- Energomonitor Homebase (with 230 V power supply)
- Energomonitor Transmitter
- Powersense Probe (1x or 3x)
- Ethernet cable
- All packed in nice paper box

Energomonitor Powersense set can be expanded by:

- Temperature measuring (Energomonitor Thermosense unit)
- Optical measuring of electricity consumption (Energomonitor Optosense set)
- Gas consumption measuring (Energomonitor Relaysense Gas set)
- Water consumption measuring (Energomonitor Relaysense Water set)

PLEASE, TAKE A LOOK at the demo of the application on app.energomonitor.com

www.energomonitor.com sales@energomonitor.com [energomonitor@com](https://www.facebook.com/energomonitor) [energomonitor@com](https://www.instagram.com/energomonitor)
energomonitor s.r.o. - Závorka 262-757 SE, Velehrad, Masaryk, Czech Republic

6. FICHA TÉCNICA DEL FLUKE 376 FC



TECHNICAL DATA

Fluke 370 FC Series True-rms Wireless AC/DC Clamp Meters





LOG AND TREND MEASUREMENTS
Trended results wirelessly via Fluke Connect Measurements app

WORK SAFELY
Capture measurements outside the air flash zone with Bluetooth connectivity to your Apple or Android device

LO-PASS FILTER
Integrated 50 Hz low-pass filter (Fluke 376 FC and 375 FC) for accurate motor drive measurements

TRUE-RMS
True-rms voltage and current for accurate measurements on non-linear signals

WARRANTY
Three-year

The Fluke 370 FC Series (376 FC, 375 FC and 374 FC) offers advanced troubleshooting performance.

The iFlex™ flexible current probe allows easy connections to wires in tight spaces. In addition, all three clamps are now part of the Fluke Connect™ family of wireless test tools. Now you can:

- Log and trend measurements to pinpoint intermittent faults
- Transmit results wirelessly via Fluke Connect Measurements app
- Create and send reports right from the field
- Capture measurements outside the air flash zone with Bluetooth connectivity to your Apple or Android device

Product highlights

- Connect your meter to your smartphone using Fluke Connect Measurements app to increase the troubleshooting power of your clamp
- Read measurements on your phone at a safe distance, waiting less PPE while your meter takes all the risks
- Record results directly to your phone and the Fluke Cloud™
- Capture intermittent faults while performing other tasks using the logging capabilities of the Fluke 376 FC and 375 FC
- Create and share reports from the field via email, or connect in real time with StreamLine™ video calls
- iFlex flexible current probe expands the measurement range to 2500 A ac; provides access to large conductors in tight spaces (included with 376 FC; compatible with 375 FC and 374 FC)
- TPAK magnetic hanging strap (included with 376 FC; compatible with 375 FC and 374 FC) allows you to conveniently hang the meter while using the probe
- Integrated 50 Hz low-pass filter (Fluke 376 FC and 375 FC) for accurate motor drive measurements
- Proprietary in-rush measurement technology to filter out noise and capture motor starting current exactly as the circuit protection sees it
- CAT IV 600 V, CAT III 1000 V safety rating
- Three-year warranty
- Soft carrying case

FLUKE

Measurement capability

- 1000 A ac and dc current measurement (376 FC); 600 A ac and dc (375 FC and 384 FC)
- 2000 A ac current measurement with iFlex® Double current probe
- 1000 V ac and dc voltage measurement
- True-rms voltage and current for accurate measurements on non-linear signals
- Frequency measurement to 500 Hz with body jaw and iFlex (376 FC and 375 FC)
- Resistance measurement to 60 k Ω (376 FC and 375 FC) or 6000 Ω (374 FC) with continuity detection
- Min, max, average and in-rush recording to capture variations automatically
- 500 mV dc measurement range to interface with other accessories (376 FC and 375 FC)
- 1000 μ F capacitance measurement

Comparison chart

	Fluke 376 FC	Fluke 375 FC	Fluke 374 FC
CAT rating	CAT II 1000 V, CAT III 600 V	CAT II 1000 V, CAT III 600 V	CAT II 1000 V, CAT III 600 V
A ac range	1000 A with clamp jaws 2000 A with iFlex Double current clamp	600 A with clamp jaws 2000 A with optional iFlex Double current clamp	600 A with clamp jaws 2000 A with optional iFlex Double current clamp
A dc range	6000 A	600 A	600A
mA ac range	0.1 A	0.1 A	0.1 A
V ac range	1000 V	1000 V	1000 V
V dc range	1000 V	1000 V	1000 V
mV dc range	500 mV	500 mV	500 V
Ohm range	60-60 k Ω	60-60 k Ω	6000 Ω
Frequency	5-500.0 Hz	5-500.0 Hz	
Capacitance	1 μ F-1,000 μ F	1 μ F-1,000 μ F	1 μ -1,000 μ F
Auto off/hold	•	•	•
True RMS	•	•	•
Display hold	•	•	•
Intuitive navigation	•	•	•
Backlight	•	•	•
DC pin	•	•	•
Min/max	•	•	•
1000 line pixel display	•	•	-
Logging	•	•	-
iFlex Double current clamp	Included	Optional	Optional
Fluke Connect compatible	•	•	•

General specifications

Maximum voltage between any terminal and earth ground	6000 V
Battery type	2 AA alkaline batteries, (NOT LR6)
Temperature	
Operating	-40 °C to +40 °C (24 °F to +104 °F)
Storage	-40 °C to +60 °C (-40 °F to +140 °F)
Operating humidity	See construction (-30 °C (24 °F) to 0 °C (32 °F) 30% to 90% RH; 0 °C (32 °F) to 40 °C (104 °F) 30% to 80% RH; 40 °C (104 °F) to 50 °C (122 °F) 30% to 70% RH)
Altitude	
Operating	2000 m (6562 ft)
Storage	12,000 m (39,370 ft)
Dimensions	24.0 cm (9.4 in) x 4.5 cm (1.7 in) x 4.5 cm (1.7 in)
Weight	345 g (12.1 oz)
Net operating	34 mm (1.3 in)
Flammable vapour probe diameter	1.5 mm (.09 in)
Flammable vapour probe cable length (based on maximum measurement)	1.6 m (5.2 ft)
Battery	IEC 61510-1, Pollution Degree 2 IEC 61510-2-012, CAT III 6000 V / CAT IV 600 V IEC 61510-2-013, CAT III 6000 V / CAT IV 600 V
IP rating	IEC 60529 (IP30), non-operating
Radio frequency certification	FCC ID: T6A-FR12, IC: 6121-A-FR12
Electromagnetic Compatibility (EMC)	International: IEC 61326-1, Immunity, Electromagnetic Environment IEC 61326-2-2 (EN 6132-1), Group 1, Class A Some (RIS) Class A Equipment (Industrial Broadcasting & Telecommunication Equipment) SAR (FCC): 47 CFR 15 subpart B. This product is considered an exempt device per clause 15.203.
Temperature coefficient	±0.01 % ± specified accuracy for each degree C above 25 °C or below 10 °C

© 2004 Blackwell Publishing Ltd, *Journal of Internal Medicine* 255: 109–116

FLUKE

Specifications (continued)

Function	Range	Resolution	Accuracy	Overload	Trigger level
AC current via port	375 FC and 375 FC 4000 A 375 FC, 999.9 A	0.1 A	2% 35 digits 50 Hz to 100 Hz	3 at 500 A 375 FC and 375 FC (auto) 2.5 at 4000 A 1.52 at 1000 A 375 FC (auto) Add 2% for C.T. <0	—
AC current via function-current probe	2000 A	375 FC and 375 FC 0.1 A to 400.0 A; 1 A to 2000 A 375 FC 0.1 A to 999.9 A; 1 A to 2000 A	2% 35 digits 50 Hz to 100 Hz	30 at 1000 A 375 FC and 375 FC (auto) 2.5 at 1400 A 1.52 at 3500 A Add 2% for C.T. <0	—
DC current	375 FC and 375 FC 4000 A 375 FC, 999.9 A	0.1 A	2% 35 digits	—	—
AC voltage	1000 V	0.1 V (4000.0 V) 1 V (40000 V)	1% 35 digits 50 Hz to 100 Hz	—	—
DC voltage	1000 V	0.1 V (4000.0 V) 1 V (40000 V)	1% 35 digits	—	—
res. Ω	500.0 mΩ	0.1 mΩ	1% 35 digits	—	—
Frequency via port	375 FC and 375 FC 0.0 Hz to 1000.0 Hz	0.1 Hz	0.5% 35 digits	—	5 Hz to 10 Hz, 0.05 A 10 Hz to 100 Hz, 0.5 A 100 Hz to 1000 Hz, 0.05 A
Frequency via function-current probe	375 FC and 375 FC 0.0 Hz to 1000.0 Hz	0.1 Hz	0.5% 35 digits	—	5 Hz to 10 Hz, 0.05 A 10 Hz to 100 Hz, 0.5 A 100 Hz to 1000 Hz, 0.05 A
Resistance	375 FC 4.300 Ω 375 FC and 375 FC 60 kΩ	375 FC 0.1 Ω to 400 Ω; 1 Ω (40000 Ω) 375 FC and 375 FC 0.1 Ω to 400 Ω; 1 Ω (40000 Ω) 40 Ω (400 kΩ)	1% 35 digits	—	—
Capacitance	2000 pF	0.1 pF (4000 pF) 1 pF (40000 pF)	1% 35 digits	—	—

FLUKE

Ordering information

326 FC 600A AC/DC True-rms Wireless Clamp Meter
328 FC 600A AC/DC True-rms Wireless Clamp Meter
328 FC 1000A AC/DC True-rms Wireless Clamp Meter with iFlex

Included
 18-inch iFlex Flexible Current Probe (326 FC only)
TRAK Magnetix Hanging Strap (328 FC only)
 Soft Carrying Case
 TS25 Test Leads
 Two AA Alkaline Batteries
 Coated Instruction Card
 Safety Information Sheet

Optional accessories
TRAK Magnetix Hanging Strap (included with 328 FC)
 18-inch iFlex Flexible Current Probe (included with 326 FC)

Visit www.fluke.com to get complete details on these products or ask your local Fluke sales representative.



Preventive maintenance simplified. Network eliminated.

Save time and improve the reliability of your measurements data by wirelessly capturing measurements using the Fluke Connect system.

- Eliminate data entry errors by viewing measurements directly from the test and recording them with the work order, report or asset record.
- Maximize uptime and reduce equipment maintenance downtime with data you can trust and trace.
- Move away from clipboards, notebooks and multiple spreadsheets with a wireless one-stop measurement toolset.
- Access live data, historical and current measurements by web.
- Share your measurement data using SmartView™ email alerts and reports.
- The 326+ advanced meter is part of a growing system of connected test tools and equipment measurement software. Visit the Fluke website to learn more about the Fluke Connect system.

Find out more at Fluke.com




All trademarks are the property of their respective owners. While an official service company is always recommended, service is available with data price not included with purchase. Price is subject to change without notice.

Repair time, website access and data price not included with purchase. Fluke Connect work order details all countries.

Fluke. Keeping your world up and running.

Fluke Corporation
P.O. Box 9100, Everett, WA 98033 U.S.A.
Fluke Europe B.V.
P.O. Box 1180, 3720 ZH, The Netherlands

Fluke (India) Private Limited
Plot 10, Phase 1, Industrial Estate, Sector 63, Gurgaon, Haryana 122009 India

For more information call:
In the U.S.A. (800) 441-8800 or
Fax: (800) 440-0100
In Europe (44) 1832 3531 or
Fax: +44 (0) 1832 3531
In Canada (800) 367-7000 or
Fax: (800) 367-7000
Fluke (China) Ltd. +86 (0) 21 5900 0000
Fax: +86 (0) 21 5900 0000
Web address: <http://www.fluke.com>

© 2012, 2011 Fluke Corporation.
Reproduction, storage or transmission in any form or by any means without written permission is prohibited.

