



Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Volumen I

Memoria – Anexos

TRABAJO DE FINAL DE GRADO

A detailed illustration of a grand, multi-story building with a central tower and arched windows, serving as the background for the title.

“Alternativas para la electrificación de zonas rurales”

TFG presentado para optar al título de GRADO en
INGIENIERÍA ELÉCTRICA
por **Blanca García de Vinuesa Bauzá**

Barcelona, 08 de Junio de 2016

Tutor proyecto: Roberto Villafáfila Robles
Departamento de Ingeniería Eléctrica (DEE)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)



Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Memoria

A detailed illustration of a large, multi-story building with a central tower and many windows, likely a university building. The drawing is in a sketch-like style with some color washes.

“Alternativas para la electrificación de zonas rurales”

TFG presentado para optar al título de GRADO en
INGENIERÍA ELÉCTRICA
por **Blanca García de Vinuesa Bauzá**

Barcelona, 08 de Junio de 2016

Director: Roberto Villafáfila Robles
Departamento de Ingeniería Eléctrica (DEE)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

INDICE MEMORIA

Resum.....	3
Resumen	3
Abstract	3
Agradecimientos.....	5
Capítulo 1: Introducción	7
1.1. Objetivos	9
1.2. Alcance.....	9
Capítulo 2: Alternativas para la electrificación rural	11
2.1. Conexión a red	12
2.1.1. Tecnología de distribución	12
2.1.2. Tecnología de transporte.....	17
2.2. Aislado de red	21
2.2.1. Sistemas tradicionales	22
2.2.2. Sistemas con energías renovables	22
2.2.3. Sistemas híbridos.....	25
Capítulo 3: Beneficios de la electrificación	29
3.1. Solución energética a los Objetivos de Desarrollo del Milenio	31
Capítulo 4: Caso de estudio	33
4.1. Población de Kisaki, Tanzania	33
4.2. Acceso a la energía	35
4.3. Perfil del sector eléctrico	37
4.4. Agentes.....	38
4.5. Disponibilidad de recursos renovables	39
4.6. Estimación de la demanda	42
4.7. Modelos de electrificación	43
4.7.1. Conexión a red	43
4.7.2. Aislado de red.....	47
4.8. Aspectos económicos	54
4.8.1. Conexión a red	55
4.8.2. Instalación solar fotovoltaica	56
4.8.3. Planta de biomasa HPS	56

4.9. Evaluación de modelos	57
4.10. Conclusiones	61
Capítulo 5: Bibliografía	63
5.1. Referencias bibliográficas.....	63
5.2. Bibliografía de consulta.....	64
ANEXOS	65
A. Cálculos	66
B. Planos.....	78
C. Presupuesto.....	79
D. Catálogos	80

RESUM

Els coneguts beneficis tècnics, soci-econòmics i ambientals que aporta l'electrificació són el motor d'aquest treball on s'han analitzat diferents alternatives per proporcionar energia elèctrica als qui no disposen d'ella. En un escenari rural d'un país en vies de desenvolupament, s'han aplicat els coneixements adquirits en transmissió d'energia i en generació elèctrica amb energies renovables per trobar la millor alternativa tècnica i econòmica que subministri electricitat a la zona d'estudi i a altres amb característiques similars.

RESUMEN

Los conocidos beneficios técnicos, socio-económicos y ambientales que aporta la electrificación son el motor de este trabajo en el que se han analizado diferentes alternativas para proporcionar energía eléctrica a quienes no disponen de ella. En un escenario rural de un país en vías de desarrollo, se han aplicado los conocimientos adquiridos en transporte de energía y en generación eléctrica con energías renovables para encontrar la mejor alternativa técnica y económica que suministre electricidad a la zona de estudio y a otras con características similares.

ABSTRACT

The well known technical, socio-economic and environmental benefits carried out by electrification are the key toward this research in which different alternatives have been analyzed in order to provide electric energy to whomever lack of it. Acquaintance with energy transmission and electric generating handed by renewable energies has been applied on developing countries within a rural scenery, being the aim of this project to provide the studied area with an improved technical and economical alternative, as well as other areas with similar situations.

AGRADECIMIENTOS

Una de las mejores lecciones que he aprendido durante mi periodo como estudiante de Ingeniería es que el trabajo en equipo facilita y enriquece el resultado final, por ello, quiero agradecer a todos mis compañeros y profesores, en especial a mi tutor Roberto Villafáfila Robles, la dedicación, profesionalidad y apoyo que he recibido en el transcurso de mis estudios y que me han ayudado a llegar hasta aquí.

A mi familia y amigos, en especial a mis padres y a Juan Ramón, por quererme, cuidarme y acompañarme sin descanso en esta etapa.

A mi hermano Álvaro, por dar tanto y por estar siempre.

CAPÍTULO 1:

INTRODUCCIÓN

La electricidad representa un elemento clave para el desarrollo social, económico y medio ambiental en todos los países del mundo. Desempeña, además, un papel muy importante en la lucha contra la pobreza y la desigualdad al ser un factor determinante en el avance de procesos productivos que propician el progreso socio-económico de los países en vías de desarrollo. Por esto, el acceso limitado a la energía frena el desarrollo de las comunidades y tiene repercusión negativa sobre el medio ambiente porque, entre otros motivos, el uso de fuentes de energía tradicionales para satisfacer las necesidades de las poblaciones que residen en estos países, como la combustión de leña o de carbón vegetal, propician la deforestación.

En la actualidad 1.500 millones de personas, alrededor del 20% de la población mundial, carecen de acceso a la energía eléctrica. Esta realidad afecta principalmente a las zonas rurales y más concretamente a las zonas rurales de los países en vías de desarrollo donde no resulta económicamente viable el desarrollo de proyectos de electrificación debido a distintos factores como la dispersión geográfica, difícil accesibilidad a la zona rural o la baja capacidad económica de las personas que residen en ellas. Estos motivos hacen que el mercado sea poco atractivo para inversores privados externos y dependa exclusivamente de los gobiernos de estos países. Por tanto, las razones que afectan al proceso de electrificación en los diferentes países del mundo guardan una importante relación con la situación económica del país, que en el caso de los países en desarrollo no disponen de los recursos económicos necesarios para satisfacer esta la demanda energética de sus habitantes.

En la Tabla 1 se muestra como está dividida la población mundial en los diferentes continentes del mundo según la zona donde residan, si es en áreas urbanas o en áreas rurales. Ha sido en 2014 cuando, por primera vez en la historia, la población mundial que reside en zonas urbanas ha superado a la rural.

Tabla 1. Distribución de la población según residencia [14]

	Población			
	Urbana	Rural	Total	% Urbano
Mundo	3.880.128	3.363.656	7.243.784	53,56
África	345.617	589.084	934.701	36,98
Asia	2.114.211	2.328.044	4.442.255	47,59
Europa	574.315	208.967	783.282	73,32
Latino América y Caribe	545.443	141.038	686.481	79,45
Norte América	291.860	66.376	358.236	81,47
Oceanía	27.473	11.356	38.829	70,75

La Tabla 2 recoge el grado de electrificación en los continentes con mayor número de países en vías de desarrollo diferenciando el nivel de electrificación según la zona de residencia, urbana o rural. Estos datos ponen de manifiesto la necesidad de buscar soluciones para la población que vive en zonas aisladas.

Tabla 2. Grado de electrificación [14]

Región	Sin electricidad [millones]	% Electrificación	% Electrificación Zona Urbana	% Electrificación Zona Rural
África	635	42,8	68,1	26,2
Asia	526	85,8	96,3	78,0
América Latina	22	95,4	98,3	84,5
Oriente Medio	17	92,3	98,4	78,5

Aunque la idea principal es estudiar alternativas de electrificación en zonas rurales de países en vías de desarrollo, el acceso energético en las zonas rurales no solo es importante en estos países, existen zonas en países desarrollados donde el acceso a la electricidad está muy limitado debido a su posición geográfica alejada de las redes de distribución o transporte principales o al elevado coste que supone prolongar las redes nacionales por sus bajos niveles de demanda. Las opciones que se plantean en este documento pretenden, también, dar solución en estos casos.

En la actualidad, además, la independencia energética es un bien a los que muchas comunidades aspiran a llegar, el estudio de electrificación aislada de la red puede utilizarse para conseguir este fin de forma eficiente y sostenible, si además se utilizan las energías renovables como se plantea en este documento.

1.1. Objetivos

El objetivo principal es analizar alternativas para la electrificación de zonas rurales. Para alcanzar este objetivo principal, se definen los siguientes objetivos específicos:

- Estudio de las alternativas tecnológicas para la electrificación en zonas rurales.
- Identificación de los beneficios de la electrificación rural.
- Aplicación a un caso de estudio.

1.2. Alcance

En este documento se han analizado distintas alternativas para la electrificación de una zona rural divididas en dos bloques: acceso a la red eléctrica o generación eléctrica con energías renovables. Estas opciones se han aplicado a un caso de estudio en la población de Kisaki, perteneciente a la región de Morogoro de la República Unida de Tanzania. El trabajo se desarrolla según el balance energético estimado y se calculan y diseñan las instalaciones necesarias para la aplicación de las opciones antes mencionadas. Queda fuera del alcance del proyecto el cálculo de la instalación eléctrica de distribución y la operación y el mantenimiento de las instalaciones.

CAPÍTULO 2:

ALTERNATIVAS PARA LA

ELECTRIFICACIÓN

RURAL

El acceso eléctrico a las zonas rurales puede realizarse mediante la extensión de redes de suministro, que es la estrategia más habitual, o mediante sistemas aislados de red, bien sean sistemas individuales o micro redes. Para éste último grupo de alternativas, las energías renovables o los sistemas híbridos pueden proporcionar soluciones operativas y fiables. Sin embargo, esta alternativa presenta una serie de barreras que deben superarse, como son, los inexistentes o insuficientes marcos políticos y legales, las dificultades financieras y la falta de capacidad de muchas regiones.

La idoneidad de cada una de estas opciones para un área en particular dependerá de una serie de factores como la proximidad al suministro de red de la zona a electrificar, la disponibilidad de generación local, la densidad de carga, el desarrollo esperado o la presencia de industrias.

En las zonas con mayores demandas de electricidad y con distancias relativamente cortas hasta la red principal, la opción más óptima aplicada hasta el momento ha sido la extensión de la red eléctrica hasta estas áreas. Por el contrario, en algunas áreas donde la densidad de carga es extremadamente baja o son zonas de difícil acceso, los sistemas autónomos se convierten en la mejor opción. Si las comunidades son más grandes y en el área existen recursos de fuentes renovables como la hidráulica, biomasa o eólica, las opciones de sistemas de generación con fuentes de energías renovables o híbridos destacan sobre las demás.

2.1. Conexión a red

Las zonas rurales se caracterizan por la existencia de cargas de demandas dispersas alejadas de instalaciones de transporte y de distribución ya existentes. El modelo de extensión de redes, que consiste en la ampliación de las redes de distribución ya existentes de manera que el suministro llegue a un mayor número de clientes, es el más implementado hasta el momento en los procesos de electrificación rural. Esta solución no siempre resulta viable económicamente por lo que se han buscado alternativas para solucionar el problema económico. Hay que destacar, además, que estas áreas no requieren las mismas características que los entornos urbanos, por lo tanto, las tecnologías que deben aplicarse a las zonas rurales serán adaptadas a sus propias singularidades.

El diseño de conexión a red en zonas urbanas debe cumplir más requisitos que permitan mayor flexibilidad de suministro. Debido a que el valor económico y las molestias de los cortes de energía son altos, se deben garantizar otras opciones rápidas y eficientes para asegurar un suministro alternativo. En las zonas rurales tales condiciones no necesitan ser tan rigurosas lo que permite diseños más simples a costes más bajos. Las redes tienen una carga energética significativamente menor que en las zonas urbanas que permite elegir entre una amplia variedad en diseños de distribución.

La asociación *EU Energy Initiative Partnership Dialogue Facility*, EUEI PDF, fundada en 2004 por diversos estados miembros de la Unión Europea y la Comisión Europea, redactó en 2015 el informe *Low Cost Grid Electrification Technologies [5]* donde se desarrollan y explican soluciones de bajo coste para tecnologías de distribución y transporte en el modelo de conexión a red en zonas rurales. De este informe se recoge información para los dos siguientes apartados donde se desarrolla la solución tecnológica en los ámbitos de distribución y transporte de electricidad.

2.1.1. Tecnología de distribución

Los sistemas de distribución permiten la transmisión de energía eléctrica desde las redes de transporte o desde otras redes de distribución hasta los consumidores finales. Los elementos que conforman las líneas de distribución son los conductores, los aisladores y los apoyos. En los casos de la electrificación rural el coste final de los elementos juega un papel muy importante.

En el presente trabajo se detallan dos métodos de distribución destinados, principalmente, a proporcionar energía eléctrica en las zonas rurales a un coste reducido pero manteniendo los niveles de seguridad necesarios.

- Distribución monofásica. Método *Single Phase Reticulation*

La metodología utilizada en algunos países para implementar la tecnología de zonas urbanas en áreas rurales consiste en redes de MT, donde el valor de la tensión es de 11 kV / 33 kV con transformadores de gran capacidad y líneas de BT muy extensas que en algunos casos llegan a los 2 km. Las líneas BT son monofásicas mientras que las líneas MT pueden ser trifásicas o

monofásicas. Sin embargo, se ha demostrado que el uso de líneas MT monofásicas para distribuir energía eléctrica reduce costes aplicando en el sistema las siguientes características:

- Líneas monofásicas MT que sirven para cubrir ampliamente el área de suministro.
- Transformadores monofásicos de pequeña capacidad para alimentar a pequeños grupos de consumidores.
- Uso reducido de líneas BT.

Este sistema se utiliza para cubrir el suministro con redes de distribución de MT monofásicas hasta prácticamente la puerta del consumidor. Los transformadores monofásicos son de baja capacidad, entre 5 kVA y 37,5 kVA, contruidos con láminas de acero cilíndrico que resultan más baratos que los transformadores rectangulares y se utilizan tanto para líneas monofásicas como trifásicas.

Cuando se necesita suministro para una línea trifásica se instalan tres transformadores monofásicos en un mismo poste, normalmente de madera, por lo tanto hay un número mayor de transformadores a lo largo de una línea MT.

Como alternativa, la configuración fase-fase se puede aplicar en las líneas MT en vez de fase-neutro. De este modo, por ejemplo, las derivaciones de un sistema de 11 kV será de 11 kV (fase-fase) en lugar de 6,35 kV (fase-neutro). Y en los sistemas de 33 kV tendrán 33 kV (fase-fase) y no 19,1 kV (fase-neutro).

Los sistemas monofásicos (fase-neutro y fase-fase) han estado en uso durante muchos años sin grandes problemas técnicos. Una consideración importante, sin embargo, es asegurar el equilibrio del sistema principal trifásico que precede al monofásico, esto puede hacerse aplicando las siguientes consideraciones:

- Las líneas monofásicas fase-neutro para mantener una caída de tensión determinada deben tener una sexta parte de la potencia de la línea trifásica. Las líneas fase-fase deberán llevar la mitad de potencia de la línea trifásica.
- Si se utilizan líneas laterales monofásicas fase-neutro la columna vertebral del sistema tiene que ser una red trifásica de cuatro hilos con el conductor neutro hasta la principal subestación de red

El sistema también se puede mejorar para cumplir con el desarrollo de carga adicional en el futuro. Tales mejoras pueden ser:

- Convertir las líneas fase-neutro en líneas monofásicas fase-fase o en líneas trifásicas. Si es necesario deberá cambiar el tamaño del conductor a una sección más grande.
- Desarrollo de la línea principal y modificar las líneas laterales con el fin de reducir las longitudes de éstas.

La Figura 1 muestra un ejemplo de red con una línea principal y las derivaciones.

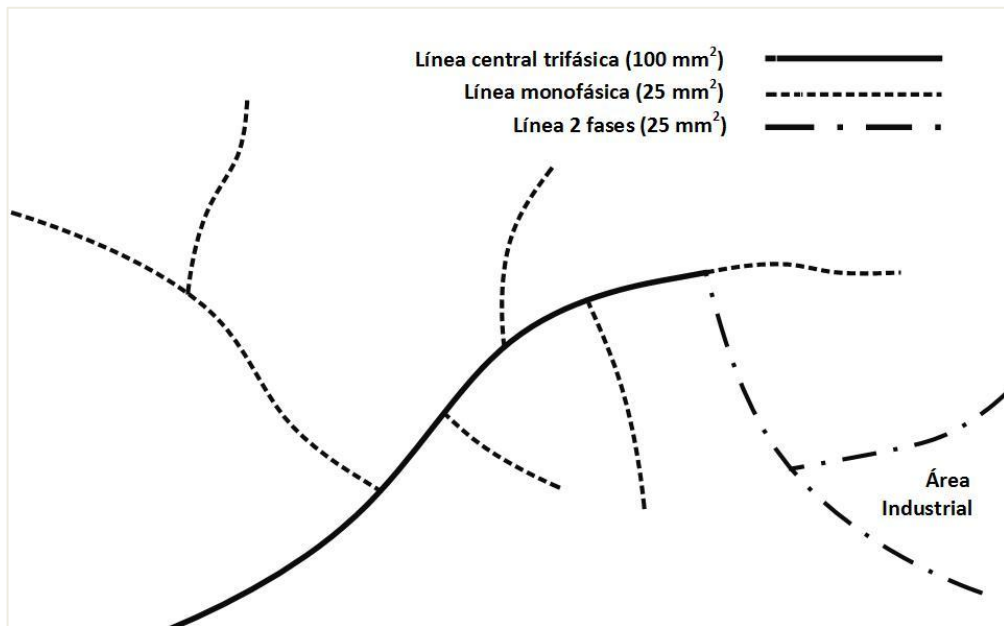


Figura 1. Ejemplo de red de distribución

En la siguiente Figura 2 se modifica el esquema para satisfacer cargas adicionales. La estrategia es convertir un tramo monofásico en trifásico para ir cambiando la forma de alimentación y permitir un flujo mayor de potencia.

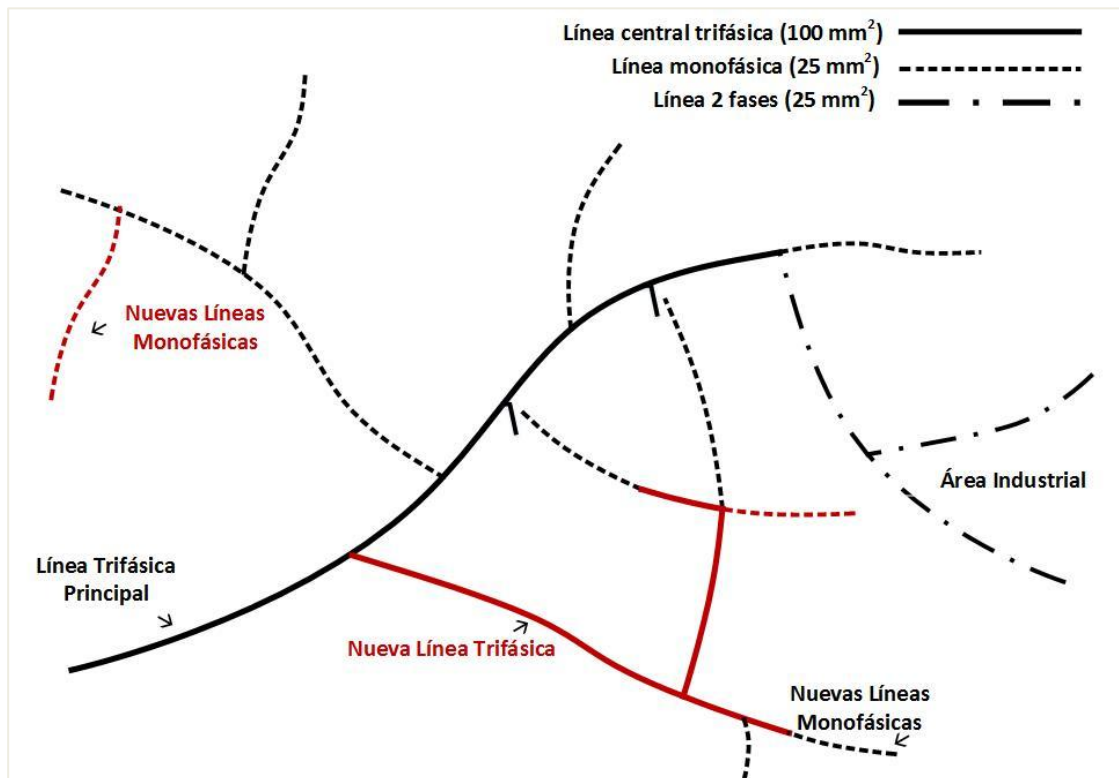


Figura 2. Ejemplo de Extensión de red de distribución

- Método SWER

Sus siglas hacen referencia al término en inglés *Single Wire Earth Return* y es, básicamente, un sistema de distribución de una sola fase en MT usando la tierra como conductor de retorno. Este tipo de sistemas se ha utilizado con éxito en muchos países, en particular donde las densidades de carga son considerablemente bajas. Ofrece tecnología a un menor coste y puede llevarse a cabo con transformador o sin. En este tipo de tecnología es importante garantizar un correcto sistema de puesta a tierra. La mejor área de aplicación de SWER son zonas con bajas densidades de carga y con tasas de crecimiento no lo suficientemente altas para necesitar ninguna actualización del sistemas en pocos años.

Durante el funcionamiento normal de la línea SWER, la corriente MT fluye a través de la tierra hasta el transformador de aislamiento o hasta el transformador de la fuente MT, en el caso del *Direct SWER System*, una modalidad dentro del Método SWER. Esto puede causar un aumento del potencial de tierra, *EPR, Earth Potential Rise*, en cada uno de los sistemas de puesta a tierra. En el caso de un fallo en los conductores de puesta a tierra, el peligro para los humanos es considerablemente alto debido a que el *EPR* también se transmitirá a la terminal de puesta a tierra de los consumidores y a las partes metálicas expuestas de los aparatos conectados. La transferencia de riesgos *EPR* también puede reflejarse en los equipos de telecomunicaciones y en los transformadores de distribución.

Por todo esto, la cuestión más crítica de este sistema es asegurar que el sistema de puesta a tierra sea adecuado. Por lo general, las tensiones máximas admisibles están reguladas por cada país para garantizar la seguridad de las personas que puedan conectarse de forma accidental a cualquier parte del sistema. En ausencia de cualquier prescripción de seguridad, un valor seguro es de 50 V. La Tabla 3 muestra la resistencia de la tierra necesaria para mantener un *EPR* de 50 V.

Tabla 3. Valores necesarios para *EPR* = 50 V [5]

	Sistema 33 kV				Sistema 22 kV			
Tensión de línea [kV]	19,05	19,05	19,05	19,05	12,7	12,7	12,7	12,7
Capacidad del Transformador [kVA]	16	50	315	480	16	50	315	480
Corriente [A]	0,84	2,62	16,53	25,19	1,26	3,94	24,8	37,79
Resistencia a tierra [Ω]	59,54	19,05	3,02	1,98	39,69	12,7	2,02	1,32

Existen algunas medidas para mantener de forma óptima el sistema de puesta a tierra y limitar los peligros que pueden ser causados por *EPR*, estas medidas se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Medidas para un óptimo funcionamiento del Método SWER

Reducción de la superficie de instalación del poste	Se recomienda la utilización de postes de madera en lugar de postes de acero u hormigón.
Uso de conexiones duplicadas limita los peligros EPR	Se recomienda un mínimo de 3 metros entre los dos sistemas.
El material del electrodo	Los de acero chapado en cobre de 16 mm son los más adecuados.
Sistemas de electrodos	Un sistema de electrodos puede estar compuesto por tres formando un triángulo equilátero espaciado 5 metros. La sección transversal de las tomas deben tener un mínimo de 16 mm ² de cobre, se recomienda 25 mm ² . Deben ser de PVC cubierto y previstos de protecciones mecánicas.
Separación eléctrica de las puestas a tierra MT y BT	Cuanto mayor sea el sistema MT, mayor debe ser la separación entre ambos sistemas.
La protección física de los sistemas	Los sistemas SWER son susceptibles a robos o vandalismo. También, las áreas donde se practica el cultivo necesitan una protección especial para evitar la exposición y el daño de los conductores enterrados.

A continuación se detallan las ventajas del método SWER:

- La utilización de un solo conductor MT para cubrir toda el área de suministro reduce sustancialmente el coste del sistema.
- La simplicidad del diseño reduce la complejidad del sistema. Y facilita que la construcción y mantenimiento pueda llevarse a cabo por personas con menos cualificación técnica.
- Ha quedado demostrado por el uso en varios países que este tipo de sistema tiene menor número de averías e interrupciones no planificadas que el sistema estándar.
- Los costes de mantenimiento son menores debido a que el número de componentes en el sistema es menor.

En cuanto a la reducción de los costes de esta tecnología, el coste incurrido en la conexión a tierra es de, aproximadamente, un 30% más que el asociado a los sistemas monofásicos y el coste de las pérdidas también es mayor; sin embargo, éstos se compensan con los bajos costes de mantenimiento debido a la reducción del número de componentes.

- Comparación de métodos

En la Tabla 5 se muestran las diferencias de los dos métodos que se han desarrollado.

Tabla 5. Comparación de métodos [5]

	Monofásico	Método SWER
Coste de inversión respecto al 3F	Entre el 70% y el 75% del coste de 3F	Menos del 40% del coste de 3F
Rangos de tensión MT habituales	F-N: 19,05, 12,70 kV F-F: 33, 22, 11 kV	19,05, 12,70 kV
Datos de la tecnología utilizada	F-N: necesita sistema de MT con cuatro hilos F-F: se puede extender con un cable de 3 hilos	Los sistemas de PaT deben diseñarse con especial atención. Se precisan precauciones anti robo o vandalismo
Uso de transformadores monofásicos	Posible	Posible
Uso de transformadores trifásicos	F-N: No posible F-F: Posible	No posible
Países con uso satisfactorio	Canadá, Sudáfrica, Túnez, Tailandia, Bangladesh y países de América del Sur	Nueva Zelanda, Australia, Brasil, Sudáfrica, Túnez

2.1.2. Tecnología de transporte

Del mismo modo que en las líneas de distribución, en las líneas de transporte las consideraciones son diferentes si se trata de alimentar zonas con cargas elevadas o con poca demanda, como ocurre en las zonas de estudio. Actualmente, en la mayoría de los países en desarrollo, la transmisión de energía eléctrica se ha basado en la extensión de la red principal con las mismas características, como son las torres de acero, las subestaciones de alta fiabilidad, las copias de seguridad... Pese a que las áreas rurales necesitan unos requisitos diferentes como la disminución en el coste.

En ciertos casos, es posible aprovechar una línea de transporte ya existente instalando una nueva subestación que puede ser alimentada con una línea de derivación corta, se trataría de una subestación intermedia. En estos casos, la línea corta de derivación y la subestación intermedia pasan a formar parte de la línea principal y la fiabilidad de la línea de transporte principal no tiene por qué verse afectada si el cable de la derivación es pequeño. A este método se le conoce como punto de derivación. En la Figura 3 se muestra un esquema de este método.

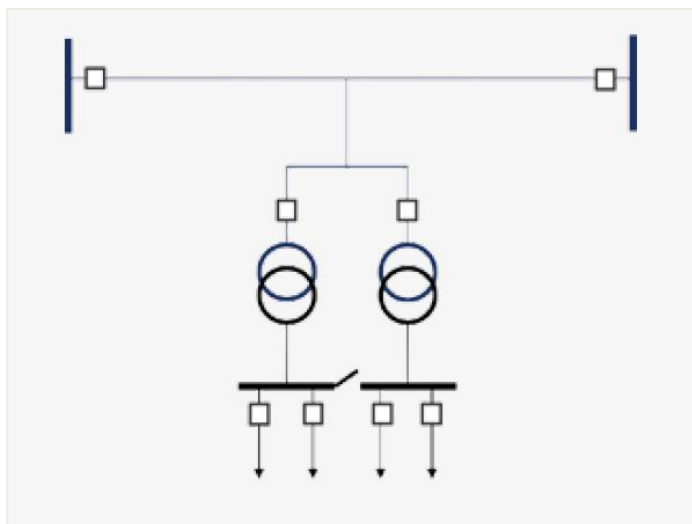


Figura 3. Método punto de derivación [5]

La impedancia del transformador AT/MT debe ser lo suficientemente alta para que el relé de protección no salten esto no es un problema si los transformadores utilizados en este tipo de instalaciones de tamaño reducido. La distancia del cable de derivación también debe estar dentro de unos límites de seguridad. Los postes de la línea, y componentes principales de la red nacional, presentan un factor de seguridad alto que se traduce en un coste económico elevado, esto no es aceptable en las zonas rurales donde se consideran alternativas más asequibles que proporcionen el nivel de fiabilidad adecuado para zonas de baja densidad de carga, a continuación se detallan estas alternativas:

- Diseño de línea: Es necesario el uso de diseños estandarizados para minimizar el uso, y por tanto el tiempo y el coste, de ingeniería especializada a lo largo de la vida útil de la línea.
- Postes: Los postes son a menudo el componente individual más costoso en los proyectos de extensión de red, por lo tanto es un elemento clave en el que fijarse para la reducción de costes. Una opción es el uso de cableado subterráneo, que elimina por completo la necesidad de postes eléctricos, otra alternativa son los postes cortos, que reducen el coste del material y el uso de tramos más largos también contribuye a la reducción económica ya que disminuye el número de postes.

A continuación se detallan una lista de opciones para disminuir el coste total de estas instalaciones:

1. Cableado subterráneo: Una manera obvia de reducir los costes de los postes es acabar éstos por completo utilizando cableado subterráneo, además, se reduce la exposición de todos los materiales a fenómenos meteorológicos que dañan estos elementos. Sin embargo, los costes de construcción de cableado subterráneo se eleva a más del doble que los aéreos y presenta, también, varias desventajas asociadas a la extensión física de la instalación si fuese necesaria en un futuro:
 - a) La capacidad de línea no se puede aumentar fácilmente, ya sea añadiendo otro conductor a la fase o actualizando el tamaño del conductor.

- b) Añadir líneas para servir a nuevos consumidores es difícil, costoso y requiere formación especializada.
 - c) Estas líneas deben estar cuidadosamente mapeadas y los mapas disponibles de manera que se conozca la ubicación precisa siempre que sea necesario.
2. Postes cortos: Existe una relación clara entre el coste de un poste y la longitud del mismo como se muestra en la Figura 4.

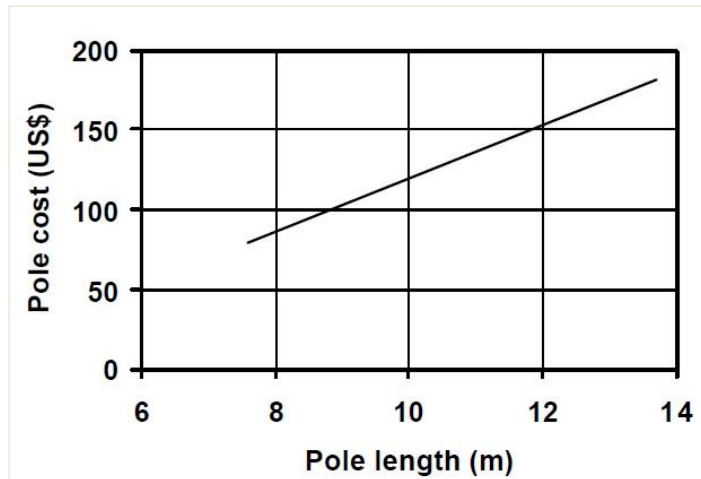


Figura 4. Relación entre el coste y la longitud de los polos [17]

3. Vanos largos: Si se reduce el número de vano por kilómetro de línea se reduce el coste total de ésta. La longitud del vano también está limitada por varios factores: la necesidad de mantener una adecuada distancia entre líneas para evitar el choque entre conductores, mantener, también, una determinada distancia entre línea y tierra para garantizar la seguridad. Para ello los postes deberían ser más altos, por tanto, se necesitarían menos postes por kilómetros pero el coste de cada uno de éstos sería mayor debido a su mayor longitud y diámetro. En la Figura 5 se muestra la relación entre la distancia del vano, la longitud del poste y el coste total de la línea.

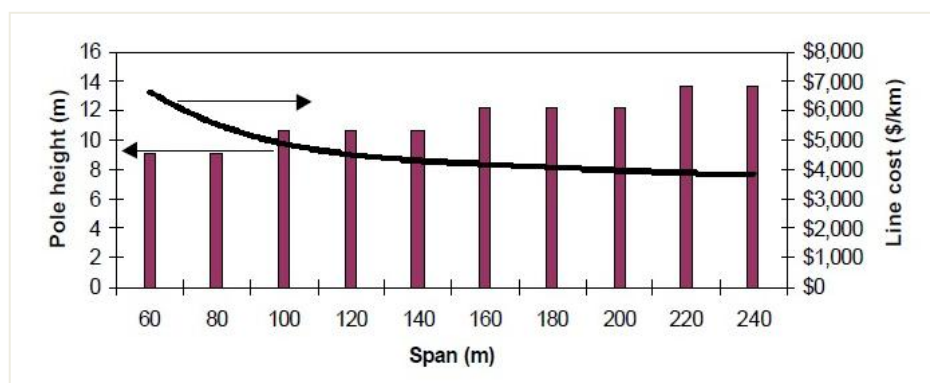


Figura 5. Longitud, vano y coste de la línea [17]

4. Materiales y diseños alternativos: Los materiales principales en la construcción de postes son la madera, el acero y el hormigón. Ninguno de

ellos tienen una ventaja clara en todas las situaciones y tanto el coste como otros atributos varían dependiendo de la situación por tanto deben tenerse en cuenta en el periodo de selección. Hay que tener en cuenta que la calidad y la fuerza de los postes no deben comprometerse en el proceso de reducción de costes ya que, basta con tener que reemplazar cada poste una vez a lo largo de su vida útil para duplicar el coste de este poste.

- a) Postes de madera: Las ventajas principales son que pueden ser fabricados a nivel local, que al ser más ligeros simplifican su manejo en el campo y su instalación y que la madera, como materia prima, a diferencia del cemento o el acero, es más asequible. A nivel rural, las plantaciones locales permiten auto suficiencia en la producción, creando empleo y reduciendo la necesidad de personas externas a las comunidades rurales y, cabe destacar, que durante su fabricación no se generan gases o contaminación medioambiental. El principal obstáculo en algunos países es la falta de reservas forestales de árboles adecuados para este uso.
- b) Hormigón: Donde los postes de madera no son una opción, el hormigón reforzado con acero es una alternativa común. La desventaja principal, además de un aumento en el coste, es la dificultad de manejo y el aumento de la posibilidad de rotura durante el transporte o la manipulación.
- c) Acero: Cuando la red debe extenderse a zonas de difícil acceso se ha encontrado en el acero una buena solución. Su construcción permite postes de menor sección que pueden ser transportados con más facilidad. Como principal desventaja hay que destacar que es un material susceptible a la corrosión y oxidación.

5. Conductores: los factores que afectan en el presupuesto de los conductores son:

- a) Dimensionamiento: La demanda de electricidad existente, para conocer el valor de carga de la línea, y el posible crecimiento de la misma, es muy útil a la hora de diseñar la sección del conductor. El valor de este parámetro está directamente relacionado con el coste, como se muestra en la Figura 6. Las sigas ACSR hacen referencia al aluminio reforzado con acero y los AAAC son conductores sólo de aluminio.

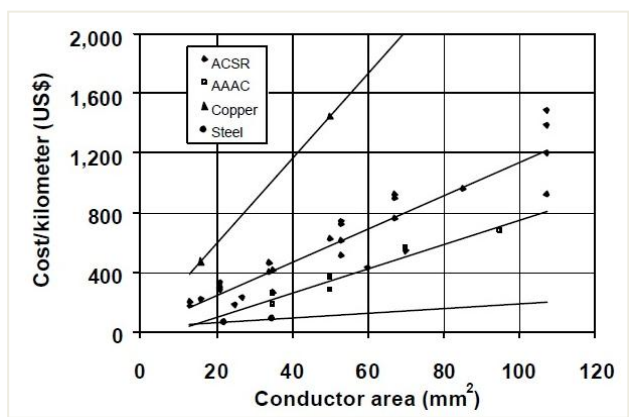


Figura 6. Coste y sección [17]

- b) Número de conductores: El uso de altas tensiones y el uso de extensiones de red monofásicas disminuyen el coste.
 - c) Material: De la misma forma que ocurría en los postes, la elección del material juega un papel muy importante en la reducción de costes, los materiales utilizados en la construcción de los conductores son el cobre, el aluminio y el acero.
6. Tensión de línea: Reducir el tamaño del conductor también reduciría el coste pero resultaría un aumento de la resistencia y por tanto, un aumento de pérdidas energía causadas por el calentamiento resistivo y aumentaría, a su vez, la caída de tensión, que afectaría de manera adversa a los consumidores, especialmente a los que se encuentran a final de la línea. Sin embargo, un aumento de la tensión supone una disminución de la corriente de línea, lo que reduce las pérdidas, cuanto mayor sea el voltaje de línea, menor será la corriente de línea requerida para servir a una carga dada y por tanto un conductor de tamaño más pequeño y menos costoso.

2.2. Aislado de red

Hasta la fecha, como se ha explicado anteriormente, la electrificación rural se ha basado predominantemente en la extensión de red. Sin embargo, el progreso resulta lento e ineficaz en muchos lugares debido a los altos costes que conlleva la extensión de red a zonas remotas. Por tanto, es aconsejable extender la red central sólo cuando tenga sentido económico hacerlo.

Para proporcionar acceso energético en áreas remotas o alejadas de la red principal los sistemas autónomos son la mejor solución.

La función principal de los sistemas autónomos es la generación y distribución de electricidad interconectando fuentes de generación locales como mini hidráulicas, centrales fotovoltaicas o centrales de biomasa con un número relativamente pequeño de usuarios para cubrir su demanda energética. En esta tecnología la electricidad es distribuida, en la mayoría de los casos, en baja tensión y puede funcionar de forma autónoma o en paralelo a la red central, lo que se conoce como micro redes. Esta opción tecnológica es válida para comunidades rurales pero también para edificios, centros de transformación o aplicaciones militares que busquen o necesiten ser independientes energéticamente.

Compartir un recurso limitado entre varios usuarios requiere normas y una estructura de tarifas que sostengan el sistema. Se deben incluir contadores individuales u otros dispositivos capaces de medir y limitar el consumo de cada usuario para evitar posibles conflictos dentro de la comunidad. La instalación de un sistema de generación y distribución implica un trabajo intenso para asegurar que la operación y el mantenimiento del sistema sean sostenibles. Además, la existencia de un marco regulatorio en los ámbitos tecnológicos y económicos de este tipo de instalación es necesario para favorecer la inversión al desarrollo de las zonas tratadas.

2.2.1. Sistemas tradicionales

La solución tecnológica tradicional para un modelo de electrificación aislado de red es la utilización de motores diesel. Es una tecnología altamente probada y accesible económicamente ya que la inversión inicial es pequeña pese a que el mantenimiento a lo largo de su vida útil es más elevado que el de otras opciones. El suministro de combustibles en algunas áreas puede ser irregular debido a que la demanda de carga se encuentre alejada o con un acceso difícil para el transporte de diesel. Además, esta opción tecnológica tiene un impacto medioambiental muy negativo, ya que produce contaminación atmosférica, auditiva y del suelo a nivel local.

2.2.2. Sistemas con energías renovables

A finales del siglo XX, la extensión de la red principal o la creación de micro redes con motores diesel eran prácticamente las únicas opciones disponibles para la electrificación en zonas rurales. En el desarrollo de las energías renovables se encontró una solución alternativa viable para aumentar el acceso de electricidad especialmente en comunidades remotas y dispersas. Recientemente, el aumento de los precios de combustible ha aumentado el atractivo económico de esta opción tecnológica que está en continuo desarrollo.

- Energía solar fotovoltaica

Entre las diferentes alternativas tecnológicas para la electrificación rural, la solar fotovoltaica es la más utilizada ya que puede ser aplicada tanto en servicios domésticos como en servicios comunitarios. Un sistema fotovoltaico aislado o autónomo se trata de un sistema auto abastecedor, ya que aprovecha la irradiación solar para generar la energía eléctrica necesaria para cubrir la demanda y para el suministro de la propia instalación. En general, un sistema fotovoltaico consta de unos paneles fotovoltaicos, fabricados con materiales semiconductores, normalmente silicio, que convierten directamente la energía solar en electricidad, un acumulador para poder almacenar el excedente de energía generada y utilizarla cuando sea necesaria y un regulador que controla el buen funcionamiento del acumulador. Además, normalmente, se incorpora un inversor que transforme la corriente continua en alterna.

En la siguiente Figura 7 se muestra, de forma esquemática, el funcionamiento de la energía solar fotovoltaica.

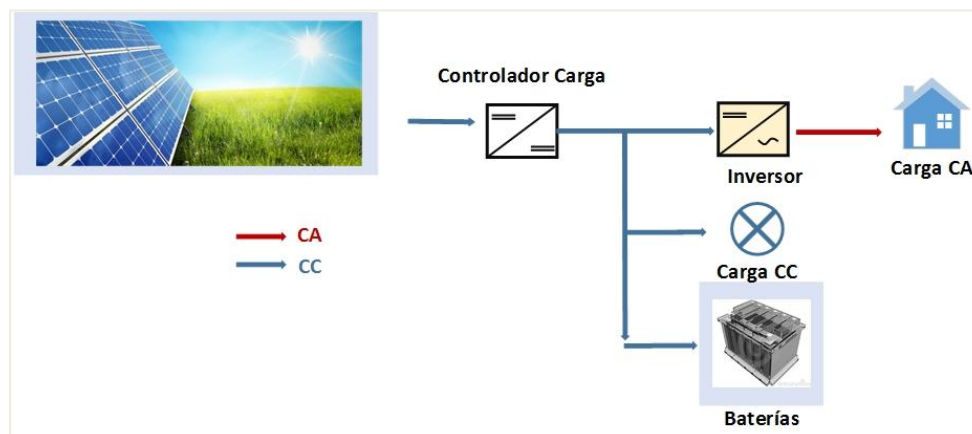


Figura 7. Energía Solar Fotovoltaica

Esta tecnología aprovecha la radiación solar, que es una fuente renovable ilimitada y presente en la mayoría de los lugares del mundo, además es respetuosa con el medio ambiente. Las instalaciones fotovoltaicas son fáciles de instalar, mantener y ampliar en el supuesto que la demanda se incrementase. Sin embargo, la máxima potencia que pueden suministrar suele estar limitada a valores bajos y, todavía, los costes iniciales de inversión siguen siendo superiores a los de otras tecnologías.

- Energía eólica

El principio de funcionamiento de la tecnología eólica se fundamenta en la transformación de la energía cinética del viento en energía mecánica, y ésta en energía eléctrica generador situado en el interior del aerogenerador. Esta tecnología está limitada a lugares donde las condiciones de viento sean aptas para el correcto funcionamiento y, debido al continuo movimiento de sus componentes, tiende a tener altos costes de mantenimiento. Pese a esto, en áreas con buen recurso eólico, el coste por unidad de energía producida es menor que la energía solar. A continuación, en la Figura 8, se muestra un esquema sobre el funcionamiento de esta tecnología.

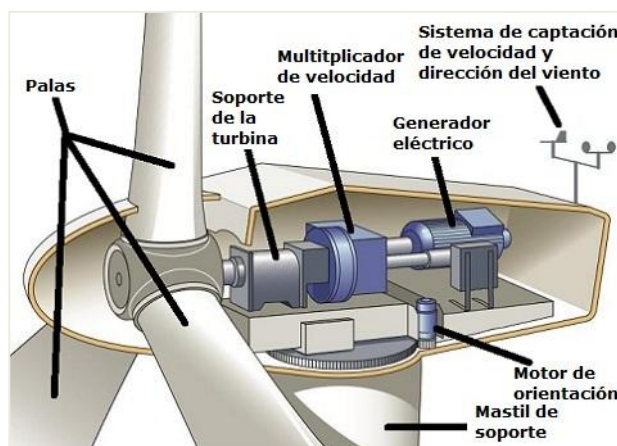


Figura 8. Energía Eólica [2]

Las ventajas principales de la generación de energía eléctrica mediante la energía eólica son que el viento es un recurso inagotable, no produce gases contaminantes para el medio ambiente y la alta tecnología con la que están construidas las turbinas las hace muy fiables. Como aspectos negativos cabe destacar que el viento no es un recurso constante, que la instalación masiva de torres de generación eólica ocupa grandes áreas y genera contaminación visual y que, como la mayoría de renovables, el uso de medios de almacenamiento elevan su coste.

- Energía de la biomasa

La biomasa se define como la materia orgánica de origen biológico producida en un pasado inmediato. Dependiendo del origen de la materia prima y del proceso de valorización energética, se pueden obtener biocombustibles en forma sólida líquida o gaseosa que pueden proporcionar energía térmica, eléctrica o mecánica.

La biomasa es la energía renovable más utilizada, representando un 13% de la energía consumida a nivel mundial en 2009. Sin embargo, en los países en vías de desarrollo, la biomasa asciende al 35% del consumo de energía suponiendo más del 90% de la energía consumida por los hogares. Esto explica por qué la biomasa se percibe muchas veces como un combustible del pasado, aunque sea una alternativa renovable que, mediante los desarrollos tecnológicos modernos, presenta gran potencialidad para cubrir las necesidades energéticas tanto de países desarrollados como de países en vías de desarrollo.

La razón principal que conduce al hecho de que el uso tradicional de la biomasa sea la forma más extendida de generar energía es que se trata del combustible más accesible con unos costes económicos inferiores a los que presentan las demás tecnologías. En todas las comunidades existe una gran variedad de fuentes de biomasa como los residuos forestales naturales, los residuos forestales industriales, los residuos agrícolas, los residuos ganaderos, urbanos o industriales y los cultivos energéticos, que son plantaciones de especies específicamente dedicadas a la obtención de energías.

Actualmente, existen desarrollos tecnológicos accesibles y asequibles que permiten un aprovechamiento eficiente de la biomasa a pequeña escala, tanto para la obtención de energía térmica para el cocinado y la calefacción, como para la generación de electricidad a través de biogás, o para la provisión de biocombustibles líquidos para la utilización en motores agrícolas, para su uso en el transporte y para la generación de electricidad.

Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios que tratan de convertir la materia prima en otras formas más adecuadas de para su transporte y utilización. En la Figura 9 se muestra un esquema de los procesos de conversión, las materias primas y las aplicaciones finales.

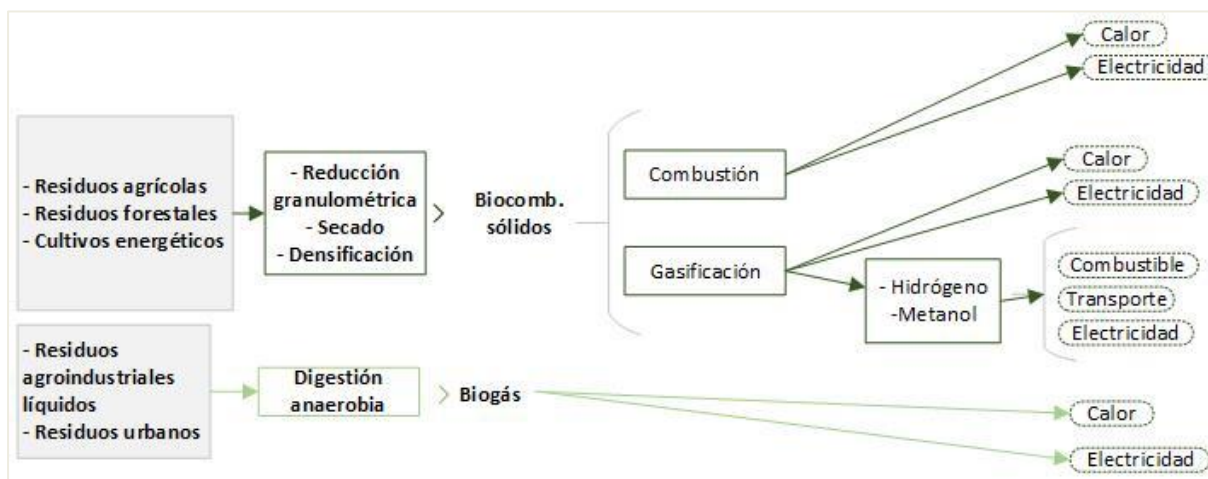


Figura 9. Procesos de biomasa

El esquema de una central de biomasa, donde se detallan los diferentes componentes que participan en la generación de energía eléctrica se muestra en la Figura 10.

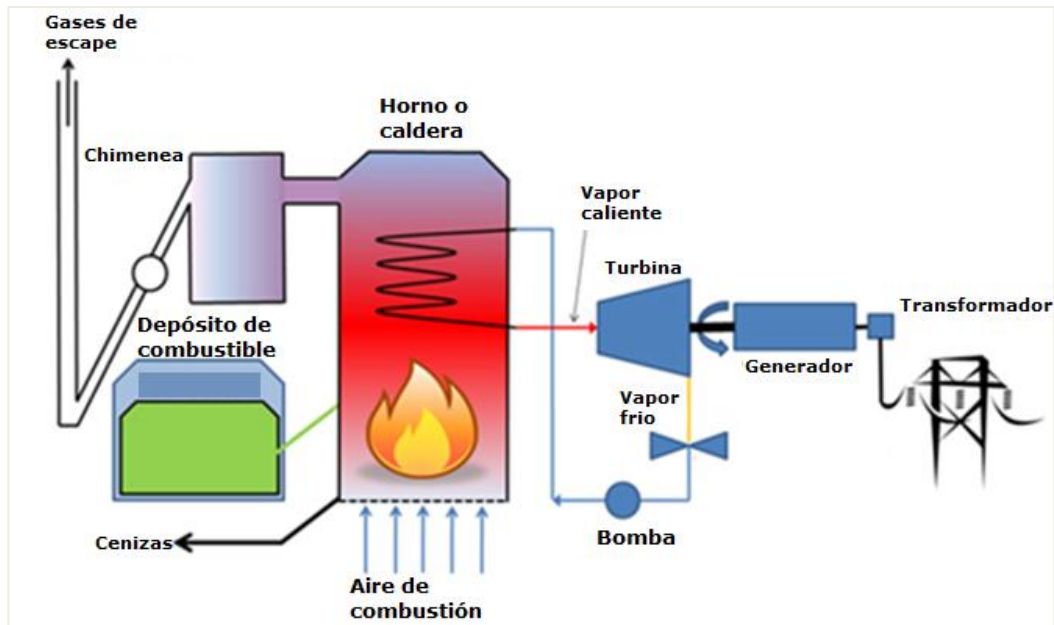


Figura 10. Central de combustión de biomasa [2]

2.2.3. Sistemas híbridos

La electrificación de zonas aisladas mediante grupos electrógenos diésel o sistemas que utilizan un recurso renovable local tienen sus propias limitaciones. La opción del grupo electrógeno sufre el aumento de los precios de combustible que se suma a los costes de transporte del mismo a zonas remotas o la ineficiencia del grupo cuando funciona a bajos niveles de carga. El uso del recurso renovable, por su parte, es una fuente de energía intermitente y requiere un almacenamiento cuando no se utiliza durante el tiempo de generación. La combinación de ambas tecnologías puede compensar estas limitaciones.

Un sistema de generación híbrido es un sistema que utiliza dos, o más, fuentes de energía operando conjuntamente que suele incluir una unidad de almacenamiento y suele estar conectado a una red de distribución local. Estos sistemas pueden garantizar suministro eléctrico continuo y fiable equivalente, y en ocasiones más favorable, a los sistemas tradicionales o los totalmente renovables. También proporcionan energía suficiente para satisfacer necesidades domésticas como la iluminación, comunicación o suministro de agua, así como servicios públicos, como centros de salud o escuelas y el desarrollo de una economía local con pequeñas industrias o sistemas de riego.

Además de en zonas rurales, debido a sus altos niveles de eficiencia, fiabilidad y rendimiento a largo plazo, estos sistemas pueden utilizarse en sistemas donde el corte de energía repercute a gran escala como en la red pública en el apartado de copias de seguridad del sistema o en salas de quirófano de hospitales.

Los principales componentes de los sistemas híbridos, independientemente de la energía renovable utilizada, son:

- Generadores: producen energía en corriente alterna o en corriente continua.
- Controladores de carga: Controlan la carga y descarga de las baterías.

- Baterías: Almacenan la energía producida por los generadores. Reciben y suministran electricidad en corriente continua.
- Inversores: Convierten la corriente continua en corriente alterna a tensión nominal
- Medidores eléctricos: Miden la energía consumida en los puntos de demandas.

El sistema híbrido puede ser diseñado con diferentes configuraciones para utilizar con eficacia las fuentes de energías renovables disponibles a nivel local. Según se explica en el informe *Hybrid power system based on renewables energies* [1], las configuraciones tecnológicas pueden clasificarse de acuerdo a la tensión a la que se acoplan dichos sistemas y el tipo de línea que enlazará los distintos componentes entre sí:

- Generación acoplada a bus CC

Todos los componentes generadores de electricidad están conectados a una línea de corriente continua desde la cual se carga la batería. Los sistemas que generan en corriente alterna necesitan un convertidor. La batería se controla y protege de sobrecargas y descargas con un controlador de carga. Las cargas en corriente alterna pueden recibir corriente si previamente se usa un inversor.

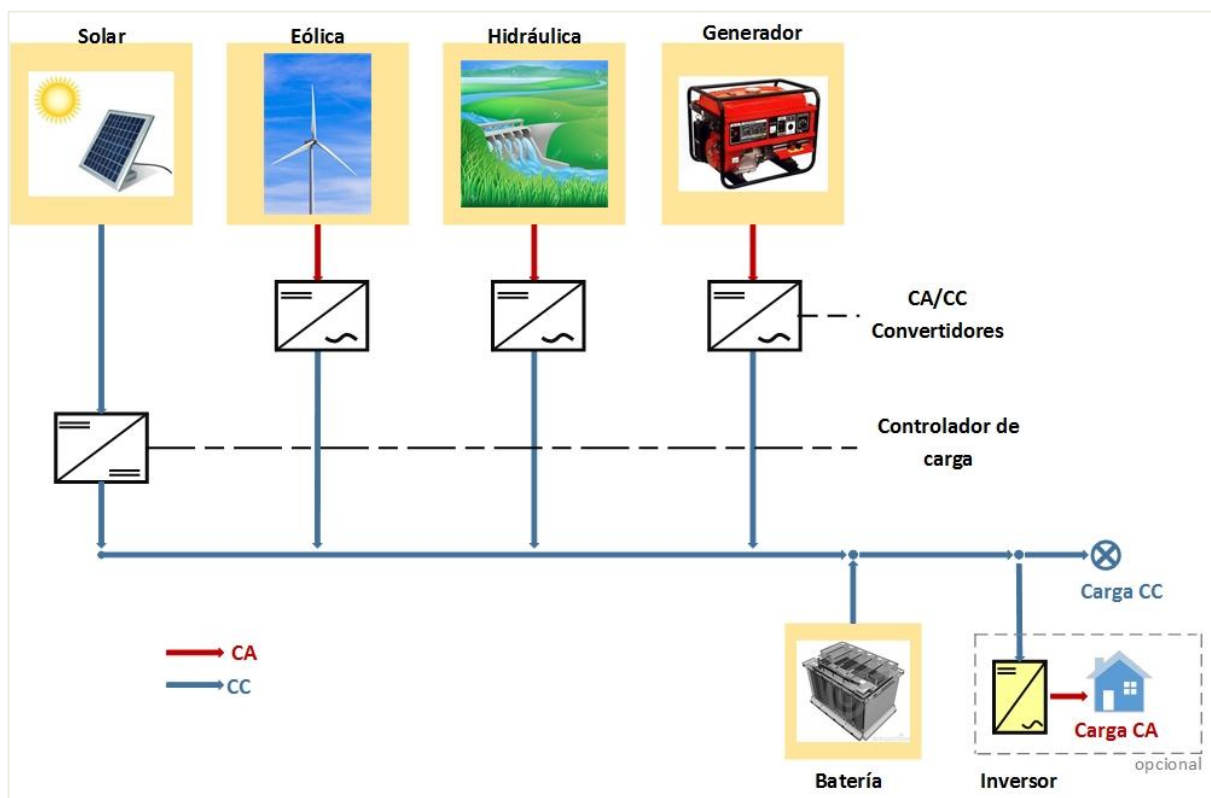


Figura 11. Esquema bus CC

- Generación acoplada a bus AC

Todos los componentes generadores de electricidad están conectados a una línea de corriente alterna, pueden estar conectados directamente o pueden necesitar un convertidor CA/CA que permita un acoplamiento estable de las componentes. En las dos opciones, un inversor controla el suministro de energía para las cargas CA y para las baterías. Opcionalmente, las cargas CC pueden ser suministradas por la batería.

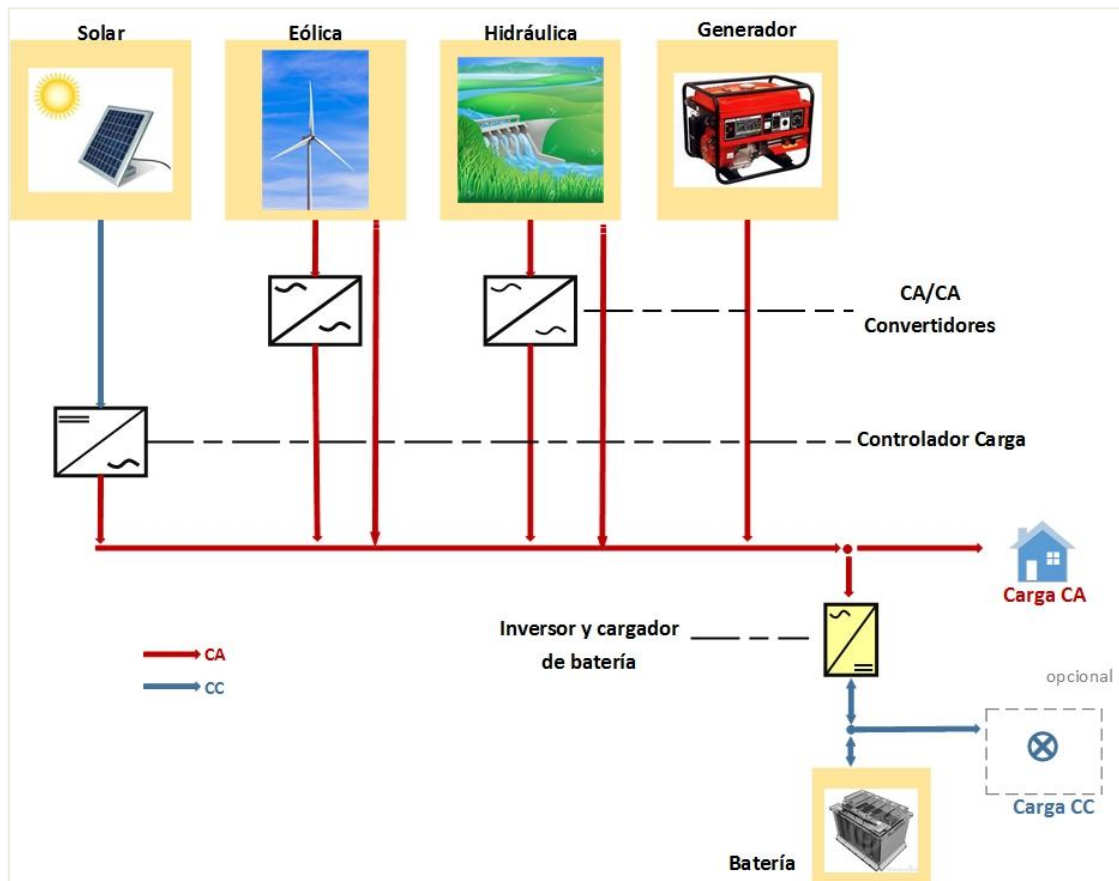


Figura 12. Esquema bus AC

- Generación CC/AC

Los componentes generadores de electricidad están conectados a ambos lados de un inversor que controla el suministro de energía a las cargas CA. Las cargas CC pueden estar suministradas por la batería.

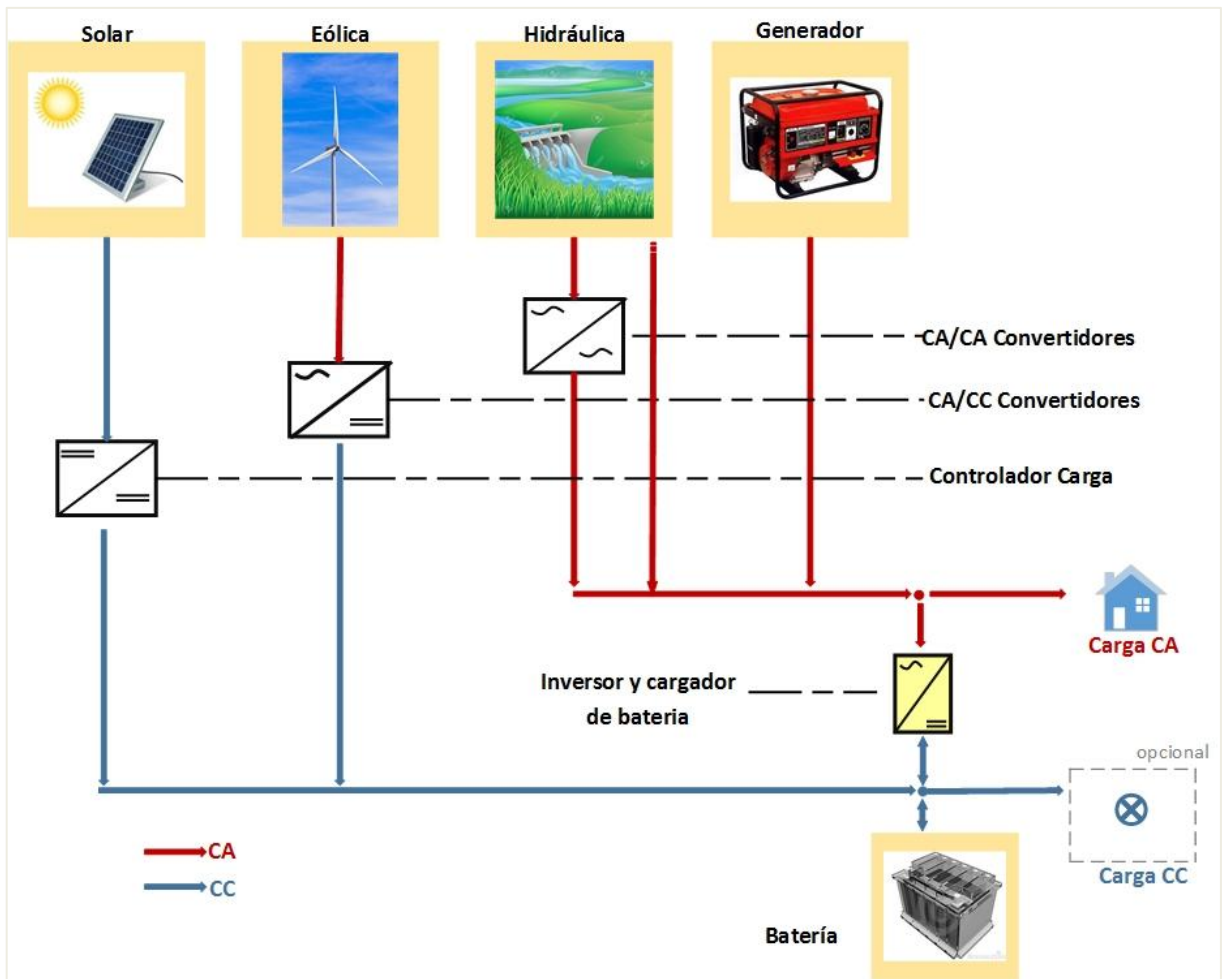


Figura 13. Esquema CC/CA

CAPÍTULO 3: BENEFICIOS DE LA ELECTRIFICACIÓN

Pese a que la energía no es considerada un derecho humano, contribuye a la realización de muchos de éstos. Según Kandeh K. Yumkella, Director General de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, “La energía es esencial para el desarrollo, y la energía sostenible es esencial para el desarrollo sostenible, y más significativamente en los países en desarrollo, donde la pobreza energética es un impedimento enorme para el progreso económico”.

El término de pobreza energética hace referencia a la carencia de un adecuado acceso a la energía para satisfacer las necesidades básicas domésticas, como son cocinar, calentarse o iluminar una vivienda, y los servicios esenciales que propicien el desarrollo de un país como el funcionamiento de escuelas y centros de salud y la realización de actividades económicas que generen ingresos. Por todo esto, existe una clara relación entre el Índice de Desarrollo Humano, IDH, y el consumo de energía per cápita de los distintos países: un pequeño aumento en el consumo de energía de los países pobres contribuye a elevar enormemente su IDH, por el contrario, a partir de determinado IDH, un aumento del consumo de energía per cápita no implica incremento del mismo, sino despilfarro en el uso de la energía tal y como se explica en el informe Sin energía no hay desarrollo, elaborado por la ONG Ongawa, de donde se extrae la Figura 14, que muestra la relación citada.

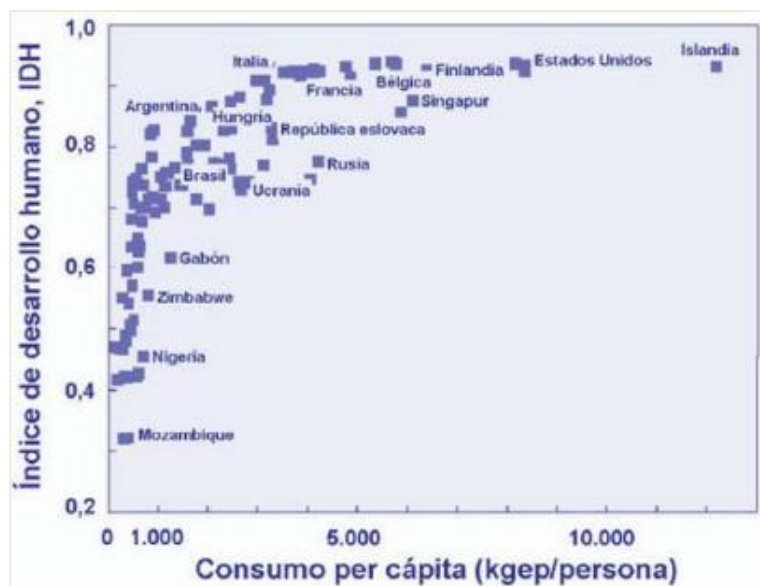


Figura 14. IDH y consumo de energía [9]

La situación energética mundial es un reflejo de la desigualdad mundial en relación con el desarrollo. Según Naciones Unidas un habitante de un país desarrollado consume diez veces más energía primaria que uno de un país pobre, factor que pasa a ser de cien cuando hablamos de una fuente de energía moderna como es la electricidad.

Las consecuencias de la pobreza energética sobre el desarrollo humano son evidentes, tanto a nivel económico, como social y ambiental. Por ejemplo, en términos de salud, la falta de acceso a fuentes de energía eficientes supone un alto índice de contaminación en los hogares por el uso de madera y carbón para cocinar y calentarse, y aumenta la contaminación urbana por el uso continuado del petróleo en casi todos los ámbitos de la vida diaria. La energía es también un factor considerable de inestabilidad social e internacional. Por un lado, a nivel local la ejecución de importantes proyectos energéticos origina conflictos sociales y a nivel geoestratégico el acceso a determinadas fuentes de energía es, en la actualidad, un factor que condiciona una parte importante de las relaciones internacionales y que, incluso, es, en ocasiones, motivo para desencadenar conflictos armados o la intervención de internacional en conflictos nacionales.

Naciones Unidas está impulsando la iniciativa “Energía Sostenible para Todos”, entendiéndose como Energía Sostenible aquella que se produce y se usa de forma que apoye a largo plazo el desarrollo humano en el ámbito social, económico y ecológico, es decir, una energía no contaminante, accesible físicamente y asequible económicamente para la población con un suministro fiable. Esta iniciativa busca involucrar a los gobiernos, al sector privado y a la sociedad civil con el objetivo de lograr la energía sostenible para todos y alcanzar los 3 principales objetivos para el 2030:

- Garantizar el acceso universal a los servicios modernos de energía
- Duplicar el ritmo de mejora en eficiencia energética
- Duplicar la participación de energías renovables en el mix energético mundial

3.1. Solución energética a los Objetivos de Desarrollo del Milenio

La Asamblea General de la ONU aprobó en el año 2000 la Declaración del Milenio donde detallaba los Objetivos de Desarrollo del Milenio, ODMs. Como se muestra en la Tabla 6, existe una clara conexión entre el acceso al suministro eléctrico y el cumplimiento de estos objetivos:

Tabla 6. *Objetivos ODMs*

Objetivos de Desarrollo del Milenio	Suministro energético	Problemáticas rurales
Erradicar la pobreza extrema y el hambre	La electricidad los combustibles son fundamentales para generar actividad industrial, agrícola, transporte, etc.	El 80% de las personas sin acceso a la electricidad vive en zonas rurales
	El 95% de las comidas de subsistencia deben ser cocinadas	Un alto número de mujeres y niños invierten su tiempo en la recogida de leña u otros combustibles
	Facilita el suministro de agua potable	
Educación primaria universal	El uso de servicios energéticos modernos ayudan al crecimiento intelectual de los niños	En las zonas rurales de los países en desarrollo el 33% de los niños no van a la escuela comparado con el 18% de las zonas urbanas
	Aumentan las horas de estudio gracias a la iluminación	La electricidad es necesaria para que crezca el número de profesores dispuestos a ejercer la profesión en estas zonas
Igualdad de género	El uso de servicios energéticos modernos ayudan a las mujeres a reducir el tiempo dedicado a las actividades domésticas	Los trabajos remunerados se concentran en los núcleos urbanos e impiden que aumente la independencia de las mujeres de zonas rurales
Reducir la mortalidad infantil y mejorar la salud materna	La contaminación en la vivienda contribuye a las infecciones respiratorias	La recolección de combustibles fósiles expone a los niños a riesgos de salud elevados
	La energía es un componente clave en el funcionamiento de los centros de salud	Las mujeres atendidas en el parto por personal cualificado son un 49% en zonas rurales frente al 81% en zonas urbanas
Combatir enfermedades	La electricidad es necesaria para atraer personal preparado en zonas rurales.	Las distancias de las comunidades alejadas pueden crear barreras y dilatar los tiempos en el suministro medicinales.
	La electricidad en los centros médicos favorece la atención nocturna y facilita el uso de equipos especiales como esterilización; los refrigeradores favorecen la vacunación, etc.	

Conociendo la realidad actual de los numerosos países en vías de desarrollo y los diferentes usos que puede tener la electricidad a nivel de hogar, comunidad o empresas rurales, es posible clasificar los beneficios en estas tres áreas:

- Beneficios en la actividad económica

El suministro eléctrico supone la posibilidad de usar maquinaria o equipos que favorezcan el crecimiento de muchos negocios debido a que desempeñen tareas que antes no podían desarrollarse y, además, reduzca horas de trabajo de una misma actividad aumentando, por tanto, la productividad. Gracias a la iluminación se prevé, también, que los negocios estén en operación durante más tiempo y abre un campo de creación de empleos antes inexistentes en países en desarrollo.

- Beneficios en la salud

La mejora de los equipos sanitarios es uno de los principales beneficios que tiene el acceso a electricidad en las zonas rurales aisladas.

Reducir el uso de combustibles fósiles para generar energía provoca un aumento en la calidad del aire que se ve reflejado en la salud de las personas que lo respiran. Mejorar la calidad del aire interior de las viviendas tiene repercusiones positivas en las personas que lo respiran.

El acceso al suministro de agua potable gracias a instalaciones de depuración y bombeo es otro de los beneficios que presenta la energía en estos círculos debido a que disminuye el riesgo de contagio de enfermedades al beber de ríos contaminados o pozos no potabilizados.

Disponer de más conocimientos gracias a la comunicación con otros sanitarios a través de radio, televisión u otros medios de comunicación mejora la salud de la comunidad rural.

- Beneficios en la educación

La iluminación de los hogares o de las escuelas supone un aumento en el tiempo de estudio de los niños que se traduce en un gran avance en su educación. Esto, junto con las mejoras en la docencia gracias a equipos eléctricos o informáticos, ayuda a que la población crezca intelectualmente y se desarrolle.

CAPÍTULO 4:

CASO DE ESTUDIO

Las tecnologías desarrolladas en los capítulos anteriores del presente documento se aplican en un determinado caso de estudio para poner en práctica los conceptos estudiados sobre la electrificación rural. En los siguientes apartados se estudia, analiza y calculan las alternativas para proporcionar electricidad a una zona rural en el República Unida de Tanzania de forma eficiente, sostenible y económicamente viable para los ciudadanos que residen en ella.

4.1. Población de Kisaki, Tanzania

La República Unida de Tanzania es el país más grande de la región del este de África con una extensión de 945.749 km², incluyendo la parte continental y las islas de Zanzíbar. Tanzania tiene 30 regiones administrativas, 25 de ellas en la parte continental y 5 en la isla. Tanzania se encuentra en el este de África y limita con Kenia y Uganda en el norte, con la República Democrática del Congo, Ruanda y Burundi en el oeste; Zambia, Malawi y Mozambique en el sur y el Océano Índico en el este. En el norte y este del país tienen dos estaciones de lluvias, de octubre a diciembre y de marzo a mayo, mientras que en el resto del país la estación lluviosa es de octubre a mayo. Tanzania está dotada de abundantes recursos naturales pero experimenta la vulnerabilidad al cambio climático con presencia de fenómenos meteorológicos extremos.

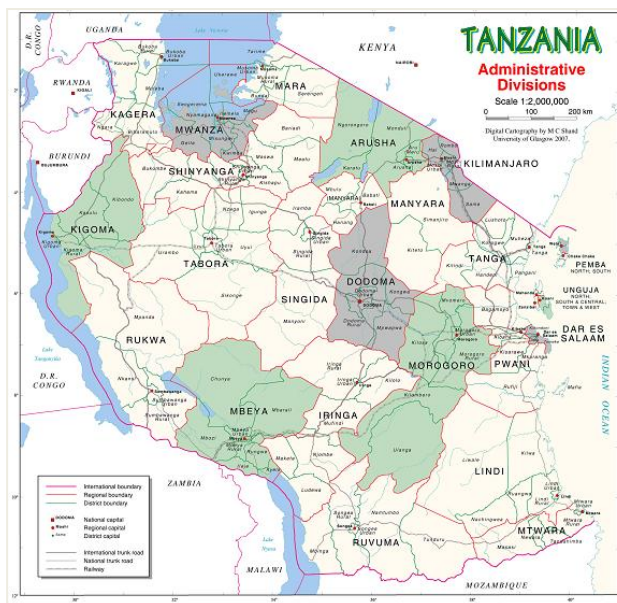


Figura 15. Mapa de la República Unida de Tanzania [7]

La República Unida de Tanzania tiene una población de 44,9 millones y una tasa de crecimiento anual del 2,9%. La capital es la ciudad de Dar-es-Salaam y los idiomas oficiales son el swahili y el inglés.

La economía del país depende en gran medida de la agricultura que representa el 42,5% del PIB y emplea a aproximadamente el 75% de la población activa. La industria representa el 28,9% del PIB y se limita principalmente a la elaboración de productos agrícolas. El sector servicios, compuesto por el turismo, el transporte, la energía y la minería representa el 38,6%. Desde hace cinco años la tasa de crecimiento del PIB ha sido del 7%. La tasa de alfabetización es de un 60% en mujeres y un 75% en hombres y la esperanza de vida es de 63 y 59 años respectivamente.

En el sur de la República Unida de Tanzania, en la región de Morogoro se encuentra Kisaki, un área compuesta por tres núcleos de población que se presenta como el caso de estudio de alternativas de la electrificación en el presente documento.



Figura 16. Población de Kisaki

4.2. Acceso a la energía

La República Unida de Tanzania, al igual que otros países de África subsahariana, se enfrenta a una escasez de energía, sobre todo en electricidad. La capacidad de generación de energía es insuficiente y el transporte y la distribución de ésta se realiza de forma inadecuada debido a la precariedad de las infraestructuras.

El gobierno está tratando de aumentar el acceso a la electricidad llevando la energía a sus ciudadanos como medida para sostener el crecimiento económico del país. Para ello, el gobierno de Tanzania está promocionando la inversión privada en el sector de la energía.

Solamente el 24% de la población de Tanzania tiene actualmente acceso a la electricidad y existe una brecha urbano-rural muy significativa, solo el 4% de la electrificación total del país se encuentra en zonas rurales donde residen casi el 70% de la población total de Tanzania.

Tabla 7. Electrificación en Tanzania [14]

	Población sin electricidad [Millones]	% Grado de Electrificación	% Urbano	% Rural
Tanzania	37	24%	71%	4%

La falta de fuentes de energías sostenibles y servicios de iluminación reduce la productividad nacional ralentizando e incluso bloqueando el desarrollo socio económico del país. Por el contrario, el uso de la electricidad tiene repercusiones muy positivas en la salud de las personas, en la educación de los niños, en la comunicación tanto con países más desarrollados como con comunidades cercanas y en otros factores que se mostrarán a continuación.

En Tanzania, la red del sistema principal de transporte opera a tres diferentes niveles: 220 kV, 132 kV y 66 kV, y la red del sistema de distribución, a su vez, opera a 33 kV, 11 kV y 0,4 kV. La realidad del sistema de redes de transporte y distribución se muestra a continuación en las Tablas 8 y 9, la red de distribución cuenta con 11.124 transformadores.

Tabla 8. Red de transporte, Tanzania 2014 [13]

Red de transporte	Distancia [km]
Total	4.904,5
220 kV	2.732
132 kV	1.593,8
66 kV	578,7

Tabla 9. Red de distribución, Tanzania 2014 [13]

Red de distribución	Distancia [km]
Total	56.909
33 kV	17.021
11 kV	5.375
0,4 kV	34.513

La situación de electrificación de la República Unida de Tanzania se muestra en la Figura 17.

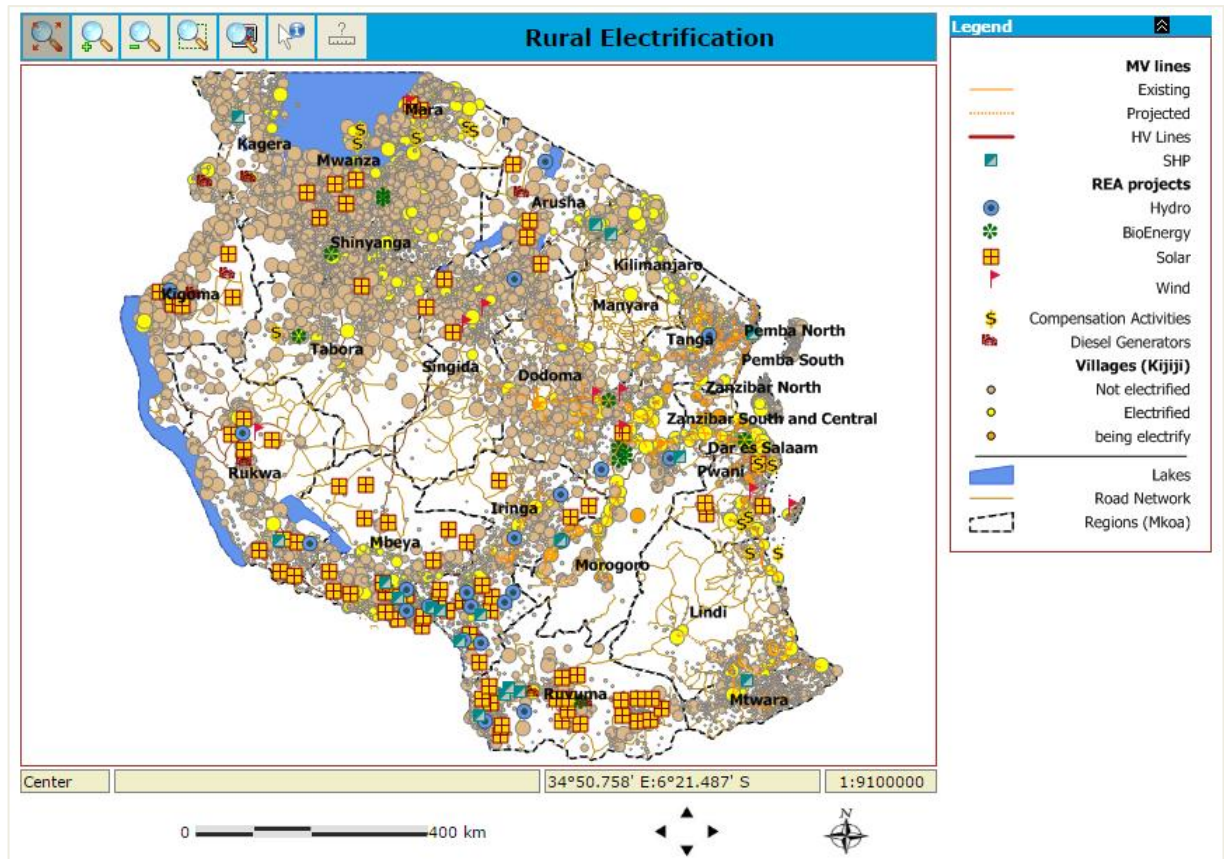


Figura 17. Electrificación en Tanzania [6]

4.3. Perfil del sector eléctrico

El sector eléctrico de Tanzania se está transformando rápidamente para sostener las necesidades de desarrollo del país y para hacer frente, a través de reformas políticas, a las grandes inversiones públicas y privadas. La electricidad en el país es proporcionada por una red central propiedad de la empresa estatal TANESCO y por micro-redes instaladas en áreas aisladas en zonas rurales. La producción de electricidad hasta la fecha ha estado dominada por las grandes hidroeléctricas sin embargo, en los últimos años, debido a extensas sequias en el país, su contribución a la oferta total se ha reducido drásticamente. Esto ha obligado a la contratación de instalaciones eléctricas de emergencia con un coste económico considerable. Está proyectado que en 2035 la capacidad instalada del país sea siete veces superior a la actual.

La demanda de electricidad y el acceso siguen siendo muy bajas en comparación a la tasa mundial pero su crecimiento es muy rápido. El consumo energético per cápita de electricidad fue de 104,79 kWh en 2014.

Tanzania es un país en transición de una economía basada en la agricultura a un país con una economía mixta. La situación de consumo energético, extraída del informe *Tanzanian Energy Sector* [13], del país se muestra en la Figura 18, donde se ve que el sector residencial consume alrededor de las tres cuartas partes, esto es debido a que el uso de leña y carbón en las viviendas para cocinar se emplea con estufas bastante ineficientes.

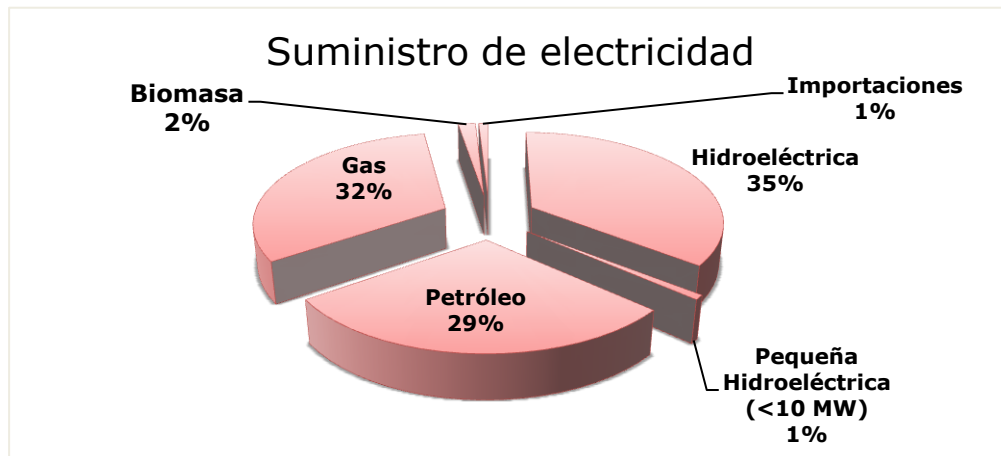


Figura 18. Suministro de electricidad en Tanzania [13]

La capacidad de generación eléctrica instalada del país fue en 2013 de 1.564 MW de los cuales 1.438 forman parte de la red principal y 126 de las micro-redes e importaciones. La aportación que cada tecnología de generación aporta se muestra en la Tabla 10 y el porcentaje de las mismas en la Figura 19.

Tabla 10. Fuentes de energía [13]

Fuente	Total [MW]
Hidroeléctrica	553,0
Pequeña Hidroeléctrica (<10 MW)	12,8
Petróleo	456,3
Gas	501,0
Biomasa	27,0
Importaciones	14,0
Total	1.564,1

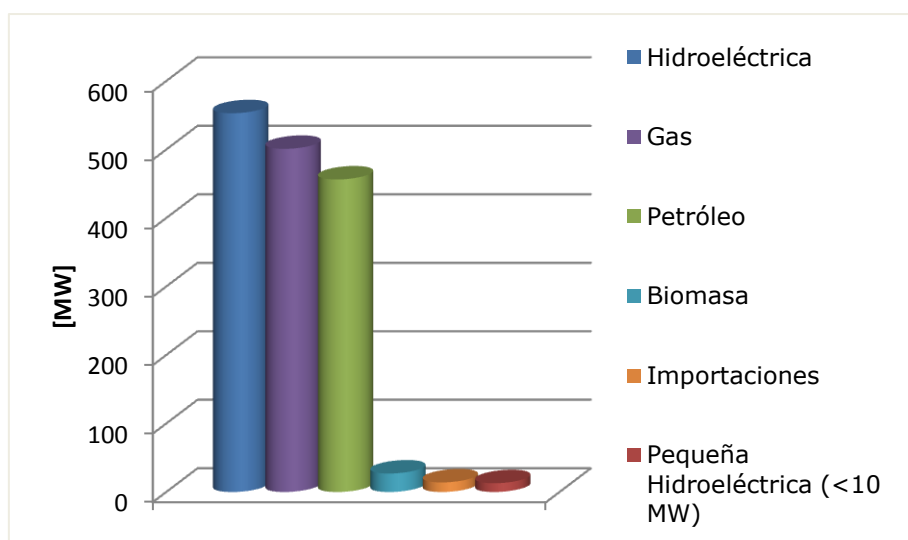


Figura 19. Fuentes de energía [13]

4.4. Agentes

El sector de la energía depende del Ministerio de Energía y Minerales, MEM, que es el responsable de la formulación de políticas para crear un entorno favorable para los diferentes sectores del sector energético. Además de MEM hay varias instituciones que participan en el desarrollo del sector energético.

- TANESCO: Es la compañía eléctrica de Tanzania. Es una empresa estatal que trabaja en la generación, transporte y distribución de la energía eléctrica. En 1980, mediante un cable submarino de 132 kV y 38 km con capacidad de 45 MW, unió eléctricamente la isla con la parte continental.

- TPDC: Es la corporación estatal a través de la cual el MEM explora y desarrolla las políticas y actividades relacionadas con el petróleo y el gas en el país.
- REA: Sus sigas hacen referencia a "The Rural Energy Agency". Es un organismo autónomo independiente del MEM que promueve la electrificación de las zonas rurales mediante el desarrollo de distintos proyectos. Entró en funcionamiento en 2007 y posee el REF, "Rural Energy Fund", que se utiliza para promover proyectos de financiación con energías renovables llevados a cabo por pequeños productores independientes.
- TGDCL: "Tanzania Geothermal Development Company Limited", responsable de la exploración de la energía geotérmica y el desarrollo de todas las actividades relativas a las inversiones en dicha energía.
- EWURA: Autoridad autónoma reguladora multisectorial responsable de la creación de reglamentos técnicos y económicos de la electricidad, el petróleo, el gas natural y el sector del agua. Se encarga de tareas como la concesión de licencias, creación de normas de reglamentos, tarifas y la supervisión del rendimiento.
- NBS: "National Bureau of Statistics", empresa responsable de la recogida y elaboración de estadísticas nacionales de Tanzania.
- NDC: "National Development Corporation", se organiza bajo el marco del Ministerio de Industria y Comercio. Promociona la industrialización del país con asociaciones en el sector privado.

El monopolio de la industria eléctrica terminó en junio de 1992 cuando se permitió al sector privado participar en el comercio de energía, lo que conocemos como liberalización del mercado. Hoy en día, varias empresas participan en el mercado: IPTL (100 MW), Songas (189 MW), Symbion (225 MW), AGGRECO (100 MW, como una planta de energía de emergencia) y Artumas (8 MW).

4.5. Disponibilidad de recursos renovables

Tanzania dispone de gran cantidad y calidad de recursos renovables y, la mayoría, están aún sin explotar. En la actualidad, la capacidad de generación total del país a partir de energías renovables, excluyendo las grandes hidroeléctricas, está en el 5%.

El desarrollo social y económico del país se vería acelerado a través de la explotación eficaz y la utilización de estos recursos. En base a esto, el gobierno de Tanzania está haciendo una contribución significativa en el desarrollo de las energías renovables en el país mediante la financiación a través del Fondo de Energía Rural y la asistencia técnica de expertos cualificados en la Agencia de Energía Rural, REA, para realizar proyectos viables en los que se puedan invertir. Además, está fomentando la colaboración con otras organizaciones internacionales ofreciendo expertos técnicos para ayudar a las entidades desde

la fase inicial hasta la puesta en marcha. Para facilitar el desarrollo de proyectos de energías renovables, el gobierno también redujo el impuesto para los productos importados desde el extranjero y está ofreciendo becas de rendimiento para compensar el riesgo de desarrollo de proyectos de energía renovable.

A continuación se evalúa el estado de los distintos recursos renovables de la República Unida de Tanzania:

- Energía Solar

Las horas de sol en Tanzania oscilan entre 2.800 y 3.500 lo que hacen de Tanzania un país con un recurso solar elevado donde la radiación global horizontal está entre 4 y 7 kWh/m²día. En la actualidad, esta tecnología se está desarrollando conectada a la red y también off-grid. En la Figura 20 se muestra la radiación solar en Tanzania:

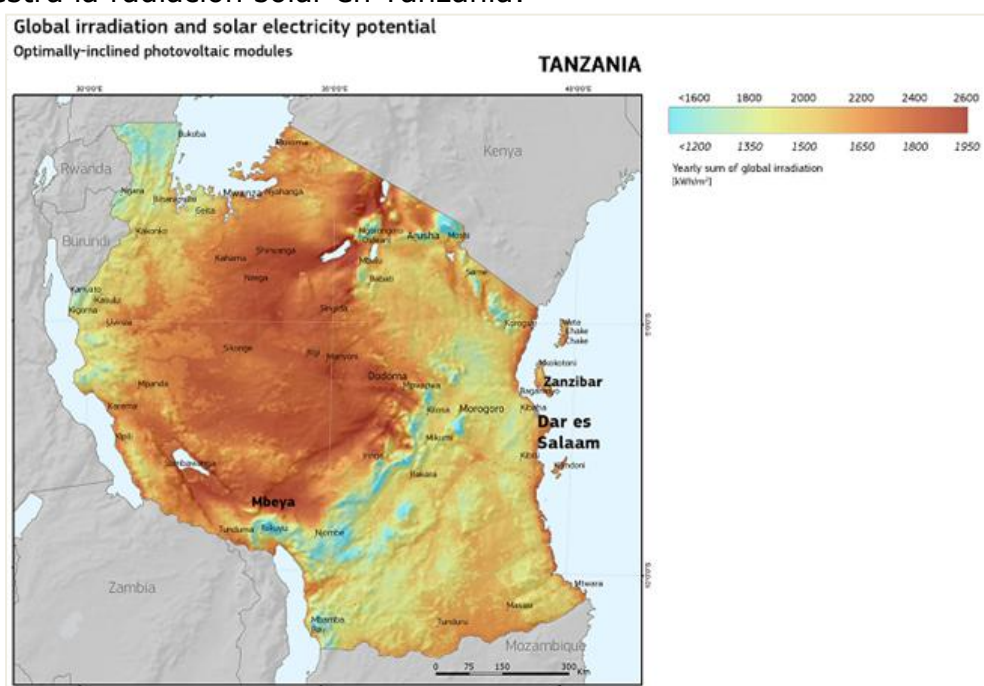


Figura 20. Recurso solar [4]

- Energía Eólica

Tanzania tiene recursos eólicos prometedores a lo largo de la costa del país, el altiplano y las regiones que rodean el valle Rift, estas zonas tienen una velocidad de viento adecuada para la generación de electricidad. Cuatro empresas, en colaboración con MEM y TANESCO, están invirtiendo en la energía eólica en Tanzania para la creación de parques eólicos de 50 a 100 MW. A continuación se muestra un mapa del recurso eólico de la República Unida de Tanzania.

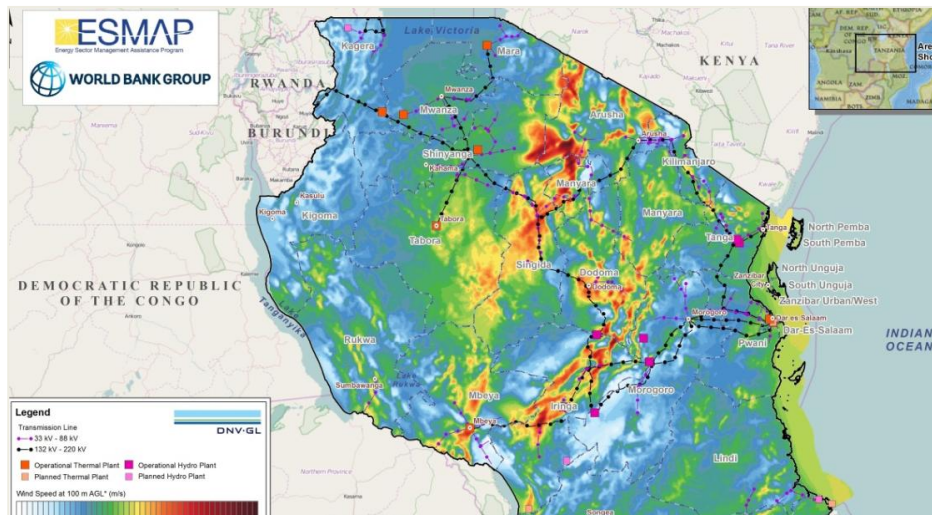


Figura 21. Recurso eólico [4]

- Energía de la Biomasa

La biomasa es la fuente de energía más grande de Tanzania pero se produce de forma tradicional, es decir, contaminante e insostenible. Se utiliza sobre todo en el sector doméstico que es un gran generador de empleo ya que aproximadamente 1 millón de personas se dedican a la elaboración y venta del carbón vegetal. El último informe del World Bank revela que entre 100.000 y 125.000 hectáreas de bosque se pierden anualmente en el país.

- Energía hidroeléctrica

Históricamente, la energía hidroeléctrica ha sido el pilar del sistema eléctrico nacional de Tanzania con una capacidad instalada de 562 MW. Sin embargo, los flujos intermitentes que resultan de las repetidas sequías han disminuido la fiabilidad de esta tecnología. Además, las principales instalaciones de generación hidroeléctrica se encuentran en el suroeste dónde no se encuentran las principales áreas de demanda energética.

No sólo existen las grandes hidroeléctricas, también son eficientes las de menor tamaño. Se entiende por pequeña hidroeléctrica aquellas que producen hasta 10 MW. Se estima que el potencial de esta tecnología en Tanzania es de 480 MW y, en la actualidad, solo se generan 15 MW. La mayor parte de las pequeñas hidroeléctricas ya instaladas son propiedad de entidades privadas y no están conectados a la red eléctrica nacional.

- Energía geotérmica

Tanzania tiene un potencial geotérmico significativo que aún no sido explotado. Las estimaciones indican que dicho potencial supera los 650 MW la mayoría situada en el "East African Rift System". Tras 40 años de evaluaciones, se han marcado tres zonas principales de recursos geotérmicos:

El noroeste (Kilimanjaro, Arusja y regiones Mara), el sudoeste (las regiones de Rukwa y Mbeya) y la franja costera oriental (cuenca del Rufiji).

El gobierno, al reconocer el potencial del país en ese recurso y para contribuir con la diversificación energética, formó el Grupo Nacional de Desarrollo de geotérmica para acelerar y ampliar el desarrollo de esta tecnología.

4.6. Estimación de la demanda

El área a electrificar consta de tres núcleos de población que suman un total de 720 habitantes donde las actividades principales que se desarrollan son la agricultura y la ganadería. La distribución de la zona rural objeto de estudio se muestra a continuación en la Figura 22 y se detalla en el Plano (1/4) disponible en el Anexo B del presente documento.

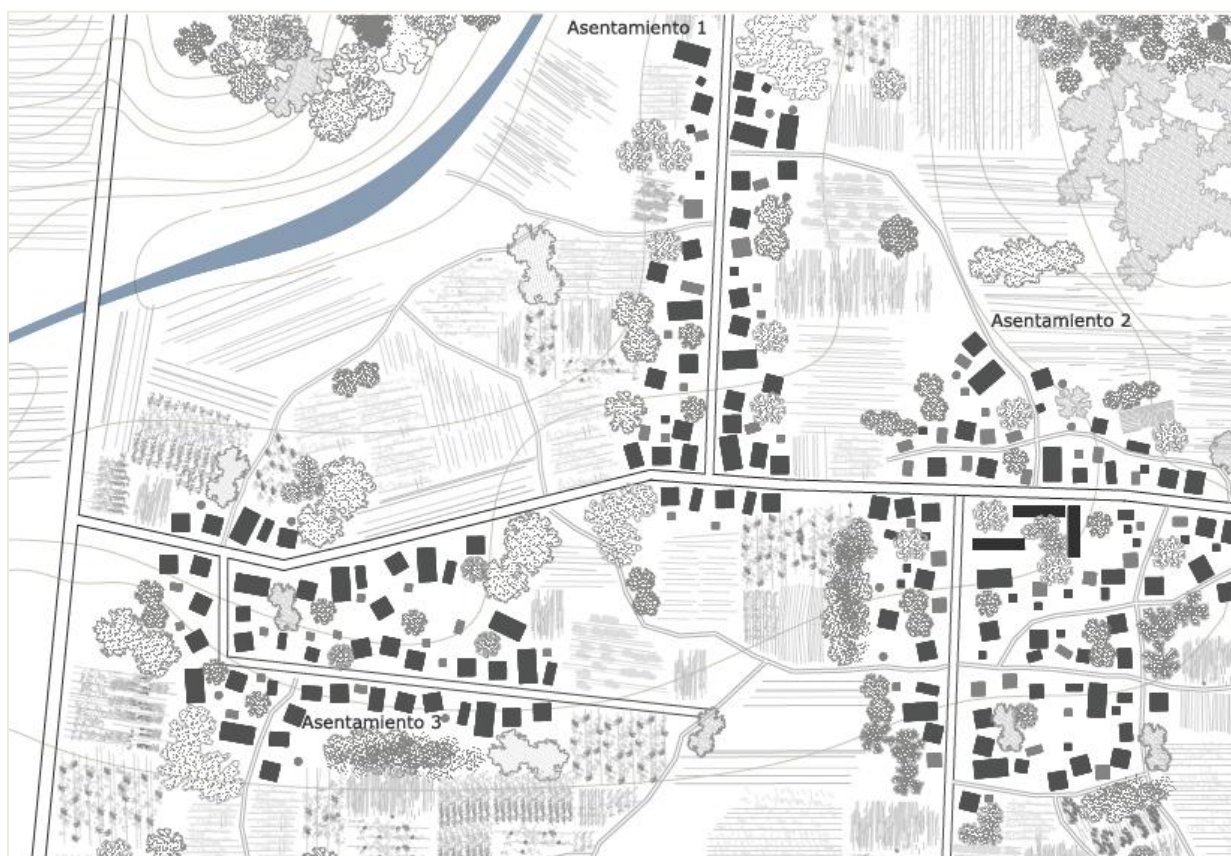


Figura 22. Distribución de los asentamientos

En la actualidad, en cuanto a tecnología de generación eléctrica, el área de estudio no posee ningún equipo, la iluminación se realiza mediante lámparas de queroseno y la cocina se desarrolla con los métodos tradicionales de combustión.

Los asentamientos 1 y 3 constan únicamente de viviendas. La distribución de éstas se muestran en los planos (1/2) y (1/4) respectivamente, donde se aprecia la disposición típica de los asentamientos rurales en la República Unidad de Tanzania: casas rodeadas de vegetación con zonas de cultivos próximas a ellas.

En el Asentamiento 2, además de 65 viviendas, hay dos naves donde se almacenan los productos agrícolas y una escuela que fundó la *ONG Allegra Foundation* en colaboración con *Sustainable Environment Management Action, SEMA*, en el año 1952 y se mantiene gracias al proyecto *WaterAid*. Su distribución está detallada en el plano (1/3) en el apartado Anexo 2 del presente documento.

Para el análisis de las alternativas de electrificación, se ha desarrollado una estimación de la demanda de electricidad que se proporcionaría al área de estudio. El alcance de esta electrificación abarca la iluminación interior y exterior de las viviendas, la iluminación exterior proporciona además iluminación en los caminos que unen las distintas viviendas y son una alternativa al alumbrado público inexistente en estos asentamientos. Además de la iluminación de viviendas, naves y escuela, se han añadido elementos como la radio en cada una de las viviendas y televisores o cadenas de música en la escuela. Los cálculos se detallan en el primer apartado del Anexo A y en la Tabla 11 se muestra un resumen de los mismos.

Tabla 11. Estimación de la demanda

	Potencia [W]	Energía [Wh/día]
Asentamiento 1	2.480	11.360
Asentamiento 2	5.372	22.924
Asentamiento 3	2.170	9.940
Total	10.022 [W]	44.224 [Wh/día]

4.7. Modelos de electrificación

4.7.1. Conexión a red

Como se ha explicado anteriormente, la extensión de red ha sido el principal método de electrificación rural en países como Tanzania. Para conocer la viabilidad técnica en el presente caso de estudio, en primer lugar se ha determinado la distancia de los asentamientos a la red más cercana. La realidad actual de la red principal de la República Unida de Tanzania se muestra en la Figura 23.

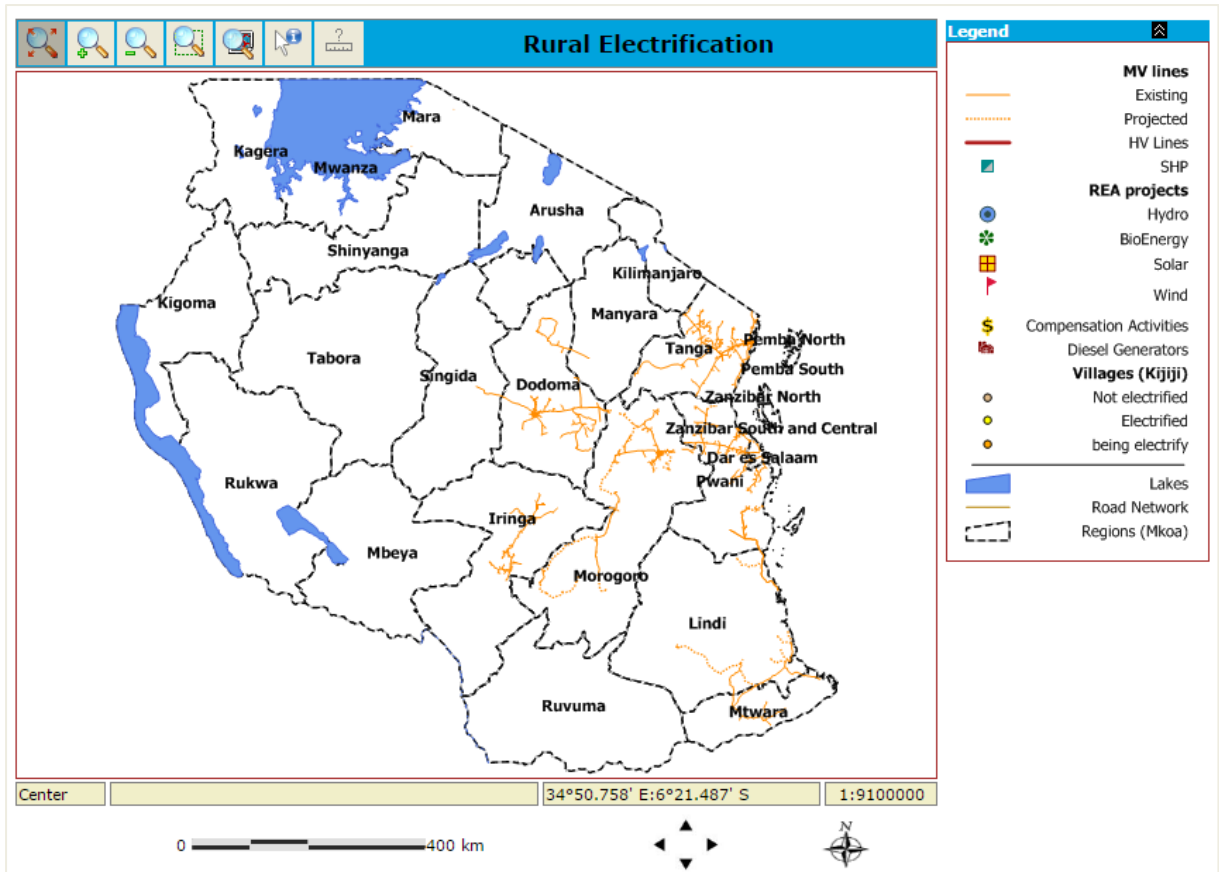


Figura 23. Red existente en Tanzania [6]

Para la realización de los cálculos, se estima que el tramo de red más cercano a los asentamientos es la subestación de Mikumi, que se encuentra a 75 km.

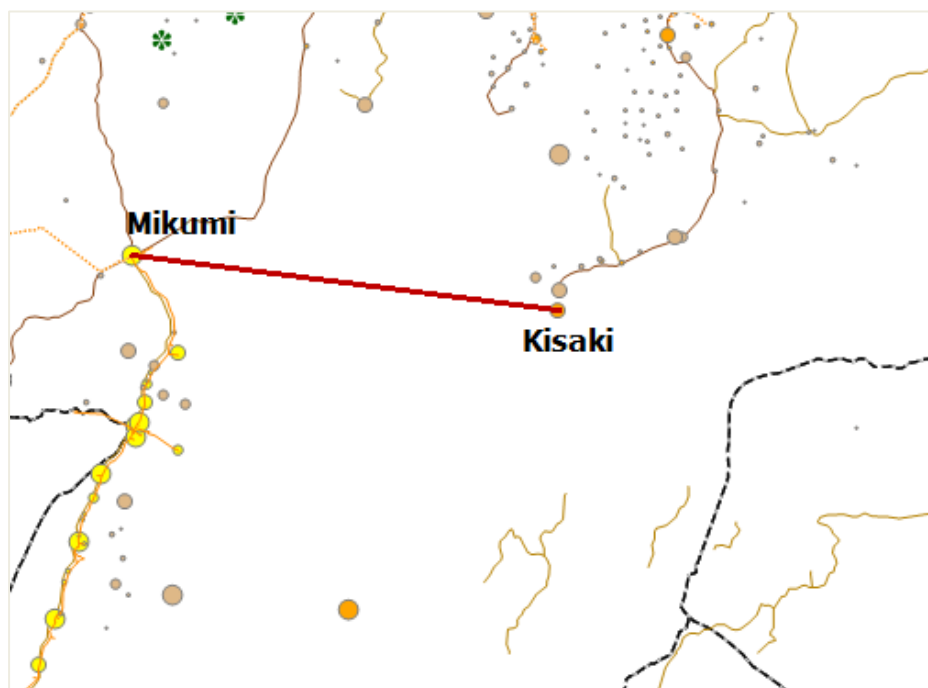


Figura 24. Distancia Kisaki – Mikumi [6]

Al elegir la mejor opción de conexión a la red principal, además de la distancia, las características del terreno son necesarias a la hora de estudiar la viabilidad. El asentamiento objeto de estudio se encuentra en el límite del Parque Nacional de Mikumi que se caracteriza por tener dos aéreas muy diferenciadas en lo que se refiere a la orografía y vegetación del terreno: la zona noroeste se caracteriza por la llanura de la cuenca del Río Mkata donde la vegetación consiste en la sabana salpicada de acacias y baobabs y la parte sureste del parque, que es una zona montañosa cubierta con bosques de miombo.

Tras detallar estas características, queda patente la inviabilidad técnica de extender la red desde la subestación de Mikumi, además de las condiciones del terreno se suma que el Parque Nacional de Mikumi es terreno protegido, por lo que se ha estudiado otra opción que, pese a estar a una distancia mayor, las condiciones orográficas son más aptas.

La segunda opción consiste en extender la red desde la ciudad de Utete, la distancia estimada es de 155 km.

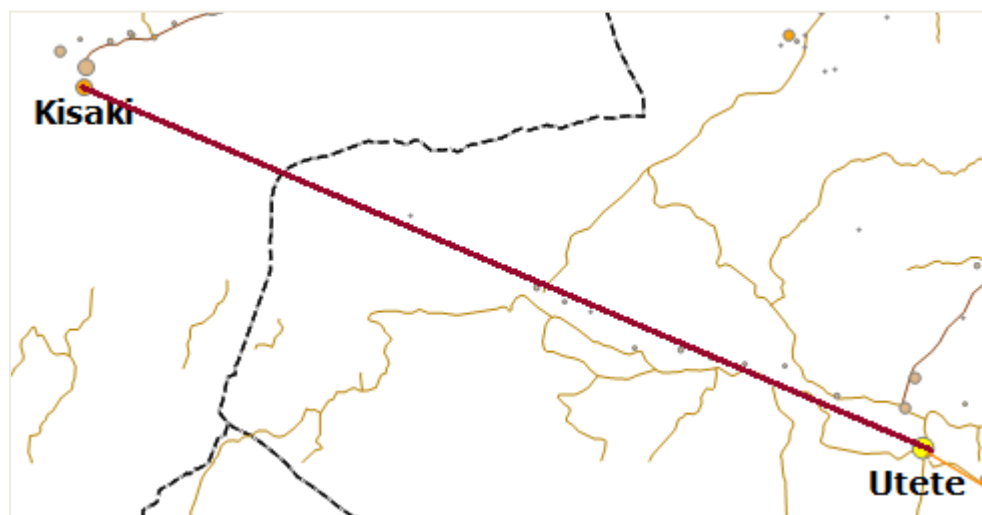


Figura 25. Distancia Kisasi – Utete [6]

Aunque el terreno en este caso, caracterizado por una llanura bañada por el Río Rufiji, es más favorable, la distancia es muy elevada. Con líneas tan extensas no se puede hablar de distribución de energía, si no de líneas transporte. Esto se traduce en una viabilidad técnica apta pero económicamente inviable para los habitantes de los asentamientos del presente estudio debido al alto coste de una línea tan extensa.

Pese a esto, se han realizado los cálculos teniendo en cuenta las consideraciones del Apartado 2.1.1 de este estudio para tener una visión justificada de la situación actual de esta zona rural en cuanto a la conexión a red.

En el Apartado 2 del Anexo A se detallan los cálculos de los parámetros de la línea y a continuación se muestran las características principales del diseño de la línea:

- El material elegido del conductor es el aluminio cuyo precio es inferior al cobre y es menos corrosivo que el acero.
- La línea se considera línea media por su longitud, 155 km.
- La línea es trifásica.

- Los conductores de la línea están en configuración equilátera como se muestra en la Figura 26, con una distancia de 4 metros entre fase.

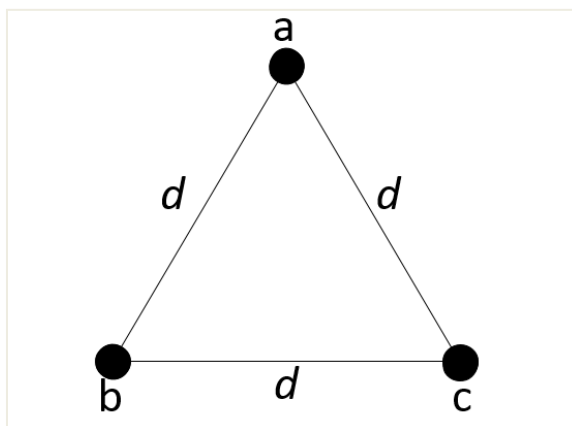


Figura 26. Configuración de línea equilátera

- Los postes son 9 metros.
- Los vanos son de 100 metros.
- Para seleccionar la sección del conductor se ha tenido en cuenta las indicaciones de la Figura 6. La opción más económica es un conductor cuya sección es de 35 mm². Se han realizado los cálculos de caída de tensión para este valor de sección y el resultado era inadmisibile. El valor de la resistencia depende de la resistividad del material y del área tal y como se explica en la Ecuación 1. Puesto que el valor de la resistividad es un valor constante para cada material, solo tenemos el valor del área disponible para encontrar una resistencia que provoque una caída de tensión en la línea aceptable. Tras realizar un proceso iterativo se ha determinado que el valor del área para que la resistencia del conductor sea 0,433 y provoque que la caída de tensión sea aceptable es de 60 mm².

Ecuación 1. Resistencia del conductor

$$R_{Conductor} = \frac{\rho \left[\frac{\Omega \cdot mm^2}{km} \right]}{A[mm^2]} = \left[\frac{\Omega}{km} \right] \quad (1)$$

En el apartado 2 del Anexo A se detallan los cálculos de los parámetros de la línea y de la caída de tensión. El resultado ha sido una caída de tensión alrededor del 10%, que se considera aceptable valor pero hay que destacar que los cálculos se han realizado para una potencia estimada muy pequeña y, en el caso que la demanda creciese y las cargas se multiplicaran al final de la línea, esta solución no sería válida.

Tabla 12. Parámetros eléctricos línea

Parámetros eléctricos de la línea de transporte	
R $\left[\frac{\Omega}{km}\right]$	0,433
L $\left[\frac{mH}{km}\right]$	1,468
C $\left[\frac{nF}{km}\right]$	7,837

La opción de conexión a red no es la mejor alternativa de electrificación para el caso de estudio por el alto coste que tendría la construcción de la misma en unas condiciones óptimas de funcionamiento.

4.7.2. Aislado de red

En el apartado de aislado de red se presenta el estudio de la electrificación con los sistemas de energías renovables mencionados en el apartado 2.2.2 del presente trabajo.

- Energía solar fotovoltaica

El cálculo de la instalación fotovoltaica vendrá dado por la relación entre la demanda de energía del sistema y la energía que puede aportar el sol. A continuación se muestran los datos más relevantes del estudio fotovoltaico y los cálculos, de manera detallada, se encuentran en el Anexo A en el apartado 2) Instalación solar fotovoltaica. El emplazamiento de la planta fotovoltaica se muestra en la Figura 27.

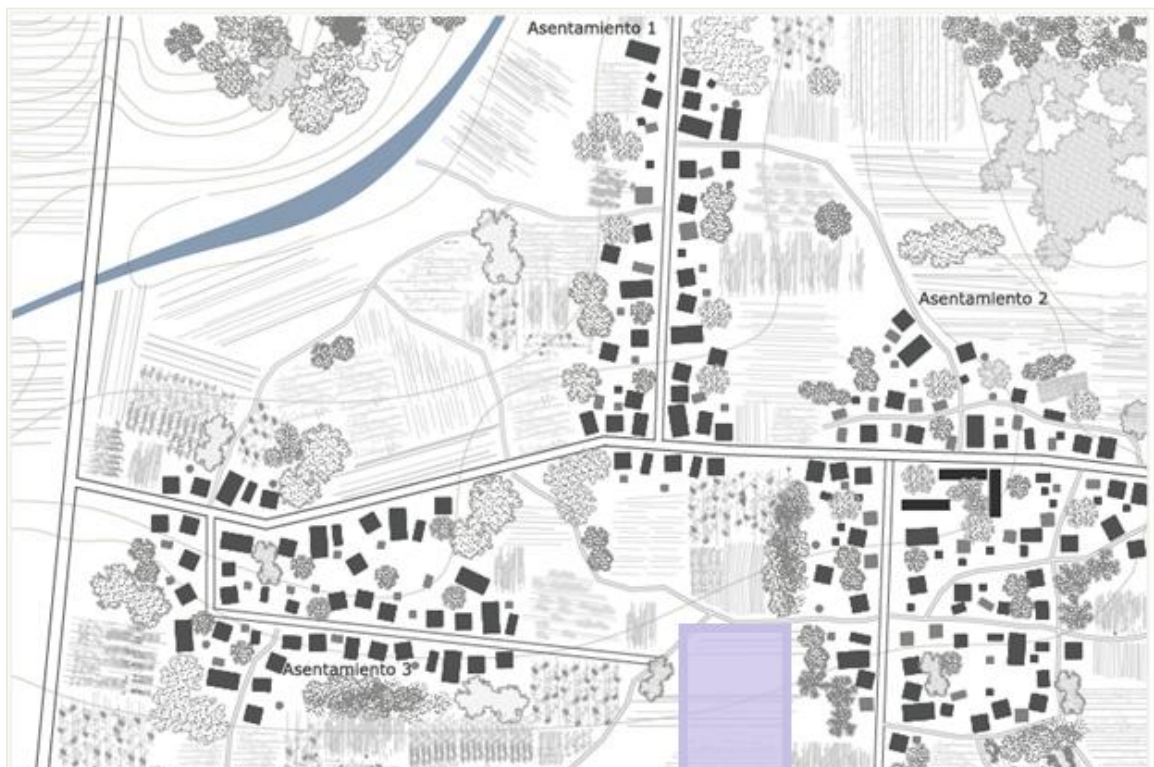
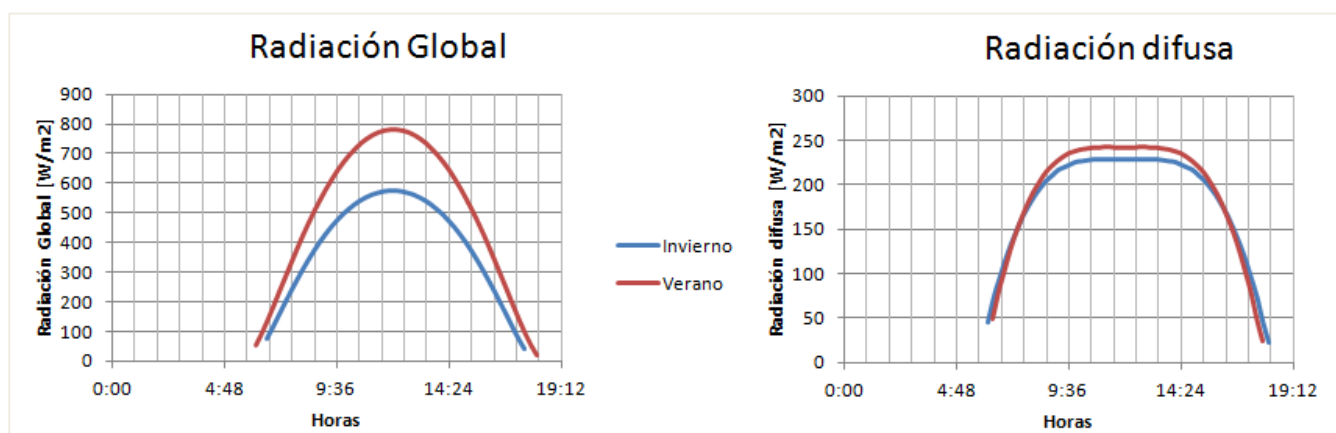


Figura 27. Emplazamiento planta fotovoltaica

El estudio del recurso solar se realiza analíticamente junto con la ayuda de la herramienta online PVGIS. De esta herramienta se extraen, entre otros, los datos de la radiación solar global y difusa:



Gráfica 1. Radiación global y difusa

Tras el estudio del recurso solar, se calculan los parámetros necesarios para el dimensionado del campo de paneles fotovoltaicos que se quiere instalar. Los datos más relevantes calculados se muestran en la Tabla 13:

Tabla 13. Parámetros calculados

Parámetros Instalación Fotovoltaica

Energía diaria dimensionada [Wh/día]	56.247
Energía suministrada por panel [Wh/día]	1.226
Número de paneles totales	46
Número de ramas de paneles	23

La instalación solar se compone de diversos componentes con una larga lista de características que deben ajustarse a las necesidades de la instalación del estudio. A continuación se enumeran dichos componentes, las marcas y modelos escogidos y sus características principales. Los catálogos con las especificaciones técnicas de cada uno de los componentes se encuentran en el Anexo D del presente documento.

1. Módulos fotovoltaicos

Se ha escogido un módulo fotovoltaico de la marca SUNPOWER, de tecnología monocristalina cuya potencia es de 300 W y sus características principales se muestran en las Tablas 14, 15 y 16.

Tabla 14. Características del módulo fotovoltaico I

Parámetros eléctricos

Potencia Máxima	300 W
Tensión de potencia óptima (Vmp)	54,7 V
Corriente operativa óptima (Imp)	5,49 A
Tensión de circuito abierto (Voc)	64,0 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	5,87 A
Eficiencia de célula	18,4%

Tabla 15. Características del módulo fotovoltaico II

Parámetros mecánicos

Longitud	1.559 mm
Ancho	1.046 mm
Profundidad	46 mm
Peso	18,6 kg

Tabla 16. Características del módulo fotovoltaico III

Coefficientes térmicos

Coef. Temperatura de Corriente en CC	3,5 mA/K
Coef. Temperatura de Tensión Circuito Abierto	-176,6 mV/K
Coef. Temperatura de la Potencia Máxima	-0,38 %/K

2. Regulador

El regulador garantiza un control óptimo de la instalación y la protege frente a sobretensiones, sobreintensidades y cortocircuitos. El regulador se ha elegido de la marca Studer, el modelo VarioTrack 80, que es apto para las instalaciones con potencias medianas como es el caso de estudio. Este regulador cuenta, además, con un algoritmo MPPT que realiza un seguimiento continuo del punto de máxima potencia y automáticamente carga las baterías de una manera óptima con la energía solar disponible. Los parámetros que determinan su operación se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Características del regulador

Modelo VarioTrack 80 - 24 V	
Maxíma potencia solar recomendada	2500 W
Maxima tensión de entrada	150 Vdc
Máxima corriente de entrada	80 A
Eficiencia	0,98
Etapas de carga	Cuatro

3. Inversor

Otro elemento imprescindible en una instalación fotovoltaica es el inversor, el modelo escogido es el Inversor - Cargador Studer Xtender XTM 2400 cuyas características eléctricas se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18. Características del inversor

Modelo XTM 2400	
Tensión nominal	24 V
Tensión de entrada	19 - 34 V
Potencia continua (25°C)	2.000 VA
Potencia 30min (25°C)	2.400 VA
Potencia 5sec (25°C)	6.000 VA
Rendimiento máximo	0,94

4. Acumuladores

Los sistemas de acumulación, también denominados baterías, son del modelo 4 OPzS 200 de la marca TAB, cada acumulador ofrece 2 V. Las características de estos acumuladores están en la Tabla 19.

Tabla 19. Características de los acumuladores

Modelo 4 OPzS200	
Tensión	2 V
Dimensiones [mm]	103 x 206 x 420
Peso [kg]	13/18
C10 [Ah]	212
C100 [Ah]	301

5. Soportes para panel fotovoltaico

Los soportes escogidos son de la marca Techno Sun, son soportes metálicos fijos. En el soporte elegido se instalan dos módulos fotovoltaicos, por tanto, se necesitan 23 soportes.

Tras la elección de los componentes necesarios y la realización de los cálculos, queda determinada la viabilidad técnica de la instalación fotovoltaica en el presente caso de estudio.

- Energía eólica

Como se expuso en el capítulo 4.4 de este documento, la República Unida de Tanzania consta con tres regiones donde los estudios han revelado que el recurso eólico para la generación es prometedor.

El asentamiento de este caso de estudio no se encuentra en una zona con un recurso eólico renovable apto para la instalación de generación eléctrica a partir de la energía eólica por tanto se descarta esta solución.

- Energía de la biomasa

La agricultura, junto con la ganadería, son las actividades más importantes de la población residente en Kisaki. El cultivo de arroz está extendido en toda la región por lo que se ha buscado una solución energética aprovechando esta realidad.

La empresa india *Husk Power Systems*, ha desarrollado un sistema de generación de electricidad basado en la gasificación residuos de cáscaras de arroz, desde 2011 ha instalado 84 mini plantas de energía proporcionando suministro eléctrico a más de 200.000 personas repartidas en 300 pueblos y empleando a 350 personas. Estos sistemas, al extender la posibilidad de desarrollar algunas actividades más allá de las horas solares del día, ha promovido el desarrollo económico al permitir, entre otras opciones, que los algunos negocios permanezcan abiertos tras la puesta del sol o el desarrollo educativo en los niños, que pueden estudiar durante la noche. En la Fotografía 1 se muestra una planta HPS.



Fotografía 1. Planta HPS [8]

El emplazamiento de la planta HPS se muestra en la Figura 28.

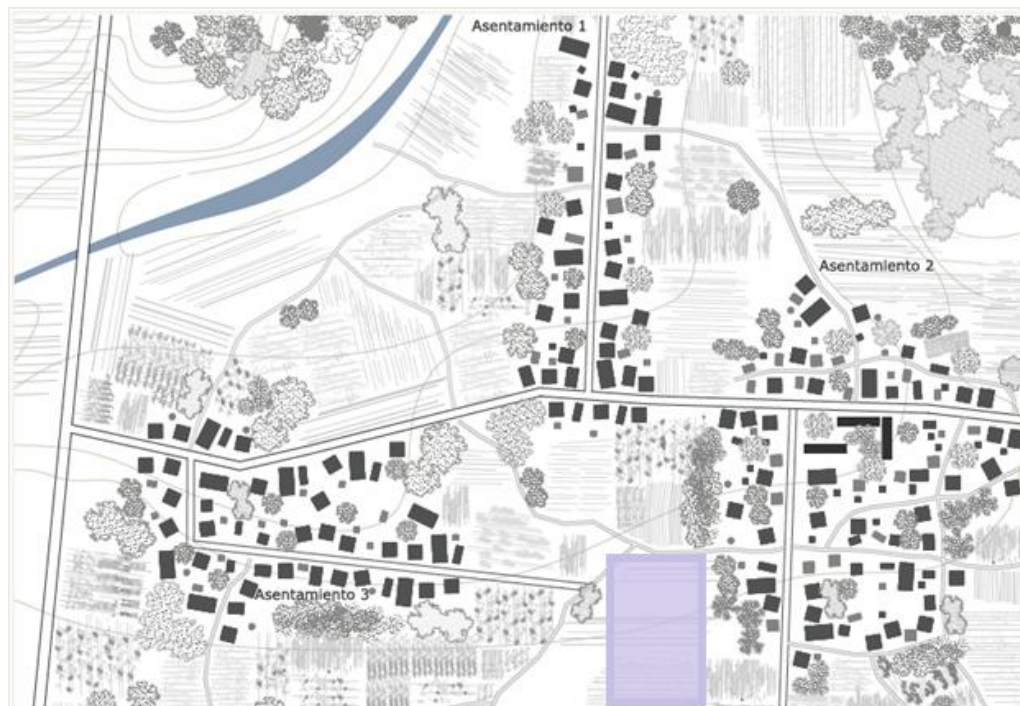


Figura 28. Emplazamiento planta HPS

Cada sistema HPS consiste en una planta de generación de entre 30 y 50 kW donde se utiliza únicamente residuos del cultivo del arroz y una distribución de red donde se conectan los abonados directamente a la planta utilizando cables aislados de una distancia máxima de dos a tres kilómetros, colgados en los postes de madera. En la Figura 29 se muestra el esquema de una planta de generación Husk.

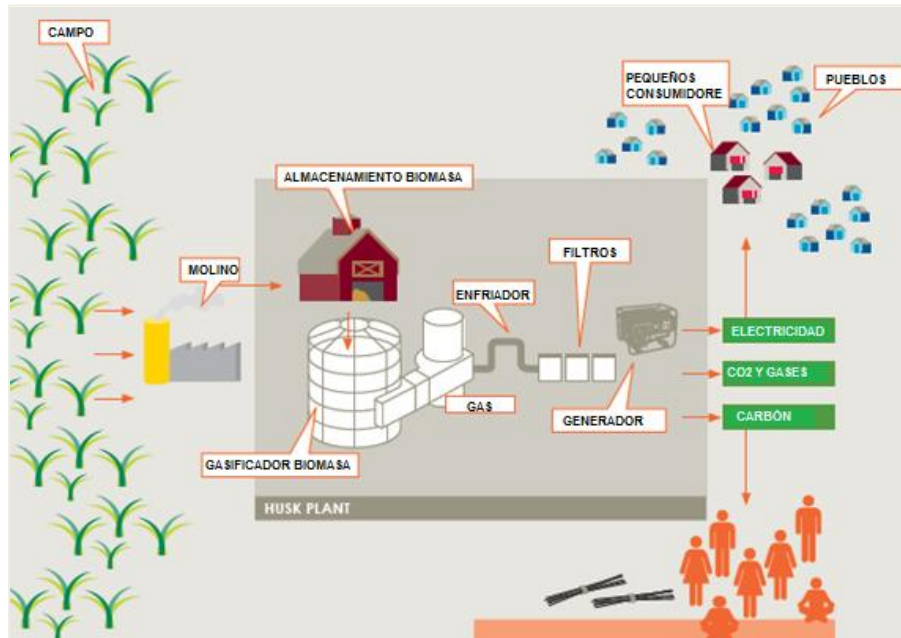


Figura 29. Esquema de planta HPS [8]

Las plantas HPS tienen una capacidad entre 30 y 50 kW y están en funcionamiento cada noche durante 8 horas. Los sistemas HPS se componen de un gasificador, varios filtros, un motor de gas conectado a un generador de electricidad y una red de distribución. El gasificador es una versión modificada de un sistema de combustible dual que ha sido diseñado para operar con un único combustible con un porcentaje de alquitrán muy reducido. La combustión parcial de este combustible se produce dentro de la cámara de combustión sin presencia de oxígeno y resulta un gas formado por hidrógeno, monóxido de carbono y metano. Este gas resultante se enfría y se limpia a través de una serie de filtros y posteriormente se quema en el motor conectado al generador, que genera electricidad a 230 V. El carbón residual se recoge en la parte posterior de la cámara y se elimina. La electricidad se distribuye a través de una red monofásica a 230 V y el consumo se controla a través de contadores de bajo coste.

La Figura 30 muestra el esquema del funcionamiento de las plantas HPS.

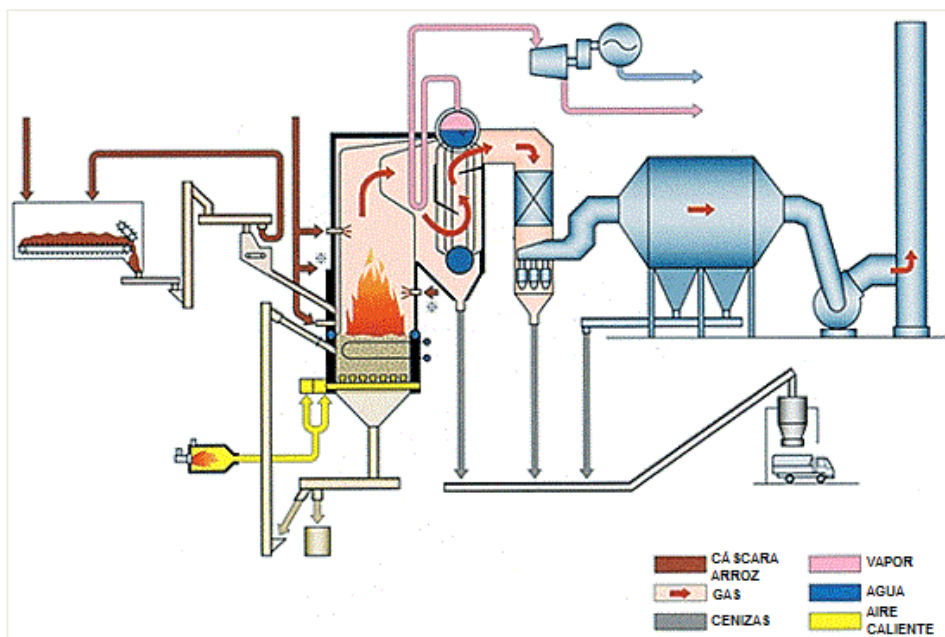


Figura 30. Funcionamiento de la planta HPS [8]

El funcionamiento del sistema es el siguiente: El gasificador tiene una cámara de combustión cilíndrica situado encima del mismo. Entre 30 y 45 minutos, la cascara de arroz se vierte en la tolva y fluye hasta dentro de la cámara de combustión donde se prende fuego. El aire es aspirado hacia abajo provocando una combustión con suministro limitado de oxígeno que produce un gas rico en energía. El gas resultante, en primer lugar, se enfría y se limpia con agua y a continuación pasa por tres o más filtros para la eliminación de alquitranes. El último filtro, que es de tela, elimina las partículas que pudieran estar aún presentes en el gas. El gas ya preparado se quema en un motor que acciona un generador para producir aproximadamente 45 kW de energía eléctrica de corriente alterna a 240 V. Una planta utiliza alrededor de 10 toneladas/mes de cáscara de arroz u otros residuos de biomasa.

4.8. Aspectos económicos

Una vez estudiadas las alternativas para la electrificación rural del caso de estudio, se puede resumir que las opciones técnicamente viables son las opciones de extensión de red principal, como se ha explicado en el apartado 4.6.1 y las instalaciones aisladas de red con energía solar fotovoltaica y energía procedente de la biomasa, tal y como se ha reflejado en el apartado 4.6.2 del documento.

Como se ha ido remarcando a lo largo del informe, el coste total de la electrificación juega un papel determinante a la hora de elegir la mejor opción

ya que se trata de un área de un país en vías de desarrollo donde sus habitantes e instituciones no disponen de medios económicos para tal hecho, por ello, se plantea la necesidad de estudiar aspectos económicos de las distintas opciones:

4.8.1. Conexión a red

En el informe "Low Cost Grid Electrification Technologies", anteriormente citado, se muestra un estudio del World Bank Group donde se extrae la conclusión de que en muchos países en vías de desarrollo los costes de conexión a la red en las zonas rurales son muy altos y, a menudo, son el principal obstáculo para aumentar la electrificación en estas zonas. En la Figura 28 se muestra la relación entre los gastos de conexión frente a las tasas de electrificación nacional, se aprecia que la República Unida de Tanzania tiene uno de los costes más elevados de todos los países estudiados, el coste ronda los US\$ 300.

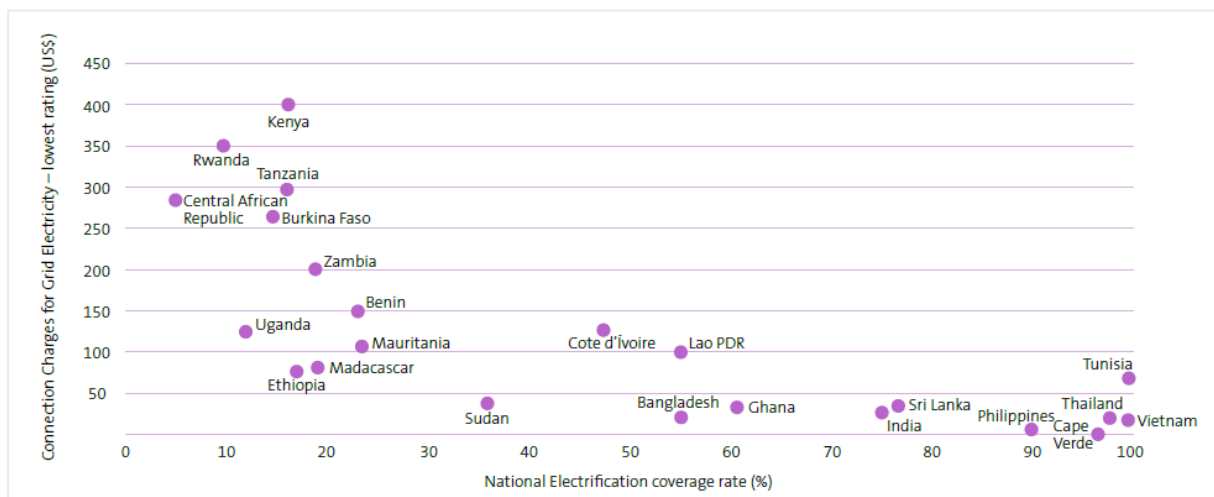


Figura 31. Gastos de conexión a red [5]

Los datos que refleja el informe mencionado son los siguientes:

Tabla 20. Gastos de conexión a red [5]

País	Mínimo coste por conexión [€]	Especificaciones
Tanzania	297	Coste por servicio de línea monofásica, medidor convencional e incluye VAT

A la larga distancia que existe entre los asentamientos del caso de estudio se suma el elevado coste que tendría si existiese dicha conexión, por tanto, esta opción queda descartada entre las mejores soluciones del estudio.

4.8.2. Instalación solar fotovoltaica

Para conocer la viabilidad económica de la instalación solar fotovoltaica se procede al cálculo de la inversión inicial. Como comentario, se quiere destacar que se probó la realización de este apartado con módulos fotovoltaicos de segunda mano para reducir el coste de la inversión inicial y hacer así más asequible la instalación. Esta opción fue descartada debido a que el rendimiento de estos módulos era muy inferior al deseado, por tanto, se realiza el presupuesto con componentes que se encuentra actualmente en el mercado.

La inversión inicial de una instalación solar fotovoltaica puede dividirse en tres partes:

- La primera de ellas son los componentes de la instalación, en la Tabla 20 se muestra el presupuesto total de los mismos.

Tabla 21. Presupuesto de los componentes fotovoltaicos

Componente	Precio unitario [€]	Unidades	Precio total [€]
Módulo fotovoltaico	275,00	46	12.650,00
Regulador - Studer VarioTrack 80	500,25	1	500,25
Inversor - Studer Xtender XTM 2400	1.980,35	1	1.980,35
Acumuladores - TAB OPzS	234,31	12	2.811,72
Soporte - Techno Sun	345,12	23	7.937,76
Total [€]			25.880,08

- La segunda parte son los componentes de la instalación eléctrica que se necesita para que la energía eléctrica generada llegue a los consumidores. El alcance del proyecto no abarca los cálculos de la instalación eléctrica pero se deben tener en cuenta para hacer un balance correcto.
- Por último, hay que añadir la obra civil donde se incluyen aspectos como la preparación del terreno donde se vaya a instalar los módulos fotovoltaicos, la construcción de un espacio dedicado al almacenaje de los componentes de la instalación que deben estar protegidos de fenómenos meteorológicos y de robos y la instalación de red de distribución desde la generación a los consumidores de los tres asentamientos.

4.8.3. Planta de biomasa HPS

Como se ha explicado anteriormente, las plantas HPS se han diseñado por una empresa india que las comercializa en su país y en países cercanos. El sistema que utiliza dicha empresa para el correcto funcionamiento tiene las siguientes características:

- La inversión inicial de una planta de 45 kW, la que sería necesaria en nuestro caso de estudio, incluyendo el sistema de distribución entre los tres asentamientos es de US\$ 1.000 por kW. Es decir, este sistema tienen una inversión inicial de US\$ 45.000, unos 40.000€.
- Las tarifas eléctricas para una conexión básica es de US\$ 2,2, unos 2€ al mes.
- La empresa exige un mes de fianza en el momento de la firma del contrato para garantizar el buen uso de la instalación.
- HPS se compromete a proporcionar servicio 27 días al mes.

4.9. Evaluación de modelos

Además del impacto económico que tiene la electrificación en las zonas con las características estudiadas, la transformación social y ambiental que pueden propiciar las distintas alternativas también es relevante a la hora de posicionar una alternativa frente a otra.

Por todo ello, se analizan los diferentes impactos que tendrían las tres opciones técnicamente viables en la población de Kisasi. Para desarrollar la evaluación de las tres alternativas se han realizado tres tablas con las características en los cuatro sectores principales y se han evaluado el nivel impacto, negativo, neutro, bajo o alto, que cada una de ellas tendría en la zona del caso de estudio.

Tabla 22. Impacto de electrificación por conexión a red**Conexión a red**

Principio	Criterio	Impacto a criterio				Impacto a nivel principio
		Negativo	Neutro	Bajo	Alto	
Económico	1. Desarrollo económico local				X	Alto
	2. Generación de empleo			X		
	3. Mejoras en infraestructura y servicios locales				X	
Social	4. Mejora en las condiciones de vida y DDHH				X	Alto
	5. Fomento de la educación				X	
	6. Contribución a la salud				X	
Técnico	7. Desarrollo de tecnología		X			Bajo
	8. Desarrollo de mantenimiento tecnológico			X		
Ambiental	9. Sostenibilidad en utilización y gestión de recursos			X		Bajo
	10. Mejoría y/o protección de recursos naturales			X		

Los impactos de nivel alto de esta opción se reflejan en los principios económicos y sociales: El impacto económico que tendría la conexión a la red principal se vería reflejado en la posibilidad de aumentar las horas de producción de los negocios, y en el ámbito social se mejorarían las condiciones de vida, se fomentaría la educación y se contribuye a la mejora de la salud pero, estas realidades también ocurrirían con las otras dos alternativas, por lo tanto, esta opción quedaría descartada como ya se hizo en el apartado 4.7.1. por su alto coste económico.

Tabla 23. Impacto de electrificación por instalación solar fotovoltaica

Instalación solar fotovoltaica

Principio	Criterio	Impacto a criterio				Impacto a nivel principio
		Negativo	Neutro	Bajo	Alto	
Económico	1. Desarrollo económico local				X	Alto
	2. Generación de empleo			X		
	3. Mejoras en infraestructura y servicios locales				X	
Social	4. Mejora en las condiciones de vida y DDHH				X	Alto
	5. Fomento de la educación				X	
	6. Contribución a la salud				X	
Técnico	7. Desarrollo de tecnología			X		Medio
	8. Desarrollo de mantenimiento tecnológico				X	
Ambiental	9. Sostenibilidad en utilización y gestión de recursos				X	Alto
	10. Mejoría y/o protección de recursos naturales				X	

La opción de la tecnología solar fotovoltaica tiene más ventajas que inconvenientes, tendría un impacto alto en tres de los cuatro principios estudiados y un impacto medio en el ámbito técnico, ya que sería necesaria la formación de un número reducido de personas para el mantenimiento y cuidado de las instalaciones una vez ejecutada la puesta en marcha. Esta opción es una buena alternativa si se dispone de recursos económicos para la inversión inicial.

Tabla 24. Impacto de electrificación por instalación de biomasa**Instalación de biomasa**

Principio	Criterio	Impacto a criterio				Impacto a nivel principio
		Negativo	Neutro	Bajo	Alto	
Económico	1. Desarrollo económico local				X	Alto
	2. Generación de empleo				X	
	3. Mejoras en infraestructura y servicios locales				X	
Social	4. Mejora en las condiciones de vida y DDHH				X	Alto
	5. Fomento de la educación				X	
	6. Contribución a la salud				X	
Técnico	7. Desarrollo de tecnología				X	Alto
	8. Desarrollo de mantenimiento tecnológico				X	
Ambiental	9. Sostenibilidad en utilización y gestión de recursos				X	Alto
	10. Mejoría y/o protección de recursos naturales				X	

El impacto que tendría la instalación de una central de biomasa, en el caso estudiado una central *Husk Power System*, sería totalmente beneficioso para la población del estudio. Además de la mejora en los ámbitos sociales y ambientales, daría un empuje a la economía de cada habitante debido a que las plantas HPS ofrecen incentivos a los agricultores por los residuos del cereal, aproximadamente entre US\$ 0,02-0,03 por kilogramo, esto se traduce en un incentivo añadido a la posibilidad de disponer de energía eléctrica y, además, un ingreso económico extra a cambio de un residuo que tradicionalmente termina en algún proceso de combustión tradicional.

4.10. Conclusiones

Tras el estudio de los aspectos principales de todas las alternativas, quedan reflejadas las dificultades que existen en zonas rurales para llevar a cabo la electrificación. Estos inconvenientes se agravan en países en vías de desarrollo donde la economía de sus habitantes e instituciones no es suficiente para llevar a cabo estos proyectos. Aun así, si se dispusiese de financiación inicial, conseguida del sector público o del privado, se han encontrado dos soluciones técnicamente viables que intervendrían en la mejora de todos los ámbitos de la zona del estudio y contribuirían al desarrollo de sus ciudadanos. Sumado a todos los beneficios que tienen la electrificación en una zona rural, ambas alternativas tienen como principal característica el uso de energías renovables por lo que serían soluciones respetuosas con el medio ambiente que usarían recursos que y tienen disponibles en estas zonas para conseguir electricidad.

CAPÍTULO 5: BIBLIOGRAFÍA

5.1. Referencias bibliográficas

- [1] Alliance for Rural Electrification. Hybrid power system based on renewable energies: a suitable and cost-competitive solution for rural electrification, 2014.
- [2] Blog Energía Renovables y Limpias.
<http://energias-renovables-y-limpias.blogspot.com.es/search/energiaeolica>
- [3] Climate Investment Funds. Tanzania Country Profile, 2013.
- [4] Energy Sector Management Assistance Program. <https://www.esmap.org/>
- [5] EU Energy Initiative. Low Cost Grid Electrification Technologies: A Handbook for Electrification Practitioners, 2015.
- [6] Geographic Information System Platform. Maps of Rural electrification.
<http://www.gimsys.net/irep/default.htm>
- [7] Government Portal of United Republic of Tanzania. <http://www.tanzania.go.tz/>
- [8] Husk Power System. <http://www.huskpowersystems.com/>
- [9] ONGAWA. Sin energía no hay desarrollo: Información para comprender la relación entre pobreza y acceso a la energía, 2013.
- [10] Pareja Aparicio, Miguel. Energía solar fotovoltaica, cálculo de una instalación aislada. Colección Nuevas Energías. Ediciones Técnicas Marcombo, 2011.

- [11] Rural Energy Agency. Tanzania SE4ALL, 2015.
- [12] Sumper Andreas. Sistemas Eléctricos de Potencia, 2015.
- [13] Tanzania Electric Supply Company, TANESCO. <http://www.tanESCO.co.tz/>
- [14] The World Bank Data. <http://www.worldbank.org/en/country/tanzania>
- [15] United Nations Development Programme. Opportunities and challenges in Tanzania.
- [16] United Nations Foundation. Microgrids for Rural Electrification: A critical review of best practices based on seven case studies, 2014.
- [17] World Bank Energy Sector Management Assistance Programme. Reducing the cost of Grid Extension for Rural Electrification, 2002.

5.2. Bibliografía de consulta

- [18] Africa-EU Renewable Energy Cooperation Programme, RECP. <http://www.africa-eu-renewables.org/>
- [19] Ingeniería Sin Fronteras. Energía y desarrollo humano, 2009.
- [20] International Energy Agency, Energy for all: Financing access for the poor, 2011.
- [21] Tanzania National Bureau of Statistics <http://www.nbs.go.tz/>
- [22] World Bank Group Staff. Designing Sustainable Off-Grid Rural Electrification Projects: Principles and Practices, 2012.

ANEXOS

A. Cálculos

1) Estimación de la demanda

El cálculo de la demanda estimada del núcleo rural a electrificar se ha realizado con la herramienta de cálculo Excel, a continuación se muestran las tablas resultantes de este estudio:

Tabla Anexo 1. Demanda energética - Asentamiento 1

Asentamiento 1		Unidad	Potencia unitaria	Potencia total	Horas de uso	Consumo total
		[u]	[W]	[W]	[h/día]	[Wh/día]
Viviendas	Iluminación interior	4	7	28	6	168
	Iluminación exterior	2	7	14	4	56
	Radio	1	20	20	3	60
Total vivienda [Wh/día]						284
Nº de viviendas						40
TOTAL POTENCIA [W]				2.480		
TOTAL ENERGÍA [Wh/día]						11.360

Tabla Anexo 2. Demanda energética - Asentamiento 1

Asentamiento 2		Unidad	Potencia	Potencia total	Horas de uso	Consumo total
		[u]	[W]	[W]	[h/día]	[Wh/día]
Viviendas	Iluminación interior	4	7	28	6	168
	Iluminación exterior	2	7	14	4	56
	Radio	1	20	20	3	60
Consumo vivienda [Wh/día]						284
Nº de viviendas						65
Total viviendas [Wh/día]						18.460
Escuela	Iluminación interior	16	7	112	4	448
	Iluminación exterior	6	7	42	4	168
	Ventilador	6	100	600	2	1200
	Televisión	2	90	180	4	720
	Altavoz	2	40	80	4	320
	Cadena de música	2	45	90	2	180
Total escuela [Wh/día]						3.036
Nave 1	Iluminación interior	10	7	70	6	420
	Iluminación exterior	4	7	28	6	168
Total nave 1 [Wh/día]						588
Nave 2	Iluminación interior	14	7	98	6	588
	Iluminación exterior	6	7	42	6	252
Total nave 2 [Wh/día]						840
TOTAL POTENCIA [W]				5.372		
TOTAL ENERGÍA [Wh/día]						22.924

Tabla Anexo 3. Demanda energética - Asentamiento 3

Asentamiento 3		Unidad	Potencia unitaria	Potencia total	Horas de uso	Consumo total
		[u]	[W]	[W]	[h/día]	[Wh/día]
Viviendas	Iluminación interior	4	7	28	6	168
	Iluminación exterior	2	7	14	4	56
	Radio	1	20	20	3	60
Total vivienda [Wh/día]						284
Nº de viviendas						35
TOTAL POTENCIA [W]				2170		
TOTAL ENERGÍA [Wh/día]						9.940

Tabla Anexo 4. Demanda energética total

	Potencia [W]	Energía [Wh/día]
Asentamiento 1	2.480	11.360
Asentamiento 2	5.372	22.924
Asentamiento 3	2.170	9.940
Total	10.022	44.224

2) Conexión a red

Se calculan los parámetros característicos de la línea de transporte de energía eléctrica del caso de estudio. También, se calcula el valor de la caída de tensión.

- Resistencia

Ecuación Anexo 1. Resistencia conductor

$$R_{\text{conductor}} = \frac{\rho}{A} = 0,433 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right] \quad (1)$$

Ecuación Anexo 2. Resistencia unitaria

$$R_{\text{unitaria}} = \frac{R_{\text{conductor}}}{n} = 0,433 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right] \quad (2)$$

Donde:

ρ : Resistividad del conductor. Valor $0,026 \left[\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{km}} \right]$ para el aluminio

A : Área del conductor [mm^2]

n : Número de conductores por fase

L : Longitud de la línea [km]

- Inductancia

Ecuación Anexo 3. Inductancia unitaria

$$L_{\text{unitaria}} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \ln \left(\frac{d}{r'} \right) = 0,2 \ln \left(\frac{d}{r'} \right) = 1,468 \left[\frac{\text{mH}}{\text{km}} \right] \quad (3)$$

Ecuación Anexo 4. Dimensionamiento del radio

$$r' = 0,779 \cdot r \quad (4)$$

Donde:

d : Distancia entre fases

r : Radio del conductor

L : Longitud de la línea [km]

- Capacidad

Ecuación Anexo 5. Capacidad unitaria

$$C_{unitaria} = \frac{2\pi \epsilon}{\ln\left(\frac{d}{r}\right)} = \frac{1000}{18 \cdot \ln\left(\frac{d}{r}\right)} = 7,837 \left[\frac{nF}{km}\right] \quad (5)$$

Donde:

d: Distancia entre fases

r: Radio del conductor

L: Longitud de la línea [km]

Tabla Anexo 5. Parámetros eléctricos de la línea

Parámetros eléctricos de la línea de transporte	
R $\left[\frac{\Omega}{km}\right]$	0,433
L $\left[\frac{mH}{km}\right]$	1,468
C $\left[\frac{nF}{km}\right]$	7,837

- Caída de tensión de la línea

Para calcular la caída de tensión de la línea se han empleado las siguientes fórmulas matemáticas. El cálculo se ha realizado en pu.

Ecuación Anexo 6. Cálculo Zbase

$$Z_b = \frac{V_b^2}{S_b} = \frac{132^2}{15} = 1161,6 \quad (6)$$

Ecuación Anexo 7. Zt de la línea

$$Z_t = (R + j\omega L) \cdot l = 73,31 + i \cdot 71,48 \quad (7)$$

En el final de la línea que se quiere calcular se supone una carga de una potencia de 15 kW, potencia superior a la calculada para prever nuevas demandas. En el origen de la línea hay 132 kV. Con estos datos iniciales se calcula la tensión en el final.

Ecuación Anexo 8. Tensión en el origen

$$v_o = \frac{V_o}{V_b} = \frac{132}{132} = 1 \quad (8)$$

Ecuación Anexo 9. Potencia activa

$$p_f = \frac{S_L \cdot FP}{S_b} = \frac{15 \cdot 0,6}{15} = 0,6 \quad (9)$$

Ecuación Anexo 10. Potencia reactiva

$$q_f = \frac{S_L \cdot \text{sen}(\text{arcos}(FP))}{S_b} = \frac{15 \cdot \text{sen}(\text{arcos}(0,6))}{15} = 0,8 \quad (10)$$

Ecuación Anexo 11. Potencia aparente

$$s_f = \frac{S_L}{S_b} = 1 \quad (11)$$

Ecuación Anexo 12. Cálculo z_t

$$z_t = \frac{|Z_t|}{Z_b} = \frac{102,40}{1161,6} = 8,81 \cdot 10^{-2} \quad (12)$$

Ecuación Anexo 13. Cálculo x_t

$$x_t = \frac{R\{Z_t\}}{Z_b} = \frac{73,32}{1161,6} = 6,30 \cdot 10^{-2} \quad (13)$$

Ecuación Anexo 14. Cálculo r_t

$$r_t = \frac{I\{Z_t\}}{Z_b} = \frac{71,48}{1161,6} = 6,15 \cdot 10^{-2} \quad (14)$$

Ecuación Anexo 15. Cálculos matemáticos I

$$x^2 + px + q = 0 \quad (15)$$

Ecuación Anexo 16. Cálculos matemáticos II

$$v_f^2 = x \quad (16)$$

Ecuación Anexo 17. Cálculos matemáticos III

$$p = 2(r_t \cdot p_f + x_t \cdot q_f) - v_o^2 = -0,8254 \quad (17)$$

Ecuación Anexo 18. Cálculos matemáticos IV

$$q = (z_t s_f)^2 = (8,81 \cdot 10^{-2} \cdot 1)^2 = 7,76 \cdot 10^{-3} \quad (18)$$

Ecuación Anexo 19. Cálculos matemáticos V

$$v_f = \sqrt{-\frac{p}{2} \mp \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}} = 0,9033 \quad (19)$$

Ecuación Anexo 20. Tensión final

$$V_f = v_f \cdot V_b = 0,9033 \cdot 132.000 = 119.231 \text{ V} \quad (20)$$

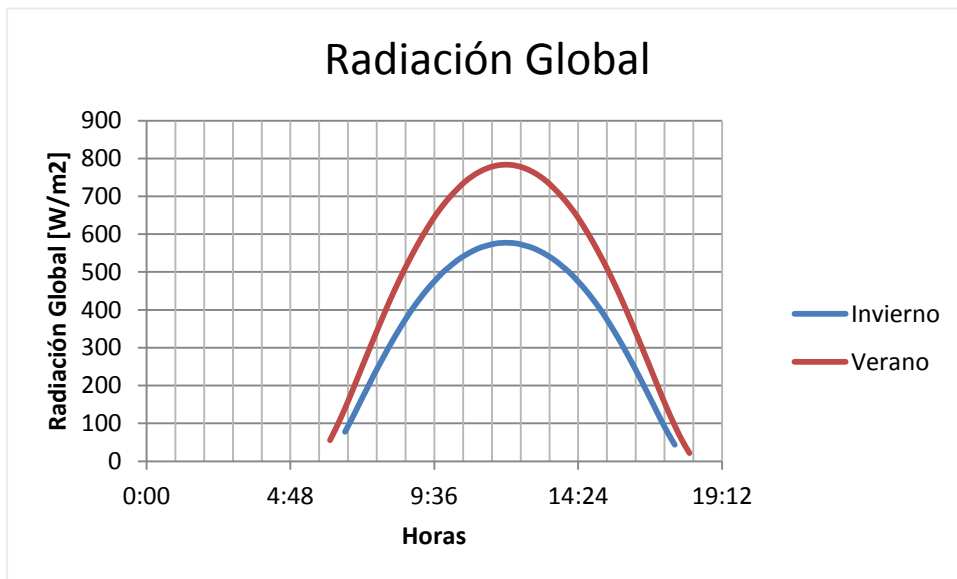
Ecuación Anexo 21. Caída de tensión

$$\Delta v = \frac{V_o - V_f}{V_f} \cdot 100 = \frac{132 - 119,23}{119,23} \cdot 100 = 10,71 \% \quad (21)$$

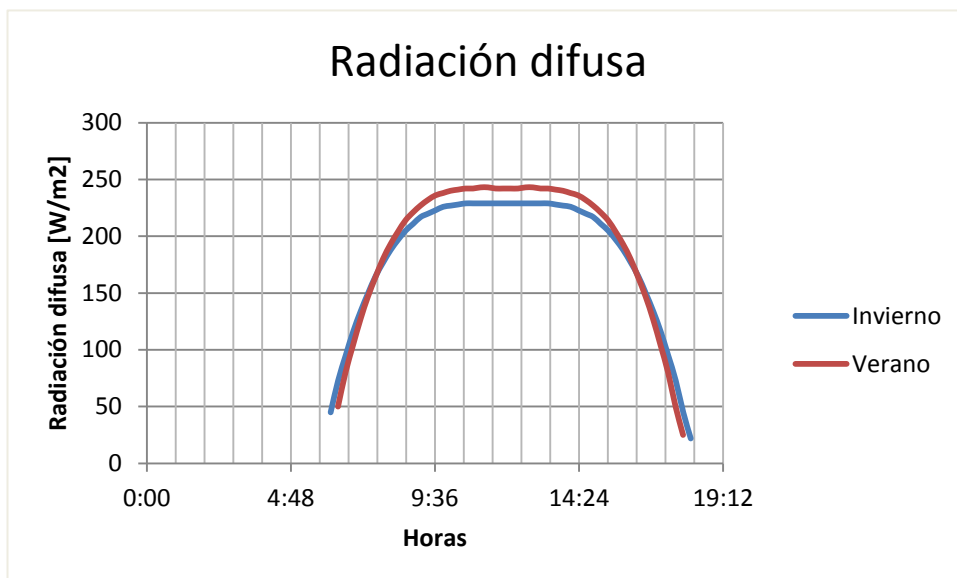
3) Instalación solar fotovoltaica

Tras el estudio de evaluación de la demanda realizado en el Apartado 1 del presente Anexo, se procede a la evaluación del aporte solar. El estudio de la instalación fotovoltaica se realiza con la ayuda de la herramienta de cálculo PVGIS.

Dicha herramienta, proporciona los datos para calcular el recurso solar disponible en la zona del estudio. A continuación, en las gráficas 2 y 3, se muestran las gráficas de radiación global y difusa de los meses de enero y julio, representativos del verano e invierno respectivamente.



Gráfica Anexo 1. Radiación Global



Gráfica Anexo 2. Radiación Difusa

Se aprecia que durante todo el año que la radiación, medida en W/m^2 , es óptima para la instalación fotovoltaica. En la Tabla Anexo 5 se recogen los datos necesarios para la evaluación del aporte solar para este ángulo indicado.

Tabla Anexo 6. Datos recurso solar

Mes	R_0 [kWh/m ² día]	R_β [kWh/m ² día]	HPS_β [horas/día]
Ene	6.110	5.950	5,95
Feb	6.050	5.960	5,96
Mar	6.160	6.140	6,14
Abr	4.810	4.860	4,86
May	4.490	4.590	4,59
Jun	4.540	4.680	4,68
Jul	4.420	4.540	4,54
Ago	4.570	4.640	4,64
Sep	5.520	5.530	5,53
Oct	6.380	6.310	6,31
Nov	6.630	6.460	6,46
Dic	6.360	6.160	6,16

Donde:

- Radiación sobre superficie horizontal, R_0 : valor medio mensual de la radiación diaria sobre superficie horizontal, en kWh/m²día. La base de datos de PVGIS proporciona los valores estadísticos históricos de la zona.
- Radiación sobre superficie inclinada, R_β : valor medio mensual de la radiación diaria sobre el panel fotovoltaico con un ángulo de inclinación β , en kWh/m²día.
- Horas de pico solar, HPS: Se definen como las horas de irradiación diaria (u horas de luz) y su valor depende del día, mes y lugar de la instalación.

Debido a que el grado de electrificación no abarca ningún elemento estacional, es decir, el valor de la energía consumida es igual todos los meses del año, se realiza el estudio para el mes más desfavorable según las horas de pico en condiciones estándar, HPS. El más desfavorable es el mes cuyo valor de HPS sea menor, en el presente caso de estudio este mes es julio.

A continuación se calculan los parámetros necesarios para conocer el número de paneles a instalar y los elementos acumuladores necesarios para el suministro eléctrico:

- Potencia del inversor:

De acuerdo con la estimación de la demanda, será necesario un inversor para transformar la corriente continua que proporcionan los módulos fotovoltaicos y/o los acumuladores en corriente alterna.

Ecuación Anexo 22. Potencia del inversor

$$P_{inversor} = 1,2 \cdot P_{AC} = 1,2 \cdot 10.022 = 12.026,400 \text{ W} \quad (22)$$

Donde:

P_{AC} : Suma de todas las potencias alternas [W]

- Energía Diaria:

Tras la estimación de la demanda energética realizada en el apartado de cálculo anterior, la energía diaria se calcula dividiendo el total calculado entre los rendimientos de los elementos que acompañan a los módulos en la instalación fotovoltaica.

Ecuación Anexo 23. Energía diaria dimensionada

$$E'_{Diaria} = \frac{E_{Diaria}}{\eta_{Regulador} \cdot \eta_{Acumulador} \cdot \eta_{Inversor}} = \frac{44.224}{0,98 \cdot 0,90 \cdot 0,92} = 56.247,140 \text{ Wh/día} \quad (23)$$

Donde:

E_{Diaria} : Consumo de la energía diaria [Wh/día]

$\eta_{Regulador}$: Rendimiento en tanto por uno del regulador

$\eta_{Acumulador}$: Rendimiento en tanto por uno del acumulador

$\eta_{Inversor}$: Rendimiento en tanto por uno del inversor

- Energía suministrada por un panel

Ecuación Anexo 24. Energía panel

$$E_{Panel} = P_{Panel} \cdot HSP \cdot PR = 300 \cdot 4,54 \cdot 0,90 = 1.225,800 \text{ Wh/día} \quad (24)$$

Donde:

P_{Panel} : Potencia del panel fotovoltaico [W]

HSP : Horas solares pico en condiciones estándar

PR : Factor global de funcionamiento (Performance Ratio) de valor 0,90

- Número de paneles totales

Ecuación Anexo 25. Paneles totales

$$Paneles_{Totales} = \frac{E'_{Diaria}}{E_{Panel}} = \frac{56.247,140}{1.225,800} = 45,866 \approx 46 \text{ paneles} \quad (25)$$

- Número de paneles en serie

El número máximo de paneles conectados en serie viene determinado por el rango de tensiones de entrada del regulador y por la tensión del circuito abierto máxima de un panel fotovoltaico.

Ecuación Anexo 26. Paneles en serie

$$Paneles_{Serie} = \frac{V_{Max\ Regulador}}{V_{Max\ Panel}} = \frac{150}{70,181} = 2,137 \approx 2 \text{ Paneles}_{Serie} \quad (26)$$

Donde:

$V_{MáxRegulador}$: Tensión máxima de entrada del regulador [V]

$V_{Max\ Panel}$: Tensión máxima que puede suministrar el panel fotovoltaico [V]

Ecuación Anexo 27. Tensión Máxima del Panel

$$V_{Max\ Panel} = V_{oc} - \left(\frac{Coef_{V_{oc}}}{1.000} \right) \cdot \Delta T_{Min} = 64,0 - \left(\frac{-176,6}{1000} \right) \cdot 35 = 70,181 \text{ V} \quad (27)$$

Donde:

V_{oc} : Tensión de circuito abierto [V]

$Coef_{V_{oc}}$: Coeficiente de temperatura V_{oc} [mV]

ΔT_{Min} : Diferencia de temperatura [°C]

Ecuación Anexo 28. Diferencia de temperaturas

$$\Delta T_{Min} = T_{STC} - T_{Min} = 25 - (-10) = 35 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (28)$$

Donde:

T_{STC} : Temperatura estándar [$^{\circ}\text{C}$]

T_{Min} : Temperatura mínima [$^{\circ}\text{C}$]

- Número de ramas de paneles

Ecuación Anexo 29. Ramas de paneles

$$Ramas_{Paneles} = \frac{Paneles_{Totales}}{Paneles_{Serie}} = \frac{46}{2} = 23 \text{ Ramas}_{Paneles} \quad (29)$$

- Número de acumuladores en serie

Ecuación Anexo 30. Acumuladores en serie

$$Acumuladores_{Serie} = \frac{V_{Inversor}}{V_{Acumulador}} = \frac{24}{2} = 12 \text{ Acumuladores}_{Serie} \quad (30)$$

- Numero de acumuladores

Para determinar el número total de acumuladores se han de establecer los días de autonomía que se desea que tenga la instalación. En este caso, se pondrá una serie de 12 acumuladores que proporciona 2 días de autonomía.

B. Planos

(1/1) Plano de emplazamiento

(1/2) Asentamiento 1

(1/3) Asentamiento 2

(1/4) Asentamiento 3

C. Presupuesto

Tabla Anexo 7. Presupuesto

Número	Concepto	Precio Unitario [€]	Horas	Precio Total [€]
1	Elaboración del documento	5,00	520	2.600,00
2	Gastos Indirectos Totales (10%)	260,00		363,00
Presupuesto [€]				2.963,00
IVA				21
Presupuesto Total [€]				3.585,23

Presupuesto elaborado el día 8 de Junio de 2016.
Límite de vigencia: 8 de Octubre de 2016.

Blanca García de Vinuesa Bauzá

D. Catálogos

- (1/1) Panel fotovoltaico

- (1/2) Regulador

- (1/3) Inversor

- (1/4) Acumulador o baterías



Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Anexo

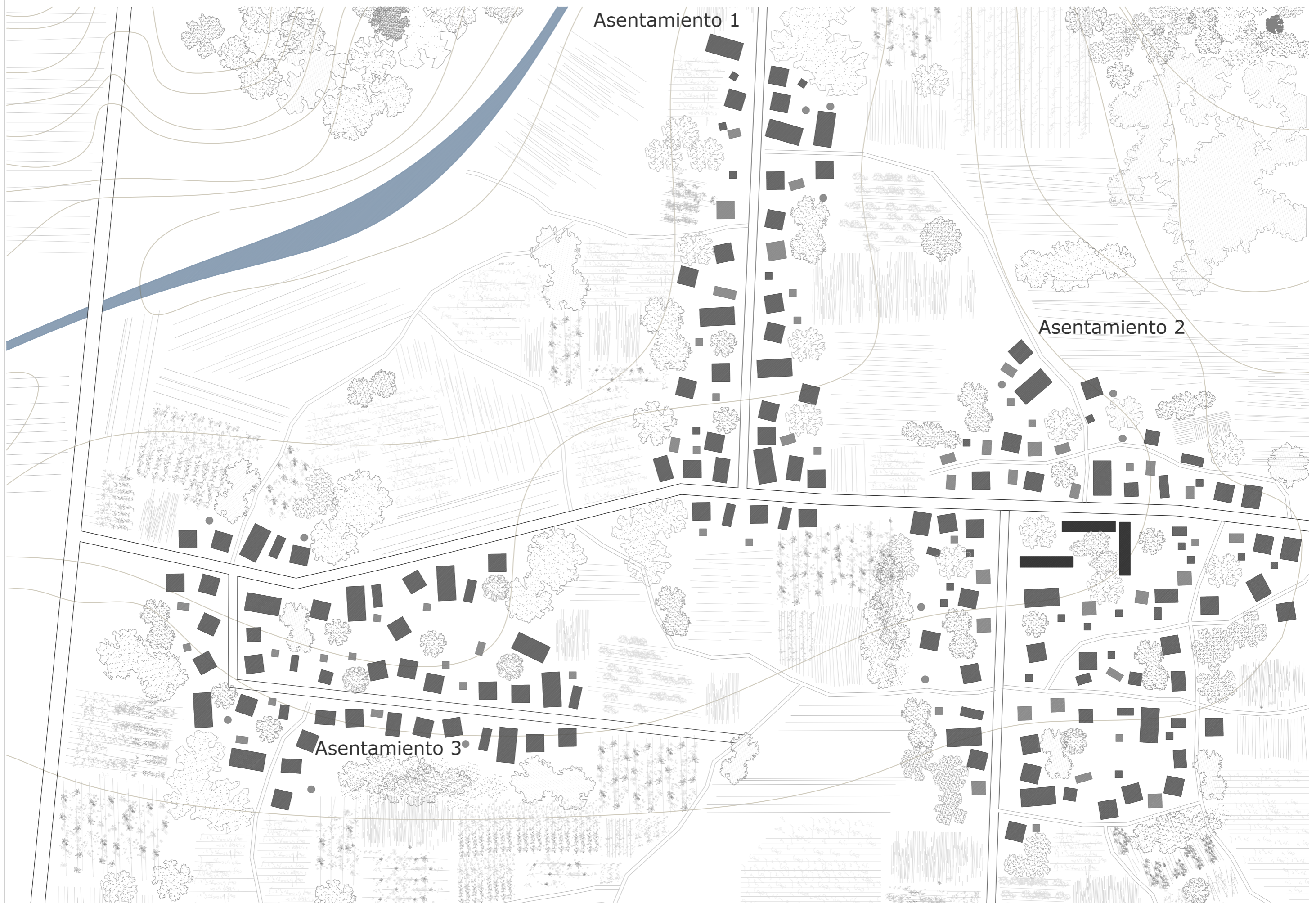
A detailed illustration of a large, multi-story building with a central tower and many windows, serving as the background for the title.

“Alternativas para la electrificación de zonas rurales”

TFG presentado para optar al título de GRADO en
INGENIERÍA ELÉCTRICA
por **Blanca García de Vinuesa Bauzá**

Barcelona, 08 de Junio de 2016

Director: Roberto Villafáfila Robles
Departamento de Ingeniería Eléctrica (DEE)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)





Plano de Situación Asentamiento 1

(2/4)

1:1400 ⌚

Alternativas para la electrificación de zonas rurales

Fuente: Elaboración Propia.

TFG-UPC

Jun 2016





Plano de Situación Asentamiento 2

(3/4)

1:1400 ⌚

Alternativas para la electrificación de zonas rurales

Fuente: Elaboración Propia.

TFG-UPC

Jun 2016





BENEFITS

Highest Efficiency

SunPower™ Solar Panels are the most efficient photovoltaic panels on the market today.

More Power

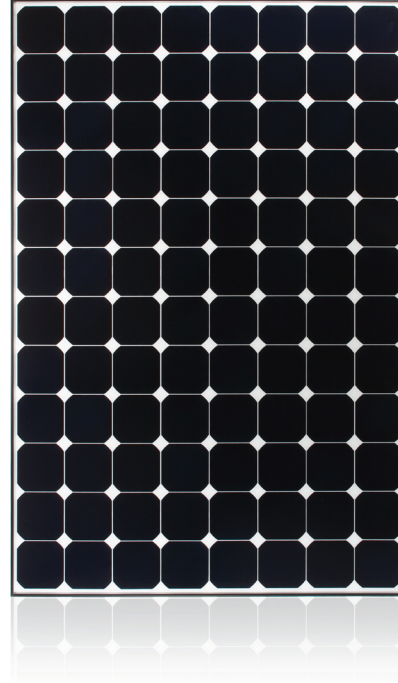
Our panels produce more power in the same amount of space—up to 50% more than conventional designs and 100% more than thin film solar panels.

Reduced Installation Cost

More power per panel means fewer panels per install. This saves both time and money.

Reliable and Robust Design

Proven materials, tempered front glass, and a sturdy anodised frame allow panel to operate reliably in multiple mounting configurations.



The SunPower™ 300 Solar Panel provides today's highest efficiency and performance. Utilising 96 SunPower all back-contact solar cells, the SunPower 300 delivers a total panel conversion efficiency of 18.4%. The 300 panel's reduced voltage-temperature coefficient and exceptional low-light performance attributes provide outstanding energy delivery per peak power watt.

SunPower's High Efficiency Advantage - Up to Twice the Power

	Thin Film	Conventional	SunPower
Peak Watts / Panel	65	215	300
Efficiency	9.0%	12.8%	18.4%
Peak Watts / m ²	90	128	184



SPR-300-WHT-I

About SunPower

SunPower designs, manufactures and delivers high-performance solar electric technology worldwide. Our high-efficiency solar cells generate up to 50% more power than conventional solar cells. Our high-performance solar panels, roof tiles and trackers deliver significantly more energy than competing systems.



Electrical Data

Measured at Standard Test Conditions (STC): Irradiance 1000W/m², AM 1.5, and cell temperature 25° C

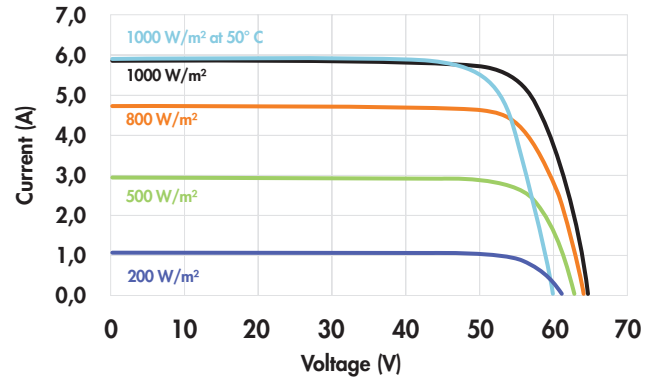
Nominal Power (+5/-3%)	P _{nom}	300 W
Rated Voltage	V _{mpp}	54.7 V
Rated Current	I _{mpp}	5.49 A
Open Current	V _{oc}	64.0 V
Short Circuit Current	I _{sc}	5.87 A
Maximum System Voltage	IEC	1000 V
Temperature Coefficients		
	Power	-0.38% / K
	Voltage (V _{oc})	-176.6mV / K
	Current (I _{sc})	3.5mA / K
NOCT		45° C +/-2° C
Series Fuse Rating		15 A
Limiting Reverse Current (3-strings)	I _r	14.7 A

Electrical Data

Measured at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT): Irradiance 800W/m², AM 1.5

Nominal Power	P _{nom}	242 W
Rated Voltage	V _{mpp}	55.2 V
Rated Current	I _{mpp}	4.39 A
Open Circuit Voltage	V _{oc}	64.3 V
Short Circuit Current	I _{sc}	4.71 A

I-V Curve



Current/voltage characteristics with dependence on irradiance and module temperature.

Tested Operating Conditions

Temperature	-40° C to +85° C
Max load	245 kg / m ² (2400 Pa) front and back - e.g. wind
Impact Resistance	Hail – 25 mm at 23 m/s

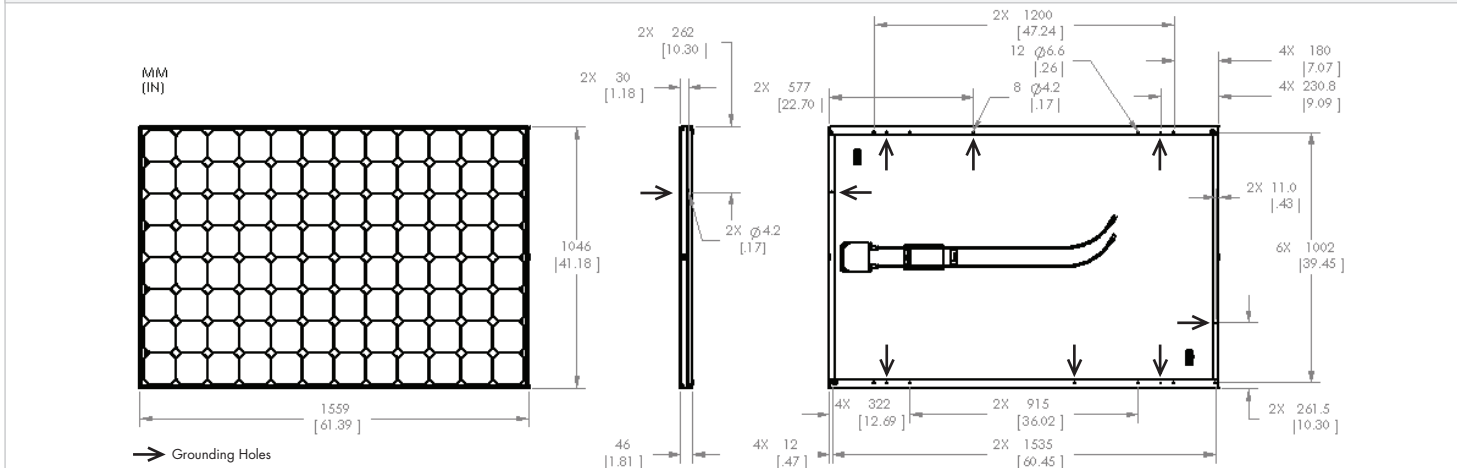
Warranties and Certifications

Warranties	25 year limited power warranty 10 year limited product warranty
Certifications	IEC 61215 Ed. 2, IEC 61730 (SCII)

Mechanical Data

Solar Cells	96 SunPower all-back contact monocrystalline	Output Cables	1000mm length cables / MultiContact (MC4) connectors
Front Glass	high transmission tempered glass	Frame	Anodised aluminium alloy type 6063
Junction Box	IP-65 rated with 3 bypass diodes 32 x 155 x 128 (mm)	Weight	18.6 kg

Dimensions



CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.
Visit sunpowercorp.com for details

1800 SUNPOWER
sunpowercorp.com
Australia: sunpowercorp.com.au
Document #001.45625 Rev*A / A4_EN

SUNPOWER and the SUNPOWER logo are trademarks or registered trademarks of SunPower Corporation.
© March 2009 SunPower Corporation. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.



MPPT solar charge controller

VarioTrack

Maximize the energy generated from solar panels by adding a **VarioTrack** solar charge controller with maximum power point tracker (MPPT) to any solar installation.

VT-80
VT-65

The solar charge controller, **VarioTrack**, contains the MPPT algorithm that continuously tracks the maximum power point and automatically charges the batteries in an optimal way with all the available solar power.

65 or 80A / Battery voltage: 12 24 48V
up to 150V input PV voltage range



MPPT	01
Psol	1462 W
Upv	111 Vdc
Ibat	55.8 Ide
Ubat	26.2 Vdc

Product features

- Easy and safe commissioning with full protection against incorrect wiring
- Rugged and durable, this device is designed to perform in harsh environmental conditions (IP54)
- High conversion efficiency, 98%
- Up to 15 **VarioTrack** in parallel
- 4 step charger for longer battery life
- Low self consumption : <1W in night time mode
- Display with 7 LEDs showing status and current
- Comprehensive display, programming and datalogging with RCC 02/ 03
- Optimal usage in an **Xtender** system with a synchronized battery management



VarioTrack

VT-80

VT-65

Electrical characteristics PV array side	VT-65			VT-80		
	12 V	24 V	48 V	12 V	24 V	48 V
Maximum Solar power recommended (@STC)	1000 W	2000 W	4000 W	1250 W	2500 W	5000 W
Maximum Solar Open Circuit Voltage	80 Vdc	150 Vdc	80 Vdc	150 Vdc		
Maximum Solar functional circuit voltage	75 Vdc	145 Vdc	75 Vdc	145 Vdc		
Minimum Solar functional circuit voltage	above battery voltage					
Electrical characteristics Battery side						
Maximum Output Current	65 A			80 A		
Nominal Battery Voltages	automatic / manual set to 12, 24 or 48 Vdc					
Operating voltage range	minimum 7 V					
Performances of the device						
Power Conversion Efficiency (in a 48 V typical-system)	98 %					
Maximum Stand-By Self-consumption (48 V)	25 mA > 1.2 W					
Maximum Stand-By Self-consumption (24 V)	30 mA > 0.8 W					
Maximum Stand-By Self-consumption (12 V)	35 mA > 0.5 W					
Charging stages	4 stages : Bulk, Absorption, Float, Equalization					
Battery temperature compensation (available with accessory BTS-01)	-3 mV / °C / cell (25°C ref) default value adjustable -8 to 0 mV / °C					
Electronic protections						
PV reverse polarity	protected					
Battery reverse polarity	up to -150 Vdc					
Battery overvoltage	up to 150 Vdc					
Over temperature	protected					
Reverse current at night	prevented by relays					
Environment						
Operating Ambient Temperature Range	-20 to 55°C					
Humidity	100 %					
Ingress Protection of enclosures	IP54, IEC/EN 60529:2001					
Mounting location	indoor					
General data						
Warranty	5 years					
Weight	5.2 kg			5.5 kg		
Dimensions h/w/l [mm]	120 / 220 / 310			120 / 220 / 350		
Parallel operation (separated PV arrays)	up to 15 devices					
Max wire size	35 mm ²					
Glands	M 20 x 1,5					
Communication						
Network Cabling	STUDER communication BUS					
Remote Display and Controller	RCC-02/-03 / Xcom-232i					
Menu languages	English / French / German / Spanish					
Data Logging	With RCC-02/03 on SD card · One point every minute					
Accordance to standards						
CE compliant	EMC 2004/108/CE · LV 2006/95/CE · RoHS 2002/95/CE					
Safety	IEC/EN 62109-1:2010					
EMC (Electro Magnetic Compatibility)	IEC/EN 61000-6-3:2011 · IEC/EN 61000-6-1:2005					

Accessories (optional):



RCC 02
Remote control and
programming center
(Wall mounted)



RCC 03
Remote control and
programming center
(Panel mounted)



BTS 01
Battery temperature
sensor



La gama Xtender permite una libertad de uso inigualada gracias a sus múltiples funciones. En aplicación de base, reúne las funciones de inversor, cargador de baterías, sistema de transferencia y asistencia a la fuente. Estas funciones pueden combinarse y administrarse de manera totalmente automática para mayor comodidad de uso y una gestión óptima de la energía a disposición. Entrada remota y 2 contactos auxiliares ajustables. Esto permite, entre otros, el control automático de generadores diesel o el deslastre en caso de tensión baja de batería.

Características

- Eficiencia y sobrepotencia extraordinarias.
- Gestión y limitación perfecta de fuentes AC.
- Recorte de las puntas de consumo.
- Repartición automática de la potencia a disposición.
- Filtrado activo de los saltos de carga sobre el generador.
- Protección automática de las fuentes contra sobrecargas.
- Prioridad batería (prioridad a las fuentes renovables).
- Puesta en paralelo y trifásico hasta 9 unidades (72kVA).
- Potente cargador PFC multi-niveles.
- Tiempo de transferencia mínimo (de 0 a 15ms máx).
- Puesta en standby automática y eficaz.
- 2 contactos auxiliares programables (en opción para el XTS).
- AC coupling posible con cualquier tipo de inversor de conexión a red.
- XTS está protegido electrónicamente contra la inversión de polaridad.
- Visualización, programación y adquisición de datos integrado al módulo de comando RCC (en opción).
- Interactivo con el monitor de batería (BSP).
- Comunicación RS-232 para vigilancia remota.

Función Smart-Boost y filtro activo

Esta función permite interactuar directamente con la fuente AC (generador o red) y permite la realización de funciones esenciales como asistencia a la fuente y alisado de los saltos de carga sobre un generador.

Control remoto y centro de programación RCC-02 o 03

Permite un acceso controlado a muchos parámetros ajustables del Xtender. La configuración de la curva de carga de la batería, la programación de los contactos auxiliares y da acceso a una gran cantidad de opciones de funcionamiento.

Gran modularidad

Con la implementación de varias unidades es posible crear una fuente trifásica o ponerlas en paralelo para aumentar la potencia disponible sin costo adicional. Hasta 9 onduladores de la serie Xtender pueden ser combinados para obtener hasta 63 kW.

Inversores **STUDER XTENDER TECNOLOGÍA AISLADA**

Inversor Configuración de fábrica/rango ajustable con RCC-02 o RCC-03	XTS			XTM						XTH				
	900	1200	1400	1500	2000	2400	2600	3500	4000	3000	5000	6000	8000	
Tensión nom.	12 V	24 V	48 V	12 V	12 V	24 V	48 V	24 V	48 V	12 V	24 V	48 V	48 V	
Tensión entrada	9,5 - 17 V	19 - 34 V	38 - 68 V	9,5 - 17 V	9,5 - 17 V	19 - 34 V	38 - 68 V	19 - 34 V	38 - 68 V	9,5 - 17 V	19 - 34 V	38 - 68 V	38 - 68 V	
Potencia cont. @ 25 °C	500 VA	650 VA	700 VA	1500 VA	2000 VA	2000 VA	2000 VA	3000 VA	3500 VA	2500 VA	4500 VA	5000 VA	7000 VA	
Potencia 30 min. @ 25 °C	750 VA	900 VA	1000 VA	1500 VA	2000 VA	2400 VA	2600 VA	3500 VA	4000 VA	3000 VA	5000 VA	6000 VA	8000 VA	
Potencia 5 sec. @ 25 °C	2,3 kVA	2,5 kVA	2,8 kVA	3,4 kVA	4,8 kVA	6 kVA	6,5 kVA	9 kVA	10,5 kVA	7,5 kVA	12 kVA	15 kVA	21 kVA	
Carga máxima	Hasta corto circuito													
Carga asimétrica máxima	Hasta Pcont.													
Detección de carga (stand-by)	De 2 a 25 W													
Cos phi	0,1 - 1													
Rendimiento máx.	93%	93%	93%	93%	93%	94%	96%	94%	96%	93%	94%	96%	96%	
Consumo OFF/Stand-by/ON(W)	1,1/1,4/7	1,2/1,5/8	1,3/1,6/8	1,2/1,4/8	1,2/1,4/10	1,4/1,6/9	1,8/2/10	1,4/1,6/12	1,8/2,1/14	1,2/1,4/14	1,4/1,8/18	1,8/2,2/22	1,8/2,4/30	
Tensión de salida	Onda sinusoidal 230 Vac (+/-2 %) / 120 Vac (también en versión 120 V/60 Hz, exceptuando XTH 8000-48)													
Frecuencia de salida	50Hz / 60 Hz +/- 0.05 % (controlado por cuarzo) (también en versión 120 V/60 Hz, exceptuando XTH 8000-48)													
Distorsión armónica	<2%													
Protección de sobrecarga y corto circuito	Desconexión automática con 3 intentos de reinicio													
Protección de sobre temperatura	Alarma antes de corte y reinicio automático													
Cargador de batería														
Caract. de carga	6 etapas: Bulk-Absorción-Flotación-Ecualización-Flotación reducida-Absorción periódica Número de etapas, umbrales, corriente de fin de etapa y tiempos completamente ajustables con el RCC-02/-03													
Corr. carga máx.	35 A	20 A	10 A	70 A	100 A	55 A	30 A	90 A	50 A	160 A	140 A	100 A	120 A	
Compensación de temp.	Con BTS-01 o BSP 500/1200													
Ajuste de corriente de entrada	1 - 50 A													
Corrección de factor de potencia (PFC)	EN 61000-3-2													
Datos generales														
Tensión máxima de entrada	150 a 265 Vac / 50 a 140 Vac (1)													
Frecuencia de entrada	45 - 65 Hz													
Corr. entrada max./salida max.	16/20 A	16/20 A	16/20 A	50/56 A	50/56 A	50/56 A	50/56 A	50/56 A	50/56 A	50/56 A	50/56 A	50/56 A	50/80 A	
Tiempo de transferencia	<15 MS													
Contactos multifuncionales	Módulo ARM-02 con 2 contactos			2 contactos independientes (libres de potencial con 3 puntos, 16 Aac/5Aadc)										
Peso	8,2 kg	9 kg	9,3 kg	15 kg	18,5 kg	16,2 kg	16,2 kg	21,2 kg	22,9 kg	34 kg	40 kg	42 kg	46 kg	
Dimensiones AxaxL (mm)	110x210x310			133x322x466						230x300x500				
Índice de protección	IP54			IP20										
Conformidad	Directiva CEM 2004/108/CE : EN 61000-6-1, EN 61000-6-3, EN 55014, EN 55022, EN 61000-3-2, 62040-2 Directiva de baja tensión 2006/95/CE : EN 62040-1-1, EN 50091-2, EN 60950-1													
Rango de temperatura de trabajo	De -20 a 55° C													
Humedad relativa de funcionamiento	100%			95% sin condensación										
Ventilación en opción	Módulo de ventilación ECF-01			Forzada a partir de 55° C										
Nivel acústico	<40dB / <45dB (sin/con ventilación)													
Garantía	5 años													
Opciones														
Control remoto RCC-02 o RCC-03	Todos sí													
Módulo XCOM-232i	Todos sí													
Pasarela XCOM-MS	Todos sí													
Módulo de entrada remota RCM-10 (3 m. de cable)	XTS y XTM - Sí / XTH - No													
Módulo de comunicación TCM-01	XTS-Si/XTM y XTH-No													
Módulo con 2 contactos auxiliares ARM-02	XTS-Si/XTM y XTH-No													
Módulo de ventilación ECF-01	XTS-Si/XTM y XTH-No													
Sensor de temperatura de batería BTS-01 (3m)	Todos sí													
Cable de comunicación para 3 ph // CAB-RJ45-8-2	Todos sí													
Marco de montaje X-Connect	XTS y XTM - No / XTH - Sí													

Reservado el derecho de cambios sin previo aviso

BATERÍAS SOLARES



TAB OPzS

LAS BATERÍAS TAB OPzS SE FABRICAN CON LA TECNOLOGÍA CONVENCIONAL DE PLOMO-ÁCIDO.

Las baterías estacionarias del tipo OPzS están destinadas al suministro de instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica, Telecomunicaciones, Ordenadores, Iluminación de emergencia, Sistemas de alarmas, Sistemas de control y vigilancia en plantas de energía y estaciones eléctricas estaciones de tren, aeropuertos, etc...



Las baterías estacionarias del tipo OPzS se fabrican según norma DIN 40736, EN 60896, EN 61427 y IEC 896-1 y sus reglamentos.

DISEÑO

- ELECTRODO POSITIVO**
 - » Placa Tubular con baja aleación de antimonio (<2%)
- ELECTRODO NEGATIVO**
 - » Placa plana con expansor de larga duración
- SEPARACIÓN**
 - » Separador microporoso
- ELECTROLITO**
 - » Ácido sulfúrico peso específico de 1,24 g/cm³
- RECIPIENTE**
 - » Alta resistencia a impactos, material transparente SAN
- TAPA**
 - » ABS (SAN) * en color gris dependiendo del modelo
- ELEMENTOS CON CELDAS CIEGAS**
 - » 4V, 6V, 8V, 10V
- TAPONES**
 - » Tapones cerámicos según norma DIN 40740
- POLOS SELLADOS**
 - » 100% hermético. Evita fugas de gas y electrolito
- CONECTOR**
 - » Cable de cobre aislado flexible con sección transversal de 35, 50, 70, 95 o 120 mm² (35, 50 o 70 mm²) *
- TIPO DE PROTECCIÓN**
 - » IP 25 respecto a la norma DIN 40050, contacto protegido según VBG4

CARGA

- IU - CARACTERÍSTICAS**
 - » I_{max} sin límite
- CARGA DE FLOTACIÓN**
 - » U = 2,23 V / celda ± 1%, entre 10°C y 30°C
 - ΔU/ΔT = -0,004 V/K por debajo de 10°C de promedio mensual
- CARGA INICIAL**
 - » U = 2,35 a 2,40 V / celda, tiempo limitado

CARACTERÍSTICAS DE DESCARGA

- TEMPERATURA DE REFERENCIA**
 - » 20°C en el C10 (1,80 V / celda) y 25°C en C100 (1,85 V / celda)
- CAPACIDAD INICIAL**
 - » 100 %
- INTENSIDAD DE DESCARGA**
 - » Normalmente hasta el 80%
 - » Más del 80% POD o descargas más allá de las tensiones de descarga final (independientes de la corriente de descarga) tienen que ser evitadas

DATOS OPERATIVOS

- VIDA ÚTIL**
 - » Hasta 20 años (18 años) * a 20°C
- INTERVALO ENTRE RELLENO DE AGUA**
 - » Más de 2 años a 20°C
- CICLOS IEC 896-1**
 - » 1500 (1200)*
- AUTODESCARGA**
 - » Aprox. 2% meses a 20°C
- TEMPERATURA OPERATIVA**
 - » -20°C a 55°C, 10°C a 30°C
- REQUISITOS DE VENTILACIÓN**
 - » F1 = 0,5 (aleación de bajo antimonio) según NORMATIVA EN 50272-2
- MEDIDAS DE CONFORMIDAD CON**
 - » DIN 40 737 parte 1
- PRUEBAS DE CONFORMIDAD**
 - » IEC 896-1
- NORMAS DE SEGURIDAD**
 - » VDE 0510 parte 2 y EN 50272-2
- TRANSPORTE**
 - » Estas mercancías NO SE CONSIDERAN MERCANCÍAS PELIGROSAS durante el transporte por carretera

Número de ciclos: 1.500 (IEC 896-1)

TIPO DE CELDA	VOLTAGE (V)	LxWxH (mm)	PESO (kg)	C10 (Ah) Uf=1,80V at 20 °C	C100 (Ah) Uf=1,85V at 25 °C
BLOQUES					
12V 1 OPzS 50	12	272x205x392	26/39	51	73
12V 2 OPzS 100	12	272x205x392	38/50	103	146
12V 3 OPzS 150	12	380x205x392	53/69	154	218
6V 4 OPzS 200	6	272x205x392	36/47	204	291
6V 5 OPzS 250	6	380x205x392	44/61	255	364
6V 6 OPzS 300	6	380x205x392	52/68	307	437
CELDAS					
2 OPzS 100	2	103x206x420	8,7/13,7	109	151
3 OPzS 150	2	103x206x420	11/16	158	226
4 OPzS 200	2	103x206x420	13/18	212	301
5 OPzS 250	2	124x206x420	16/22	264	376
6 OPzS 300	2	145x206x420	18/26	317	452
5 OPzS 350	2	124x206x536	20/29	385	527
6 OPzS 420	2	145x206x536	24/34	465	632
7 OPzS 490	2	166x206x536	28/39	540	737
6 OPzS 600	2	145x206x711	35/50	654	903
8 OPzS 800	2	210x191x711	46/65	868	1204
10 OPzS 1000	2	210x233x711	57/80	1090	1510
12 OPzS 1200	2	210x275x711	66/93	1304	1810
12 OPzS 1500	2	210x275x861	88/119	1659	2260
16 OPzS 2000	2	212x397x837	115/160	2200	3010
20 OPzS 2500	2	212x487x837	145/200	2751	3760
24 OPzS 3000	2	212x576x837	170/240	3298	4520

La densidad del ácido en una celda con carga eléctrica es 1,24 ± 0,1 kg / l a 293 ° K (20°C +). Los ciclos no deben superar el 80% de la capacidad nominal. Una descarga profunda puede reducir el tiempo de vida de la batería.

MANTENIMIENTO

- CADA 6 MESES**
 - » Revise el voltaje y la densidad de la batería así como su temperatura en cada elemento (vaso)
- CADA 12 MESES**
 - » Descargar completamente la batería y revise la densidad así como su temperatura en cada elemento (vaso)