



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero. Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

AGRADECIMIENTOS

"Me gustaría aprovechar la oportunidad para agradecer enormemente a mi tutor la oportunidad que me ha brindado de haber podido viajar a Honduras para la realización de este trabajo "

RESUMEN

El presente Trabajo Final de Master aborda la problemática del acceso a la electricidad para comunidades rurales aisladas que, debido al alto coste que supone crear la infraestructura eléctrica para el suministro, viven sin prácticamente ningún tipo de electricidad. Con todo, el proyecto se centra en conseguir el acceso a la energía de manera sostenible y con bajas emisiones.

A partir de las diferentes visitas y estancias realizadas en la Comunidad de El Santuario situada en el departamento de Choluteca (Honduras) se han establecido las suposiciones de consumo basadas en las tendencias de uso observadas con la escasa electricidad actualmente disponible y las conversaciones con los habitantes materializadas en encuestas de hábitos de consumo. Toda esta información se ha sintetizado en la llamada curva de carga, el punto de partida para el dimensionamiento de la instalación. Las diferentes visitas también han servido tanto para realizar un estudio energético con el fin de encontrar la tecnología más adecuada para el tipo de geografía y condiciones climatológicas, como para validar y realizar mediciones *in situ*.

Con la obtención de los resultados, se ha proseguido dimensionando todos los equipos, protecciones y cableado de la instalación. Además, se ha realizado el estudio de gestión económica de la misma, ya que la sostenibilidad y buen funcionamiento dependen principalmente del uso responsable, eficiente y de la buena organización interna de los habitantes, conceptos todos expuestos y debatidos en las diferentes asambleas comunitarias celebradas.

En última instancia, se ha realizado un estudio para calcular las emisiones que potencialmente se podrían evitar mediante el software EX-ACT en dos posibles situaciones: en caso de que la electricidad fuera suministrada por la Red Eléctrica Nacional o en el caso de que un motor diésel cubriera dicha demanda. El cálculo de las emisiones también ha permitido cuantificar los posibles ingresos que se podrían obtener con la certificación para la posterior venta en el mercado de derechos de emisión.

Recopilando todas las conclusiones de los distintos apartados, se establece la instalación de mini redes híbridas como una de las principales opciones para aumentar la resiliencia al cambio climático, combatir la pobreza energética y mejorar las condiciones de vida de las comunidades más vulnerables.

Palabras clave: mini red híbrida, sostenibilidad, energía fotovoltaica, biomasa, EX-ACT, FAO.

RESUM

El present Treball Fi de Màster aborda la problemàtica de l'accés a la electricitat per part de les comunitats rurals aïllades que, degut a l'alt cost que suposa crear la infraestructura elèctrica per al subministrament, viuen sense pràcticament ningun tipus d'electricitat. Amb tot, el projecte es centra en aconseguir l'accés a la energia de manera sostenible i amb baixes emissions.

Partint de les diferents visites i estàncies realitzades en la Comunitat de "El Santuario" situada en el departament de Choluteca (Hondures) s'han establert les suposicions de consum basades en les tendències d'ús observades amb l'escassa electricitat actualment disponible i les conversacions amb els habitants materialitzades en enquestes d'hàbits de consum. Tota aquesta informació s'ha sintetitzat en l'anomenada corba de càrrega, el punt de partida per al dimensionat de la instal·lació. Les diferents visites també han servit tan per realitzar un estudi energètic amb la finalitat de trobar la tecnologia més adient per al tipus de geografia y condicions climatològiques, com per validar y realitzar mesures *in situ*.

Amb l'obtenció dels resultats, s'ha prosseguit amb el dimensionat de tots els equips, proteccions i cablejat de la instal·lació. A més, s'ha realitzat l'estudi de gestió econòmica de la mateixa, ja que la sostenibilitat i el bon funcionament depenen principalment de l'ús responsable, eficient i de la bona organització interna dels habitants, conceptes tots exposats i debatuts en les diferents assemblees comunitàries celebrades.

En última instància, s'ha realitzat un estudi per tal de calcular les emissions que potencialment es podrien evitar mitjançant el software EX-ACT en dos possibles situacions: en cas que la electricitat fora subministrada per la Xarxa Elèctrica Nacional o en el cas que un motor dièsel cobrira la citada demanda. El càlcul de les emissions també ha permès quantificar els possibles ingressos que es podrien obtenir amb la certificació per a la posterior venda al mercat de drets d'emissió.

Recopilant totes les conclusions dels distints apartats, s'estableix la instal·lació de mini xarxes híbrides com una de les principals opcions per augmentar la resiliència al canvi climàtic, combatre la pobresa energètica i millorar les condicions de vida de les comunitats més vulnerables.

Paraules clau: mini xarxa híbrida, sostenibilitat, energia fotovoltaica, biomassa, EX-ACT, FAO.

ABSTRACT

The following Final Master's Degree Work is focused on the problem of electricity access for isolated rural communities that, due to the cost of the electric infrastructure, have to live practically without any kind of electric supply. All in all, the project will put the eye on getting energy access in a sustainable and low emissions way.

Starting from the different visits and stays carried out in El Santuario's Community located in Choluteca's department (Honduras), several consumption assumptions have been established based on observed use trends with the little electricity available and different conversations with the inhabitants materialized in consumption habit surveys. All this information has been summarized in the load curve, the starting point for the installation sizing. The different visits have also served both to conduct an energy study in order to find the most appropriate technology for the type of geography and weather conditions, as well as to validate and perform measurements *in situ*.

Once the results have been obtained, all the installation equipment, protections and wiring has been sized. Besides, an economic management study has been carried out, highlighting a responsible and efficient use to ensure the sustainability and proper functioning. All these concepts have been exposed and discussed with the whole inhabitants through community assemblies.

Finally, all the potential emissions avoided thanks to the hybrid minigrid have been calculated with the EX-ACT software in two possible scenarios: assuming that all the electricity needed was fully contributed by the National Electric Grid, or supposing that a Diesel engine could cover the full demand. The emissions calculation has also allowed to quantify the hypothetical benefits obtained with emission certification from a selling at the emissions rights market.

Collecting all the conclusions coming from the different sections, the hybrid minigrid is established as one of the main options to enhance the resilience against climate change, fight the energetic poverty and improve the living conditions of the most vulnerable communities.

Keywords: hybrid microgrid, sustainability, photovoltaic energy, biomass, EX-ACT, FAO.

ÍNDICE

DOCUMENTO I: MEMORIA DESCRIPTIVA

1.Introducción.....	17
1.1. Objeto y justificación del trabajo	17
1.2. Contexto energético de Honduras	17
1.2.1. El departamento de Choluteca	24
1.2.2. La comunidad de El Santuario.....	26
2.Estudio geográfico.....	27
3.Estudio energético	28
3.1. Disponibilidad de recursos	29
3.1.1. Energía eólica	30
3.1.2. Energía minihidráulica.....	30
3.1.3. Energía de la biomasa	30
3.1.4. Energía solar fotovoltaica.....	30
3.2. Necesidades energéticas.....	31
3.2.1. Energía eléctrica.....	31
3.2.2. Energía térmica	33
3.2.3. Energía mecánica	33
3.3. Curva de demanda	33
3.3.1. Estimación de consumos.....	34
3.3.2. Variabilidad horaria	38
3.3.3. Diseño de la curva	41
3.3.4. Energía renovable necesaria	42
4.Propuesta de solución.....	43
4.1. Justificación de la solución adoptada.....	43
4.2. Emplazamiento	44
5.Dimensionado de la instalación	47
5.1. Baterías	48
5.2. Paneles fotovoltaicos	53
5.3. Emplazamiento de los elementos	56

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi
cero. Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

5.4. Inversor	59
5.5. Gestores de red.....	61
5.6. Gestor multiclúster	62
5.7. Estructura de soporte	64
5.8. Gasificador	66
5.9. Triturador de biomasa.....	70
5.10. Red de distribución	71
5.10.1. Cableado	71
5.11. Protecciones.....	80
5.11.1. Interruptores diferenciales.....	80
5.10.2. Interruptor magnetotérmico.....	82
5.10.3. Fusibles	88
5.10.4. Puesta a tierra.....	90
6.Propuesta de gestión económica.....	93
7. Cálculo y certificación de emisiones evitadas.....	96
7.1. Emisiones por pilas, velas y combustión del keroseno	97
7.2. Emisiones con un motor diésel	98
7.3. Emisiones mediante la red Nacional Hondureña	98
7.4. Emisiones a plena carga	98
7.5. Ingresos por servicios ecosistémicos	99
8.Conclusiones	103
9.Bibliografía	106
DOCUMENTO II: PRESUPUESTO	
1.Presupuesto	110
1.1. Presupuesto de implantación	110
1.1.1. Costes de ingeniería.....	110
1.1.2. Costes materiales.....	111
1.1.3. Costes de formación.....	113
1.1.4. Presupuesto de Ejecución Material (PEM).....	113
2.Presupuesto total.....	114
DOCUMENTO III: ANEXOS	
ANEXO I: ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA POMPA 4PS 100.....	117
ANEXO II. ENCUESTA PARA DETERMINAR LOS HÁBITOS DE CONSUMO	119
ANEXO III. CONSUMO DE LEÑA ESTIMADO	129
Anexo IV. TABLAS UNE 20460-5-523-2004	133

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi
cero. Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

ANEXO V. GUÍA BT-22	135
ANEXO VI. GUIA BT ANEXO 3	139
ANEXO VII. GUÍA BT-18.....	141

DOCUMENTO IV: PLANOS

- PLANO 1. PLANO DE SITUACIÓN DE LAS VIVIENDAS
- PLANO 2. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA INSTALACIÓN
- PLANO 3. VISTA EN PLANTA DE LA INSTALACIÓN
- PLANO 4. VISTA EN PERFIL DE LAS PLACAS

DOCUMENTO I

MEMORIA DESCRIPTIVA

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

1. Introducción

1.1. Objeto y justificación del trabajo

El punto de partida del presente trabajo se sitúa en un contexto concreto, el de lucha contra el cambio climático, así como en el de la necesidad de incrementar la resiliencia por parte de las poblaciones más vulnerables a sus modificaciones. En ese sentido, pues, se abordará la complicada situación de acceso a la energía que tienen determinadas comunidades rurales de los países en vías de desarrollo, todo ello desde una perspectiva renovable, innovadora y sostenible.

El caso específico que se presenta está localizado en Honduras, concretamente en la comunidad de El Santuario, ubicada en el Departamento de Choluteca. En ese sentido, pues, el presente trabajo muestra la investigación realizada por el Instituto de Ingeniería Energética (IIE) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) para el componente energético del proyecto “Comunidades Rurales Bajas en Carbono”. Dicho proyecto incluye la energía renovable y la agroforestería sostenible con el fin de mejorar los medios de vida de las comunidades rurales aisladas, a la vez que pretende aumentar la resiliencia al cambio climático, contribuyendo a su mitigación. El proyecto es el resultado de un acuerdo entre FAO, la Asociación Coordinadora Indígena y Campesina de Agroforestería Comunitaria Centroamericana (ACICAFOC) y la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), entre otros actores, incluyendo el sector privado. El objetivo final del proyecto es el desarrollo de una metodología replicable a otras comunidades rurales a nivel nacional, regional e internacional.

Por tanto, se trata del trabajo de campo realizado en la comunidad de El Santuario, trabajo a partir del cual, y considerando las necesidades identificadas en las distintas estancias comunitarias, se analizará su situación actual para, con posterioridad, elaborar los estudios geográficos y energéticos pertinentes que permitan discernir la solución energética más adecuada.

Finalizado el proceso de estudio, se procederá a desarrollar dicha solución elegida tanto desde un punto de vista técnico -dimensionado de instalaciones y equipos- como social y económico -tipo de gestión-, con el fin de asegurar el éxito y la sostenibilidad del proyecto.

Para concluir, se realizará una valoración económica de la propuesta dividida en dos partes: la primera, referida al potencial ingreso por la venta de las emisiones ahorradas; la segunda, concerniente al presupuesto de inversión para la instalación.

1.2. Contexto energético de Honduras

Según la “*International Energy Agency (IEA)*” en su informe “*World Energy Access Outlook 2*” (IEA 2018), por primera vez el número de personas sin acceso a la electricidad disminuyó por debajo de los 1.000 millones, aunque la diferencia respecto a los datos anteriores, de 2016, es escasa, de aproximadamente 96 millones, algo que por otra parte se debió mayoritariamente a la electrificación de algunas zonas del continente asiático, principalmente India. En el plano global, sin embargo, 1 de cada 8 personas siguen sin tener acceso a la electricidad, concentrándose el 80% de éstas en las zonas rurales de los países en vías de desarrollo.

Estas zonas representan, por su ubicación alejada de los núcleos de generación de electricidad, un problema para los gobiernos de dichos países, puesto que deben realizar elevadas inversiones para satisfacer las necesidades energéticas de poblaciones muy pequeñas. Dichas localidades basan su sustento económico en actividades primarias como la agricultura, la ganadería o la

pesca y utilizan como fuentes de energía principales baterías, keroseno y leña. Este hecho, además de suponer dificultades en cuanto a la disponibilidad de energía (renovación de baterías, transporte de keroseno, adecuación de la leña) y peligrosidad de la misma, implica unas emisiones importantes a la atmósfera de gases de efecto invernadero (GEI). Esta situación se puede observar, por ejemplo, en Latinoamérica, y más concretamente en Honduras, país en el que, como se he dicho, se va a centrar el siguiente trabajo.

El Informe Nacional de Monitoreo de la Eficiencia Energética de Honduras, realizado por la Comisión Económica de América Latina y el Caribe (Flores Barahona 2018), remarca la importancia del acceso a la energía del siguiente modo:

“La energía juega un papel esencial en la vida social y económica de las naciones. Todas las actividades de la sociedad moderna dependen por completo de la adecuada provisión y acceso a diversos tipos de energía. Para los países en desarrollo, como Honduras, que tratan de mejorar sustancialmente el nivel de vida de la población, el papel de la energía es aún más vital, pues un crecimiento económico sólido depende del suministro permanente de energía y de precios fijos, de acuerdo con los costos de producción”.

Estas conclusiones evidencian la importancia de la energía como agente impulsor del progreso y desarrollo de toda sociedad. No obstante, debido a los problemas energéticos permanentes de la red eléctrica hondureña (suficiencia, seguridad, equidad, sostenibilidad...), así como la tendencia al alza del precio de los combustibles y la amenaza global del cambio climático, se establece como esencial el aprovechamiento de las energías renovables combinado con los principios de eficiencia energética. Para conocer mejor cómo la sociedad hondureña avanza hacia este escenario, se van a exponer brevemente los antecedentes y la situación actual en materia de generación de energía.

-Creación de una red unificada nacional

El primer indicio de la red de abastecimiento que se conoce en Honduras data de 1957, en la época de la conocida como Junta Militar de Gobierno, cuando se creó mediante el Decreto No. 48 la denominada Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE), de ámbito nacional. Dicha empresa se mantiene en la actualidad y ha tenido desde su fundación un papel unificador, ya que hasta ese momento la mayoría de las ciudades se autoabastecían a partir de unidades generadoras que pertenecían a las diferentes municipalidades. De todos modos, no fue hasta 1964, con la finalización de la construcción de la Central Hidroeléctrica de Cañaveral-Río Lindo, que se inició lo que se conoce como el Sistema Interconectado Nacional.

Durante los años 80 y 90, la demanda de energía se incrementó de manera notable debido principalmente a la construcción de parques industriales, donde se instalaron sobre todo empresas dedicadas a las importaciones y a la manufactura textil. Ante esta situación, en 1985 entró en funcionamiento la mayor central hidroeléctrica del país, la Central Hidroeléctrica Francisco Morazán, más conocida como “El Cajón”, con una capacidad de 300 MW. Pero a pesar de la inversión del gobierno hondureño en infraestructura eléctrica, el sector energético no podía abastecer la demanda de la población, motivo por el cual se decretaron racionamientos eléctricos de hasta 12 horas diarias.

-La entrada del sector privado

Dada esta falta de abastecimiento energético, por un lado, y la insuficiencia de recursos del gobierno para construir nuevas infraestructuras de generación de energía eléctrica, por otro, en 1994 el Congreso Nacional aprobó la Ley Marco del Subsector Eléctrico (LMSSE). Con esta norma quedaba regulada la generación, distribución y comercialización de la electricidad, permitiendo además la participación de la inversión privada en el mercado eléctrico nacional, algo con lo que terminaban 40 años de monopolio estatal. En la Ilustración 1 puede observarse de manera gráfica la evolución comentada a partir de la capacidad instalada.

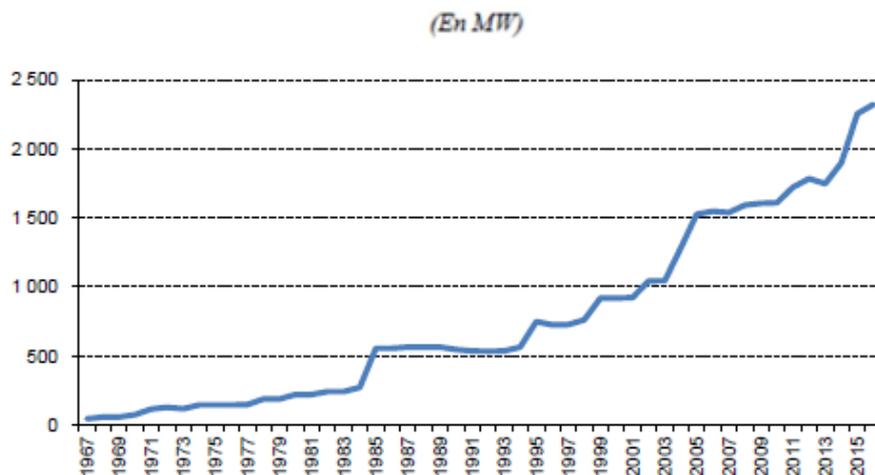


Ilustración 1: Evolución de la capacidad instalada en Honduras 1967-2015. Fuente: ENEE.

-Situación actual

Desde entonces hasta ahora, las empresas privadas han ido poco a poco asumiendo el control del sector eléctrico. Tanto es así que en abril del 2016 solo el 21,5% de la capacidad instalada pertenecía al sector estatal, mientras que el sector privado, constituido por alrededor de 80 empresas, se repartía el 78,5% restante.

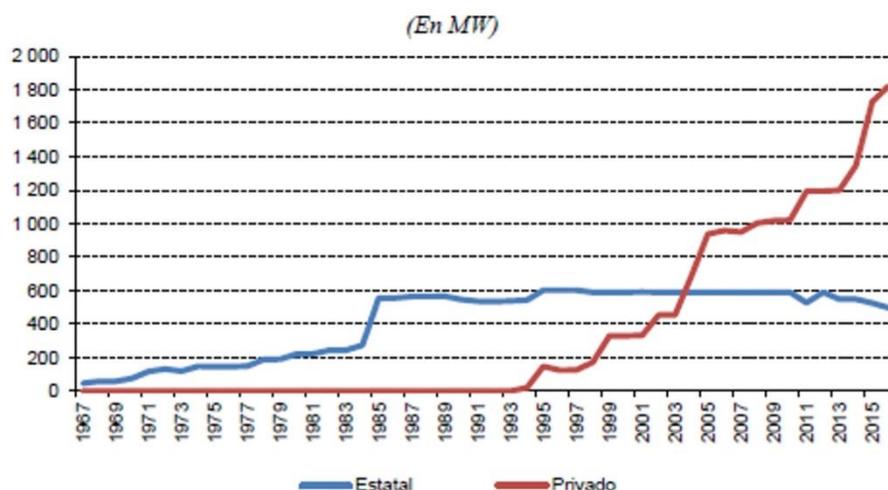


Ilustración 2: Evolución de la capacidad instalada en el sector público y privado 1967-2016. Fuente: ENEE

La distribución de esta energía por tipo de fuente se muestra en la **Tabla 1**: Energía generada por tipo de fuente 2015. Fuente: Elaboración propia basado en (ENEE,2018).

Tipo de energía	Distribución (%)
Termoeléctrica	51,43
Hidroeléctrica	26,56
Eólica	7,49
Biomasa	6,06
Solar FV	4,71
Cogeneración	2,69
Carbón	1,07

Tabla 1: Energía generada por tipo de fuente 2015. Fuente: Elaboración propia basado en (ENEE,2018).

Como puede observarse, la energía termoeléctrica es la principal fuente de generación perteneciente de forma mayoritaria al sector privado, seguida de la hidroeléctrica, eólica, biomasa y solar fotovoltaica. Ya en menor representación quedan la cogeneración y las plantas carboeléctricas. No obstante, la situación energética actual de Honduras sigue estando lejos de lo que se consideraría óptimo. Según CEPAL:

“El consumo de energía del país es cubierto en un 42% por leña, el 46% por combustibles fósiles y un 12% por electricidad y otras fuentes de energía. El índice de electrificación en 2008 fue del 76%. De acuerdo con información de 2006, cuando la cobertura global a nivel nacional era del 71,1%, el índice de electrificación en los hogares urbanos era del 96,8%, mientras que en los hogares rurales era del 46,6%” (CEPAL 2007).

Este informe no hace más que evidenciar que sigue siendo imprescindible la ampliación de la infraestructura energética, pero sobre todo pone de manifiesto la falta de electrificación en las zonas rurales del país, donde este valor no llega ni siquiera al 50%. Además, en el informe publicado por la Dirección General de Energía (DGE) junto con la Secretaría de Recursos Naturales, Energía, Ambiente y Minería (SERNA) se ponía también de manifiesto la ineficiencia en el uso. En 2008, por ejemplo, el 86% del consumo residencial de energía provenía de la leña. Asimismo, ello va aparejado con altos índices de uso ineficiente de la energía. Ello se debe a que, por lo general, las normas de eficiencia energética no son implementadas, no existe el etiquetado obligatorio, no hay incentivos al uso eficiente de la energía y, asimismo, la iniciativa privada y la población consideran que la eficiencia energética es un gasto, no una inversión (DGE-SERNA 2009).

-La ineficiencia de la red

El problema, sin embargo, no debe centrarse sólo en la generación de la energía, sino también en su distribución. Debido a la falta de inversión en la infraestructura de distribución por parte de la ENEE, las pérdidas de energía han llegado a valores inaceptables para cualquier tipo de

tendido eléctrico. Según CEPAL, las pérdidas energéticas en 2013 llegaron al 31,2%, el mayor valor de toda Centroamérica, bastante lejos del 11,6% que registró Costa Rica o del 17,1% promedio para toda la región (CEPAL 2014). Ante esta situación:

“Desde agosto de 2016, el consorcio Empresa Energía Honduras (EEH) opera el sistema de distribución eléctrica y se comprometió a reducir en 17 puntos porcentuales las pérdidas en dicho sistema en un período de 7 años con una inversión de 358 millones de dólares. Las pérdidas, comúnmente llamadas “pérdidas técnicas y no técnicas”, alcanzan el 33% de la energía inyectada a la red por las centrales generadoras en 2015, energía que no fue facturada por la ENEE. La cantidad total de las pérdidas es del orden de los 280 millones de dólares por año.” (Flores Barahona 2018).

La importancia de reducir estas pérdidas es cada vez mayor, ya que hasta el año 2015 las tendencias de consumo no han hecho más que incrementarse.

“El consumo de energía eléctrica en Honduras presenta una tendencia al alza en el período 2000- 2015, con una tasa de crecimiento del 74% para todo el período. Las tasas de crecimiento por subsector, para ese mismo período son las siguientes: residencial (60%), comercial (103,5%), industrial (20%), altos consumidores (161%), alumbrado público (52%), gobierno (85%), entes autónomos (36%) y municipal (74%)” (Flores Barahona 2018).

-Tendencias de consumo

El sector con mayor consumo de energía es actualmente el residencial, seguido de cerca por el del transporte (principalmente de personas y bienes por vía terrestre), el industrial y finalmente el agrícola. Salta a la vista que estos dos últimos subsectores ocuparían posiciones más altas en la mayoría de las zonas industrializadas. Ahora bien, el bajo desarrollo manufacturero del país, en primer término, y el cultivo mayormente estacional, en segundo, reducen el consumo de energía eléctrica. De todos modos, sigue resultando significativo que un país como Honduras, con una alta producción agrícola, el consumo de energía sea tan bajo en relación con el resto, aunque esto también podría deberse a la falta de estadísticas fiables sobre este subsector.

Sector	Distribución (%)
Residencial	39,7
Comercial	26,5
Altos consumidores	14,3
Industrial	11,08
Alumbrado público	2,3
Gobierno	2,3
Entes autónomos	2,1
Municipal	1

Tabla 2: Distribución del consumo nacional de energía eléctrica en Honduras, 2016. **Fuente:** Elaboración propia basado en (ENEE,2018).

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

Se puede deducir de todo lo anterior que el desarrollo económico y social, tanto de Honduras como de cualquier país del mundo, tiene sus fundamentos en un abastecimiento energético estable, abundante, de coste asumible y sin fluctuaciones. La **Ilustración 3** demuestra la correlación entre estos dos términos. Sin embargo, Honduras vive lejos de esta situación, ya que la creciente incertidumbre a nivel mundial sobre el abastecimiento eléctrico afecta de manera especial a una región que en gran medida depende de las importaciones de energía y que se ve sometida a continuas fluctuaciones de precios.

(En miles de millones de lempiras, año base = 2000 y en millones de toneladas equivalentes de petróleo)

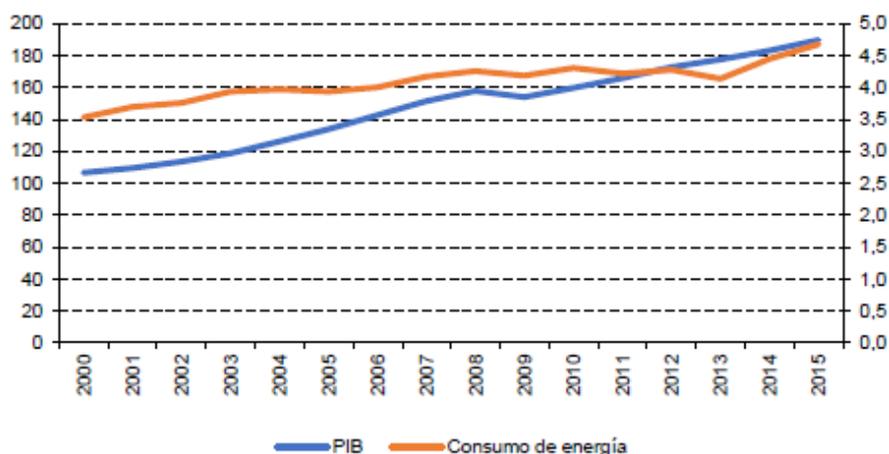


Ilustración 3: Producto Interior Bruto a precios constantes y consumo final de energía de 2000 a 2015. **Fuente:** ENEE.

Ante esta situación, el gobierno hondureño ha estado buscando nuevas formas de satisfacer las necesidades energéticas y, a su vez, intentando no comprometer otras exigencias sociales. Algunas de las medidas de las nuevas políticas energéticas comprenden factores tan claves como promover un uso responsable de la energía, el apoyo al desarrollo tecnológico o la utilización de fuentes locales de energía. Así, desde el año 2017, con la puesta en marcha de la llamada Secretaría de Energía (SEN), el Instituto de Investigación en Energía (IIE) y el Observatorio Universitario de la Energía y la Sostenibilidad (OUES), han crecido las expectativas de mejores organización y desarrollo del sector a través de nuevos estudios y proyectos que redirijan la política energética en Honduras.

Todas estas acciones han focalizado sus esfuerzos casi en su totalidad en lo relativo al uso de energías renovables, aunque la zona ya lleva tiempo trabajando en esta dirección, tal y como expone el informe de eficiencia redactado por la CEPAL:

“Honduras fue el segundo país centroamericano en contar con una ley de incentivos a la energía renovable, misma que fue elaborada en 1998 y en la que participaron la Dirección General de Energía (DGE) —que fungió como coordinadora del equipo proponente—, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) y la Comisión Reguladora de los Servicios Públicos. Los incentivos más usados para promover la generación eléctrica con energía renovable han sido los incentivos fiscales y la exoneración de impuestos a las importaciones, al impuesto sobre la renta, al impuesto sobre ventas y los impuestos vecinales. En Honduras, los generadores con

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

energía renovable también tienen despacho preferencial y precios de compra de energía sobrevalorados por parte de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE), ya que no se considera el costo de producción o el precio de mercado.” (Flores Barahona 2018).

La **Ilustración 4** permite observar la evolución de las energías renovables desde el año 2000.

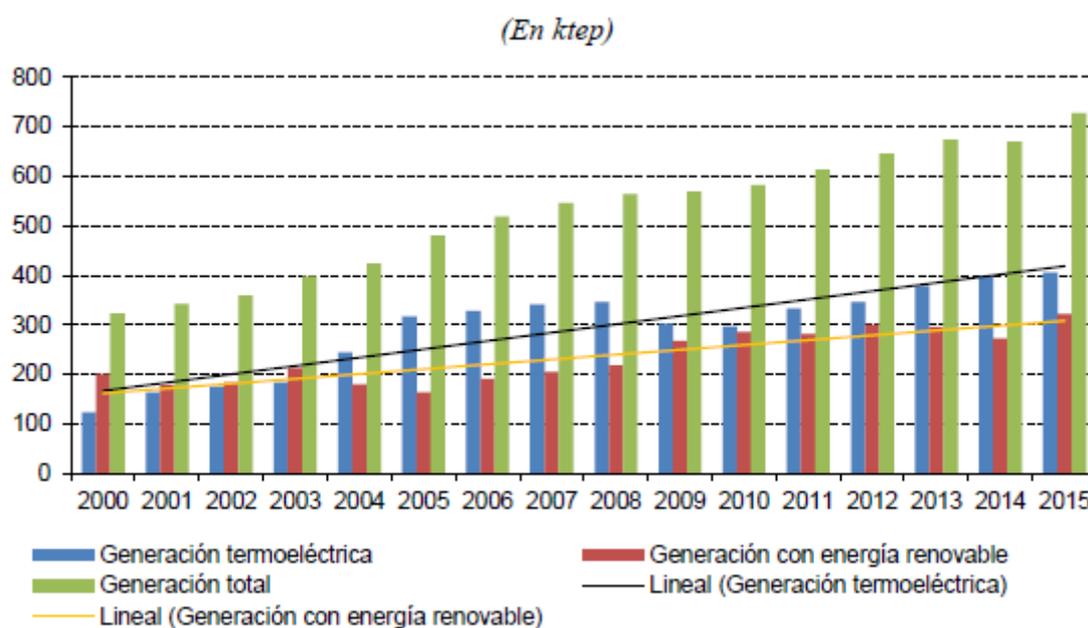


Ilustración 4: Generación eléctrica renovable y no renovable, 2000-2015. Fuente: ENEE.

Por otra parte, esto ha de situarse en el contexto del panorama internacional, más concretamente en la adopción por parte de las Naciones Unidas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en 2015, dentro del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Este programa ha permitido, entre otras cosas, un reconocimiento a nivel institucional de la importancia del acceso a la energía para un desarrollo sostenible, materializado en el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 7: “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura y sostenible para todos”. Como resultado, se han intensificado los esfuerzos para proyectos y acciones de electrificación rural, algo de lo que Honduras se ha beneficiado. Además, la ONU está promoviendo el uso sostenible de la energía a través de su programa “Sustainable Energy for All (SEforALL)”, trabajando principalmente en 3 líneas: acceso universal a la energía, uso de energías renovables y mejora de la eficiencia energética. Así pues, disponiendo de un marco de referencia regulador cambiando con el acceso a las mejoras tecnológicas disponibles, es posible reducir costes tanto económicos como ambientales en la producción de electricidad, especialmente en las zonas rurales de los países en vías de desarrollo.

El acceso a la energía de un modo sostenible es, a su vez, un elemento potenciador que permite mejorar diferentes aspectos de la calidad de vida, especialmente en los países en vías de desarrollo y concretamente en las zonas más rurales, influyendo ya sea en el ámbito productivo, doméstico o comunitario. Estos aspectos quedan recogidos en diferentes

- **Fin de la pobreza (1); Hambre 0 (2); y Energía asequible y no contaminante (7):** El acceso a una energía asequible y de confianza permitirá cubrir las necesidades básicas para desarrollar las diferentes actividades productivas en las comunidades agrícolas y rurales. El uso de nuevas técnicas como la irrigación permitirá el aumento de las cosechas y la optimización de los terrenos de cultivo, por lo que, además de aumentar la producción y con ello la posibilidad de obtener ingresos extra, se contribuirá a un ahorro de recursos, principalmente agua, y a la reducción de las horas de trabajo facilitando una mejor conciliación y el incremento de la seguridad alimentaria.
- **Salud y bienestar (3); Ciudades y comunidades sostenibles (11); y Acción por el clima (13):** Dejar de utilizar las fuentes no renovables de energía (principalmente keroseno, baterías y gasoil) va a permitir, además de eliminar la dependencia de fuentes externas para el abastecimiento eléctrico, fortalecer la seguridad en el consumo, ya que las fuentes anteriormente comentadas son altamente inflamables. El uso de energías renovables como la eólica o solar fotovoltaica reducirá las emisiones a la atmósfera con lo que se contribuye a mitigar los efectos del cambio climático y a eliminar la alta necesidad de madera como recurso energético principal, previniendo además la deforestación.
- **Igualdad de género (5):** Especialmente en las áreas rurales, el papel de la mujer en materia de toma de decisiones y administración de ingresos se ve discriminado, relegándola a las tareas propias del hogar y cuidado de los hijos. La electrificación, en este sentido, brinda una excelente oportunidad para la equidad, utilizando esta oportunidad para empoderarla con una responsabilidad fuera del hogar. Además, como ya se ha comentado previamente, la reducción de la jornada laboral, unida a la disponibilidad de luz más allá de la solar, va a permitir una mayor conciliación dentro del hogar, por lo que esas tareas pueden ser repartidas mejor. De todos modos, es importante llevar a cabo políticas y prácticas en las diferentes comunidades para reforzar el empoderamiento de la mujer.
- **Trabajo decente y crecimiento económico (8); e Industria, innovación e infraestructura (9):** Como ya se ha indicado, uno de los ámbitos que abarca la electrificación es el comunitario. La mejora del confort en las distintas esferas de la vida va a permitir acceder a un amplio rango de contenidos, con especial incidencia, por ejemplo, en el ámbito educativo: desde la posibilidad de utilizar un ordenador en el colegio hasta permitir a los estudiantes trabajar cuando no hay horas de sol, resultando de ello una mejor formación académica y, por tanto, la posibilidad de obtener una mejor capacitación. Por último, disponer de electricidad influye en un alto grado en la mejora de otro tipo de infraestructuras comunitarias, como centros médicos, depuradoras o centros de procesamiento de alimentos, entre otros.

1.2.1. El departamento de Choluteca

El departamento de Choluteca se encuentra en la parte más meridional del país, en la estrecha franja que separa El Salvador de Nicaragua. El departamento, al igual que gran parte del país, pertenece al llamado corredor seco mesoamericano, un grupo de ecosistemas que se combinan en la ecorregión del bosque tropical seco de Centroamérica, que inicia en Chiapas, México; y, en una franja, abarca las zonas bajas de la vertiente del Pacífico y gran parte de la región central

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

premontaña de Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua y parte de Costa Rica (Van der Zee Arias et al. 2012).

Esta zona experimentó de 2015 a 2017 la que fue considerada una de las peores sequías de los últimos 30 años, debido al fenómeno meteorológico del Niño, la cual dejó alrededor de 4 millones de personas necesitadas de ayuda humanitaria, en situación de inseguridad alimentaria, y más de 2 millones en situación de asistencia inmediata (Vaqué 2017).

Los pequeños productores agrícolas y las comunidades rurales aisladas se encuentran entre los sectores de la población más afectados por este desastre natural. Las consecuencias que se derivan son variadas: degradación de la tierra, pérdida de los medios de subsistencia, empobrecimiento y migración hacia zonas urbanas u otros países. Asimismo, la reducción de la producción agrícola debido a la escasez de agua está afectando no solo a las economías locales, si no a la seguridad alimentaria regional.

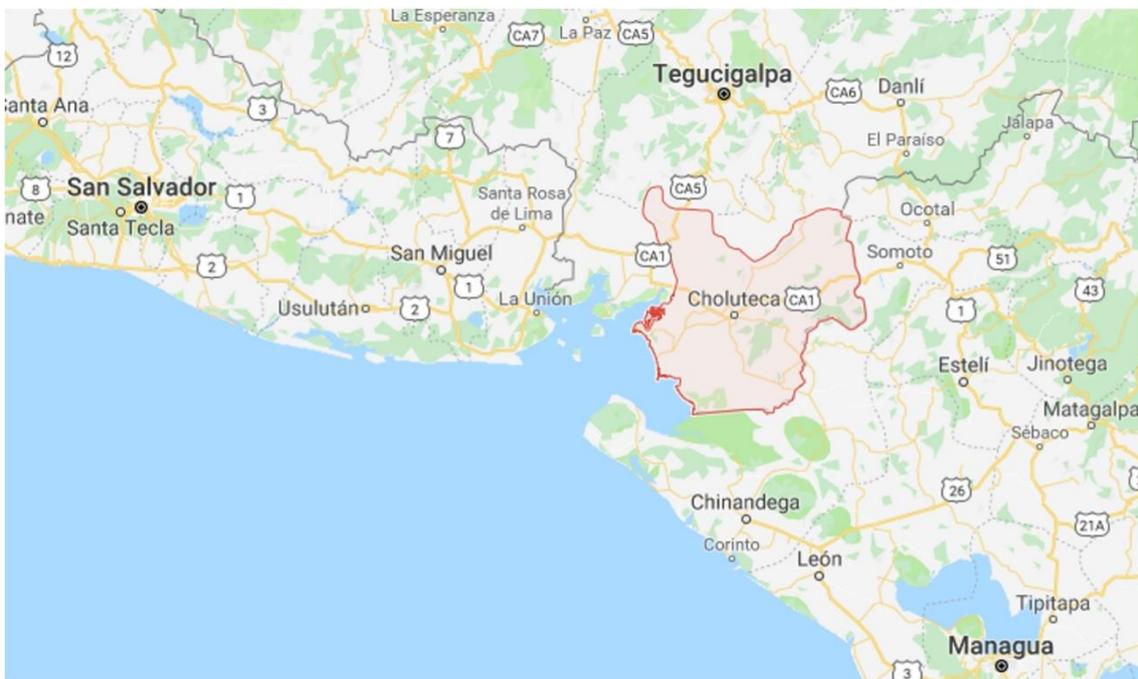


Ilustración 5: Ubicación del departamento de Choluteca. Fuente: Google Maps.

Por ello, dichas poblaciones requieren de acciones urgentes para mejorar el contexto actual y reducir su vulnerabilidad ante futuras crisis. Entre esas acciones, destaca la electrificación de comunidades rurales aisladas mediante energías renovables, pues ello supone un elemento clave para poder transformar la agricultura gracias a las posibilidades que abre: potenciar el uso y aplicación de sistemas de riego, de silos e invernaderos y de tratamiento y bombeo de aguas, además de poder refrigerar y procesar los productos agrícolas.

Aunque este tipo de fuente de energía no genera en su totalidad ni necesariamente las condiciones para el crecimiento económico y agrícola, es un elemento esencial para mejorar las necesidades básicas de las personas y para facilitar la actividad económica. No obstante, a pesar de los efectos positivos, cerca de 1000 millones de personas siguen sin acceso a la electricidad y 2700 millones no tiene acceso a instalaciones adecuadas para cocinar (IEA 2018). De estos, el

80% vive en áreas rurales, donde normalmente la agricultura es la actividad económica predominante.

Este es, pues, un problema de primer orden. En ese sentido, podemos afirmar que la agronomía moderna ha obtenido aumentos muy significativos de productividad como resultado de grandes aportes externos de energía. La cuestión es que estos han estado protagonizados casi exclusivamente por la combustión de combustibles fósiles. Ahora bien, hoy en día, las energías renovables muestran su potencial para reemplazar aquellos aportes de energía que venían siendo generados mediante fuentes contaminantes (Bardi, El Asmar y Lavacchi 2013). Por ello, la electrificación rural puede tener una gran influencia sobre una transformación agraria que se realice de un modo sostenible. De esta manera, las comunidades incrementarían su resiliencia al cambio climático a la vez que ayudan a mitigarlo.

1.2.2. La comunidad de El Santuario

La comunidad del Santuario pertenece a la Aldea San Ramón Arriba, del municipio de Choluteca, en el departamento de Choluteca. A continuación, vamos a presentar brevemente el contexto social a partir del análisis de algunos conceptos básicos.

Educación: La comunidad solo cuenta con una escuela primaria, hasta sexto grado; por lo que el acceso a educación secundaria implica un desplazamiento hacia Tegucigalpa o Choluteca. Hay muchos estudiantes que están interesados en seguir una carrera profesional, pero los recursos son muy limitados en sus hogares, motivo por el cual la posible migración de las familias en busca de una mayor formación para sus hijos puede suponer una amenaza para la supervivencia de la comunidad. Existen profesionales universitarios, aunque no residen en la comunidad, por lo que esta carece de servicios profesionales/técnicos.

Salud: En El Santuario no existe ningún centro asistencial de salud, si bien se cuenta con una partera y un partero. El Centro de Salud más cercano se encuentra en la comunidad de Zacatustal, aproximadamente a 3 kilómetros de la comunidad. La existencia de Leishmaniosis, así como del mal de Chagas, es muy alarmante (5 de 10 casos son positivos). En 2018 se identificó que la mayor parte de personas que habían fallecido por enfermedad se debía al mal de Chagas, un total de 62 personas. Actualmente la población se encuentra en tratamiento.

Vivienda: el 85 % de las viviendas son de adobe y el 10% son de bajareque, en algunos casos con madera; en su mayoría el techo es de teja y piso de tierra, aunque en algunos casos se utiliza lámina de zinc. Es decir, la calidad de la vivienda es bastante pobre y es por ello habitual que en el transcurso del año sea necesaria alguna reconstrucción, sobre todo en la época lluviosa.

Situación Política: Desde 1970, la comunidad se independizó del patronato de San Ramón y formó el suyo propio, motivado por el crecimiento poblacional y la larga distancia que separaba ambas poblaciones. Este patronato realiza hasta día de hoy gestiones independientes, contando con una junta directiva que rota periódicamente en pro del beneficio de la comunidad.

Desde que se constituyó el patronato, se han realizado gestiones para el desarrollo de la comunidad, sobre todo la construcción de la carretera que facilita el acceso a la comunidad y la formación de una Junta de Agua, proyecto este que ha beneficiado a su población, principalmente a las mujeres y niños, ya que cuentan con un sistema de agua comunitario.

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

Actualmente se está acondicionando un tanque de almacenamiento de agua para distribuirla en el futuro a diferentes hogares de la comunidad. También conviene destacar las gestiones en pro del desarrollo, en beneficio de la salud de la comunidad y la alianza comunitaria que el año 2000, con el apoyo de 6 comunidades, construyó en la comunidad de Zacatustal un centro de salud.

En fin, en la comunidad del Santuario existe un fuerte compromiso con la protección del medio ambiente, por lo que para complementar este esfuerzo se requiere fortalecer el Comité para la Defensa de la Naturaleza-CDN, para que continúe con la prevención y conservación ambiental y que cuente con los medios necesarios.

2. Estudio geográfico

Como ya se ha comentado anteriormente, la mayor parte de Honduras pertenece al corredor seco mesoamericano, con estaciones secas que duran más de 4 meses y que, en el contexto de la sequía a la que se ha aludido, ha provocado: que 461.000 personas estén en situación de inseguridad alimentaria moderada o severa, que 1,3 millones de personas estén necesitadas de ayuda humanitaria; pérdidas del 60 % de las cosechas de maíz y del 80 % en las zonas de cultivo de frijol; y un déficit de financiación de 3,4 millones de USD. Y esto solamente en Honduras (FAO.org 2016).



Ilustración 6: Mapa de Ubicación del corredor seco mesoamericano y arco seco de Panamá. Fuente: FAO.

Por supuesto, todas estas consecuencias son igualmente preocupantes. Ahora bien, centrándonos en el bajo rendimiento de la producción, esto crea a su vez riesgo de agotamiento de reservas y disminuye la diversidad de la dieta, lo cual provoca un déficit de nutrientes, aumentando con ello los casos de desnutrición, especialmente sensible en niños menores de

cinco años. Añadamos que los pequeños productores y las comunidades rurales son los más vulnerables a la sequía, por sus efectos en la pérdida de medios de vida, en la descapitalización de las pequeñas economías familiares y el empobrecimiento, con el resultado de la migración hacia los centros urbanos sobrepoblados (FAO.org 2016).

Si esto es así en términos generales, el caso que nos ocupa no presenta grandes diferencias. Ubicada en medio de las comunidades de San Ramón Arriba y la Comunidad de El Guácimo, la comunidad de El Santuario se encuentra en una zona de pendientes rodeada con una variedad de bosque seco, con fuentes de agua a nivel de quebrada, aunque presenta escasez durante la estación seca. La zona es particularmente boscosa, debido a la altura de sus montañas, a diferencia del terreno plano que caracteriza al resto del municipio.

La principal actividad económica es la agricultura, aunque es básicamente de subsistencia, con un excedente mínimo. La comunidad está trabajando con la diversificación de cultivos ecológicos con diversas estructuras de protección de los suelos, sembrando yuca, camote, guineo, frutales, maíz, frijoles y elaborando abonos orgánicos. En todo caso, sus habitantes migran para la temporada de corte de café entre los meses de diciembre y enero, obteniendo así un ingreso que utilizan como estrategia de subsistencia vital, pues les sirve para cubrir gastos (como promedio, se estima que con estos ingresos cubren los gastos de 2 meses).

3. Estudio energético

La estancia en la comunidad durante 2 meses permitió el estudio poblacional y la evaluación de las diferentes fuentes de energía renovables de las que potencialmente podrían abastecerse.

En primer lugar, respecto a la situación poblacional de la comunidad de El Santuario, de aproximadamente 360 habitantes, está compuesta de 86 viviendas en uso, 77 en el núcleo principal y el resto en una zona a 1,75 km, distribuidas éstas últimas en un grupo de 3, otro de 2 y otro de 4. Entre las 86 viviendas se cuentan 3 de nueva construcción, las cuales se estaban terminando en el momento de la visita; se identificaron asimismo 2 viviendas estacionales y algunas otras sin uso o abandonadas, que no se han tenido en cuenta. Las viviendas, construidas la mayoría con adobe, cuentan con cocina, sala principal o de descanso, zona para objetos varios, letrina y un cierto número de habitaciones en función de los ocupantes.

En segundo término, aprovechando la instalación en algunas viviendas -por parte del Proyecto de Pequeñas Donaciones (PPD) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)- de un sistema fotovoltaico familiar de 100 W, se realizó una pequeña encuesta para conocer los hábitos de consumo, cuyos resultados se hallan en el ANEXO II.

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*



Ilustración 7: Casa de adobe tipo de la comunidad.

3.1. Disponibilidad de recursos

La instalación del sistema fotovoltaico familiar compuesto por un panel de 100W, un inversor de 250 W, una batería y un sistema de iluminación compuesto por 4 luminarias de 5W, ha determinado algunos cambios: los beneficiarios han dejado de utilizar candiles de queroseno y velas, mientras que siguen utilizando 5 pilas de media al mes por vivienda para las linternas en sus desplazamientos nocturnos y para pequeñas radios que ya tenían antes de la llegada del sistema fotovoltaico.



Ilustración 8: Sistema fotovoltaico instalado por el Plan de Pequeñas Donaciones.



Ilustración 9: Placas instaladas de 100 W.

La leña es de largo el recurso más utilizado, ya que tradicionalmente cumplía las funciones de cocción de alimentos y de iluminación y calefacción en el hogar. No obstante, desde la llegada de la electricidad su uso ha quedado relegado a la cocción de alimentos, con los que se ha reducido su uso, si bien sigue siendo elevado. De hecho, en el estudio de consumo de leña

realizado durante la estancia, incluido en el ANEXO III, se obtuvo una media de 11,2 kg por familia y día.

Finalmente, cabe indicar que la evaluación de las diferentes fuentes de energía renovables se realizó observando los diferentes recursos al alcance de la comunidad y mediante conversaciones con los habitantes. Las opciones a estudio han sido 4: eólica, minihidráulica, biomasa y solar fotovoltaica.

3.1.1. Energía eólica

El recurso eólico se planteó como una de las mejores opciones para la instalación, puesto que la comunidad está rodeada de cerros medianos óptimos para la instalación de aerogeneradores, constatándose la existencia de rachas muy fuertes de viento a diario durante la estancia. No obstante, tras las conversaciones con varios habitantes se concluyó que los vientos fuertes solo están presentes entre noviembre y febrero, cesando notablemente desde entonces hasta el siguiente mes de noviembre. Además, existen muy pocos datos acerca del recurso eólico en la zona y sería inapropiado aventurarse en un proyecto de este tipo sin el estudio correspondiente.

3.1.2. Energía minihidráulica

El recurso hídrico se descartó rápidamente puesto que, aunque se identificaron pequeños saltos de agua potencialmente aprovechables, éstos carecían del caudal necesario para impulsar una turbina. Es preciso matizar que la visita se realizó durante los meses de enero, febrero y marzo, meses pertenecientes a la época seca, mientras que los informantes de la comunidad manifestaron que durante la época húmeda el caudal es abundante. Sin embargo, esta estacionalidad tan marcada impide un buen aprovechamiento energético.

3.1.3. Energía de la biomasa

El aprovechamiento de la energía de la biomasa se dividió en el estudio de los dos tipos disponibles: biomasa húmeda y seca. Respecto a la primera, se encontraron dificultades debido a la poca disponibilidad de residuo húmedo en la comunidad -sobre todo en la época seca- y, aunque sí que se cuantificó el potencial del residuo del ganado para la obtención de biogás mediante digestión anaerobia, la comunidad manifestó que se empleaba para el abonado del suelo, por lo que la cantidad de residuo sobrante no era suficiente.

Por el contrario, el recurso de la biomasa seca se presentó como una posibilidad muy firme puesto que, como ya se ha comentado anteriormente, se consumen alrededor de 16 kg de leña por familia y día. Durante la visita que se realizó con el apoyo de ACICAFOC se comentó la posibilidad de la valorización energética de ese recurso, algo que fue muy bien acogido. De hecho, dentro del proyecto silvopastoril que se está llevando a cabo en la comunidad se barajó la posibilidad de plantar alrededor de 6.000 árboles de los llamados energéticos, es decir, de rápido crecimiento para su explotación maderera, además de seguir utilizando leña vieja de las zonas boscosas adyacentes para así contribuir a la limpieza del terreno.

3.1.4. Energía solar fotovoltaica

En primer lugar, es importante subrayar que en el apartado de energía solar no se ha contemplado la energía solar térmica, puesto que no se identificó una demanda significativa de la misma. Dicho esto, la energía solar fotovoltaica se planteó desde un principio como la solución

inicialmente más apropiada para satisfacer las necesidades de la comunidad. El abundante recurso solar con el que goza Honduras en general, y la comunidad en particular, unido a la experiencia en cuanto a la explotación fotovoltaica en el departamento de Choluteca, y más concretamente la existente en la comunidad desde julio de 2018 con las placas familiares, permitió un mayor conocimiento de la situación.

La disponibilidad del recurso solar en la región sur de Honduras es abundante y elevada, tal y cómo puede apreciarse en la **Ilustración 10**. Los primeros estudios realizados por el IIE de la UPV identificaron en la aldea de San Ramón de Arriba, a unos 5 km de la comunidad, una irradiación horizontal global de 1986 kWh/m² con alrededor de 1600 horas/año efectivas para la generación, ya descontadas pérdidas tales como alineación y mantenimiento.

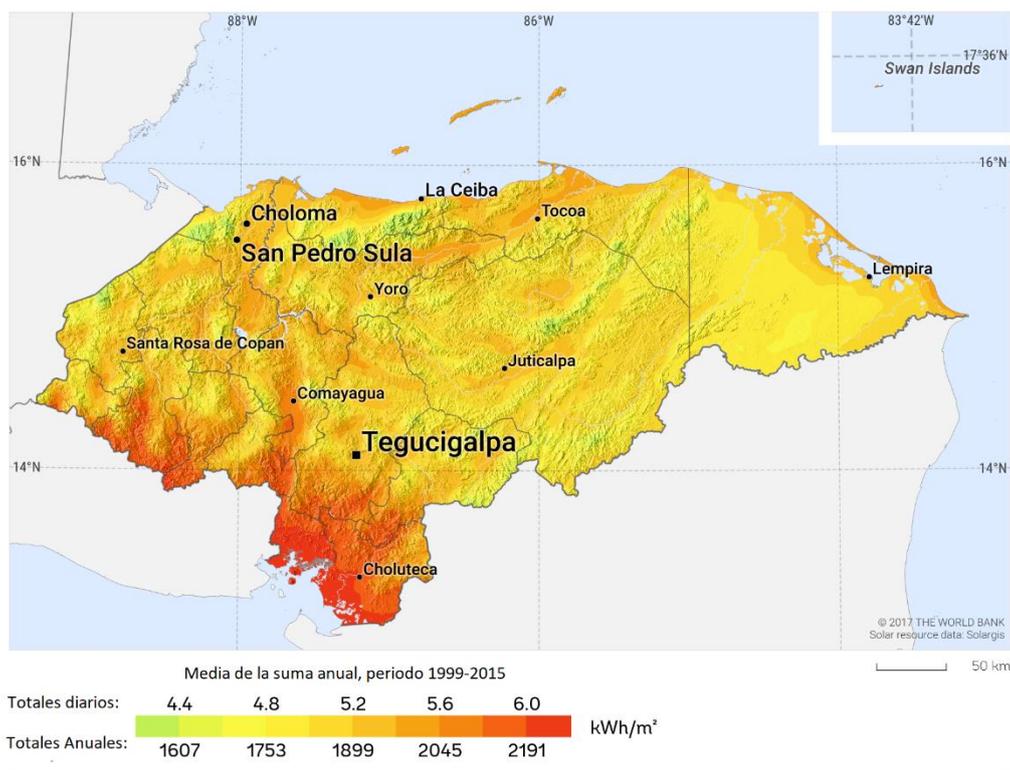


Ilustración 10: Mapa del recurso solar en Honduras. **Fuente:** Solargis.

3.2. Necesidades energéticas

3.2.1. Energía eléctrica

Para estimar las necesidades de electricidad de la comunidad, personal de la FAO¹ realizó en octubre de 2017 una encuesta a 69 cabezas de familia basada en preguntas tipo propuestas por la cooperación alemana (GIZ)² -encuesta que más tarde fue actualizada y confirmada durante la estancia realizada y que se encuentra en los anexos II y III-. Entre otras preguntas, los habitantes identificaron las necesidades futuras que ellos consideraban que tendrían con el acceso a

¹ Estudio realizado por la FAO para determinar la demanda básica de energía eléctrica de la comunidad de El Santuario.

² https://www.giz.de/de/downloads/Sizing_handbook_150dpi_for_web.pdf

electricidad. Puesto que dicha encuesta se realizó un poco antes de la llegada de las placas familiares, durante la encuesta de satisfacción sobre la misma, realizada en 40 viviendas, se verificaron los datos y se corrigieron ligeramente para adaptarlos a las nuevas circunstancias y extrapolarlos al total de la comunidad.

La **Tabla 3** presenta el resumen de estos ya corregidos. Ahora bien, esos datos deben ser interpretados con cierta precaución ya que son el resultado de respuestas espontáneas e hipotéticas de habitantes que nunca habían tenido acceso a la electricidad, motivo por el cual adquiere especial importancia la realización de la encuesta posterior.

Consumo	Uds.
Iluminación	180
TV	45
Radio	43
Teléfono	80
Ventilador	34
Nevera	16
Electrodomésticos	19
Computadora	1

Tabla 3: Estimación de los electrodomésticos que se van a utilizar en la comunidad. **Fuente:** Propia.

Como apunte a las modificaciones de la tabla, salta a la vista el escaso número de unidades de iluminación introducidas, lo cual se debe a que la placa del PPD ya incluye la instalación de 4 luminarias, de modo que, a lo sumo, se van a instalar 1 o 2 más por casa. El mismo criterio podría aplicarse al uso de radios o a la carga de teléfonos móviles, puesto que al ser dispositivos de baja potencia seguramente vayan conectados a la placa de 100W ya existente.

Asimismo, es importante tener en cuenta que, por un lado, la adquisición de los electrodomésticos expresados en la encuesta no es algo inmediato y variaría según las prioridades y el poder adquisitivo de cada familia. Por otro lado, al igual que en el inicio del funcionamiento de la red, es previsible que haya poca demanda, siendo posible que, con el paso del tiempo y la adquisición de más dispositivos de los expresados, se acabara rebasando con holgura el consumo estimado. De todos modos, el diseño de la red asume que el consumo de la red va a ir aumentando progresivamente, permitiendo con su capacidad el correcto desarrollo de la misma.

Por último, durante la estancia también se incluyeron en la encuesta de satisfacción tanto el único negocio (pulpería) de la comunidad, el cual se ha considerado como una vivienda más para facilitar los cálculos, como las zonas comunitarias (escuela, kínder, casa coral, gallinero e iglesia). Finalmente, también se realizó junto con ACICAFOC un pequeño estudio sobre la zona para el dimensionamiento de una estación de bombeo, todo ello con el fin de apoyar el abastecimiento

de los depósitos estacionales dimensionados en el proyecto silvopastoril que se encontraba en desarrollo por parte de la ONG en el momento de la visita.

3.2.2. Energía térmica

Anteriormente ya se ha mencionado que no se identificó en la comunidad una demanda de energía térmica. Ello se debe a dos razones. Por un lado, las temperaturas son estables durante todo el año, oscilando entre los 27°C y los 16°C, con lo cual no hay demanda de climatización en las viviendas. Por otro, al no existir un sistema de abastecimiento de agua potable, dado que todos los habitantes de la comunidad acarrean agua desde el pozo comunitario, no hay posibilidad de establecer un sistema para ACS, entendiéndose además que las temperaturas favorables no hacen imprescindible el disponer de agua caliente.

3.2.3. Energía mecánica

No se identificaron necesidades de energía mecánica a cubrir en la comunidad, puesto que todas las tareas que la requerirían (urbanismo, agricultura, etc.) quedan cubiertas por la mano de obra de la propia comunidad o por animales. Por otro lado, al encontrarse alejados de un núcleo urbano grande -Choluteca queda a 3 horas y media en autobús-, todos los costes de energía mecánica son elevados. El único proceso identificado en la comunidad con requerimiento de energía mecánica fue la molienda del maíz y la caña, pero en sendos casos la necesidad quedaba cubierta por un pequeño motor diésel y por animales de carga, respectivamente.

3.3. Curva de demanda

Una vez identificadas las diferentes necesidades, y concluyendo que sean las eléctricas las únicas a satisfacer mediante el proyecto, se procede a recopilar la información para elaborar la llamada curva de demanda, la cual cuantifica el consumo de potencia en cada fase horaria determinada, siendo el punto de partida para dimensionar una instalación que pueda satisfacerla de manera óptima.

En este caso en concreto, se han tomado 24 periodos horarios, asumiendo para cada uno de ellos un valor de demanda de potencia constante que viene dado por la suma de todas las potencias individuales de cada dispositivo durante ese periodo. De este modo, el área que finalmente encierra la curva representa la demanda de potencia en un día por parte de la comunidad.

Para determinar de manera correcta la curva de demanda es necesario conocer los consumos actuales -de ahí el propósito de la encuesta de satisfacción- que van a influir en la estimación de los consumos futuros. Sin embargo, al tener una magnitud distinta los dos tipos de instalación -la actual del PPD y la que se pretende proyectar- y al no estar instalada la primera en el 100% de la comunidad, el cálculo de los consumos previstos será la variable principal en el diseño de la curva.

La metodología empleada se ha basado en las directrices recibidas por parte del IIE fruto de la experiencia en otros proyectos similares. Una vez obtenidos los datos, éstos se han comparado con las directrices que aporta el manual de la cooperación alemana (GIZ) -“*What size shall it be?*”- para ratificarlos.

3.3.1. Estimación de consumos

En primer lugar, es preciso identificar y cuantificar todos los consumos estimados, los cuales han sido divididos en domiciliarios y comunitarios.

Consumos domiciliarios: Éstos -ya comentados en la **Tabla 3** y ampliados con datos adicionales en la **Tabla 4**-, se han basado en las diferentes encuestas realizadas a la comunidad. Como se puede observar en la misma, para poder cuantificarlos correctamente es necesario estimar, además del número de dispositivos, las horas de uso diarias y la potencia nominal de los dispositivos, valor que se ha obtenido a partir del análisis de los pocos aparatos similares ya existentes en la comunidad y con la información publicada por la ENEE de Honduras sobre los electrodomésticos en la zona³. Además, para la elección de las potencias también se han tenido en cuenta los principios de eficiencia energética, como por ejemplo con la iluminación, la cual se ha elegido de tipo LED y 15W.

Consumo	Uds.	Potencia (W)	P. Total (W)	Por viv.	Uso (h _{eq} /día)
Iluminación	180	15	2.700	2,34	8,60
TV	45	150	6.750	0,58	5,20
Radio	43	20	860	0,56	14,00
Teléfono	80	10	800	1,04	6,00
Ventilador	34	50	1.700	0,44	3,75
Nevera	16	500	8.000	0,21	1,24
Electrodomésticos	19	1.000	19.000	0,25	2,40
Computadora	1	200	200	0,01	4,30

Tabla 4: Cálculo de los consumos domiciliarios. Fuente: Propia.

Este concepto se empezó a debatir con los interesados en el proyecto en las diferentes asambleas generales celebradas durante la estancia, ya que la diferencia de precio entre los electrodomésticos eficientes y los poco eficientes en comunidades con bajo poder adquisitivo puede desembocar en la adquisición éstos últimos, los cuales no se corresponden con los consumos estimados. Si ello es así, no son fieles a las estimaciones de la curva de carga, con lo que una dinámica generalizada de este tipo puede llevar a la creencia errónea de la inutilidad de una instalación por no poder satisfacer dichas demandas, cuando en realidad se debería al mal uso de la misma. Al tratarse de un aspecto tan sumamente importante para la viabilidad del proyecto, en las asambleas citadas anteriormente se decidió proporcionar una mínima formación sobre eficiencia energética y las buenas prácticas de consumo en el hogar.

Consumos comunitarios: De igual manera que los domiciliarios, los consumos comunitarios

³ <http://www.enee.hn/index.php/atencion-al-cliente/110-consumo-electrico>

vienen representados por su número, su potencia nominal y las horas de uso al día. Del mismo modo, éstos han sido estimados en base a las necesidades de la comunidad incluidas en la encuesta de satisfacción junto con el criterio propio y de ACICAFOC en aspectos tales como el bombeo o el triturado de la biomasa. La **Tabla 5** muestra el resumen de resultados.

Consumo	Uds.	Potencia	P. Total
Bombeo	1	2.000	2.000
Iluminación ext.	20	50	1.000
Ventiladores	8	100	800
Luces aulas + iglesia	40	15	600
Computadora + impresora (TIC's)	3	300	900
Trituradora	1	7.500	7.500
Gallinero	1	400	400

Tabla 5: Estimación de consumos comunitarios. Fuente: Propia.

En cuanto a esos datos, conviene precisar que, para la elección del número de luminarias exteriores, se ha optado por un total de 20, que van a estar situadas cada 10 metros aproximadamente a lo largo de la calle principal y en la zona céntrica donde se sitúan los principales edificios comunitarios. Para las aulas se ha optado por la instalación de 10 luminarias en cada una y 5 para el *kínder*, que se unen a las 4 existentes gracias al PPD. Aunque en un primer momento podría parecer que 10 luminarias no son suficientes para una correcta iluminación del aula, se ha optado por esta solución puesto que, en la encuesta realizada a los maestros, éstos declararon que nunca utilizaban las luces en el aula, debido a que les era suficiente la luz solar. Además, se han proyectado 20 luminarias para la iglesia a petición de la comunidad, que sí destacó la oscuridad con la que ellos realizan sus actos religiosos. Con todo, se han proyectado un total de 45 luminarias comunitarias interiores. Finalmente, se han proyectado un total de 8 ventiladores, 2 en cada uno de los edificios anteriormente citados.

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*



Ilustración 11: Fachada de la iglesia comunitaria.

Respecto a los consumos del gallinero, y aunque inicialmente no estaban previstos, la comunidad comunicó que habían adquirido una incubadora con capacidad para 180 huevos, pretendiendo establecer un pequeño negocio de cría de polluelos gracias al gallinero comunitario que ya tenían en funcionamiento. Dicha incubadora necesita funcionar durante 22 días de manera ininterrumpida y, además, la comunidad manifestó la intención de realizar estos ciclos de forma constante.



Ilustración 12: Incubadora comunitaria.

Por otro lado, tal como se ha indicado anteriormente, para el consumo asociado a la estación de bombeo se realizó un pequeño estudio con ACICAFOC para determinar las características de la

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

bomba, ya que uno de los objetivos del proyecto silvopastoril que la ONG lleva a cabo en la comunidad es la construcción de 4 depósitos estacionales de 18x8x1.5m -en proceso de excavación durante la estancia- para poder almacenar agua en la estación húmeda y utilizarla en la estación seca mediante riego por gravedad. La estación de bombeo se ha dimensionado para apoyar los consumos de agua durante la estación seca en 1 de los 4 depósitos proyectados, alimentándose el resto desde otros puntos de suministro en la comunidad o por gravedad desde la misma quebrada.



Ilustración 13: Proceso de construcción de un depósito estacional.

La estación de bombeo aspira el agua de una quebrada de 4 m. de profundidad, sin que su nivel descienda en la época seca. Actualmente, la quebrada se utiliza para el riego de algún huerto aislado, algo que apenas le produce variaciones de caudal, hechos que se comprobaron realizando una visita a la quebrada junto con ACICAFOC.



Ilustración 14: Vista en planta de la quebrada.

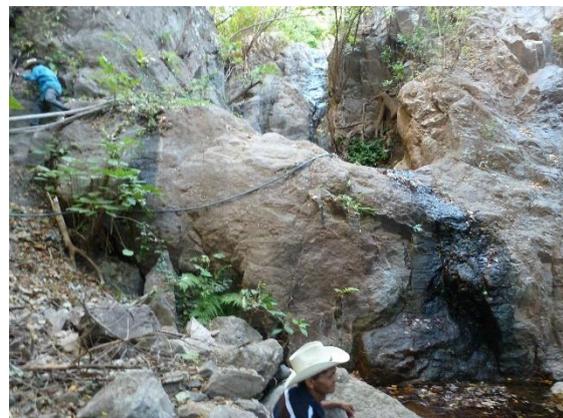


Ilustración 15: Vista en alzado de la quebrada.

Según la información proporcionada por ACICAFOC, la bomba ha de ser capaz de proporcionar

una altura de 30 m. hasta el depósito situado a 200 m. con un caudal aproximado de 3 m³/día, por lo que el modelo elegido de bomba es el POMPA 4PS 100, cuyas características técnicas se hallan en el Anexo I.

Por último, es importante mencionar que, para el óptimo funcionamiento de la instalación, se debe trabajar con la flexibilidad de los consumos comunitarios. Es decir, hay que programar los consumos que no necesiten un horario fijo (bombeo y trituradora) para equilibrar la curva de demanda en los periodos valle donde la producción es máxima pero el consumo comunitario es bajo, con lo que se permite, aparte de optimizar el sistema, maximizar la vida de los componentes, como las baterías.

3.3.2. Variabilidad horaria

Como se ha venido comentando, para la generación de la curva de demanda, cada punto queda determinado por el sumatorio de todos los dispositivos conectados en ese momento, concepto que queda reflejado en la siguiente expresión:

$$D_h = \sum_i P_{i,h} \quad (1)$$

Donde D_h es cada punto de la curva en cada fracción horaria h y $P_{i,h}$ la potencia que consume cada dispositivo conectado en la fracción horaria h . Además, se han estimado los factores de consumo correspondientes, es decir, dado que hay una posibilidad muy remota de que todos los equipos se utilicen al mismo tiempo y según la mayor o menor posibilidad de que esto ocurra, a cada dispositivo le corresponde un factor de uso diferente para cada fracción horaria entre 0 (ninguno en uso) y 1 (todos en uso). Por tanto, la curva de demanda se corrige mediante dichos factores mediante la siguiente expresión:

$$D_h = \sum_i PT_{i,h} * f_{i,h} \quad (2)$$

Donde $PT_{i,h}$ se corresponde con las potencias totales de cada dispositivo i en cada instante h , mientras que $f_{i,h}$ es sus correspondientes factores de consumo. Los factores estimados se muestran en la **Tabla 6** para los consumos domésticos y en la **Tabla 7** para los comunitarios.

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

Hora	Iluminación	Televisor	Computadora	Radio	Teléfono	Ventilador	Nevera	Electrodoméstico
0:00	-	-	-	-	0,50	-	0,01	-
1:00	-	-	-	-	0,50	-	0,01	-
2:00	-	-	-	-	0,50	-	0,01	-
3:00	0,10	0,25	0,10	0,50	0,50	-	0,05	0,20
4:00	0,50	0,50	0,25	1,00	0,50	0,25	0,10	0,20
5:00	1,00	0,25	0,25	1,00	0,50	0,25	0,10	0,20
6:00	1,00	-	0,25	0,50	-	0,25	0,10	0,20
7:00	0,75	-	-	0,50	-	0,25	0,05	-
8:00	0,50	-	-	0,50	-	0,25	0,01	-
9:00	0,05	-	-	0,50	-	0,25	0,01	-
10:00	0,05	-	-	0,50	-	0,25	0,05	0,20
11:00	0,05	0,10	0,10	0,50	-	0,25	0,10	0,20
12:00	0,05	0,10	0,10	1,00	-	0,25	0,10	0,20
13:00	0,05	0,10	0,10	1,00	-	0,25	0,05	0,20
14:00	0,05	0,10	0,10	1,00	-	0,25	0,01	-
15:00	0,05	0,10	0,10	1,00	-	0,25	0,01	-
16:00	0,05	0,10	0,10	0,50	-	0,25	0,05	-
17:00	0,50	0,10	0,10	0,50	-	0,25	0,10	0,20
18:00	1,00	1,00	0,75	1,00	0,50	0,25	0,10	0,20
19:00	1,00	1,00	0,75	1,00	0,50	-	0,10	0,20
20:00	1,00	0,75	0,75	1,00	0,50	-	0,05	0,20
21:00	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50	-	0,05	-
22:00	0,25	0,25	0,25	-	0,50	-	0,01	-
23:00	0,10	-	-	-	0,50	-	0,01	-
Total	8,6	5,2	4,3	14	6	3,75	1,24	2,4

Tabla 6: Factores de uso para los consumos domésticos.

Resultan significativos algunos coeficientes por las horas asociadas a los mismos, caso de la iluminación, la radio o la televisión, ya significativos a las 3 de la mañana. Ello se debe a que durante la época de trabajo la jornada empieza a las 5 o 6, según familias, por lo que no es extraño que la actividad se inicie un par de horas antes, sobre todo por parte de las mujeres, encargadas de preparar la comida que los hombres llevan al campo. Por otro lado, consumos como el bombeo y la trituración, con la flexibilidad horaria comentada anteriormente, se han ubicado durante las horas centrales del día, lo que permite aprovechar los periodos valle de los consumos domiciliarios. También llama la atención el consumo del gallinero, puesto que, al utilizarse la incubadora de manera continuada, su coeficiente siempre es 1.

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

Hora	Gallinero	Trituradora	Bombeo	Iluminación exterior	TIC's	Ventiladores	Luces
0:00	1,00	-	-	-	-	-	-
1:00	1,00	-	-	-	-	-	-
2:00	1,00	-	-	-	-	-	-
3:00	1,00	-	-	1,00	-	-	-
4:00	1,00	-	-	1,00	-	-	-
5:00	1,00	-	-	1,00	-	-	-
6:00	1,00	-	-	1,00	-	-	-
7:00	1,00	-	-	-	0,50	0,50	0,50
8:00	1,00	0,25	-	-	0,50	1,00	0,50
9:00	1,00	0,25	-	-	0,50	1,00	0,50
10:00	1,00	0,25	-	-	1,00	1,00	0,50
11:00	1,00	0,25	-	-	1,00	1,00	0,50
12:00	1,00	0,25	-	-	1,00	1,00	0,75
13:00	1,00	0,25	1,00	-	1,00	1,00	0,75
14:00	1,00	-	1,00	-	1,00	1,00	0,50
15:00	1,00	-	1,00	-	1,00	1,00	0,25
16:00	1,00	-	1,00	-	1,00	1,00	0,25
17:00	1,00	-	-	-	1,00	0,25	0,25
18:00	1,00	-	-	1,00	1,00	0,25	0,75
19:00	1,00	-	-	1,00	1,00	-	0,75
20:00	1,00	-	-	1,00	1,00	-	0,10
21:00	1,00	-	-	1,00	-	-	-
22:00	1,00	-	-	1,00	-	-	-
23:00	1,00	-	-	-	-	-	-
Total	24	1,5	4	9	12,5	10	6,85

Tabla 7: Factores de uso para los consumos comunitarios.

Finalmente, la energía consumida a lo largo del día resulta del sumatorio de todos los consumos, tanto domiciliarios como comunitarios y que se representa con la ecuación (3).

$$E_{\text{día}} = \sum_{h=1}^{24} D_h \quad (3)$$

La energía demandada en un año se obtiene entonces multiplicando esta energía por 365 días.

$$E_{\text{año}} = 365 * E_{\text{día}} \quad (4)$$

3.3.3. Diseño de la curva

Una vez se calculan todos los parámetros anteriores, representándolos simplemente se obtiene la llamada curva de carga.

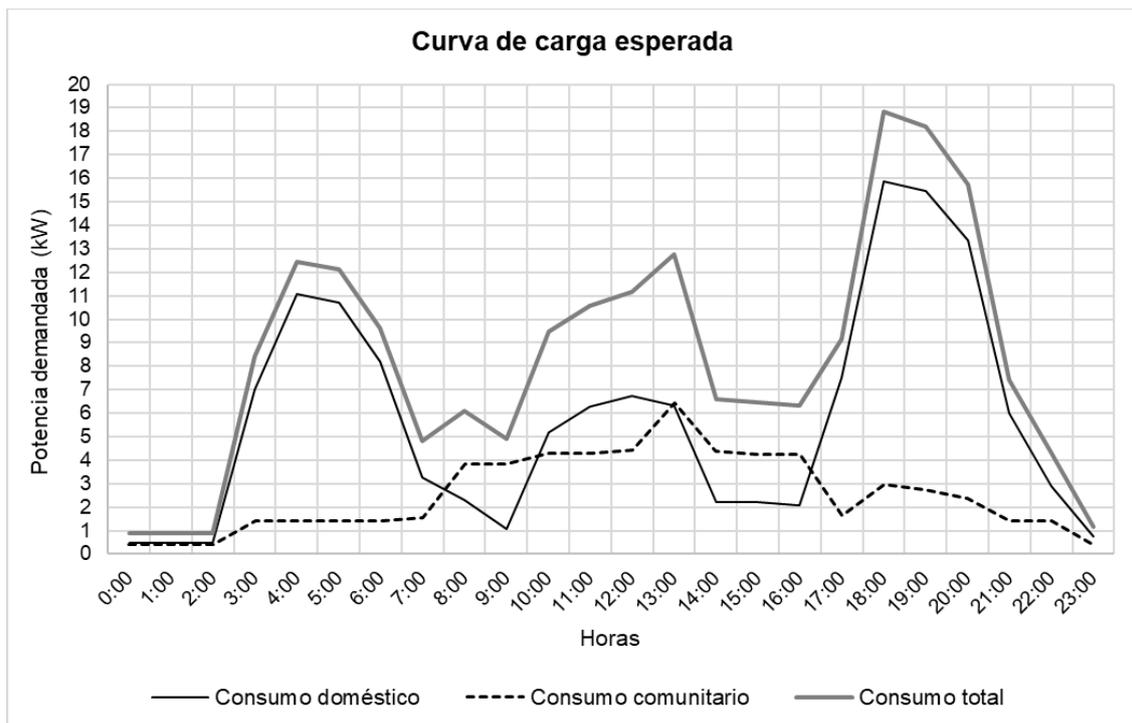


Ilustración 16: Curva de carga esperada.

Como puede observarse, en el eje de abscisas se representan las fracciones horarias mientras que en el de ordenadas se representa la potencia demanda en kW. Para una mejor interpretación de los datos se han dividido en consumos comunitarios y domiciliarios, para que resulte más fácil observar cómo los picos más pronunciados de consumo doméstico se producen a las 4 de la mañana y a las 7 de la tarde -coincidiendo con el inicio y final de la jornada-, mientras que el consumo comunitario en las horas centrales de la jornada produce otro pico de consumo alrededor de la 1 del mediodía.

El resultado obtenido se ha comparado con la curva tipo que proporciona como ejemplo el citado manual de la cooperación alemana (“*What size shall it be?*”), con el fin de verificar que se cumplen las mismas tendencias de manera aproximada, con resultado satisfactorio como se puede observar.

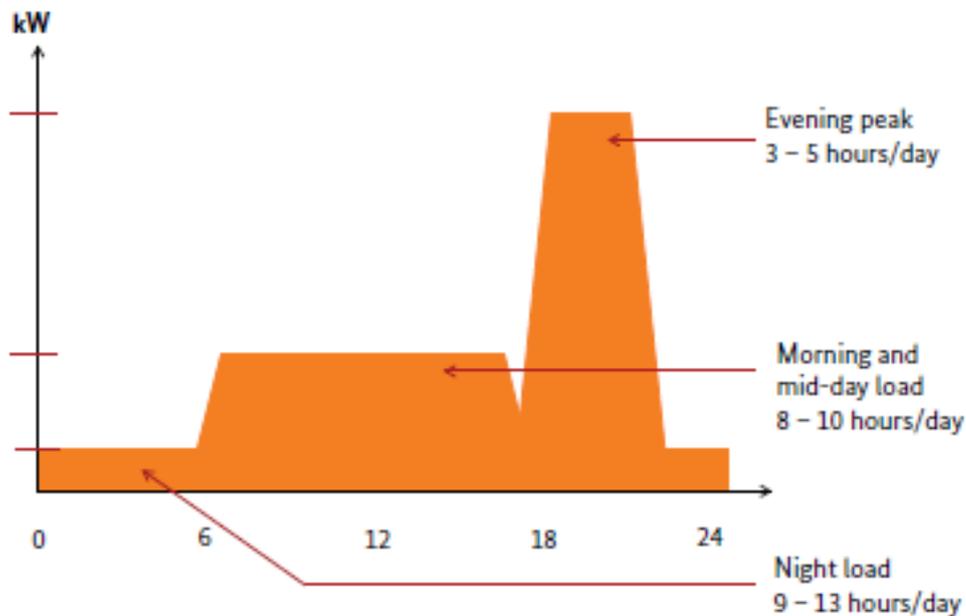


Ilustración 17: Curva de demanda típica en áreas rurales. Fuente: GIZ.

3.3.4. Energía renovable necesaria

Con todos los datos calculados anteriormente ya se está en disposición de generar un escenario de demanda esperada el cual servirá como base para el dimensionado de la instalación.

$E_{\text{día total}}$ (kWh/día)	199,19
$E_{\text{día vivienda}}$ (kWh/día)	2,59 ⁴
$E_{\text{día persona}}$ (kWh/día)	0,51 ⁵

Tabla 8: Escenario de generación.

⁴ Se consideran conectadas las 77 viviendas y las zonas comunitarias

⁵ Se consideran 5 personas por vivienda de media

4. Propuesta de solución

4.1. Justificación de la solución adoptada

Tras haber analizado los diferentes recursos de energías renovables a los que tiene acceso la comunidad de El Santuario, se propone la instalación de un sistema híbrido basado en una instalación de energía solar fotovoltaica apoyada por un sistema tipo gasificador alimentado por biomasa seca y con un banco de baterías para almacenar los excedentes. En condiciones normales, se prevé que se conecte el grupo electrógeno unas pocas horas al día, reduciéndose de forma importante la instalación de baterías y, por otro lado, en caso de sucesión de varios días con reducida radiación solar, servirá de apoyo al sistema trabajando un mayor número de horas.

Se ha decidido incluir también un sistema de gestión interno en red para el funcionamiento óptimo de la instalación, es decir, explotando al máximo la instalación fotovoltaica sobre todo en las horas centrales del día mediante la correcta utilización del banco de baterías, asegurando así la continuidad del servicio en condiciones adversas para la generación solar y evitando una descarga excesiva de las mismas. Así pues, el gestor tendrá la capacidad de alimentar la red eléctrica desde la generación, cargando las baterías o alimentando la red a partir de estas. De este modo, cuando haya exceso de energía solar se introducirá en las baterías y cuando haya defecto se recurrirá a ellas para cubrir la demanda. Si las baterías están demasiado descargadas y sigue habiendo defecto de energía producida, el gestor de red iniciará el funcionamiento del grupo de generación eléctrica alimentado por el gas procedente de la biomasa.

La energía requerida diariamente y determinada en la **Tabla 8** ha de ser cubierta entonces por la combinación de la energía solar y de la biomasa, de la siguiente manera:

$$E_{\text{día}} = E_{PV} + E_G \quad (5)$$

Una vez decidido el tipo de instalación, es necesario conocer la potencia fotovoltaica a instalar para cubrir la demanda, la cual se calcula mediante la siguiente expresión, donde P_{FV} es la potencia a instalar, E_{PV} es la energía que ha de proporcionar el sistema y h_{g-FV} las horas efectivas de generación.

$$P_{FV} = \frac{E_{PV}}{h_{g-FV}} \quad (6)$$

La energía eléctrica que genera el sistema se calcula con los datos de irradiación global de la zona.

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
 Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

Mes	Días	Radiación horizontal a 15° (Wh/m ² /día)	Radiación horizontal plana (kWh/m ² /mes)
Enero	31	5925,8	160,5
Febrero	28	6457,1	164,1
Marzo	31	6351,6	189,9
Abril	30	5610	171,4
Mayo	31	4935,5	162,7
Junio	30	4830	158
Julio	31	5258,1	177,2
Agosto	31	5515,1	178,9
Septiembre	30	5196,7	154,4
Octubre	31	5454,8	158,1
Noviembre	30	5910	155,7
Diciembre	31	5558,1	154,8
Total	365	-	1985,7

Tabla 9: Radiación solar sobre la parcela. Fuente: PVSYST.

Por lo que respecta al gasificador, el consumo necesario de leña variará en función de las condiciones de uso. Como veremos, según la demanda de la comunidad y las condiciones climatológicas, se necesitarán más o menos horas de funcionamiento. Para el cálculo de la cantidad de recurso leñoso para alimentar al gasificador se ha estimado una relación proporcional $R=1/1$ de Kg de biomasa por kWh de energía generada de la siguiente manera.

$$m_v = R * E_G \quad (7)$$

Es decir, 1 kg de leña por kWh. Con el fin de involucrar en el proceso de recogida de la leña a toda la comunidad, se ha decidido calcular también la cantidad de leña que cada una de las 77 viviendas que componen el núcleo urbano central debería aportar por día y que, como se verá más adelante, es un valor bastante reducido y al alcance de cualquier familia. De este modo, se confirmará la viabilidad de este tipo de generación.

$$m_{vhabmes} = \frac{E_G * R}{12 * 77} \quad (8)$$

4.2. Emplazamiento

El sistema fotovoltaico se instalará en una parcela que la comunidad adecentó i niveló en octubre

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

de 2018, aprovechando que les urgía la contratación de una retroexcavadora para reconstruir el camino de acceso a la comunidad, el cual había quedado bloqueado debido a las lluvias. La titularidad de la parcela pertenece a El Santuario, por lo que no existe ningún tipo necesidad de arrendar o adquirir los terrenos a ningún propietario.



Ilustración 18: Vista aérea de la parcela.

Durante la visita a la comunidad se realizaron tareas de medición para comprobar que existiera espacio suficiente para instalar la capacidad necesaria y construir la caseta de conexiones. Además, se estudió la posible generación de sombras por los elementos que la rodean. Los resultados del estudio se exponen a continuación.

Dimensiones	38x12 m
Área	456 m ²
Hora de incidencia del sol sobre la parcela	08:00 AM
Hora de puesta del sol sobre la parcela	15:00 PM
Elementos de generación de sombras	SI

Tabla 10: Características técnicas de la parcela.

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*



Ilustración 19: Toma de medidas sobre la parcela.

Respecto a las sombras sobre la parcela, se identificaron 2 árboles que proyectaban una sombra significativa a partir de las 3 de la tarde. También se identificaron sombras generadas por matorros y arbustos de poca altura. Por último, se observó que la caída progresiva del sol generaba las primeras sombras al fondo de la parcela alrededor de las 13:00 PM, por lo que lo ideal sería colocar la caseta de conexiones en esa zona, ubicada donde se encuentran la mayoría de las personas en la **Ilustración 19**.



Ilustración 20: Generación de sombras a las 14:00 PM.



Ilustración 21: Elementos generadores de sombras.

Aunque la comunidad realizó el trabajo de adecuación de la parcela, se considera necesario, tras una observación directa, la construcción de una losa de hormigón para asegurar la firmeza del terreno que va a sujetar las placas, así como la construcción de un muro perimetral que pueda permitir, por una parte, fijar la tierra para que no haya derrumbamientos en el periodo lluvioso y, por otra, proteger la instalación ante posibles hurtos. Estas decisiones fueron comunicadas a la comunidad en una asamblea, la cual se mostró dispuesta a cumplirlas.

5. Dimensionado de la instalación

Para dimensionar correctamente la instalación, ésta debe ser capaz de abastecer las necesidades de energía máximas de la comunidad en las condiciones más desfavorables. Dichas necesidades no se pueden determinar con exactitud por dos razones, como ya se ha comentado anteriormente: por un lado, no existen precedentes de consumos eléctricos; y, por otro, no se conoce de qué manera puede variar con la estacionalidad o con otros factores. Por tanto, el consumo en la comunidad se va a considerar constante y se adoptará el escenario energético dispuesto en la **Tabla 8**, establecido en 199,19 kWh/día que, para efectos de cálculo, se va a redondear a 200 kWh/día.

En cuanto a las condiciones más desfavorables, tampoco se tienen datos exactos sobre la climatología de la zona, ya que la estancia en la comunidad se realizó en la época seca y se desconoce con exactitud el comportamiento durante la época lluviosa. Por este motivo, a raíz de las conversaciones con los habitantes de la comunidad y sabiendo que se cuenta con el gasificador como sistema de apoyo, se ha decidido dimensionar la instalación para otorgarle 2 días de autonomía, de modo que durante 2 días el sistema pueda funcionar perfectamente sin ocasionar un desgaste excesivo de las baterías.

Para el cálculo de la potencia necesaria del equipo se va a aplicar la ecuación (6), donde es necesario conocer tanto el consumo energético E_{PV} -200 kWh/día- como las horas efectivas de sol sobre la parcela h_{g-FV} de la **Tabla 10**, que se obtienen como la diferencia entre la hora de salida y de puesta del sol en la parcela. Aunque durante las 7 horas teóricas el sol se proyecta

completamente sobre la parcela, se van a tomar 6 horas efectivas debido a la diferente inclinación solar durante esas horas, lo que repercute en el funcionamiento óptimo de la instalación. Además, se va a mayorar un 50% sobre el consumo para cubrir todas las posibles pérdidas y la recarga de las baterías. Con todos estos datos, la potencia es la siguiente:

$$P_{FV} = \frac{200 \text{ kWh/día}}{6 \text{ h/día}} = 33,4 \text{ kW} \rightarrow 33,4 \text{ kW} * 1,5 = 50,1 \text{ kW} \sim 51 \text{ kW}$$

La potencia fotovoltaica obtenida es la que idealmente cubriría las necesidades energéticas diarias de la comunidad. Ahora bien, existen diversos factores como los rendimientos de la instalación o la radiación incidente sobre la parcela durante el año que disminuirán el rendimiento global de la instalación, por lo que en condiciones normales se suele mayorar el dimensionamiento alrededor de un 20%. En este caso, al disponer de un sistema de apoyo, se ha decidido no mayorar la instalación e ir compensando la energía necesaria con el funcionamiento del gasificador, ya que mayorar la instalación comporta una mayor instalación de baterías y por tanto un mayor gasto a la larga por parte de la comunidad, mientras que el recurso de la biomasa seca para el gasificador es abundante y gratuito. Por último, cabe decir que las marcas de los equipos dimensionados son simplemente orientativas, siendo válidos cualesquiera con prestaciones equivalentes.

5.1. Baterías

Para el dimensionado de baterías, es necesario centrarse en el mes más desfavorable del año. Para ello, debemos comparar previamente la radiación incidente en los módulos solares de la **Tabla 9** con el consumo correspondiente a cada día, el cual se va a considerar constante e igual a 200 kWh/día para el caso de estudio. Además, se van a incluir los datos para el dimensionamiento de las casas aisladas, a las que se ha decidido instalar un sistema aislado para cada una, por lo que se dimensionarán todas de manera idéntica con un consumo de 1,79 kWh/día, que es el valor de consumo por vivienda estimado en el escenario energético de la **Tabla 8**, restándole la parte proporcional de los consumos comunitarios. A partir de estos datos, el parámetro que relaciona el consumo con la radiación es el coeficiente C_{md} , el cual se calcula en la **Tabla 11**.

$$C_{md} = \frac{\text{Consumo}}{\text{Radiación}} \quad (9)$$

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
 Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

Mes	Días	Radiación horizontal plana (kWh/m ² /mes)	Consumo (kWh/día)	Consumo casas aisladas (kWh/día)	Consumo ⁶ (Ah/mes)	Consumo casas aisladas (Ah /mes)	Coficiente (C_{md})	Coficiente casas aisladas (C_{mda})
Enero	31	160,5	200	1,79	129166,7	1156	804,8	7,2
Febrero	28	164,1	200	1,79	116666,7	1044,2	710,9	6,4
Marzo	31	189,9	200	1,79	129166,7	1156	680,2	6,1
Abril	30	171,4	200	1,79	125000	1118,8	729,3	6,5
Mayo	31	162,7	200	1,79	129166,7	1156	793,9	7,1
Junio	30	158	200	1,79	125000	1118,8	791,1	7,1
Julio	31	177,2	200	1,79	129166,7	1156	728,9	6,5
Agosto	31	178,9	200	1,79	129166,7	1156	722	6,5
Septiembre	30	154,4	200	1,79	125000	1118,8	809,6	7,2
Octubre	31	158,1	200	1,79	129166,7	1156	817	7,3
Noviembre	30	155,7	200	1,79	125000	1118,8	802,9	7,2
Diciembre	31	154,8	200	1,79	129166,7	1156	834,4	7,5

Tabla 11: Radiación y consumo mensual. Coeficiente C_{md} .

El mes más desfavorable se identifica por tener un mayor valor del coeficiente C_{md} . Haciendo uso de la Tabla 11, se obtiene diciembre como el mes sobre el que hay que dimensionar la instalación, pues posee un valor de $C_{md} = 834,4$. Mediante este criterio se asegura la cobertura en el momento más desfavorable, ya que en el resto de los meses del año la instalación quedará sobredimensionada. Con los resultados obtenidos se calcula la capacidad de las baterías de la siguiente manera:

$$C_n = N_{da} * \frac{C_d}{P_d} \text{ (Ah)} \quad (10)$$

Siendo n el valor de horas de descarga previstas, N_{da} el número de días de autonomía, C_d el consumo medio diario del mes de diciembre y P_d la profundidad de descarga, que se va a considerar del 70% como máximo. Con todo:

⁶ Para el cálculo del consumo en Ah se ha considerado un voltaje de la instalación de 48V.

$$n = 24 * 2 = 48h ; C_d = \frac{129166,7 \frac{Ah}{mes}}{31 \text{ días}} = 4166,7 \text{ Ah}$$

$$C_{48} = 2 \text{ días} * \frac{4166,7}{0,7} = 11905 \text{ Ah}$$

Este valor de capacidad para 48h de descarga es el que se ha de utilizar para buscar las baterías en el catálogo. Las baterías del catálogo seleccionado no tienen el valor de C_{48} por defecto, con lo que sería necesario interpolar. Debido a la proximidad al valor de capacidad C_{50} que sí está incluido en el catálogo, se ha decidido no interpolar, ya que al ser la capacidad mayor se trabaja con un pequeño margen de seguridad. Por último, es interesante destacar que, aunque los fabricantes recomiendan dimensionar las baterías para al menos 3 días de autonomía, debido al elevado precio de las baterías se ha decidido optar por dos días de autonomía para así reducir su número y evitar un mayor gasto por parte de la comunidad, utilizando pues en mayor medida el gasificador el cual se alimenta de un recurso gratuito y abundante para ellos como es la leña.

Con los valores obtenidos se ha seleccionado el modelo de batería estacionaria HOPPECKE Power VL 2-1610 que ya se vende en un único módulo compacto de 48V. Las características son las siguientes:

Especificaciones técnicas	
Tensión por celda	2 V
Capacidad C_{50}	2010 Ah
Peso	110,4 kg
Acumulación	2000-3000 Ah
Tecnología	Pb-ácido
Temperatura de funcionamiento	10°C-30°C
Rango de funcionamiento	-20°C-45° C
Corriente de carga	161 A

Tabla 12: Especificaciones técnicas de la batería. **Fuente:** Monsolar.com.

Por lo que respecta a los ciclos, el fabricante proporciona la siguiente información:

- 8000 ciclos con profundidades de descarga del 20%; unos 21,9 años de vida.
- 3000 ciclos con profundidades de descarga del 50%; unos 8,2 años de vida útil.
- 1500 ciclos con profundidades de descarga del 80%; unos 4,1 años de vida útil.

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
 Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

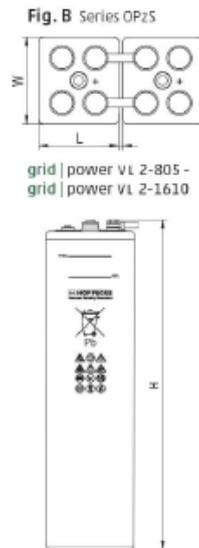


Ilustración 22: Detalle de una celda de la batería. Fuente: Monsolar.com.

Con todos los datos se dimensionan las baterías:

$$N_{B \text{ serie}} = \frac{V_{\text{instalación}}}{V_{\text{batería}}} \rightarrow N_{B \text{ serie}} = \frac{48}{2} = 24 \quad (11)$$

En resumen, son necesarias un total de 144 baterías, las cuales se van a distribuir en 6 grupos de 24 celdas. Para las casas aisladas repetimos el mismo proceso con la diferencia que se va a dimensionar la instalación para 24 V. La batería escogida se corresponde con el modelo Hoppecke 24V Power VL 2-215 que también se vende compacta de 24 V.

$$N_{B \text{ paralelo}} = \frac{C_{48}}{C_{\text{batería}}} \rightarrow N_{B \text{ paralelo}} = \frac{11905}{2010} = 5,92 \approx 6 \quad (12)$$

$$N_{B \text{ total}} = N_{B \text{ paralelo}} * N_{B \text{ serie}} = 24 * 6 = 144 \text{ baterías} \quad (13)$$

Especificaciones técnicas	
Tensión por celda	2 V
Capacidad C ₅₀	265 Ah
Peso	17,1 kg
Acumulación	500 Ah
Tecnología	Pb-ácido
Temperatura de funcionamiento	10°C-30°C
Rango de funcionamiento	-20°C-45° C
Corriente de carga	21 A

Tabla 13: Especificaciones técnicas de la batería. **Fuente:** Monsolar.com.

Por lo que respecta a los ciclos el fabricante proporciona la siguiente información:

- 8000 ciclos con profundidades de descarga del 20%; unos 21,9 años de vida.
- 3000 ciclos con profundidades de descarga del 50%; unos 8,2 años de vida útil.
- 1500 ciclos con profundidades de descarga del 80%; unos 4,1 años de vida útil.



Ilustración 23: Detalle de una celda de la batería. **Fuente:** Monsolar.com.

$$P_{FV'} = \frac{1,79 \text{ kWh/día}}{6 \text{ h/día}} = 298 \text{ W} \rightarrow 298 \text{ W} * 1,5 = 447 \text{ W} \approx 500 \text{ W}$$

$$C_{d'} = \frac{1156 \frac{\text{Ah}}{\text{mes}}}{31 \text{ días}} = 37.3 \text{ Ah}$$

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
 Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

$$C_{48h} = 2 \text{ días} * \frac{37,3}{0,7} = 106,6 \text{ Ah}$$

$$N_{B \text{ serie}} = \frac{V_{instalación}}{V_{batería}} \rightarrow N_{B \text{ serie}} = \frac{24}{2} = 12$$

$$N_{B \text{ paralelo}} = \frac{C_{48h}}{C_{batería}} \rightarrow N_{B \text{ paralelo}} = \frac{106,6}{265} = 0,4 \approx 1$$

$$N_{B \text{ total}} = N_{B \text{ paralelo}} * N_{B \text{ serie}} = 12 * 1 = 12 \text{ baterías}$$

Para este caso serán necesarias un total de 12 baterías en serie en un único módulo. Aunque se han elegido las baterías con menor capacidad del catálogo, el sistema está bastante sobredimensionado en cuanto a capacidad se refiere. Esto es bastante favorable puesto que así se evitará una descarga excesiva de las baterías y contribuirá a una mayor durabilidad ya que, al ser una instalación muy pequeña, las baterías van a sufrir más ciclos de descarga que el banco de baterías de la instalación principal, que además dispone del sistema de apoyo para evitar descargas excesivas.

5.2. Paneles fotovoltaicos

Para obtener el número y la disposición de los paneles fotovoltaicos se va a hacer uso también de la **Tabla 11**, ya que se requiere dimensionar nuevamente con el mes más desfavorable, que se corresponde a diciembre con un C_{md} de 834,4. Como ya se ha comentado, no se va a aplicar ningún coeficiente de sobredimensionamiento por contar con el apoyo del gasificador y para reducir el coste en baterías. Los paneles seleccionados se corresponden al modelo Eagle PERC 60M de la casa Solar jinkO.

Especificaciones mecánicas	
Dimensiones	1650x992x35 mm
Peso	19 Kg
Células	60
Estructura	Aluminio anodizado
Vidrio frontal	3,2mm, alta transmisión, bajo contenido en hierro, vidrio templado
Cables de salida	TÜV 1x4,0mm ² , longitud: 900mm

Tabla 14: Especificaciones mecánicas de la placa. Fuente: Monsolar.com.

Características eléctricas	
Potencia máxima (P _{máx.})	315 W
Tensión de máxima potencia (V _{mp})	33,2 V
Corriente de máxima potencia (I _{mp})	9,49 A
Tensión de circuito abierto (V _{oc})	37,6 V
Corriente en cortocircuito (I _{sc})	8,33 A
Eficiencia del módulo	19,24 %
Tolerancia de potencia	0/+3%
Máxima serie de fusibles	20 A
Máxima tensión del sistema (TUV/UL)	1000 VDC
Temperatura de Funcionamiento Normal de la Célula	45±2°C

Tabla 15: Características eléctricas de la placa. Fuente: Monsolar.com.

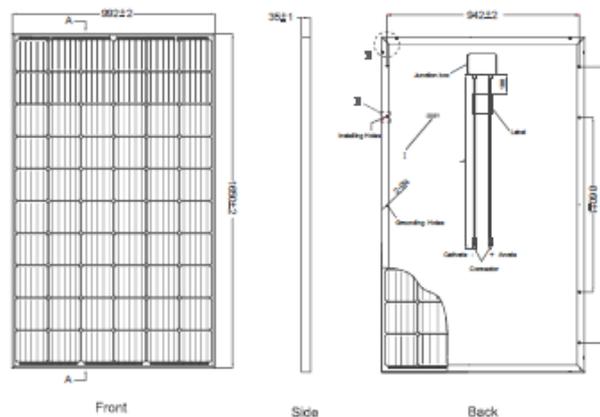


Ilustración 24: Detalle de la placa. Fuente: Monsolar.com.

$$N_{P \text{ serie}} = \frac{V_{\text{instalación}}}{V_{MP}} \rightarrow N_{P \text{ serie}} = \frac{48}{33,2} = 1,44 \approx 2 \quad (15)$$

$$N_{P \text{ paralelo}} = \frac{C_{md}}{I_{MP}} = \frac{834,4}{9,49} = 87,92 \approx 88 \quad (14)$$

$$N_{P \text{ total}} = N_{P \text{ paralelo}} * N_{P \text{ serie}} = 88 * 2 = 176 \text{ paneles}$$

En resumen, son necesarias 176 placas solares en 88 módulos de 2 placas en serie. También se va a comprobar que la instalación tenga la potencia necesaria.

$$P_{instalada} = N_P \text{ total} * P_{max} \rightarrow 176 * 315 = 55,4 \text{ kW} \geq P_{FV} \quad (16)$$

Se repite el proceso para las instalaciones individuales con la tensión de 24 V. El modelo seleccionado para esta ocasión es el Eagle 60P de la casa Solar jinKO.

Especificaciones mecánicas	
Dimensiones	1650x992x40 mm
Peso	19 Kg
Células	60
Estructura	Aluminio anodizado
Vidrio frontal	3,2mm, alta transmisión, bajo contenido en hierro, vidrio templado
Cables de salida	TÜV 1x4,0mm ² , longitud: 900mm

Tabla 16: Especificaciones mecánicas de la placa. Fuente: Monsolar.com.

Características eléctricas	
Potencia máxima (P _{máx})	260 W
Tensión de máxima potencia (V _{mp})	31,1 V
Corriente de máxima potencia (I _{mp})	8,37 A
Tensión de circuito abierto (V _{oc})	38,1 V
Corriente en cortocircuito (I _{sc})	8,98 A
Eficiencia del módulo	15,88 %
Tolerancia de potencia	0/+3%
Máxima serie de fusibles	20 A
Máxima tensión del sistema (TUV/UL)	1000 VDC
Temperatura de Funcionamiento Normal de la Célula	45±2°C

Tabla 17: Características eléctricas de la placa. Fuente: Monsolar.com.



Ilustración 25: Detalle de una placa. Fuente: Monsolar.com.

$$N_{P \text{ serie}} = \frac{24}{31.1} = 0,77 \approx 1$$

$$N_{P \text{ paralelo}} = \frac{7,5}{8,37} = 0,89 \approx 1$$

$$N_{P \text{ total}} = 1 * 1 = 1 \text{ panel}$$

$$P_{\text{instalada}} = N_{P \text{ total}} * P_{\text{max}} \rightarrow 1 * 260 = 260 \text{ W} * 2 \text{ placas} = 540 \text{ W} \geq P_{FV}$$

Se instalará en cada vivienda un módulo con 2 placas en serie.

5.3. Emplazamiento de los elementos

Una vez dimensionadas los módulos fotovoltaicos, se comprueba que puedan ser colocados en la parcela sin ocasionar sombras entre ellos. En el caso de que las dimensiones del solar no fueran suficientes, sería necesario redimensionar los paneles y elegirlos de una potencia máxima superior, requiriéndose menos paneles y ocupando un menor espacio. En ese sentido, la **Tabla 10** nos proporciona las dimensiones de la parcela: 38x12 m para un área de 456 m². Así pues, teniendo en cuenta que los paneles elegidos para la instalación principal tienen unas dimensiones de 1650x992x35 mm, la superficie neta necesaria por cada panel es entonces:

$$S = a * b \text{ (m}^2\text{)} \tag{17}$$

Donde a es el ancho y b el largo del panel. Con estos datos:

$$S = 1,65 * 0,992 = 1.637 \text{ m}^2$$

Para aprovechar el máximo el largo de la parcela, se van a disponer tres líneas de 60 módulos orientados hacia el sureste, combinando el mejor aprovechamiento del espacio disponible, a la vez que procurando la obtención de un rendimiento óptimo. Aunque la distribución física que se le otorgue a los paneles no se ha de corresponder necesariamente con la distribución eléctrica, para facilitar los trabajos de mantenimiento y de conexión se ha decidido disponer de 2 paneles en cada estructura de soporte, colocados en vertical, debido a la necesidad de optimizar el espacio, por lo que en el momento de dimensionar este elemento se buscará que cumpla con esa característica. El número máximo de paneles que se pueden colocar en una fila es:

$$Paneles_{fila} = \frac{a_{parcela}}{a_{panel}} \rightarrow \frac{38}{0,992} = 38,3 \approx 39 \text{ paneles} \quad (18)$$

Como la intención es colocar 2 paneles por soporte, es decir, 2 líneas de 30 paneles por cada fila, se podrán colocar sin ningún problema. También se ha decidido, a fin de facilitar las tareas de mantenimiento y el acceso, realizar una separación cada 20 paneles en cada línea mediante un pequeño pasillo de 1 m. Por último, se va a calcular la distancia mínima entre cada fila de módulos para evitar la proyección de sombras y maximizar la eficiencia.

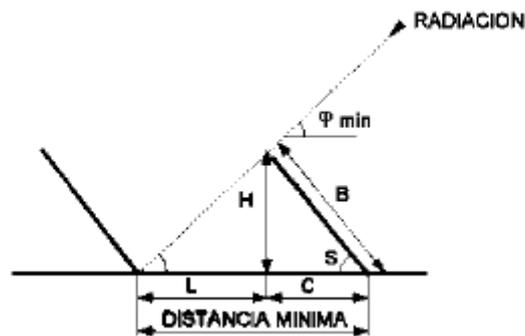


Ilustración 26: Esquema de la distancia mínima entre paneles fotovoltaicos.

De la anterior ilustración se extrae que la distancia mínima viene dada por la distancia L, distancia entre uno y otro panel, y C, distancia proyectada del panel sobre el suelo. Además, como se ha decidido poner 2 paneles de manera vertical, la distancia B será dos veces el largo de un panel.

En primer lugar, se va a obtener φ_{min} que es la altura mínima al medio día solar. Como la instalación se va a utilizar todo el año, la altura debe calcularse en invierno, ya que es el momento del año donde el sol se encuentra más bajo y por tanto produce una sombra más alargada entre los paneles. Para el cálculo de φ_{min} se van a necesitar los datos de longitud y latitud del lugar:

Latitud	13° 29' N
Longitud	87° 13' O
Elevación	634 msnm

Tabla 18: Latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar de la comunidad de El Santuario.

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

La expresión para el cálculo de φ_{\min} es la siguiente, donde ϕ es la latitud:

$$\varphi_{\min} = (90^\circ - \phi) - 23 \rightarrow (90^\circ - 13^\circ 29') - 23^\circ = 53^\circ 31' \quad (19)$$

Para los cálculos posteriores, se ha decidido que se instalen los paneles con una inclinación S de 15° . Como ya se ha comentado, la distancia B es dos veces el largo del panel. Calculamos la distancia C como:

$$C = B * \cos(S) \quad (20)$$

$$B = 2 * a \rightarrow 2 * 1,65m = 3,3 \text{ m}$$

$$C = 3,3 * \cos(15^\circ) = 3,2 \text{ m}$$

La distancia L mínima se obtiene como:

$$L = \frac{H}{\tan \varphi_{\min}} \quad (21)$$

Obtenemos la altura de los paneles H por trigonometría:

$$H = B * \sin S \rightarrow 3,3 \text{ m} * \sin(15^\circ) = 0,86 \text{ m} \quad (22)$$

$$L = \frac{H}{\tan(\varphi_{\min})} = \frac{0,86 \text{ m}}{\tan(53^\circ 31')} = 0,65 \text{ m}$$

Como existe espacio suficiente, para la colocación de las placas se utilizará $L = 1,5 \text{ m}$, asegurando mejor si cabe la no interferencia entre módulos. Finalmente, obtenemos la distancia entre paneles como:

$$d = C + L \rightarrow 3,2 \text{ m} + 0,65 \text{ m} = 3,85 \text{ m} \approx 4 \text{ m} \quad (23)$$

Además, se va a plantear si hay espacio suficiente, dejar una separación entre placas de $1,5 \text{ m}$ cada 20 paneles yuxtapuestos que sirva también como pasillo al igual que los pasillos de 1 m ya mencionados anteriormente. Con todo, la distancia necesaria entre filas de paneles será de $4,7$

m, siempre pudiendo reducirse a 4 m sin producir sombras si fuera necesario. El croquis de la agrupación propuesta se muestra en los planos 3 y 4 anexados al final del documento.

5.4. Inversor

El inversor es el dispositivo que transforma la electricidad en corriente continua proveniente de la instalación en electricidad en corriente alterna, la necesaria para el suministro a las viviendas. Asimismo, adecúa la tensión para cada uno de los elementos de la instalación. Para la selección se utiliza como base el valor de potencia instalada, 51 kW. Por tanto, será necesario un inversor con una potencia igual o ligeramente inferior debido a las pérdidas que puedan producirse.

Los equipos necesarios en este caso requieren una potencia nominal alta, por lo que el modelo seleccionado ha sido el Sunny Tripower 25000 TL de 48 V, de la firma SMA Solar Technology AG⁷. Se ha decidido colocar 2 inversores siguiendo el criterio arriba mencionado. Las características técnicas del mismo más importantes se detallan en la **Tabla 19**.

Especificaciones técnicas	
Fases	3
Máxima potencia de entrada	45000 Wp
Potencia nominal de salida	25000 Wp
Potencia de carga máxima	9600 W
Voltaje nominal	380-415 V
MPP rango de voltaje	390-800 V
Factor de potencia	1
Máxima eficiencia de conversión	98,3%
Dimensiones	661x682x264 mm
Peso	61 kg

Tabla 19: Especificaciones técnicas del inversor. Fuente: sma.de.

⁷ <https://www.sma.de/es/productos/inversor-fotovoltaico/sunny-tripower-15000tl-20000tl-25000tl.html>



Tabla 20: Detalle del inversor. Fuente: sma.de

Comprobamos a continuación que los inversores no alcancen su potencia máxima en ningún momento. Para facilitar el conexionado, se ha decidido conectar 90 paneles en un inversor y 86 en el otro, calculándose simplemente para el caso más desfavorable, el de 90 paneles.

$$P_{max-PV} = 90 \text{ paneles} * 315 \text{ W} = 28350 \text{ W} \leq 45000 \text{ W} = P_{max-inv}$$

Con ello, aseguramos la capacidad suficiente por si se quisiera realizar algún tipo de ampliación.

Para las instalaciones aisladas se ha optado por elegir un inversor de autoconsumo con baterías, es decir, que aparte de realizar las funciones que realiza un inversor corriente, sea capaz de almacenar el excedente en las baterías. El modelo elegido en este caso es el Sunny Boy de la casa SMA Solar Technology AG⁸. Las especificaciones técnicas son las siguientes:

Especificaciones técnicas	
Máxima potencia de entrada	1600 Wp
Potencia nominal de salida	1500 Wp
Voltaje nominal	220-240 V
MPP rango de voltaje	160-500 V
Factor de potencia	1
Máxima eficiencia de conversión	97,2%
Dimensiones	430x357x122 mm
Peso	9,2 kg

Tabla 21: Especificaciones técnicas del inversor. Fuente: Monsolar.com.

⁸ <https://www.monsolar.com/inversor-autoconsumo-sma-sunny-boy.html>



Ilustración 27: Detalle del inversor. Fuente: Monsolar.com.

Se comprueba de nuevo que el inversor no alcance su potencia máxima en ningún momento.

$$P_{max-PV} = 2 \text{ paneles} * 260 \text{ W} = 540 \text{ W} \leq 1600 \text{ W} = P_{max-inv}$$

5.5. Gestores de red

Este equipo es quizás una de las partes clave de la instalación en cuanto al correcto funcionamiento de la misma se refiere. Los gestores de red acoplados a la salida de las baterías son los que gestionan en qué momento se debe realizar el aporte de energía por parte de las baterías a las viviendas o en qué otros van a ser cargadas, ya sea por la parte fotovoltaica o por el sistema de apoyo, evitando también posibles sobrecargas. Además, para la carga de las baterías desde el gasificador realizan la conversión previa de corriente alterna a corriente continua, corriente mediante la cual se alimentan las baterías.

En resumen, según el tipo de programación que se les introduzca a los gestores, se irán alternando entre las distintas opciones comentadas para maximizar la vida de las baterías. Para nuestro caso, interesa que las baterías tengan la menor profundidad de descarga posible, utilizando siempre que sea necesario el sistema de apoyo.

El equipo elegido para la instalación es el Sunny Island 8.0H de la firma SMA Solar Technology AG⁹. La instalación de los mismos es por fase, de modo que se utilizarán 3 sunny islands en cada agrupación de placas, programando 1 de los 6 y haciendo que los 5 restantes se asocien al primero.

Las especificaciones de los equipos son las siguientes:

⁹ <https://www.sma.de/es/productos/inversor-con-bateria/sunny-island-44m-60h-80h.html>

Especificaciones técnicas	
Potencia máxima de entrada en CA	11,5 kW
Potencia nominal	6 kW
Tensión de entrada en CC	48 V
Tensión de salida en CA	230 V
Rendimiento	95,8%

Tabla 22: Especificaciones técnicas del Sunny Island. Fuente: sma.de.



Ilustración 28:Detalle del Sunny Island. Fuente: sma.de.

Para el caso de las viviendas aisladas, no va a ser necesaria la instalación del gestor de red puesto que el inversor de autoconsumo integra la función de gestión básica para este sistema más simple.

5.6. Gestor multiclúster

Básicamente, el equipo multiclúster es la caja de conexiones de la instalación. Como *inputs*, se conectan los gestores de red provenientes del grupo de baterías, los inversores provenientes de la instalación fotovoltaica y el gasificador, y como *outputs* la red de abastecimiento. El modelo elegido es el Multiclúster-box 6 de la casa SMA Solar Technology AG¹⁰, cuyas características son las que siguen:

¹⁰ <https://www.sma.de/es/productos/inversor-con-bateria/muticluster-boxes-para-sunny-island.html>

Especificaciones técnicas	
Potencia asignada	55 kW
Frecuencia nominal	De 40 a 70 Hz
Tensión de salida en CA	230/400V
Fases	3
Número máximo de equipos de gestión	6

Tabla 23: Especificaciones técnicas del gestor multiclúster. Fuente: sma.de.



Ilustración 29: Detalle del gestor multiclúster. Fuente: sma.de.

Para el caso de las casas aisladas, no va a ser necesaria la instalación del multiclúster puesto que no existen gestores de red y el mismo inversor funciona como punto de conexión de todos los elementos. Por último, se adjunta un pequeño esquema para entender todo el funcionamiento y conexionado de la instalación que facilita la casa SMA:

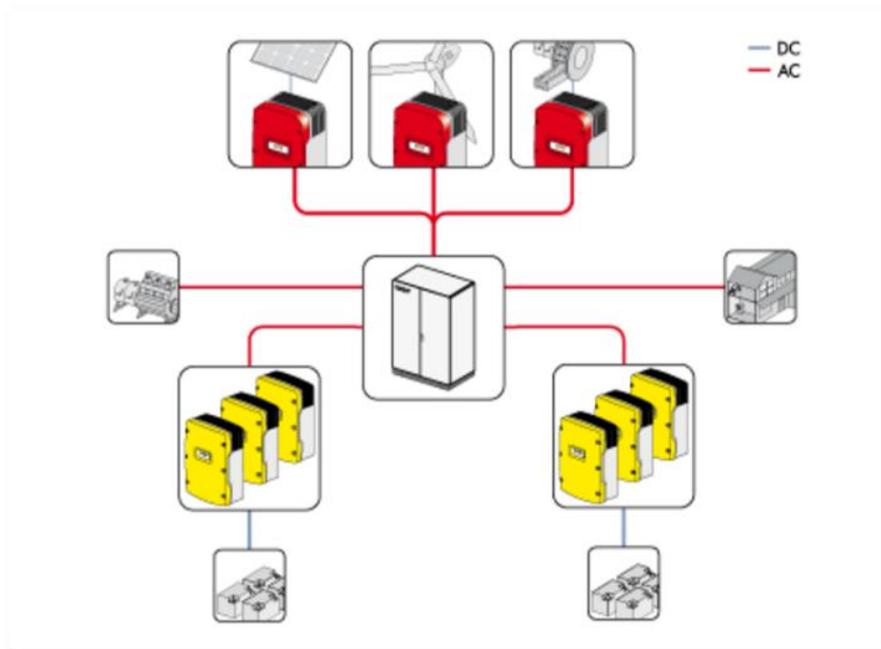


Ilustración 30: Esquema de conexión al gestor multiclúster. Fuente: sma.de.

5.7. Estructura de soporte

Como se puede observar en los planos 3 y 4, la colocación de los paneles se hará sobre el suelo, en la parcela estudiada y con la adecuación y condiciones propuestas. Para este caso se han elegido estructuras compactas para soportar 20 paneles - las estructuras individuales son más caras- y en 2 filas con una inclinación de 15°, tal y cómo se ha dimensionado en el apartado 5.3. La estructura elegida es la FV915 2 Filas C/Red de la casa Auto Solar¹¹, con las siguientes características:

Características técnicas	
Tamaño del módulo	1650x1000x50 mm
Material	Aluminio EN AW 6005 ^a T6
Tornillería	Acero inoxidable
Rango de inclinación	15° a 40°
Cargas de viento V _b	37 m/s

Tabla 24: Características técnicas de la estructura de soporte. Fuente: AutoSolar.

¹¹ <https://autosolar.es/estructuras-suelo/estructura-suelo-20-panel-fv915-2-filas-cred>

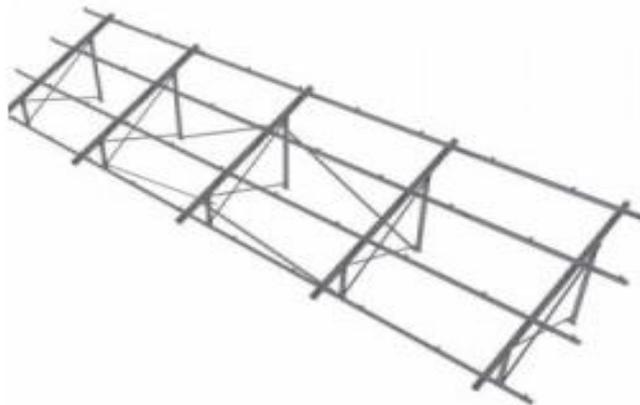


Ilustración 31: Detalle de la estructura de soporte. Fuente: AutoSolar.

Para las casas aisladas, en cambio, se ha decidido elegir una estructura de soporte sobre teja, ya que permite ahorrar espacio y minimizar las sombras, si bien ello dificulta el mantenimiento. La estructura seleccionada es la KHT915 de la firma SUNFER¹².

Características técnicas	
Tamaño máximo del módulo	1650x1000x50 mm
Material	Aluminio EN AW 6005 ^a T6
Tornillería	Acero inoxidable
Rango de inclinación	Con la cubierta
Cargas de viento V_b	29 m/s

Tabla 25: Características técnicas de la estructura de soporte. Fuente: AutoSolar.

¹² <https://autosolar.es/estructuras-cubierta-teja/estructura-cubierta-tejas-2-ud-kht915>



Ilustración 32: Detalle de la estructura de soporte. Fuente: AutoSolar.

5.8. Gasificador

Como ya se ha comentado, se va a utilizar grupo electrógeno accionado por gas de síntesis (Syngas) a partir de un gasificador de biomasa como apoyo a la instalación fotovoltaica. Aunque lo ideal sería que el gasificador se utilizara lo menos posible, se ha considerado prioritario disponer del mismo las horas necesarias para minimizar la profundidad de descarga de las baterías y prolongar su vida, ya que son el elemento más caro de la instalación y la comunidad no dispone de muchos recursos, mientras que la leña es un recurso gratuito y abundante.

Para esta instalación en concreto se ha escogido el modelo PP30, de la empresa All PowerLabs¹³. Está alimentado por una línea trifásica y posee una potencia reactiva de 25 kVA. Las características técnicas se detallan en la siguiente tabla y el esquema de bloques detallado se muestra en el plano 2.

Características técnicas	
Fases	3
Tensión nominal	240-480 V
Potencia máxima	25 kW
Consumo de biomasa	0,9-1,2 kg/kWh
Humedad de la biomasa	5%-30%
Capacidad de la tolva	333 litros
Dimensiones	1,83x1,47x1,4 m
Peso	1441 kg

Tabla 26: Características técnicas del gasificador. Fuente: All PowerLabs.

¹³ <http://www.allpowerlabs.com/products/product-overview>



Ilustración 33: Detalle del gasificador. Fuente: All PowerLabs.

Para estimar las horas de funcionamiento y por tanto el consumo de leña necesaria, se van a calcular, de manera aproximada, los días nublados en cada mes, para así dimensionar las horas de uso del gasificador en función de las no producidas por la instalación solar. Para esta tarea, se van a utilizar los históricos de categorías de nubosidad ofrecidos por la página web Meteoblue¹⁴ para la ciudad de Choluteca. A efectos de cálculo, sólo se van a contabilizar los días nublados, ya que, con días parcial y mayormente nublados en Honduras, la instalación fotovoltaica obtiene un funcionamiento medio que puede ser apoyado por el gasificador si fuera necesario. Además, los porcentajes y los cálculos se combinan con las horas de sol por mes para obtener las horas sin sol de manera más exacta. Así pues, mediante la siguiente gráfica se estiman los días no efectivos para la generación por mes.

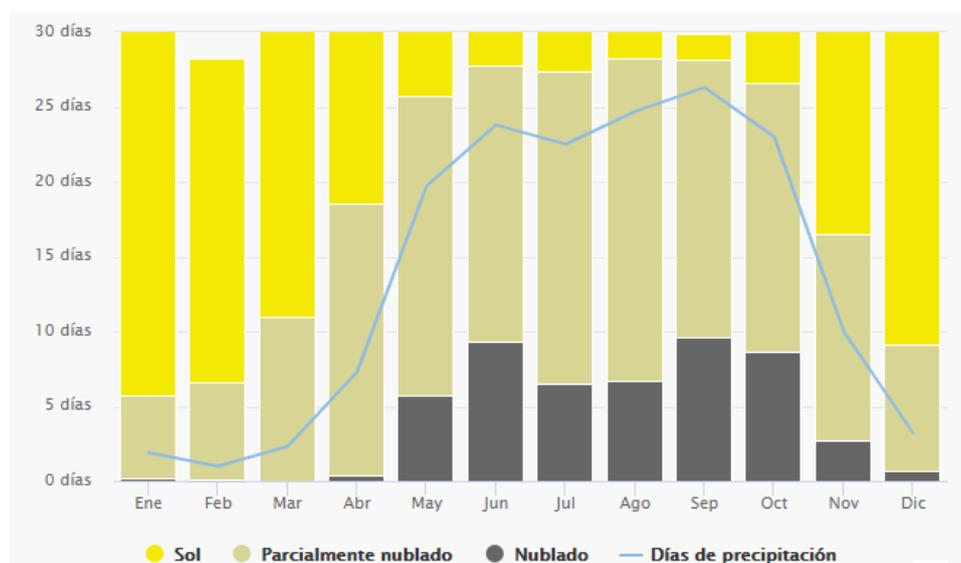


Ilustración 34: Evolución de la nubosidad por mes en Choluteca, Honduras. Fuente: Meteoblue.com.

¹⁴ https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/ciudad-choluteca_honduras_3613528

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

Mes	Días	Días nublados	Horas de sol al día ¹⁴	Horas sin sol al mes
Enero	31	0,2	11,5	2
Febrero	28	0,1	12	1
Marzo	31	0	12	0
Abril	30	0,4	12,5	5
Mayo	31	5,7	12,5	71
Junio	30	9,3	13	121
Julio	31	6,5	13	85
Agosto	31	6,7	12,5	84
Septiembre	30	9,6	12	115
Octubre	31	8,6	11,5	99
Noviembre	30	2,7	11,5	31
Diciembre	31	0,7	11,5	8

Tabla 27: Cálculo de las horas sin sol en un mes.

De este modo, conociendo la potencia de la instalación sabremos los kWh que se van a dejar de producir y por tanto que tendrá que cubrir el gasificador. Finalmente, a través de la potencia del gasificador (25 kW) se obtendrán las horas necesarias de su funcionamiento. De la ecuación (16):

$$P_{instalada} = 55,4 \text{ kW}$$

$$kWh_{gasificador} = \text{horas sin sol} * P_{instalada}$$

$$\text{Horas gasificador al mes} = \frac{kWh_{gasificador}}{25kW}$$

Mes	Horas sin sol al mes	kWh _{gasificador}	Horas gasificador al mes	Días equivalentes de utilización
Enero	2	111	4	0,18
Febrero	1	55	2	0,09
Marzo	0	0	0	0,00
Abril	5	277	11	0,46
Mayo	71	3933	157	6,56

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

Junio	121	6703	268	11,17
Julio	85	4709	188	7,85
Agosto	84	4654	186	7,76
Septiembre	115	6371	255	10,62
Octubre	99	5485	219	9,14
Noviembre	31	1717	69	2,86
Diciembre	8	443	18	0,74

Tabla 28: Horas mensuales de utilización del gasificador.

Como se puede observar, existen algunos meses con mayor nubosidad en los que el gasificador tendría que trabajar un número considerable de horas. Aun así, como ya se ha comentado, la potencia instalada será bastante superior a la necesaria durante los primeros años debido a la compra paulatina de los electrodomésticos. De todos modos, es muy importante que la comunidad sepa que deberán reducir los consumos en los meses más nubosos, ya que en tales momentos será conveniente hacer menos uso de los consumos comunitarios y de los electrodomésticos de mayor consumo. Cabe decir que, en las consultas realizadas a los informantes locales, ninguno manifestó que en los meses de más nubosidad la placa instalada no se hubiera cargado o hubieran tenido problemas de suministro, por lo que incluso en los meses de nubosidad se presupone que el uso del gasificador será menor del estimado. Por último, se procede al cálculo de la cantidad de leña necesaria m_v y la cantidad de leña necesaria por habitante $m_{vhabmes}$ mediante las ecuaciones (7) y (8), respectivamente.

Mes	kWh _{gasificador}	m_v (kg) (7)	$m_{vhabmes}$ (kg) (8)	$m_{vhabdía}$ (kg)
Enero	111	111	1,44	0,05
Febrero	55	55	0,71	0,03
Marzo	0	0	0,00	0,00
Abril	277	277	3,60	0,12
Mayo	3933	3933	51,08	1,65
Junio	6703	6703	87,05	2,90
Julio	4709	4709	61,16	1,97
Agosto	4654	4654	60,44	1,95
Septiembre	6371	6371	82,74	2,76
Octubre	5485	5485	71,23	2,30
Noviembre	1717	1717	22,30	0,74
Diciembre	443	443	5,75	0,19

Tabla 29: Cálculo de la cantidad de leña a suministrar al gasificador

Como se puede observar, la aportación diaria por familia teniendo en cuenta lo que pesa un tronco es mínima, por lo que en el momento de que la comunidad se organice para el suministro de leña, se recomienda que se establezcan turnos diarios para suministrar la m_v necesaria.

5.9. Triturador de biomasa

El último de los equipos dimensionados es el triturador de leña para las astillas a introducir en el gasificador. Los parámetros para la máquina han sido dos: se ha intentado encontrar un triturador con alimentación eléctrica, ya que se podrá abastecer directamente de la instalación sin depender de un recurso externo como el gasoil; se ha intentado encontrar un equipo con la mínima producción de virutas y, como se puede ver en la tabla de características técnicas, la producción es sobrada para las necesidades de la comunidad, lo cual asegura que siempre suministrará la viruta necesaria. No obstante, se debe tener en cuenta la gran potencia del motor, por lo que es imprescindible tener el triturador conectado el tiempo justo, ya que de otro modo desestabilizará la red. Con todo, el equipo elegido es la trituradora 20-skorpion-160-e de la firma teknamotor¹⁵



Ilustración 35: Detalle de la trituradora. Fuente: Teknamotor.es.

Características técnicas	
Dimensiones	1950x1560x2000 mm
Peso	700 kg
Potencia del motor eléctrico	7 kW
Alimentación	manual
Producción de virutas	Hasta 6 m ³ /h
Ancho de la viruta	9 a 11 mm
Diámetro máximo del tronco	160 mm

Tabla 30: Características técnicas de la trituradora. Fuente: Teknamotor.es.

¹⁵ <http://www.teknamotor.es/oferta-details/20-skorpion-160-e.html>

5.10. Red de distribución

Durante la estancia en la comunidad se realizó un barrido geográfico con algunos de los habitantes para identificar todas las viviendas y medir todos los caminos para así diseñar la red de distribución. El resultado de este estudio es el croquis simplificado que se muestra en el plano 1. En el mismo, se puede observar como la gran mayoría de las casas y zonas comunitarias se concentran en el núcleo principal. Las casas aisladas no se incluyen puesto que no son relevantes para el diseño de la instalación principal.

5.10.1. Cableado

La instalación de la red eléctrica se va a realizar con cables de tipo aislado de 1000 V, de tipo unipolar o tripolar, dependiendo de las necesidades, e instalados de manera aérea sobre postes de madera con una luz máxima de 20 metros. Desde la instalación se proyectará una línea trifásica de 230V que recorrerá la calle principal de la comunidad. A partir de ahí, la red se irá ramificando con líneas secundarias también de tipo trifásico para abastecer a los distintos grupos de viviendas, que a su vez se volverán a ramificar en cables monofásicos de 2,5 mm² para ofrecer una acometida individual para cada casa.

El croquis del diseño propuesto se muestra en la **Ilustración 36**. En rojo, se identifica la línea principal (LP) y en verde las diferentes líneas secundarias (LS), que se van a numerar empezando por el final de la línea y se sucederán en orden de ascensión -en azul se marca la zona de la quebrada para la colocación de la bomba-. Las características de las líneas se resumen en la **Tabla 31**.



Ilustración 36: Propuesta distribución de líneas.

Código de línea	Longitud (m)	Distancia ¹⁶	Viviendas ¹⁷
LS1	40	600	7
LS2	31	570	6
LS3	31	480	5
LS4	60	473	6
LS5	54,8	450	12
LS6	130	420	14
LS7	135	175	11
LS8	61,2	115	4
LS9	25	115	5
LS10	20	60	1
LS11	15	40	5
LP	600	-	76

Tabla 31: Medidas de las líneas eléctricas.

5.10.1.1. Dimensionado

Se va a clasificar el cableado en dos tipos. El primero corresponde al cableado en corriente continua (CC), que comprende el recorrido desde los módulos fotovoltaicos hasta el inversor, incluyendo las baterías. El segundo se corresponde con el cableado en corriente alterna (CA), que va desde el inversor hasta la línea de distribución.

Para el cálculo del cableado se van a aplicar las normas ITC-BT40 y las tablas de la norma UNE 20460-5-523-2004 disponibles en el ANEXO IV. Se aplican dichas normativas en lugar de las correspondientes en Honduras atendiendo a que las normas técnicas hondureñas son bastante similares a las españolas, siendo más restrictivas las segundas en caso de discrepancia.

En cuanto al dimensionado, se lleva a cabo mediante la aplicación de los criterios térmico y de caída de tensión, aplicándose siempre el más restrictivo de los dos en cada caso. Por una parte, cumpliendo el criterio térmico se garantiza que la sección del cable escogida soporte la corriente de diseño que va a circular; por otro, el criterio de caída de tensión garantiza que la sección del cable tenga una caída de tensión menor que el máximo admisible.

- **Cableado en corriente continua (CC):** se resume en dos líneas.
 - Línea 1: Módulos fotovoltaicos-inversor
 - Línea 2: Inversor-baterías

¹⁶ Distancia a la que se encuentra la ramificación de la línea respecto al inicio de la LP.

¹⁷ Se cuentan entre viviendas las casas y los edificios comunitarios.

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
 Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

Línea 1	
Tipo de aislamiento	XLPE
Tipo de línea	Aérea
Material	Cobre
Distribución	Unipolar
Tensión (V)	120
Caída tensión máxima (%)	1.5
Temperatura ambiente (°C)	40
Potencia instalada (kW)	5.3
Reactancia (Ω /km)	0.08
Cos (φ)	0.9

Tabla 32: Características línea 1.

Línea 2	
Tipo de aislamiento	XLPE
Tipo de línea	Aérea
Material	Cobre
Distribución	Unipolar
Tensión (V)	48
Caída tensión máxima (%)	1
Temperatura ambiente (°C)	40
Potencia instalada	5.3
Reactancia (Ω /km)	0.08
Cos (φ)	0.9

Tabla 33: Características línea 2.

○ Criterio térmico

Tal como se ha explicado anteriormente, se aplica el criterio térmico para asegurar que el cable seleccionado soporte la corriente de diseño. La intensidad circulante se calcula de la siguiente manera:

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

$$P = \sqrt{3} * U * I_B * \cos(\varphi) \quad (24)$$

Donde:

P → Potencia de instalación, 25 kW por inversor (línea 1) y 8,5 kW por grupo de baterías (línea 2).

U → Tensión en la línea.

I_B → Corriente circulante.

cos (φ) → Factor de potencia.

Sustituyendo, obtenemos:

Código de línea	I _B (A)
Línea 1	133,64
Línea 2	113,6

Tabla 34: Cálculo de la corriente circulante.

La canalización elegida por la facilidad de instalación es la de “cables unipolares en contacto al aire libre”, lo que según la tabla 52-B1 de la norma UNE 20460-5-523-2004, que se encuentra en el ANEXO III, se corresponde con una instalación de tipo F. En este caso, no se aplica una corrección de temperatura puesto que los valores de la tabla son para una temperatura de trabajo de 40º. Finalmente, entrando en la tabla A-52.1bis, también disponible en el ANEXO IV, y dados el tipo de instalación y el tipo de aislamiento, se obtiene la sección necesaria y la corriente de diseño.

Código de línea	S (mm ²)	I _{B'} (A)
Línea 1	25	140
Línea 2	25	140

Tabla 35: Sección seleccionada según criterio térmico.

- Criterio de caída de tensión

La caída de tensión admisible debe ser u < 1.5%, tal y cómo se establece en la norma ITC-BT40 mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta U_p = \frac{u(\%)}{100} * V \quad (25)$$

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

Donde:

u(%): Caída de tensión máxima permitida

V: Tensión en el tramo p de la instalación

Dicha caída de tensión la calculamos como:

$$\Delta U = \sqrt{3} * I_B * (R * \cos(\varphi) + X * \text{sen}(\varphi)) \quad (26)$$

Donde:

R: Resistencia de la línea

X: Reactancia de la línea

La resistencia de la línea se obtiene con la siguiente expresión:

$$R = \frac{\rho * l}{S} \quad (27)$$

Donde:

l: Longitud de la línea

S: Sección de la línea

ρ : Resistividad del cobre a 40°C, calculado de la siguiente manera:

$$\rho_{40} = \rho_{20} * \frac{234,5 + T(^{\circ}C)}{234,5 + 20} \quad (28)$$

Conociendo la resistividad del cobre a 20°C que es igual a 0,017241 y la temperatura a la que se quiere conocer el nuevo valor de resistividad, 40°C, se obtiene una resistividad de 0,0186 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$. Se obtienen entonces los valores de la resistencia de la línea.

Código de línea	Resistividad ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)	Longitud (m)	Sección (mm^2)	Resistencia (Ω)
L1	0,0186	25	25	$1,86 * 10^{-2}$
L2	0,0186	1	25	$7,44 * 10^{-4}$

Tabla 36: Cálculo de la resistencia de la línea.

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

Por otro lado, la reactancia se calcula del siguiente modo:

$$X = x * l \quad (29)$$

Donde:

X: Reactancia (Ω/km)

l: Longitud de la línea

Código de línea	Reactancia unitaria (Ω/km)	Longitud (m)	Reactancia (Ω)
L1	0,08	25	$2*10^{-3}$
L2	0,08	1	$8*10^{-5}$

Tabla 37: Cálculo de la reactancia de la línea.

Calculamos ahora la caída de tensión mediante las expresiones (25) y (26).

Código de línea	ΔU	Verificación	ΔU_p
L1	4,05	>	1,824
L2	0,138	<	0,48

Tabla 38: Verificación de caída de tensión.

Observamos que la línea 2 cumple sin problemas, mientras que la línea 1 no lo hace. Por tanto, se ha decidido aumentar la sección del cable de la línea 1 a 50 mm^2 con una intensidad de diseño de 210 A. Recalculando los valores, obtenemos:

Código de línea	Resistencia (Ω)	Reactancia (Ω)	ΔU	ΔU_p
L1	$6,3*10^{-3}$	$2*10^{-3}$	1,66	1,824

Tabla 39: Recálculo de parámetros.

El cuadro siguiente resume el dimensionado de la primera parte de la instalación:

Código de línea	Sección (mm^2)	Material
L1	25	Cobre
L2	50	Cobre

Tabla 40: Resumen de dimensionado.

- **Cableado en corriente alterna:** Comprende todas las líneas especificadas en la **Tabla 31**. Se va a considerar una caída de tensión (cdt) máxima de las líneas entre la instalación principal y los puntos de conexión de cada vivienda no superior al 4%. Las líneas individuales de 2,5 mm² que se ramifican de cada línea secundaria se han estimado de una longitud máxima de 20 metros y una cdt máxima de 1%. La tipología de cable elegida es la siguiente:

Línea 3	
Tipo de aislamiento	XLPE
Tipo de línea	Aérea
Material	Cobre
Distribución	Multiconductor
Tensión (V)	230
Caída tensión máxima (%)	4
Temperatura ambiente (°C)	40
Potencia instalada	5.3
Reactancia (Ω /km)	0.08
Cos(φ)	0.9

Tabla 41: Características de la línea 3.

Para el análisis de la línea se procederá a dividirla por tramos delimitados por cada rama secundaria que se vaya generando. Se procede de este modo a aplicar de nuevo, y de manera resumida, los criterios térmico y de caída de tensión.

- Criterio térmico:

Las suposiciones para este caso son ligeramente distintas que en CC, es decir, trabajo a 40° -por lo que no existe corrección de temperatura- con cable multiconductor aéreo descubierto – instalación de tipo E-, esta vez soportado por los postes de madera. En este caso, la tensión en la línea son 230 V y la potencia de la instalación son 51 kW, aunque disminuirá paulatinamente con la longitud del cable. La siguiente tabla muestra la disminución de la potencia con la longitud y el cálculo de la intensidad de diseño y la sección para cada tramo, para el que se ha estimado un consumo de 800W por vivienda con un factor de simultaneidad de 0,7 sin tener en cuenta las pérdidas, puesto que así se dimensiona para la situación más desfavorable.

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

Código de la línea	$P_{línea}$	I_B (A)	S (mm ²)	I_B (A)
LP(Centro-LS11)	50	139,5	35	154
LP (LS11-LS10)	47,2	131,6	35	154
LP (LS10-LS8+LS9)	46,6	130,0	35	154
LP (LS8+LS9-LS7)	41,6	116,0	25	123
LP (LS7-LS6)	35,4	98,7	16	105
LP (LS6-LS5)	27,4	76,4	16	105
LP (LS5-LS4)	20,7	57,7	10	76
LP (LS4-LS3)	17,3	48,3	6	57
LP (LS3-LS2)	13,9	38,8	4	45
LP (LS2-LS1)	9,9	27,6	2,5	33
LS1	4	11,2	1,5	24
LS2	3,4	9,5	1,5	24
LS3	2,8	7,8	1,5	24
LS4	3,4	9,5	1,5	24
LS5	6,7	18,7	1,5	24
LS6	8	22,3	1,5	24
LS7	6,2	17,3	1,5	24
LS8	2,5	7,0	1,5	24
LS9	2,5	7,0	1,5	24
LS10	0,6	1,7	1,5	24
LS11	2,8	7,8	15	24

Tabla 42: Secciones seleccionadas según criterio térmico.

Como se puede observar, las corrientes que circulan por las líneas no son altas, aunque hay que tener en cuenta las longitudes, en algunos casos de valor considerable. De este modo, parece fácil prever que el criterio limitante para el dimensionado va a ser el de caída de tensión.

- Criterio de caída de tensión:

Se repite el proceso realizado con el cableado en CC que se representa en la siguiente tabla para no repetir todos los pasos del proceso de cálculo ya efectuados en el anterior punto. Conociendo que la máxima caída de tensión es del 4%, obtenemos el valor de ΔU_p de la expresión (25), un valor constante para todas las líneas al no variar ningún parámetro.

$$\Delta U_p = 9,2$$

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

Código	S (mm ²)	I _B (A)	Longitud (m)	Resistencia (Ω)	Reactancia (Ω)	ΔU	ΔU _p
LP (Centro-LS11)	35	139,5	40	0,021	0,0032	4,96	9,2
LP (LS11-LS10)	35	131,6	20	0,011	0,0016	2,34	9,2
LP (LS10-LS8+LS9)	35	130	55	0,029	0,0044	6,36	9,2
LP (LS8+LS9-LS7)	25	116	60	0,045	0,0048	8,49	9,2
LP (LS7-LS6)	95	98,7	245	0,048	0,0196	8,84	9,2
LP (LS6-LS5)	16	76,4	30	0,035	0,0024	4,29	9,2
LP (LS5-LS4)	10	57,7	23	0,043	0,00184	3,93	9,2
LP (LS4-LS3)	6	48,3	7	0,022	0,00056	1,65	9,2
LP (LS3-LS2)	50	38,8	90	0,105	0,0072	6,54	9,2
LP (LS2-LS1)	4	27,6	30	0,140	0,0024	6,05	9,2
LS1	1,5	11,2	40	0,496	0,0032	8,69	9,2
LS2	1,5	9,5	31	0,384	0,00248	5,71	9,2
LS3	1,5	7,8	31	0,384	0,00248	4,69	9,2
LS4	2,5	9,5	60	0,446	0,0048	6,65	9,2
LS5	4	18,7	54,8	0,255	0,004384	7,49	9,2
LS6	10	22,3	130	0,242	0,0104	8,58	9,2
LS7	10	17,3	135	0,251	0,0108	6,91	9,2
LS8	1,5	7	61,2	0,759	0,004896	8,31	9,2
LS9	1,5	7	25	0,310	0,002	3,39	9,2
LS10	1,5	1,7	20	0,248	0,0016	0,66	9,2
LS11	15	7,8	15	0,019	0,0012	0,23	9,2

Tabla 43: Dimensionado de las secciones en CA.

Vistas las diferentes secciones necesarias, se ha decidido dividir la línea principal en dos tramos, ya que no es posible cambiar la sección para cada tramo de línea principal (LP). De este modo, el primer tramo de LP1 comprende los tramos LS11 a LS6, ambos incluidos, mientras el segundo tramo LS2 comprende desde el tramo LS7 hasta LS1. Para las líneas secundarias no existe el mismo problema, por lo que a cada una se le instalará la sección dimensionada. En resumen, las secciones quedan de la siguiente forma:

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

Código	S (mm ²)	I _B (A)	I _{B'} (A)	Material
LP1 (LS11-LS6)	95	139,5	296	Cobre
LP2 (LS5-LS1)	50	76,4	188	Cobre
LS1	1,5	11,2	24	Cobre
LS2	1,5	9,5	24	Cobre
LS3	1,5	7,8	24	Cobre
LS4	2,5	9,5	33	Cobre
LS5	4	18,7	45	Cobre
LS6	10	22,3	76	Cobre
LS7	10	17,3	76	Cobre
LS8	1,5	7	24	Cobre
LS9	1,5	7	24	Cobre
LS10	1,5	1,7	24	Cobre
LS11	15	7,8	24	Cobre

Tabla 44: Propuesta de secciones para CA.

Una vez dimensionada toda la red de distribución, solo queda hacer lo propio con los elementos de protección y así corroborar las secciones propuestas.

5.11. Protecciones

Para garantizar una completa protección ante sobrecargas y cortocircuitos tanto a los elementos de la instalación como a las personas, se van a dimensionar los siguientes elementos: Interruptores diferenciales, Interruptor magnetotérmico/fusibles y puesta a tierra. Las protecciones se instalarán tanto en la instalación principal como en cada acometida secundaria y a la entrada de cada casa.

5.11.1. Interruptores diferenciales

Son los encargados de proteger a los usuarios de la red frente a un contacto indirecto con la instalación, entendiéndose como contacto indirecto *“el contacto de personas o animales domésticos con partes que se han puesto bajo tensión como resultado de un fallo de aislamiento”*, según El REBT, en su instrucción técnica ITC-BT-01.



Ilustración 37: Ejemplo de un contacto indirecto. Fuente: itmasterd.es.

Los distintos métodos para evitar los contactos indirectos quedan definidos en la norma UNE 20-460 en el REBT. Estos son:

- Corte de manera automática en caso de defecto franco.
- Impedir los contactos de las personas con las masas.
- Disminución del peligro de los contactos indirectos.
- Impedir fallos de aislamiento.

Los diferenciales se dimensionan sólo para la parte en CA, ya que no funcionan en CC y se deben regular para el corte con una intensidad superior a la intensidad del disparador térmico en el interruptor magnetotérmico. El interruptor diferencial elegido es el modelo Acti 9 iid de la casa Schneider Electric¹⁸.

Características técnicas	
Polos	4
Clase	A
Calibre	40 A
Sensibilidad	30 mA

Tabla 45: Características técnicas del interruptor diferencial. Fuente: Schneider.



Ilustración 38: Detalle del interruptor diferencial. Fuente: Schneider.

¹⁸ <https://www.se.com/es/es/product-range/7559-interruptor-diferencial-acti-9-iid/>

El interruptor es de baja sensibilidad -30 mA- para asegurar el funcionamiento óptimo y de clase A, los cuales son utilizados para corrientes alternas y corrientes pulsantes evitando las desconexiones intempestivas por corrientes de alta frecuencia.

5.10.2. Interruptor magnetotérmico

Protegen la instalación frente a sobrecargas y cortocircuitos, cortando la corriente en la instalación cuando supera el valor de tarado. Consta de dos disparadores integrados: el disparador térmico y el magnético.

- Disparador térmico: se basa en la deformación de los diferentes materiales de la lámina bimetálica que se encuentra dentro del dispositivo debido al diferente coeficiente de dilatación de cada material, provocado por el paso de la corriente que atraviesa el disparador en un valor excesivo y que provoca el sobrecalentamiento.
- Disparador magnético: Es básicamente la mayor o menor fuerza electromagnética originada por la corriente en la bobina del electroimán.

En la **Ilustración 39** se puede observar el funcionamiento de un interruptor magnetotérmico mediante su curva de funcionamiento, la cual representa el tiempo de desconexión del interruptor, en función de la intensidad detectada. Se distinguen tres zonas: Zona A (disparo térmico, por sobrecarga); Zona B (disparo electromagnético, por cortocircuitos); y Zona C (transición entre ambas zonas). El magnetotérmico funciona, pues, dentro de los rangos de la zona C.

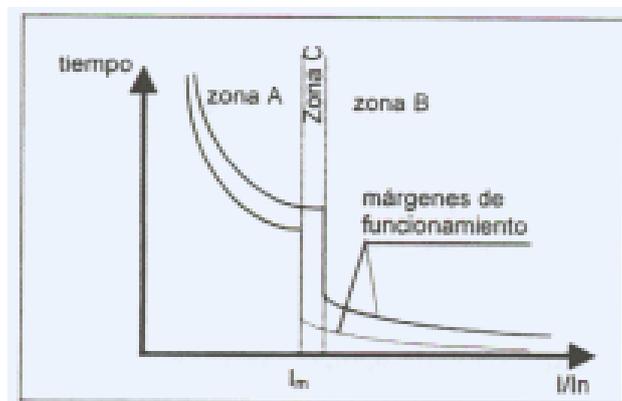


Ilustración 39: Curva de funcionamiento de un magnetotérmico. Fuente: UPV.

Para el cálculo de los parámetros para elegir el interruptor magnetotérmico, se debe seguir la normativa UNE 20-460 anteriormente comentada para sobrecargas como para cortocircuitos.

- Protección frente a sobrecargas

Según la norma UNE 20-460 a través de la guía BT-22, la cual se encuentra como ANEXO V a este documento, se establece que la protección efectiva de una instalación frente a sobrecargas se verifica cuando:

$$I_{B'} \leq I_n \leq I_Z \quad (30)$$

$$I_2 \leq 1,45 * I_n \quad (31)$$

Donde:

I_B : Intensidad de diseño de la línea calculada en el dimensionamiento del cable.

I_n : Calibre del disparador térmico.

I_Z : Intensidad admisible en el conductor determinada por la temperatura de este para un régimen dado.

I_2 : Corriente que garantiza el funcionamiento del elemento de protección. Para interruptores magnetotérmicos, se calcula como $1,45 * I_n$.

Para este caso, se van a comprobar que cumplen las 3 líneas puesto que se van a colocar magnetotérmicos en todas ellas. La **Tabla 46** muestra los valores necesarios para el cálculo. Por un lado, la corriente I_n se ha seleccionado para que cumpla los criterios de la norma. Por otro lado, la corriente I_Z se calcula del siguiente modo:

$$I_Z = \frac{I_B + I_{B'}}{2} \quad (32)$$

Código de la línea	Sección (mm ²)	$I_B(A)$	$I_{B'}(A)$	$I_Z(A)$	$I_n(A)$	$I_2(A)$
Línea 1	25	133,64	140	136,8	-	-
Línea 2	50	113,6	174	143,8	-	-
LP1 (LS11-LS6)	95	139,5	296	217,8	-	-
LP2 (LS5-LS1)	50	76,4	188	132,2	80	58
LS1	1,5	11,2	24	17,6	16	14,5
LS2	1,5	9,5	24	16,8	16	14,5
LS3	1,5	7,8	24	15,9	16	14,5
LS4	2,5	9,5	33	21,3	16	29
LS5	4	18,7	45	31,9	25	29
LS6	10	22,3	76	49,2	25	29
LS7	10	17,3	76	46,7	25	29

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

LS8	1,5	7	24	15,5	10	14,5
LS9	1,5	7	24	15,5	10	14,5
LS10	1,5	1,7	24	12,9	4	14,5
LS11	15	7,8	24	15,9	10	14,5

Tabla 46: Cálculo de intensidades.

Las tres primeras líneas no se han dimensionado porque los magnetotérmicos comerciales llegan hasta 125 A, por lo que se prefiere utilizar fusibles para las tres líneas y así no encargar un magnetotérmico especial que podría causar problemas con su reemplazo en un futuro. De este modo, halladas todas las intensidades se procede a realizar las comprobaciones con sobrecarga, verificándose que se cumplen las dos condiciones.

Código línea	Condición 1					Condición 2		
	I_B	\leq	I_N	\leq	I_z	I_2	\leq	$1,45 * I_z$
LP2 (LS5-LS1)	76,4	\leq	80	\leq	132,2	58	\leq	191,69
LS1	11,2	\leq	16	\leq	17,6	14,5	\leq	25,52
LS2	9,5	\leq	16	\leq	16,8	14,5	\leq	24,36
LS3	7,8	\leq	10	\leq	15,9	14,5	\leq	23,055
LS4	9,5	\leq	16	\leq	21,3	29	\leq	30,885
LS5	18,7	\leq	25	\leq	31,9	29	\leq	46,255
LS6	22,3	\leq	25	\leq	49,2	29	\leq	71,34
LS7	17,3	\leq	25	\leq	46,7	29	\leq	67,715
LS8	7	\leq	10	\leq	15,5	14,5	\leq	22,475
LS9	7	\leq	10	\leq	15,5	14,5	\leq	22,475
LS10	1,7	\leq	4	\leq	12,9	14,5	\leq	18,705
LS11	7,8	\leq	10	\leq	15,9	14,5	\leq	23,055

Tabla 47: Comprobaciones a sobrecarga.

- Protección frente a cortocircuitos

La guía BT-22 establece dos condiciones para que los dispositivos sean garantía de corte frente a cualquier corriente de cortocircuito.

- El poder de corte del interruptor debe ser mayor o igual a la corriente de cortocircuito en el punto de instalación, que se resume en la siguiente expresión:

$$PC \ IA = I_{cc,max} \quad (33)$$

Para calcular la $I_{cc,max}$ se hace uso del reglamento de BT disponible en el ANEXO VI: “Como generalmente se desconoce la impedancia del circuito de alimentación a la red (impedancia del transformador, red de distribución y acometida) se admite que en caso de cortocircuito la tensión en las instalaciones se puede considerar como 0,8 veces la tensión de suministro.” es decir:

$$I_{cc} = \frac{0,8 * U}{R} \quad (34)$$

Donde:

I_{cc} : Máxima corriente de cortocircuito en el punto a considerar.

U : Tensión de alimentación de la línea.

R : Resistencia del tramo de conductor. Valores que obtendremos de la **Tabla 43**.

Código línea	I_n	U	R	Poder de corte (kA)	I_z	I_{cc}
LP2 (LS5-LS1)	80	230	0,0558	100	≥	3297
LS1	16	230	0,496	100	≥	371
LS2	16	230	0,384	100	≥	479
LS3	16	230	0,384	100	≥	479
LS4	16	230	0,446	100	≥	413
LS5	25	230	0,255	100	≥	722
LS6	25	230	0,242	100	≥	760
LS7	25	230	0,251	100	≥	733
LS8	10	230	0,759	100	≥	242
LS9	10	230	0,31	100	≥	594
LS10	4	230	0,248	100	≥	742
LS11	10	230	0,019	100	≥	9684

Tabla 48: Verificación del poder de corte.

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
 Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

- El tiempo de corte para cualquier cortocircuito que se pueda producir en cualquier parte de la instalación no puede ser nunca superior al tiempo en el que la temperatura de los conductores alcanza el límite máximo permisible, concepto representado mediante la siguiente expresión:

$$(I^2t)_{Disp} \leq (I^2t)_{adm} = (K * S)^2 \quad (35)$$

Donde:

$(I^2t)_{Disp}$: Valor máximo de la integral de Joule para el cortocircuito.

$(I^2t)_{adm}$: Valor máximo de la integral de Joule admisible para el conductor.

K: Constante que depende del tipo de cable.

S: Sección del cable, en mm².

El valor coeficiente K se obtiene a partir de las tablas de la guía BT-22, sabiendo que el cable utilizado es de tipo EPR de cobre, le corresponde un valor de K=143.

	Aislamiento de los conductores							Mineral	Mineral
	PVC 70°C ≤ 300 mm ²	PVC 70°C > 300 mm ²	PVC 90°C ≤ 300 mm ²	PVC 90°C > 300 mm ²	PR/EPR	Goma 60 °C	Con PVC	Desnudo	
Temperatura inicial °C	70	70	90	90	90	60	70	105	
Temperatura final °C	160	140	160	140	250	200	160	250	
Material del conductor									
Cobre	115	103	100	86	143	141	115 ^{*)}	135	
Aluminio	76	68	66	57	94	93	-	-	
Conexiones soldadas con estaño para conductores de cobre	115	-	-	-	-	-	-	-	
<p>^{*)} Este valor se debe utilizar para cables desnudos expuestos al contacto.</p> <p>NOTA 1 Para duraciones muy cortas (< 0,1 s) donde la asimetría de la intensidad es importante y para dispositivos limitadores de la intensidad, k²S² debe ser superior a la energía (I²t) que deja pasar el dispositivo de protección, indicada por el fabricante.</p> <p>NOTA 2 Otros valores de k están en estudio para:</p> <ul style="list-style-type: none"> - los conductores de pequeña sección (especialmente para secciones inferiores a 10mm²); - las duraciones de cortocircuitos superiores a 5s; - otros tipos de conexiones en los conductores; - los conductores desnudos. <p>NOTA 3 La corriente nominal del dispositivo de protección contra los cortocircuitos puede ser superior a la corriente admisible de los conductores del circuito.</p> <p>NOTA 4 Los valores de esta tabla están basados en la norma UNE 211003-1.</p>									

Tabla 49: Obtención del parámetro K según la guía BT-22. Fuente: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Desarrollando ahora la expresión (35), tenemos:

$$(I^2t)_{Disp} = I^2 * t_{corte} \quad (36)$$

$$t_{corte} \leq \frac{(K * S)^2}{I_{cc,max}^2} \quad (37)$$

Código de la línea	K	S (mm ²)	$I_{cc,max}$ (A)	t_{corte} (s)
LP2 (LS5-LS1)	143	50	3297	4,70
LS1	143	1,5	371	0,33
LS2	143	1,5	479	0,20
LS3	143	1,5	479	0,20
LS4	143	2,5	413	0,75
LS5	143	4	722	0,63
LS6	143	10	760	3,54
LS7	143	10	733	3,81
LS8	143	1,5	242	0,78
LS9	143	1,5	594	0,13
LS10	143	1,5	742	0,08
LS11	143	15	9684	0,05

Tabla 50: Cálculo del tiempo de corte mínimo.

Una vez calculados todos los parámetros, los interruptores magnetotérmicos elegidos son los modelos Acti 9 NG125LMA de la firma Schneider Electric¹⁹.

Características técnicas					
Modelo	18868	18881	18883	18884	18887
Polos	2	3	3	3	3
I_n	4 A	10 A	16 A	25 A	80 A
Poder de corte	100 kA				

Tabla 51: Especificaciones técnicas del interruptor magnetotérmico. Fuente: Schneider.

¹⁹ <https://www.se.com/es/es/product-range/891-acti-9-ng125/?filter=business-4-distribuci%C3%B3n-el%C3%A9ctrica-en-baja-tensi%C3%B3n>



Ilustración 40: Detalle del interruptor magnetotérmico. Fuente: Schneider.

5.10.3. Fusibles

Como ya se ha comentado en el anterior apartado, se ha decidido instalar fusibles en las líneas que han presentado un valor de I_B mayor de 125 A, valor con el que se comercializan los interruptores magnetotérmicos comunes. Los fusibles cumplen la misma función que los magnetotérmicos, con la diferencia de que en los primeros se produce la fusión de uno o varios de sus elementos a causa de las elevadas temperaturas que comportan una corriente anormalmente elevada. Los fusibles son pues elementos de un solo uso y deben reemplazarse en cada sobreintensidad o cortocircuito.

La reemplazabilidad de los fusibles es precisamente el factor crítico en la instalación, ya que, al encontrarse aislada la comunidad y si no existe una buena provisión de recambios, una fusión del fusible provocaría que la misma se quedara sin luz por tiempo indeterminado. Por otro lado, al ser mucho más baratos que los interruptores magnetotérmicos permiten reducir costes. Los fusibles suelen ser una buena opción en CC debido a que se producen menos fallos que en CA. No obstante, también se ha decidido instalar los fusibles en el tramo LP1, aunque si durante el funcionamiento de la instalación fuera necesario cambiar los fusibles más veces de lo esperado, podría considerarse el sustituir los fusibles por un magnetotérmico con las características de diseño.

El procedimiento de dimensionado de los fusibles es el mismo que para el magnetotérmico, con excepción del cálculo de I_2 que se obtiene como $1,6 \cdot I_n$. Las tablas siguientes muestran el dimensionado de manera resumida.

- Protección frente a sobrecargas

Código de la línea	Sección (mm ²)	$I_B (A)$	$I_{B1} (A)$	$I_Z (A)$	$I_n (A)$	$I_2 (A)$
Línea 1	25	133,64	140	136,8	160	256
Línea 2	50	113,6	174	143,8	160	256
LP1 (LS11-LS6)	95	139,5	296	217,8	160	256

Ilustración 41: Cálculo de intensidades.

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

Código línea	Condición 1				Condición 2		
	I_B	\leq	I_N	\leq	I_Z	\leq	$1,6 \cdot I_Z$
Línea 1	133,64	\leq	160	\leq	163,8	\leq	262,08
Línea 2	113,6	\leq	125	\leq	161,8	\leq	258,88
LP1 (LS11-LS6)	139,5	\leq	160	\leq	217,8	\leq	348,4

Tabla 52: Comprobación a sobrecarga.

Se resalta en negrita la I_Z de la línea 1 puesto que se ha tenido que aumentar la sección de 25 a 35mm² para cumplir la condición 1. Por lo demás, se cumplen ambas condiciones.

Código de línea	Sección (mm ²)	Material
L1	35	Cobre
L2	50	Cobre
LP1 (LS11-LS6)	95	Cobre

Tabla 53: Redimensionado de líneas.

- Protección frente a cortocircuitos

Código línea	I_n	U	R	Poder de corte (kA)	I_Z	I_{cc}
L1	160	230	0,0063	120	\geq	29206
L2	125	230	0,0186	120	\geq	9892
LP1 (LS11-LS6)	160	230	0,088105	120	\geq	2088

Tabla 54: Verificación del poder de corte.

Código de la línea	K	S (mm ²)	$I_{cc,max}$ (A)	t_{corte} (s)
LP2 (LS5-LS1)	143	35	29206	0,13
LS1	143	50	9892	0,52
LS2	143	95	2088	42,33

Tabla 55: Cálculo del tiempo de corte mínimo.

Después de todas la comprobaciones, los modelos elegidos para las tres líneas son los AC-0 GG de la casa Crady²⁰.

²⁰ <https://www.ilumitec.es/fusible-ac-0-gg>

Características técnicas		
Modelo	102072	18881
Calibre (A)	125	160
Curva	gG	gG
Poder de corte	120 kA	120 kA
Tensión de empleo (V)	220-500 V	220-500 V

Tabla 56: Características técnicas de los fusibles. Fuente: Ilumitec.



Ilustración 42: Detalle del fusible. Fuente: Ilumitec.

5.10.4. Puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra es la unión de manera directa de una parte conductora del circuito eléctrico con el suelo mediante electrodos enterrados, los cuales derivan a potencial cero las tensiones accidentales que pudieran producirse en las masas metálicas de los equipos y que podrían ser mortales tras contacto humano accidental. Dicha medida de seguridad garantiza además la actuación de los dispositivos de protección, con lo que disminuye el riesgo de que se produzcan daños debido a sobretensiones.

Los electrodos deben colocarse en todos los elementos metálicos de la instalación susceptibles de aportar una tensión de más de 50V. Por tanto, se colocarán tomas de tierra en el grupo electrógeno – que ya dispone de su toma de tierra dimensionada-, los inversores y el centro de mando, todas ellas debidamente separadas para evitar que se generen corrientes de defecto entre estas. En un principio, no se colocarán tomas de tierra en el grupo de baterías ni en las estructuras metálicas de soporte de los paneles solares puesto que trabajan a una tensión de 48V, aunque al encontrarse tan cerca del límite admisible, podría considerarse la colocación de algunos electrodos adicionales en estas zonas.

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
 Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

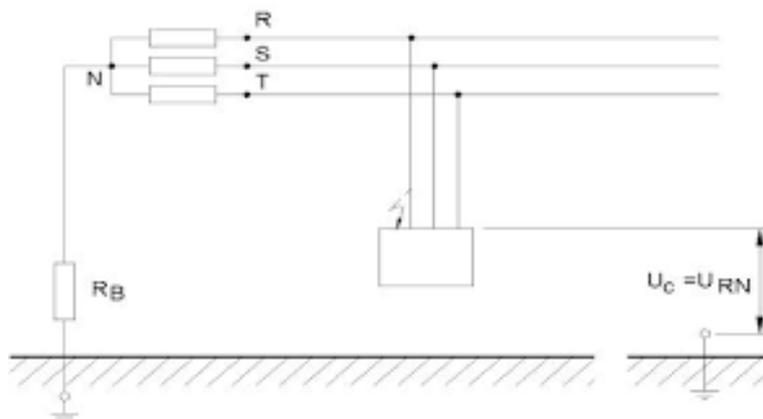


Ilustración 43: Ejemplo de puesta a tierra en una instalación. Fuente: UPV.

En primer lugar, se va a determinar la sección necesaria en los conductores de protección empleando la Tabla 2 de la guía BT-18, disponible en el ANEXO VII.

Sección de los conductores de fase de la instalación S (mm ²)	Sección mínima de los conductores de protección S_p (mm ²)
$S \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

Ilustración 44: Tabla 2 de la guía BT-18. Fuente: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Siguiendo estas indicaciones, las secciones de los conductores son las siguientes:

Código de línea	Sección (mm ²)	Sección normalizada del conductor de protección (mm ²)
L1	35	16
L2	50	25

Tabla 57: Secciones de los conductores de protección.

Según establece la guía BT-18, los electrodos enterrados no deben tener una profundidad menor de 0,5 m y se deben dimensionar conforme a la Tabla 58. Para este caso se van a colocar picas verticales, por lo que el diámetro de cada una será de 14,2 mm

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

Tipo de electrodo		Dimensión mínima
Picas	barras	$\varnothing \geq 14,2 \text{ mm}$ (acero-cobre 250 μ) $\varnothing \geq 20 \text{ mm}$ (acero galvanizado 78 μ)
	perfiles	Espesor $\geq 5 \text{ mm}$ y Sección $\geq 350 \text{ mm}^2$
	tubos	$\varnothing_{\text{ext}} \geq 30 \text{ mm}$ y Espesor $\geq 3 \text{ mm}$
Placas	rectangular	1 m x 0,5 m Espesor $\geq 2 \text{ mm}$ (cobre); Espesor $\geq 3 \text{ mm}$ (acero galvanizado 78 μ)
	cuadrada	1 m x 1 m Espesor $\geq 2 \text{ mm}$ (cobre); Espesor $\geq 3 \text{ mm}$ (acero galvanizado 78 μ)
Conductor desnudo		35 mm ² (cobre)

Tabla 58: Dimensionado de los electrodos de puesta a tierra según la guía BT-18. **Fuente:** Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Finalmente, se determinan las resistencias de puesta a tierra para así conocer el número de picas necesarias en cada parte de la instalación mediante la siguiente expresión:

$$R = \rho / (n * L)$$

Donde:

L: Longitud del cable conductor, 2 metros para cada caso.

ρ : Resistividad del terreno.

n: Número de picas.

Para calcular la resistividad del terreno se utilizan las Tablas 4 y 5 de la guía BT-18, disponibles en el ANEXO VII. Al tratarse de una zona montañosa y de cultivo, se ha decidido escoger la categoría de "Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos", con una $\rho = 50 \Omega\text{m}$. Fijando un valor de resistencia de 25 Ω , se tiene el número de picas necesarias por línea.

Código de línea	picas
L1	1
L2	1

Tabla 59: Cálculo del número de picas.

Se instalará una pica por línea de 2m cada una.

6. Propuesta de gestión económica

Asegurar una buena gestión de la instalación es seguramente la tarea más complicada y a la vez la más importante desde el momento de la puesta en marcha de la instalación. La comunidad ha de ser la encargada de coordinar los trabajos de mantenimiento, reposición y financiación de los equipos, garantizando de este modo la sostenibilidad del proyecto. De nada servirá la instalación si no hay una buena organización comunitaria que la respalde.

Desde el año 2018, parte de la comunidad se constituyó en la microempresa ESMUFES, SL. como requisito por parte del PNUD para recibir la donación ya comentada en el apartado tercero, dedicado al estudio energético. La creación de esta personalidad jurídica ha servido a la comunidad para crear un fondo común mediante el que pueden gestionar la cuota que cada casa aporta en concepto de tasa de reposición, además de para concienciar de la responsabilidad que adquieren al disponer del equipo de generación doméstico.

Como se pudo observar durante la estancia y en las asambleas con la comunidad, el sistema funcionaba de manera correcta. No obstante, y aunque en líneas generales la dinámica organizativa sea la misma, la propuesta que se presentó en su momento estaba basada en la organización como cooperativa de “prosumidores”, es decir, realizar una gestión donde todos los habitantes sean copropietarios de la instalación, siendo a la vez generadores de electricidad y consumidores de la misma. El objetivo principal de la propuesta es ofrecer la visión de que no existe ningún tipo de empresa a la que deban ingresar una cuota periódica, sino que todos son los propietarios y todas las contribuciones van en beneficio de la instalación. Se presenta a continuación la propuesta de gestión que se trabajó en la comunidad y los resultados que se obtuvieron en dichas asambleas.

1.Propuesta de gestión para la instalación fotovoltaica de la comunidad de El Santuario

Se propone que la comunidad se organice en torno a la figura de la cooperativa energética de prosumidores donde se genera, distribuye y se vende la electricidad a sus socios y propietarios, en este caso toda la comunidad. La cooperativa se registrará por el principio de “**lo que se mete se saca**”. En la siguiente **Ilustración 47** se pueden observar los distintos flujos de caja.

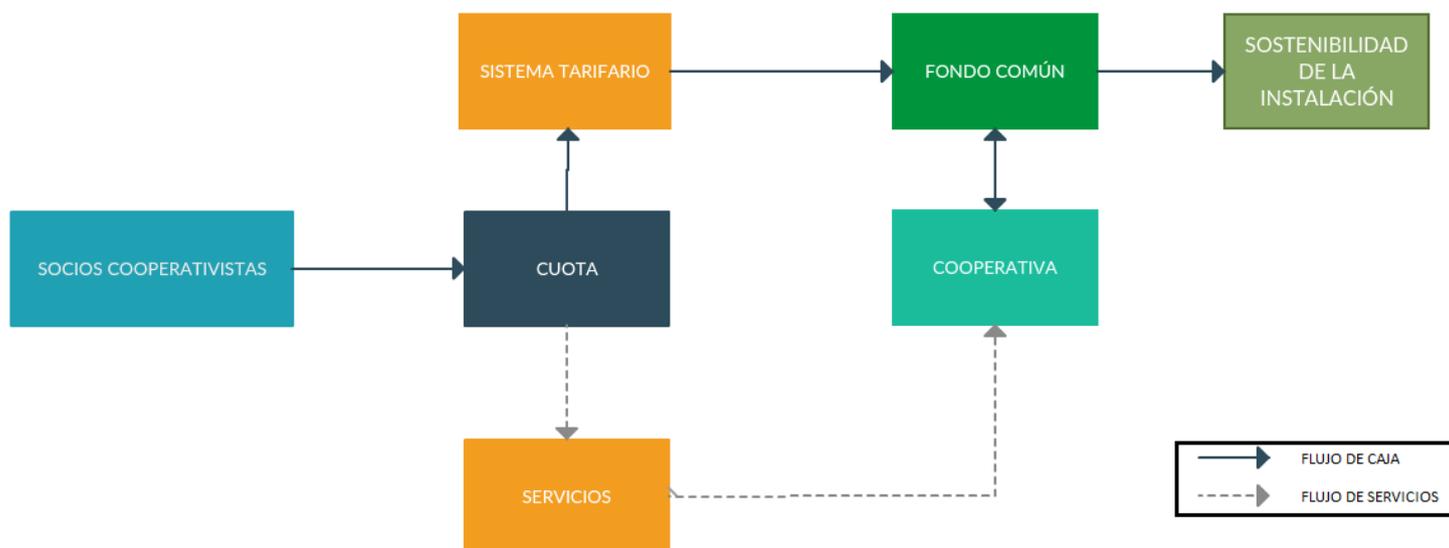


Ilustración 45: Flujos de caja propuestos para la cooperativa de prosumidores.

- **Lo que se “saca”:** En este caso, la electricidad.
- **Lo que se “mete”:** Hace referencia al concepto de la llamada “cuota de ahorro” que cada socio aporta al fondo común de la cooperativa, y que constituye la base para asegurar la sostenibilidad del sistema garantizando el reemplazo y mantenimiento de equipos. La aportación de la cuota se puede realizar de distintas maneras según las situaciones de cada familia, ya que existen familias con más poder adquisitivo que otras. Las distintas maneras propuestas se detallan a continuación:
 - Pago con servicios a la comunidad, es decir, colaborando con el mantenimiento de la instalación (limpieza de placas, reparación del pavimento, mantenimiento de baterías e inversores, para lo que habrían de recibir una formación previa en algunos casos), con el proceso de corte, transporte y triturado de la leña para su uso en el gasificador o con cualquier otro tipo de servicio que pudiera surgir.
 - Pago en metálico. En este caso se han planteado diferentes maneras de realizar el cobro. Se ha de tener en cuenta que, aunque la mejor solución sería el uso de contadores individuales en cada vivienda para cuantificar el consumo y pagar en función del mismo, exigencias del presupuesto hacen pensar en que se deba

trabajar con la hipótesis de que no se puedan instalar finalmente dichos contadores.

Durante las distintas asambleas comunitarias, se realizaron charlas informativas para dar a conocer los distintos sistemas de tarifa conocidos para otros sistemas sin contadores, dejando claro que era la cooperativa la que debería establecer por consenso un método de cobro efectivo, ya que una mala gestión de la tesorería o una alta morosidad significaría la inutilidad del sistema a medio plazo. Los distintos tipos de tarifa propuestos fueron los siguientes:

- Tarifa plana: todos pagan lo mismo. Por un lado, es la manera más fácil de gestionar económicamente la instalación. Por otro lado, no es un sistema justo para las personas que tengan un menor poder adquisitivo y no se puedan permitir ningún electrodoméstico con respecto a las de un alto poder adquisitivo que tengan un consumo mayor.
- Tarifas por electrodoméstico: Más justa pero bastante más costosa de gestionar, requiriendo de un recuento minucioso de los electrodomésticos en cada vivienda, el establecimiento de una ponderación por tipo de electrodoméstico y valorando a la eficiencia de cada electrodoméstico adquirido para dicha ponderación. Además, se tendría que establecer igualmente una cuota mínima para garantizar los ingresos de la cooperativa, algo que se podría reajustar con el tiempo ya que, por ejemplo, en los momentos iniciales de la puesta en marcha de la instalación la población contará con menos electrodomésticos y se pagará muy poco.
- Tarifa por persona: presenta el mismo problema que la primera propuesta de tarifa plana. No por ser más gente en una casa tendrán necesariamente más electrodomésticos. Al no tener todas las casas la misma proximidad al tendido principal, será necesario una inversión más o menos costosa para instalar la línea en la vivienda. Respecto a la complejidad de la instalación, es de vital importancia la especial atención a las casas aisladas. Éstas, por su condición, van a requerir sistemas más caros que el resto y van a disponer de una capacidad menor que la de los demás. Entonces, es especialmente importante conocer la voluntad de dichas viviendas en participar de manera activa como socios. Por último, se les debe recordar que, aunque el sistema sea individual y tengan el usufructo, ellos no son los propietarios exclusivos de esa instalación, sino que lo es la cooperativa.

Todas las soluciones propuestas tienen sus ventajas y sus inconvenientes. Quizás la solución más adecuada sea la aplicación de un sistema mixto que integre varias de las propuestas. De todas maneras, las asambleas informativas se realizaron con el objetivo de dar a conocer de manera básica las opciones para que, cuando se realice la capacitación a la comunidad, ésta ya conozca los conceptos y haya podido debatir que sistema les conviene a todos ellos.

2. Acciones que debe emprender la cooperativa.

Después de definir detalladamente las posibilidades de gestión económica, se procede a describir las diferentes funciones que la cooperativa debe llevar a cabo con respecto a la coordinación para el óptimo funcionamiento de la instalación. Las funciones son las siguientes:

- **Regulación del sistema de cobros/servicios.** Una vez debatido y aceptado el modelo de tarificación aplicable, es la cooperativa la que debe administrar y registrar las cuotas de servicios y pagos para los socios, de modo que puedan acceder todos a la electricidad actuando sobre las posibles irregularidades que se produzcan.
- **Elaboración de los documentos oficiales requeridos.** Para el correcto funcionamiento de la cooperativa, todos los socios deben firmar un contrato de adherencia a la misma, ya que actualmente sólo los beneficiarios del proyecto del PNUD forman parte de la microempresa. El contrato permitirá también establecer un vínculo de responsabilidad directa para cada abonado. Por otro lado, también es necesario elaborar un reglamento de uso donde se recojan los derechos, deberes y posibles sanciones acordadas para los socios.
- **Capacitaciones.** Realización, con el apoyo de los diferentes actores del proyecto, de las capacitaciones pertinentes para el grupo de personas que se encarguen de realizar los diferentes servicios a la cooperativa. Durante las asambleas se identificaron las siguientes necesidades que requieren capacitación: mantenimiento y limpieza de paneles y estructuras de soporte, baterías, inversores, tendido principal y acometidas individuales, funcionamiento mecánico y mantenimiento del gasificador y del triturador y tesorería y recaudación de impuestos.
- **Seguimiento y evaluación.** Realización de monitoreo generalizado de toda la instalación de manera periódica. Para este asunto, se sugirió que se designaran dos personas jóvenes y preferiblemente mujeres para recibir una capacitación intensiva y generalizada sobre todo el funcionamiento y mantenimiento de la instalación. Se recomendó que fueran dos personas puesto que, en proyectos similares, la persona joven encargada de la instalación emigró, dejando el puesto vacante y difícilmente reemplazable.

Finalmente, se vuelve a recordar que, debido al modelo de gestión de cooperativa que aquí se propone, todas las decisiones que se tomen deben partir de un consenso colectivo, lo que va a garantizar la legitimidad y la aprobación de todos los socios.

7. Cálculo y certificación de emisiones evitadas

Tal y cómo se ha comentado al inicio de este trabajo, el objetivo del proyecto es la cooperación con el desarrollo de comunidades rurales mediante instalaciones de baja emisión de carbono. El cálculo de las emisiones se puede calcular a groso modo haciendo uso de una comparativa entre una instalación corriente "*bussiness as usual*" (si nada cambia) y la instalación de la comunidad. Como ahora gran parte de la comunidad dispone de una placa solar que permite un alumbramiento por la noche, se va a calcular en consecuencia. Es decir, partimos de un menor uso de las velas y un nulo uso del keroseno, para así calcular las emisiones evitadas únicamente por la instalación. Para cuantificar correctamente las emisiones, es necesario hacer una estimación basándose en la encuesta de consumo realizada durante la estancia en la comunidad.

7.1. Emisiones por pilas, velas y combustión del keroseno

- Velas: De acuerdo con la base de datos de la Agencia de Protección Ambiental Americana (EPA), una vela estándar emite aproximadamente 7 gramos de CO₂²¹ equivalente –unidad de referencia utilizada para medir los gases de efecto invernadero causantes del cambio climático- por hora. El uso medio anterior a los paneles individuales era de 7 velas 4 horas al día por vivienda, que se han reducido a 5 velas 4 horas al día por vivienda de media, ya que aún siguen existiendo viviendas sin la instalación, con un consumo más alto en velas, que se compensan por el consumo más bajo de velas en las viviendas con paneles. Así pues:

$$\text{Emisiones } CO_2eq = 5 \frac{\text{vela}}{\text{vivienda}} * 86 \text{ viviendas} * 4 \frac{\text{h}}{\text{vela} * \text{día}} * 7 \frac{\text{gCO}_2}{\text{h}} * 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 4,39 \frac{\text{TNCO}_2eq}{\text{año}} \quad (38)$$

- Pilas: El consumo de pilas no ha variado mucho con respecto a antes y después de la instalación, puesto que los habitantes con pequeños electrodomésticos a pilas los siguen usando y las linternas sirven para alumbrarse en las calles, aspecto que ya no será necesario cuando exista el alumbrado público. Según el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC²²), las pilas alcalinas tienen unas emisiones promedio de 70,2 gramos de CO₂ equivalente durante toda su vida útil. Suponiendo que se usen 2 pilas alcalinas por vivienda y semana de promedio, tenemos:

$$\text{Emisiones } CO_2eq = 2 \frac{\text{pilas}}{\text{vivienda}} * 86 \text{ viviendas} * 70,2 \frac{\text{gCO}_2}{\text{h}} * 52 \frac{\text{semanas}}{\text{año}} = 0,63 \frac{\text{TNCO}_2eq}{\text{año}} \quad (39)$$

- Keroseno: Como se ha comentado anteriormente, se va a considerar que no existe consumo de keroseno en las viviendas, si bien, como aún se celebran ciertos eventos religiosos en la comunidad que con carácter semanal hacen uso del keroseno, se va a suponer un consumo de 5 litros de keroseno por evento, el cual produce unas emisiones de 2,6 gramos de CO₂²³ equivalente por litro quemado según la base de datos del IPCC. Por tanto:

$$\begin{aligned} \text{Emisiones } CO_2eq &= 5 \frac{\text{litros}}{\text{evento}} * 86 \text{ viviendas} * 1 \frac{\text{evento}}{\text{semana}} * 2,6 \frac{\text{gCO}_2}{\text{litro}} * 52 \frac{\text{semanas}}{\text{año}} \\ &= 0,67 \frac{\text{TNCO}_2eq}{\text{año}} \end{aligned} \quad (40)$$

²¹ <http://www.ehso.com/ehshome/candles2.htm>

²² Base de Datos de Factores de Emisión del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC): elaborado por la NGGIP (National Greenhouse Gas Inventories Programme).

²³ <http://www.ehso.com/ehshome/candles2.htm>

Todo esto lleva a concluir que, debido a la falta de un suministro estable de electricidad, la comunidad de El Santuario está emitiendo, de manera directa o indirecta 5,69 toneladas de CO₂ equivalente por año, a través de actividades que bien podrían reemplazarse con energía fotovoltaica procedente de la instalación.

7.2. Emisiones con un motor diésel

A modo de comparativa, se va a plantear el caso de que el consumo cubierto por la instalación fotovoltaica fuera suministrado por un grupo electrógeno alimentado con diésel, que suele ser el principal sistema presente en los grupos de apoyo de las mini redes híbridas que se han instalado hasta ahora. Utilizando la base de datos del IPCC y suponiendo que se instalara un grupo electrógeno de última generación, obtenemos una estimación de 840 gramos de CO₂ equivalente por kWh en la instalación. A medida que distintos factores influyan sobre este sistema (calidad del combustible, eficiencia y antigüedad del grupo, modo de operación...), las emisiones irán en aumento. Para el caso que nos ocupa, sería:

$$\text{Emisiones } CO_{2eq} = 200 \frac{kWh}{\text{día}} * 840 \frac{gCO_2}{kWh} * 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 61,32 \frac{TNCO_{2eq}}{\text{año}} \quad (41)$$

Es en este apartado donde realmente se pone en valor el ahorro de emisiones que supone la instalación fotovoltaica.

7.3. Emisiones mediante la red Nacional Hondureña

También se ha decidido realizar la comparativa respecto a las emisiones que se producirían si el consumo eléctrico estuviera asociado a la red de abastecimiento nacional. Al sistema eléctrico hondureño se le puede aproximar un factor de conversión promedio de 353 gramos de CO₂²⁴ equivalente por kWh. Las emisiones evitadas serían entonces:

$$\text{Emisiones } CO_{2eq} = 200 \frac{kWh}{\text{día}} * 353 \frac{gCO_2}{kWh} * 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 25,77 \frac{TNCO_{2eq}}{\text{año}} \quad (42)$$

Un valor poco menos de la mitad del obtenido con el generador diésel, pero aun así significativo. Es obvio constatar también que, conforme la población aumente su consumo eléctrico, también lo harán las emisiones de CO₂.

²⁴ Para este cálculo se ha utilizado un factor de emisión asociado a los datos publicados en el informe del CEPAL (2018).

7.4. Emisiones a plena carga

El último supuesto objeto de análisis se va a basar en considerar que la micro red híbrida funcionara a plena carga, es decir, que además de los 200 kWh/día que se traducen en 73.000 kWh/año, el gasificador funcionara a la máxima carga permitida con una producción de 600 kWh/día -219.000 kWh/año- y una aportación aproximada de 600 kg biomasa/día, valor que sería compatible con las estimaciones de aportación máximas que se constató en la comunidad durante la estancia, aunque requeriría de un intenso trabajo por parte de la comunidad. En total, la generación se situaría sobre los 285.000 kWh/año, que si tuvieran que ser producidos mediante el grupo electrógeno a diésel supondrían unas emisiones de 239,4 toneladas de CO₂ equivalentes y de 100,6 toneladas de CO₂ equivalentes si fuera la red nacional la suministradora de dicho consumo.

Con todo, se observa que la instalación de la mini red híbrida va a suponer un ahorro global de emisiones a la atmósfera y que este valor tenderá a agrandarse conforme pasen los años y la adquisición de más electrodomésticos haga aumentar el consumo.

7.5. Ingresos por servicios ecosistémicos

Desde que en 1997 se habilito, con la firma del protocolo de Kioto, el mecanismo de comercio con los derechos de emisión de carbono, la posibilidad de obtener beneficios gracias a la venta de emisiones evitadas con instalaciones como la propuesta permite contribuir a la economía y sostenibilidad de las mismas. No obstante, para realizar todo este procedimiento es necesario medir y certificar los distintos aspectos que a continuación se detallan:

- Electricidad generada por la red híbrida.
- Energía realmente consumida por la comunidad
- Pilas, velas y keroseno consumido en la comunidad
- Evolución de las emisiones por kWh que produce le Red Eléctrica Nacional de Honduras.
- Evolución de los factores de conversión y métodos de cálculo tanto de las emisiones evitadas como del CO₂ secuestrado a través de los cambios de uso del suelo que se prevén en el proyecto silvopastoril.

En cuanto a lo relacionado con el cálculo de las emisiones, se va a proponer utilizar una herramienta de cálculo de secuestro de emisiones que uno de los actores de proyecto – la FAO- ha desarrollado. Estas herramientas permiten identificar y certificar proyectos que trabajan para aumentar la resiliencia y reducir los efectos del cambio climático, así como monitorizar y evaluar el resultado de la aplicación de programas y políticas, sobre todo en zonas rurales. La FAO ha desarrollado su propia herramienta no sólo para calcular el secuestro de carbono mediante instalaciones, sino también para los cambios de uso del suelo, EX-ACT²⁵.

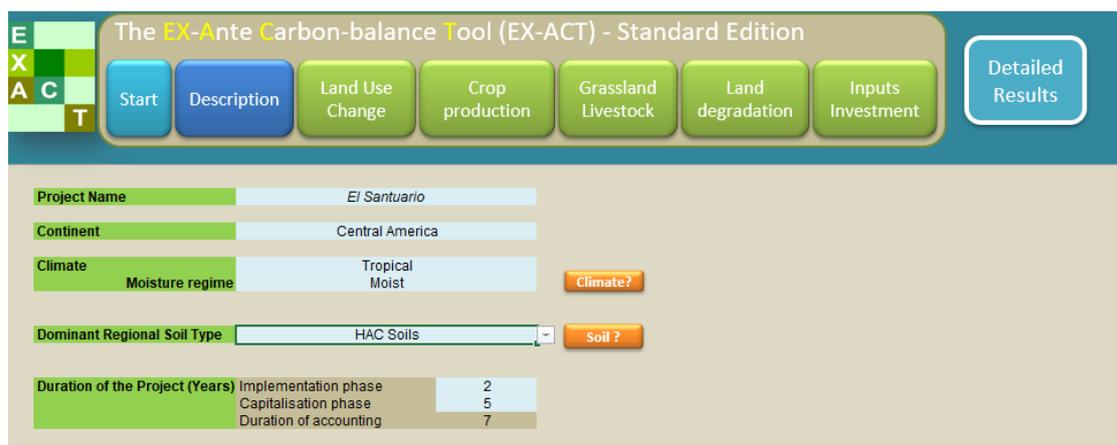
EX-ACT realiza el balance neto de todos los GEI expresados en las unidades de CO₂ equivalente que se evitarían en comparación con un escenario “*bussiness as usual*”. EX-ACT (herramienta

²⁵ <http://www.fao.org/tc/exact/pagina-principal-de-ex-act/es/>

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

para el balance de carbono ex-ante), ha sido desarrollada por tres departamentos distintos de la FAO: División de Apoyo a la Elaboración de Políticas y Programas [TCS], División del Centro de Inversiones [TCI] y División de Economía del Desarrollo Agrícola [ESA]).

Como ya se ha comentado, la herramienta funciona como un comparativo, permitiendo evaluar el ahorro a partir de tres parámetros: el estado inicial; cómo evolucionará en caso de que el proyecto no se aplique; y cómo lo hará en el caso de que se aplique. Para el proyecto que nos ocupa, se ha decidido contabilizar la energía inicial consumida como 0, puesto que, como toda es renovable, no produce emisiones, y la consumida, en caso de que se aplique, asimismo como 0, puesto que también será 100% renovable.



Duration of the Project (Years)		
Implementation phase		2
Capitalisation phase		5
Duration of accounting		7

Ilustración 46: Interfaz principal del software. Fuente: FAO.

Con todo, EX-ACT hace un balance entre los tres escenarios para obtener el secuestro neto de carbono con la operación. Asimismo, el programa sólo cuenta con el factor de conversión para el uso de red eléctrica, por lo que únicamente se comprobará que se cumpla la hipótesis de la conexión a la Red Nacional corroborando la cifra obtenida en la ecuación (42), calculando posteriormente los beneficios potenciales que se obtendrían para los casos de motor diésel, Red Nacional y plena carga.

En efecto se comprueba que los factores de conversión que proporciona el programa son bastante similares a los obtenidos mediante el informe de CEPAL antes mencionado. El valor introducido en la casilla de consumo eléctrico han sido los 73.000 kWh/año (73 MWh/año) mencionados en el punto 7.4, referido a las emisiones a plena carga. Corrigiendo, pues, el valor obtenido, se muestran los potenciales beneficios que obtendría la comunidad en cada caso. Para el cálculo, se ha utilizado el precio medio anual de la tonelada de CO₂ equivalente para el 2019, ofrecido por el portal sendeco2²⁶, que es de 23,58 €/Tonelada CO₂eq.

²⁶ <https://www.sendeco2.com/es/precios-co2>

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

- Motor Diésel:

$$61,32 \frac{TNCO_2eq}{año} * 23,58 \frac{€}{TNCO_2eq} = 1442,92 \frac{€}{año} \quad (43)$$

- Red Eléctrica Nacional:

Ilustración 47: Cálculo de las emisiones por uso de la energía eléctrica. Fuente: FAO.

6.2 Energy consumption (electricity, fuel,...)									
Description and unit to report	Quantity consumed per year					Total Emissions (tCO ₂ -eq)		Balance	
	Start	Without	With	With	With	Without	With		
Electricity (MWh per year)									
Honduras	0	73	0	0	0	26,01	0	-26,01	
Liquide or gaseous (in m³ per year)									
Gasoil/Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	
Gasoline	0	0	0	0	0	0	0	0	
Gas (LPG/ natural)	0	0	0	0	0	0	0	0	
Butane	0	0	0	0	0	0	0	0	
Propane	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ethanol	0	0	0	0	0	0	0	0	
User defined (Tier 2):	0	0	0	0	0	0	0	0	
Solid (in tonnes of dry matter per year)									
Wood	0	0	0	0	0	0	0	0	
Peat	0	0	0	0	0	0	0	0	
* Note concerning dynamics of change: D correspond to "Default", "I" to Immediate and "E" to Exponential (Please refer to the Guidelines)									
Tier 2						Total from energy	26	0	-26

$$26,01 \frac{TNCO_2eq}{año} * 23,58 \frac{€}{TNCO_2eq} = 613,52 \frac{€}{año} \quad (44)$$

Y a plena carga,

- Motor Diésel:

$$239,4 \frac{TNCO_2eq}{año} * 23,58 \frac{€}{TNCO_2eq} = 5589,99 \frac{€}{año} \quad (45)$$

- Red Eléctrica Nacional:

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

$$100,6 \frac{TNCO_2eq}{año} * 23,58 \frac{€}{TNCO_2eq} = 2372,15 \quad (46)$$

Es necesario mencionar que estos últimos dos valores no son del todo exactos, puesto que el gasificador también produce ciertas emisiones que pueden variar según distintos parámetros: grado de carga, calidad de la combustión, tipo de madera... De todos modos, se podrían plantear acciones de compensación que, debidamente certificadas, servirían para compensar las emisiones del equipo y poder ingresar más por los derechos de emisión.

Por último, aunque no se puedan contabilizar como derechos de emisión y únicamente para tener una idea global del secuestro anual de CO₂ equivalente que se podría llegar a producir con el proyecto eléctrico junto con el silvopastoril, se han solicitado a la FAO los datos de estudio junto ACICAFOC de EX-ACT. Los resultados se muestran a continuación:

La captura total asciende a 139.142 toneladas de CO₂ equivalente, lo que muestra el mayor impacto que tiene en este caso el proyecto silvopastoril sobre el eléctrico, mediante acciones que principalmente se basan en la prevención de la deforestación y el cambio de tipos de cultivo para aplicar técnicas más sostenibles.

Component of the project	Gross fluxes			Share per GHG of the Balance					Results per year		
	Without	With	Balance	Result per GHG			N ₂ O	CH ₄	without	with	Balance
	All GHG in tCO ₂ eq			CO ₂	Soil	Other					
	Positive = source / negative = sink			Biomass	Soil	Other					
Land Use Changes											
Deforestation	160.255	53.418	-106.836	-95.968	-10.868		0	0	22.894	7.631	-15.262
Afforestation	0	-1.300	-1.300	-869	-431		0	0	0	-186	-186
Other	0	-2.689	-2.689	-293	-2.395		0	0	0	-384	-384
Agriculture											
Annual	0	-14	-14	0	-14		0	0	0	-2	-2
Perennial	0	-2.832	-2.832	-2.622	-210		0	0	0	-405	-405
Rice	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
Grassland & Livestocks											
Grassland	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
Livestock	0	95	95				23	72	0	14	14
Degradation	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
Inputs & Investments	36.644	11.077	-25.566			-17.772	-7.794		5.235	1.582	-3.652
Total	196.898	57.756	-139.142	-99.753	-13.918	-17.772	-7.771	72	28.128	8.251	-19.877

Ilustración 48: Secuestro total de CO₂ equivalente. Fuente: FAO.

Una vez conocidos todos los parámetros, existen diferentes métodos que pueden ser útiles para certificar las emisiones, como por ejemplo el protocolo de Carbón Neutro o las normas PAS 2050 y 2060.

Ahora bien, el problema al que se enfrenta la Comunidad viene dado por su tamaño: las iniciativas destinadas a cuantificar y certificar emisiones en núcleos comunitarios tan reducidos no cuentan con ningún tipo de apoyo, ya que estas emisiones son ínfimas en comparación a los grandes generadores de emisiones y no resulta rentable invertir recursos para los beneficios obtenidos, aunque para la comunidad esta cantidad de dinero signifique quizás 1 o 2 años de ahorro. Solo para tener una idea, un pasajero de un avión que viaje desde Madrid a Tegucigalpa

emite 1,278²⁷ toneladas de CO₂.

Para hacer frente a este inconveniente, la intención del proyecto es que no se aplique simplemente a una comunidad, sino que, comprobada su viabilidad, pueda ser replicable en otros lugares para así considerarlos como un solo ente y certificar el mayor número de emisiones posibles, consiguiendo así crear una red de instalaciones limpias y sostenibles.

8. Conclusiones

Una vez completado el proceso de análisis de necesidades, de haber diseñado y desarrollado el proyecto de la micro red híbrida y exponiendo a su vez los sistemas de gestión económica y de medición y certificación de emisiones, se resumen a continuación las principales conclusiones extraídas de todo el proceso:

- ❖ La solución propuesta se plantea como una vía para combatir la pobreza energética, mejorar las condiciones de vida y aumentar la resiliencia al cambio climático de las comunidades rurales en cualquier parte del mundo, aplicando un carácter innovador mediante la dualidad fotovoltaica-biomasa/gasificador.
- ❖ La red servirá para el suministro tanto individual como comunitario, haciendo especial hincapié dentro de los usos comunitarios en la energía demandada para el proyecto silvopastoril y de agroforestería que en este caso llevan a cabo conjuntamente la FAO y ACICAFOC.
- ❖ El proyecto aspira a tener una replicabilidad alta, por lo que adquiere suma importancia conocer cómo la comunidad va a gestionar el nuevo recurso, tanto a nivel de consumo eléctrico como en lo referido a los aspectos económicos. En este sentido, la asimilación del concepto de eficiencia energética adquiere gran importancia para el éxito del proyecto.
- ❖ Establecer el consumo eléctrico para genera la curva de demanda ha sido un proceso realizado mediante estimación y consulta con la propia comunidad, por lo que la instalación permitirá conocer hasta qué punto son fiables estas estimaciones, pudiendo actuar en consecuencia en actuaciones ulteriores, si fuera necesario.
- ❖ De gran importancia va a ser que las formaciones y capacitaciones para la comunidad se adapten a sus necesidades y circunstancias, ya que la sostenibilidad de la instalación también dependerá de que ellos mismos la conozcan y entiendan.
- ❖ Se ha constatado la enorme dificultad, trabajo y tiempo que supone conseguir fondos para proyectos de cooperación en todos los ámbitos, tomando consciencia del enorme esfuerzo que supone sacar adelante estas iniciativas.
- ❖ Mediante la beca otorgada por el Centro de Cooperación al Desarrollo (CCD) de la Universitat Politècnica de València (UPV) he tenido la oportunidad de viajar a Honduras para colaborar con el Instituto de Ingeniería Energética (IIE) en la toma y validación de datos para el diseño de la red, trabajando juntamente con los actores implicados en el proyecto (FAO, ACICAFOC, la comunidad de El Santuario) para los que solo tengo palabras de gratitud por toda la ayuda recibida, por la experiencia vivida y por los conocimientos adquiridos.

²⁷ <https://www.ceroco2.org/calculadoras/calculo-avion>

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

- ❖ He tenido también la ocasión de conocer el aspecto más institucional de los proyectos de cooperación, participando en distintas reuniones con La Agencia Española para la Cooperación y el Desarrollo (AECID) y la hondureña Dirección Nacional de Cambio Climático (DNCC) para dar a conocer el proyecto.
- ❖ Por último, en mayo de 2019 fui invitado por la FAO a su sede central en Roma para presentar las experiencias personales vividas durante mi estancia en la comunidad, conociendo de primera mano el funcionamiento de un gran Organismo Internacional de referencia.

9. Bibliografía

- BARDI, U., EL ASMAR, T. y LAVACCHI, A., 2013. Turning electricity into food: the role of renewable energy in the future of agriculture. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 53, pp. 224-231. DOI 10.1016/j.jclepro.2013.04.014. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.014>.
- CEPAL, 2007. Anuario Estadístico de América Latina y El Caribe. Santiago de Chile
- CEPAL, 2014. Centroamérica: Estadísticas del subsector eléctrico 2013. México
- DGE-SERNA, 2009. Prospectiva energética de Honduras. Tegucigalpa, Honduras.
- FAO.ORG, 2016. IMPACTO SOBRE LA AGRICULTURA Y LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Guatemala Panorama y perspectivas Respuesta de FAO. [en línea]. S.I. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-br092s.pdf>.
- FLORES BARAHONA, M.A., 2018. Informe Nacional de Monitoreo de la Eficiencia Energética de Honduras. Honduras.
- IEA, 2018. World Energy Access 2018. S.I.
- VAN DER ZEE ARIAS, A., VAN DER ZEE, J., MEYRAT, A., POVEDA, C. y PICADO, L., 2012. Estudio de caracterización del Corredor Seco Centroamericano, Tomo I. [en línea]. Honduras. Disponible en: https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/tomo_i_corredor_seco.pdf.
- VAQUÉ, J., 2017. Cronología del Corredor Seco: El acelerador de la resiliencia en Centroamérica.

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

DOCUMENTO II

PRESUPUESTO

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

1. Presupuesto

1.1. Presupuesto de implantación

Con toda la información recogida en este trabajo ya se puede elaborar el llamado presupuesto de implantación, es decir, el coste en términos globales de llevar a cabo todas las actuaciones en la comunidad. Aunque la idea principal es implementar el proyecto en el menor plazo posible, los diferentes escollos económicos para la financiación de equipos lo relegan para ser ejecutado en un futuro más o menos próximo, a corto/medio plazo.

Los costes de implantación pueden dividirse en tres capítulos, los cuales se detallarán a continuación:

- Costes de ingeniería
- Costes de equipos
- Costes de formación

1.1.1. Costes de ingeniería

Los costes de ingeniería vienen a cuantificar las horas de los profesionales que han trabajado en la elaboración del proyecto, juntamente con los desplazamientos y dietas que se pudieran dar para realizar los diferentes estudios preliminares.

Los costes totales se obtienen del producto de las horas trabajadas con los honorarios percibidos por hora dedicada, dividiéndose a su vez en los honorarios percibidos en las oficinas y los generados por los desplazamientos y las dietas, donde se va a considerar el viaje a la comunidad de un equipo formado por 4 personas para estar 4 días en Honduras, ya sea para los estudios de campo como para las distintas reuniones institucionales, más otro viaje de una semana por el mismo equipo cuando se esté ejecutando la obra de la instalación.

Empleado	Horas	Honorarios (€/h)	Coste (€)
Gerente	45	50	2.250
Ingeniero 1	80	40	3.200
Ingeniero 2	15	40	600
Ingeniero 3	100	30	3.000
Ingeniero 4	70	30	2.100
Ingeniero consultor	20	70	1.400
Ayudante técnico	90	20	1.800
Personal de oficina	100	20	2.000
SUBTOTAL (€)			16.350

Tabla 60: Coste de los empleados en oficinas.

El coste de los empleados en las oficinas asciende a un total de dieciséis mil trescientos cincuenta euros.

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

Empleado	Horas	Honorarios (€/h)	Coste (€)
Ingeniero 1	45	50	2.250
Ingeniero 2	45	50	2.250
Ingeniero 3	45	50	2.250
Ayudante técnico	45	30	1.350
SUBTOTAL (€)			8.100

Tabla 61: Coste de empleados desplazados.

El coste de los empleados desplazados asciende a un total de ocho mil cien euros.

Concepto	Número	Coste unitario (€)	Coste (€)
Desplazamiento	8	1500	12.000
Alojamiento	11	80	320
Dietas	132	20	2.640
SUBTOTAL (€)			19.960

Tabla 62: Resumen de dietas, alojamientos y desplazamientos.

Los costes de desplazamientos, alojamientos y dietas ascienden a un total de diecinueve mil novecientos sesenta euros.

Concepto	Coste (€)
Costes de empleados en oficina	16.350€
Costes de empleados desplazados	8.100
Dietas	19.960
SUBTOTAL (€)	44.410

Tabla 63: Costes de ingeniería

Así pues, los costes del capítulo de ingeniería ascienden a un total de cuarenta y cuatro mil cuatrocientos diez euros.

1.1.2. Costes materiales

Los costes materiales son sin duda la parte que requiere una inversión mayor para el proyecto. Como ya se ha comentado en otros apartados, todos los equipos aquí mencionados son meramente orientativos, de modo que serían válidos cualesquiera con unas características similares. De hecho, para reducir costes debido a la logística de transporte y de cercanía frente a posibles averías, se recomienda que se estudie a fondo el mercado en busca de proveedores locales de los equipos aquí solicitados. El presupuesto en este caso se subdividirá también en capítulos, aunque están incluidos dentro de la misma tabla para facilitar el visionado general.

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

Equipo	Unidades	Precio unitario (€)	Coste (€)
I.BATERIAS			
HOPPECKE 48V Power VL 2-1610	6	15.200	91.200
HOPPECKE 24 V Power VL 2-215	9	1.590	14.310
II.PANELES FOTOVOLTAICOS			
Eagle PERC 48 V60 M X26 MODULOS	7	5.400	37.800
Eagle PERC 24V 60 P X26 MODULOS	18	134	2.412
III.INVERSOR			
Sunny TriPower 25000 TL 48V	2	2.400	4.800
Sunny Boy 48V	9	717,47	6.457,23
IV.GESTORES DE RED			
Sunny Island 8.0 H	6	3926	23.556
V.GESTOR MULTICLUSTER			
Multicluster-Box 6	1	3.300	3.300
VI. ESTRUCTURA DE SOPORTE			
FV915 2 FILAS C/RED 20 PANELES	9	977,5	8.797,5
KHT915 TEJA 2 PANELES	9	87,64	788,76
VII.GASIFICADOR			
AllPowerLabs PP30 25kVA	1	48.200	48.200
VII.TRITURADOR			
Teknamotor 20-SKORPION-160-e	1	3.130	3.130
VIII.CABLEADO			
CABLEADO GENERAL (m)	4.000	2.15	8.600
IX.PROTECCIONES			
DIFERENCIAL ACTI 9 IID	VER MONTAJE DE CUADROS ELECTRICOS		
MAGNETOTERMICO ACTI 9 NG125LMA	VER MONTAJE DE CUADROS ELECTRICOS		
FUSIBLES AC-0 Gg	VER MONTAJE DE CUADROS ELECTRICOS		
PUESTA A TIERRA	VER MONTAJE DE CUADROS ELECTRICOS		
MONTAJE DE CUADROS ELECTRICOS	2	1.200	2.400
PROTECCIONES INDIVIDUALES	86	56.77	4882,22
X.MEDICIÓN DE CONSUMO			
SISTEMA DE CONTADORES	86	250	21.500
SUBTOTAL (€)			282.133,71

Tabla 64: Resumen de costes materiales.

En suma, pues, los costes del capítulo de materiales ascienden a un total de doscientos ochenta y dos mil ciento treinta y tres euros, con setenta y un céntimos.

1.1.3. Costes de formación

Estos costes son los que corresponden a todas las sesiones de capacitación que se van a realizar en la comunidad, que se dividen a su vez en dos tipos: las capacitaciones genéricas y las específicas. Las especificaciones genéricas son las destinadas a dar a conocer la red híbrida a la comunidad: conocimientos de lo que se va a instalar, el tipo instalación en cada vivienda, mantenimiento de la misma, etc. Así como formaciones acerca del uso responsable de la electricidad, la eficiencia energética y los riesgos que conlleva la instalación. De especial importancia son las formaciones para concienciar acerca de la correcta gestión económica y de servicios de la cooperativa, haciendo hincapié en que se entienda el concepto de cooperativa energética y el rol de cada habitante como prosumidor.

Por lo que respecta a las capacitaciones de tipo específico, se centrarán en los habitantes seleccionados para las operaciones más técnicas: funcionamiento, mantenimiento y reparación de la instalación, preparación de la leña, tareas de monitoreo y control, acciones de prevención de riesgos, además de la formación de los encargados de la gestión económica.

Puesto que durante la estancia de los técnicos no será posible realizar todas las capacitaciones, serán realizadas en su mayoría por técnicos nacionales, realizando los técnicos desplazados el apoyo y las capacitaciones intensivas que se consideren necesarias.

Concepto	Número	Horas por sesión	Coste unitario (€/sesión)	Coste (€)
Capacitación genérica	10	10	200	2.000
Capacitación específica	10	30	1.000	10.000
Capacitación intensiva	3	20	1.000	3.000
SUBTOTAL (€)				15.000

Tabla 65: Resumen de costes de formación.

Los costes del capítulo de formación ascienden a un total de quince mil euros.

1.1.4. Presupuesto de Ejecución Material (PEM)

Se calcula como la suma de cada uno de los capítulos anteriores.

Concepto	Coste (€)
Costes de ingeniería	44.410
Costes materiales	282.133,71
Costes de formación	15.000
TOTAL PEM (€)	341.543,71

El coste de ejecución material del proyecto asciende a un total de trescientos cuarenta y un mil quinientos cuarenta y tres euros con setenta y un céntimos.

2.Presupuesto total

Finalmente, al coste de implantación se le han de añadir los gastos generales (GG) y el beneficio industrial (BI) para obtener el Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) y el IVA, quedando el precio final que se presenta a la empresa/administración correspondiente.

Concepto	Coste (€)
PEM	341.543,71
GG (13%)	44.400,7
BI (6%)	20.492
TOTAL PEC (€)	406.436,71
IVA (21%)	85.351,7
TOTAL CON IVA (€)	491.788,11

Finalmente, pues, el presupuesto definitivo para llevar a cabo el proyecto de electrificación rural asciende a un total de cuatrocientos noventa y un mil setecientos ochenta y ocho euros, con setenta y un céntimos.

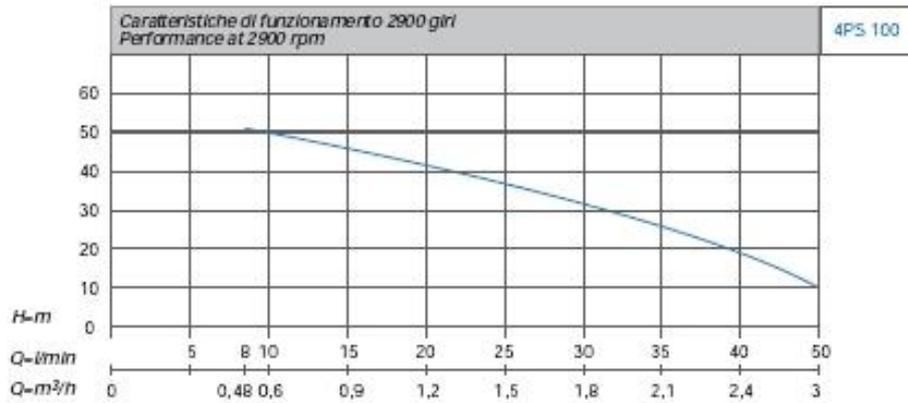
*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

DOCUMENTO III

ANEXOS

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

ANEXO I: ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA POMPA 4PS 100



CARATTERISTICHE TECNICHE 2900 GIRI / TECHNICAL PERFORMANCE AT 2900 RPM

Modello / Model		Hp	kW P1	A Corrente assorbita / Absorbed current		l/min m³/h	Q-Portata - Capacity							
Monofase Single-phase 230V 50Hz	Trifase Three-phase 400V 50Hz			1x230V	3x400V		8	15	20	32	40	50		
4PS 100	4PS 100 t	1	0,75	5,8	2,1	50	44	38	30	22	10	Prevalenza manometrica totale in m. C.A. total head in meters w.c.		



MODELLO POMPA PUMP S MODEL	BOCCA MANDATA OUTLET	DIMENSIONI POMPA mm PUMP S DIMENSIONS mm		PESO WEIGHT
	DNM (G)	A	H	kg
4PS 100	1 G	96	445	12

Ilustración 49: Características técnicas de la bomba.

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*



Ilustración 50: Detalle de la bomba.

ANEXO II. ENCUESTA PARA DETERMINAR LOS HÁBITOS DE CONSUMO

ID Vivienda	Número de Sistemas	Potencia Total	Nº de luminarias	Uso (h/día)	Uso matutino	Nº de radios	Uso (h/día)	Nº de TV	Uso (h/día)	Nº de telf.	Uso (cargas/día)
Joaquín Gómez	1	100	4	5	2	1 BAT	15	0		0	
Danilo Gómez	1	100	4	5	2	1	3	0		1	2
Isidro Martínez	1	100	4	6	3	1 BAT	6	0		3	1.5
Gonzalo Osorto	2	100+?	6	5	2	1	8	1	5	2	2
Juan Alexis	1	100	4	4	2	1 BAT	9	0		1	0.3
Atanasio Carranza	2	100+?	4	4	2	1	3	1	3	5	5
Ramiro Carranza	1	100	4	5	2	1BAT	3	1	2	0	
Patrocinio Ramírez	1	100	4	6	1	1	7	0		1	1
José Zambrano	1	100	4	6	3	1 BAT	17	0		2	1
Basilio Aguilera	1	100	4	4	2	1 BAT	4	0		1	2
Aurelio Pérez	1	100	4	1	0	1 BAT	10	0		1	0.1
Santos Pío Ramírez	1	100	4	4.5	2	0		0		2	2
Oscar Osorto	1	100	4	6	3	0		0		1	1
Pablo Carranza	1	100	4	5	2	1 BAT	4	0		1	1
Jacobo Martínez	2	100+50?	4	4	2	1 BAT	4	0		0	

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero. Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

Santo Osorto	1	100	4	4	0	1 BAT	16	0		0	
Heriberto Martínez	1	100	4	3.5	0.5	1BAT	8	0		1	0.5
Eliseo Carranza	1	100	4	4	2	1 BAT	16	0		1	0.5
Santiago Martínez	2	100+40	4	4	1	0		1	1	2	4
Jesús Martínez	1	100	4	3	1	0		1	1	1	1
Donatilo Martínez	2	100+?	4	3.5	1.5	1 BAT	4	1	1	3	3
Epifanía Ramírez	1	100	4	5	2	1 BAT	17	0		1	2
Bruno Sánchez	1	100	4	5	2	1	3	0		2	2
Marvis Alvarado	1	100	4	6	2	1 BAT	17	0		2	*
Gabriel Sánchez	1	100	4	3	1	1 BAT	8	0		0	
Alejandro Ramírez	1	100	4	4	0	0		1	1	2	2
Felipe Carranza	1	50	4	4	2	0		0		1	1
Santo Gavino Carranza	2	100+75	6	3	1	1 BAT	15	0		1	1
José Gerardo Sánchez	2	100+80?	4	5	2	1 BAT	2	1	2	2	1
Agustín Carranza	1	100	4	3	2	1 BAT	2	0		0	
Blas Martínez	1	100	4	3	1	0		0		0	
Jorge Martínez	2	100+?	4	2	2	1	4	1	2	1	1
Anastasio Ramírez	2	100+65	11	2	1	1 BAT	15	1	3	1	1
Paz Carranza	1	100	4	2	1	1 BAT	15	0		1	1

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero. Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

Eliodoro Martínez	1	100	4	3	1	1BAT	15	0	0	
María Hermelinda Carranza	1	100	4	3.5	1.5	1 BAT	3	0	0	
Víctor David Carranza	1	100	4	4	2	1BAT	4	0	0	
José Antonio Carranza	2	100+40	4	4	2	1BAT	4	0	1	1
Pablo Renán Carranza	1	100	5	4.5	1	1	7	0	2	1.3
Juana Ramírez	2	FOTO	8	2	2	1 BAT	3	1	2	

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero. Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

ID Vivienda	Otros	Uso (h/d ía)	Otros electrodomésticos que gustaría tener	TV 15 0W	Licuada ra (350W)	Equipo de sonido (50W)	Microondas (1000W)	Ventilador (50W)	Refrigerador (500W)	Electrodomésticos (1000W)
Joaquín Gómez	0		TV/ licuadora/micro/refri	1	1		1		1	
Danilo Gómez	0		TV/refri/radio/licuadora	1	1	1			1	
Isidro Martínez	0		TV/música/refri/licuadora	1	1	1			1	
Gonzalo Osorto	0		refri/música/licuadora		1	1			1	
Juan Alexis	0		TV/licuadora	1	1					
Atanasio Carranza	máquina de trasquilar humanos Whal USA	esporádica	refri/ licuadora		1				1	
Ramiro Carranza	0		0							
Patrocinio Ramírez	0		TV/Sonido	1		1				
José Zambrano	equipo sonido 105 W	2	TV/ estufa/ licuadora/ micro	1	1		1			1
Basilio Aguilera	equipo sonido 22W	4	TV/refri	1					1	
Aurelio Pérez	0		equipo/TV/licuadora	1	1	1				
Santos Pío Ramírez	Equipo de sonido de 49W	2	refri/TV/licuadora	1	1				1	

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero. Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

Oscar Osorto	0		TV/sonido/ventilador/licuadora	1	1	1		1
Pablo Carranza	0		Sonido/ventilador/TV/licuadora	1	1	1		1
Jacobo Martínez	0		TV	1				
Santo Osorto	0		Ventilador					1
Heriberto Martínez	0		TV	1				
Eliseo Carranza	0		licuadora/TV	1	1			
Santiago Martínez	0		refri/ licuadora		1			1
Jesús Martínez	0		teléfono/refri					1
Donatilo Martínez	0		licuadora		1			
Epifanía Ramírez	0		TV	1				
Bruno Sánchez	0		TV/licuadora	1	1			
Marvis Alvarado	*		*					
Gabriel Sánchez	0		!!					
Alejandro Ramírez	Equipo de sonido 49W	2	refri/estufa/micro				1	1
Felipe Carranza	0		TV	1				
Santo Gavino Carranza	0		TV	1				
José Gerardo Sánchez	0		refri/micro/licuadora/ventilador		1		1	1

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero. Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

Agustín Carranza	0					
Blas Martínez						
Jorge Martínez	0		refri/plancha			1 1
Anastasio Ramírez	licuadora de 350 W	0.05	refri			1
Paz Carranza	0		TV	1		
Eliodoro Martínez	equipo de sonido de 45 W	2	TV	1		
María Hermelinda Carranza	equipo de sonido con microSD	2	licuadora		1	
Víctor David Carranza	equipo de sonido de 45 W	2	0			
José Antonio Carranza	0		TV	1		
Pablo Renán Carranza	Cafetera de 900 W		licuadora/TV	1	1	1
Juana Ramírez	equipo de sonido de 50 W	2	refri			1

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero. Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

ID Vivienda	Satisfacción actual	Uso del keroseno	Cantidad por mes	Uso de pilas	Cantidad por mes	Leña para alumbrarse?	Ocupantes	Observaciones
Joaquín Gómez	SI	NO		SI	3	NO	7	
Danilo Gómez	SI	NO		NO		NO	5	
Isidro Martínez	SI	NO		NO		NO	8	
Gonzalo Osorto	SI	NO		SI	1	NO	8	
Juan Alexis	SI	NO		SI	2	NO	5	
Atanasio Carranza	SI	NO		SI	2	NO	7	
Ramiro Carranza	SI	NO		SI	2	NO	8	
Patrocinio Ramírez	SI	NO		SI	2	NO	6	
José Zambrano	SI	NO		SI	6	NO	4	
Basilio Aguilera	SI	NO		SI	4	NO	5	
Aurelio Pérez	SI	NO		SI	6	NO	5	
Santos Pío Ramírez	SI	NO		SI	2	NO	8	
Oscar Osorto	SI	NO		NO		NO	7	
Pablo Carranza	SI	NO		SI	4	NO	6	

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero. Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

Jacobo Martínez	SI	NO	SI	6	NO	3	
Santo Osorto	SI	NO	SI	3	NO	2	
Heriberto Martínez	SI	NO	SI	6	NO	2	
Eliseo Carranza	SI	NO	SI	4	NO	3	
Santiago Martínez	SI	NO	SI	6	NO	8	
Jesús Martínez	SI	NO	SI	4	NO	2	
Donatilo Martínez	SI	NO	SI	4	NO	8	
Epifanía Ramírez	SI	NO	SI	4	NO	5	
Bruno Sánchez	SI	NO	SI	2	NO	5	
Marvis Alvarado*	SI	NO	SI	4	NO	6	No estaba en casa. Responde su hermano
Gabriel Sánchez	SI	NO	SI	4	NO	3	
Alejandro Ramírez	SI	NO	SI	2	NO	7	
Felipe Carranza	SI	NO	SI	2	NO	1	Se le ha estropeado la instalación que adquirió por su cuenta. Ahora utiliza el candil

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero. Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

Santo Gavino Carranza	SI	NO		SI	6	NO	4	
José Gerardo Sánchez	SI	NO		SI	4	NO	2	
Agustín Carranza	SI	NO			4	NO	2	
Blas Martínez	SI	SI	1h día	SI	2	NO	2	No le instalaron iluminación en la cocina
Jorge Martínez	SI	NO		SI	2	NO	6	
Anastasio Ramírez	SI	NO		SI	5	NO	4	
Paz Carranza	SI	NO		SI	4	NO	6	
Eliodoro Martínez	SI	NO		SI	4	NO	2	
María Hermelinda Carranza	SI	NO		SI	4	NO	3	
Víctor David Carranza	SI	NO		SI	4	NO	2	
José Antonio Carranza	SI	NO		SI	4	NO	2	Persona mayor con muy pocos recursos
Pablo Renán Carranza	SI	NO		SI	4	NO	7	Posada

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero. Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

Juana Ramírez	SI	NO	SI	4	NO	3	Mejor casa de la comunidad, construida con azulejo y cemento
----------------------	----	----	----	---	----	---	--

ANEXO III. CONSUMO DE LEÑA ESTIMADO

Tipo de fogón	Comidas al día	Comensales	Niños	Adultos	Consumo día 1	Consumo día 2	Consumo día 3	Consumo día 4	Consumo día 5	observaciones	ID Vivienda	Media consumo (kg)
Trad.	3	5	3	2	5,5	8	6	8	7		Aurelio Pérez	6,9
Mej.	3	5	3	2	9	13	10,5	6	9,5		Juan Alexis	9,6
Mej.	3	7	3	4	11	10,5	12,5	31,5	8	Valor de 31,5 debido al horneado de pan en horno de barro	Pablo Carranza	14,7
Trad.	3	8	3	5	21	11	17,5	19,5	19		Santos Pío	17,6
Trad.	3	3	2	1	8,5	4	6	10	6,5		María Hermelinda	7
Mej.	3	8	0	8	17	19,5	24,5	9	13,5		Concepción Martínez	16,7
TOTAL		36									Media de consumo por vivienda (kg)	11,2
											Consumo por persona (kg)	2

Mej.: Fogón mejorado; Trad.: Fogón mejorado

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero. Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

ANEXO V. GUÍA BT-22

1. PROTECCIÓN DE LAS INSTALACIONES

1.1 Protección contra sobreintensidades

Todo circuito estará protegido contra los efectos de las sobreintensidades que puedan presentarse en el mismo, para lo cual la interrupción de este circuito se realizará en un tiempo conveniente o estará dimensionado para las sobreintensidades previsibles.

Las sobreintensidades pueden estar motivadas por:

- Sobrecargas debidas a los aparatos de utilización o defectos de aislamiento de gran impedancia.
- Cortocircuitos.
- Descargas eléctricas atmosféricas

a) Protección contra sobrecargas. El límite de intensidad de corriente admisible en un conductor ha de quedar en todo caso garantizada por el dispositivo de protección utilizado.

El dispositivo de protección podrá estar constituido por un interruptor automático de corte omnipolar con curva térmica de corte, o por cortacircuitos fusibles calibrados de características de funcionamiento adecuadas.

b) Protección contra cortocircuitos. En el origen de todo circuito se establecerá un dispositivo de protección contra cortocircuitos cuya capacidad de corte estará de acuerdo con la intensidad de cortocircuito que pueda presentarse en el punto de su conexión. Se admite, no obstante, que cuando se trate de circuitos derivados de uno principal, cada uno de estos circuitos derivados disponga de protección contra sobrecargas, mientras que un solo dispositivo general pueda asegurar la protección contra cortocircuitos para todos los circuitos derivados.

Las características de funcionamiento de un dispositivo que protege un cable (o conductor) contra sobrecargas deben satisfacer las dos condiciones siguientes:

- 1) $I_B \leq I_n \leq I_z$
- 2) $I_2 \leq 1,45 I_z$

Siendo:

- I_B corriente para la que se ha diseñado el circuito según la previsión de cargas.
 I_z corriente admisible del cable en función del sistema de instalación utilizado (ver GUÍA-BT-19 pto. 2.2.3 y la norma UNE 20460-5-523).
 I_n corriente asignada del dispositivo de protección.
Nota: Para los dispositivos de protección regulables, I_n es la intensidad de regulación seleccionada.
 I_2 corriente que asegura la actuación del dispositivo de protección para un tiempo largo (t_c tiempo convencional según norma).

El valor de I_2 se indica en la norma de producto o se puede leer en las instrucciones o especificaciones proporcionadas por el fabricante:

$$I_2 = 1,45 I_n \text{ (para interruptores según UNE EN 60898 o UNE EN 61009)}$$
$$I_2 = 1,30 I_n \text{ (para interruptores según UNE EN 60947-2)}$$

Todo dispositivo de protección contra cortocircuitos deberá cumplir las dos condiciones siguientes:

- 1) El poder de corte del dispositivo de protección debe ser igual o mayor que la intensidad de cortocircuito máxima prevista en su punto de instalación, tal y como se ha explicado anteriormente.

Se acepta un poder de corte inferior al resultante de la aplicación de la condición anterior si existe otro dispositivo con el suficiente poder de corte instalado aguas arriba. En este caso, las características de ambos dispositivos deben coordinarse de forma que la energía que dejan pasar ambos dispositivos de protección no exceda la que pueden soportar, sin dañarse, el dispositivo y el cableado situado aguas abajo del primer dispositivo.

La protección que combina dos dispositivos de protección en serie, se denomina protección serie o de acompañamiento.

- 2) El tiempo de corte de toda corriente que resulte de un cortocircuito que se produzca en un punto cualquiera del circuito, no debe ser superior al tiempo que los conductores tardan en alcanzar su temperatura límite admisible.

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

Para los cortocircuitos de una duración no superior a 5 s, el tiempo t máximo de duración del cortocircuito, durante el que se eleva la temperatura de los conductores desde su valor máximo admisible en funcionamiento normal hasta la temperatura límite admisible de corta duración, se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\sqrt{t} = k \times \frac{S}{I}$$

que se puede presentar en la forma práctica por:

$$(I^2t)_{IA} \leq (I^2t)_{Cable} = k^2 S^2$$

Siendo:

- t duración del cortocircuito en segundos
- S sección en mm^2
- I corriente de cortocircuito efectiva en A, expresada en valor eficaz
- k constante que toma los valores siguientes, tomados de la norma UNE 20460-4-43:

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

ANEXO VI. GUIA BT ANEXO 3

MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA	GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN - ANEXOS	GUÍA-BT-ANEXO 3
	CÁLCULO DE CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO	Edición: sep 03 Revisión: 1

CÁLCULO DE CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO.

Como generalmente se desconoce la impedancia del circuito de alimentación a la red (impedancia del transformador, red de distribución y acometida) se admite que en caso de cortocircuito la tensión en el inicio de las instalaciones de los usuarios se puede considerar como 0,8 veces la tensión de suministro. Se toma el defecto fase tierra como el más desfavorable, y además se supone despreciable la inductancia de los cables. Esta consideración es válida cuando el Centro de Transformación, origen de la alimentación, está situado fuera del edificio o lugar del suministro afectado, en cuyo caso habría que considerar todas las impedancias.

Por lo tanto se puede emplear la siguiente fórmula simplificada

$$I_{cc} = \frac{0,8U}{R}$$

Donde:

- I_{cc} intensidad de cortocircuito máxima en el punto considerado
- U tensión de alimentación fase neutro (230 V)
- R resistencia del conductor de fase entre el punto considerado y la alimentación.

Normalmente el valor de R deberá tener en cuenta la suma de las resistencias de los conductores entre la Caja General de Protección y el punto considerado en el que se desea calcular el cortocircuito, por ejemplo el punto donde se emplaza el cuadro con los dispositivos generales de mando y protección. Para el cálculo de R se considerará que los conductores se encuentran a una temperatura de 20°C, para obtener así el valor máximo posible de I_{cc}.

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

ANEXO VII. GUÍA BT-18

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN: PROTECCIONES	GUÍA-BT-18
	INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA	Edición: Oct 05 Revisión: 1

Las dimensiones mínimas recomendadas para los electrodos de puesta a tierra, son las siguientes:

Tipo de electrodo		Dimensión mínima
Picas	barras	$\varnothing \geq 14,2 \text{ mm}$ (acero-cobre 250 μ) $\varnothing \geq 20 \text{ mm}$ (acero galvanizado 78 μ)
	perfiles	Espesor $\geq 5 \text{ mm}$ y Sección $\geq 350 \text{ mm}^2$
	tubos	$\varnothing_{\text{ext}} \geq 30 \text{ mm}$ y Espesor $\geq 3 \text{ mm}$
Placas	rectangular	1 m x 0,5 m Espesor $\geq 2 \text{ mm}$ (cobre); Espesor $\geq 3 \text{ mm}$ (acero galvanizado 78 μ)
	cuadrada	1 m x 1 m Espesor $\geq 2 \text{ mm}$ (cobre); Espesor $\geq 3 \text{ mm}$ (acero galvanizado 78 μ)
Conductor desnudo		35 mm ² (cobre)

La longitud mínima de las picas cilíndricas se indica en la norma de producto aplicable.

3.3 Bornes de puesta a tierra

En toda instalación de puesta a tierra debe preverse un borne principal de tierra, al cual deben unirse los conductores siguientes:

- Los conductores de tierra,
- Los conductores de protección.
- Los conductores de unión equipotencial principal.
- Los conductores de puesta a tierra funcional, si son necesarios.

Debe preverse sobre los conductores de tierra y en lugar accesible, un dispositivo que permita medir la resistencia de la toma de tierra correspondiente. Este dispositivo puede estar combinado con el borne principal de tierra, debe ser desmontable necesariamente por medio de un útil, tiene que ser mecánicamente seguro y debe asegurar la continuidad eléctrica

3.4 Conductores de protección

Los conductores de protección sirven para unir eléctricamente las masas de una instalación a ciertos elementos con el fin de asegurar la protección contra contactos indirectos.

En el circuito de conexión a tierra, los conductores de protección unirán las masas al conductor de tierra.

En otros casos reciben igualmente el nombre de conductores de protección, aquellos conductores que unen las masas:

- al neutro de la red,
- a un relé de protección.

La sección de los conductores de protección será la indicada en la tabla 2, o se obtendrá por

cálculo conforme a lo indicado en la Norma UNE 20.460 -5-54 apartado 543.1.1.

Tabla 2. Relación entre las secciones de los conductores de protección y los de fase

Sección de los conductores de fase de la instalación S (mm ²)	Sección mínima de los conductores de protección S_p (mm ²)
$S \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

Si la aplicación de la tabla conduce a valores no normalizados, se han de utilizar conductores que tengan la sección normalizada superior más próxima.

Los valores de la tabla 2 solo son válidos en el caso de que los conductores de protección hayan sido fabricados del mismo material que los conductores activos; de no ser así, las secciones de los conductores de protección se determinarán de forma que presenten una conductividad equivalente a la que resulta aplicando la tabla 2.

En todos los casos los conductores de protección que no forman parte de la canalización de alimentación serán de cobre con una sección, al menos de:

- 2,5 mm², si los conductores de protección disponen de una protección mecánica.
- 4 mm², si los conductores de protección no disponen de una protección mecánica.

Cuando el conductor de protección sea común a varios circuitos, la sección de ese conductor debe dimensionarse en función de la mayor sección de los conductores de fase.

Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
 Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.

Tabla 3. Valores orientativos de la resistividad en función del terreno

Naturaleza terreno	Resistividad en Ohm.m
Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y Arcillas compactas	100 a 200
Margas del Jurásico	30 a 40
Arena arcillosas	50 a 500
Arena silícea	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 5.000
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3.000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1.000 a 5.000
Calizas agrietadas	500 a 1.000
Pizarras	50 a 300
Roca de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedente de alteración	1.500 a 10.000
Granito y gres muy alterado	100 a 600

Tabla 4. Valores medios aproximados de la resistividad en función del terreno.

Naturaleza del terreno	Valor medio de la resistividad Ohm.m
Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Terraplenes cultivables poco fértiles y otros terraplenes	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables	3.000

Tabla 5. Fórmulas para estimar la resistencia de tierra en función de la resistividad del terreno y las características del electrodo

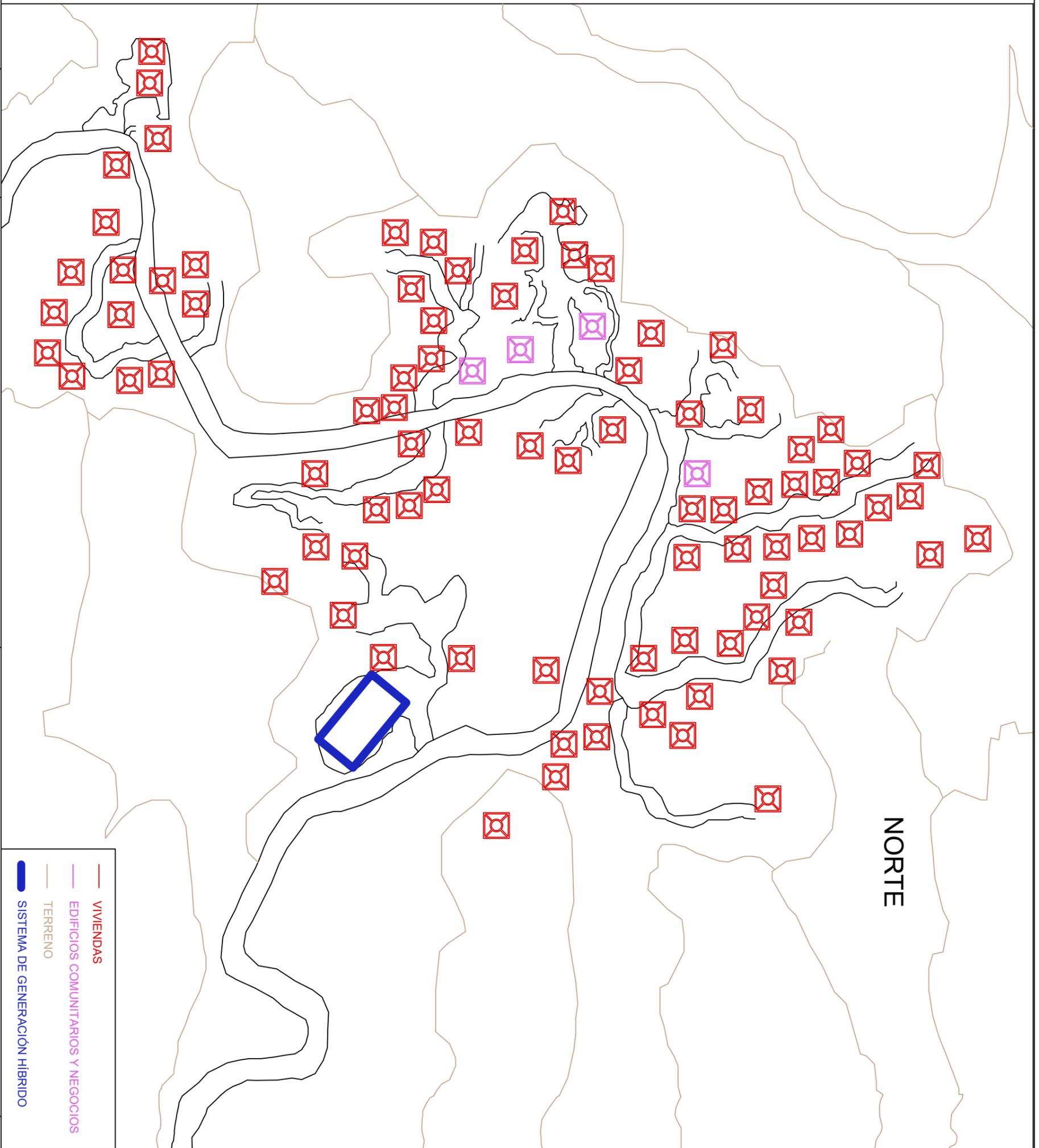
Electrodo	Resistencia de Tierra en Ohm
Placa enterrada	$R = 0,8 \rho/P$
Pica vertical	$R = \rho/L$
Conductor enterrado horizontalmente	$R = 2 \rho/L$

ρ , resistividad del terreno (Ohm.m)
 P, perímetro de la placa (m)
 L, longitud de la pica o del conductor (m)

*Proyecto de mini red híbrida de energías renovables para el desarrollo rural de carbono casi cero.
Aplicación a una comunidad aislada en Honduras.*

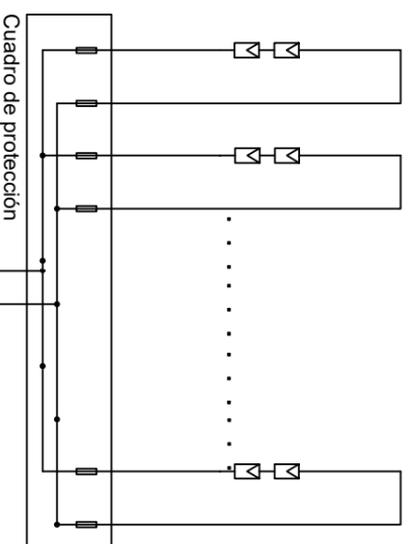
DOCUMENTO IV

PLANOS

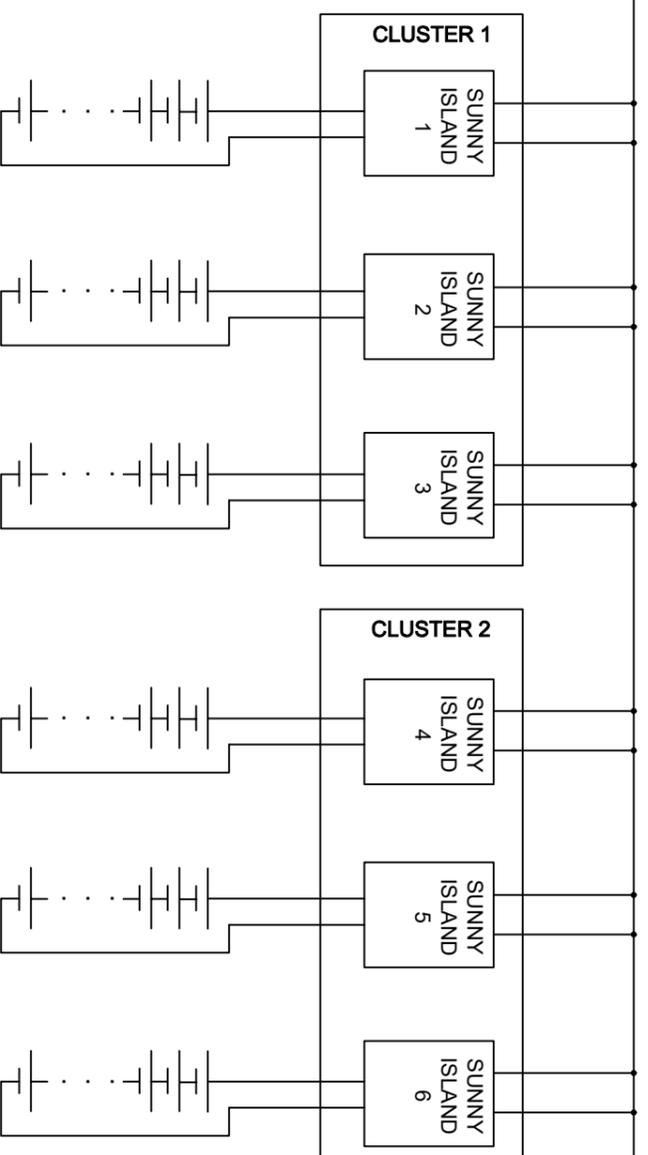
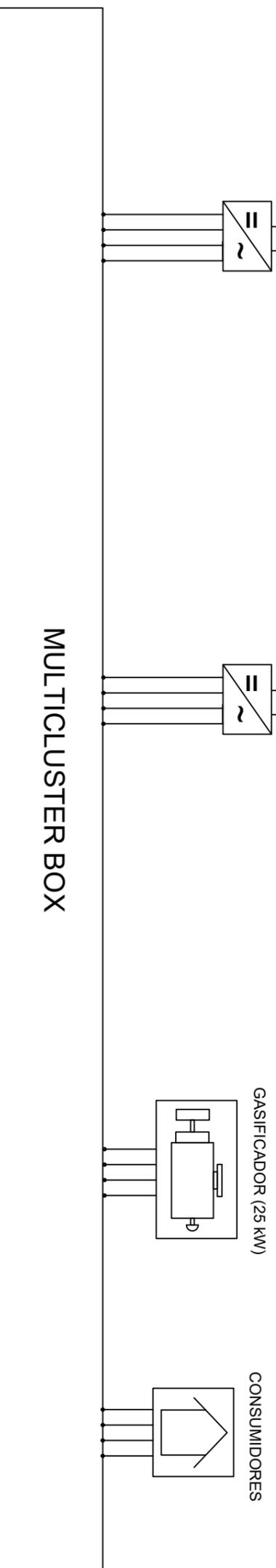
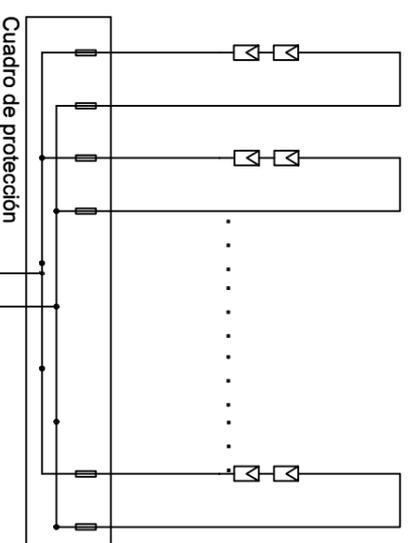


- VIVIENDAS
- EDIFICIOS COMUNITARIOS Y NEGOCIOS
- TERRENO
- SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO

MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS
Agrupación 1

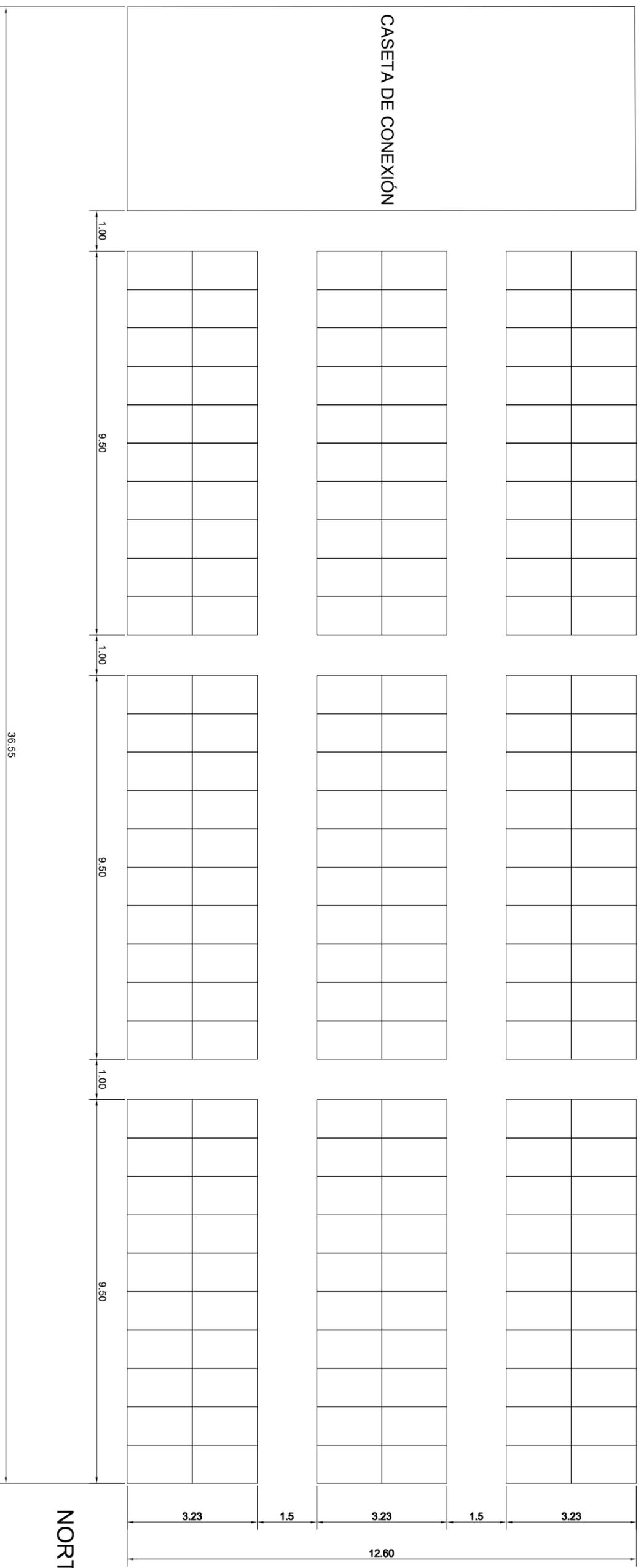


MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS
Agrupación 2



En cada línea de baterías hay 24 vasos de baterías, de 2 V cada uno.
La tensión total de cada línea es de 48 V

PLANTA



CASETA DE CONEXIÓN

NORTE

36.55

1.00

9.50

1.00

9.50

1.00

9.50

3.23

1.5

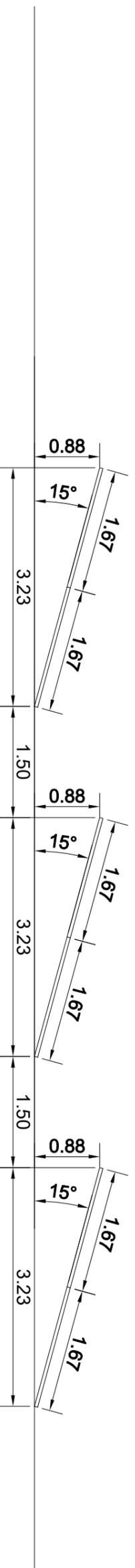
3.23

1.5

3.23

12.60

 <p>TRABAJO FIN DE MÁSTER EN INGENIERIA INDUSTRIAL</p> <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>	 <p>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA</p>	<p>Proyecto: PROYECTO DE MINI RED HÍBRIDA DE ENERGÍAS RENOVABLES PARA EL DESARROLLO RURAL DE CARBONO CASI CERO. APLICACIÓN A UNA COMUNIDAD AISLADA EN HONDURAS</p>	<p>Plano: VISTA EN PLANTA DE LA INSTALACIÓN</p> <p>Autor: Andreu Pons Castell</p>	<p>Fecha: Julio 2019</p> <p>Escala: S/E</p>	<p>Nº Plano: 3</p>
---	--	---	---	---	---------------------------



PERFIL

NORTE

<p>TRABAJO FIN DE MASTER EN INGENIERIA INDUSTRIAL</p> <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p> <p>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA</p>	<p>Proyecto: PROYECTO DE MINI RED HÍBRIDA DE ENERGÍAS RENOVABLES PARA EL DESARROLLO RURAL DE CARBONO CASI CERO. APLICACIÓN A UNA COMUNIDAD AISLADA EN HONDURAS</p>	<p>Plano: VISTA DE PERFIL DE LAS PLACAS</p> <p>Autor: Andreu Pons Castell</p>	<p>Fecha: Julio 2019</p> <p>Escala: S/E</p>	<p>Nº Plano: 4</p>
---	---	---	---	---------------------------