

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS
FÍSICAS Y FORMALES
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA



PROPUESTA TÉCNICA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
PARA EL SUMINISTRO BÁSICO DE ELECTRICIDAD EN
ÁREAS NO CONECTADAS A LA RED PARA LA REGIÓN
AREQUIPA

Tesis presentada por el Bachiller:


DAVID DANIEL HUMPIRE MOJONERO

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Arequipa – Perú
2015

A mis padres, el Sr. Leónidas Humpire y la Sra. Simiona Mojonero por su apoyo en mi formación personal y profesional, eternamente agradecido.



A mis hermosas hermanas Jessica, Rosario y Amanda, parte importante de mi vida.

A mi asesor el Ing. Castillo por la orientación brindada para sacar adelante esta Tesis y al Ing. D. Carcausto por darme la iniciativa del presente y ser un guía en el trabajo.

David Humpire

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	XII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XVI
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Alcances de la propuesta	2
1.4 Plan de trabajo	3
1.4.1 Recolección y validación de información georreferenciada.....	3
1.4.2 Modelamiento de la información georreferenciada	4
1.4.3 Formulación de la propuesta energética	5
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Acceso a la Energía.....	6
2.1.1 Concepto	6
2.1.2 Acceso a la energía en el Perú	7
2.1.3 Energía y desarrollo.....	7
2.1.3.1 Pobreza energética	8
2.1.3.2 Escalera energética	9
2.1.4 Fondo de Inclusión Social Energético.....	10
2.2. Acceso al servicio eléctrico	11

2.2.1 Generalidades.....	11
2.2.2 Electrificación rural en el Perú.....	13
2.2.2.1 Avances de la electrificación rural	15
2.2.2.2 Plan Nacional de electrificación rural.....	15
2.2.3 Suministro de energía con recursos energéticos renovables.....	16
2.2.3.1 Subasta de suministro de electricidad con recursos energéticos	
Renovables en áreas no conectadas a la red.....	18
2.2.3.2 Electrificación rural sostenible	19
2.3. Oferta Energética	20
2.3.1 Tecnologías convencionales	21
2.3.1.1 Redes eléctricas	21
2.3.1.2 Sistemas eléctricos aislados	24
2.3.2 Tecnologías no convencionales	24
2.3.2.1 Sistemas fotovoltaicos	25
2.3.2.2 Sistemas eólicos.....	27
2.3.2.3 Microcentrales	29
2.4. Demanda Energética	31
2.4.1 Necesidades energéticas	31
CAPITULO III: ANÁLISIS DE LA OFERTA ENERGÉTICA.....	33
3.1. Selección tecnológica.....	33
3.2. Modelamiento de la oferta energética existente y proyectada.....	40
3.2.1 Infraestructura eléctrica	40
3.2.1.1 Red eléctrica existente	40
3.2.1.2 Red eléctrica proyectada	40
3.2.2 Factibilidad de la infraestructura eléctrica	41

CAPITULO IV: ANÁLISIS DE LA DEMANDA ENERGÉTICA.....	43
4.1. Criterios de selección	43
4.1.1 Análisis de accesibilidad	44
4.1.2 Análisis de potencial solar	44
4.2. Resultados del modelamiento	45
CAPITULO V: PROPUESTA ENERGÉTICA CON SISTEMAS	
FOTOVOLTAICOS	46
5.1. Tecnologías fotovoltaicas	46
5.1.1 Efecto fotovoltaico	46
5.1.2 Celdas fotovoltaicas	46
5.1.2.1 Celdas de silicio monocristalino.....	47
5.1.2.2 Celdas de silicio policristalino	48
5.1.2.3 Celdas de película delgada	48
5.1.3 Sistema fotovoltaico	49
5.1.3.1 Sub-sistema de generación.....	50
5.1.3.2 Sub-sistema de acumulación	54
5.1.3.3 Sub-sistema de regulación de carga.....	57
5.1.3.4 Sub-sistema de acondicionamiento.....	59
5.2. Dimensionamiento	60
5.2.1 Aspectos generales	60
5.2.2 Oferta Eléctrica fotovoltaica	67
5.2.2.1 Identificación del potencial solar.....	68
5.2.2.2 Identificación del consumo energético	69
5.2.2.3 Sistema fotovoltaico para vivienda rural	71

5.2.2.4 Sistema fotovoltaico para centro de salud básico.....	72
5.2.2.5 Sistema fotovoltaico para escuela básica.....	73
5.2.2.6 Sistema fotovoltaico para tambos.....	73
5.2.2.7 Picopaneles fotovoltaicos.....	74
5.2.2.8 Sistemas fotovoltaicos para pequeños usos productivos	75
5.3. Presupuesto de instalaciones.....	81
5.4. Transferencia tecnológica y sostenibilidad	83
CONCLUSIONES	86
RECOMENDACIONES.....	89
BIBLIOGRAFÍA	90
ANEXOS	93
I. Análisis generador convencional y sistemas fotovoltaicos individuales.....	94
II. Catálogo de mapas del Modelamiento	98
III. Metodología de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos	107
IV. Glosario de términos, siglas y términos	113
V. Fichas técnicas	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Información georreferenciada.....	3
Tabla 2. Proyectos para el desarrollo de nuevos suministros en la frontera energética. 11	
Tabla 3. Niveles de electrificación en Sudamérica.....	14
Tabla 4. Implementación del Plan Nacional de Electrificación Rural 2014-2023	16
Tabla 5. Instalaciones Fotovoltaicas por Región	17
Tabla 6: Instalaciones Fotovoltaicas por capacidad	17
Tabla 7: Tecnologías no convencionales	25
Tabla 8: Clasificación de los sistemas hidráulicos según la potencia instalada.....	30
Tabla 9. Características técnicas de las alternativas	34
Tabla 10. Características de sistemas térmicos aislados	37
Tabla 11. Costos de Microcentrales hidroeléctricas	39
Tabla 12. Costo de picocentrales hidroeléctricas con almacenamiento.....	39
Tabla 13. Resultados por provincia del modelamiento.....	45
Tabla 14. Características de celdas fotovoltaicas	48
Tabla 15. Condiciones STC.....	51
Tabla 16. Condiciones NOCT	51
Tabla 17. Características técnicas de baterías	57
Tabla 18. Características técnicas de controladores de carga.....	58
Tabla 19. Características técnicas de Inversores de Corriente	59
Tabla 20. Niveles de Pobreza monetaria por provincia en Arequipa	60
Tabla 21. Suministros eléctricos por Empresa	62
Tabla 22. Suministros por nivel de consumo y promedio.....	62
Tabla 23. Suministros por provincia entre 1 y 30 kwh	63

Tabla 24. Distritos con comunidades sin cobertura eléctrica	65
Tabla 25. Irradiación Global Media en kwh/m2-dia.....	68
Tabla 26. Demanda de energía Requerida por una vivienda rural	69
Tabla 27. Demanda de energía Requerida por un centro de salud básico.....	69
Tabla 28. Demanda de energía Requerida por una escuela básica	70
Tabla 29. Demanda de energía Requerida para un tambo.....	70
Tabla 30. Análisis fotovoltaico para la región Arequipa	71
Tabla 31. Dimensionado de SFV para vivienda	71
Tabla 32. Dimensionado de SFV centro de salud.....	72
Tabla 33. Dimensionado de SFV para escuela	73
Tabla 34. Dimensionado de SFV para tambo.....	73
Tabla 35. Características técnicas de Pico FV	74
Tabla 36. Potencia requeridas para bombeo solar	76
Tabla 37. Inventario de SFV para el desarrollo rural.....	80
Tabla 38. Sistema fotovoltaico para vivienda	81
Tabla 39. Sistema fotovoltaico para centro de salud	82
Tabla 40. Sistema fotovoltaico para escuela básica.....	82
Tabla 41. Sistema fotovoltaico para tambos.....	83

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1. Coeficiente de Electrificación, GLPización, Gnización	7
Grafico 2. Avances del sector	14
Grafico 3. Evolución del coeficiente de electrificación nacional y rural	15
Grafico 4. Proyección del coeficiente de electrificación nacional y rural.....	16
Grafico 5. Aplicaciones de la energía Solar fotovoltaica	26
Grafico 6. Inversión en electrificación rural por redes en \$/vivienda.....	33
Grafico 7. Comparación inicial de alternativas.....	34
Grafico 8. Curva de costos de inversión de SFV y generador diésel.....	37
Grafico 9. Costo de electrificación en zonas rurales del Perú en \$/vivienda.	41
Grafico 10. Coeficientes de Electrificación total por departamento	61
Grafico 11. Coeficientes de Electrificación rural por departamento	61
Grafico 12. Suministros por provincia entre 1 y 30 kwh	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Objetivos de la iniciativa Energía Sostenible para Todos SE4ALL.....	8
Figura 2. Relación Energía- Desarrollo.	9
Figura 3. Efectos del acceso a servicios energéticos en el desarrollo- ISF.....	10
Figura 4. Sistemas Típicos de Distribución-Densidad de Población.....	12
Figura 5. Costo de distribución eléctrica según densidad de la zona	13
Figura 6. Principales Hitos del proyecto.....	18
Figura 7. Alternativas para la Electrificación Rural	20
Figura 8. Sistema eléctrico de distribución.....	22
Figura 9. Línea Primaria	22
Figura 10. Subestación de distribución aérea.....	23
Figura 11. Sistemas de distribución secundaria	23
Figura 12. Sistema eléctrico aislado tipo térmico- Ático 550 kW, SEAL.....	24
Figura 13. Desarrollo del costo de los módulos fotovoltaicos.	25
Figura 14. Evolución de la capacidad instalada de SFV a nivel mundial	26
Figura 15. Generador eólico de eje horizontal	27
Figura 16. Esquema de un sistema eólico domiciliario	28
Figura 17. Curva velocidad vs potencia en un aerogenerador	28
Figura 18. Salto entre la cámara de carga y turbina	29
Figura 19. Horas de prestación del servicio eléctrico por sistemas aislados	35
Figura 20. Consumo de Fuel vs Potencia.....	36
Figura 21. Curva de rendimiento de pequeño generador diésel	36
Figura 22. Mapa de radiación solar de Sudamérica.....	38
Figura 23. Costos unitarios de energía.....	40

Figura 24 Factibilidad de la red eléctrica.....	42
Figura 25. Modelamiento de la oferta energética	42
Figura 26. Modelamiento de la demanda energética	43
Figura 27. Modelamiento de accesibilidad.	44
Figura 28. Efecto fotovoltaico en un semiconductor.....	46
Figura 29. Evolución de la eficiencia de tecnologías fotovoltaicas	47
Figura 30. Esquema básico de conexión de un SFV aislado de la red	49
Figura 31. Curva I-V de un módulo fotovoltaico a 25°C	52
Figura 32. Curva I-V de un módulo fotovoltaico a 1000 W/m ²	52
Figura 33. Curva I-V indicando punto de máxima potencia a STC	53
Figura 34. Batería Fotovoltaica.	54
Figura 35. Vida de la Batería en función de la temperatura.....	57
Figura 36. Mapa de provincias de la región Arequipa.....	60
Figura 37. Modelamiento para la región Arequipa.....	62
Figura 38. Actividades ganaderas en la región.....	64
Figura 39. Potencial solar en Arequipa.....	68
Figura 40. Configuración de sistemas FV respecto al inversor.....	72
Figura 41. Configuraciones para el bombeo fotovoltaico.....	76
Figura 42. Instalación fotovoltaica para cerco eléctrico	77
Figura 43. Pulsador para cerca eléctrica fotovoltaica.....	78
Figura 44. Maquina hiladora de 70 W	79
Figura 45. Esquiladora a 12 VDC	79

INTRODUCCIÓN

Dentro de la Política Energética Nacional 2010-2040, se elaboró el Plan de Acceso Universal a la Energía 2013-2022, el cual tiene el objetivo de promover desde el ámbito energético, el desarrollo económico eficiente, sustentable con el medio ambiente y con equidad, implementando proyectos que permitan ampliar el acceso universal al suministro energético, priorizando el uso de fuentes energéticas disponibles, debiendo establecer su viabilidad técnica, social y geográfica de los proyectos mencionados, con el objeto de generar una mayor y mejor calidad de vida de las poblaciones de menores recursos en el país.

La importancia del acceso a la energía se debe a que es una condición mínima para el desarrollo de las comunidades, el abastecimiento de energía eléctrica se torna indispensable para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y para la modernización de la economía. En países con características territoriales y demográficas como el Perú, el acceso a la energía resulta económicamente inviable para gran parte de los pobladores de las áreas rurales, además las tecnologías para el empleo de fuentes alternas para la generación de energía eléctrica se encuentran disponibles a nivel comercial desde hace décadas, en versiones cada vez más perfeccionadas sin embargo no han logrado un nivel de aplicación extensiva.

En este contexto, mediante Ley N° 29852 se creó el Fondo de Inclusión Social Energético (FISE), el cual tiene como uno de sus fines la ampliación de la frontera energética, a través del uso de fuentes de energías y tecnologías que aprovechen el recurso energético disponible del lugar, es decir, poder cubrir de manera eficiente las necesidades energéticas de la población para que cuenten con cocción, iluminación, comunicación, calefacción, refrigeración y usos productivos. Para esto el proyecto de instalación masiva de hasta 500,000 sistemas fotovoltaicos en zonas no conectadas a la red, requiere el establecimiento de una metodología para el análisis de la demanda energética y de la formulación de la oferta energética de manera sustentable a largo plazo, para abastecer el suministro básico de electricidad en la región Arequipa. En tal sentido, el presente documento establece una propuesta para atender estos requerimientos, a fin de apoyar el Acceso Universal a la Energía.

RESUMEN

La presente tesis establece una propuesta para atender el suministro básico de electricidad en áreas no conectadas a la red de la región Arequipa, tomando como iniciativa la subasta masiva de sistemas fotovoltaicos que actualmente se lleva a cabo en nuestro País, como política de inclusión eléctrica dentro del marco del plan de Acceso Universal a la Energía.

La propuesta integra cinco capítulos que detallan lo siguiente:

El presente trabajo en su primer capítulo, contempla las generalidades entre las que podemos señalar la motivación, el objetivo principal y los específicos, los alcances y además el plan de trabajo seguido.

En el segundo capítulo se describe el marco teórico, principalmente lo que es el acceso a la energía, ampliación de la frontera energética y dentro de esto, del servicio eléctrico, además de la actualidad de la electrificación rural, el programa masivo de sistemas fotovoltaicos, las tecnologías para el servicio eléctrico, es decir la oferta energética y por último las necesidades energéticas dentro del marco del Plan de Acceso a la Energía.

En tercer capítulo se realiza un análisis de la oferta energética para el suministro de electricidad, que incluye redes convencionales, sistemas eléctricos aislados térmicos y sistemas fotovoltaicos autónomos, estableciendo criterios técnicos para realizar el modelamiento mediante herramientas GIS (Sistemas de Información Geográfico).

Continuamos en el cuarto capítulo con el análisis de la demanda energética de la región Arequipa, que comprende también análisis de accesibilidad y presenta resultados de viviendas, escuelas y centros de salud fuera del alcance de la red eléctrica convencional aplicando los criterios del capítulo anterior.

En el quinto capítulo se describe las tecnologías fotovoltaicas, características técnicas y con esto realizar una identificación de la oferta energética óptima para el suministro básico de electricidad que no cuenta con este servicio, identificado en el capítulo anterior, dimensionando los sub-sistemas de generación, acumulación, regulación y acondicionamiento. Adicional identificamos sistemas fotovoltaicos para el uso productivo de la electricidad que pueden aplicarse para la región en un rango de potencias considerado como pequeño.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones de esta propuesta.

ABSTRACT

This thesis establishes a proposal to meet the basic electricity supply in areas not connected to the network in the Arequipa region, on the initiative massive auction of photovoltaic systems currently carried out in our country, as political power inclusion within the framework of the plan of Universal Energy Access.

The proposal includes five chapters that detail the following:

This paper in its first chapter provides an overview among which we highlight the motivation, the main objective and specific, besides the work plan followed.

The second chapter describes the theoretical framework , mainly what is access to energy, energy expansion of border and within that, the electrical service , plus news about rural electrification, the massive program of photovoltaic systems, technologies for electricity, ie energy supply and finally the energy needs within the framework of Plan Energy Access .

In the third chapter analyzes the energy supply for electricity, including conventional networks, thermal insulated electrical systems and autonomous photovoltaic systems, establishing technical criteria and thereby make modeling tools using GIS (Geographic Information Systems) is performed.

We continue in the fourth chapter to the analysis of the energy demand of the Arequipa region, which also includes analysis of accessibility and presents results of housing, schools and health centers away from the conventional electricity grid using the criteria of the previous chapter.

In the fifth chapter describes photovoltaic technologies, technical characteristics and thereby make an identification of the optimal energy supply for basic electricity that does not have this service, identified in the previous chapter, dimensioning the sub - systems of generation, accumulating, regulating and conditioning. Additional considered photovoltaic systems for the productive use of electricity that can be applied to the region.

Finally, conclusions and recommendations of this proposal are presented.



CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. MOTIVACIÓN

Según el informe World Energy Outlook 2011, se llegó a la conclusión que la ampliación de la red eléctrica es la mejor opción para lograr el acceso al servicio eléctrico en todas las zonas urbanas, sin embargo solo es la mejor opción en un 30% de las zonas rurales. La Agencia Internacional de Energía (AIE) estima que aproximadamente el 45% de las conexiones adicionales necesarias para lograr el acceso universal se hará mediante la ampliación de la red eléctrica, mientras que el otro 55% dependerá de micro-grids y soluciones fuera de la red (off-grid). En el Perú al menos 3 millones de personas carecen de servicio eléctrico, concentradas principalmente en zonas rurales aisladas, donde la dispersión de viviendas es la principal barrera técnica y financiera para la ampliación de redes del sistema interconectado nacional, ocasionando la exclusión de estos grupos sociales de los grandes proyectos de electrificación promovidos por el gobierno.

En el marco del Acceso Universal a la Energía en el Perú, el Ministerio de Energía y Minas convocó a la primera subasta RER para suministro de electricidad con recursos energéticos renovables en áreas no conectadas a Red, que consiste en la adjudicación de la prestación del servicio de electricidad mediante 500,000 sistemas RER autónomas o instalaciones equivalentes alternativas, el cual pretende incrementar la cobertura eléctrica nacional en 7% con una inversión aproximada de 400 millones de dólares.

Por este motivo establecemos la presente propuesta técnica, intentando contribuir al desarrollo del servicio eléctrico en las comunidades rurales del Perú, estando

convencidos que solo el establecimiento de una propuesta apropiada podrá garantizar la permanencia en el tiempo de los esfuerzos desarrollados a favor del abastecimiento energético de las áreas rurales, para que tengan mayores opciones de desarrollo y acceso directo a los servicios más elementales de la vida moderna.

Resulta de mucha importancia que el presente trabajo permite su replicabilidad, entonces puede servir de referencia en la planificación de diversos proyectos de los sectores públicos y privados del sector energía principalmente.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

- Desarrollar una propuesta técnica de sistemas fotovoltaicos para el suministro básico de electricidad en áreas no conectadas a la red para la región Arequipa, aplicando un modelamiento territorial de la demanda de energía fotovoltaica, estableciendo su viabilidad en el marco del Plan de Acceso Universal a la Energía.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Establecer criterios de selección territorial para el acceso universal a la energía mediante la implementación de sistemas fotovoltaicos en áreas no conectadas a Red.
- Identificar la oferta energética óptima basada en sistemas fotovoltaicos para suministro básico de electricidad en la región Arequipa.
- Apoyar la ampliación de la frontera energética e incrementar el coeficiente de electrificación rural mediante el establecimiento de esta propuesta.
- Fomentar el aprovechamiento y uso de las fuentes de energía renovable.

1.3. ALCANCES DE LA PROPUESTA

La presente propuesta contempla la región Arequipa para el análisis, aplicando la metodología de selección territorial de la demanda energética fotovoltaica y la

identificación de la oferta energética óptima basada en sistemas fotovoltaicos para atender los requerimientos básicos de electricidad. Se describe las características técnicas de los sub-sistemas de generación, acumulación, regulación y acondicionamiento además de presupuestos de inversión.

1.4. PLAN DE TRABAJO

La presente propuesta que se describe en este documento se obtiene mediante tres etapas principales:

1. Recolección y validación de información georreferenciada.
2. El modelamiento de la Información georreferenciada.
3. La formulación de la propuesta energética.

1.4.1. Recolección y validación de información georreferenciada.

Consiste el proceso de búsqueda de información necesaria para generar con ella el modelamiento territorial. Esta información se requiere directamente de fuentes como los Ministerios del Estado y organismos involucrados. Este proceso adicionalmente requiere validación de información, además que sea información actualizada, para generar el modelo de forma exitosa.

Tabla 1. Información georreferenciada

INFORMACIÓN	FUENTE
Centros Poblados	INEI-MINEM
Centros de Salud	MINSA
Escuelas	MINEDU
Redes MT existentes	Osinergmin-GART
Redes MT proyectadas	MINEM-DGER
Redes viales	MTC
Mapa de Radiación Solar	MINEM



Fuente: MINEM/MTC/IGN/INEI

1.4.2. Modelamiento de la Información georreferenciada.

Consiste en el análisis de la oferta y la demanda energética, aplicando criterios definidos. Cabe señalar que este modelamiento se realizará mediante herramientas GIS (Sistemas de Información Geográfico).

Considera las siguientes sub-etapas:

1. Modelamiento de Oferta de Energía: Consiste en la georeferenciación de la infraestructura eléctrica (redes de media tensión) y aplicación de criterios de factibilidad (extensión de red). A esto denominamos oferta de energía factible para atender.
2. Modelamiento de Demanda de Energía: Consiste en la georeferenciación de la demanda energética, la cual consiste en los Centro Poblados (CCPP), Escuelas y Centros de Salud. De esto consideramos la demanda que no tiene oferta de energía factible, la cual vendría a ser la demanda sin servicio (demanda a atender mediante esta propuesta).

3. Modelamiento de Accesibilidad a la población objetivo: Consiste en la georeferenciación de las redes Viales Nacionales, departamentales, vecinales y ríos navegables. La información de acceso vial mediante carreteras nacionales, departamentales, vecinales, así como de aeropuertos, puertos, ríos navegables, redes ferroviarias entre otros, es el criterio que nos indica con que prioridad se atenderá a la demanda sin servicio, para la implementación de los sistemas.

1.4.3. Formulación de la propuesta energética

Consiste en el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos para la demanda sin servicio de la región Arequipa, hallada como en la etapa anterior (modelamiento de la información georeferenciada). Se considera el abastecimiento de energía referido al suministro básico de electricidad de viviendas, escuelas, centros de salud y tambos, estableciendo las características técnicas requeridas de los sub-sistemas de generación, acumulación, regulación y acondicionamiento, apoyándonos en tecnologías actuales y los avances en energía fotovoltaica. Además se establece sistemas fotovoltaicos para el uso productivo de la electricidad que pueden aplicarse para la región.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. ACCESO A LA ENERGIA

La iniciativa: Energía Sostenible para todos¹, estimulará nuevas e importantes inversiones que contribuirán a acelerar la transformación de los sistemas energéticos del mundo, favorecerán la eliminación de la pobreza energética y aumentarán la prosperidad con el propósito de movilizar a todas las partes interesadas para que adopten medidas concretas dirigidas a alcanzar tres objetivos prioritarios para el año 2030:

- a) Asegurar el acceso universal a servicios de energía modernos.
- b) Duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.
- c) Duplicar la cuota de las energías renovables en el conjunto de fuentes de energía.

La iniciativa tiene como fin mejorar la vida de miles de millones de personas en todo el mundo y asegurar un futuro más sostenible, dado que el acceso a la energía es una forma esencial de contribuir al progreso social.

2.1.1. Concepto

La Secretaría General sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas², define el acceso a la energía como el acceso a servicios energéticos limpios, confiables y asequibles para cocción, iluminación, calefacción, comunicación y usos productivos.

¹ Energía Sostenible para Todos SE4ALL: Un Programa Mundial de Acción-Asamblea General de las naciones Unidas

² AGECC (Advisory Group on Energy and Climate Change), 2010

El acceso universal a la energía se focaliza en la atención de la demanda de energía de los sectores más vulnerables.

2.1.2. Acceso a la Energía en el Perú

En el Perú se ha venido discutiendo sobre la problemática para el acceso a la energía, debido al bajo grado de electrificación en áreas rurales, la percepción del alto costo de combustibles líquidos, y la disponibilidad del gas natural y su poco nivel de uso interno.

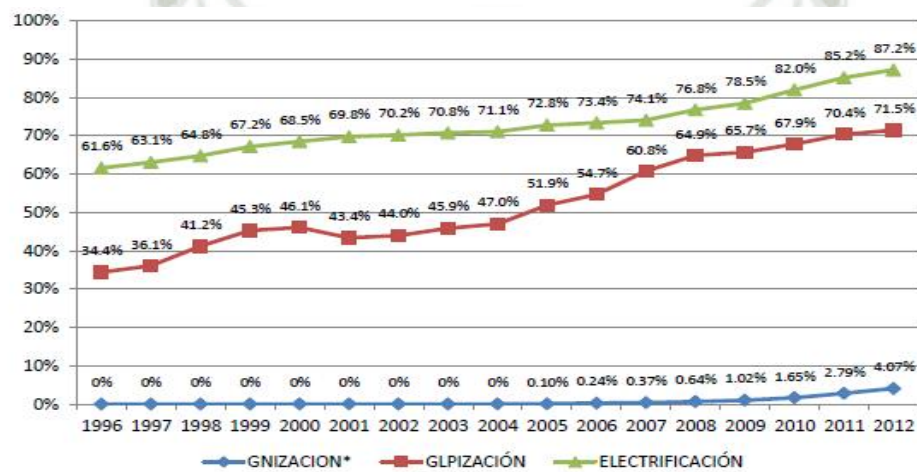


Grafico 1. Coeficiente de Electrificación, GLPización, Gnización

Fuente: MINEM (Electricidad), ENAHO 2012 (GLP y GN),*Lima y Callao

2.1.3. Energía y Desarrollo

El acceso a la energía es una condición previa necesaria para lograr muchos objetivos de desarrollo que van mucho más allá del sector de la energía, como la erradicación de la pobreza, el aumento de la producción de alimentos, el suministro de agua potable, la mejora de la salud pública y la educación, la creación de oportunidades económicas y el empoderamiento de la mujer. La transición a sistemas de energía sostenibles también representa una de las mayores oportunidades de inversión del siglo XXI.

Asegurar el acceso universal a la energía	Duplicar la cuota de las energías renovables	Duplicar la tasa de mejora de la eficiencia energética
<ul style="list-style-type: none"> • Mejora de la salud • Mejora de la productividad agrícola • Empoderamiento de la mujer • Creación de empresas y empleo • Desarrollo económico • Logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio 	<ul style="list-style-type: none"> • Energía asequible incluso en los lugares donde no llega la red eléctrica • Nuevas oportunidades para pequeños empresarios • Menores variaciones en el costo de la energía • Seguridad energética y reducción del costo de las importaciones • Menor impacto ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de iluminación/electrodomésticos que requieren menos energía • Utilización más eficaz de los recursos de combustibles fósiles • Reducción del costo de la energía para los consumidores • Redistribución de la energía eléctrica que actualmente se malgasta o se pierde • Sistemas eléctricos más fiables

Figura 1. Objetivos de la iniciativa Energía Sostenible para Todos SE4ALL

En este cuadro se observa los objetivos fundamentales del SE4ALL, donde indica los Resultados de asegurar el acceso universal a la energía.

En resumen, el desarrollo no es posible sin la energía y el desarrollo sostenible no es posible sin la energía sostenible.

2.1.3.1. Pobreza Energética

La Pobreza energética fue definida en el Reino Unido por Brenda Boardman en 1988, como la “Incapacidad de un hogar de obtener una cantidad adecuada de servicios de energía por el 10% de su renta disponible”.

Otra definición es: “Un hogar se encuentra en pobreza energética cuando las personas que lo habitan no satisfacen las necesidades de energía absolutas, las cuales están relacionadas con una serie de satisfactores y bienes económicos que son considerados esenciales, en un lugar y tiempo determinados, de acuerdo a las convenciones sociales y culturales”.³

³ García Ochoa, R. “Pobreza energética en América Latina” – CEPAL (2014).

Las causas que generan esta precariedad energética son diversas: bajos ingresos del hogar, precios elevados de la energía, entre otros.

2.1.3.2. Escalera Energética

Estudios internacionales muestran que existe una correlación entre el grado de desarrollo de una región y su patrón de consumo energético: un mayor nivel de ingresos se correlaciona con un menor uso de energías contaminantes.

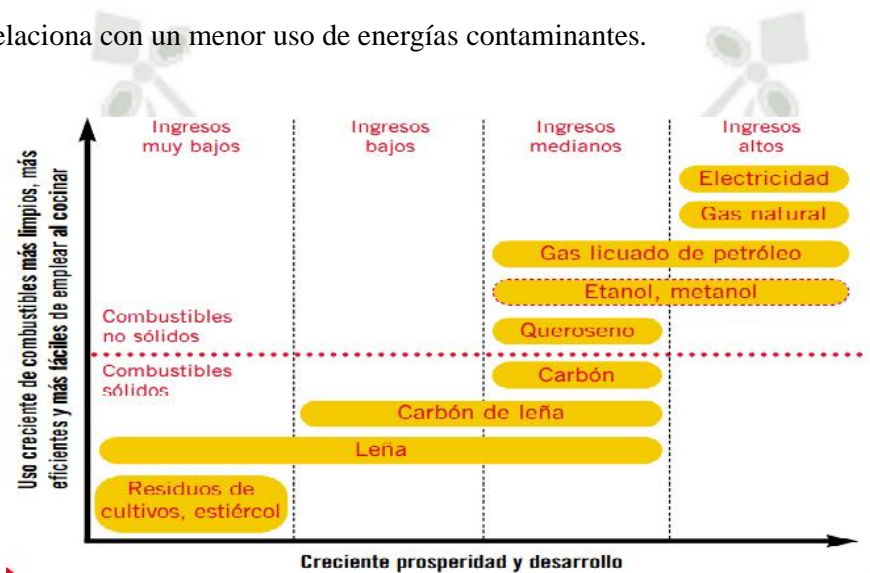


Figura 2. Relación Energía- Desarrollo

Este proceso consiste en que el consumo energético asciende gradualmente en las viviendas, acompañado de un mejoramiento de la calidad de vida, primero caracterizado por la dependencia de la biomasa (leña y bosta), luego viene el cambio a fuentes intermedias de energía como carbón y kerosene, y finalmente culmina con el cambio a combustibles y fuentes modernas y modernas de energía como el GLP, gas natural y la electricidad.



Figura 3. Efectos del acceso a servicios energéticos en el desarrollo- ISF

2.1.4. Fondo de Inclusión Social Energético

El Fondo de Inclusión Social Energético-FISE, es un esquema de compensación social y de servicio universal para los sectores más vulnerables de la población, enfatizando que este acceso a los servicios de energía permitirá la reducción de los niveles de pobreza de las poblaciones vulnerables y consecuentemente mejorará su calidad de vida.

Los recursos del fondo se destinarán para:

1. La Compensación social y promoción para el acceso al GLP de los sectores vulnerables tanto urbanos como rurales.
2. La Masificación del uso del gas natural residencial y vehicular en los sectores vulnerables.
3. La Compensación para el desarrollo de nuevos suministros en la frontera energética, como células fotovoltaicas, paneles solares, biodigestores, entre otros, focalizándose en las poblaciones más vulnerables.

Respecto a la ampliación de la frontera energética, actualmente el Estado Peruano lleva adelante un proceso de subasta para la instalación masiva de sistemas fotovoltaicos en

las áreas que se encuentran fuera de los planes de atención vía redes eléctricas de distribución del Sistema Interconectado Nacional, donde recursos del FISE serán utilizados.

Tabla 2. Proyectos para el desarrollo de nuevos suministros en la frontera energética

	PROYECTOS
1	Se consideran todos los proyectos de electrificación rural planteados en el Plan Nacional de Electrificación Rural 2013 – 2022 elaborados por la Dirección General de Electrificación Rural.
2	Instalación masiva de sistemas fotovoltaicos para usuarios residenciales de poblaciones más vulnerables, ubicados en zonas que no cuentan con acceso a redes de distribución de energía eléctrica; considerando para ello, las necesidades humanas concretas, la factibilidad técnica social y geográfica en el uso del recurso energético y la viabilidad económica del mismo.
3	Desarrollo de proyectos en ámbitos rurales sustentados en energías renovables no convencionales que incidan en el acceso a la electricidad, iluminación, comunicación, servicios comunitarios y el acceso a tecnologías, combustibles para cocinar y calentar: cocinas mejoradas, Gas Natural, GLP, biogás (biodigestores)
4	Desarrollo de proyectos en ámbitos rurales sustentados en energías renovables no convencionales que promuevan los usos productivos sostenibles acorde a los recursos de cada área geográfica.

Fuente: Plan de Acceso Universal a la Energía 2013-2022

Este proyecto que tiene la meta de la instalación de 500 mil sistemas fotovoltaicos, será explicado en párrafos posteriores, el cual es el motivo del presente trabajo.

2.2. ACCESO AL SERVICIO ELÉCTRICO

2.2.1. Generalidades

La electricidad representa actualmente la forma más útil de energía, capaz de ser aplicada de diversas maneras en los sectores industriales, residenciales urbanos y

rurales. Sin embargo, la expansión de la provisión de servicios de electricidad en el área rural se ve obstaculizada por la combinación principalmente de los factores:

- El consumo de energía eléctrica de la población rural es muy inferior al consumo de la población urbana.
- La baja densidad poblacional en las zonas rurales hace que se requiera inversiones más elevadas. Además de la lejanía de estas zonas a los sistemas eléctricos convencionales.

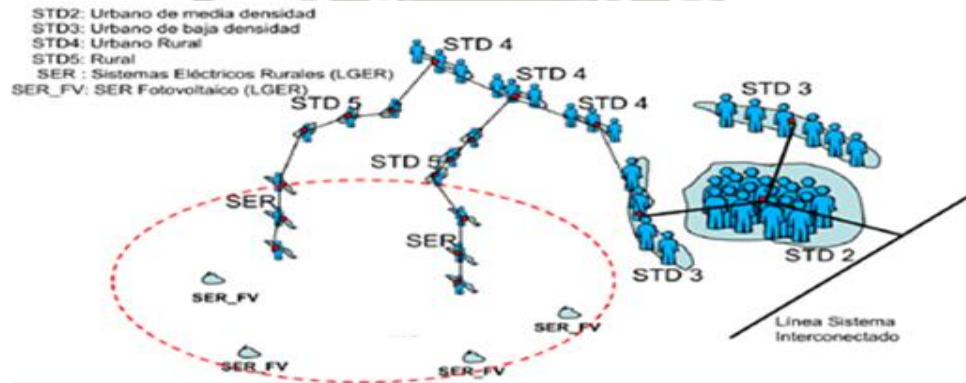


Figura 4. Sistemas Típicos de Distribución-Densidad de Población

En tal sentido, los sistemas eléctricos rurales tienen costos de inversión, operación y mantenimiento superiores a los urbanos además de la poca accesibilidad a la zona rural. Es decir, se trata de un servicio con costos bastante superiores al urbano, mientras genera ingresos inferiores.⁴

⁴ La red eléctrica es extendida hasta donde la relación de beneficio costo justifique su instalación.

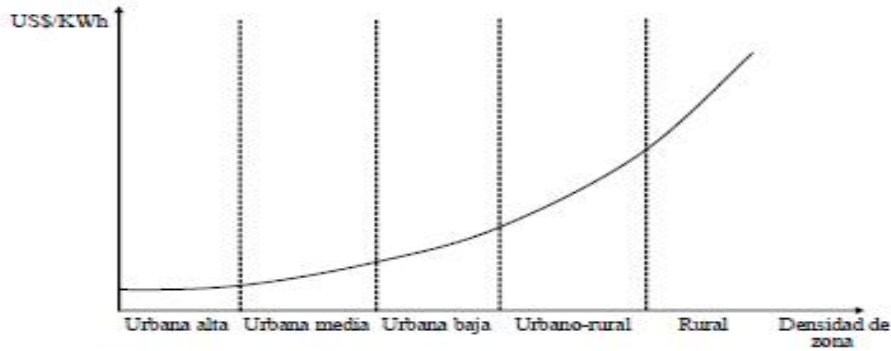


Figura 5. Costo de distribución eléctrica según densidad de la zona

2.2.2. Electrificación Rural en el Perú

La Dirección General de Electrificación Rural, es quien tiene la competencia en materia de electrificación rural de acuerdo a la Ley 28749, “Ley General de Electrificación Rural”, cuya función es la ejecución del Plan Nacional de Electrificación Rural enmarcado dentro de los lineamientos de política del Sector Energía y Minas y de modo específico, la ejecución y/o coordinación de proyectos electromecánicos prioritariamente en el área rural y zonas de extrema pobreza. Está constituida por los siguientes órganos: Dirección de Proyectos y la Dirección de Fondos Concursables. La electrificación rural, tiene el objetivo de brindar el servicio de energía eléctrica a los pobladores de zonas rurales, aisladas y frontera del país mediante proyectos de generación, transmisión y distribución con tecnología apropiada y al menor costo, resolviendo así las enormes brechas existentes en infraestructura entre las zonas urbanas y las áreas rurales y de frontera del país, incorporando a sus beneficiarios al mercado, al consumo y al desarrollo, logrando así su inclusión social con la finalidad de reducir la pobreza.

Los avances principales del sector fueron:

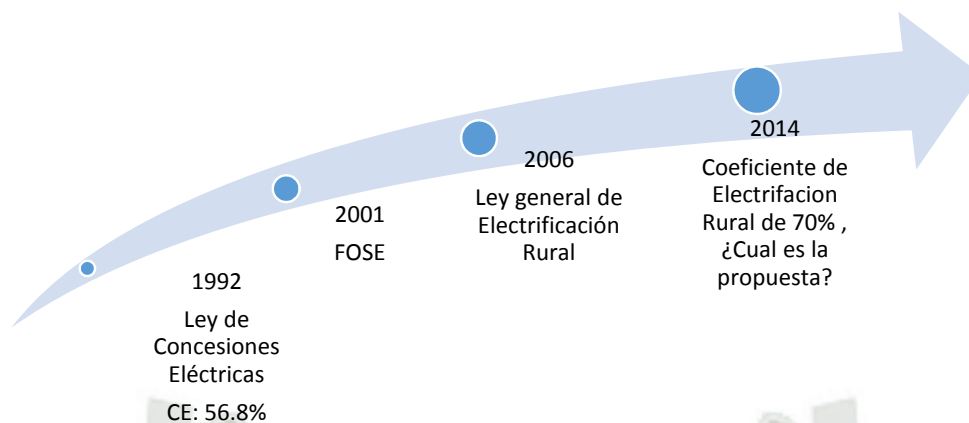


Grafico 2. Avances del sector

Fuente: DGER/MINEM

En otro ámbito, según la CIER 2013 el Perú tiene el segundo nivel de electrificación nacional más bajo de Sudamérica con un 91.1% solo superando a Bolivia.

Tabla 3. Niveles de electrificación en Sudamérica

PAIS	Población Total (miles)	Clientes Servidos (miles)	% Hogares con disponibilidad de electricidad	Año de referencia
Argentina	41.072	14.900	95,0	2012
Bolivia	10.299	2.138	88,3	2012
Brasil	198.423	70.312	99,5	2011
Chile	17.454	5.504	98,9	2011
Colombia	47.735	11.229	95,7	2012
Ecuador	15.517	4.399	95,5	2012
Paraguay	6.675	1.313	98,2	2011
Perú	29.948	5.820	91,1	2012
Uruguay	3.395	1.354	99,1	2012
Venezuela	29.943	6.055	99,6	2012
América del Sur	395.810	120.949	-	-

Fuente: CIER 2013–Síntesis Informativa Energética

Esta situación exige soluciones de envergadura basada en fuentes de energía no convencionales, que han demostrado ser una solución efectiva para satisfacer las necesidades de electricidad de la población en las zonas rurales alejadas y dispersas.

2.2.2.1. Avances de la electrificación rural

Los coeficientes de electrificación de acuerdo con los resultados del censo del año 1993 fueron: Nacional 57% y Rural 7.7%. De acuerdo con los resultados del censo del año 2007 se tienen los siguientes valores: Nacional 74.1% y Rural 29.5%. Al finalizar el año 2013, se han estimado las siguientes coberturas: Nacional 90% y Rural 70%

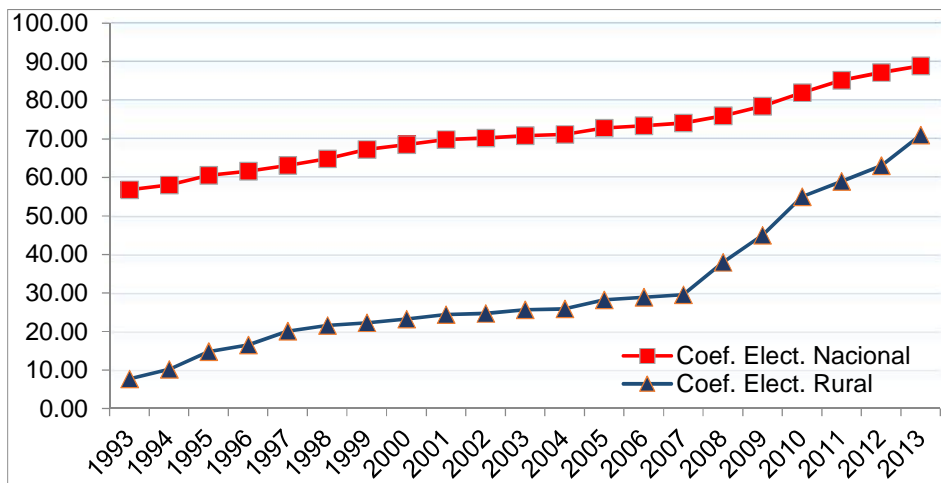


Gráfico 3. Evolución del coeficiente de electrificación nacional y rural

Fuente: Ministerio de Energía y Minas/DGER

2.2.2.2. Plan Nacional de Electrificación Rural

El Plan Nacional de Electrificación Rural, contiene una relación de proyectos priorizados, con la finalidad de ampliar la frontera eléctrica nacional ejecutando obras de electrificación rural en coordinación con los gobiernos regionales, gobiernos locales y entidades públicas y privadas involucradas en el proceso de electrificación y ser el elemento dinamizador del desarrollo rural integral.

Tabla 4. Implementación del PNER 2014-2023

INVERSIONES Y METAS		
Nº	PROYECTO	PERIODO 2014-2023
I.	INVERSIONES	Millones de Soles
1	LINEAS DE TRANSMISIÓN	218,7
2	SISTEMAS ELÉCTRICOS RURALES	2 778,1
3	CENTRALES HIDROELÉCTRICAS	116,5
4	MODULOS FOTOVOLTAICOS	787,9
5	OBRAS EMPRESAS ELECTRICAS	593,8
	TOTAL INVERSIONES	4 495,0
II.	METAS	
	POBLACIÓN BENEFICIADA (Habitantes)	5 178 108

Fuente: PNER 2014-2023/DGER

Con las actuales políticas de inclusión social energética se elevara el porcentaje de cobertura en los próximos años con la finalidad de alcanzar el acceso universal a la electricidad de todos los peruanos a fines del bicentenario de nuestra independencia, principalmente con proyectos de suministro eléctrico fuera del sistema interconectado.

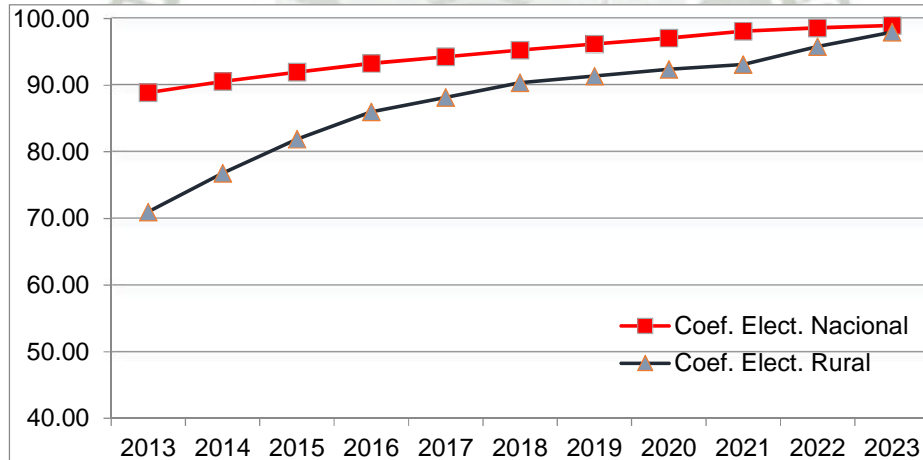


Gráfico 4. Proyección del coeficiente de electrificación nacional y rural

Fuente: Ministerio de Energía y Minas/DGER

2.2.3. Suministros de Energía con Recursos Energéticos Renovables.

La DGER viene utilizando, cada vez con mayor intensidad recursos energéticos renovables como una alternativa de suministro de energía a localidades rurales y/o

comunidades muy aisladas, para atender las necesidades básicas de energía eléctrica de estas localidades.

El uso de la energía fotovoltaica por ejemplo, en nuestro país tuvo sus inicios a comienzos de la década de los ochenta, su utilización se limitaba al campo de las telecomunicaciones, defensa nacional. El Perú, actualmente cuenta con 16361 SFV domiciliarios distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 5. Instalaciones Fotovoltaicas por Región

	COSTA	SIERRA	SELVA	
ELECTRONOROESTE S.A. (ENOSA)	1258	846		2104
ELECTRONORTE S.A. (ENSA)		1651		1651
ELECTRO SUR ESTE (ELSE)		2593		2593
ELECTRO ORIENTE S.A. (ELORSA)			752	752
ADINELSA		3773	2488	6261
PERÚ MICROENERGÍA (PME)		3000		3000
Sub total	1258	11863	3240	
Sub total (%)	7.69%	72.51%	19.80%	100.00%
			Total	16361

Tabla 6. Instalaciones Fotovoltaicas por capacidad

	50-70 Wp	71-100 Wp	
ELECTRONOROESTE S.A. (ENOSA)	2104		
ELECTRONORTE S.A. (ENSA)	1651		
ELECTRO SUR ESTE (ELSE)	2593		
ELECTRO ORIENTE S.A. (ELORSA)		752	
ADINELSA	4395	1866	
PERÚ MICROENERGÍA (PME)	1500	1500	
Sub total	12243	4118	
Sub total (%)	74.83%	25.17%	100%
			16361

Fuente: Fijación de la Tarifa Rural para Sistemas Fotovoltaicos 2014-2018-GART/Osinergmin

2.2.3.1. Subasta de suministro de electricidad con recursos energéticos renovables en áreas no conectadas a la red

En setiembre del 2013 se convocó al concurso público internacional, denominado “Primera Subasta para Suministro de electricidad con Recursos Energéticos renovables en Áreas No Conectadas a Red”, efectuado por la GART del Osinergmin por encargo del Ministerio de Energía y Minas.

El Programa está dirigido especialmente a las poblaciones que se encuentran en los lugares más apartados del país, que tienen altos índices de pobreza y donde la red eléctrica convencional no llegaría en los próximos diez años, y su ejecución permitirá seguir cerrando la brecha de infraestructura eléctrica.

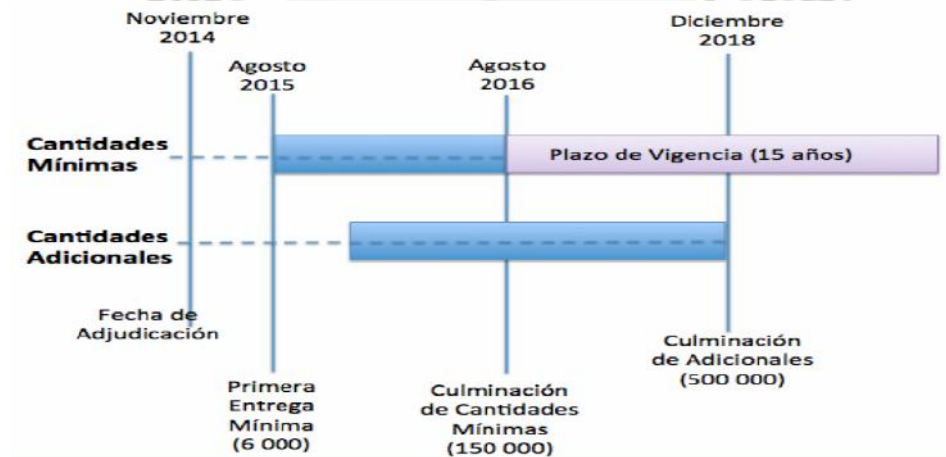


Figura 6. Principales Hitos del proyecto

Fuente: DGER / MEM

El objetivo de la subasta es adjudicar por un plazo de 15 años la prestación del servicio de electricidad con recursos energéticos renovables a las zonas no conectadas a la red, esto en concordancia con la política pública de acceso universal, la cual incentiva la generación de energía eléctrica proveniente de sistemas fotovoltaicos autónomos (Off-

grid Solar Home Systems), esta subasta de 500 mil sistemas fotovoltaicos equivalen aproximadamente a 50 MW de capacidad.

2.2.3.2. Electrificación rural sostenible

El desarrollo de infraestructura para el acceso universal a los servicios energéticos no debe estar anclado únicamente a la ampliación de las redes eléctricas sino a todos los medios como el desarrollo de pequeñas centrales, la instalación de paneles solares, aerogeneradores, entre otros. Esto requiere de una planificación adecuada para la electrificación de las comunidades de toda la región. Un factor muy importante para la efectividad de la planificación es definir una metodología que permita determinar un grupo de alternativas de electrificación (en base a los recursos energéticos existentes en cada comunidad) y que puedan ser evaluadas de acuerdo a un grupo de criterios asegurando la sostenibilidad a largo plazo.

La experiencia del BID⁵ en electrificación rural indica que se deben considerar como soluciones elegibles para proveer el servicio de electrificación rural:

- Ampliación de las redes de distribución.
- Ampliar la generación local, Generación de sistemas aislados provistos con generadores térmicos, mini centrales hidroeléctricas, entre otros. (Microredes).
- Sistemas individuales (fotovoltaicos, eólicos, híbridos).

⁵ Acceso al servicio de electricidad y la pobreza en América latina y el Caribe , Sao Paulo 2009

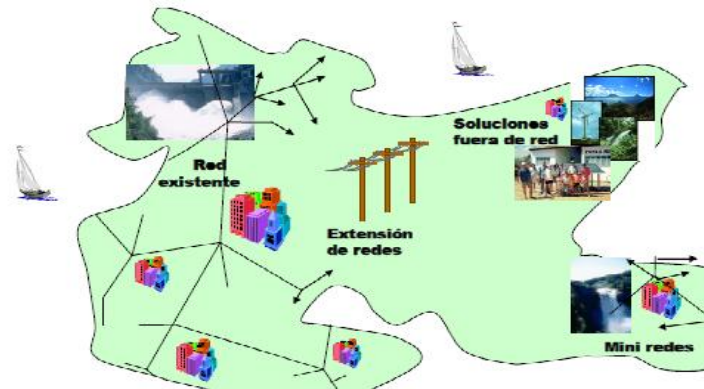


Figura 7. Alternativas para la Electrificación Rural

Los proyectos de electrificación rural deben abarcar procesos desde la planificación territorial, el diagnóstico y la evaluación de alternativas disponibles, hasta la selección de la tecnología más adecuada para la electrificación de cada comunidad⁶.

En el presente trabajo planteamos una evaluación de alternativas, en un contexto de análisis territorial energético, mediante herramientas GIS (Sistemas de Información Geográfico), esto como estrategia para el desarrollo nacional del servicio eléctrico.

Además, analizar el tema energético desde la óptica territorial presenta múltiples ventajas como valorar los recursos energéticos renovables potenciales, visualizar la demanda energética a nivel nacional e identificar las prioridades y orientar la planificación energética a corto y largo plazo.

2.3. OFERTA ENERGÉTICA

La oferta Energética corresponde a las tecnologías óptimas para cubrir las brechas energéticas en alguna región, teniendo como principal criterio de selección los siguientes puntos⁷:

⁶ Belmonte, et al., 2009

⁷ Propuesta metodológica para el logro del acceso universal a la energía en el Perú, FISE-2014

- La viabilidad técnica de la tecnología, acorde a la región seleccionada.
- Disponibilidad del energético a utilizar por la tecnología seleccionada.
- Costos de Instalación, operación y mantenimiento.

Las tecnologías de mayor aplicación para electrificación rural son: extensión de redes, generadores térmicos aislados, sistemas fotovoltaicos, microcentrales hidroeléctricas, aerogeneradores y sistemas híbridos (los que de forma simultánea utilizan varias fuentes de energía, como la eólica-fotovoltaica, fotovoltaica-diésel, entre otras). Las clasificamos como:

- a) Tecnologías convencionales
- b) Tecnologías no convencionales

2.3.1. Tecnologías convencionales

2.3.1.1. Redes Eléctricas de distribución

El sistema de distribución comprende el sub-sistema de distribución primario (línea primaria, red primaria y la Subestación de distribución) y el sub-sistema de distribución secundaria.

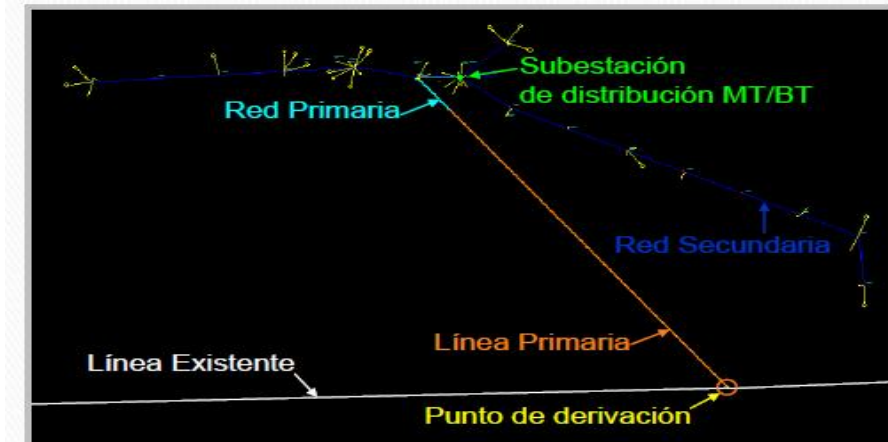


Figura 8. Sistema eléctrico de distribución

- Línea Primaria: Alimenta en su recorrido subestaciones de distribución, principalmente con niveles de tensión de 13.2, 22.9 y 33 kV. También en nuestro país desde hace más de 20 años se viene utilizando el sistema monofásico con retorno por tierra (MRT) por ser más económico, siendo su principal ventaja, así como también por su rapidez de construcción debido a su diseño simplificado y por su bajo costo de mantenimiento. Sin embargo en el aspecto técnico, este sistema tiene baja capacidad de corriente máxima de transmisión (hasta 8 A).



Figura 9.- Línea Primaria

- Red Primaria: Incluye los elementos tales como conductores, postes y accesorios, hasta llegar a la SED MT/BT.

- Subestaciones de distribución: Conjunto de instalaciones para transformación y/o seccionamiento de la energía eléctrica que la recibe de una red de distribución primaria y la entrega al sistema de distribución secundaria. Comprende el transformador MT/BT, equipos y dispositivos para maniobra y protección.



Figura 10. Subestación de distribución aérea

- Red de Distribución Secundaria: Incluye los elementos de las redes secundarias aéreas y subterráneas tales como conductores, cables, postes, aisladores, acometidas, entre otros. El nivel de tensión nominal es de 220 V, con conexiones 380/220 V 4 hilos o 220 V 3 hilos.



Figura 11. Sistemas de distribución secundaria

2.3.1.2. Sistemas eléctricos aislados

Corresponde a infraestructura eléctrica no conectada al SEIN, atendiendo a suministros mediante pequeños sistemas eléctricos –PSE. Consideramos a los de tipo térmico es decir.



Figura 12. Sistema eléctrico aislado tipo térmico- Ático 550 kW, SEAL

Estos sistemas requieren un pequeño sistema de distribución, en la mayoría de los casos una red secundaria para atender a los suministros, además de contar con almacenaje y abastecimiento periódico de combustible.

2.3.2. Tecnologías no convencionales

Son tecnologías que usan fuentes de energía renovable, estos desempeñan un papel importantísimo dentro de la planificación integrada de electrificación, al ser un recurso descentralizado (idóneo para zonas remotas energéticamente aisladas).

Consideramos a las siguientes tecnologías maduras⁸ que usan recursos energéticos no convencionales.

⁸ Tecnologías que han alcanzado un nivel de rendimiento adecuado en términos de productividad y coste.

Tabla 7. Tecnologías no convencionales

Recurso	Tecnología
Solar	Panel fotovoltaico
Eólica	Aerogenerador
Hídrico	Pequeñas Centrales

Fuente: Recopilación propia

2.3.2.1. Sistemas Fotovoltaicos

El desarrollo de esta tecnología se expresa en la reducción de los costos de inversión, y el aumento de la capacidad instalada a nivel mundial, por ejemplo vemos que los costos de inversión de los módulos fotovoltaicos durante su desarrollo han disminuido considerablemente hasta llegar al precio entre 4 y 6 US\$/Wp.

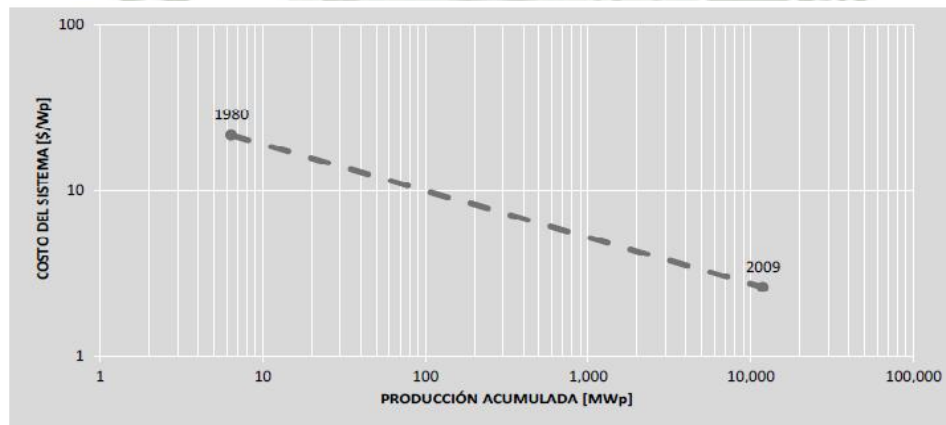


Figura 13. Desarrollo del costo de los módulos fotovoltaicos, 1980-2009

Fuente: European Photovoltaic Industry Association

Respecto a la capacidad existen cerca de 5000 MW a nivel mundial sin conexión a red y la capacidad total es aproximadamente 8 veces esta.

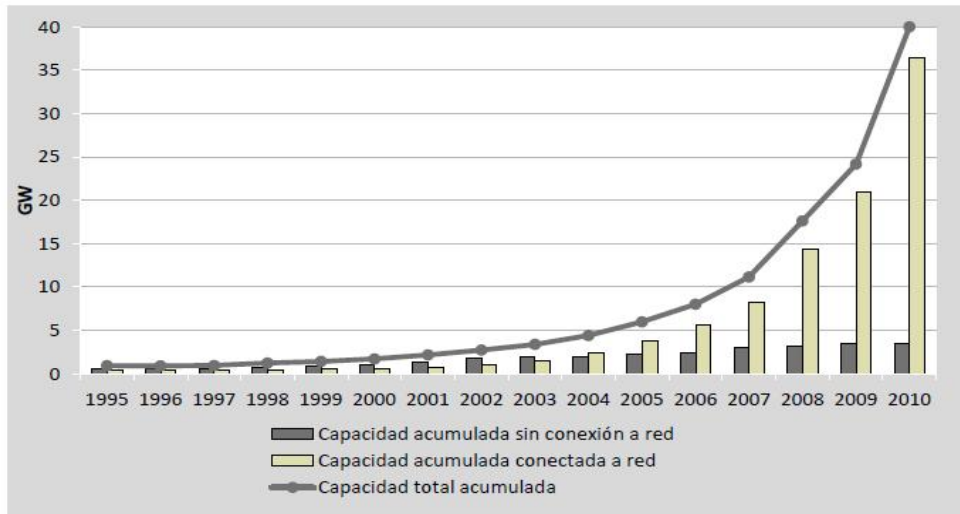


Figura 14. Evolución de la capacidad instalada de SFV a nivel mundial

Fuente: European Photovoltaic Industry Association

Pueden atender a la demanda mediante instalaciones individuales y centralizadas y las aplicaciones principales son:

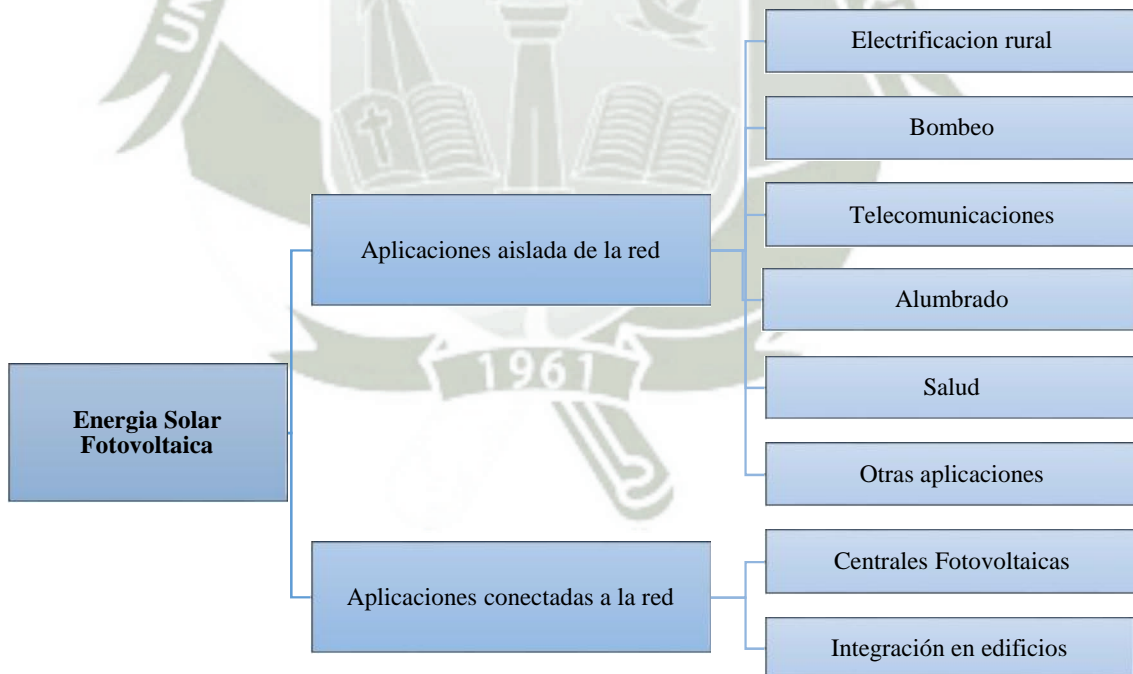


Gráfico 5. Aplicaciones de la energía Solar fotovoltaica

2.3.2.2. Sistemas Eólicos

Las máquinas para la producción de electricidad a partir del viento (aerogenerador) aprovechan la energía cinética que la masa de aire lleva consigo para el movimiento de palas, que a su vez mueven un pequeño generador eléctrico. En el Perú la generación de energía eléctrica a pequeña escala no ha tenido un elevado desarrollo.



Figura 15. Generador eólico de eje horizontal

El sistema eólico comprende el aerogenerador, controlador e inversor de carga y batería. En este sistema el controlador electrónico de carga a comparación del fotovoltaico tiene mayor requerimiento técnico, ya que debe de evitar además que el sistema opere en circuito abierto (sin carga), cuando la batería está cargada, pues el aerogenerador es una máquina generadora de voltaje y está en movimiento rotativo permanente, esto ocasionaría el embalamiento de la máquina, generando elevadas fuerzas centrífugas que afectarían las estructuras de las palas. Por ello, el controlador deberá tener una carga secundaria (cargas de lastre, principalmente cargas resistivas) para disipar la energía en tal situación.

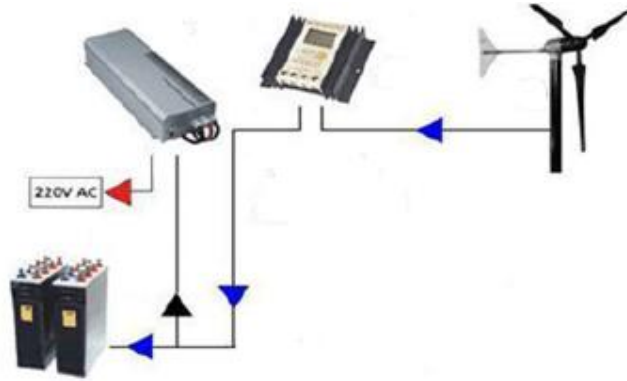


Figura 16. Esquema de un sistema eólico domiciliario

Existe la experiencia de Soluciones Prácticas⁹, con sistemas de 100 W para electrificación de zonas rurales, con características de diseño que incluyen una velocidad de viento no menor a 4 m/s y una óptima de 6.5 m/s (velocidad nominal).

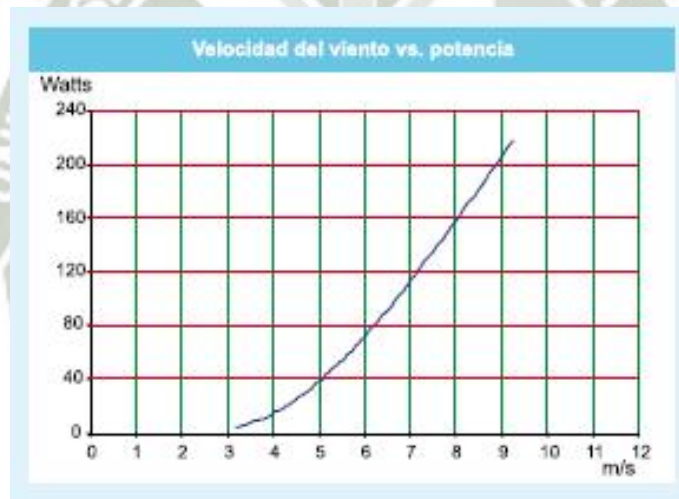


Figura 17. Curva velocidad vs Potencia de un pequeño aerogenerador

Además según el atlas Eólico del MINEM, la parte costera de Ica, Piura y Lambayeque tiene un alto potencial de este recurso, con vientos de 7 m/s, llegando hasta los 9 m/s en algunas zonas. La zona sierra tiene vientos medios anuales entre 1 y 4 m/s, y sabiendo que el potencial eólico es proporcional al cubo de la velocidad están tendrían un

⁹ Microaerogenerador IT-PE-100 para electrificación rural , Soluciones Prácticas , Lima Perú 2008

aprovechamiento menor hasta 10 veces de las primeras. Además el recurso eólico tiene un mayor potencial de aprovechamiento en zonas de menor altitud, por la proporcionalidad de la potencia generada con la densidad del aire. Entonces esta opción eólica se puede aplicar preferentemente en los valles intermedios y en las cercanías del litoral de la costa.

2.3.2.3. Minicentrales

Estas Permiten aprovechar el potencial energético de pequeños cursos de agua desde una altura adecuada, la energía de la misma se transforma en energía cinética. Esta energía moverá los álabes de una turbina hidráulica, cuyo eje está conectado al rotor de un generador, el cual se encarga de transformarla en energía eléctrica.

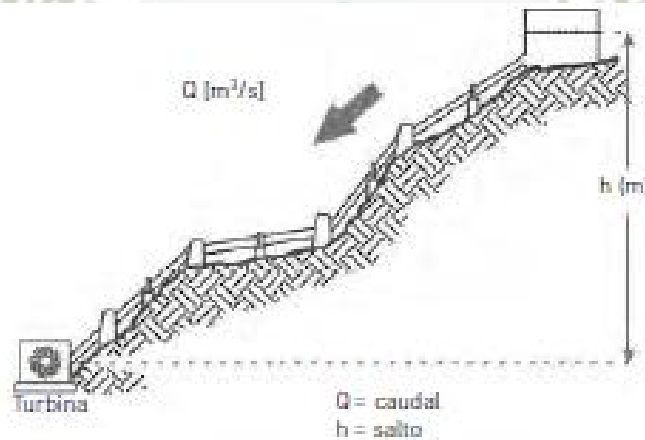


Figura 18. Salto entre la cámara de carga y turbina

Entonces la capacidad de generación está determinada y limitada por las condiciones de altura y caudal¹⁰

¹⁰ Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas, Soluciones Prácticas, 2010

Tabla 8. Clasificación de los sistemas hidráulicos según la potencia instalada

Tamaño/Potencia	Aplicación
Nano y Pico Hidro : menor a 1 kW	Uso familiar y aplicaciones básicas
Micro Hidro : de 1 a 100 kW	Para una red eléctrica comunal aislada
Mini Hidro: de 100 kW a 1000 kW	Para varias comunidades y/o conexión al SEIN
Pequeña Hidro : de 1 a 5 MW	Pequeña ciudad y conexión al SEIN

Fuente: Guía de Normas y Protocolos Técnicos para la Electrificación Rural con Energías Renovables

Se destaca la aplicación de turbinas Michel Banki en el Perú, principalmente para potenciales de hasta 1 MW, que según lo detallado tiene capacidad para atender varias comunidades rurales, adicionalmente una futura conexión al SEIN, inyectando energía a este en horas donde la oferta supera a la demanda de energía. Este tipo de instalaciones en su mayoría requiere de pequeñas obras civiles, como el canal de derivación, desarenador y cámara de carga además de la tubería de carga principalmente en polietileno y de acero para mayores capacidades, y por último la infraestructura electromecánica compuesta por la turbina hidráulica, el generador eléctrico y un tendido eléctrico para distribuir la energía.

La región Arequipa tiene un elevado potencial en zonas alto andinas con este recurso, pero requiere medidas de caudal por cierto tiempo (identificación in-situ, ya que los caudales de los ríos varían a lo largo del año) para asegurar la disponibilidad del recurso. Por ejemplo en el trabajo “Aplicación de la generación de energía eléctrica con minicentrales hidroeléctricas en la región andina de Arequipa”¹¹, se identificó un aprovechamiento para producir 140 kW en la provincia de Caylloma, detallando además una metodología de diseño y selección de equipamiento para minicentrales.

¹¹ Realizado por F.Carreón, D.Humpire, G.Rospigliosi el 2013 , UCSM-Arequipa

2.4. DEMANDA ENERGÉTICA

Es el servicio de energía que la población demanda, respecto a iluminación, cocción, calefacción, enfriamiento y otros. Así como para la atención de los requerimientos de energía para usos productivos.

2.4.1. Necesidades Energéticas

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-PNUD, clasifica las necesidades energéticas en los niveles:

- Nivel 1: Necesidades humanas básicas
 - Electricidad para iluminación, comunicación y servicios comunitarios (50-100 Kwh/año).
 - Tecnologías y combustibles modernos para cocinar/calentar (50-100Kg o cocinas mejoradas).
- Nivel 2: Usos productivos de la energía
 - Energía para mejora de productividad: bombeo de agua, mecanización, procesado para comercialización productos agrícolas
 - Combustible para transporte
- Nivel 3: Necesidades sociales modernas.
 - Refrigeración y calefacción (agua y ambiente)
 - Transporte privado
 - Uso de electricidad en torno a 2,000 kwh/año.

Además los servicios de energía se miden en última instancia como la satisfacción de las necesidades energéticas en el uso final de la energía¹² para el desarrollo y la lucha contra la pobreza energética.

La provisión de energía eléctrica es importante, tanto para atender las necesidades básicas de consumo doméstico como también para emprender actividades generadoras de ingresos. Dentro de las áreas rurales existe la necesidad de proveer de electricidad a los hogares, centros comunitarios, escuelas, granjas, entre otros, a la vez de que pueden ser utilizadas para las telecomunicaciones, para administrar el suministro de agua, para la irrigación, entre otros.

Esta propuesta intenta colaborar para cerrar el nivel 1 de necesidad energéticas, respecto a iluminación y servicios comunitarios mediante sistemas fotovoltaicos que atiendan estos requerimientos.

¹² Aplicaciones que satisfacen necesidades específicas de una actividad productiva o social

CAPITULO III

3. ANALISIS DE LA OFERTA ENERGÉTICA

Mediante este análisis comparáramos las tecnologías correspondientes a redes eléctricas, generador aislado convencional diésel y sistemas fotovoltaicos para el suministro de electricidad en zonas rurales. Luego se aplica una metodología de selección territorial aplicando sistemas de información geográfica (GIS), esto para apoyar el desarrollo de diversas tecnologías en el territorio peruano.

3.1. Selección tecnológica

La principal opción para el acceso al servicio eléctrico es la extensión de la red eléctrica, con costos de conexión por suministro que se incrementan al aumentar la cobertura eléctrica.

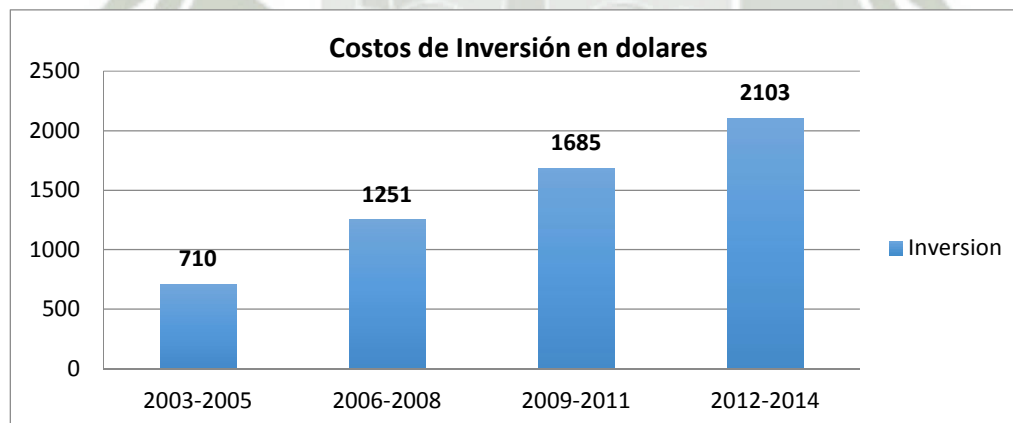


Gráfico 6. Inversión en electrificación rural en US\$/vivienda

Fuente: DGER/MEM

Las razones para esta situación es que las comunidades están cada vez más lejanas, más aisladas y el número de familias que vive en ellas es pequeño. Esto significa que la red

eléctrica se acerca al límite técnico y económico como solución, por lo tanto existe un número importante de centros poblados rurales, que no podrán ser electrificados mediante la extensión de redes eléctricas.



Gráfico 7. Comparación inicial de alternativas

Fuente: Adaptado de la DGER

Las energías renovables pueden atender demandas locales, a su vez estas fuentes energéticas son una alternativa a los generadores de electricidad que funcionan con diésel ya que resuelven el problema del transporte, almacenamiento para generar electricidad en sistemas dispersos y aislados

Tabla 9. Características técnicas de las alternativas-caso rurales

Tecnología	Inversión	Ventajas	Desventajas
Extensión de red	7000-13000 \$/km LP ¹³	Servicio permanente-Alta capacidad de potencia	Inversión alta y poco rentable
Grupo diésel	600-1000 \$/kW	Baja Inversión inicial	alta OyM - Servicio intermitente
SFV domiciliario	800 a 1000 \$/vivienda	Baja OyM , Autónomos , Gran potencial en la región	Inversión media y baja capacidad
Generador Eólico	5000 a 8000 \$/kw (pequeña escala)	Potencial elevado en zonas específicas	Mayor mantenimiento por mov. Rotativos
Microcentrales	1500 a 3500 \$/kW	Gran potencial en zonas alto andinas	Medidas de aforo requeridas, obras civiles

Fuente: Recopilación propia

¹³ Línea primaria eléctrica

Según el Osinergmin al 2010 los sistemas térmicos aislados a cargo de municipalidades y entidades locales, representan el 15% de todos los sistemas aislados registrados en esa condición que incluyen además a los hidráulicos, solares e híbridos. De los sistemas supervisados se indica que el 18 % de estos opera entre 4 y 9 horas y el 28% entre 1 y 4 horas, en este último grupo están los sistemas donde el servicio tiene funcionamiento intermitente en función de la disponibilidad del combustible.



Figura 19. Horas de prestación del servicio eléctrico por sistemas aislados

Fuente: Resultados de la supervisión a sistemas eléctricos rurales aislados a cargo de municipios y entidades locales, 2008-2010 / GFE-Osinergmin, 2010

El principal costo de estos sistemas es el combustible (operación), además en un estudio realizado por Leoni y Amaral en el 2004, indican que este costo (combustible) puede incrementar su precio entre un 15 y un 45% debido al transporte, dependiendo del lugar de suministro.¹⁴

¹⁴Estudio de campo de la generación híbrida diésel/renovable para electrificación rural.

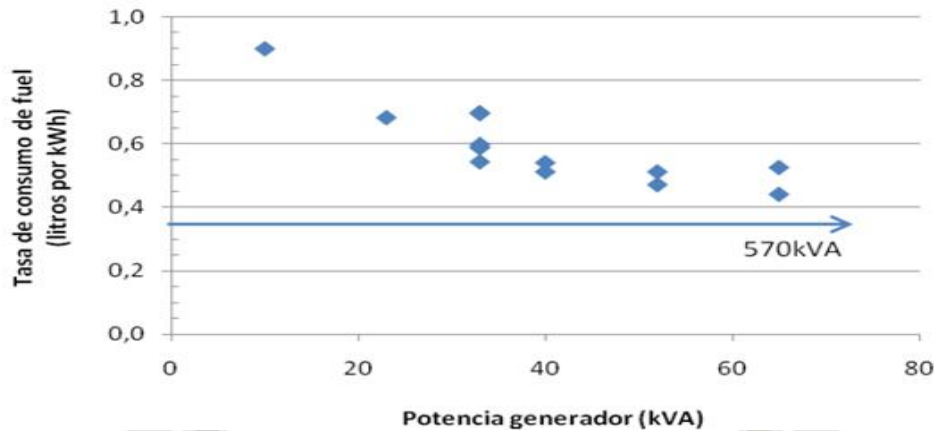


Figura 20. Consumo de Fuel vs Potencia (experiencias rurales)

Además estos generadores tienen el inconveniente de tener una eficiencia reducida a bajos niveles de carga, situación que se produce a menudo durante el día en la electrificación de comunidades rurales. Los generadores de baja potencia reducen su eficiencia hasta llegar al 17% si funciona a la tercera parte de su capacidad, por lo tanto el consumo de combustible por kWh generado es mayor.

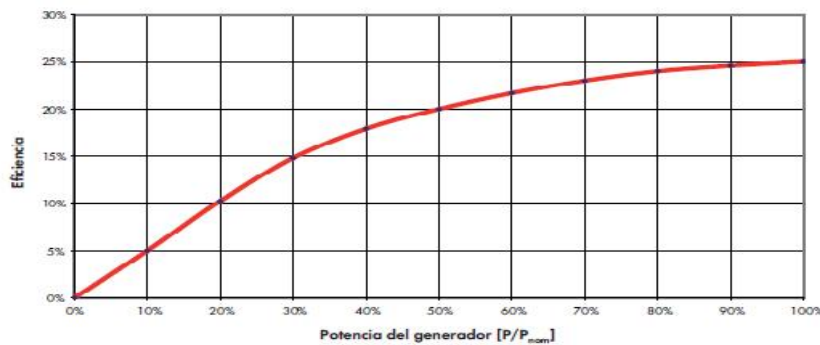


Figura 21. Curva de rendimiento de pequeño generador diésel

Por lo tanto los costos de operación resultan elevados junto al mantenimiento, mientras que las instalaciones con energías renovables requieren una inversión inicial relativamente alta y costos de operación muy bajos. También debido al crecimiento del mercado global de las energías renovables, los costos de los sistemas solares aislados han ido disminuyendo continuamente como se mostró en el capítulo anterior.

Tabla 10. Características de sistemas térmicos aislados

Potencia kW	Inversión \$ / kW	Consumo litro/kwh
10	700	0.53 (n=0.18)
20	500	0.42(n=0.23)
30	400	0.35(n=0.27)
100	250	0.29(n=0.33)

Fuente: Recopilación propia

Respecto a esto, construimos una curva de costos de inversión¹⁵ en suministro, operación y mantenimiento para 40 viviendas con SFV individuales y un generador térmico aislado de 10 kW. Podemos ver que en el mediano plazo (6 años) los costos del sistema convencional han superado al de los sistemas individuales, llegando a duplicar el costo antes del término de la vida útil de los paneles. Si sabemos que la eficiencia de estos sistemas térmicos disminuye a mayor altitud así difícil acceso eleva el costo del combustible, la curva del generador con esto tendría una pendiente mayor.

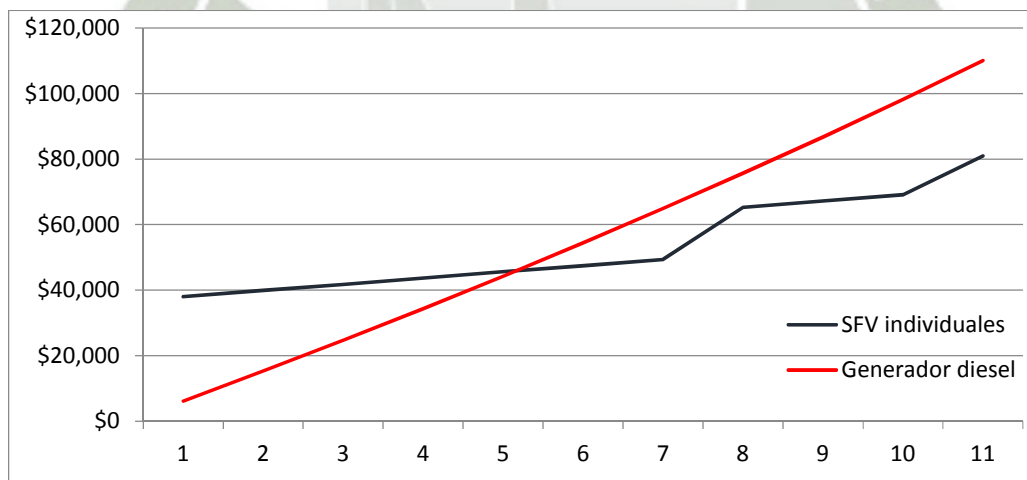


Gráfico 8. Curva de costos de inversión de SFV y generador diésel

Fuente: Elaboración propia

¹⁵ Anexo I :Comparación de costos Generador Electrógeno y SFV aislados

Entonces sumado a la poca accesibilidad en las zonas aisladas para alimentarlo constantemente con el combustible requerido no se considera factible en esta propuesta considerar los grupos generadores convencionales. Además que como región tengamos mayores posibilidades de aprovechamiento de energía fotovoltaica al poseer un nivel de radiación solar elevado y evitar la dependencia de combustibles fósiles importados.

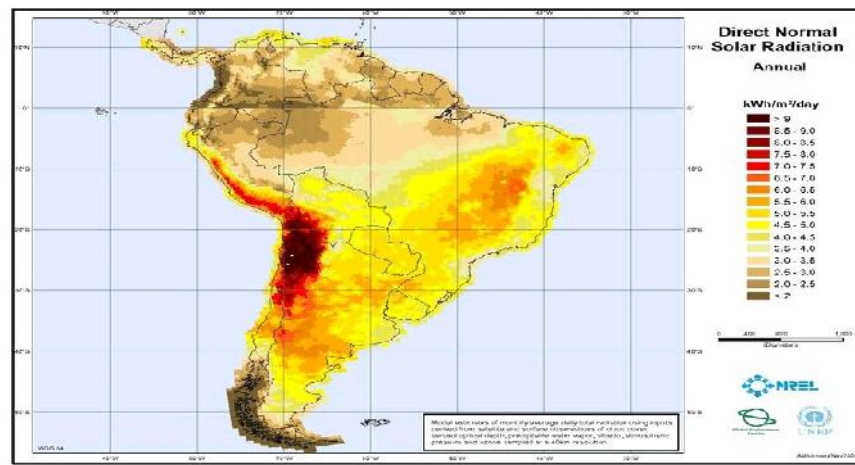


Figura 22. Mapa de radiación solar de Sudamérica

Apoyando a esto un estudio reciente de LCOE¹⁶ de Centroamérica realizado por el Banco Mundial comparó las tecnologías de energía geotérmica, energía hidroeléctrica y el combustible fósil y concluyó que las fuentes de energía renovable son más competitivas en cuanto a costos que las fuentes de energía basadas en combustible fósil.

Respecto a fuente de energía hídrica, una minicentral hidroeléctrica tiene un costo entre \$ 1.500 y \$ 3.000 por kW instalado de capacidad.

¹⁶ Costo Nivelado de Energía

Tabla 11. Costos de Microcentrales hidroeléctricas

Component	3.5 kW (flow rate at 14 lps / 222 gpm; head at 50 m / 165 ft.)	10 kW (flow rate of 62 lps / 982 gpm; head at 32 m / 100 ft.)	50 kW (flow rate at 100 lps / 1585 gpm; head at 85 m / 280 ft.)
Penstock	\$1,600	\$3,500	\$24,000
Turbine-generator	\$3,300	\$6,000	\$9,500
Controller	\$1,900	\$3,600	\$5,400
Transmission line	\$1,500	\$3,500	\$7,500
Powerhouse	\$1,000	\$3,000	\$4,500
Miscellaneous	\$1,650	\$1,800	\$4,500
Total cost of equipment	\$10,950	\$21,400	\$55,400
Installations	\$2,000	\$4,500	\$10,500
Total amount	\$12,950	\$25,900	\$65,900
Cost \$/kW	\$3,700	\$2,590	\$1,318

Estimates provided by Thompson and Howe Energy Systems Inc.

Fuente: Micro-Hydropower Systems: A Buyer's Guide, Canada.

Pero si consideramos picocentrales hidroeléctricas con almacenamiento (debido a la disponibilidad del recurso), una de 100 W esta en \$ 6500 (debido al coste de los componentes adicionales, tales como un banco de batería y el inversor). Además la capacidad para atender de esta tecnología está limitada a la disponibilidad del recurso, entonces una minicentral aislada es la mejor opción para comunidades alejadas a la red eléctrica y sin una dispersión excesiva, ya que requieren además una pequeña red eléctrica para el servicio.

Tabla 12. Costo de picocentrales hidroeléctricas con almacenamiento

Component	100 W (flow rate of 4 lps / 63 gpm; head at 5 m / 16 ft.)	400 W (flow rate 4 lps / 63 gpm; head at 25 m / 80 ft.)
Penstock	\$650	\$1,000
Turbine-generator	\$2,500	\$2,500
Controller	\$400	\$400
Batteries	\$520	\$1,000
Inverter	\$1,200	\$3,000
Transmission line	\$500	\$500
Powerhouse	\$200	\$200
Miscellaneous	\$500	\$1,200
Total cost of equipment	\$6,470	\$9,800
Installations	Optional (\$2,000)	Optional (\$2,000)

Estimates provided by Energy Alternatives Ltd.

Fuente: Micro-Hydropower Systems: A Buyer's Guide, Canada.

Respecto a costos unitarios de sistemas aislados térmicos e hidráulicos, se ven que estos últimos pueden ser hasta 3 veces menores y que no dependen de las horas de funcionamiento del sistema.

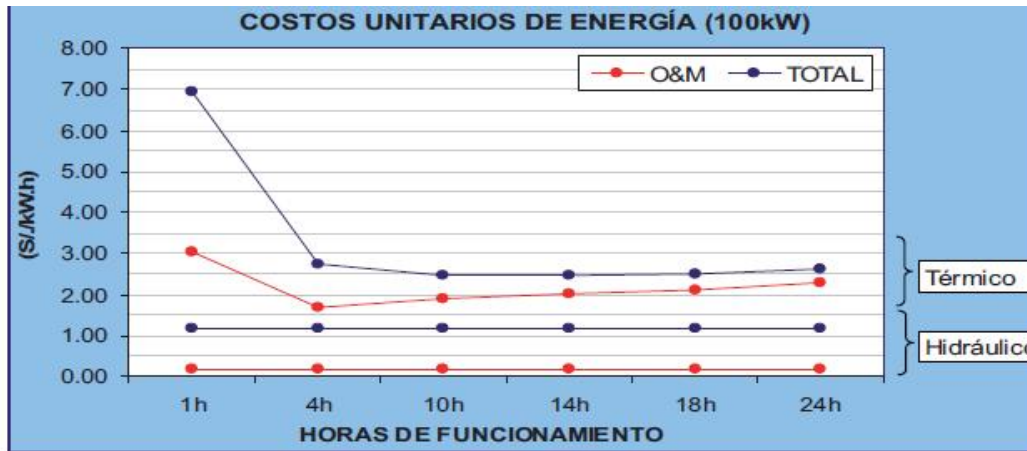


Figura 23. Costos unitarios de energía

Fuente: Diagnostico de la electrificación rural en el Perú, GFE/Osinermin, 2010

3.2. Modelamiento de la oferta de energía existente y proyectada

3.2.1. Infraestructura Eléctrica

3.2.1.1. Red eléctrica Existente

Para el modelamiento consideramos el tramo en media tensión de las empresas de distribución eléctrica (EDE), reportadas a la Gerencia Adjunta de Regulación Tarifaria del Osinermin para la elaboración del VNR¹⁷.

3.2.1.2. Red eléctrica Proyectada

Considera el tramo en media tensión proyectado dentro del Plan Nacional de Electrificación Rural, PNER 2013-2022 elaborado por la DGER.

¹⁷ Valor nuevo de reemplazo, VNR-2012

3.2.2. Factibilidad de la Infraestructura Eléctrica

La factibilidad de la infraestructura eléctrica está dada por la extensión máxima de esta para atender a nuevos suministros, definiendo así esta extensión de red para la cual a partir de esta resulta económicamente eficiente instalar sistemas fotovoltaicos aislados.

Considerando el análisis de comparación de costos de alternativas tecnologías¹⁸, se indica que en promedio se usa 60 m de red eléctrica a un costo de 376 \$ para atender a un usuario en zonas dispersas. También se indica que el costo del sistema fotovoltaico por usuario es de \$ 971¹⁹ y la relación de durabilidad entre la red eléctrica y el panel es de 3 (costo equivalente $971 \times 3 = \$ 2913$), con estos datos se obtiene la factibilidad de la infraestructura eléctrica.

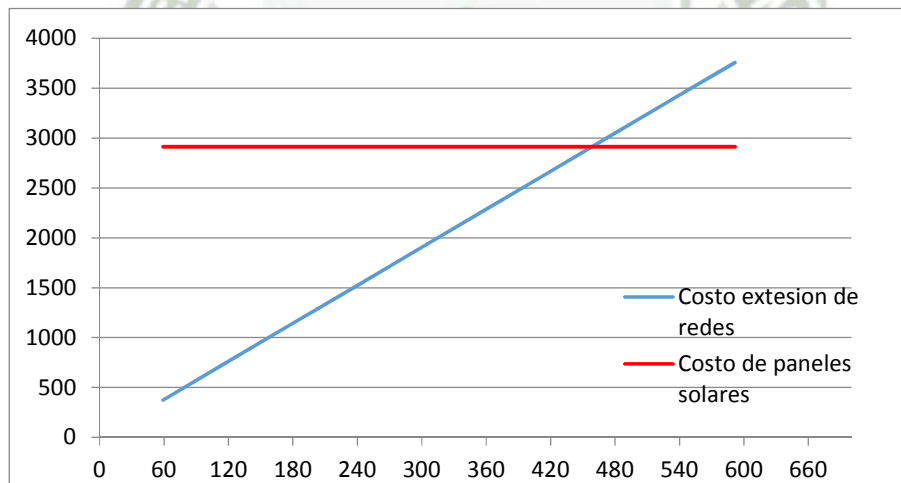


Gráfico 9. Costo de electrificación en zonas rurales del Perú en \$/vivienda

¹⁸ El servicio universal a la electricidad en el Perú C.Abanto, A.Cairampoma, V. Murillo, Universitat de Barcelona, 2014.

¹⁹ Costo del panel BT8-80- Osinergmin

Entonces con esto planteamos lo siguiente:

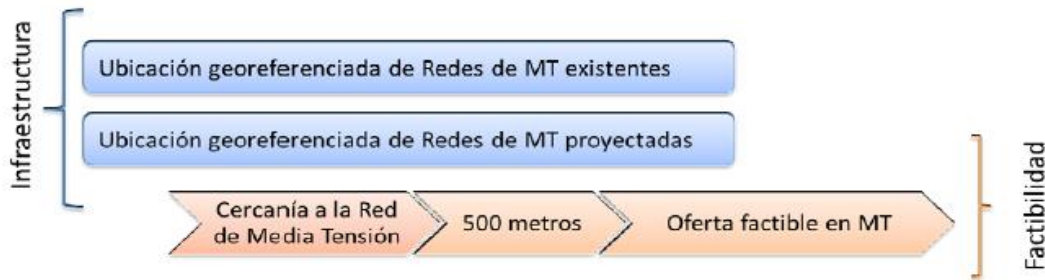


Figura 24. Factibilidad de la red eléctrica

Luego usando herramientas GIS para la georreferenciación de la infraestructura eléctrica (redes de media tensión) y aplicando el criterio de factibilidad (extensión de red) generamos la Oferta de energía factible.

La oferta de energía factible es un área de cobertura para abastecer mediante extensión de redes el suministro de energía eléctrica, esto nos va permitir conocer que áreas tienen acceso a este tipo de energía, y se entiende que no son lugares donde se tiene que invertir para implementar abastecimiento por sistemas fotovoltaicos.

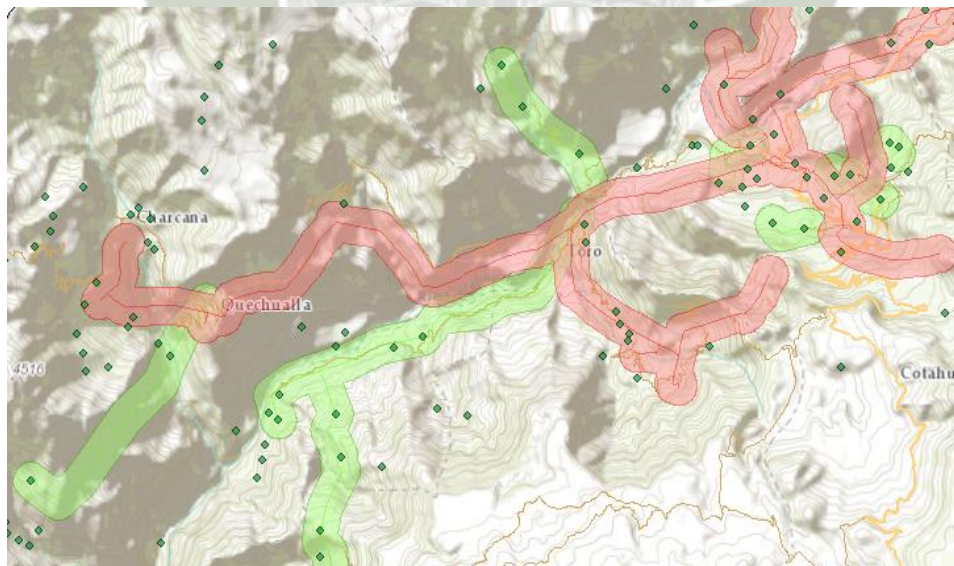


Figura 25. Modelamiento de la oferta energética

CAPITULO IV

4. ANALISIS DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

Consiste en la Georreferenciación de la demanda energética, la cual comprende los Centro Poblados (INEI y MINEM – DGER), Centros Educativos (MED) y Centros de Salud (MINSA).

Al tener la información de Infraestructura como oferta factible y la demanda energética, hallamos la demanda que será atendida mediante infraestructura actual y existente, y la demanda que no tiene Servicio “Demanda no Atendida”. Esta demanda que no tiene oferta de energía factible, podrán ser atendidos mediante sistemas fotovoltaicos.

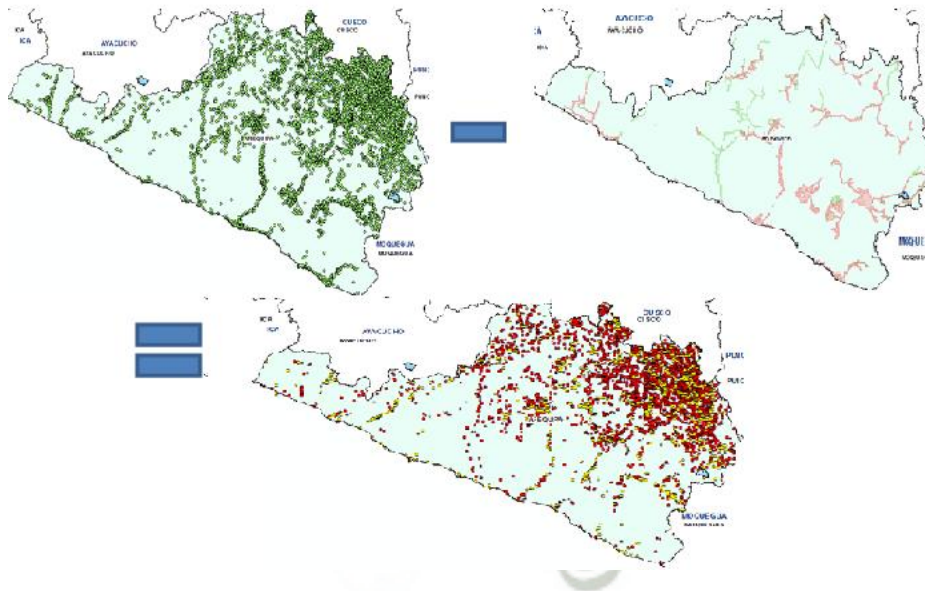


Figura 26. Modelamiento de la demanda energética

4.1. Criterios de Selección

Para la demanda sin servicio determinada, estableceremos criterios adicionales que se requieren para la prioridad de atención de estas y dimensionamiento de los sistemas

fotovoltaicos. Con esto establecer las zonas viables y las que pueden presentar disponibilidad real del recurso solar para el desarrollo de sistemas fotovoltaicos.

4.1.1. Análisis de Accesibilidad

La información de acceso vial mediante carreteras nacionales, departamentales, vecinales así como de aeropuertos, puertos, ríos navegables, redes ferroviarias entre otros, es el criterio que nos indica con que prioridad se atenderá a la demanda sin servicio.

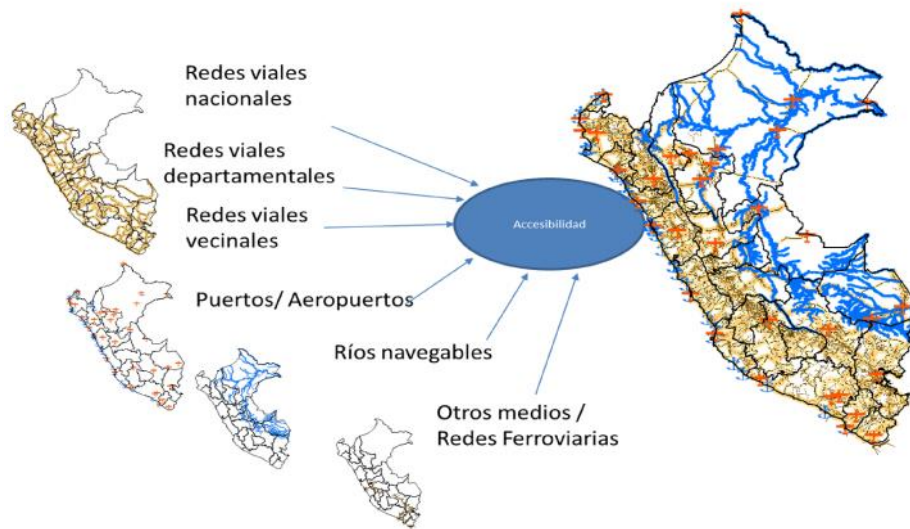


Figura 27. Modelamiento de accesibilidad

4.1.2. Análisis del Potencial Solar

Comprobaremos que la demanda con mejor accesibilidad tenga también potencial de energía solar, mediante información de Atlas Solar, considerando el promedio de radiación anual.

4.2. Resultados del modelamiento

Tabla 13. Resultados por provincia del modelamiento

Provincia	Distritos	Viviendas CA-SS	Viviendas SA-SS	Escuelas CA-SS	Escuelas SA-SS	Centros de Salud CA-SS	Centros de Salud SA-SS
AREQUIPA	20	2374	3054	20	15	12	17
CAMANA	8	653	2852	8	2	3	4
CARAVELI	13	2504	1217	38	3	6	1
CASTILLA	14	1813	1643	23	10	5	1
CAYLLOMA	20	2262	5252	32	17	5	4
CONDESUYOS	8	228	1340	9	19	0	3
ISLAY	6	400	221	1	1	0	0
LA UNION	11	844	1616	20	12	3	1
Total	100	11078	17195	151	79	34	31

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

CA-SS: Con Acceso y Sin Servicio

SA-SS: Sin Acceso y Sin Servicio

Además en el ámbito de la región Arequipa existe según el Ministerio de vivienda, 1 tambo sin servicio energía (Distrito de Chachas-Castilla) y que está construido, además 1 está en construcción en el distrito de Caylloma provincia Caylloma. Debemos resaltar que los tambos son centros de apoyo para el hábitat rural, por lo tanto que el suministro eléctrico debe ser continuo, entonces la posibilidad de alimentarlo con colas de red eléctrica no sería factible. Por lo tanto se dimensionara sistemas para estas cargas considerando que podrían abastecerse con energía fotovoltaica

CAPITULO V

5. PROPUESTA ENERGÉTICA CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

5.1. TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA

5.1.1. Efecto fotovoltaico

En un cristal, los enlaces entre los átomos de silicio están hechos de electrones que se comparten entre todos los átomos del cristal. La luz es absorbida, y uno de los electrones que hay en uno de los enlaces se emociona hasta su nivel de energía más alto y puede moverse con más libertad que cuando estaba unido. Ese electrón puede entonces moverse por el cristal libremente y así obtener un flujo de estos (corriente eléctrica).

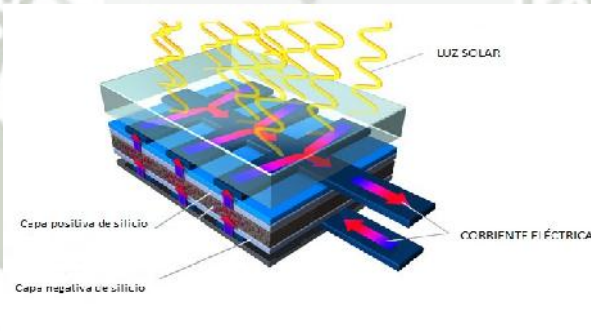


Figura 28. Efecto fotovoltaico en un semiconductor

5.1.2. Celdas fotovoltaicas

Una celda fotovoltaica es el componente que capta la energía contenida en la radiación solar y la transforma en una corriente eléctrica, son hechas principalmente de un grupo de materiales semiconductores. Estas tecnologías han aumentado su eficiencia, actualmente para las células monocristalinas este valor está en el orden de 14 a 20%, de las policristalinas entre 13 a 15% y de las amorfas entre 6-12%.²⁰

²⁰ Según la Agencia Internacional de Energía IEA-2010

Se muestra la evolución de la eficiencia (en laboratorio) de cada tecnología a través de los años. Asimismo, demuestra que hay muchas tecnologías con posibilidades de lograr altas eficiencias.

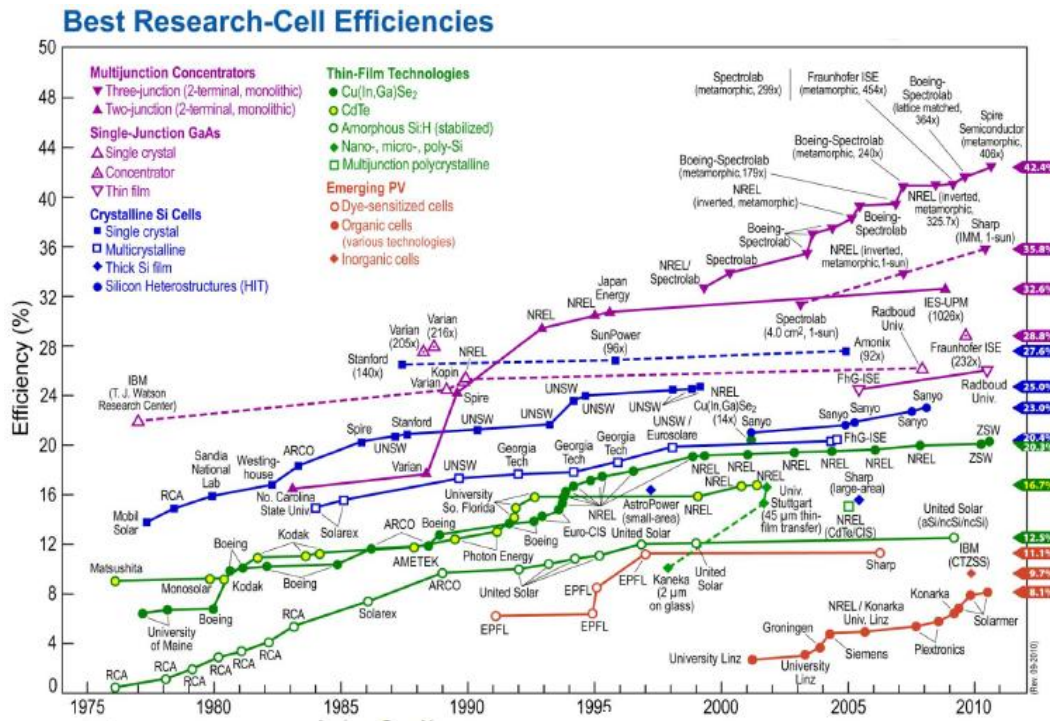


Figura 29. Evolución de la eficiencia de tecnologías fotovoltaicas

5.1.2.1. Celdas de Silicio Monocristalino

Las celdas de Silicio monocristalino representan el estado de la tecnología fotovoltaica comercial. Para fabricarlas el silicio es purificado, fundido y cristalizado, ya sea en lingotes o en láminas delgadas; posteriormente el silicio es rebanado en obleas delgadas para formar las celdas individuales, las obleas se pulen por ambas caras. Una vez pulidas, las obleas se introducen por difusión a alta temperatura un material dopante, típicamente boro y fósforo, con lo cual se convierte a la oblea en un semiconductor tipo “p” si se le añadió boro, o tipo “n” si se añadió fósforo.

5.1.2.2. Celdas de silicio Policristalino

Durante su manufactura se emplea un silicio de menor calidad y costo, esto da como resultado celdas de eficiencia ligeramente menor. Al estar compuesta la celda por una serie de granos de silicio, a nivel microscópico, quedan varios huecos entre las uniones de los granos y por lo tanto en esos microhuecos se interrumpe el fenómeno fotovoltaico.

5.1.2.3. Celdas de Silicio amorfo.

Las celdas de silicio amorfo se presentan prácticamente en cualquier tamaño. Dentro de los materiales que mayor estabilidad ofrecen en película delgada está el CuInSe_2 , conocida como cobre-indio-selenio, sin embargo el CuInSe_2 es un compuesto más costoso que el silicio y actualmente se estudian otras alternativas tales como: AlInS_2 , Zn_3P_2 y el Cu_2O . Otro material, el telurio de cadmio CdTe , análogamente al CuInSe_2 es un material que ha mostrado viabilidad en celdas solares. El CdTe ha mostrado eficiencias iniciales del orden del 15%.

Las características principales de los diferentes tipos de celdas fotovoltaicas son:

Tabla 14. Características de celdas fotovoltaicas

Tipo de Celda	Eficiencia (%)		DESCRIPCIÓN	
	Laborat.	Prod.	Ventajas	Desventaja
Silicio Monocristalino	19,1	12 a 14	-Tecnología bien desarrollada y estable. -Mayor eficiencia. -Se fabrican en celdas cuadradas.	-Emplea mucho material carc. -Mucho desperdicio (casi la mitad). -Manufactura costosa.
Silicio Policristalino	18	11 a 13	-Tecnología bien desarrollada y estable. -Buena eficiencia. -Se fabrican en celdas cuadradas. -Menor costo que la monocristal.	-Material costoso. -Mucho desperdicio. -Manufactura costosa. -Menor eficiencia que el monocristal.
Silicio Laminado	15	11 a 13,2	-No requiere rebanado. -Menos material desperdiciado. -Potencial para rapidez de buena eficiencia.	-Complejidad en el crecimiento del cristal.
Silicio Amorfo o Película Delgada	11,5	4 a 8	-Utiliza muy poco material. -Alto potencial y producción muy -Costo bajo, 50% silicio -Menos afectado por bajos niveles	-Degradación pronunciada -Menor eficiencia. -Menor durabilidad

Fuente: Fijación de la tarifa Rural para SFV 2014-2018-GART

5.1.3. Sistemas Fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de equipos construidos e integrados especialmente para realizar las siguientes funciones:

- Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica.
- Almacenar la energía eléctrica (En aplicaciones aisladas de la red).
- Proveer la energía producida y/o almacenada.

Para realizar estas funciones se requiere los sub-sistemas:

- Sub-sistema de Generación: El módulo o panel fotovoltaico
- Sub-sistema de acumulación: La batería
- Sub-sistema de regulación de carga: El regulador de carga
- Sub-sistema de acondicionamiento: El inversor

Por el lado del consumo:

- Las cargas eléctricas o demanda.

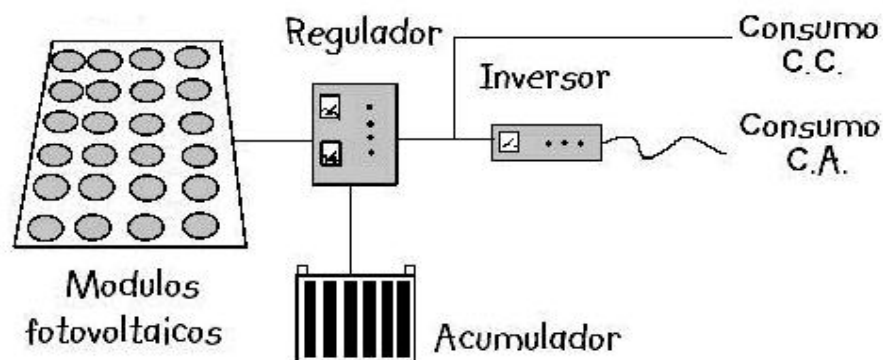


Figura 30. Esquema básico de conexión de un SFV aislado de la red

En este esquema se muestra que el requerimiento de cargas en corriente alterna, define la presencia del equipo de acondicionamiento –Inversor de corriente.

Según el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) es de cumplimiento obligatorio para los proyectos que se desarrollen en el marco de la ley de electrificación rural y de localidades aisladas y de frontera, el reglamento técnico:

- Norma MEM/DGE: Especificaciones Técnicas y Procedimientos de evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para Electrificación Rural, 2007.
- Guía de instalación de sistemas fotovoltaicos domésticos (SFD), 2007.

5.1.3.1. Sub-sistema de generación

Corresponde al módulo fotovoltaico (o conjunto de estos), el cual es una unidad integral que proporciona soporte para un determinado número de células fotovoltaicas conectadas eléctricamente (en serie y/o en paralelo) y protección de las condiciones medioambientales.

El comportamiento eléctrico de un módulo fotovoltaico, es decir, su curva característica V-I que es necesario conocer para la utilización de dicho módulo y el diseño de generadores fotovoltaicos, viene determinado por una serie de parámetros, obtenidos a partir de la información característica suministrada por el fabricante, bajo unas *Condiciones Estándares de Medida* que son :

Tabla 15. Condiciones STC

Condiciones Estándar de medida-STC	
Irradiancia	1000 W/m ²
Distribución espectral o coeficiente de masa de aire	AM 1.5G
Incidencia	Normal
Temperatura de la célula	25 °C

La caracterización de un módulo se completa con la *Temperatura de Operación Nominal de la Célula*, definida como la temperatura que alcanzan las células solares, cuando se somete al módulo a las condiciones de operación siguientes:

Tabla 16. Condiciones NOCT

Condiciones de Temperatura de Operación Nominal de la Célula-NOCT	
Irradiancia	800 W/m ²
Distribución espectral o coeficiente de masa de aire	AM 1.5G
Incidencia	Normal
Temperatura ambiente	20 °C
Velocidad del viento	1 m/s
Funcionamiento en circuito abierto	

El comportamiento de un módulo fotovoltaico está en función de tres variables fundamentales: Intensidad de radiación solar, temperatura y área activa.

a) Intensidad de radiación solar o irradiancia (W/m²)

La intensidad de la corriente varía de manera proporcional al variar la intensidad de la radiación solar sin afectar el valor de la tensión en vacío. La celda fotovoltaica es un diodo de amplia superficie, es decir, al exponerla a la radiación solar, la célula se

comporta como un generador de corriente, cuyo funcionamiento se describe por medio de su curva tensión-corriente

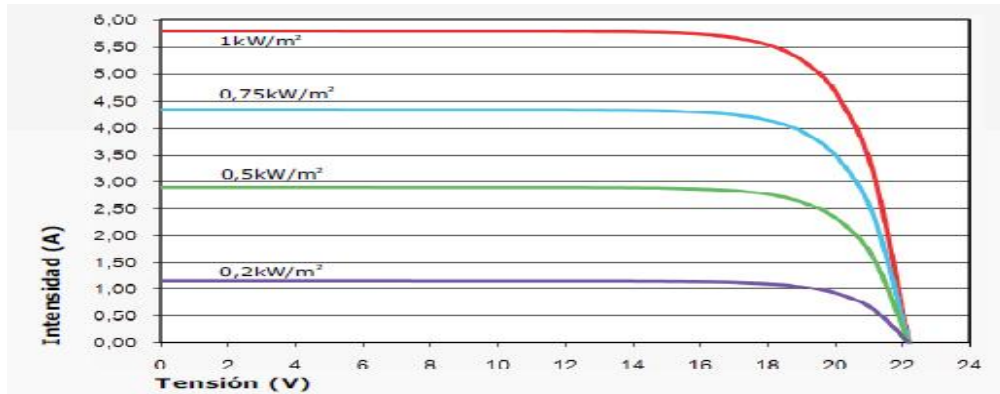


Figura 31. Curva V-I de un módulo fotovoltaico a 25°C

b) La temperatura de la celda (°C)

Existe una relación de proporcionalidad inversa entre ésta y la tensión en vacío, disminuyendo la tensión al aumentar la temperatura sin afectar de forma significativa el valor de la corriente de cortocircuito.

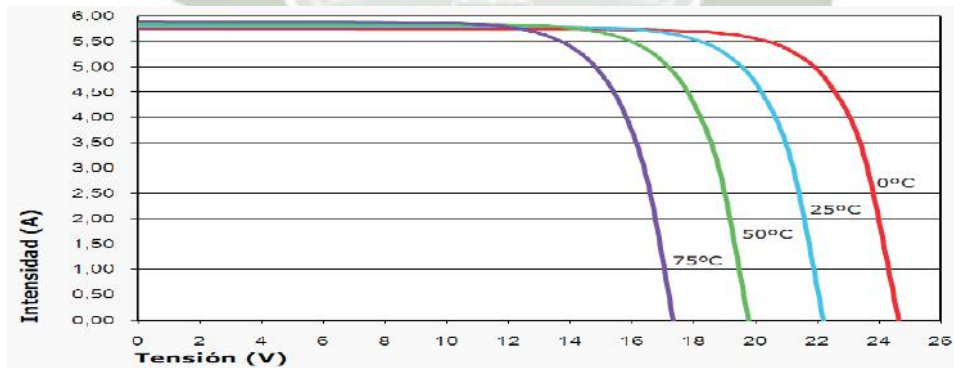


Figura 32. Curva I-V de un módulo fotovoltaico a 1000 W/m²

c) El área del módulo (m²)

Existe una proporcionalidad directa entre ésta y la corriente generada sin afectar el valor de la tensión, la cual permanece constante.

También, en condiciones de cortocircuito la corriente generada es máxima (I_{sc}), mientras que cuando el circuito está abierto es máxima la tensión (V_{oc}). En condiciones de circuito abierto y de cortocircuito la potencia generada será nula, porque en la relación $P = V \times I$ será nula la corriente en el primer caso y la tensión en el segundo. En los otros puntos de la característica al aumentar la tensión aumenta la potencia, alcanzando de esa manera un máximo y disminuyendo de repente en proximidad de la V_{oc} .

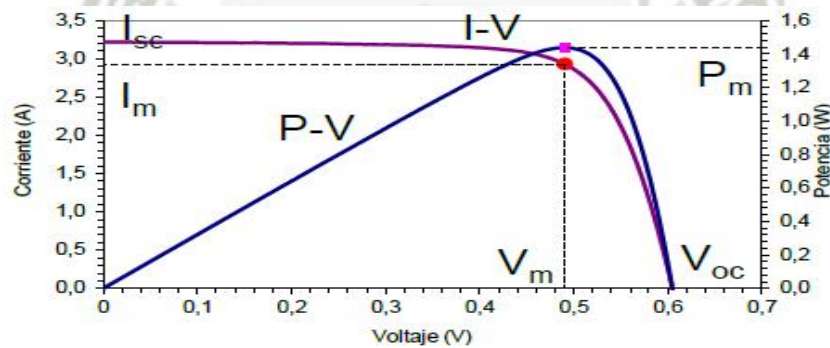


Figura 33. Curva I-V indicando punto de máxima potencia a STC

-Especificaciones técnicas un módulo FV.

- a) Potencia eléctrica máxima: Potencia correspondiente al punto de la curva V-I máximo. Representa la Capacidad energética o nominal a STC de los módulos fotovoltaicos y se indica en W_p (Watts Pico).
- b) Tensión en circuito abierto (V_{oc}): tensión de salida de un módulo fotovoltaico en circuito abierto (sin carga) a STC.

c) Intensidad de cortocircuito (I_{sc}): intensidad de salida de módulo fotovoltaico en cortocircuito a STC.

d) Tensión en el punto de máxima potencia (V_{pp}): Tensión correspondiente a la potencia máxima.

5.1.3.2. Sub-sistema de acumulación

Corresponde a la batería (o grupo de estas), la cual es un conjunto de células electroquímicas que están constituidas esencialmente por placas, materia activa y electrolito.

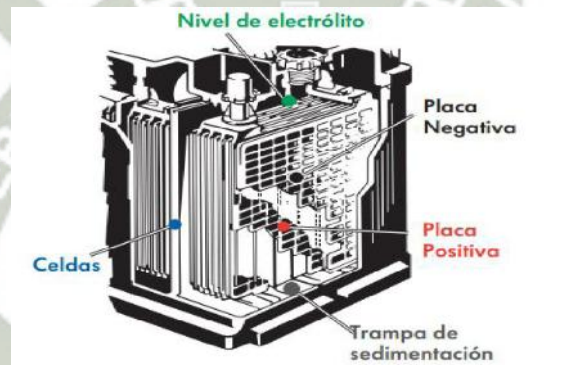


Figura 34. Batería Fotovoltaica

Las baterías fotovoltaicas realizan tres funciones esenciales para el buen funcionamiento de la instalación:

- Almacenan energía eléctrica en periodos de abundante radiación solar y/o bajo consumo de energía eléctrica.

- Proveen la energía eléctrica necesaria en periodos de baja o nula radiación solar.

- Proveen un suministro de energía eléctrica estable y adecuada para la utilización de aparatos eléctricos. La batería provee energía eléctrica a un voltaje relativamente

constante y permite además, operar aparatos eléctricos que requieran de una corriente mayor que la que puede producir los paneles.

Las baterías para aplicaciones fotovoltaicas están construidas especialmente para trabajar con ciclos de carga/descarga lentos, es decir, son de ciclo profundo, lo cual significa que pueden descargar una cantidad significativa de la energía cargada antes de que requieran recargarse.

Tipos de baterías:

- Plomo ácido (Pb-ácido): Inundado (Sellado o Cerrado), electrolito Gelificado GEL, electrolito líquido tipo OPZ, electrolito líquido de placas planas.
- Níquel-Cadmio (Ni-Cd)
- Níquel-Zinc (Ni-Zn)
- Zn-Cloro (Zn-Cl₂)

Las baterías utilizadas habitualmente en aplicaciones fotovoltaicas son de Plomo-ácido (Pb-a). Se pueden encontrar baterías de Plomo-Calcio (Pb-Ca) y Plomo-Antimonio (Pb-Sb), las primeras necesitan menor mantenimiento y tienen menor auto descarga, mientras que las segundas se deterioran menos en el ciclado diario y presentan mejores prestaciones para niveles bajos de carga. Debido a la variable la naturaleza de la radiación solar, las baterías deben ser capaces de pasar a través de muchos ciclos de carga y la descarga sin sufrir daños.

Las baterías selladas cuentan con un electrolito no líquido, que termina con los problemas de pérdida de agua a través de gasificación. Las baterías son selladas en la fábrica, por lo que no gotean ni derraman líquido, y a su vez, son de fácil transporte y

requieren menor mantenimiento. Además, soportan ciclos profundos y tienen larga vida. Sin embargo, su rendimiento es muy deficiente a altas temperaturas, por lo que no deben ser utilizadas en lugares calientes. Este tipo de baterías es una de las más caras.

Las Baterías de plomo-calcio son adecuadas sólo en aplicaciones de "ciclo poco profundo", donde se produce la descarga de menos de 20% cada uno ciclo. Las baterías de níquel-cadmio y algunas baterías de plomo-antimonio se pueden utilizar donde la profundidad de descarga puede exceder el 80%. Las baterías de Ni-Cd presentan ventajas respecto de las de Pb-a como son la posibilidad de descargarse profundamente o permanecer largos periodos en baja carga sin sufrir deterioro. También poseen un menor nivel de auto descarga y menor mantenimiento. Debido a su mayor coste, comparadas con las de Pb-a, las baterías de Ni-Cd se utilizan en ocasiones en aplicaciones profesionales en las que el coste no es un parámetro definitivo.

Existen otros tipos de baterías, como las de Níquel-Hierro (Ni-Fe), Níquel-Zinc (Ni-Zn), Zinc-Cloro (Zn-Cl₂) o Ión- Litio (i-Li), de mejores características, pero también más caras.

-Especificaciones técnicas una batería para sistemas FV.

- a) La capacidad en Ah.
- b) Autonomía del sistema.- Número de días que el sistema podría abastecer de energía en ausencia de corriente de carga.
- c) La profundidad de descarga.- Fracción de la capacidad total de la batería que puede ser usada sin necesidad de recarga y sin dañar a la batería.
- d) Autodescarga.-Indica el porcentaje de descarga de una batería cuando no recibe energía del sub-sistema de sistema de generación. Depende de la temperatura del

ambiente y del tipo de batería, es decir, aquellas baterías con gran acumulación de ácido en la superficie tienden a tener un porcentaje de autodescarga más alto.

e) Temperatura.- Es el factor de mayor incidencia que acorta la vida de una batería, por cada 10°C de incremento en la temperatura de la batería diseñada para operar a 25°C, la vida de la batería se divide a la mitad, además de provocar corrosión en la rejilla positiva.

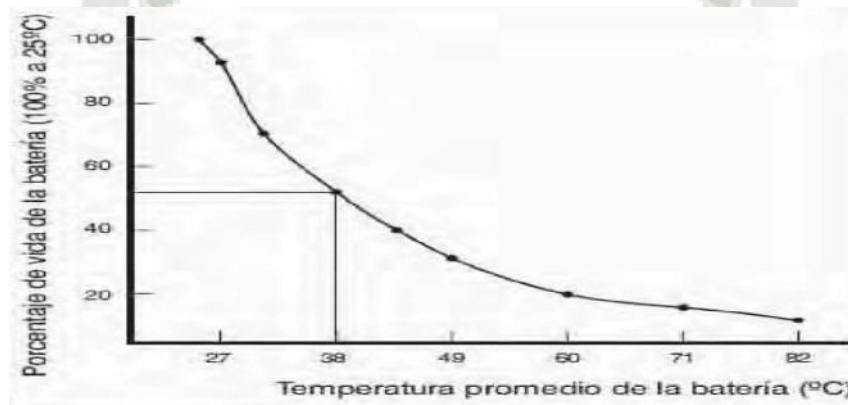


Figura 35. Vida de la Batería en función de la temperatura

Tabla 17. Características Técnicas de baterías

Marca-Modelo	Capacidad (Ah)	Tecnología	Ciclos Aprox.	PD (%)	Vida útil - Costa-Sierra	Vida útil - Selva	Costo (US\$)
Toyosolar N100S	94	Abierta	1215	35%	3,33	2,50	126,39
Ritar RA-100D	110	AGM	1171	35%	3,21	2,25	168,00
Ritar-100DG	100	GEL	1600	35%	4,38	3,07	195,00
Dekasolar 8A27	92	AGM	600	35%	1,64	1,15	195,00
Sonnenschein SB 12/130A	130	GEL	3550	35%	9,73	6,81	405,00
Hoppecke OSP.HC 105	125	Tubular	-	-	12	9	1270,00
Hoppecke Solar Bloc	100	AGM	1400	35%	3,84	2,69	590,00
Hoppecke OPZs Bloc 12-100	101	Tubular	2800	35%	7,67	5,37	560,00

5.1.3.3. Sub-sistema de regulación de carga

El regulador de carga es un dispositivo electrónico que controla tanto el flujo de la corriente de carga proveniente de los módulos hacia la batería, como el flujo de la corriente de descarga que va desde la batería hacia las cargas eléctricas.

Se debe indicar si se utilizará un regulador con tecnología de control simple (PWM) o un regulador con tecnología de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT). Los de tipo PWM regulan la carga en base al voltaje del sistema, mientras que los MPPT regulan en base a Voltaje y corriente en conjunto, de tal manera de sacar siempre la potencia máxima proveniente del panel, independiente de si el voltaje de generación esté por sobre el voltaje máximo de las baterías. Al utilizar reguladores MPPT, se podría esperar como mínimo un aumento de generación de energía del 15 % (puede llegar a 30%).

-Especificaciones técnicas un regulador de carga para sistemas FV.

- Capacidad del controlador: Se recomienda que la sobrecorriente ocasional no sobrepase 1,25 veces la corriente de cortocircuito de los paneles.
- Voltaje nominal: El regulador debe aceptar en su entrada 1,2 veces el Voltaje de circuito abierto del arreglo de paneles.
- Voltaje de corte: Evita que la batería se sobrecargue o tenga descargas profundas (mayor al considerado en el dimensionamiento) y dañe sus celdas. Cuando esto sucede, la corriente que proviene del conjunto fotovoltaico es interrumpida por medio de un relevador o un diodo en el controlador.

Tabla 18. Características Técnicas de controladores de carga

Proveedor	Marca	Modelo	Características	Vida Útil	Costo Unitario (US\$)
Proviento	Morningstar	SHS-10	12 Vdc / 10 A., de estado sólido	-	59,00
CIME	Steca	Solsum 10.10F	12 Vdc / 10 A	10 años	45,00
PEISA	-	-	12 Vdc / 10 A	5 años	37,92
Solar Cell	-	TPS_1230	12 Vdc / 10 A	-	70,00

5.1.3.4. Sub-sistema de acondicionamiento²¹

Es el equipo inversor, el cual es la unidad de acondicionamiento de potencia para alimentar cargas en corriente alterna (AC). Este equipo realiza la conversión cumpliendo con requisitos de tensión eficaz, frecuencia, distorsión armónica de voltaje y de corriente, eficiencia, rendimiento y seguridad eléctrica principalmente. El inversor está compuesto de filtros de entrada y de salida (para armónicos), convertidor DC/DC, puente inversor, transformador y elementos de control.

-Especificaciones técnicas un inversor para sistemas FV.

- Forma o tipo de onda.
- Eficiencia de la conversión de potencia.
- Potencia de régimen.- Se recomienda seleccionar un inversor que pueda proporcionar no menos del 125 % de la demanda máxima de carga.
- Tensión de entrada y salida.- Corresponde al voltaje del sistema.
- Frecuencia.

Tabla 19. Características técnicas de Inversores de Corriente

MODELO		AJ 200	AJ400	AJ800	AJ2000
Tensión de entrada	V	12	12	12	24
Potencia Nominal	W	200	400	800	2000
Potencia Pico	W	400	1000	2400	5000
Eficiencia	%	93	93	93	94
Dimensiones	mm	142x84x169	142x84x169	142x84x440	273x415x117
Peso	Kg	2,3	4,5	8,5	18

²¹ La necesidad de utilizar aparatos en corriente alterna (AC) determina la instalación o no de un inversor:

5.2. DIMENSIONAMIENTO

5.2.1. Aspectos generales.

La región Arequipa cuenta con 8 provincias, que pertenecen a la Costa y Sierra, existe una población total de 1'273180 estimada al 2014²².



Figura 36. Mapa de provincias de la región Arequipa

La región posee un nivel de pobreza de 21% y 4% de extrema pobreza al 2009.

Tabla 20. Niveles de Pobreza monetaria

Provincia	Pobreza
La Unión	50.50%
Caylloma	42.30%
Castilla	40%
Condesuyos	36.90%
Islay	24.80%
Camana	21.90%
Arequipa	18.50%
Caraveli	15.50%

Fuente: INEI

²² Instituto Nacional de Estadísticas e Informática-INEI

En la región al 2013 existe una cobertura eléctrica del 92.8% y rural de 68.2%, esto indica que las localidades en su mayoría de la región andina de Arequipa no cuentan con el servicio de energía eléctrica. Estas Localidades se encuentran principalmente fuera de la concesión de la empresa Sociedad Eléctrica del Sur Oeste (SEAL).

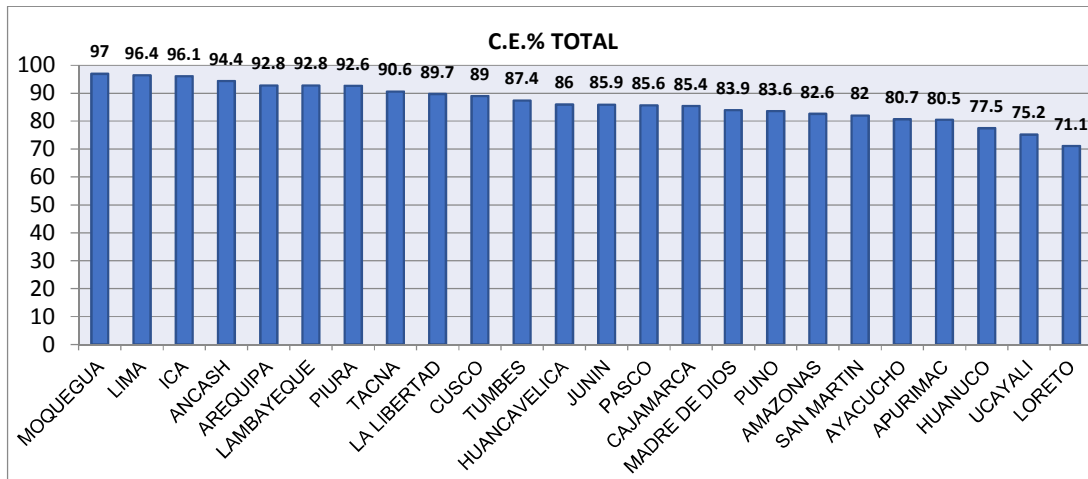


Gráfico 10. Coeficientes de Electrificación total por departamento

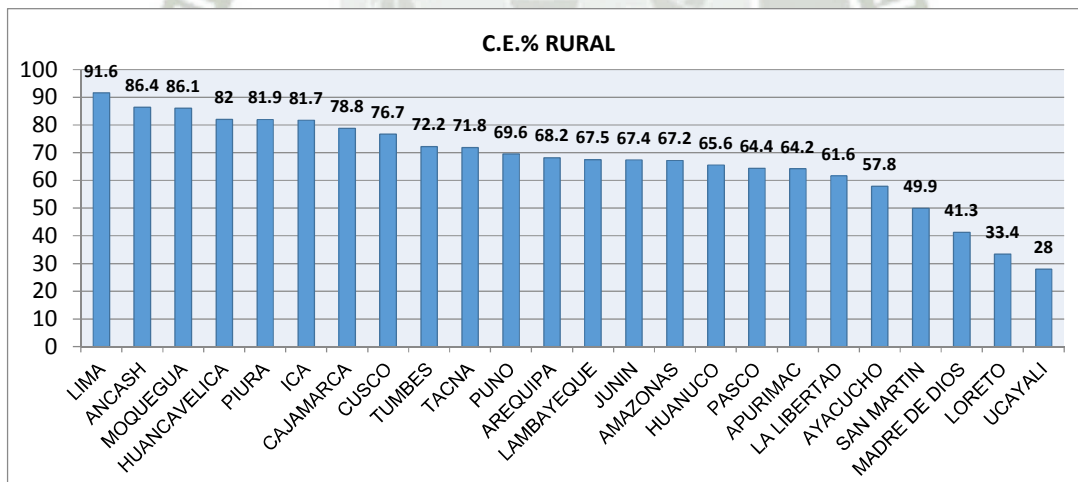


Gráfico 11. Coeficientes de Electrificación rural por departamento

Fuente: DGER/MINEM

Las comunidades de la región Arequipa que no cuentan con electricidad pertenecen en su mayoría a las provincias de Caylloma, Castilla, Condesuyos y la Unión, las cuales han sido identificadas en esta propuesta.

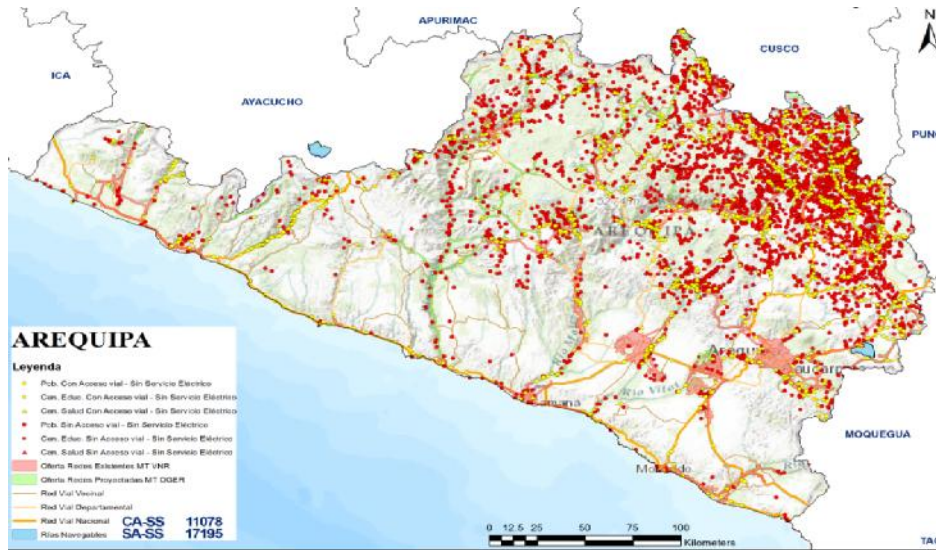


Figura 37. Modelamiento para la región Arequipa

Según el FOSE al mes de septiembre, el número de suministros con tarifas residenciales tipo BT5 residencial son:

Tabla 21. Suministros eléctricos por Empresa

Empresa	Suministros	Participación
ADINELSA	1472	0.42%
SEAL	350000	99.58%
Total	351472	100.00%

Para ADINELSA:

Tabla 22. Suministros por nivel de consumo y promedio

Nivel de consumo	Suministros	Participación	Promedio de kwh
De 1 a 30 kW.h	1160	78.80%	11.313
De 31 a 100 kW.h	276	18.75%	54.518
De 101 a 150 kW.h	20	1.36%	128.6
De 151 a 300 kW.h	13	0.88%	224.385
De 301 a 500 kW.h	2	0.14%	334
De 501 a 750 kW.h	1	0.07%	666
Total	1472	100.00%	

Esto nos indica que más del 75% de los suministros de ADINELSA, el cual opera en zonas fuera de la concesión de SEAL tiene un consumo menor a 12 kwh en promedio.

Si comparamos los suministros (SEAL) que tienen un consumo entre 1 a 30 kwh por provincia tenemos lo siguiente:

Tabla 23. Suministros por provincia entre 1 y 30 kwh

Provincia	Suministros	% en Provincia	Participación	Promedio de kwh
Caylloma	8551	49.01%	8.92%	13.711
Castilla	4879	46.43%	5.09%	13.546
Condesuyos	3582	72.97%	3.74%	13.128
Camana	7035	39.54%	7.34%	14.845
Islay	6443	36.80%	6.72%	14.192
La Unión	2793	80.03%	2.91%	12.173
Arequipa	59451	22.03%	62.03%	14.024
Caraveli	3113	36.75%	3.25%	14.713
Total	95847		100.00%	

Podemos ver que la provincia de La Unión tiene el más alto porcentaje, un 80% de suministros dentro del rango de 1 a 30 kwh del total de esta, esto es un común denominador de las provincias alto andinas como Caylloma, Castilla e Islay, las cuales tienen cerca del 50% de suministros con este consumo mensual, y otros superan este porcentaje (caso de La Unión y Condesuyos).

Dentro de los suministros que consumen entre 1 a 30 kwh, fuera de la concesión de SEAL tenemos:

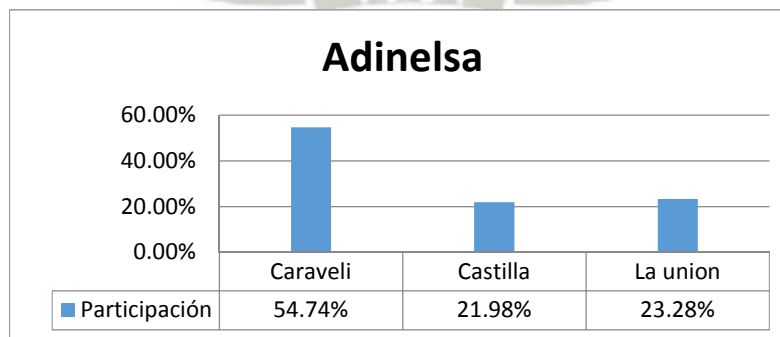


Gráfico 12. Suministros por provincia entre 1 y 30 kwh

Además se observa que el promedio aproximado es de 13.5 kwh del total de los suministros (en este rango) conectados al SEIN.

-Identificación de actividades principales: Las principales actividades que requieren servicio de energía eléctrica para su desarrollo son:

- Sector doméstico: suministro básico.
- Servicios de educación.
- Servicios de Salud.
- Servicios comunales y sociales.
- Actividad agrícola: Bombeo de agua, irrigación y fertilización.
- Actividad Ganadera: Esquilado, hilado y proceso de fibra. Además de Cercos eléctricos para crianza de camélidos y cultivos de quinua, pastos.



Figura 38. Actividades ganaderas en la región

- Refrigeración de alimentos: Incrementará la calidad del producto y permite mayores márgenes de tiempo entre cosecha y entrega en el mercado.
- Comunicación: Carga de celulares, uso de TV y radios.

Tabla 24. Distritos con comunidades sin cobertura eléctrica

PROVINCIA	DISTRITO	CA-SS	SA-SS
AREQUIPA	CHARACATO	2	2
	CHIGUATA	403	80
	LA JOYA	396	1162
	MOLLEBAYA	121	0
	POCSI	6	10
	POLOBAYA	241	67
	QUEQUEÑA	31	2
	SABANDIA	6	6
	SAN JUAN DE SIGUAS	32	308
	SAN JUAN DE TARUCANI	264	370
	SANTA ISABEL DE SIGUAS	270	15
	SANTA RITA DE SIGUAS	5	106
	SOCABAYA	13	45
	UCHUMAYO	227	84
	VITOR	11	89
	YARABAMBA	152	41
YURA	139	363	
CAMANA	CAMANA	0	1
	JOSE MARIA QUIMPER	1	3
	MARIANO NICOLAS VALCARCEL	0	1113
	MARISCAL CACERES	19	356
	NICOLAS DE PIEROLA	260	141
	OCOÑA	345	112
	QUILCA	26	67
	SAMUEL PASTOR	2	1059
CARAVELI	ACARI	15	17
	ATICO	262	77
	ATIQUIPA	13	53
	BELLA UNION	20	55
	CAHUACHO	365	46
	CARAVELI	12	7
	CHALA	2	4
	CHAPARRA	760	525
	HUANUHUANU	0	129
	JAQUI	84	38

PROVINCIA	DISTRITO	CA-SS	SA-SS
	LOMAS	442	48
	QUICACHA	512	170
	YAUCA	17	48
CASTILLA	ANDAGUA	483	82
	APLAO	32	50
	AYO	170	133
	CHACHAS	554	270
	CHILCAYMARCA	245	31
	CHOCO	20	389
	HUANCARQUI	51	36
	MACHAGUAY	47	58
	ORCOPAMPA	26	189
	PAMPACOLCA	28	178
	TIPAN	70	1
	UÑON	0	7
	URACA	79	102
	VIRACO	8	117
	CAYLLOMA	ACHOMA	22
CABANACONDE		23	79
CALLALLI		383	960
CAYLLOMA		346	485
CHIVAY		42	68
COPORAQUE		0	180
HUAMBO		379	105
HUANCA		17	265
ICHUPAMPA		0	90
LARI		6	227
LLUTA		419	491
MACA		11	27
MADRIGAL		21	95
MAJES		40	111
SAN ANTONIO DE CHUCA		157	435
SIBAYO		76	213
TAPAY		0	192
TISCO		232	637
TUTI		17	185
YANQUE		71	350

CONDESUYOS	ANDARAY	14	28
	CAYARANI	44	568
	CHICHAS	7	46
	CHUQUIBAMBA	23	77
	IRAY	19	4
	RIO GRANDE	1	21
	SALAMANCA	4	161
	YANAQUIHUA	116	435
ISLAY	COCACHACRA	313	33
	DEAN VALDIVIA	15	3
	ISLAY	6	3
	MEJIA	0	2
	MOLLENDO	26	163
	PUNTA DE BOMBON	40	17
LA UNION	ALCA	309	274
	CHARCANA	96	64
	COTAHUASI	38	37
	HUAYNACOTAS	75	143
	PAMPAMARCA	7	156
	PUYCA	43	562
	QUECHUALLA	0	35
	SAYLA	66	167
	TAURIA	0	55
	TOMEPAWA	0	61
TORO	210	62	

Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Oferta Eléctrica fotovoltaica

La metodología se explica en el anexo IV, basándonos en el balance de energía:

$$\text{Energía generada} = \text{Energía consumida} + \text{Pérdidas del sistema}$$

5.2.2.1. Identificación del potencial solar

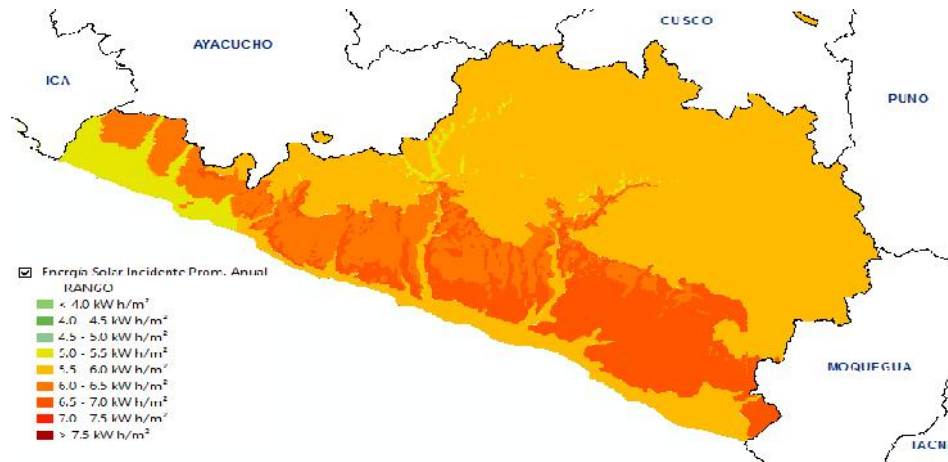


Figura 39. Potencial solar en Arequipa

Según esto, indicamos los valores para el dimensionamiento por zonas. La zona central del mapa-Zona I es la más apremiada con el recurso solar, la zona sierra-Zona II (mayor extensión) y donde están la gran mayoría de comunidades a atender según esta propuesta tiene un nivel entre 5.5 a 6 kwh, y la zona costa-Zona III que limita con Ica tiene un nivel inferior entre 5 y 5.5 kwh.

Entonces para asegurar que la capacidad tanto del módulo fotovoltaico y de la batería, abastezca la demanda requerida durante todo el año tomamos lo siguiente:

Tabla 25. Irradiación Global Media en kwh/m2-día

Lugar	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Min	Max	Med
ZONA I	7	7	6.5	6	5.5	5	5.5	5.5	6.5	7	7.5	7	5	7.5	6.33
ZONA II	5	5.5	6	5.5	5.5	4.5	4.5	4.5	5.5	6	6.5	5.5	4.5	6.5	5.38
ZONA III	5.5	6	6.5	4.5	5	4.5	4.5	4	4	4.5	5	5.5	4	6.5	4.96

Fuente: Atlas Solar del MINEM

5.2.2.2. Identificación del consumo energético.

Como se menciona en capítulo segundo el requerimiento está basado en el suministro básico de electricidad. Se establece lo siguiente como requerimientos básicos de iluminación y comunicación:

Tabla 26. Demanda de energía Requerida por una vivienda rural

Equipo	Cantidad	Consumo unitario (W)	Potencia de consumo (W)		Servicio (h/día)	Consumo (Wh/día)	
			Por carga	Total		Por carga	Total
Luminaria LED	3	11	33	88	4	132	267
Conector Celular	1	15	15		1	15	
Radio	1	15	15		3	45	
Televisor B/N	1	25	25		3	75	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Demanda de energía Requerida por un centro de salud básico

Equipo	Cantidad	Consumo unitario (W)	Potencia de consumo (W)		Servicio (h/día)	Consumo Energía (Wh/día)	
			Por carga	Total		Por carga	Total
Luminaria	5	15	75	455	6	450	1655
Conector Celular	2	20	40		1.5	60	
Computadora portátil	1	65	65		3	195	
Radio	1	15	15		3	45	
Televisor Color	1	60	60		3	180	
Conservador/congelador	1	100	100		4	400	
Purificador de agua	1	50	50		4	200	
Ventilador de techo	1	50	50		2.5	125	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Demanda de energía Requerida por una escuela básica

Equipo	Cantidad	Consumo unitario (W)	Potencia de consumo (W)		Servicio (h/día)	Consumo (Wh/día)	
			Por carga	Total		Por carga	Total
Luminaria Led	5	15	75	685	4	300	2990
Conector Celular	2	20	40		1.5	60	
Radio	2	30	60		4	240	
Televisor Color	1	100	100		4	400	
Computadora portatil	4	65	260		5	1300	
Proyector	1	100	100		4	400	
DVD	1	35	35		4	140	
Conexión a internet	1	15	15		10	150	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Demanda de energía Requerida para un tambo

Equipo	Cantidad	Consumo unitario (W)	Potencia de consumo (W)		Servicio (h/día)	Consumo (Wh/día)	
			Por carga	Total		Por carga	Total
Luminaria Led	5	15	75	1110	8	600	5030
Radio	2	40	80		4	320	
Carga Celular	4	25	100		2	200	
Televisor 19" Color	2	100	200		4	800	
Computadoras	4	65	260		4	1040	
Proyector	1	100	100		4	400	
DVD	1	40	40		4	160	
Conexión a internet	1	15	15		10	150	
Frigorífico de 200 l	1	100	100		5	500	
Estación meteorológica	1	15	15		24	360	
Purificador de agua (2 gpm)	1	125	125		4	500	

Fuente: Elaboración propia

5.2.2.3. Sistema fotovoltaico para Vivienda

Tabla 30. Análisis fotovoltaico para la región Arequipa

Región	Recurso Solar		Módulo Fotovoltaico			Energía aprovechable			Factor A/G
	Radiación (kWh/m ²)	HPS (h)	Wp (W)	Im (A)	Vm (V)	Batería (Ah)	Batería-A (Wh)	Modulo-G (Wh)	
Arequipa	4.96	4.96	65	3.7	17.6	13.2	158.1	220.5	0.7171
	5.38	5.38				14.3	171.5	239.2	
	6.33	6.33				16.8	201.8	281.4	
	4.96	4.96	85	4.8	17.8	17.1	205.7	288.4	0.7133
	5.38	5.38				18.6	223.1	312.8	
	6.33	6.33				21.9	262.5	368	
	4.96	4.96	100	5.3	19	18.9	226.3	339.3	0.6669
	5.38	5.38				20.5	245.4	368	
	6.33	6.33				24.1	288.8	433	

Según lo detallado, podemos concluir que un panel de 85 Wp es suficiente para abastecer a zonas con nivel de radiación mínimo de 5.38 kwh/m². Para zonas menores a este valor (Zona III de la propuesta) requerirá por lo menos un tamaño mayor, se considera el de 100 Wp. A la vez se demuestra que a mayores tamaños del módulo la energía almacenada en la batería es menor en porcentaje, es decir, para el panel de 100 Wp requiere tamaños de batería 150 Ah y para 85 Ah será suficiente uno de 100 Ah.

- Sistema autónomo a 220 VAC en la carga y 12 VDC en las baterías.

Tabla 31. Dimensionado de SFV para vivienda

SISTEMA FV PARA VIVIENDA	DIMENSIONADO		
	Energía*fs	Wh/día	307
	Paneles	Unidades	1
	Serie	Unidades	1
	Paralelo	Unidades	1
	Batería	Ah	150
	Serie	Unidades	1
	Paralelo	Unidades	1
	Controlador	A	10
	Inversor	W	150

Fuente: Elaboración propia

Se considera que el costo del inversor (entre 150 y 200 \$ para esta sistema) es necesario, esto apoyado en la sostenibilidad del sistema, ya que los equipos de consumo típicos son a 220 V AC en el mercado, además de técnicamente ser más factible por el menor diámetro de conductor requerido a esta tensión, a expensas de un 5 a 10 % de pérdidas de energía es este equipo. Se recomienda conectar el inversor a la salida del controlador (en paralelo a las cargas en continua si existen), así se mantiene la protección dada por el controlador al sistema, en otro caso el conectar el inversor directamente a las baterías, podría descargarlas fuera del límite permitido técnicamente (sobre descarga). El primer caso requiere que el controlador sea capaz de soportar la corriente demandada por el inversor.

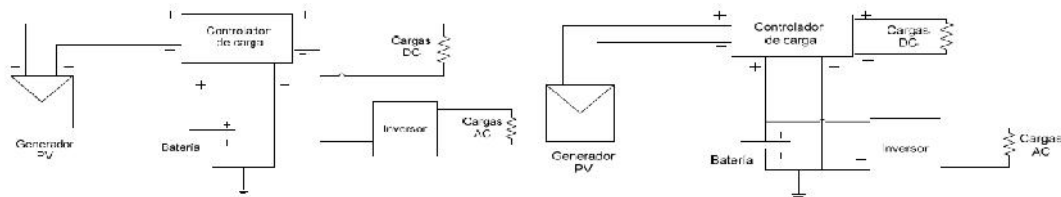


Figura 40. Configuración de sistemas FV respecto al inversor

5.2.2.4. Sistema fotovoltaico para Centro de Salud

- Sistema a 220 VAC en la carga y 12 VDC en las baterías

Tabla 32. Dimensionado de SFV centro de salud

Sistema FV PARA CENTROS DE SALUD	DIMENSIONADO		
	Energía*fs	Wh/día	1903
	Paneles	Unidades	5
	Serie	Unidades	1
	Paralelo	Unidades	5
	Batería	Ah	750
	Serie	Unidades	1
	Paralelo	Unidades	5
	Controlador	A	40
	Inversor	W	650

Fuente: Elaboración propia

5.2.2.5. Sistema fotovoltaico para Escuelas

- Sistema a 220 VAC en la carga y 12 VDC en las baterías

Tabla 33. Dimensionado de SFV para escuela

SISTEMA FV PARA ESCUELAS	DIMENSIONADO		
	Energía*fs	Wh/día	3439
	Paneles	Unidades	8
	Serie	Unidades	1
	Paralelo	Unidades	8
	Batería	Ah	1250
	Serie	Unidades	1
	Paralelo	Unidades	5
	Controlador	A	80
	Inversor	W	1200

Fuente: Elaboración propia

5.2.2.6. Sistema fotovoltaico para tambos.

- Sistema a 220 VAC en la carga y 48 VDC en las baterías

Tabla 34. Dimensionado de SFV para tambo

SISTEMA FV TAMBOS	DIMENSIONADO		
	Energía*fs	Wh/día	6036
	Paneles	Unidades	6
	Serie	Unidades	2
	Paralelo	Unidades	3
	Batería	Ah	600
	Serie	Unidades	4
	Paralelo	Unidades	3
	Controlador	A	25
	Inversor	W	1600

Fuente: Elaboración propia












5.2.2.7. Pico Paneles FV

Son equipos autónomos proveedores de energía, tienen una potencia entre 3 a 10 Wp para suministrar entre 0.3 a 1.5 kWh/mes y tiene un costo entre 50 a 100 dólares. Principalmente para abastecer cargas como lámpara(s) LED, radio, celular, tienen una batería Li-ion generalmente incorporada en la luminaria.

Haciendo un análisis simple, considerando un flujo luminoso de focos incandescentes (11 lm/W) y 10 kWh/mes de electricidad, esto se podría obtener usando lámparas LED o compactas eficientes (110 lm/W) y un consumo de 1 kWh/mes de electricidad, lo que puede producir un panel FV de 5 -10 Wp.

Estos sistemas Pico FV son una solución para una electrificación rural básica, donde los pobladores rurales de Arequipa requieren tener un punto de iluminación en distintos lugares en el año (o cargar el celular).

Tabla 35. Características técnicas de Pico FV

Lamps	Photos	Battery Type	Nominal Voltage (V)	Position	1		2		3		4		5		6		7
					Discharging	Charging	Discharging	Charging	Discharging	Charging	Discharging	Charging	Coulomb	Efficiency	DOD (%)		
A Nova		SLA	6	high	1,34	1,45	7,99	9,53	0,92	0,83	0,60						
B Phocos		Ni-MH	5	medium	1,98	1,99	9,86	11,93	0,99	0,83	0,99						
C Cosmos		Ni-MH	3,6	high	2,00	2,09	7,20	9,14	0,96	0,79	0,99						
D Sunclaya		Li - Ion	7,4	high	2,17	2,17	16,43	17,18	1,00	0,96	0,86						
E Fosera 4200		Li - Ion	3,2	4 LEDs	4,73	4,77	14,86	15,19	0,99	0,97	0,99						
F Fosera 7000		Li - Ion	3,2	6 LEDs	7,71	7,77	24,60	25,95	0,99	0,95	0,98						
G Suntrasfe2		Gel -Pb	6	medium	5,16	5,15	33,09	38,19	0,95	0,85	0,91						
H Suntrasfer 10		Gel -Pb	12	x	18,40	18,80	222,20	242,40	0,98	0,92	0,97						
I Firefly 12		Ni-Cd	3,6	liqui	0,67	0,78	2,36	3,38	0,86	0,70	0,97						
J Barefoot		SLA	12	x	4,89	4,96	58,41	63,50	0,99	0,92	0,95						
K Barefoot Mohll		Li - Ion	3,2	x	0,96	1,53	2,98	5,19	0,63	0,57	0,97						

Fuente: CER-UNI

5.2.2.8. Sistemas fotovoltaicos para pequeños usos productivos

El uso productivo de la energía eléctrica generada por sistemas fotovoltaicos es una alternativa tecnológica viable que podría generar un cambio significativo en la forma de vivir de sus habitantes. Los impactos económicos positivos del uso productivo de la electricidad (UPE) mediante SFV en las comunidades rurales pueden ser directos o indirectos.

La capacidad y configuración de un sistema para usos productivos depende de la aplicación. Por ejemplo, los sistemas de bombeo de agua generalmente no requieren de baterías, mientras que aplicaciones que exigen una disponibilidad de energía continua, como la refrigeración, sí la necesitan.

Para estos proyectos debe garantizar una adecuada transferencia de tecnología. En ese sentido, las orientaciones descritas en el presente trabajo pueden servir como guía para futuros proyectos de aplicación productiva de la energía.

1. Bombeo Fotovoltaico: El objetivo primordial del sistema es aprovechar al máximo la energía diaria que suministra el panel.
 - Una de las razones de la competitividad de esta aplicación es que no es necesario el uso de baterías. El depósito de agua es, en este caso, el medio para almacenar energía. El agua es bombeada durante el horario solar y puede ser almacenada para su uso en cualquier momento del día.
 - Las configuraciones posibles de sistemas fotovoltaicos de riego. Para pequeñas potencias se destaca el uso de motobombas CC conectadas directamente o a través de un convertidor CC/CC al generador y para potencias mayores es más común el uso de

motores de corriente alterna AC con bombas centrífugas, también está extendido el uso de bombas de membrana.

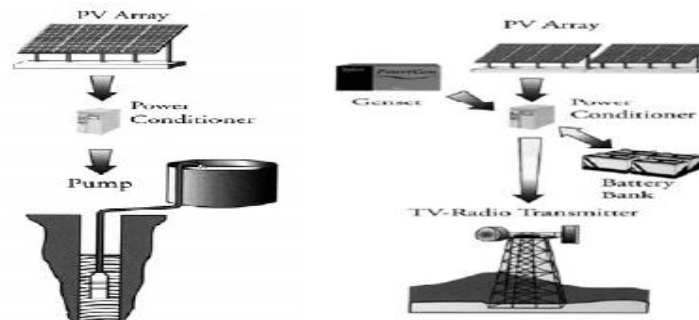


Figura 41. Configuraciones para el bombeo fotovoltaico

Aplicando:

$$P = 2.725 * Q * H$$

$$P = 10 * H * V / G$$

Dónde:

H: Altura de bombeo en m.

Q: Caudal en m³/h

V: Volumen de bombeo en m³.

G: Irradiación en kwh/m²-día

Tabla 36. Potencia requeridas para bombeo solar

Potencia en Wp (5.5 kWh/m ²)			
Altura (m)	Caudal (cfm)	(m ³ /día)	Potencia Wp
10	0.74	2.5	45
15	1.18	4	110
20	1.47	5	180
25	0.74	2.5	125
10	1.18	4	70
15	1.47	5	140
20	2.94	10	370

Fuente: Elaboración propia

La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura) resume el potencial del bombeo fotovoltaico para irrigación en la agricultura:

- Extensión de la superficie cultivada
- Permite triplicar o cuadruplicar el rendimiento agrícola de las tierras.
- Reducción del riesgo de sequías, que produce más seguridad económica;
- Introducción de cultivos más valiosos.

2. Cercos eléctricos: El uso de cercados eléctricos mediante la energía solar fotovoltaica también tiene grandes ventajas, para el dueño de la granja o criadero de animales le permite tener una mejor administración territorial de su propiedad, los animales están en mejor condición y las utilidades para el productor son mayores.

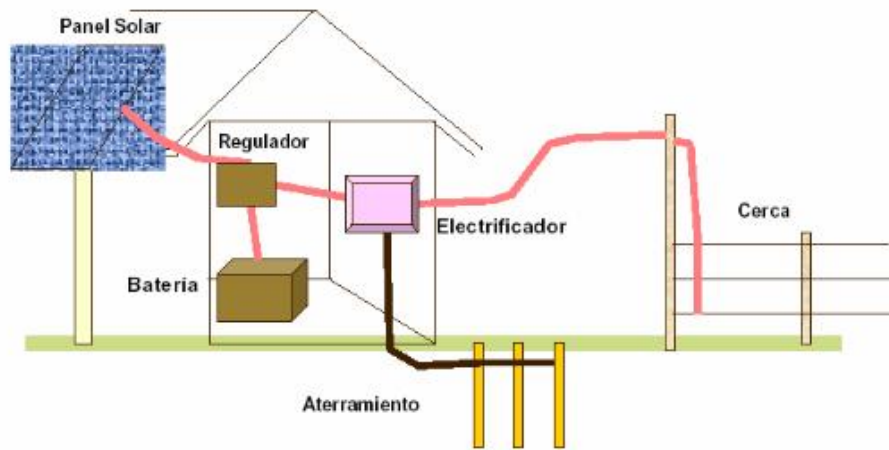


Figura 42. Instalación fotovoltaica para cerco eléctrico

Las cercas eléctricas constan de un equipo electrónico capaz de producir choques de alto voltaje (de cinco mil a siete mil voltios, según el animal) por milisegundos. El consumo de energía es bajo porque los choques son breves y sólo ocurren cuando los animales tocan la cerca. Los cargadores funcionan con energía de baterías de 12 Volt.

La potencia del módulo solar depende de cada necesidad siendo el más pequeño de 5W, siguiendo los de 10W, 18W, 36W y pueden llegar hasta 300 Watts de potencia.



Figura 43. Pulsador para cerca eléctrica fotovoltaica

Un SFV para el abastecimiento de una cerca, que consiste en un panel de 50 Wp, una batería de 90 Ah, regulador de carga y aterramiento en tres puntos tiene un costo de 2500 dólares aproximadamente, principalmente el costo se debe a las líneas eléctricas del cerco, el pulsador y los aterramientos.

3. Refrigeración fotovoltaica: Los refrigeradores y congeladores FV se utilizan ampliamente en clínicas de salud, gracias a su gran fiabilidad y al poco mantenimiento que necesitan, así como por la extrema importancia de la conservación fiable de las vacunas de los programas de inmunización. Por ejemplo un refrigerador de 165 litros es capacidad suficiente para el almacenamiento de productos básicos en zonas rurales, este podría abastecerse con un panel de entre 40 a 80 Wp, para mantenerlo entre 9 hasta -1°C de acuerdo a los requerimientos específicos. Además en este tipo de aplicaciones no se requiere de un inversor ya que usualmente funcionan a 12 VDC

4. Hiladoras y Esquiladoras: Actualmente se tiene disponibilidad de pequeñas máquinas hiladoras que funcionan tanto con corriente alterna como continua. Con potencias nominales de 70 W (hiladora) y 12 VDC, existe la disponibilidad de variación

de velocidad (ventaja respecto a hiladoras manuales) de su motor eléctrico (desde 0 a 1500 RPM) permitiendo a la persona que utilice la hiladora, regular la velocidad en función del ritmo de hilado que requiera. Principalmente son accionadas con sistemas fotovoltaicos de 100 Wp y batería de 150 Ah.



Figura 44. Maquina hiladora de 70 W

Para el caso de una esquiladora de 200 W puede abastecerse con paneles desde 100 hasta 150 Wp por ser procesos no continuos. Una maquina esquiladoras de 200 W DC tiene un costo aproximado de 750 dólares, mientras una hiladoras de 70 W DC es 1000 dólares.



Figura 45. Esquiladora a 12 VDC

Es el funcionamiento de las esquiladoras con sistemas fotovoltaicos, se deben disponer de mayor cantidad de baterías que sean recargadas, para mayor autonomía en el trabajo de esquilado.

Entonces el rango de 0 – 500 Wp responde a un rango nominal de potencias dentro del cual se ubican aplicaciones fotovoltaicas con mayor opción de desarrollo y que pueden ser calificadas como pequeñas. Empezando con sistemas cuya potencia típica gira en torno a los 50 Wp, con posibilidad de ampliación hasta los 100 Wp, así como también potencias entre 35 y 50 Wp, permite servicios de iluminación mediante lámparas fotovoltaicas (Picopaneles FV). Dentro de este rango de potencias también tienen cabida aplicaciones no domiciliarias, como las esquiladoras, bombeo de agua, telefonía rural, conservadoras de vacunas, centros de comunicaciones radiales, apoyo en escuelas rurales, cargadores de baterías.

Tabla 37. Inventario de SFV para el desarrollo rural

Aplicación	Descripción	Capacidad mínima (Wp)
Agua para Abrevaderos	Sistemas en DC sin almacenamiento	200
Cercado eléctrico	Tablero, batería , alimentador	50
Electrificación de granjas, corrales y chacras (seguridad)	Lámparas compactas o LED	50
Bombeo de agua	Sistemas en DC y AC	100
Trampas de luz para insectos	Sistema con almacenamiento	50
Refrigeración de vacunas	Sistema en DC con almacenamiento	150
Hiladora	Sistema en DC con almacenamiento	100
Esquiladora	Sistema en DC con almacenamiento	100
Taller de artesanías	Iluminación y herramienta pequeñas en DC	150
Taller de sastrería	Iluminación y máquina de coser	150

5.3. PRESUPUESTO DE INSTALACIONES

Se describen los costos de inversión de los diferentes sistemas dimensionados (características técnicas), pero debemos precisar que son referenciales ya que a estos costos debe sumarse el de transporte, montaje y en algunos casos pruebas de funcionamiento.

Tabla 38. Sistema fotovoltaico para Vivienda

Ítem	Descripción	Especificaciones técnicas	Cant.	Unidad	Precio Unitario S/.	Precio Total S/.
1	Panel solar de 100 Wp	a) Panel Monocristalino, 12 VDC	1	Unid.	640.00	640
2	Controlador de Carga	a)Controlador 10 A , 12/24 Vdc - CA	1	Unid.	130	130
3	Batería Solar	a) Capacidad de 150 Ah a 12 Vdc de Libre Mantenimiento	1	Unid.	1066	1066
4	Inversor de corriente	a) Inversor de corriente de 300 Watts a 220 VAC – 60 Hz	1	Unid	438	438
6	Tablero de distribución	a) Tablero adosable de 50x40x20	1	Unid.	120	120
7	Sistema de soporte para módulos solares	a) Soporte metálico para módulos tipo H + Poste de 4 metros de diámetro de 03 pulgadas	1	Unid.	190	190
8	Sistema de batería	a) Soporte para Batería	1	Unid.	50	50
9	Cable y accesorios de instalación	a) Cable vulcanizado 2x12 AWG –módulo al controlador 08 m. b) Cable vulcanizado 2 x 12 AWG - regulador a la batería 1,5 c)Llave termomagnetica de 20 A.	1	Kit.	80	80
TOTAL						2714

Fuente: Recopilación de distintos proveedores

Tabla 39. Sistema fotovoltaico para centro de salud básico

Ítem	Descripción	Especificaciones técnicas	Cant.	Unidad	Precio Unitario S/.	Precio Total S/.
1	Panel solar de 100 Wp	a) Panel Monocristalino, 12 VDC	5	Unid.	640	3200
2	Controlador de Carga	a) Controlador de 60 amp de capacidad, sólo una función	1	Unid.	1015	1015
3	Batería Solar	a) Capacidad de 150 Ah a 12 Vdc de Libre Mantenimiento	5	Unid.	1066	5330
4	Inversor de corriente	a) Inverter 12/800-230V	1	Unid	2300	2300
5	Tablero de distribución	a) Tablero adosable	1	Unid.	120	120
6	Sistema de soporte para módulos solares	a) Soporte metálico para módulos tipo H + Poste de 4 metros de diámetro de 03 pulgadas	1	Unid.	640	640
7	Sistema de batería	a) Soporte para Batería	1	Unid.	200	200
8	Cable y accesorios de instalación		1	Kit.	250	250
					TOTAL	13055

Fuente: Recopilación de distintos proveedores

Tabla 40. Sistema fotovoltaico para Escuela básica

Ítem	Descripción	Especificaciones técnicas	Cant.	Unidad	Precio Unitario S/.	Precio Total S/.
1	Panel solar de 100 Wp	a) Panel Monocristalino, 12 VDC	8	Unid.	640	5120
2	Controlador de Carga	a) Controlador 80 amp de capacidad	1	Unid.	1015	1015
3	Batería Solar	a) Capacidad de 250 Ah a 12 Vdc de Libre Mantenimiento	5	Unid.	1400	7000
4	Inversor de corriente	a) Inverter 12/1200-230V	1	Unid	3600	3600
6	Tablero de distribución	a) Tablero adosable	1	Unid.	120	120
7	Sistema de soporte para módulos solares	a) Soporte metálico para módulos	1	Unid.	840	840
8	Sistema de batería	a) Soporte para Batería	1	Unid.	350	350
9	Cable y accesorios de instalación		1	kit	450	450
					TOTAL	18495

Fuente: Recopilación de distintos proveedores

Tabla 41. Sistema fotovoltaico para tambos

Ítem	Descripción	Especificaciones técnicas	Cant.	Unidad	Precio Unitario S/.	Precio Total S/.
1	Panel solar de 250 Wp	a) Panel Monocristalino, 24 VDC	6	Unid.	1500	9000
2	Controlador de Carga	a) Controlador a 48 Vdc , de 25 A	1	Unid.	1215	1215
3	Batería Solar	a) Capacidad de 150 Ah a 12 Vdc de Libre Mantenimiento	12	Unid.	1066	12792
4	Inversor de corriente	a) Inversor 1600W; 48Vdc/220Vac - 60 Hz	1	Unid	9600	9600
6	Tablero de distribución	a) Tablero adosable	1	Unid.	240	240
7	Sistema de soporte para módulos solares	a) Soporte metálico para módulos	1	Unid.	1500	1500
8	Sistema de batería	a) Soporte para Batería	1	Unid.	850	850
9	Sistema de pararrayos	a) Sistema de pararrayos y puesta a tierra	1	Unid.	3350	3350
9	Cable y accesorios de instalación		1	kit	2500	2500
					TOTAL	41047

5.4. TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA Y SOSTENIBILIDAD

La manera como la tecnología es transferida al usuario es determinante para el éxito de los proyectos. El proceso de transferencia depende de factores técnico, sociales, económicos, políticos y ambientales por lo que hasta localidades cercanas pueden tener diferentes características y por lo tanto, diferentes formas de abordar la transferencia tecnológica. El fin de la transferencia debe ser la adopción de la tecnología por parte de los usuarios. Por lo tanto, la transferencia de tecnología debe asegurar que los usuarios finales estén adecuadamente entrenados en la operación, manutención y en lo posible, reparación de los equipos.

Es importante, el hecho que deben ser establecidas metas, tomando en cuenta las posibilidades y limitaciones del proyecto. Debe existir también una participación activa de los usuarios en el planeamiento del proyecto porque esa interacción podría permitir conocer mejor las necesidades locales e incrementar su aceptación social, especialmente a nivel local.

Se debe considerar lo siguiente:

- **Capacitación.** La capacitación es una parte importante del proceso de transferencia tecnológica la cual debe ser dada tanto a los usuarios del sistema como a otros agentes involucrados. Las capacitaciones sirven para transferir la tecnología a los usuarios de tal manera que ellos la hagan propia. Es importante seleccionar y capacitar técnicos locales que puedan cumplir con el mantenimiento preventivo y correctivo para reducir el riesgo de paros y fallas en el sistema. Un criterio para la selección es por ejemplo que la persona posea conocimientos básicos de electricidad, pero ante la ausencia de este factor pueden ser escogidos personas con curiosidad innata y que posean habilidades manuales, además de la voluntad y disponibilidad de tiempo para cumplir las labores de mantenimiento. Los técnicos deben poder identificar fallas en el sistema, determinar el mal funcionamiento de un equipo en particular y saber responder adecuadamente a estos conflictos.
- **Sistemas de financiamiento.** El sistema de financiamiento influirá en la sostenibilidad del proyecto. La sostenibilidad de un proyecto, aun en los casos que el sistema es totalmente subsidiado, será asegurada si por lo menos son cubiertos los costos de operación, mantenimiento y de remplazo del sistema. Existen diversos

esquemas de financiamiento siendo los más comunes la donación, el subsidio y el crédito.

- **Gestión y administración.** Las actividades de gestión y administración deben comenzar desde los primeros contactos con la comunidad. Tanto la gestión como administración del sistema deben ser diseñadas considerando las características socioculturales locales. Por lo tanto, deben ser consideradas las formas posibles de gestión según las posibilidades y limitaciones de la comunidad.

Entonces, el proceso de transferencia tecnológica en el medio rural es imprescindible, la utilización de un lenguaje comprensible para ellos, al respeto de sus tradiciones y la búsqueda de soluciones acordes con su realidad es fundamental. La regla de oro es que “se deben usar los recursos y capacidades locales, todo lo que se puede arreglar y manejar dentro de la comunidad, debe ser realizado allí, con el fin de dar un máximo de autonomía en el manejo del recurso y sentar las bases de confianza mutua”²³

La respuesta a ¿Qué sucederá después de instalar el sistema de electrificación? , se basa en la sostenibilidad, que es el resultado de una adecuada transferencia tecnología, la cual en los proyectos actuales se fortalece por la educación y capacitación de usuarios.

²³ Casper-Villalobos *et al.*, 2003).

CONCLUSIONES

- El acceso Universal a la energía es un objetivo de la política energética del Perú, para hacer posible el acceso universal se tiene que electrificar las comunidades rurales aisladas, donde se concentra la pobreza, la falta de servicios y oportunidades. Esto requiere integrar con adecuada planificación y de forma efectiva la electrificación convencional con la electrificación aislada basada en energías renovables.
- El acceso al servicio eléctrico para la población rural remota es costoso a través de extensión de redes, para esto los sistemas fotovoltaicos son una tecnología competitiva y fiable que permite facilitar un acceso básico al servicio eléctrico.
- La prestación del servicio eléctrico mediante sistemas térmicos aislados es en promedio de 4 a 5 horas diarias, debido al alto costo del combustible y/o a ineficiencias en la operación. Para esto se demostró que el suministro eléctrico mediante un generador convencional tiene costos de inversión bastante superiores respecto a instalaciones fotovoltaicas aisladas.
- Los sistemas fotovoltaicos deben ser dimensionados tomando los criterios descritos ya que los requerimientos de energía, condiciones climatológicas y el potencial solar varían en cada región del País.

- Para la región Arequipa podemos identificar 11078 viviendas, 151 escuelas y 34 centros de salud fuera de la cobertura de las redes eléctricas y con acceso a redes viales, por lo que se propone esta cifra para la implementación de los SFV en primera etapa.
- El tamaño de panel para un radiación promedio de 5.38 kwh/m²-día (gran parte de las zonas identificadas en esta propuesta) es de 85 Wp, con un valor energético de 9.4 kwh-mes suficiente para abastecer el suministro básico correspondiente a iluminación y comunicación y cerrar esta brecha energética. Zonas con menor a esta radiación debe considerarse un panel mínimo de 100 Wp y una batería de 150 Ah como se demostró. Este último con un costo de inversión de \$ 950 incluido inversor.
- Se dimensiono además los sistemas fotovoltaicos para cargas de centro de salud y escuela, calculando un tamaño de potencia instalada proporcional a 5, 8 y 12 la potencia instalada de vivienda.
- De acuerdo a la propuesta se identificó actividades productivas que pueden ser abastecidas por sistemas fotovoltaicos menores a 500 Wp en zonas rurales y que son una solución apropiada para el impacto económico en las familias y a la mejora de sus condiciones de vida mediante el aumento de sus ingresos.
- La capacitación técnica y adecuada de los pobladores para la utilización, control y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos es necesario para la sostenibilidad de los sistemas, es necesario realizar labores de seguimiento de su operación.

- La sostenibilidad de la electrificación rural tendrá por un lado la participación del Estado en cuanto a los subsidios, que debido a que la inversión inicial es alta con respecto de la capacidad de pago de la gran mayoría de las familias de este ámbito se requiere estos mecanismos de compensación como el FOSE y el FISE .
- El análisis realizado demuestra el potencial de aplicar herramientas GIS, en esta propuesta con aplicación para el análisis de la demanda energética fotovoltaica.
- La presente propuesta realizada permite su replicabilidad para diversos proyectos públicos y privados del sector, además de los criterios técnicos para evaluar alternativas para proveer el servicio de electricidad.



RECOMENDACIONES

- Ñ Se recomienda que a partir de lo establecido en esta propuesta, se identifique la oferta energética para el Acceso universal a la energía con énfasis en el empleo productivo y el desarrollo rural.
- Ñ Se recomienda tomando las orientaciones de esta propuesta, analizar alternativas como los aerogeneradores o el uso de mini y pico hidroeléctricas en áreas rurales. Además se puede considerar la opción de sistemas fotovoltaicos centralizados y mixtos (eólico-solar), considerando las necesidades energéticas y debiendo usar el energético del lugar.
- Ñ Se recomienda que debido a que la tecnología fotovoltaica ha alcanzado un alto grado de madurez técnica y económicamente, se elabore propuestas para posibilitar la generación inyectada a la red de distribución (generación distribuida), mejorando la calidad del servicio en las colas de red por ejemplo y cubriendo servicios mínimos en caso de falla.
- Ñ Se recomienda que se aborde los temas energéticos desde la óptica territorial, ya que existe una estrecha vinculación entre las cuestiones energéticas y territoriales además que posibilita un análisis más integral.

BIBLIOGRAFÍA

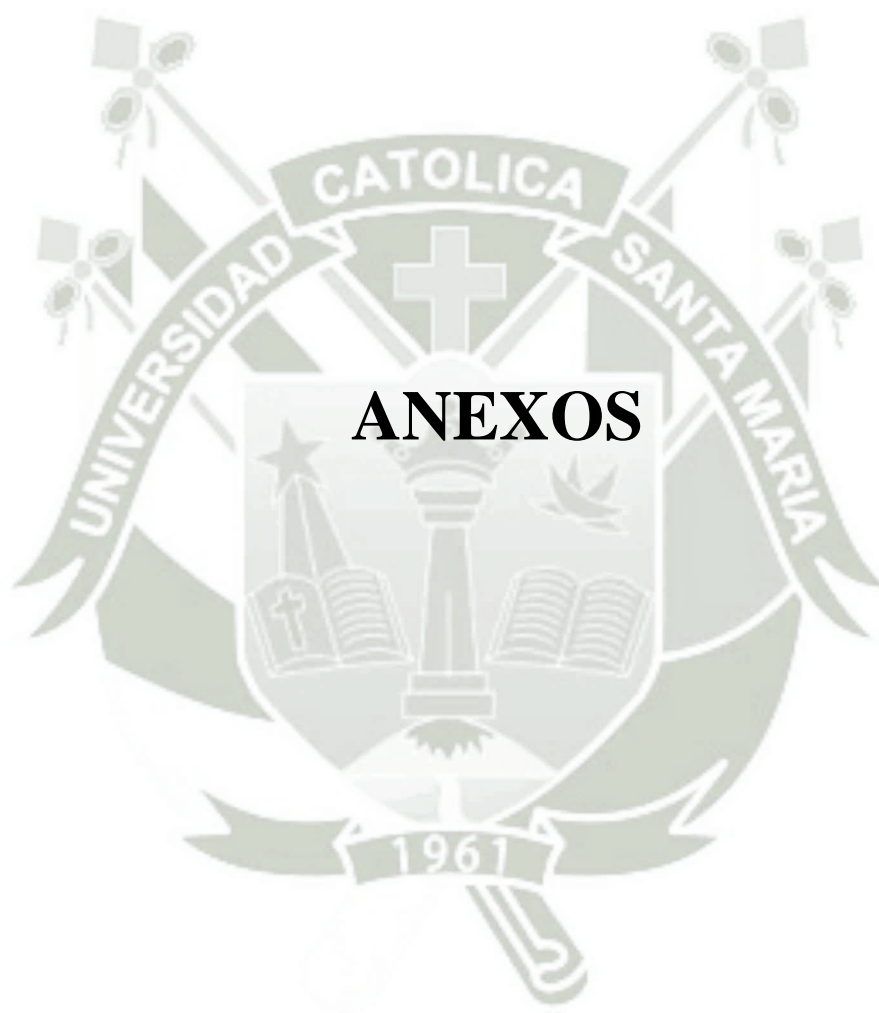
1. Propuesta Metodológica para el logro del Acceso Universal a la Energía en el Perú; Murillo V.,García E., Carcausto D. e Inocente J., Proyecto FISE Osinergmin, Perú 2013.
2. Energía Sostenible para Todos: un Programa Mundial de Acción, Naciones Unidas Asamblea General, 2012.
3. Bases para la subasta de suministro de electricidad con recursos energéticos renovables en áreas no conectadas a red, Osinergmin-GART, 2014.
4. Plan nacional de electrificación rural, PNER 2014-2023, DGER/MINEM.
5. Plan de Acceso Universal a la Energía 2013-2022, DGEE/MINEM.
6. Atlas de Energía Solar del Perú, SENAMHI-DEP/MINEM, 2003.
7. Resumen ejecutivo Plan Energético Nacional 2014-2025, DGEE/MINEM.
8. El servicio universal a la electricidad en el Perú, C.Abanto, A.Cairampoma, V. Murillo, Universitat de Barcelona, 2014.
9. Fijación de la tarifa Rural para sistemas fotovoltaicos 2014-2018, GART/División de distribución eléctrica, 2014.
10. Guía de presentación de proyectos de electrificación rural con energía fotovoltaica FV, DGER, Dirección de fondos concursables, Lima-Perú, 2012.
11. Norma MEM/DGE: Especificaciones Técnicas y Procedimientos de evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para Electrificación Rural, 2007.
12. Guía de instalación de sistemas fotovoltaicos domésticos (SFD), 2007.
13. Estudio del Plan Maestro de electrificación rural con energía renovable en la República del Perú, Agencia de Cooperación Internacional de Japón Electric Power Development, MINEM, 2008.

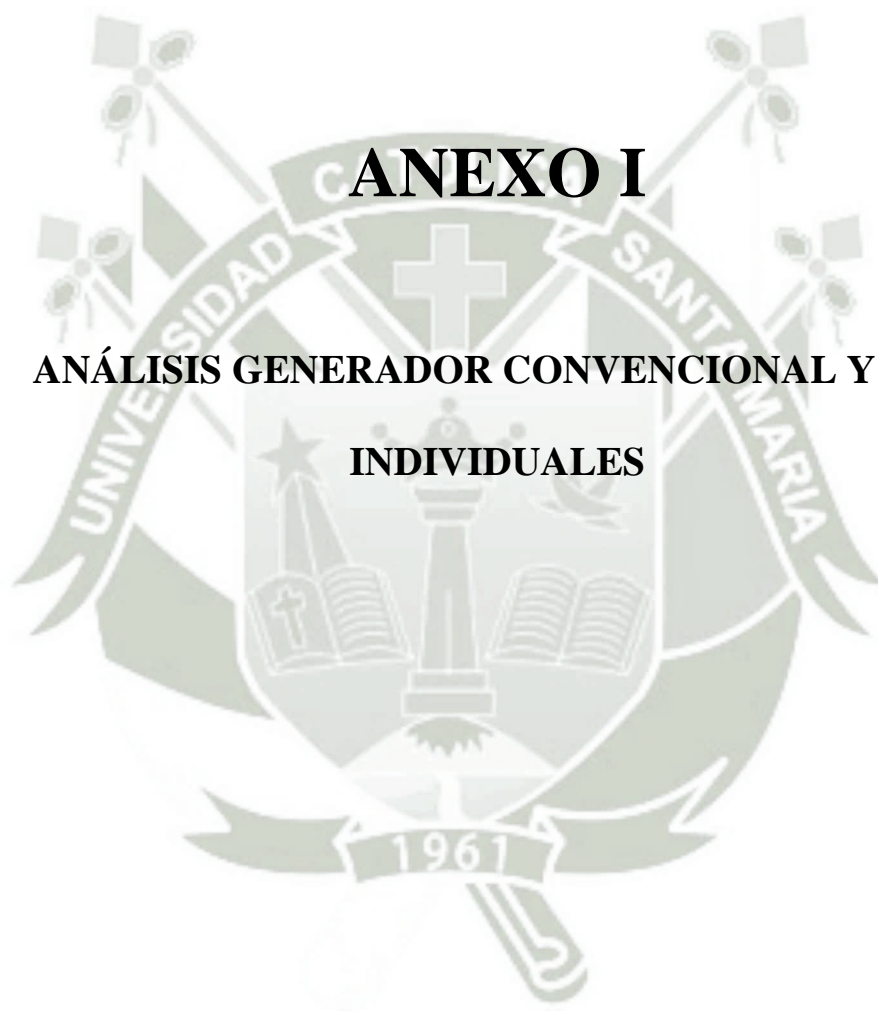
14. Guía metodológica para el desarrollo de proyectos de electrificación rural mediante sistemas fotovoltaicos aislados, Juan José del Valle Gasanz, Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior, 2011.
15. Evaluación financiera y económica del proyecto electrificación rural con energía renovable, Banco Interamericano de Desarrollo BID, 2013.
16. Buenas prácticas en economía, marketing y ética de las energías renovables, Ing. Carlos Orbezo, Green Energy consultoría y servicios SRL, 2010.
17. Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país, Delfor Flavio Muñoz Anticona, Lima –UNI, 2005.
18. Generación eléctrica con recursos energéticos renovables no convencionales en el Perú, Gerencia Adjunta de Regulación Tarifaria-GART/Osinermin, 2014.
19. Energía: una visión sobre los retos y oportunidades en América Latina –Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe, 2013.
20. Diseño de sistemas fotovoltaicos, O.Perpiñan, A. Colmenar, M. Castro, España, 2012.
21. Programa de fomento de sistemas fotovoltaicos ProSolar, México, 2012.
22. Energía solar fotovoltaica manual técnico para instalaciones domiciliarias, C.Orbezo y R. Arivilca, Green Energy consultoría y servicios SRL, 2010.
23. Capacitación y transferencia tecnológica: su importancia en la sostenibilidad de los proyectos basados en tecnología solar fotovoltaica, F. Morante, A. Mocelin y R. Zilles, Universidade federal y Universidade de Sao Paulo, 2006.
24. Practical Action (2012) Poor people's energy outlook 2012: Energy for earning a living, Practical Action Publishing, Rugby, UK.

25. Planificación de los sistemas de distribución, diapositivas de instalaciones eléctricas II, UCSM-Arequipa, 2013.
26. Impacto económico y social de energía solar fotovoltaica residencial en el norte de Chile, Patricio Guzmán Paredes, Universidad Mayor Facultad de Ingeniería, Chile, 2011.
27. Energía solar fotovoltaica para la agricultura y desarrollo rural sostenibles, B. van Campen, D. Guidi y G. Bosp, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura –FAO, 2000.
28. Diagnóstico de la problemática de la electrificación rural en el Perú, Gerencia de Fiscalización Eléctrica, Osinergmin, 2010.
29. Resultados de la supervisión a sistemas eléctricos rurales aislados a cargo de municipios y entidades locales 2008-2010, Gerencia de Fiscalización Eléctrica Osinergmin, 2010.
30. Sistemas fotovoltaicos y la ordenación territorial, M. Rodríguez, M. Castro, A. Vázquez, M. Vilaragut, La Habana, 2013.
31. Energía solar fotovoltaica para la agricultura y desarrollo rural sostenibles, B. Campen, D. Guidi y G. Best FAO, 2000.

Páginas Web.

1. www.fise.gob.pe
2. www.osinergmin.gob.pe
3. www.minem.gob.pe
4. <http://cer.uni.edu.pe/>
5. <http://www.solucionespracticas.org.pe/>





ANEXO I

ANÁLISIS GENERADOR CONVENCIONAL Y SFV

INDIVIDUALES

Considerando los datos siguientes para el Sistema FV:

Tabla: Datos para Sistemas fotovoltaicos

SFV	Costo \$	Año
Inversión inicial	950	0
Batería	350	Cada 7 años
OyM anual	5% Inv.	Anual
Controlador e inversor	250	cada 10 años

Fuente: Recopilación propia

Para el generador diesel:

Tabla: Datos del generador diésel

GENERADOR	Costo \$	Año
Inversión inicial	6140.0	0
Combustible	5443.4	Anual
OyM	3700.0	Anual

Fuente: Recopilación propia

Podemos establecer lo siguiente para el generador diesel:

Tabla: Cálculos técnicos- Generador diesel

Cálculos		
Costo Diésel	1.21	dólar/litro
Variación del combustible	4.50%	anual
Factor transporte	1.15	
Equivalencia	40.36	Kwh/galon diesel
Equivalencia	10.66	kwh/litro
40 kwh requeridos	3.75	litros diésel
n=0.35	10.72	litros diarios
Anual	3911.92	litros anual
Costo	5443.44	\$/anual

Fuente: Recopilación propia

Se presenta lo siguiente:

Tabla: Inversión en Sistemas fotovoltaicos

		Inversión (\$)					Total
		Sistema	Manten.	Reem.	SubTotales	Total /Unidad	
Años	0	950			950	950	38000
	1		47.5		47.5	997.5	39900
	2		47.5		47.5	1045	41800
	3		47.5		47.5	1092.5	43700
	4		47.5		47.5	1140	45600
	5		47.5		47.5	1187.5	47500
	6		47.5		47.5	1235	49400
	7		47.5	350	397.5	1632.5	65300
	8		47.5		47.5	1680	67200
	9		47.5		47.5	1727.5	69100
	10		47.5	250	297.5	2025	81000
	11		47.5		47.5	2072.5	82900
	12		47.5		47.5	2120	84800
	13		47.5		47.5	2167.5	86700
	14		47.5	350	397.5	2565	102600
	15		47.5		47.5	2612.5	104500
	16		47.5		47.5	2660	106400
	17		47.5		47.5	2707.5	108300
	18		47.5		47.5	2755	110200
	19		47.5		47.5	2802.5	112100
	20		47.5	550	597.5	3400	136000

Podemos ver que el costo de cambio de baterías es elevado, se considera un reemplazo cada 7 años, apoyado en que existen baterías hasta de 10 años pero con costos muy elevados.

Los costos de operación y mantenimiento equivalen a 47.5 \$/anuales, tomando en cuenta valores referenciales de la GART-Osinergmin la cual publica estos para calcular la tarifa BT8 que corresponde a estos sistemas.

Tabla: Inversión en el generador diesel

		Inversión						
		Siste. Gen	Combustible	OyM	Reemplazo	SubTotal	Total	
Años	0	6145					6145	6145
	1		5443	2500	1200		9143	15288
	2		5688	2500	1200		9388	24676
	3		5944	2500	1200		9644	34321
	4		6212	2500	1200		9912	44233
	5		6491	2500	1200		10191	54424
	6		6784	2500	1200		10484	64908
	7		7089	2500	1200		10789	75696
	8		7408	2500	1200		11108	86804
	9		7741	2500	1200		11441	98245
	10		8089	2500	1200		11789	110035
	11		8453	2500	1200		12153	122188
	12		8834	2500	1200		12534	134722
	13		9231	2500	1200		12931	147653
	14		9647	2500	1200		13347	161000
	15		10081	2500	1200	6145	19925	180926
	16		10535	2500	1200		14235	195160
	17		11009	2500	1200		14709	209869
	18		11504	2500	1200		15204	225073
	19		12022	2500	1200		15722	240795
	20		12563	2500	1200		16263	257057

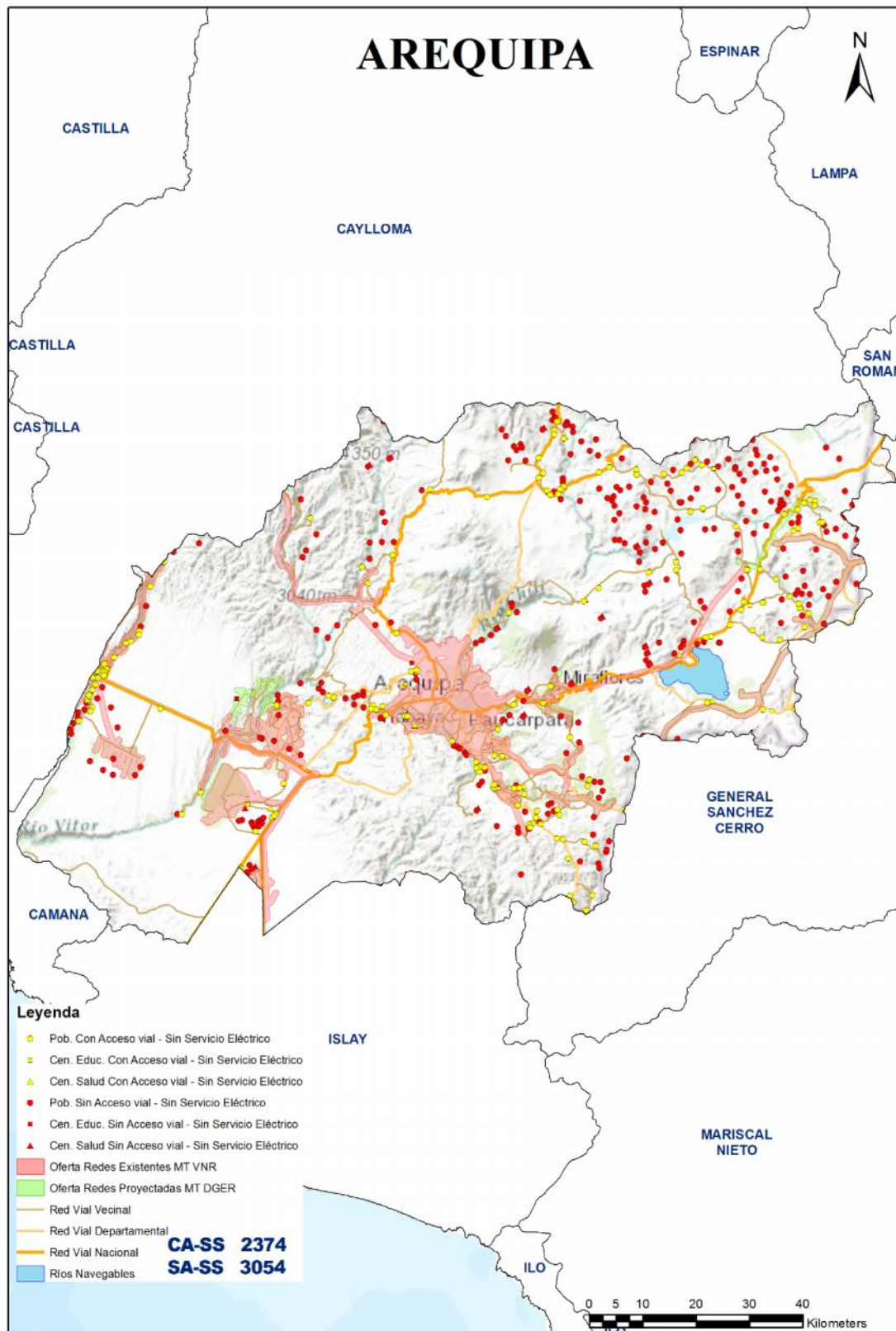
Con estos valores se construyó la curva presentada en el análisis presentado de oferta energética.

Debemos indicar que se considera una eficiencia de 35 % del generador diesel, la cual es nominal, por lo que a condiciones atmosféricas de elevadas alturas esta eficiencia será menor y el costo de combustible mayor.

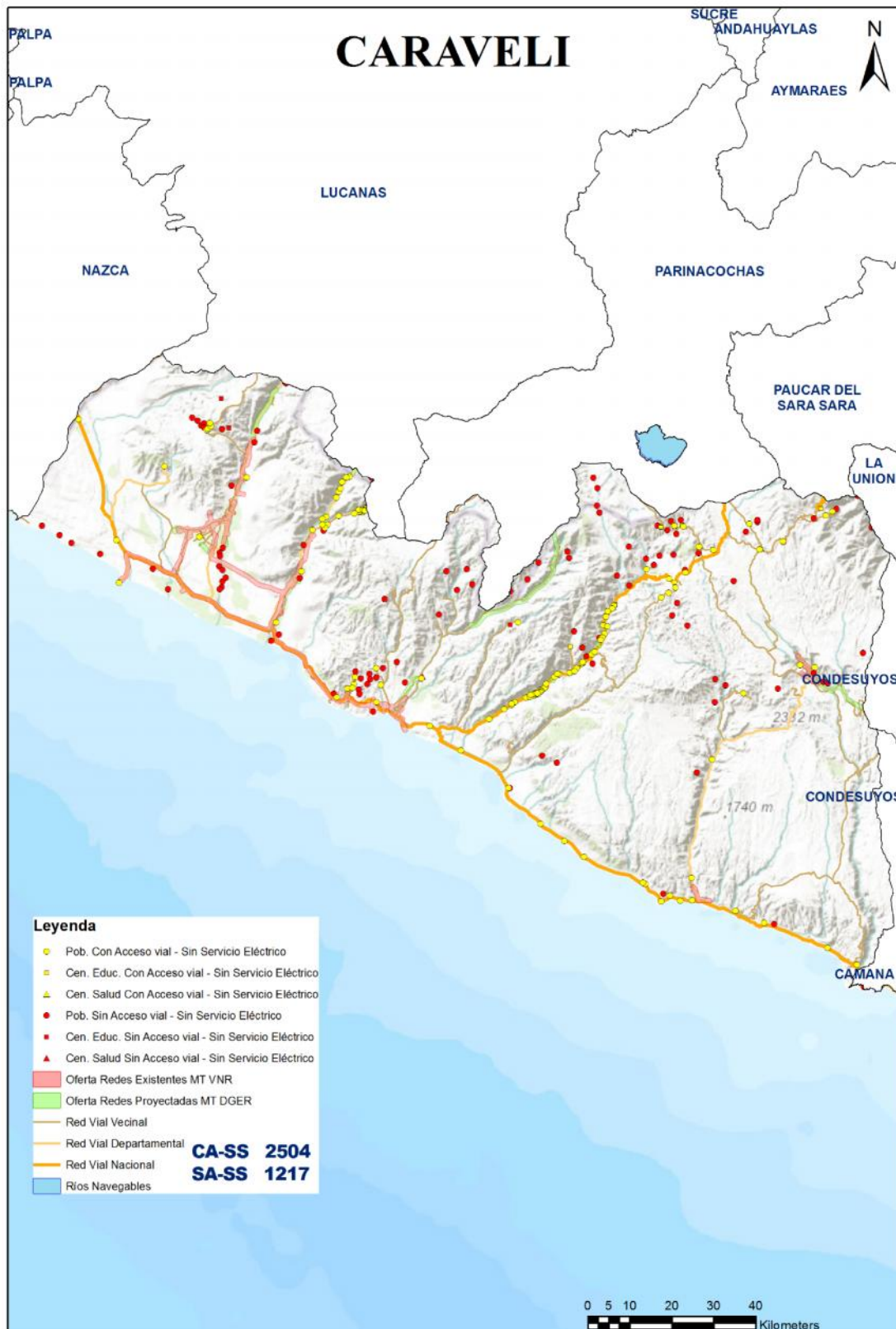


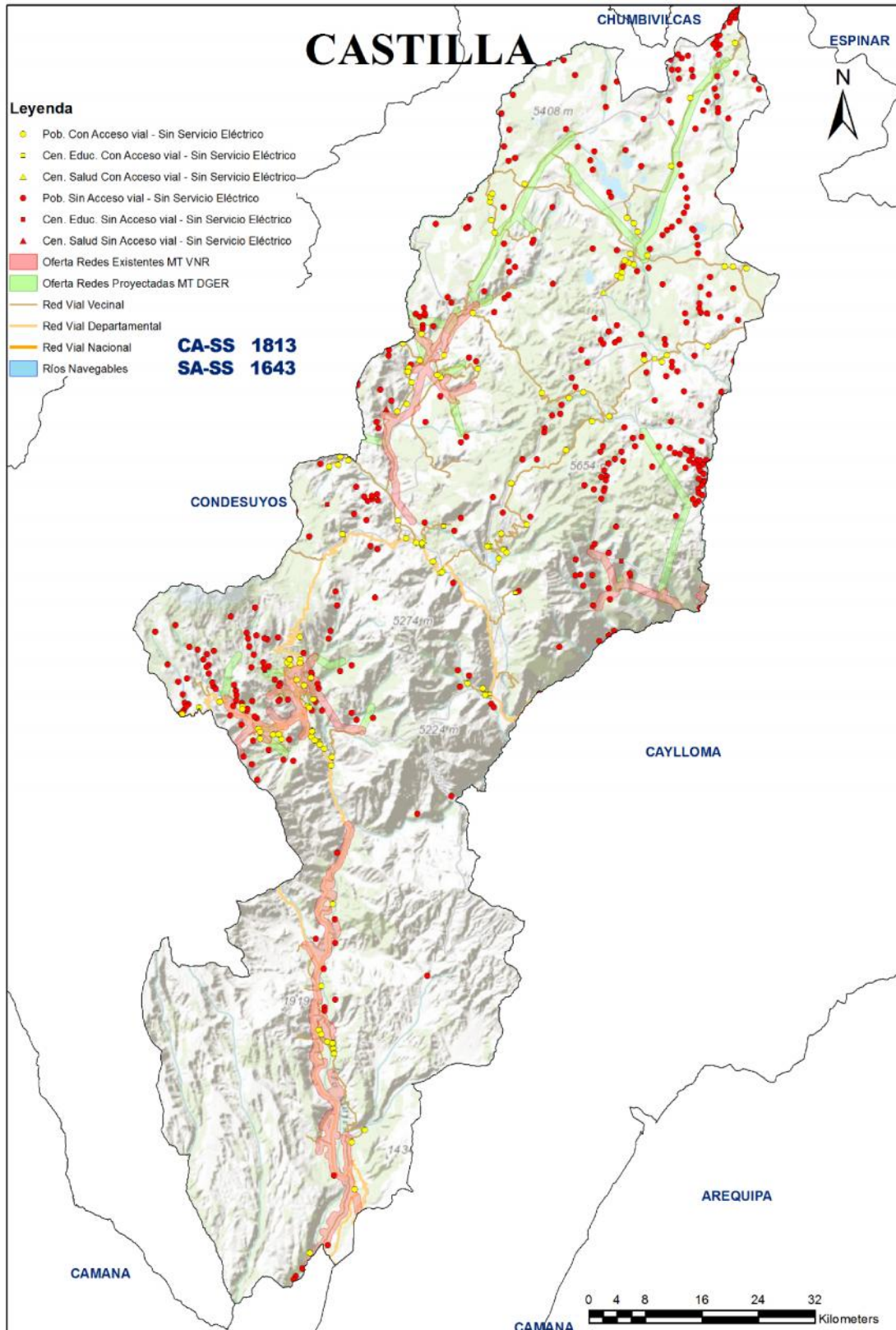
ANEXO II

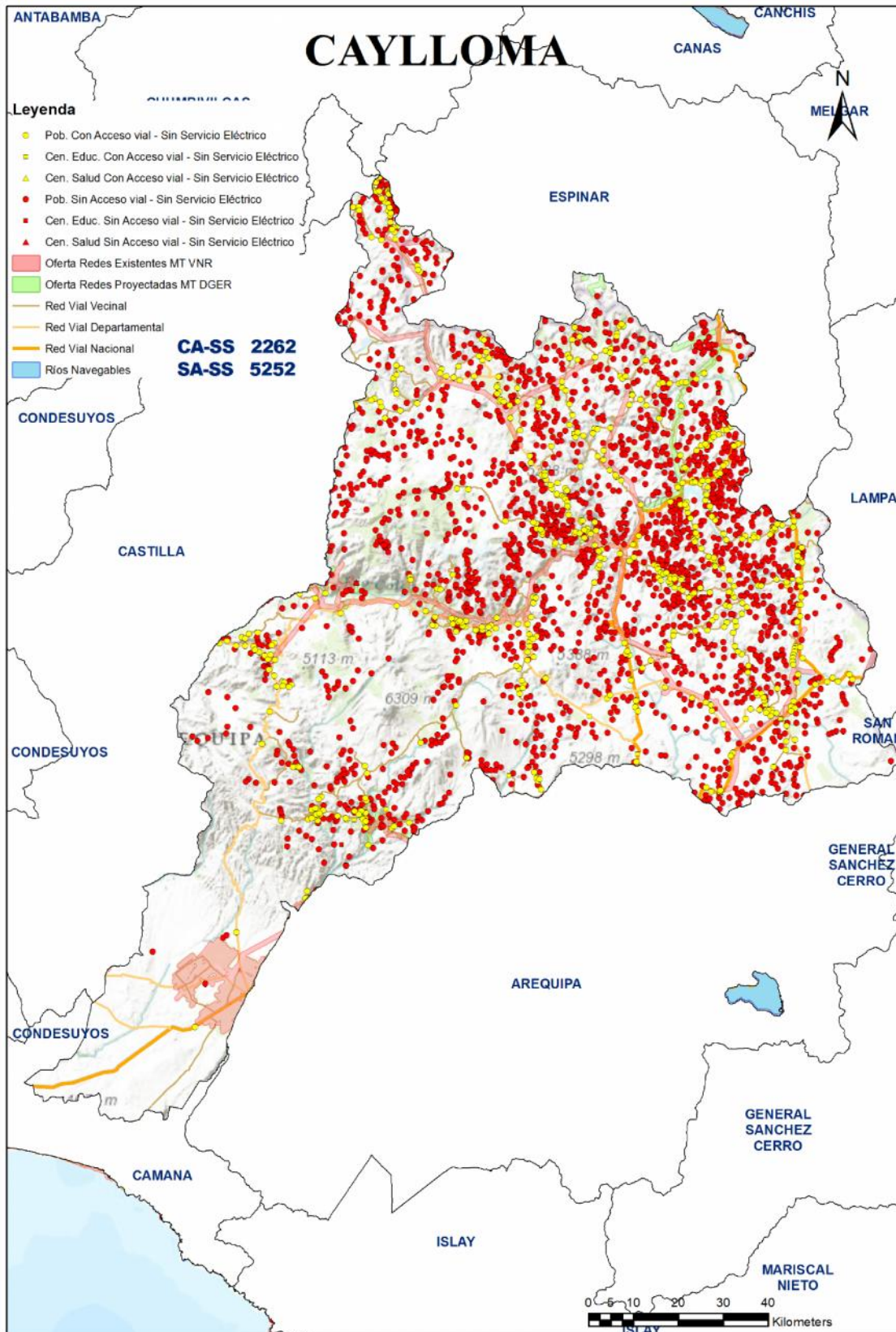
CATÁLOGO DE MAPAS DEL MODELAMIENTO

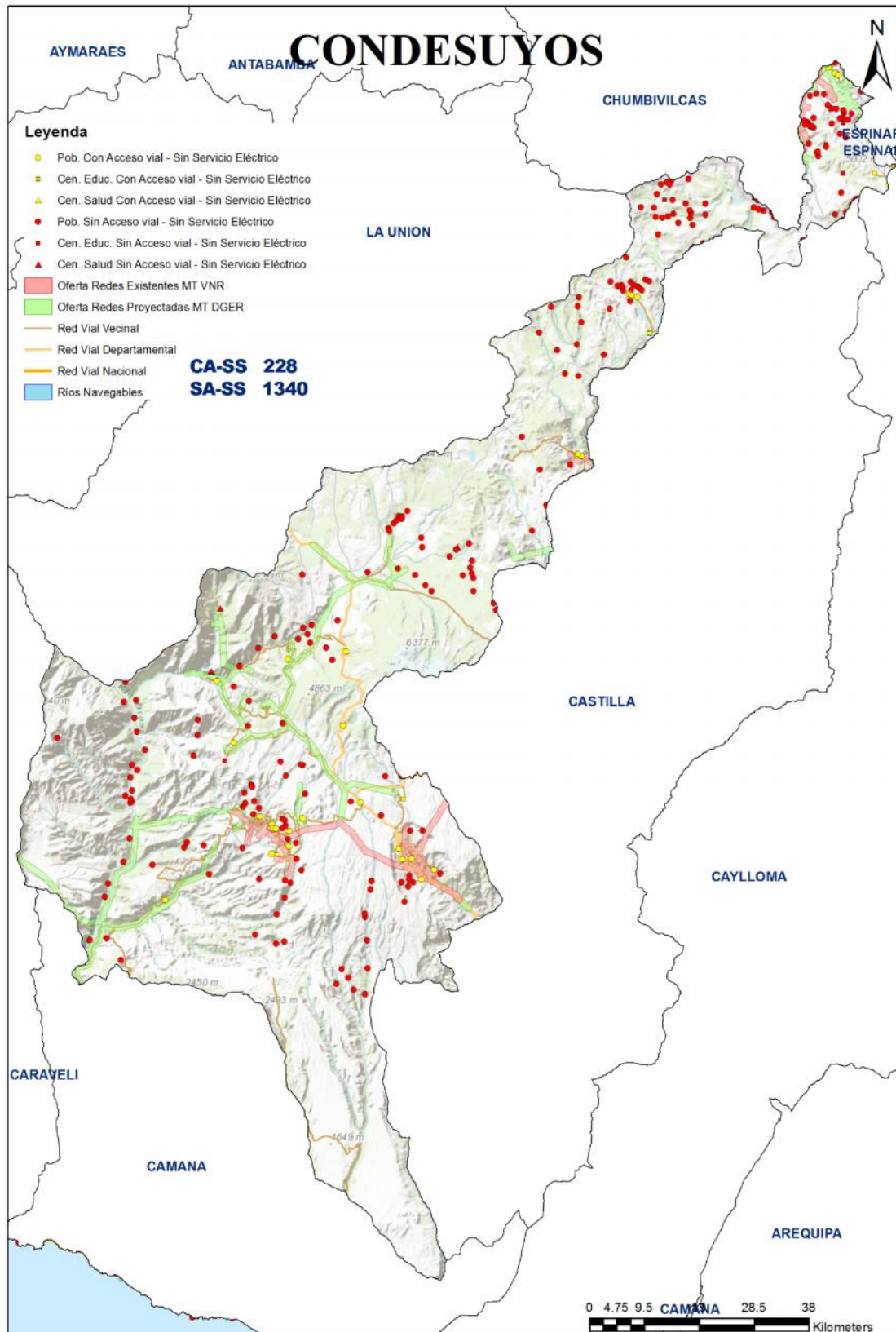




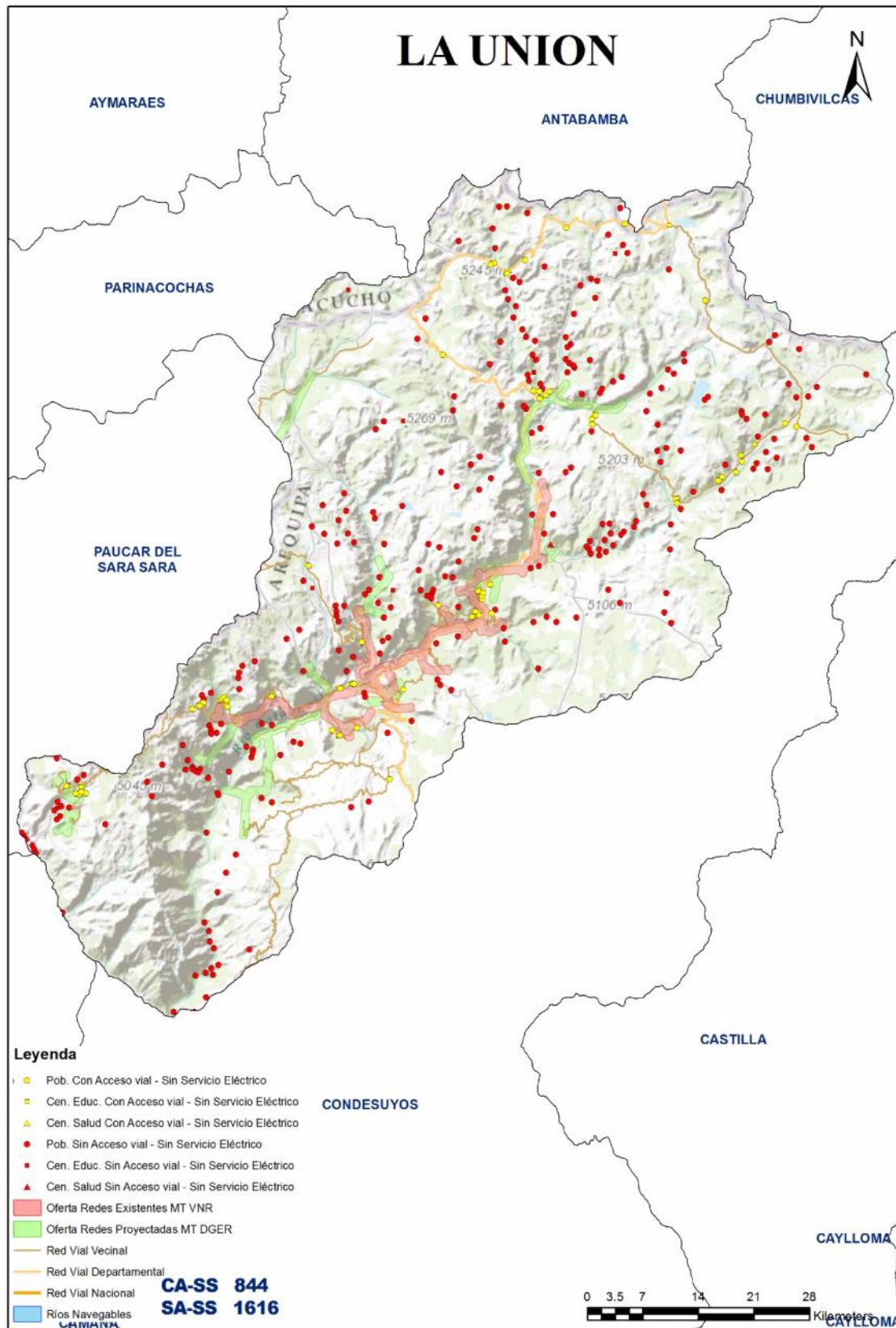














ANEXO III

METODOLOGÍA DE DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

El dimensionamiento consiste en determinar la capacidad para satisfacer la demanda de energía de los usuarios. En zonas rurales y aisladas, el sistema FV debe poseer una alta confiabilidad. El método de dimensionamiento se fundamenta en el balance de energía:

$$\text{Energía generada} = \text{Energía consumida} + \text{Pérdidas}$$

Se requiere identificar:

- Consumo energético

Tabla: Consumos energéticos de cargas

Carga/Aplicación	Potencia (W)
Ventilador del techo	10 a 50
Ventilador de la mesa	10 a 25
Incandescente (100 W)	100
Incandescente (60 W)	60
Foco ahorrador (Equivalente a 60W incandescente)	16
Incandescente (40 W)	40
Foco ahorrador (Equivalente a 40W incandescente)	11
DVD	35
Teléfono Celular básico	15
Impresora	100
Computadora (escritorio)	80-150
Computadora (portátil)	20-50
TV (12" B/N)	20-30
TV (19" color)	60
TV (21" Color)	70
Lavadora	150
Bomba de agua de 1/5 HP	165
Radio	15
Maquinas herramienta	200-500
Máquina de Fax	100
Refrigeradora/Congeladora (19 Cu Ft.)	1 kWh/ día
Refrigeradora/Congeladora (16 Cu Ft.)	.7 kWh/ día
Refrigeradora/Congeladora (12 Cu Ft.)	.47 kWh/ día
Refrigeradora/Congeladora (10 Cu Ft.)	.28 kWh/ día

Fuente: Recopilación propia

- Pérdidas de energía: Son las pérdidas de energía principalmente de la batería, y pérdidas del inversor DC/AC (en los SFV que corresponda) que se presentan en el transporte de energía del panel fotovoltaico a las cargas típicas.

Eficiencia	Valor
Batería	0.8
Inversor	0.95
Controlador	0.9

Fuente: Recopilación propia

- Potencial de Recurso Solar: Es la incidencia de irradiación solar en la región.

Además los datos de dimensionamiento serán:

Dato	Valor
Autonomía días	3
Factor seguridad carga	1.15
Factor controlador	1.25
Profundidad Descarga	0.7

Fuente: Recopilación propia

- 1. Sub-sistema de generación:** La capacidad del generador fotovoltaico depende de la demanda energética de la carga.

El número total de módulos fotovoltaicos que se deben instalar se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$NT = ET / (Pp \cdot Gm \cdot PG)$$

Siendo:

ET: Energía real requerida (Wh)

Pp: Potencia Pico del Módulo (Wp)

Gm: Radiación Global sobre una superficie (kWh /m2)

PG: Factor Global de Pérdidas (suele variar entre 0.65 y 0.9)

Conociendo el número de total de paneles que forman el generador fotovoltaico y la tensión nominal de la batería, que coincide con la tensión nominal de la instalación, se puede determinar si es necesario agrupar los módulos en serie y en paralelo. El número de módulos que habrá que conectar en serie, se calcula así:

$$N_s = V_{Bat} / V_m$$

Dónde:

N_s : número de módulos en serie por rama

V_{Bat} : tensión nominal de la batería (V)

V_m : tensión nominal de los módulos (V)

El número de ramas en paralelo a conectar para suministra la potencia necesaria, viene dado por:

$$N_p = NT / N_s$$

Dónde:

N_p : número de módulos a conectar en ramas paralelo.

Los valores de NT , N_s y N_p se redondean por exceso, excepto si se aproximan mucho a las cifras por defecto, de manera que se asegure el suministro de potencia que demanda la instalación.

2. Sub-sistema de Acumulación :Para definir el tamaño del acumulador, se deberán tener en cuenta los siguientes parámetros:

-Máxima Profundidad de Descarga: Un valor adecuado de este parámetro es de 0.7

-Días de Autonomía: Consideramos 3 días de autonomía para todos los sistemas.

Según esto:

$$Cn (Wh) = ET \cdot N / Pd \quad \text{después} \quad Cn (Ah) = Cn (Wh) / Vbat$$

Dónde:

Cn: capacidad nominal de la batería (Wh ó Ah)

ET: Energía real requerida (Wh)

Pd: Máxima Profundidad de descarga de la batería

VBat: tensión nominal de la batería (V)

- 3. Sub-sistema de Regulación:** A la hora de dimensionar un regulador, el objetivo principal es obtener la corriente máxima que va a circular por la instalación. Por lo tanto, se habrá de calcular la corriente que produce el generador, la corriente que consume la carga, y la máxima de estas dos corrientes será la que deba soportar el regulador en funcionamiento.

$$IG = IR \cdot NR \quad IR = Pp \cdot m / Vm$$

Dónde:

IG: Corriente producida por el generador (A)

IR: Corriente producida por cada rama en paralelo del generador (A)

NR: Número de ramas en paralelo del generador

Pp: Potencia Pico del módulo fotovoltaico (W)

m: Rendimiento del módulo

Vm: Tensión nominal de los módulos (V)

La intensidad que consume la carga se determina teniendo en cuenta todos los consumos al mismo tiempo:

$$IC = PDC / Vbat + PAC / 220$$

Dónde:

IC: Corriente que consume la carga (A)

PDC: Potencia de las cargas en DC (W)

Vbat: Tensión nominal de la batería (V)

PAC: Potencia de las cargas en AC (W)

De estas dos corrientes, la máxima de ambas será la que el regulador deberá soportar, y será la que se utilice para su elección.

$$IR = \max (IG, IC)$$

- 4. Sub-sistema de acondicionamiento:** A la hora de dimensionar el inversor se tendrá en cuenta la potencia que demanda la carga AC, de forma que se elegirá un inversor cuya potencia nominal sea algo superior a la máxima demandada por la carga. Sin embargo, se debe evitar el sobredimensionamiento del inversor para tratar de hacerlo trabajar en la zona donde presenta mejores eficiencias. Se puede resumir la potencia del inversor con esta expresión:

$$P_{inv} = \text{Factor} * \text{Pot}(AC)$$

ANEXO IV

GLOSARIO DE TÉRMINOS, SIGLAS Y TÉRMINOS



GLOSARIO DE TÉRMINOS

1. **Arreglo solar:** Conjunto de módulos solares fotovoltaicos conectados eléctricamente e instalados.
2. **Carga:** Cualquier dispositivo o aparato que demanda potencia. Esta depende de cada aparato y varía durante el día de acuerdo a la manera en que este opera.
3. **Celda solar o celda fotovoltaica:** Elemento que transforma la luz solar (fotones) en electricidad. Es el insumo fundamental de los módulos solares fotovoltaicos.
4. **Condiciones de prueba estándar-STC:** Condiciones en las cuales se prueban los módulos fotovoltaicos en laboratorio (1 KWh/m² de radiación solar, 25°C de temperatura de la celda solar y espectro solar correspondiente a una masa de aire de 1.5)
5. **Conexión a la red:** Sistema de generación conectado a la red pública de electricidad.
6. **Conexión en paralelo:** Método de conexión en el cual todos los bornes positivos y negativos se juntan. Si los módulos son todos iguales, la corriente se suma y la tensión permanece igual.
7. **Conexión en serie:** Método de conexión en el cual el borne positivo de un módulo se conecta al borne negativo del siguiente y así sucesivamente. Si los módulos son todos iguales, el voltaje se suma y la corriente permanece igual.
8. **Corriente alterna:** En la corriente alterna (CA) los electrones, a partir de su posición fija en el cable (centro), oscilan de un lado al otro de su centro, dentro de un mismo entorno o amplitud, a una frecuencia determinada (número de oscilaciones por segundo)

9. **Corriente continua:** La corriente continua (CC o DC, en inglés) se genera a partir de un flujo continuo de electrones (cargas negativas) siempre en el mismo sentido, el cual va desde el polo negativo de la fuente al polo positivo. Al desplazarse en este sentido los electrones, los huecos o ausencias de electrones (cargas positivas) lo hacen en sentido contrario, es decir, desde el polo positivo al negativo.
10. **Corriente de máxima potencia:** Corriente correspondiente al punto de máxima potencia.
11. **Cortocircuito:** Conexión accidental de dos conductores de distinta fase, o de éstos con el neutro.
12. **Curva I-V:** Característica Intensidad vs. Voltaje tomada bajo condiciones determinadas de radiación. Es la información esencial para caracterizar a los módulos fotovoltaicos.
13. **Diodo de bloqueo:** Dispositivo conectado en serie entre el módulo y la batería para prevenir el flujo de electricidad de la batería hacia los módulos.
14. **Diodo de bypass:** Dispositivo conectado en paralelo a los módulos para desviar el flujo a través suyo cuando sobre el módulo hay sombras o falla alguna celda.
15. **Eficiencia de la celda:** Relación entre la potencia que entrega una celda solar (expuesta a pleno sol) a la potencia solar incidente sobre ella.
16. **Factor de forma:** Razón entre la máximo potencia y el producto de la corriente de corto circuito por el voltaje de circuito abierto. Mide la desviación de la curva I-V de la forma rectangular ideal de esta curva.
17. **Hora Pico Sol:** Número equivalente de horas a 1 KWh/m² de radiación solar que produce la misma cantidad de energía solar que bajo las condiciones reales de insolación.
18. **Masa de aire:** Medida de la distancia que atraviesa la luz en la atmósfera en su trayectoria hacia la superficie terrestre.

19. **NOCT (Nominal Operation Cell Temperature):** Es la temperatura que alcanza la celda cuando ésta se expone a 800 W/m^2 de radiación en un ambiente con aire a 20°C de temperatura y circulando a una velocidad de 1 m/s , cuando la celda está en circuito abierto.
20. **Potencia eléctrica:** Capacidad de los aparatos eléctricos para producir trabajo (la cantidad de trabajo realizado en la unidad de tiempo). La unidad de medida es el Watt (W) y sus múltiplos.
21. **Punto de máxima potencia:** Punto de la curva I-V en donde el producto $I * V$ (potencia) tiene su valor máximo.
22. **Regulador de carga:** También llamado unidad de control o controlador de carga. Componente que controla el flujo de corriente hacia la batería y de la batería hacia los equipos para proteger la batería de sobrecargas y sobredescargas.
23. **Tierra (grounding):** Conexión que se hace en la tierra para emplearla como retorno en un circuito eléctrico y arbitrariamente como punto de potencial cero.
24. **Voltaje de circuito abierto:** Voltaje que se mide en los terminales sin carga de un sistema fotovoltaico.
25. **Voltaje de máxima potencia:** Voltaje correspondiente al punto de máxima potencia.
26. **Watt pico:** Unidad de medida de un módulo solar fotovoltaico, que significa la cantidad de potencia máxima que puede generar el módulo a condiciones estándar de funcionamiento (1000 W/m^2 , 25°C y 1.5 de masa de aire)

SIGLAS Y TÉRMINOS

1. **DGER:** Dirección general de Electrificación Rural
2. **MINEM:** Ministerio de Energía y Minas
3. **FISE:** Fondo de inclusión Social Energético
4. **FOSE:** Fondo de Compensación Social Eléctrica
5. **MT:** Media Tensión
6. **BT:** Baja Tensión
7. **SED:** Sub estaciones de distribución
8. **MRT:** Red eléctrica monofásica con retorno por tierra
9. **SFV:** Sistema Fotovoltaico
10. **DGEE:** Dirección general de Eficiencia Energética
11. **CA-SS:** Con Acceso y Sin Servicio
12. **SA-SS:** Sin Acceso y Sin servicio
13. **PSE:** Pequeño Sistema Eléctrico

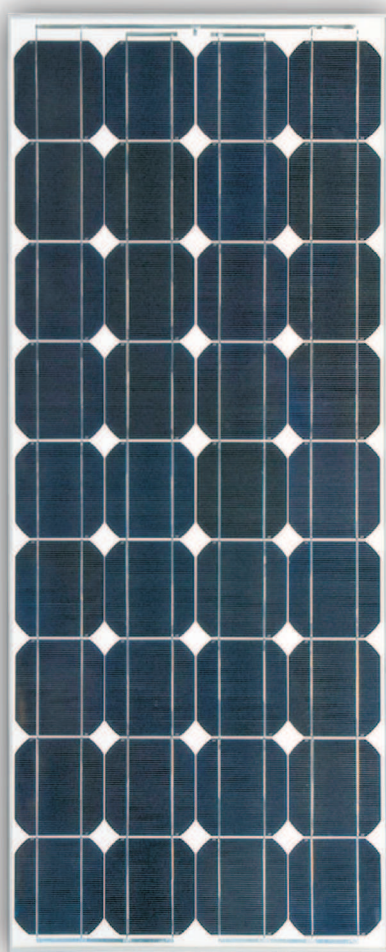


ANEXO V

FICHAS TÉCNICAS

Módulos fotovoltaicos para el mañana

➔ Módulo fotovoltaico A-100M



10
años de garantía

+30
años en el sector

Los módulos de ATERSA están diseñados y contruidos teniendo presente su larga vida útil. Por este motivo ATERSA cuida de forma especial la elección de todos y cada uno de los componentes que incorporan, haciéndoles pasar por múltiples y rigurosos controles de calidad, tanto antes, como en la propia producción, para garantizar una altísima eficiencia y durabilidad.

Los más de 30 años que llevamos en el sector, nos hace acumular una experiencia que volcamos en todos los productos que fabricamos.

Así mismo, la instalación de los módulos se facilita mediante el uso de diferentes sistemas diseñados por ATERSA, que nos diferencian claramente de los productos estándar del mercado.

CERTIFICADOS



ISO 9001, 14001
IEC 61215 (Ed.2)
IEC 61730 (Ed.1)
UL, MCS, ICIM (CE)

RECICLABLE



Cuidado del medioambiente.
Módulos reciclables.
Adheridos a PV Cycle.

LARGA DURACIÓN



Garantizada la Potencia
de salida: 25 años.
*10 años, libre de defectos de fabricación.

SERVICIO



Servicio integral.
Asesoramiento técnico,
servicio postventa,
mantenimiento,
reparaciones.

SISTEMA HOOK™



Montaje rápido y sencillo.
Sistema de Fijación Hook™.
Mínimo mantenimiento.

ROBUSTEZ



Cristal templado con alto nivel de transmisividad de 3,2mm de espesor. Robusto marco. Caja de conexiones QUAD IP54.

FIABILIDAD



Excelente respuesta en condiciones de baja luminosidad.
Garantizada por su tecnología cristalina.

RESISTENCIA



Resistencia a cargas de viento de 2400 Pa y hasta 5400 Pa de nieve.

Características eléctricas (STC: 1kW/m², 25°C±2°C y AM 1,5)*

A-100M

Potencia Nominal (±5%)	100 W
Eficiencia del módulo	15,07%
Corriente Punto de Máxima Potencia (Imp)	5,28 A
Tensión Punto de Máxima Potencia (Vmp)	18,95 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	5,79 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	22,21 V

Parámetros térmicos

Coefficiente de Temperatura de Isc (α)	0,03% /°C
Coefficiente de Temperatura de Voc (β)	-0,35% /°C
Coefficiente de Temperatura de P (γ)	-0,46% /°C

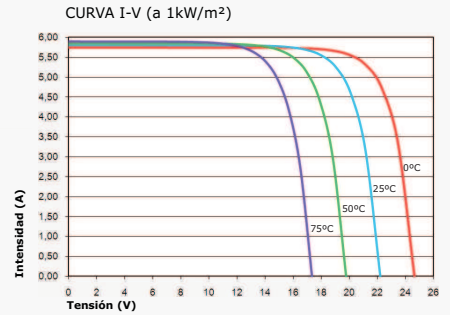
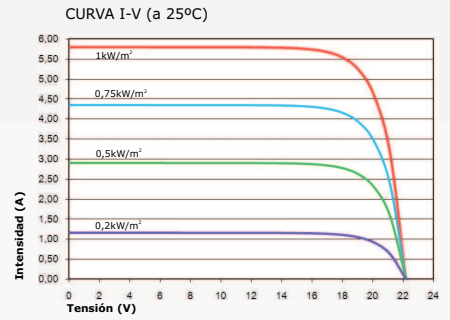
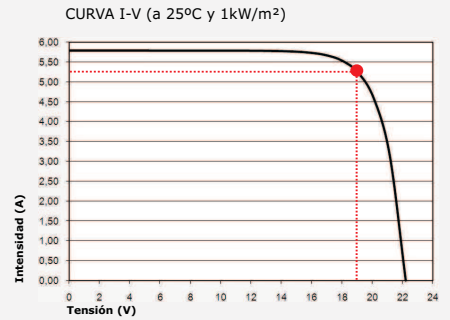
Características físicas

Dimensiones (mm ± 2mm)	1224x542x35
Peso (kg)	9,5
Área (m ²)	0,66
Tipo de célula	Monocristalina 125x125mm (5 pulgadas)
Células en serie	36 (4x9)
Cristal delantero	Cristal templado ultra claro de 3,2mm
Marco	Aleación de aluminio pintado en poliéster
Caja de conexiones / Opcional	QUAD IP54 / QUAD IP65
Cables	-
Conectores	-

Rango de funcionamiento

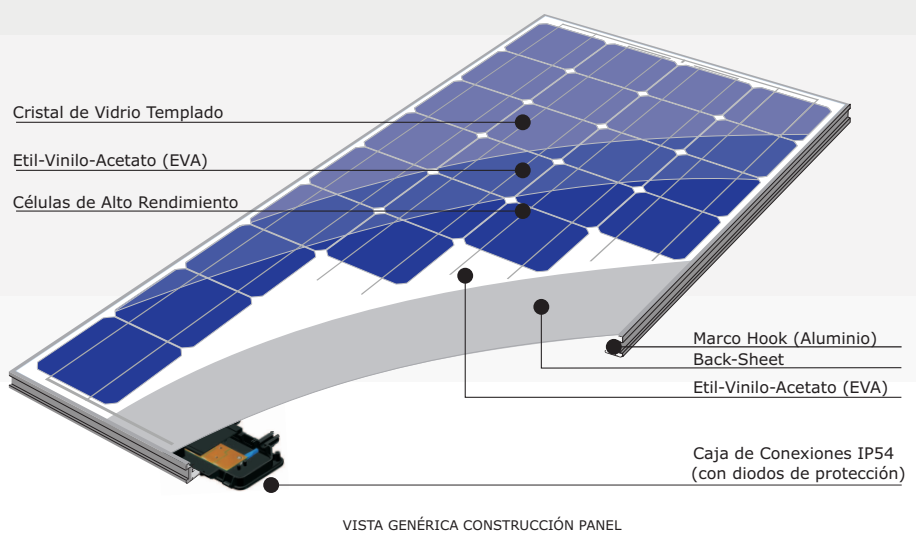
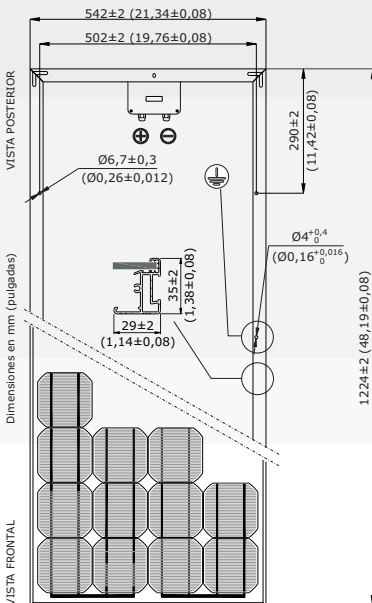
Temperatura	-40 °C a +85 °C
Máxima Tensión del Sistema / Protección	1000 V / CLASS II
Carga Máxima Viento	2400 Pa (130 km/h)
Carga Máxima Nieve	5400 Pa (551 kg/m ²)

Curvas modelo A-100M



* Especificaciones eléctricas medidas en STC. NOCT: 47±2°C. Tolerancias medida STC: ±3% (Pmp); ±10% (Isc, Voc, Imp, Vmp).

* Max. Corriente Inversa (IR): 10,1A.



NOTA: Los datos contenidos en esta documentación están sujetos a modificación sin previo aviso.

➔ www.atersa.com • atersa@elecnor.com

Madrid 915 178 452 • Valencia 902 545 111 • Italia +39 039 226 24 82 • Alemania +49 151 153 988 44

Revisado: 04/02/13
Ref.: MU-SM (1) 4x9-O
© Atersa SL, 2012



Off-Grid Module

Product Catalog

 **SUNTECH**
Solar powering a green future™





Suntech offers the widest range of off-grid solar panels (from 5W to 140W) designed for applications from telecommunications, water pumping, and instrumentation to solar lighting in remote and rural areas. These stand alone systems supply electricity to areas where there are no electrical grid transmission lines. Thousands of Suntech stand alone home systems are used in many developing countries like Indonesia bringing electricity and light to people living in remote villages.

Suntech is the world's largest crystalline silicon solar module manufacturer with more than 1.3GW of solar modules already installed worldwide. All products are designed according to IEC/UI standard* and manufactured in ISO9001 and ISO14001 certified production line. Suntech is also an active member of PV/Cycle — an independent PV industry association dedicated to establishing a take-back and recycling program for PV solar modules and their end-of-life waste. All Suntech off-grid module comes with 25-year power output warranty and 5-year materials and workmanship warranty. Please refer to Suntech standard module warranty for details.

*Please contact our local sales representative for details on product certification with TUV and UL.

Why Suntech?

- Broad product range, from 5W to 140W
- Lower NOCT and temperature coefficient
- Good performance in low irradiance environment
- Better product warranty term
- IEC and UL certified product*

Product Manual Series:

- 1 Standard Module Product Catalog
- 2 Off-Grid Module Product Catalog
- 3 Thin Film Module Product Catalog



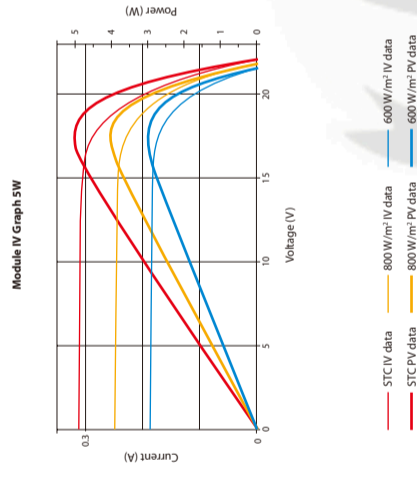
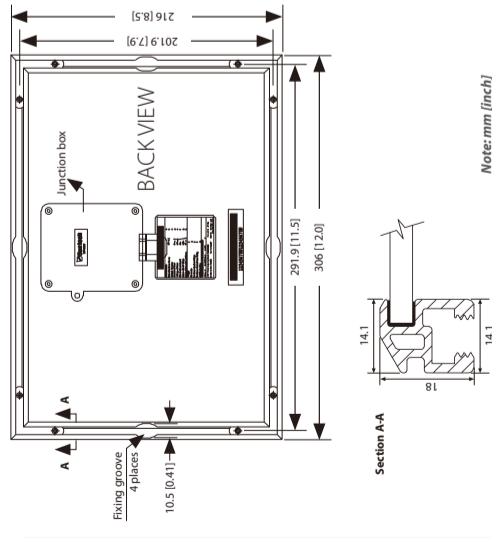
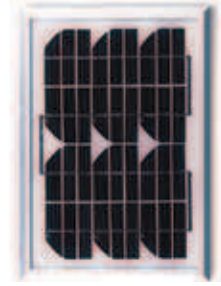
www.suntech-power.com

Email: sales@suntech-power.com

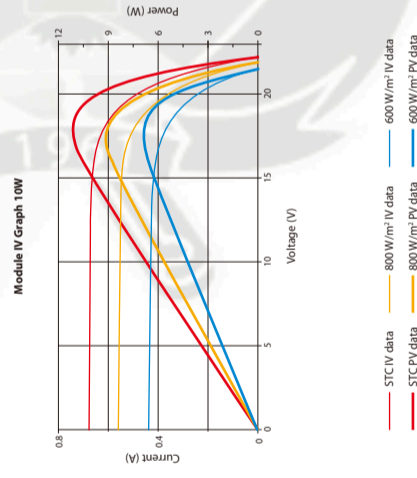
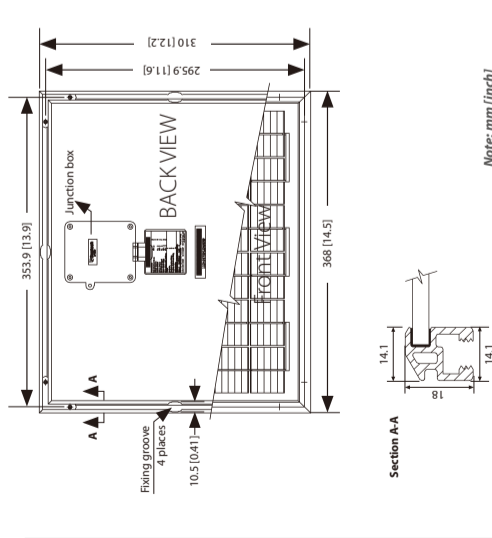
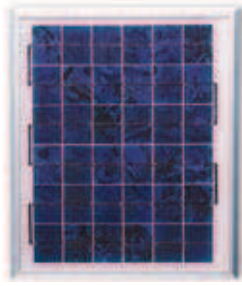
SPECIFICATION CATEGORIES		Db Mono	Kb Poly	Cb Mono	Lb Poly	Rb Poly	Rb Poly	Md Poly	Md Poly	Sb Poly	Sb Poly	Bb Mono	Bb Mono	Tb Poly	Tb Poly
		STP005B -12/DEA	STP010D -12/KEA	STP020B -12/CEA	STP030D -12/LEA	STP040D -12/REA	STP045D -12/REA	STP050D -12/MEA	STP055D -12/MEA	STP060D -12/SEA	STP065D -12/SEA	STP080B -12/BEA	STP085B -12/BEA	STP130D -12/TEA	STP135D -12/TEA
ELECTRICAL CHARACTERISTICS	Open-Circuit Voltage (Voc)	21.6V	21.6V	21.7V	21.6V	21.8V	22.0V	21.8V	22.2V	21.6V	21.8V	21.9V	22.2V	22.0V	22.3V
	Optimum Operating Voltage (Vmp)	17.4V	17.4V	17.6V	17.2V	17.4V	17.6V	17.4V	17.5V	17.4V	17.6V	17.5V	17.8V	17.4V	17.5V
	Short-Circuit Current (Isc)	0.32 A	0.65 A	1.26 A	1.94 A	2.58 A	2.79 A	3.13 A	3.34 A	3.90 A	4.11 A	4.95 A	5.15 A	8.09 A	8.20 A
	Optimum Operating Current (Imp)	0.29 A	0.57 A	1.14 A	1.74 A	2.30 A	2.58 A	2.93 A	3.14 A	3.45 A	3.69 A	4.58 A	4.80 A	7.47 A	7.71 A
	Maximum Power at STC (Pmax)	5 Wp	10 Wp	20 Wp	30 Wp	40 Wp	45 Wp	50 Wp	55 Wp	60 Wp	65 Wp	80 Wp	85 Wp	130 Wp	135 Wp
	Operating Temperature	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C
	Maximum System Voltage	715 V DC	715 V DC	715 V DC	715 V DC	715 V DC	715 V DC	715 V DC	715 V DC	715 V DC	715 V DC	715 V DC	715 V DC	1000 V DC	1000 V DC
	Maximum Series Fuse Rating	5 A	5 A	5 A	5 A	10 A	10 A	10 A	10 A	15 A	15 A	15 A	15 A	20 A	20 A
Power Tolerance	±10 %	±10 %	±10 %	±10 %	±5 %	±5 %	±5 %	±5 %	±5 %	±5 %	±5 %	±5 %	±5 %	±5 %	
MECHANICAL CHARACTERISTICS	Solar Cell	Mono-crystalline solar cell	Poly-crystalline solar cell	Mono-crystalline solar cell	Poly-crystalline solar cell	Poly-crystalline solar cell	Poly-crystalline solar cell	Poly-crystalline solar cell	Poly-crystalline solar cell	Poly-crystalline solar cell	Poly-crystalline solar cell	Mono-crystalline solar cell	Mono-crystalline solar cell	Poly-crystalline solar cell	Poly-crystalline solar cell
	No. of Cells	36 (4x9)	36 (6x6)	36 (2x18)	36 (4x9)	36 (4x9)	36 (4x9)	36 (4x9)	36 (4x9)	36 (4x9)	36 (4x9)	36 (4x9)	36 (4x9)	36 (4x9)	36 (4x9)
	Dimensions	216 x 306 x 18 mm	310 x 368 x 18 mm	656 x 306 x 18 mm	426 x 680 x 18 mm	537 x 665 x 30 mm	537 x 665 x 30 mm	631 x 665 x 30 mm	631 x 665 x 30 mm	771 x 665 x 30 mm	771 x 665 x 30 mm	1195 x 541 x 30 mm	1195 x 541 x 30 mm	1482 x 676 x 35 mm	1482 x 676 x 35 mm
	Weight	0.8 kgs	1.5 kgs	2.5 kgs	3.2 kgs	4.5 kgs	4.5 kgs	6.4 kgs	6.4 kgs	6.2 kgs	6.2 kgs	8.0 kgs	8.0 kgs	12.0 kgs	12.0 kgs
	Junction Box	IP65 rated	IP65 rated	IP65 rated	IP65 rated	IP65 rated	IP65 rated	IP65 rated	IP65 rated	IP65 rated	IP65 rated	IP65 rated	IP65 rated	IP65 rated	IP65 rated
Output Cables	(Optional cable available)	(Optional cable available)	(Optional cable available)	(Optional cable available)	(Optional cable available)	(Optional cable available)	(Optional cable available)	(Optional cable available)	(Optional cable available)	H+S (12 AWG) Lengths: 750mm(-) and 750mm(+) Connection: MC Plug Type IV	H+S (12 AWG) Lengths: 750mm(-) and 750mm(+) Connection: MC Plug Type IV	H+S (12 AWG) Lengths: 750mm(-) and 750mm(+) Connection: MC Plug Type IV	H+S (12 AWG) Lengths: 750mm(-) and 750mm(+) Connection: MC Plug Type IV	H+S (12 AWG) Lengths: 750mm(-) and 750mm(+) Connection: MC Plug Type IV	H+S (12 AWG) Lengths: 750mm(-) and 750mm(+) Connection: MC Plug Type IV
TEMP. CHARACTERISTICS	Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C	45±2°C	45±2°C	45±2°C	45±2°C	45±2°C	45±2°C	45±2°C	45±2°C	45±2°C	45±2°C	45±2°C	45±2°C	45±2°C
	Temp. coefficient of Pmax	-0.48 %/°C	-0.47 %/°C	-0.48 %/°C	-0.47 %/°C	-0.48 %/°C	-0.48 %/°C	-0.47 %/°C	-0.47 %/°C	-0.47 %/°C	-0.47 %/°C	-0.48 %/°C	-0.48 %/°C	-0.47 %/°C	-0.47 %/°C
	Temp. coefficient of Voc	-0.34 %/°C	-0.34 %/°C	-0.34 %/°C	-0.34 %/°C	-0.34 %/°C	-0.34 %/°C	-0.34 %/°C	-0.34 %/°C	-0.34 %/°C	-0.34 %/°C	-0.34 %/°C	-0.34 %/°C	-0.34 %/°C	-0.34 %/°C
	Temp. coefficient of Isc	0.037 %/°C	0.045 %/°C	0.037 %/°C	0.045 %/°C	0.037 %/°C	0.037 %/°C	0.045 %/°C	0.045 %/°C	0.045 %/°C	0.045 %/°C	0.037 %/°C	0.037 %/°C	0.045 %/°C	0.045 %/°C

5W ~ 20W

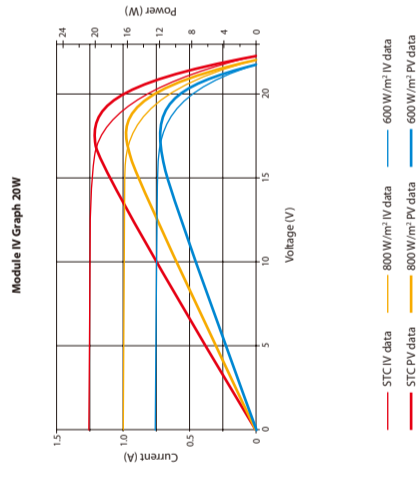
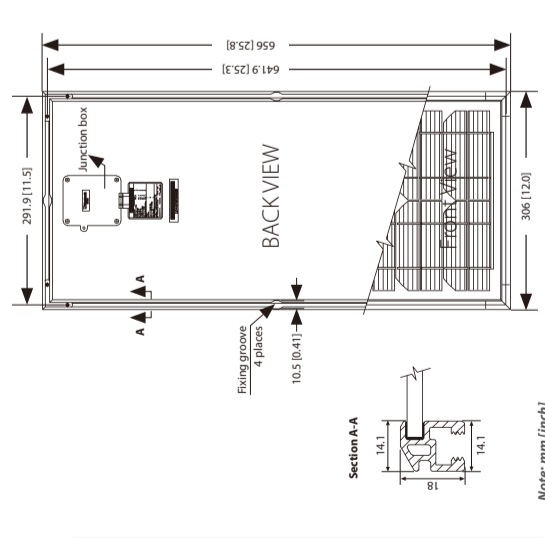
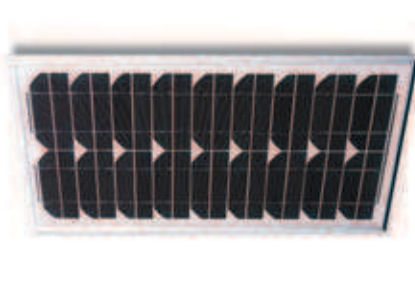
Db Mono STP005B-12/DEA



Kb Poly STP010D-12/KEA

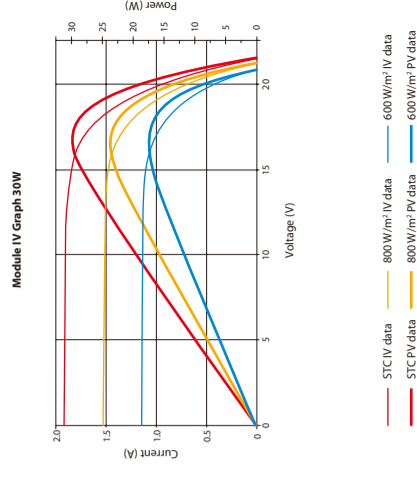
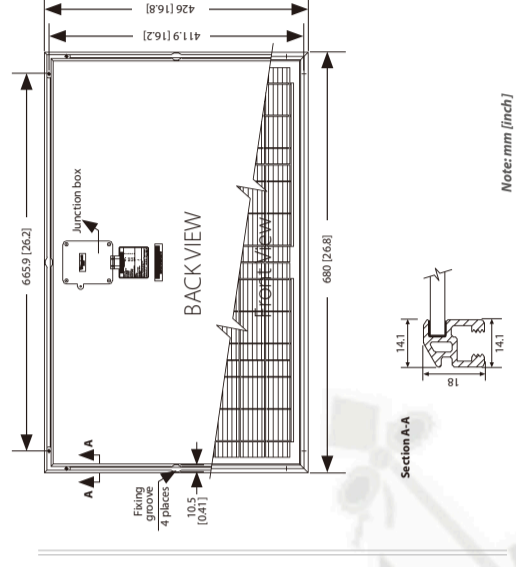
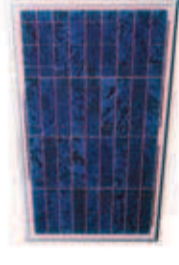


Cb Mono STP020B-12/CEA

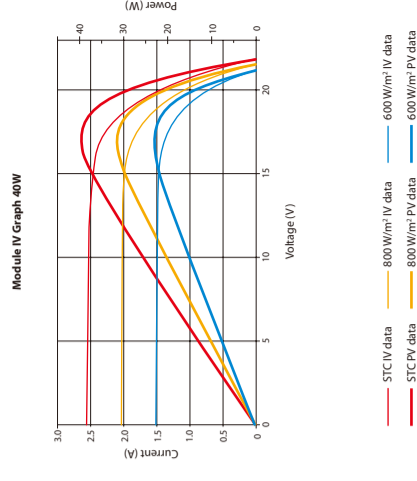
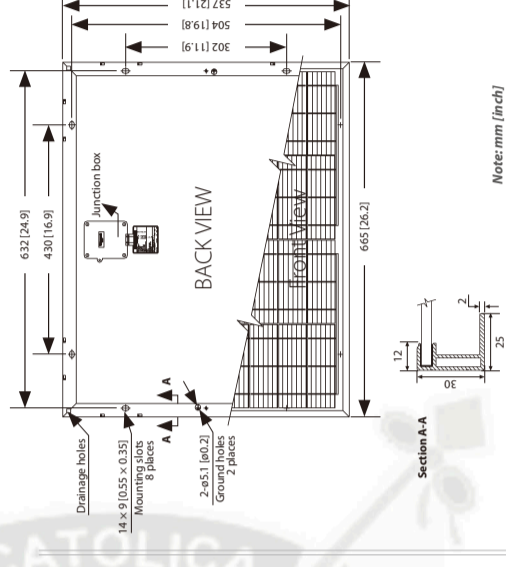
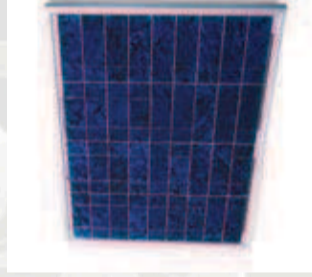


30W ~ 55W

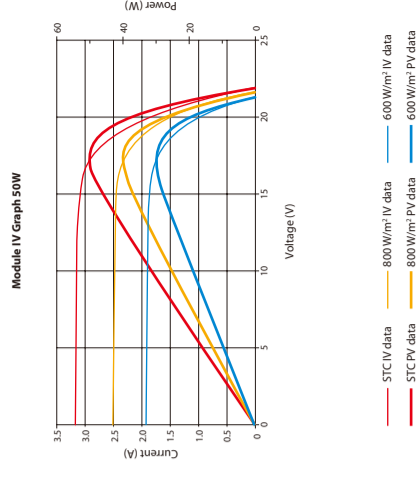
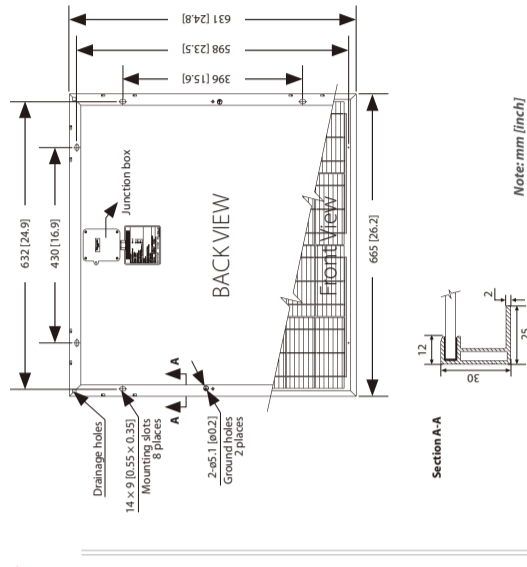
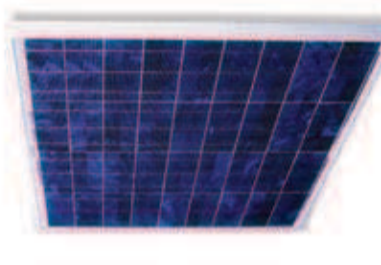
Lb Poly STP030D-12/LEA



Rb Poly STP040D-12/REA



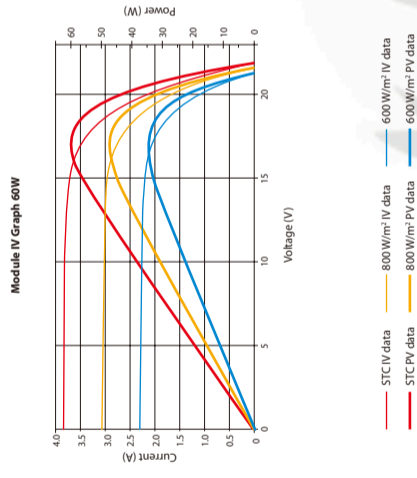
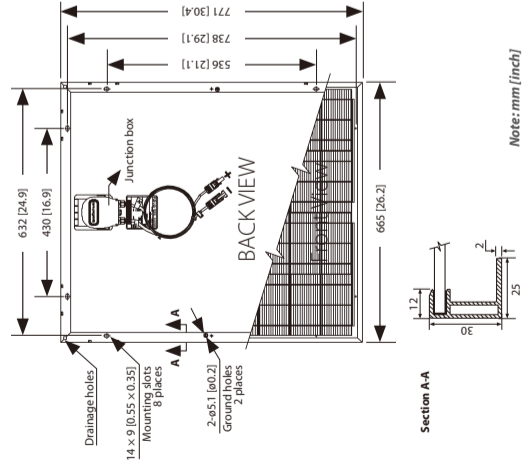
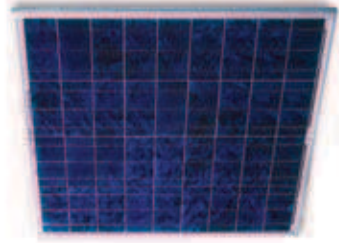
Md Poly STP050D-12/MEA



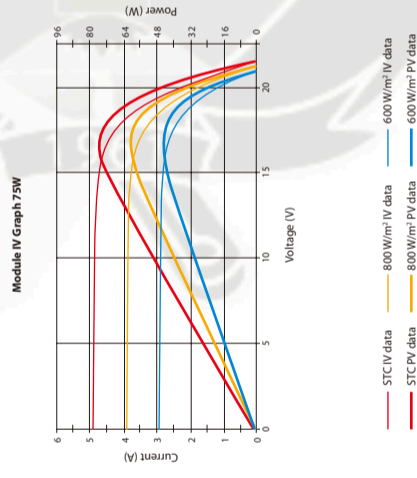
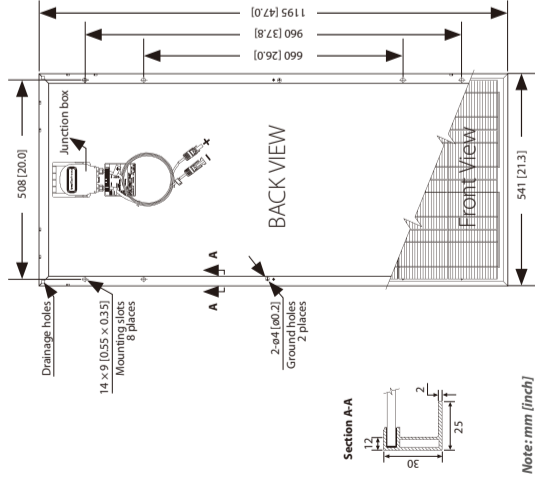
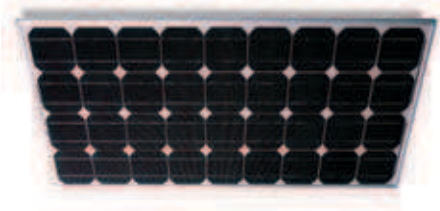
Suntech Application Examples

Meeting All Your Off-Grid Requirements

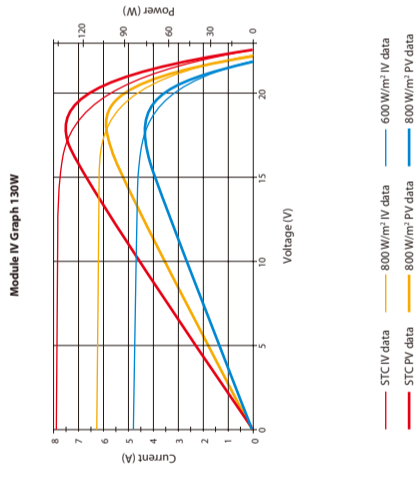
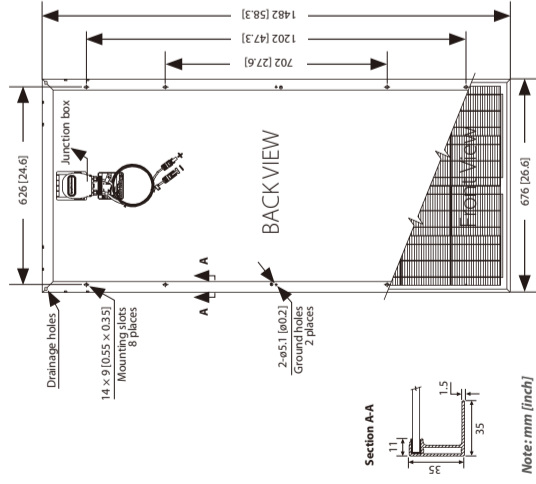
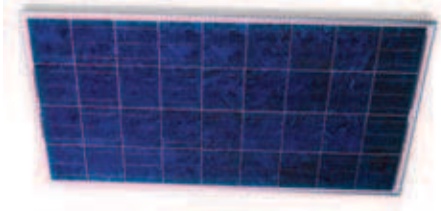
Sb Poly STP060D-12/SEA



Bb Mono STP080B-12/BEA



Tb Poly STP130D-12/TEA



01 Signal transferring station



02 Remote rural electrification



03 43 kWp Solar powered water pumping and desalination system (43kWp in Dubai, UAE)



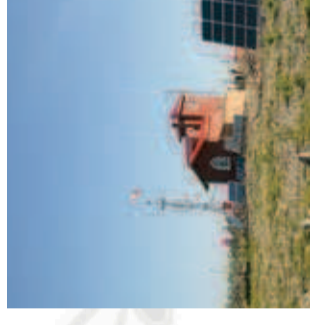
04 Road security and railroad signals systems



05 Solar powered lights, such as traffic lights, street lamp and etc



06 Medical and education facilities in rural areas



07 Pumping systems for irrigation, rural water supplies and livestock



08 Power source for vacation homes



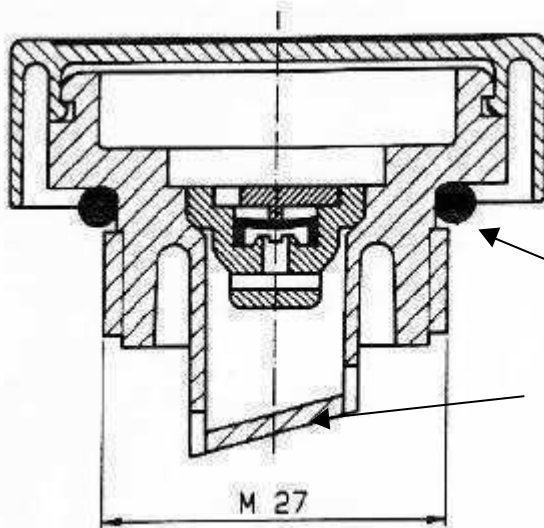
09 Remote solar home systems (50 kWp in Indonesia)



10 Aviation directional lighting



11 Sailboat charging systems



O-Ring

Cage prevents that liquid comes into the valve

Fig. 9: Valve and adapter

4. SPECIAL FEATURES OF GEL-BATTERIES

4.1 Capacity Range, Properties, Applications

“Sonnenschein”-Gel batteries are available in a very wide capacity range from 1.2 Ah to 3500 Ah depending on the requested application:

“Sonnenschein A 500”



- 1.2 to 200 Ah (C_{20})
- Service life: 6 years @ 20° C
- Cycle life acc. to IEC 896-2: 600
- Dedicated for universal stand-by applications



“Sonnenschein A 400”

- 5.5 to 180 Ah (C_{10})
- Service life: 10 years @ 20° C
- Cycle life acc. to IEC 896-2: 600
- Developed as medium life product (e.g. for Telecom, UPS)



“Sonnenschein A 700”

- 21 to 280 Ah (C_{10})
- Service life: 12 years @ 20° C
- Cycle life acc. to IEC 896-2: 700
- Developed as medium life product (e.g. for Telecom, UPS)



“Sonnenschein A 600”

- 200 to 3000 Ah (C_{10})
- Service life:
15 to 18 years @ 20° C
- Cycle life acc. to IEC 896-2: 1200
- Long life product for sensitive and high reliability application (e.g. Telecom)



“Sonnenschein SOLAR”

- 6.6 to 230 Ah (C_{100})
- Cycle life acc. to IEC 896-2: 800
(S12/85: 400)
- For smaller solar applications
(e.g. for weekend houses, parking
meters, street solar stations)



“Sonnenschein SOLAR BLOCK”

- 60 to 330 Ah (C_{100})
- Cycle life acc. to IEC 896-2: 1200
- For medium power performance
(e.g. small solar stations, offshore
buoys, measuring stations)



“Sonnenschein A 600 SOLAR”

- 240 to 3500 Ah (C_{100})
- Cycle life acc. to IEC 896-2: 1600
- For high capacity requirements
(e.g. solar and wind power
stations, power distribution
stations, telecommunication)



Direct-Drive Solar Refrigerator

Avoid battery and charge controller costs with **SunDanzer™** Direct-Drive solar refrigerators. These high efficiency refrigerators are made for direct connection to your solar panel, eliminating the need for expensive deep-cycle batteries, charge controllers, and battery maintenance. As a stand-alone application, the direct-drive solution can provide reliable refrigeration at greatly reduced cost for non-perishable goods. In addition, SunDanzer offers an optional, low-cost thermal storage package for more temperature sensitive storage. These consist of 1.5" thick ice packs custom made to conform to the sidewalls of the chest refrigerator, allowing cool temperatures to be maintained for up to four days without power. SunDanzer is proud to be the first to manufacture a battery-free solar refrigerator designed for the off-grid user. You can expect the same reliable, exacting standards that have made SunDanzer the leading maker of solar refrigerators.

How it works: High quality construction provides excellent reliability and long life. Super-insulated chest-style cabinets feature over 4 inches of polyurethane insulation with powdered-coated galvanized steel exterior and aluminum interior. A zero maintenance, brushless, thermostatically controlled DC compressor with a built in soft start function operates on 12 VDC and connects directly to your solar PV system. A patented low-frost system reduces frost and moisture build-up for low maintenance of the unit. Rugged, custom-made high-density polyethylene ice packs store up to 80 lbs. of thermal storage for up to four days of holdover time.

Applications:

- Remote Homes
- Eco-Resorts
- Remote Stores
- Disaster Preparedness
- Beverage Vending
- Churches & Schools
- Villages
- Cabins
- Micro-enterprises
- Markets
- Farms
- Boats and Marine
- Traveling Vendors
- Missionaries



SunDanzer™ units are manufactured in a highly automated factory by one of the world's leading appliance manufacturers to SunDanzer's stringent standards for quality and efficiency.

Features:

- **Refrigerators run on a single 120W module in most climates!**
- **12 VDC with low voltage disconnect**
- **Environmentally friendly CFC- free refrigerant**
- **Scratch resistant galvanized steel exterior**
- **Easy to clean aluminum interior**
- **Lockable lid with interior light**
- **Patented low-frost system**
- **Automatic control with adjustable thermostat**
- **Baskets for food organization**

Physical & Electrical Specifications

Input Voltage	10 - 45 VDC	Ambient T Range:	10 to 43°C (50 to 109°F)
Panel Voltage	12 V nominal	Refrigerator T Range:	-1 to 9°C (30 to 48°F)
Power (typical-max)	40 - 80W		
Fuse Size:	15 amp	165 Exterior Dim:	93.5W x 66.5D x 87.6H cm 36.8W x 26.2D x 34.5H in

<u>Part No.</u>	<u>Description</u>	<u>Capacity</u>	<u>Shipping Dimensions</u>	<u>Shipping Weight</u>
DDR165	Direct-Drive Refrigerator	165 L	102W x 76D x 94H cm	56.7 kg
		5.8 ft ³	40W x 30D x 38H in	125 lbs
TSP154	Thermal Storage Pack	36.3 kg	76W x 76D x 15H cm	4.5 kg
		80 lbs	30W x 30D x 6H in	10 lbs



MODEL: L16RE-2V
DIMENSIONS: inches (mm)
BATTERY: Flooded/wet lead-acid battery
COLOR: Maroon (case/cover)
MATERIAL: Polypropylene

PRODUCT SPECIFICATION

BCI GROUP SIZE	TYPE	CAPACITY ^A Amp-Hours (AH)								ENERGY (kWh)	VOLTAGE	DIMENSIONS ^B Inches (mm)			WEIGHT lbs. (kg)
		2-Hr Rate	5-Hr Rate	10-Hr Rate	20-Hr Rate	48-Hr Rate	72-Hr Rate	100-Hr Rate	100-Hr Rate			Length	Width	Height ^C	
DEEP-CYCLE BATTERY															
903	L16RE-2V	722	909	1021	1110	1182	1210	1235	2.47	2	11-5/8 (295)	7 (178)	17-11/16 (450)	119 (54)	

A. The amount of amp-hours (AH) a battery can deliver when discharged at a constant rate at 80°F (27°C) and maintain a voltage above 1.75 V/cell. Capacities are based on nominal performance.

B. Dimensions are based on nominal size. Dimensions may vary depending on type of handle or terminal.

C. Dimensions taken from bottom of the battery to the highest point on the battery. Heights may vary depending on type of terminal.

Trojan's battery testing procedures adhere to both BCI and IEC test standards.

CHARGING INSTRUCTIONS

CHARGER VOLTAGE SETTINGS (AT 77°F/25°C)

	Voltage per cell
Absorption charge	2.35-2.45
Float charge	2.20
Equalize charge	2.58

Do not install or charge batteries in a sealed or non-ventilated compartment. Constant under or overcharging will damage the battery and shorten its life as with any battery.

OPERATIONAL DATA

Operating Temperature	Self Discharge	Specific Gravity
-4°F to 113°F (-20°C to +45°C). At temperatures below 32°F (0°C) maintain a state of charge greater than 60%.	Up to 4% per week	The specific gravity at 100% state-of-charge is 1.260

CHARGING TEMPERATURE COMPENSATION

To the Voltage Reading -- Subtract 0.005 volt per cell (VPC) for every 1°C above 25°C or add 0.005 volt per cell for every 1°C below 25°C.

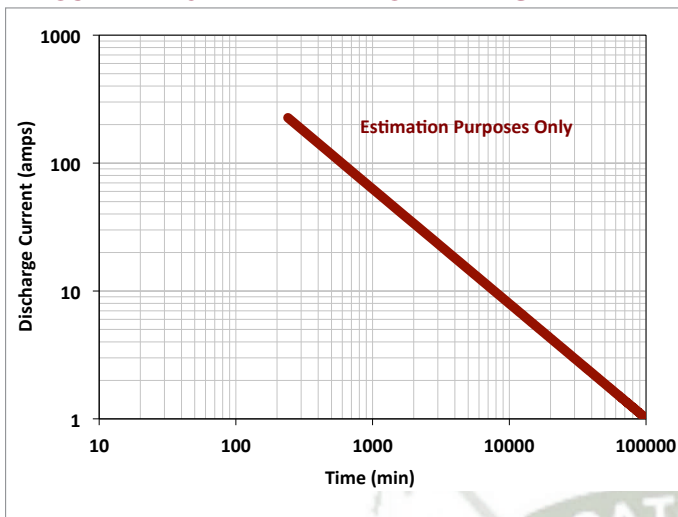
EXPECTED LIFE VS. TEMPERATURE

Chemical reactions internal to the battery are driven by voltage and temperature. The higher the battery temperature, the faster chemical reactions will occur. While higher temperatures can provide improved discharge performance the increased rate of chemical reactions will result in a corresponding loss of battery life. As a rule of thumb, for every 10°C increase in temperature the reaction rate doubles. Thus, a month of operation at 35°C is equivalent in battery life to two months at 25°C. Heat is an enemy of all lead acid batteries, FLA, GEL, and AGM alike and even small increases in temperature will have a major influence on battery life.

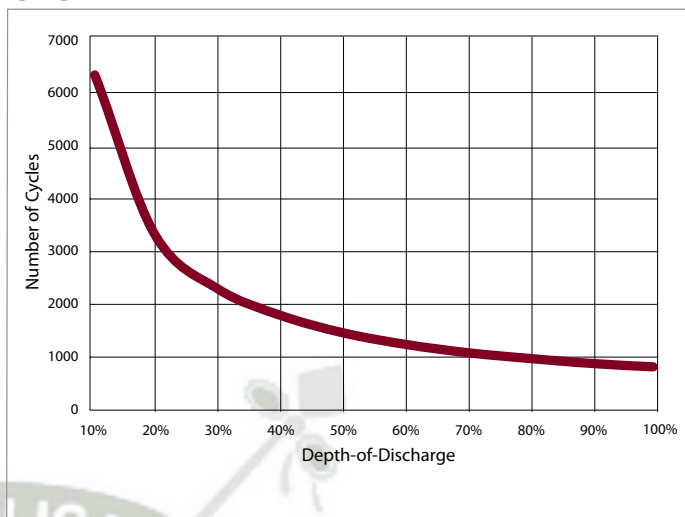
Your Local Dealer,

SunFields Europe - Santiago de Compostela, Spain - Tel: +34 981 59 58 56 - Mail: info@sfe-solar.com

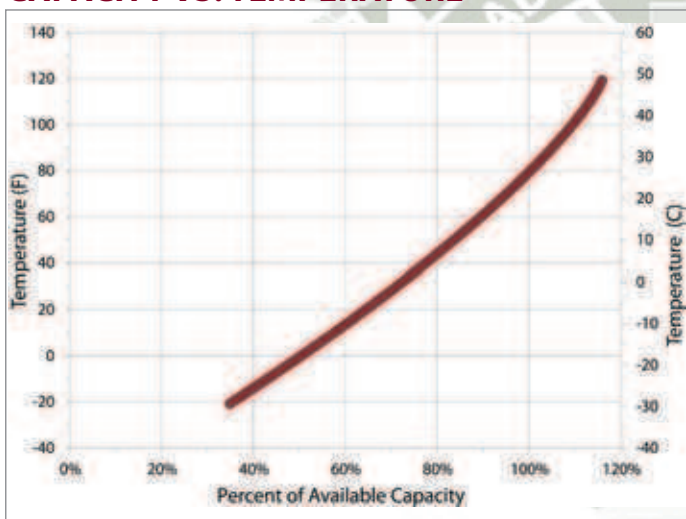
TROJAN L16RE-2V PERFORMANCE



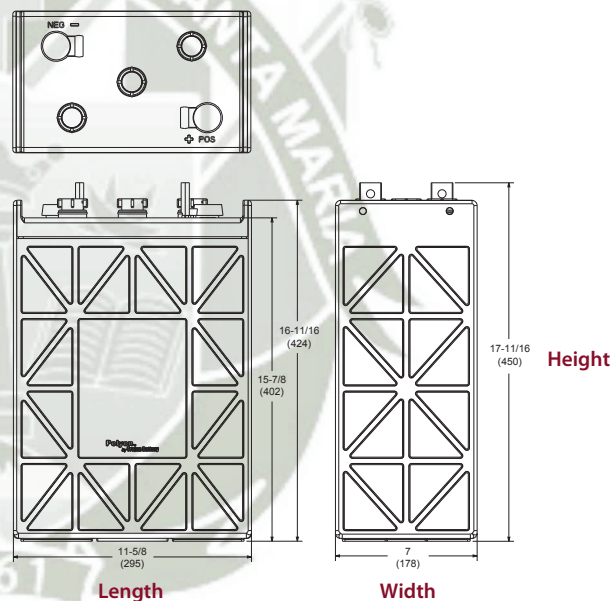
CYCLE LIFE



CAPACITY VS. TEMPERATURE



BATTERY DIMENSIONS



TERMINAL CONFIGURATIONS

5	LT	L-Terminal
		Terminal Height Inches (mm) 1-3/4 (43)
		Torque Values in-lb (Nm) 100 - 120 (11 - 14)
		Through-hole Diameter (mm) 3/8 (10)

VENT CAP



* Polyon™ Case



MUNDO TÉCNICO

Datos técnicos de módulos fotovoltaicos

Marca	Modelo	Tipo ³⁾	Nº cel. en serie	P _{máx} (W)	U _{oc} (V)	I _{sc} (A)	U _{mpp} (V)	I _{mpp} (A)	Tol. de P (%)	α	β	δ	TONC (°C)
Atersa	A-270P	P	72	270	44,85	8,06	35,80	7,54	-5+5	0,05%/°C	-0,35%/°C	-0,46%/°C	47±2
	A-230P	P	60	230	37,4	8,12	30,2	7,62	-2+2	0,05%/°C	-0,35%/°C	-0,46%/°C	47±2
	A-180M	M	72	180	44,0	5,3	36,0	5,0	-3+3	0,09%/°C	-0,34%/°C	-0,37%/°C	47±2
	A-85P	P	36	85	22,3	4,9	18,39	4,62	-8+8	0,08%/°C	-0,32%/°C	-0,38%/°C	47±2
	A-85M	M	36	85	21,5	5,2	17,7	4,8	-8+8	0,09%/°C	-0,34%/°C	-0,37%/°C	47±2
BPSolar	A-40M	M	36	40	20,55	2,35	16,8	2,1	-8+8	0,09%/°C	-0,34%/°C	-0,37%/°C	47±2
	BP3170	P	72	170	44,3	5,2	35,6	4,8	-3+5	0,065%/°C	-0,35%/°C	-0,5%/°C	47±2
	BP3200	P	60	200	36,1	8,1	28,6	7	-3+3	0,065%/°C	-0,36%/°C	-0,5%/°C	47±2
	BP4175T	M	72	175	43,6	5,45	35,4	4,9	-3+5	0,065%/°C	-0,36%/°C	-0,5%/°C	47±2
	BP3230N	P	60	230	36,4	8,7	29,2	7,9	-3+3	0,065%/°C	-0,36%/°C	-0,5%/°C	47±2
Conergy	PowerPlus 230P	P	60	230	36,8	8,08	30,0	7,67	-3+3	0,026%/°C	-0,35%/°C	-0,45%/°C	45
	PowerPlus 190P	P	60	190	36,0	7,66	28,2	6,82	-3+3	0,029%/°C	-0,35%/°C	-0,45%/°C	45
	PowerPlus 240M	M	60	240	36,6	8,2	30,18	7,95	-3+3	0,013%/°C	-0,38%/°C	-0,48%/°C	45
	PowerPlus 190M	M	60	190	36,0	7,94	25,5	7,45	-3+3	0,014%/°C	-0,38%/°C	-0,48%/°C	45
Isofoton	IS-160	M	72	160	44,4	4,8	36,0	4,45	-3+3	0,0294%/°C	-0,387%/°C	-0,48%/°C	47±2
	IS-210	M	96	210	59,1	4,77	47,9	4,38	-3+3	0,0294%/°C	-0,387%/°C	-0,48%/°C	47±2
	IS-230	M	96	230	59,1	5,23	47,9	4,80	-3+3	0,0294%/°C	-0,387%/°C	-0,48%/°C	47±2
	ISF-180	M	54	180	32,6	7,52	25,9	6,95	-3+3	0,0294%/°C	-0,387%/°C	-0,48%/°C	47±2
	ISF-200	M	54	200	32,6	8,36	25,9	7,72	-3+3	0,0294%/°C	-0,387%/°C	-0,48%/°C	47±2
	ISF-220	M	60	220	36,9	8,05	29,7	7,41	-3+3	0,0294%/°C	-0,387%/°C	-0,48%/°C	47±2
Kyocera	KD50SE-1P	P	36	50	22,1	3,07	17,9	2,8	-5+10	1,84mA/°C	-80mV/°C	-0,228W/°C	49
	KD70SX-1P	P	36	70	22,1	4,3	17,9	3,92	-5+10	2,58mA/°C	-80mV/°C	-0,316W/°C	49
	KD95SX-1P	P	36	95	22,1	5,81	17,9	5,31	-5+10	3,5mA/°C	-80mV/°C	-0,429W/°C	49
	KD135GH-2PU	P	36	135	22,1	8,37	17,7	7,63	-5+5	5,01mA/°C	-80mV/°C	-0,614W/°C	49
	KD185GH-2PU	P	48	185	29,5	8,58	23,6	7,84	-5+5	5,15mA/°C	-106mV/°C	-0,840W/°C	49
	KD210GH-2PU	P	54	210	33,2	8,58	26,6	7,90	-5+5	5,01mA/°C	-120mV/°C	-0,960W/°C	49
Photowatt	PW-500	P	36	50	21,6	3,2	17,2	2,9	45,1 W ₁₎	1,46mA/°C	-79mV/°C	-0,43%/°C	2)
	PW-850	P	36	80	21,6	5	17,3	4,6	75,1 W ₁₎	1,46mA/°C	-79mV/°C	-0,43%/°C	2)
	PW1400	P	72	150	43	4,65	33,8	4,45	145 W ₁₎	0,032%/°C	-158mV/°C	-0,43%/°C	2)
	PW1650	P	72	165	43,2	5,1	34,3	4,8	160 W ₁₎	1,46mA/°C	-158mV/°C	-0,43%/°C	2)
	PW6-123	P	36	110	21,7	6,9	17,2	6,4	105 W ₁₎	2,085mA/°C	-79mV/°C	-0,43%/°C	2)
	Sanyo	HIP-190DA3	M	96	190	68,1	3,7	55,3	3,44	-0+10	0,85 mA/°C	-170mV/°C	-0,3%/°C
HIP-195DA3		M	96	195	68,7	3,73	55,8	3,5	-0+10	0,87 mA/°C	-172mV/°C	-0,29%/°C	46,6
HIP-205BA19		M	96	205	68,8	3,84	56,7	3,62	-0+10	0,88 mA/°C	-172mV/°C	-0,29%/°C	46,9
Sharp	NU-185	M	48	185	30,2	8,54	24,0	7,71	-5+10	0,053%/°C	-104mV/°C	-0,485%/°C	47,5
	NT-175	M	72	175	44,4	5,40	35,4	4,95	-5+10	0,053%/°C	-156mV/°C	-0,485%/°C	47,5
	ND-170	P	48	170	29,3	8,04	23,2	7,33	-5+10	0,053%/°C	-104mV/°C	-0,485%/°C	47,5
Siemens	SM110/24	M	72	110	43,5	3,45	35,0	3,15	-5+5	0,04%/°C	-0,34%/°C	2)	45±2
	SM100/24	M	72	100	42,0	3,25	34,0	2,95	-5+5	0,04%/°C	-0,34%/°C	2)	45±2
	SM55	M	36	55	21,7	3,45	17,4	3,15	-5+5	0,04%/°C	-0,34%/°C	2)	45±2
	SM50	M	36	50	21,4	3,4	16,6	3,05	-5+5	0,04%/°C	-0,34%/°C	2)	45±2
Solar-Fabrik	SF130/2-135	P	36	135	21,86	8,08	17,94	7,52	-5+5	5,45mA/°C	-72mV/°C	-0,47%/°C	48±2
	SF130/4-135	M	36	135	22,4	7,93	17,94	7,52	-5+5	5,45mA/°C	-72mV/°C	-0,47%/°C	47±2
	SF150/2A-150	M	66	150	40,20	5,10	32,60	4,60	-5+5	0,60mA/°C	-141mV/°C	-0,47%/°C	48±2
	SF150/10A175	M	72	175	44,70	5,26	36,7	4,75	-5+5	1,00mA/°C	-154mV/°C	-0,47%/°C	48±2
	SF200A-220	P	60	220	36,4	8,15	28,6	7,70	-5+5	5,45mA/°C	-120mV/°C	-0,47%/°C	45±2
Solarworld	SW185	M	72	185	44,8	5,50	36,3	5,10	-3+3	0,036%/°C	-0,33%/°C	2)	46
	SW160	M	72	160	43,8	5,00	35,0	4,58	-3+3	0,036%/°C	-0,33%/°C	2)	46
	SW225	P	60	225	36,8	8,17	29,5	7,63	-3+3	0,034%/°C	-0,34%/°C	2)	46
	SW200	P	60	200	36,1	7,70	28,3	7,07	-3+3	0,034%/°C	-0,34%/°C	2)	46
	SW80 /R5E	M	36	80	21,9	5,00	17,5	4,58	-5+5	0,036%/°C	-0,33%/°C	2)	45,5
	Suntech	STP280-24/Vd	P	72	280	44,8	8,33	35,2	7,95	-3+3	0,045%/°C	-0,34%/°C	-0,47%/°C
STP210-18/Ud		P	54	210	33,6	8,33	26,4	7,95	-3+3	0,045%/°C	-0,34%/°C	-0,47%/°C	45±2
STP185S-24/Ad		M	72	185	45,0	5,43	36,4	5,09	-3+3	0,037%/°C	-0,34%/°C	-0,48%/°C	45±2
STP130-12/Tb		P	36	130	22,0	8,09	17,4	7,47	-5+5	0,055%/°C	-75 mV/°C	-0,47%/°C	45±2
STP085S-12/Bb		M	36	85	22,2	5,15	17,8	4,8	-5+5	0,020%/°C	-0,34%/°C	-0,46%/°C	45±2
STP020S-12/Cb		M	36	20	21,7	1,26	17,6	1,14	-10+10	0,055%/°C	-78 mV/°C	-0,48%/°C	45±2
Sunways	SM170UA13	P	48	175	29,6	8,07	23,3	7,51	-5+5	0,06%/°C	-0,36%/°C	-0,44%/°C	45
	SM210UA66	P	60	235	37,0	8,48	29,4	8,00	-5+5	0,06%/°C	-0,36%/°C	-0,43%/°C	45
	SM215MA66	M	60	240	37,1	8,65	29,6	8,11	-5+5	0,01%/°C	-0,37%/°C	-0,48%/°C	45
	SM230MA12	M	96	240	59,5	5,20	48,9	4,91	-5+5	0,06%/°C	-0,34%/°C	-0,44%/°C	45

Todos los valores se dan en condiciones CEM (Irradiancia: 1000 W/m² a AM1,5 y temperatura del módulo: 25 °C)

(1) El fabricante especifica la potencia mínima en vez de un porcentaje.

(2) No especificado por el fabricante. (3) P: policristalino. M: monocristalino.

↑ **Tabla 1.5.** Recopilación de características técnicas de módulos fotovoltaicos de diferentes fabricantes.