

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
FOTOVOLTAICO EN UNA VIVIENDA RURAL EN CUSCO**

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLERA EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

AUTORA:

Anghie Paola Párraga Terbullino

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLER EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

AUTORES

Jan Antoline Mamani Aliaga

Adrián Hostin Chavez Gamarra

Nevil Raymundo Cajahuanca

Jherú Naghyb Gallegos Pérez

ASESOR:

Luis Enrique Torres Mendoza

Lima, diciembre 2020

RESUMEN

Palabras clave: energía eléctrica, panel solar, sistema fotovoltaico, energía solar, potencial solar, energía renovable

El sector de energía es uno de los más importantes para el desarrollo económico, social y cultural en pueblos originarios y zonas rurales a través de la educación de calidad y la generación de oportunidades de trabajo que brindan desarrollo económico. No obstante, también es uno de los entes responsables del calentamiento global debido a la gran cantidad de gases de efecto invernadero, que se producen en la generación de energía de manera convencional, es decir, de la quema de combustibles fósiles. Es así que nace la importancia de evaluar la viabilidad de la implementación de paneles solares en zonas rurales del departamento de Cusco para reducir el daño ambiental al consumir energía eléctrica limpia, además de asegurar la producción de electricidad necesaria para el desarrollo de la vida cotidiana, con diversos artefactos como un televisor, radio, interruptores y focos de luz. Entonces, como resultado del trabajo de investigación, se obtiene que el sistema fotovoltaico resulta competente tanto técnica como económicamente gracias a que brinda lo mínimo necesario en época de menor rendimiento que es durante el invierno, además de ser competitivo económicamente pues al tener una duración de vida de 20 años, el gasto que implica la compra e instalación del sistema se recupera a lo largo de su vida útil, ya que no es necesario el empleo de mano de obra especializada para su mantenimiento.

CONTENIDO

1. Generalidades.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	1
1.3. Alcance.....	1
1.4. Objetivos.....	2
1.5. Metodología.....	2
2. Revisión bibliográfica.....	4
2.1. Energía eléctrica.....	4
2.1.1. Fuentes de energía eléctrica.....	4
2.1.2. Producción de energía eléctrica en el Perú.....	5
2.1.3. Transmisión de energía eléctrica en el Perú.....	7
2.1.4. Distribución de energía eléctrica en el Perú.....	8
2.1.5. Energía eléctrica en zonas rurales.....	10
2.2. Energía solar.....	10
2.2.1. Fuentes de energía solar.....	11
2.2.2. Aplicación de paneles solares en el Perú.....	12
3. Sistema fotovoltaico aplicado al caso de estudio.....	15
3.1. Sistemas fotovoltaicos.....	15
3.2. Antecedentes de aplicación.....	19
3.3. Criterios de selección.....	21
3.4. Delimitación de la zona de estudio.....	22
3.5. Descripción de la vivienda.....	22
3.6. Cuadro de cargas.....	24
3.7. Especificaciones del panel.....	24
3.8. Diseño de instalaciones eléctricas.....	27

4. Análisis comparativo del sistema fotovoltaico frente al convencional	29
4.1 Análisis comparativo técnico	29
4.2. Análisis comparativo económico	31
4.3. Análisis comparativo de operación y mantenimiento	34
5. Conclusiones y recomendaciones	36
5.1. Conclusiones	36
5.2. Recomendación	37
6. Bibliografía	39
ANEXOS	43



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:Esquema de componentes de redes de energía eléctrica.	7
Figura 2: Radiación solar	11
Figura 3: Sistema fotovoltaico típico	12
Figura 4: Potencial de energía solar en el Perú.....	13
Figura 5: Esquema de proceso de generación de electricidad de la celda fotovoltaica	15
Figura 6: Celda fotovoltaica de silicio monocristalino	16
Figura 7: Celda fotovoltaica de silicio monocristalino	16
Figura 8: Panel de celdas de película delgada	17
Figura 9: Conexión entre celdas fotovoltaicas para conformar un módulo o panel solar.....	17
Figura 10: Cadena de paneles solares	18
Figura 11: Arreglo de paneles solares de paneles solares.....	18
Figura 12: Esquema de sistema fotovoltaico	19
Figura 13: Modelo Sumaq Wasi en adobe.....	23
Figura 14: Representación final de sistema fotovoltaico.....	25
Figura 15: Porcentaje de hogares con acceso a la electricidad de la red por región en el Perú	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Participación de empresas generadores en el 2018.....	6
Tabla 2:Empresas transmisoras en Perú	8
Tabla 3:Empresas distribuidoras en Perú.....	9
Tabla 4: Centrales solares en el Perú.	14
Tabla 5: Dimensiones básicas de los sistemas solares para ciudades típicas de la Costa, Sierra y Selva del Perú	20
Tabla 6: Características de sistema fotovoltaico instalado en diferentes proyectos	21
Tabla 7: Ambiente de módulo de vivienda rural para cinco personas.....	23
Tabla 8: Área en ambientes de vivienda de adobe.....	23
Tabla 9: Áreas de ambientes de vivienda	24
Tabla 10: Cuadro de cargas para la vivienda	24
Tabla 11: Kit de paneles solares de la empresa AutoSolar Perú.....	26
Tabla 12: Kit de paneles solares de la empresa Panel Solar Perú.....	27
Tabla 13: Características de circuito de alumbrado y tomacorriente.....	28
Tabla 14: Características de tablero general	28
Tabla 15: Características de cableado.....	28
Tabla 16: Potencias Instaladas	29
Tabla 17: Potencial energético de radiación solar en Perú	29
Tabla 18: Comparación de eficiencia de un panel limpio y uno sucio con polvo de arcilla ...	30
Tabla 19: Comparación de eficiencia para el panel empleado	30
Tabla 20: Potencial Solar por zonas en Cusco	31
Tabla 21: Tarifa eléctrica rural a nivel de cada empresa	32
Tabla 22: Composición de la tarifa al cliente final	33
Tabla 23: Subsidios aplicables por el FOSE.....	33

1. Generalidades

1.1. Introducción

Según el Ministerio de Energía y Minas (Andina, 2019), unas 500 mil viviendas ubicadas principalmente en zonas rurales carecen del servicio básico de electricidad. Esto es debido principalmente por su lejanía a las redes de distribución eléctrica. Frente a este hecho surge la posibilidad del uso de paneles solares como fuente de energía eléctrica en las zonas rurales, los cuales no requieren estar conectados a la red eléctrica, brindan numerosos beneficios al medio ambiente además serían más económicos que la opción tradicional de acceso a la corriente eléctrica, y el uso de otros dispositivos de alumbramiento y generación de calor como lámparas y velas.

1.2. Justificación

El motivo de este trabajo se centra en el limitado acceso a energía eléctrica en pueblos originarios y zonas rurales, lo cual impide su propio desarrollo como sociedad, puesto que la energía eléctrica mejora tanto las condiciones del sistema educativo como la generación de oportunidades. Por otro lado, es importante mencionar el beneficio social y ambiental que proporciona la energía producida por los paneles solares porque no solo presenta un mayor potencial aprovechable en comparación a la potencia instalada actualmente (Gamio, 2017), sino también un menor costo de producción, mayor accesibilidad e infinitamente menor impacto ambiental con respecto a las fuentes de energías convencionales (Merino, 2003).

1.3. Alcance

Toda la información recolectada será a partir de la búsqueda de fuentes bibliográficas. Esta investigación tiene como finalidad justificar la viabilidad del uso de energía solar mediante la aplicación de paneles solares en una vivienda de un piso con servicios básicos ubicada en una zona rural en el departamento de Cusco, la cual no tenga acceso a servicios proporcionados por centrales eléctricas. Para la definición de la energía solar, en relación a los objetivos específicos mencionados, se dará prioridad a la información referente a su uso en Perú y luego se tomará en cuenta la referente a otros países. La comparación se realizará a partir de registros realizados por las instituciones competentes a la energía convencional usada en el Perú, como Osinergmin.

1.4. Objetivos

Objetivo general

- Evaluar la viabilidad de uso de paneles solares en zonas rurales ubicadas en el departamento de Cusco

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar el potencial de la energía solar en el Perú frente al sistema energía hidroeléctrica
- Realizar una comparación económica de paneles solares frente al sistema de energía hidroeléctrica
- Identificar los aspectos técnicos de los paneles solares a través de su capacidad de potencia para una vivienda de una zona rural en Cusco.
- Estudiar los requerimientos de instalación, operación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos.

1.5. Metodología

El presente trabajo de investigación se realizará a través de la siguiente metodología, el cual consta en un enfoque tanto teórico como aplicativo.

- Se realizará la búsqueda de información de la energía eléctrica convencional y la energía suministrada por los paneles solares generados en Perú.
- Se propondrá la aplicación del uso de paneles solares en una vivienda de una familia de 4 miembros y que empleen aparatos eléctricos elementales, la cual será ubicada en una zona rural en el departamento de Cusco a partir de las actividades examinadas.
- Se describirá la vivienda en estudio que comprende la distribución de ambientes y los puntos de carga de los aparatos electrónicos en base a investigaciones previas.
- Se seleccionará el panel solar mediante los criterios de selección y los cuadros de cargas para la vivienda en mención.
- Se realizará el diseño de las instalaciones eléctricas y la implementación del sistema fotovoltaico de acuerdo a las necesidades de la vivienda planteada.

- Se utilizará proyectos base aplicados en zonas rurales para establecer los parámetros que intervienen en el proceso de instalación de paneles solares en las etapas de operación y mantenimiento.
- Se realizará la comparación de las ventajas y desventajas de la implementación de paneles solares respecto al sistema eléctrico convencional en los aspectos técnicos, económicos, operación y mantenimiento.



2. Revisión bibliográfica

2.1. Energía eléctrica

2.1.1. Fuentes de energía eléctrica

Las fuentes de energía eléctrica se dividen en dos grupos como energía no renovable y renovable, las cuales están establecidas por maneras convencionales y no convencionales. El primer grupo, la energía no renovable deriva de las fuentes naturales que son agotables debido a su alto consumo y poca regeneración. En este caso, es la energía térmica que se genera en forma convencional por la combustión del carbón, petróleo o gas natural. En cambio, la energía térmica no convencional es originada por distintos combustibles como por ejemplo el uranio, que se emplea en las centrales nucleares (Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, 2014, 2016). Por lo tanto, la energía no renovable es por producción térmica, donde los recursos naturales que se requieren no son abundantes, por lo que se requiere un adecuado aprovechamiento para asegurar la producción de energía a futuras generaciones.

El segundo grupo, la energía renovable es producida por las fuentes naturales que son inagotables ante el aprovechamiento de los seres humanos, ya sea por exceso o por la rapidez de su regeneración. En esta categoría, la fuente convencional proviene de las centrales hidroeléctricas. Este tipo consiste en el uso del agua como fuerza motriz a través de construcciones de represas. El agua es captada de los lagos, ríos o lagunas para ser conducidos hacia las turbinas de la represa con la finalidad de girar los generadores eléctricos y así crear la electricidad (Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, 2014, 2016). Por ende, la generación de la energía hidroeléctrica utiliza la diferencia de potencial del agua como fuente impulsora de proporcionar movimiento a las maquinarias mas no como material en sí.

Por otro lado, en las energías renovables no convencionales se encuentran las energías solares, eólicas, de biomasa, marítimas y geotérmicas; los cuales se describirán brevemente sus características. En primer lugar, la energía solar consiste en la captación de radiaciones electromagnéticas que son emanadas por el sol, mediante elementos arquitectónicos bioclimáticos que almacena energía térmica, o dispositivos captadores de energía por procesos fotovoltaicos. En segundo lugar, es la energía eólica cuyo como origen nace por la diferencia de temperaturas en las diferentes zonas; lo que conlleva a la transformación de la energía cinética del viento en energía mecánica o eléctrica. Este proceso se realiza por medio de aerogeneradores o turbinas eólicas, aspas oblicuas unidas en un eje giratorio, instaladas en tierra o en mar (Tamayo, Salvador, Vásquez & Vilches, 2016; Schmerler et al, 2019).

En tercer lugar, la energía de biomasa o bioenergía es procesada a partir de residuos forestales, agrícolas, agroindustriales y urbanos. Los medios de procesamiento son de combustión directa como leña, o por transformación intermedios del etanol, biodiesel, entre otros (MINAGRI, s.f.). También, con la biomasa se elabora combustibles en las tres formas de los estados de la materia (sólido, líquido y gaseoso), en donde intervienen materias primas, equipos de tecnologías y otros productos (Gamio, 2010).

En cuarto lugar, la energía marítima es la fuente que utiliza como materia prima a los océanos, entre ellos se encuentra la energía mareomotriz derivada de las mareas, la energía undimotriz obtenida por las olas de los mares y océanos; y la energía maremotérmica o también denominada Conversión de Energía Térmica Oceánica que en sus siglas en inglés es OTEC. Pese a que, la energía marítima contiene alto potencial energético requiere elevados costos en instalación. Finalmente, la energía geotérmica consiste en la extracción del calor en el interior de la superficie sólida de la Tierra, ello se lleva a cabo con la ayuda de pozos para procesarlo en la superficie a diferentes temperaturas y generar energía (Tamayo et al, 2016; Schmerler et al, 2019). Si bien la materia prima para la obtención de la energía no renovable es inagotable, hay otros factores que intervienen para su elección como los equipos, maquinarias, el costo de instalación entre otros.

2.1.2. Producción de energía eléctrica en el Perú

Respecto a la producción de energía, en el País se ha visto incrementada en los últimos años debido al crecimiento de la demanda y disponibilidad de recursos energéticos, así como a la implementación de mayor cantidad de centrales generadoras (Tamayo, Salvador, Vásquez & Vilches, 2016). Según el Anuario ejecutivo de electricidad 2019 hasta el año 2018, se encontraban en funcionamiento 80 empresas de generación de energía, las cuales disponen de 286 centrales entre hidráulicas, térmicas y de recursos no convencionales; en este sentido, es importante mencionar que, gracias al Mapa de distribución de las líneas eléctricas existentes realizado por el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES) es posible afirmar que tanto las centrales de energía como las líneas de transmisión se encuentran, en su mayoría, en la zona costera central que concentra alrededor del 80% de la generación nacional dejando rezagadas a las zonas norte y oriente en términos de producción.

Tabla 1: Participación de empresas generadores en el 2018

Empresas	I Potencia Efectiva	Empresas	II Potencia Efectiva
Engie	19.73%	Egesur	0.46%
Kallpa	12.83%	Egejunin	0.32%
Enelg	11.13%	Santa Cruz	0.26%
Electroperú	7.28%	Pe Marcona	0.25%
Samay	5.63%	Sdf Energía	0.22%
Fenix Power	4.51%	Agua Azul	0.16%
Huallaga	3.79%	Andean Power	0.16%
Statkraft Perú	3.56%	Majes Solar	0.16%
Orazul Energy	2.99%	Panamericana Solar	0.16%
Enelp	2.74%	Repartición Solar	0.16%
Termochilca	2.41%	Santa Ana	0.16%
Egasa	2.34%	Tacna Solar	0.16%
Enel Green Peru	2.21%	Celepsa Renovables	0.16%
Planta Eten	1.81%	Huanchor	0.16%
Celepsa	1.77%	Rio Doble	0.15%
Chinango	1.60%	Aurora	0.13%
Cerro Verde	1.41%	Moquegua Fv	0.13%
Termoselva	1.40%	Huaura Power Group	0.12%
Egamsa	1.34%	Aipsaa	0.10%
San Gabán	0.92%	Petramas	0.08%
Energía Eólica	0.91%	Sinersa	0.08%
Emghuanza	0.78%	Electro Zaña	0.05%
Pe Tres Hermanas	0.77%	Egecsac	0.04%
Luz Del Sur	0.71%	Hydrocañete	0.03%
Gepsa	0.54%	Yanapampa	0.03%
Shougesa	0.50%	Maja Energía	0.03%
Iyepsac	0.47%	Santa Rosa	0.01%
	Total (I y II)		100,00%

Nota. Tomado de “Anuario Ejecutivo de Electricidad 2019”, por MINEM, 2019.

Entre las fuentes de energía convencionales para la generación de electricidad en el Perú, se encuentra el gas natural, el carbón y el diésel; situación que ha conllevado a un rápido aumento de las emisiones de Dióxido de Carbono, gas principal que ocasiona el calentamiento global (IPCC, 2011). Asimismo, las fuentes de energía no convencionales más empleadas en el país son la energía solar y eólica (Gamio, 2017). En esta línea, la participación de la energía hidroeléctrica fue de un 57.7% del total de la producción generada, siendo el Complejo

Hidroeléctrico del Mantaro la central principal de este tipo; en el caso de la energía termoeléctrica, las principales centrales de energía se encuentran en Lima debido a la mayor disponibilidad y uso del Gas de Camisea, la cual representó un 38.46% del total en el año 2018. Por otro lado, las centrales en base a recursos naturales, tanto la solar como la eólica, significaron el 3.8% del total de la producción, encontrándose principalmente en las zonas de Moquegua e Ica, respectivamente (MINEM, 2019).

2.1.3. Transmisión de energía eléctrica en el Perú

Según Oyeranmi (2020), la transmisión de energía eléctrica, también conocida como transporte de energía eléctrica de alto voltaje, se considera generalmente como la transferencia masiva de electricidad a través de líneas de transmisión, desde plantas generadoras de energía hasta subestaciones. Estas últimas generalmente ubicadas cerca de centros poblados. Según Dammert (2010) en el Perú, las líneas de transmisión eléctrica están interconectadas y se dividen en dos sistemas: Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) y los Sistemas Aislados (SS. AA.). Ambos sistemas reúnen en total 21589 km de líneas de transmisión con niveles de tensión superiores a 30kv. La electricidad se transmite a altos voltajes (30 kilovoltios o más) para reducir la pérdida de energía en la transmisión a larga distancia.

La Figura 1 muestra un esquema en la cual ubica las líneas de transmisión entre las generadoras de electricidad y las subestaciones.

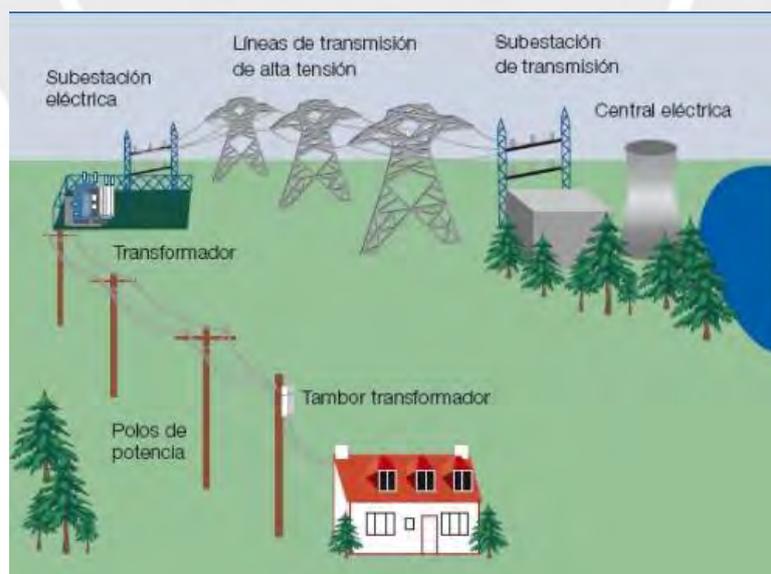


Figura 1: Esquema de componentes de redes de energía eléctrica.

Nota. Tomado de "Tecnologías de transmisión y distribución, claves para la eficiencia energética", por sectorelectricidad.com, 2013

Existen 18 empresas que se encargan de la gestión, operación y mantenimiento de las redes de transmisión en nuestro país. La Tabla 2 presenta la razón social de las empresas.

Tabla 2:Empresas transmisoras en Perú

N°	RAZON SOCIAL
1	ATN S.A.
2	ABY TRANSMISION SUR S.A.
3	ATN 1 S.A
4	ATN 2 S.A
5	ATN 3 S.A.
6	COMPAÑIA TRANSMISORA NORPERUANA S.R.L.
7	COMPAÑIA TRANSMISORA ANDINA S.A.
8	CONSORCIO TRANSMANTARO S.A.
9	CONSORCIO ENERGETICO DE HUANCVELICA S A
10	ETENORTE S.R.L.
11	ETSELVA S.R.L
12	INTERCONEXION ELECTRICA ISA PERU S.A.
13	RED DE ENERGÍA DEL PERÚ S.A.
14	RED ELÉCTRICA DEL SUR S.A.
15	TRANSMISORA ELÉCTRICA DEL SUR S.A.C.
16	TRANSMISORA ELÉCTRICA DEL SUR 3 S.A.C.
17	EMPRESA DE TRANSMISION GUADALUPE S.A.C.
18	CONELSUR LT S.A.C.

Nota. Tomado de “Directorio de las Empresas del Subsector Eléctrico”, por MINEM.

2.1.4. Distribución de energía eléctrica en el Perú

Según Dammert (2010) la red de distribución es el medio a través del cual se transporta la electricidad al usuario final partiendo de una barra del sistema de transmisión. Las redes de distribución, que pueden ser aéreas o subterráneas, están compuestas por segmentos que operan en distintos voltajes. Es posible distinguir los siguientes segmentos:

En primer lugar, las redes de alta tensión. Emplean voltajes mayores a 100 kV y se utilizan en sistemas de subtransmisión. En ellas el flujo de energía va en una sola dirección para llevar la energía de la red de transmisión troncal, conformada por las líneas donde el flujo de energía no tiene una dirección única y que alimenta a todos los puntos de retiro de energía del sistema, a los centros poblados.

En segundo lugar, las redes de media tensión. Emplean voltajes comprendidos entre 1 kV y 100 kV, y se utilizan tanto para llegar a instalaciones industriales de alto consumo de electricidad como para la distribución de energía en una ciudad.

Por último, las redes de baja tensión. Emplean voltajes de 110-220 voltios para consumo residencial y de 500-600 voltios para consumo industrial. Se emplean para abastecer de electricidad a los usuarios desde un punto cercano de la red de media tensión. El costo por kWh de estas redes es mayor que para las redes de media tensión.

En nuestro país existen 21 empresas encargadas de realizar la gestión, operación y mantenimiento de las redes de distribución. La Tabla 3 muestra las empresas encargadas de distribuir la energía eléctrica a los consumidores finales y la región en la cual operan.

Tabla 3: Empresas distribuidoras en Perú

Nº	RAZON SOCIAL	REGION
1	Consortio Eléctrico de Villacuri S.A.C.	Ica
2	Electro Dunas S.A.A.	Ica
3	Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad del Oriente S.A.	Iquitos
4	Electro Pangoa S.A.	Junín
5	Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad de Puno S.A.A.	Puno
6	Electro Sur Este S.A.A.	Cusco
7	Electro Tocache S.A.	San Martín
8	Empresa Concesionaria de Electricidad de Ucayali S.A.	Ucayali
9	Electrocentro S.A.	Junín
10	Electronoroeste S. A.	Piura
11	Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad Electronortemedio S.A.	Trujillo
12	Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad del Norte S.A.	Lambayeque
13	Empresa Regional Servicio Público Electricidad Electrosur S.A.	Tacna
14	Empresa de Distribución y Comercialización De Electricidad San Ramon S.A.	Junín
15	Empresa de Servicios Eléctricos Municipales de Paramonga S.A.	Lima
16	Empresa Municipal de Servicios Eléctricos Utcubamba S.A.C.	Amazonas
17	Egepsa S.A.	Junín
18	Enel Distribución Perú S.A.A.	Lima
19	Luz del Sur S.A.A	Lima
20	Servicios Electricos Rioja S.A.	San Martín
21	Sociedad Electrica del Sur Oeste S.A.	Arequipa

Nota. Tomado de "Directorio de las Empresas del Subsector Eléctrico", por MINEM.

2.1.5. Energía eléctrica en zonas rurales

Los accesos limitados, así como la lejanía de muchos pueblos, propulsaron que el Estado peruano se involucre en buscar diferentes tecnologías, ya sea para ser parte de las redes del SEIN o para formar los Sistemas Eléctricos Rurales (SER). Estos últimos consisten en el desarrollo de energía, provenientes de fuentes renovables no convencionales, en zonas rurales, territorios aislados, de interés social como los clasifica el Ministerio de Energía y Minas (Tamayo et al., 2016). Para ello, se cuenta con los Sistemas Fotovoltaicos (SF) de manera domiciliaria o comunal ubicados en las regiones de la sierra y la selva. Asimismo, otra alternativa por la que se adopta es la construcción de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH), las cuales se encuentran en las zonas donde existe el recurso del agua para su aprovechamiento. La última tecnología que se va aplicando es la energía eólica en los valles intermedios y ciudades cercanas al litoral costero (MINEM, 2016)

En este sentido, es importante mencionar que en el País se viene desarrollando diversos proyectos relacionados a la producción de energía. Uno de los más destaca es el Proyecto Fotovoltaico de la empresa Ergon Perú S.A.C, el cual ha beneficiado a alrededor de 2 mil familias en la comunidad de Uros (Islas de Uros) con una instalación total de 630 paneles solares que permiten el correcto progreso de la población adulta como infantil y adolescente (Revistel, s.f.). Del mismo modo, en la comunidad de Campo Alegre, en la región de Cajamarca, operan un aproximado de 20 sistemas híbridos eólicos-fotovoltaicos que están compuestos por un aerogenerador de 100W y un panel solar de 50W que benefician a todas las familias de la comunidad. Se debe resaltar que, en este último proyecto mencionado, la comunidad recibió una capacitación en aspectos técnicos y administrativos para asegurar la sostenibilidad y administración del proyecto (MINEM, 2013).

2.2. Energía solar

El sol es considerado como el principal agente y fuente de energía de diferentes formas de vida en el planeta tierra. Emite una potencia aproximadamente de 62 mil 600 kilowatts por metro cuadrado de superficie que viene ocurriendo a lo largo de 4 mil 500 millones de años y se prevé que continuará con dicha intensidad por otros futuros 5 mil millones de años (Arancibia et al., 2010). En ese sentido, por la cantidad potencia que expulsa el sol y por su proyección misma, el sol es una fuente de energía sumamente aprovechable para las presentes y futuras generaciones. Además, es una fuente de energía renovable que, en su proceso de

transformación energética para la utilización del hombre, no provoca y genera desechos o elementos contaminantes que perjudiquen la estabilidad ambiental de la Tierra.

Los primeros vestigios del empleo de la energía solar se remontan a los antiguos griegos, romanos y chinos, quienes conocían el arte de encender fuego a través de lentes y espejos (Arancibia et al., 2010). Y, en la actualidad, se ha llegado a aprovechar esta fuente de energía de diversas formas y manera, por ejemplo, en energía fotovoltaica y energía térmica. Por un lado, la energía térmica consiste en almacenar el calor proveniente del sol al interior de una caja con elementos que posean propiedades de retención de calor; por otro lado, la energía solar fotovoltaica consiste en transformar la energía del sol en energía eléctrica. En general, cualquier forma de aprovechamiento de energía solar se da a través de la radiación solar que es, en realidad, la energía solar que proviene del astro hacia la tierra. Esta se da a través de dos formas: la radiación directa que llega directamente del sol sin sufrir algún desvío en su camino y la radiación indirecta que sufre algunos cambios en su trayecto debido a la reflexión y difusión de la atmósfera (SENCICO, 2013); asimismo, se sabe que cuanto mayor sea la radiación, entonces, mayor es el aprovechamiento que se le puede dar a la energía del sol. En la Figura 2 se presenta un esquema de la radiación solar proveniente del sol.

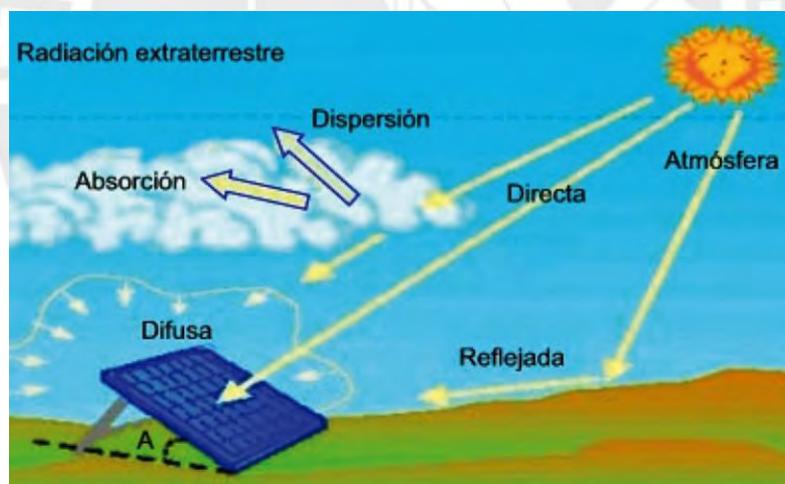


Figura 2: Radiación solar

Nota. Tomado de “Instalación de sistemas fotovoltaicos”, por SENCICO, 2013

2.2.1. Fuentes de energía solar

Una de las formas de aprovechamiento de la energía solar es a través de la energía solar fotovoltaica. Este se emplea para la generación de electricidad mediante el uso de paneles solares fotovoltaicos y son los encargados de convertir la radiación solar en electricidad

(Arencibia, 2016); asimismo, una vez generado la electricidad se puede utilizar para diferentes aplicaciones según las necesidades que requieran la vida diaria.

El panel solar fotovoltaico se fundamenta en base a su principal componente; la celda fotovoltaica. Estas generan corriente continua y están hechas de materiales semiconductores que son creadas con tratamiento especial con la finalidad de crear el efecto fotovoltaico (SENCICO, 2013). De esta manera, la energía eléctrica que genera el panel solar se da a través de corriente continua; por lo que, se necesita de un inversor de corriente para distribuir la corriente de forma alterna el cual es la forma de utilización de corriente de los diferentes aparatos o dispositivos electrónicos, también llamados cargas de alimentación. En la Figura 3 se muestra una representación de un sistema fotovoltaico típico para la transformación de la energía solar a energía eléctrica.

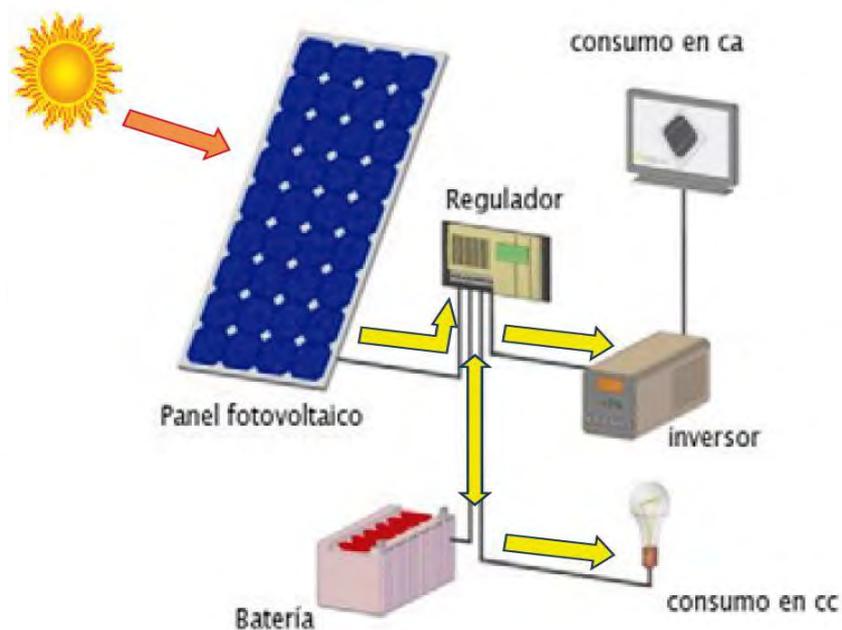


Figura 3: Sistema fotovoltaico típico

Nota. Tomado de “Instalación de sistemas fotovoltaicos”, por SENCICO, 2013

2.2.2. Aplicación de paneles solares en el Perú

En el Perú al encontrarse cerca de la línea ecuatorial posee una gran disponibilidad del recurso solar. Es por eso que, la opción de utilizar paneles fotovoltaicos para abastecer de energía eléctrica, a zonas donde no llegan las conexiones de las centrales convencionales, es viable como se muestra en la Figura 4 (MINEM, 2014). Asimismo, la idea de utilizar la energía solar empezó desde los años setenta debido a la crisis de petróleo. Inicialmente se aprovechó la

energía térmica producida por la radiación para calentar agua y secar los productos agrícolas (Horn, 2006).

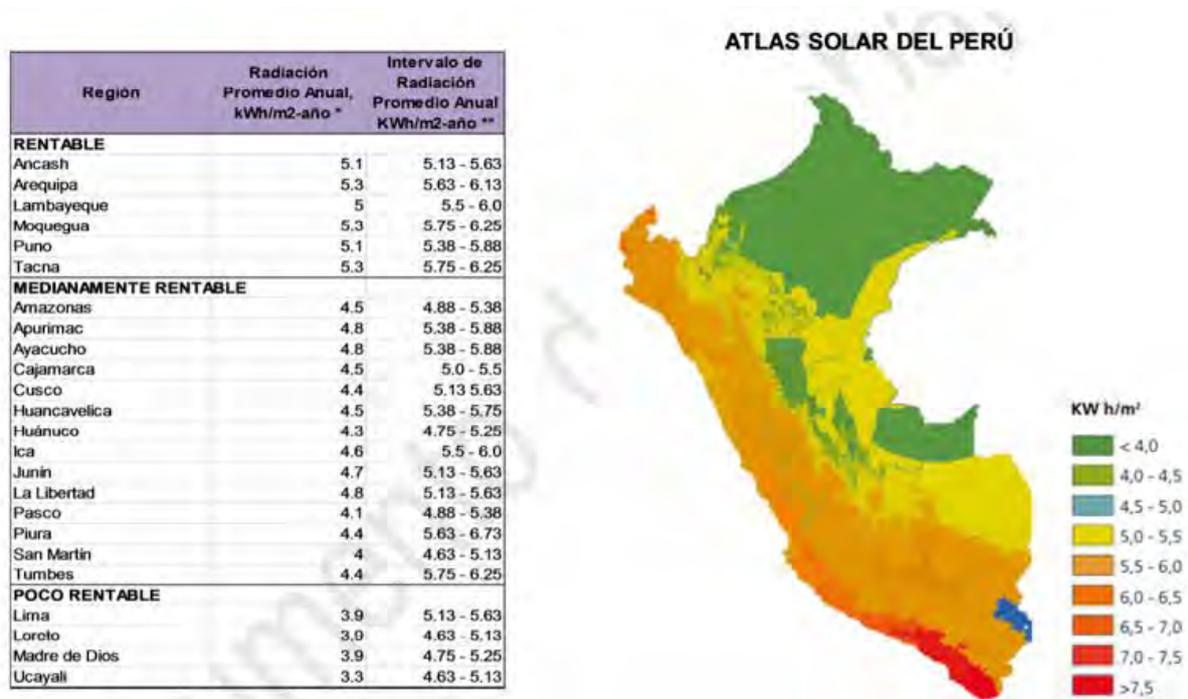


Figura 4: Potencial de energía solar en el Perú

Nota. Tomado de “Plan energético nacional 2014-2025”, MINEM, 2014

El primer proyecto de electrificación rural se instaló paneles fotovoltaicos en 1986 a 1996 en el departamento de Puno, en el cual se habilitaron 500, este proyecto fue realizado por el Centro de Energías Renovables de la Universidad Nacional de Ingeniería (CER-UNI). Posterior a este proyecto, el MINEM en los años siguientes, instaló 1500 Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios (SFD) en diferentes regiones del país, mayormente en comunidades de la selva y muy dispersas (Horn, 2006). Hoy en día, se puede optar por un SFD como también, dependiendo la localidad, se puede prestar el servicio de centrales solares, los cuales consisten en un conjunto de paneles con todos sus instrumentos de conversión y control, para abastecerse de energía eléctrica.

En la actualidad, el Perú cuenta con siete centros solares operativos conectados al SEIN, ubicados al sur. Estas centrales son Majes Solar, Solar Repartición, Tacna Solar, Panamericana Solar, Moquegua FV, Rubí e Intipampa, de las cuales la más grande es la central Rubí. Esta central cuenta con más de 500 mil paneles fotovoltaicos de 320 W con una capacidad de 144.48 MW, la cual abastece a, aproximadamente, 350 mil hogares cercanos (Reyes, 2018).

Tabla 4: Centrales solares en el Perú.

Centrales	Cantidad de paneles	Potencia instalada (MW)	Costo (US\$/MWh)	Diagrama Unifilar
Majes Solar	55704	20	22.25	
Solar Repartición	55704	20	22.30	
Tacna Solar	74988	20	22.50	
Panamericana Solar	72000	20	21.50	
Moquegua FV	155736	16	11.99	
Rubí	560880	144.48	47.98	
Intipampa	138120	40	48.50	

Nota. Adaptado de “Supervisión de contratos de proyectos de generación y transmisión de energía eléctrica en operación”, Osinergmin, 2019

3. Sistema fotovoltaico aplicado al caso de estudio

3.1. Sistemas fotovoltaicos

Según Karuter (2006) son dispositivos electrónicos hechos de diodos semiconductores con carga positiva y negativa (unión p-n). La radiación del sol produce un flujo de electrones que van de la parte negativa (donde sobran electrones) a la positiva (donde faltan electrones) creándose un flujo de electrones o corriente continua. De esta forma las celdas solares o fotovoltaicas permiten generar electricidad a partir de la radiación del sol. La Figura 5 muestra un esquema del proceso de formación de corriente eléctrica en las celdas solares.

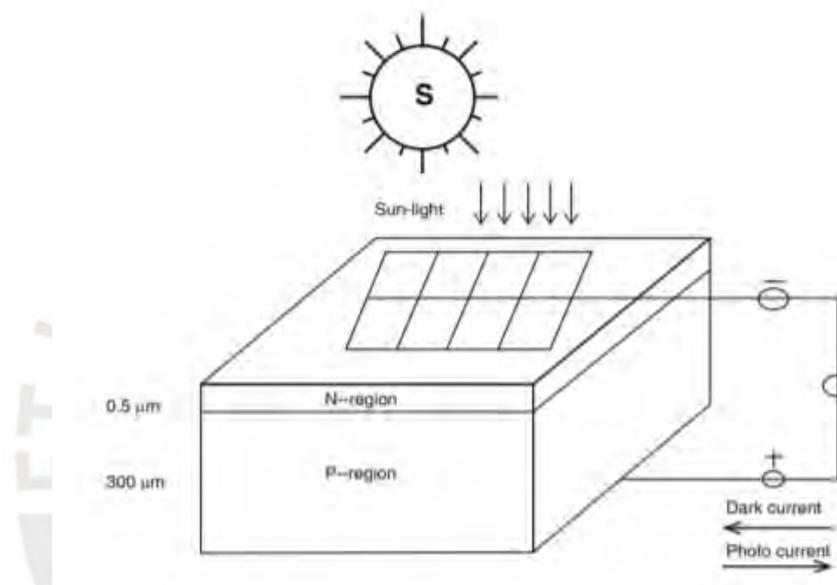


Figura 5: Esquema de proceso de generación de electricidad de la celda fotovoltaica

Nota. Tomado de "Sustainable energy and the environment: A clean technology approach", por Kaushika, 2016

Las celdas fotovoltaicas constan de varios materiales con diferentes estructuras para reducir el costo y lograr la máxima eficiencia eléctrica. El material más común en su fabricación es el silicio. Según Kaushika (2016), existen 3 tipos de materiales con los cuales pueden fabricarse las celdas fotovoltaicas: Celdas monocristalinas, policristalinas, de silicio amorfo y de película delgada.

Las celdas monocristalinas están fabricadas enteramente con silicio monocristalino puro sin defectos o impurezas. Es el tipo de material más caro de producir. Estas celdas poseen una eficiencia de conversión en el rango de 15 a 17% (Kaushika, 2016). La Figura 6 muestra una celda fotovoltaica de silicio monocristalino.



Figura 6: Celda fotovoltaica de silicio monocristalino

Nota. Tomado de “Solar photovoltaic system applications”, por Mohanty, 2016

Las celdas policristalinas son producidas con grados más pobres de pureza de silicio monocristalino. Son menos costosas debido al proceso de producción más simple. Su eficiencia de conversión se encuentra entre 10 y 12% (Kaushika, 2016). La Figura 7 presenta una celda fotovoltaica de silicio policristalino

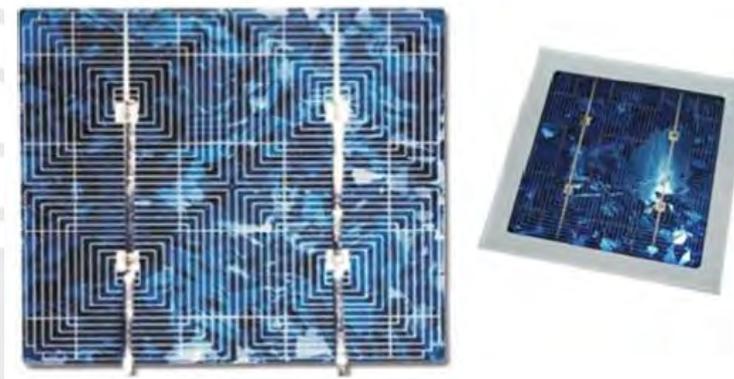


Figura 7: Celda fotovoltaica de silicio monocristalino

Nota. Tomado de “Solar photovoltaic system applications”, por Mohanty, 2016

Las celdas de silicio amorfo y las celdas de película delgada son fabricadas con silicio amorfo. Pueden absorber más luz que sus contrapartes cristalinas. Pueden ser fabricados con otros materiales aparte del silicio como telurio de cadmio (CdTe) y diselenuro de cobre indio galio (CIGS). Poseen un costo menor a las opciones cristalinas, pero tienen una menor eficiencia de conversión que ronda entre 5 y 7 % (Kaushika, 2016). Su menor costo compensa su reducida eficiencia. La Figura 8 muestra un panel solar de celdas de película delgada.



Figura 8: Panel de celdas de película delgada

Nota. Tomado de “Solar photovoltaic system applications”, por Mohanty, 2016

Las celdas fotovoltaicas solas no pueden generar suficiente energía eléctrica para usos prácticos, por ello es necesario conectar las celdas fotovoltaicas en serie para obtener el voltaje deseado o en paralelo para conseguir la corriente deseada. Esta serie de celdas conectadas recibe el nombre de módulos o paneles solares. Según Kaukisha (2016) los paneles solares hechos con celdas de silicio monocristalino y policristalino presentan el 90% del mercado comercial y entregan aproximadamente una potencia de 100 a 130W/m^2 a condiciones estándar de prueba (STC) es decir a 1000W/m^2 y una temperatura de 25°C de la celda fotovoltaica. La Figura 9 muestra la conexión de celdas fotovoltaicas que conforman un módulo o panel solar.

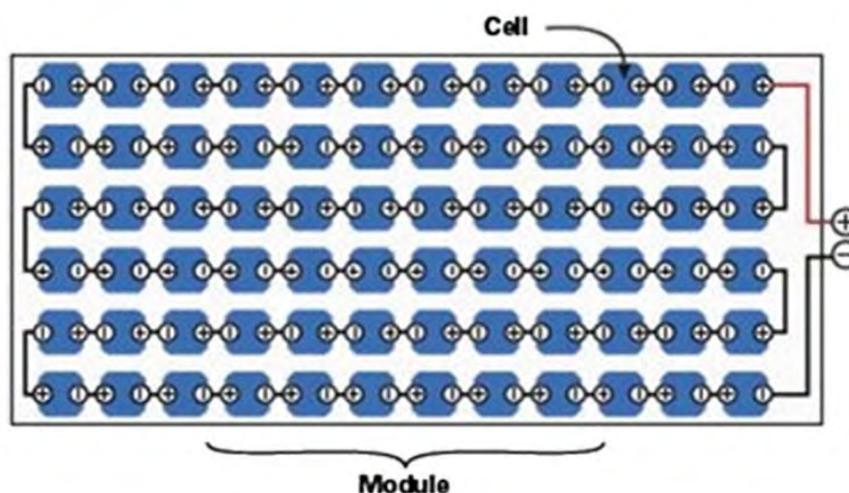


Figura 9: Conexión entre celdas fotovoltaicas para conformar un módulo o panel solar.

Nota. Tomado de “Solar photovoltaic system applications”, por Mohanty, 2016

Los módulos o paneles solares se conectan en serie y conforman una cadena incrementando el voltaje desde un mínimo de 48V hasta más de 600V. La Figura 10 muestra un caso de una cadena de paneles solares.

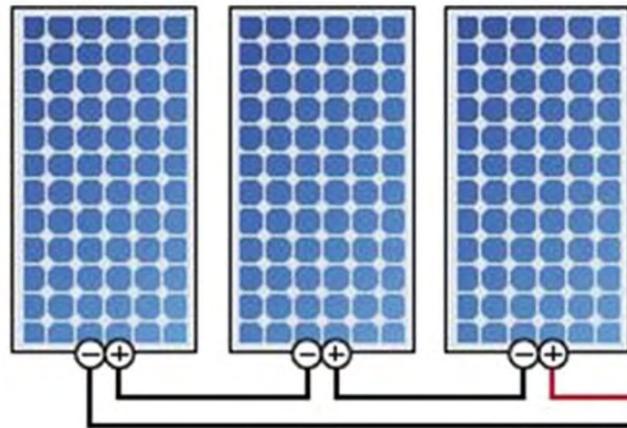


Figura 10: Cadena de paneles solares

Nota. Tomado de "Solar photovoltaic system applications", por Mohanty, 2016

Los paneles solares pueden conectarse en paralelo para incrementar la potencia sin cambiar el voltaje y pueden conectarse en serie para aumentar el voltaje. A la unión de los paneles de diversas maneras según sea requerido se le conoce como arreglo y es el conjunto más grande de paneles solares. La Figura 11 muestra un arreglo de paneles solares conformando por dos cadenas unidas en serie que a la vez se unen en un sistema en paralelo para producir un voltaje y corriente requeridos.

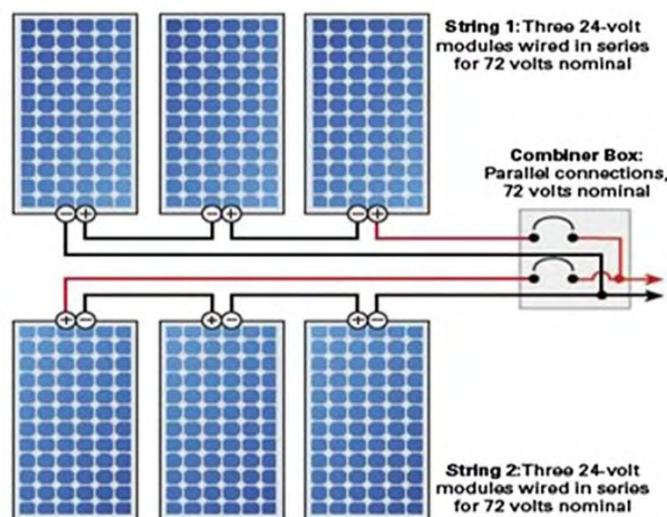


Figura 11: Arreglo de paneles solares de paneles solares

Nota. Tomado de "Solar photovoltaic system applications", por Mohanty, 2016

El sistema fotovoltaico requiere diversos componentes aparte de los arreglos de paneles solares. Los principales componentes son: Sistema de cableado, estructuras de soporte, inversores de corriente, baterías, reguladores de cargas, combinadores de cadenas, protección contra rayos, protección contra sobrecorriente, interruptores y sistema de protección a tierra. La energía es almacenada en baterías usualmente con voltajes de 12V. A fin de convertir este voltaje de corriente continua a un voltaje de corriente alterna práctico de 240V se utiliza el inversor de corriente. El controlador de carga se encarga de proteger las baterías de un exceso de carga y previene que las baterías se descarguen. La Figura 12 muestra un esquema de un sistema fotovoltaico.

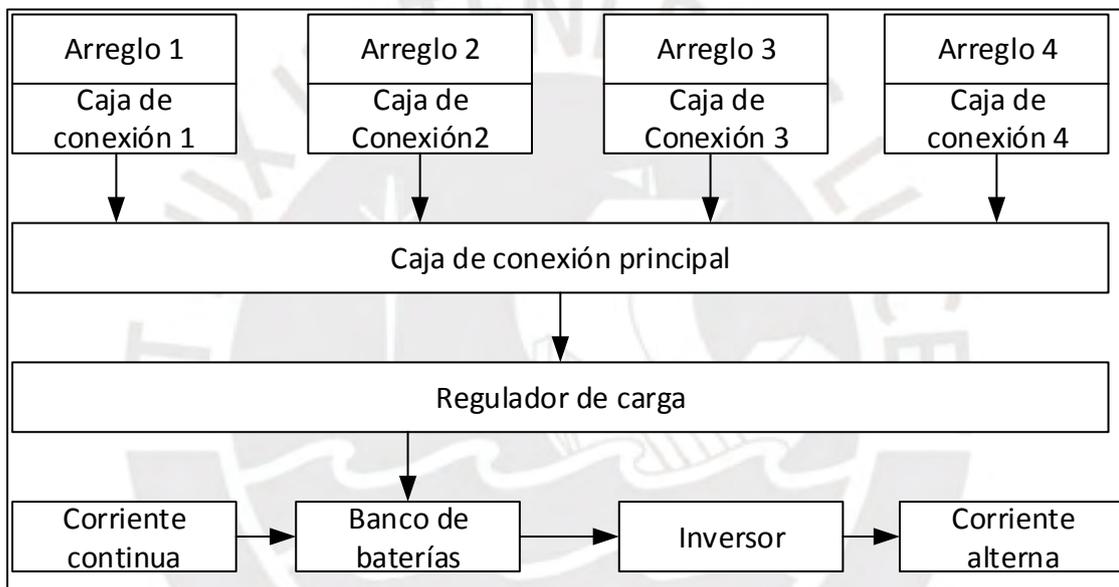


Figura 12: Esquema de sistema fotovoltaico

Nota. Adaptado de “Sustainable energy and the environment: A clean technology approach”, por Kaukisha, 2016

3.2. Antecedentes de aplicación

La implementación de paneles solares en el Perú data desde los años ochenta, como se describe en el marco teórico. El sistema fotovoltaico consiste en el panel fotovoltaico, banco de baterías y unidades de control, para el cual se mostrará las dimensiones básicas y específicas aplicadas a distintas regiones del país (ver en Tabla 5).

Los datos mostrados en la Tabla 5 proyectaron el sistema de energía solar fotovoltaica para el uso doméstico en diferentes regiones del Perú. Emplearon información acerca de conceptos y diseños realizados a nivel nacional e internacional. Con lo que resultó en un diseño factible en

relación costo-efectividad, que, además, cubriría la necesidad de ausencia de electricidad en zonas alejadas (Nuñez y Cruz, 2013).

Tabla 5: Dimensiones básicas de los sistemas solares para ciudades típicas de la Costa, Sierra y Selva del Perú

Lugar	Sistema	Panel	Inclinación (°)	Banco de	Unidad de	Voltaje (V)
	fotovoltaico	fotovoltaico		baterías	control	
	Energía	Corriente (A)		Capacidad	Capacidad	
	(Wh-día)			(Ah)	(A)	
Cusco	1092	26.3	29	892.2	40.6	12
Ica	1092	23.7	28	892.2	33.8	12
Pucallpa	1092	29.4	23	892.2	60.8	12

Nota. Tomado de “Diseño de sistemas de energía solar fotovoltaica-aplicación en el Perú”, Nuñez, T. y Cruz, V. (2013)

En la Tabla 6, elaborada por los autores de este trabajo de investigación, se muestran los resultados obtenidos de un diseño de sistema fotovoltaico en tres tesis. La primera, “Proyecto de viabilidad de climatización y electrificación en viviendas de comunidades rurales en Zonas Alto Andinas (Puno-Perú)”, analizó la demanda eléctrica de una vivienda para su diseño, tomando en cuenta también efectos de la zona como el clima y técnicas de arquitectura bioclimática e instalación de sistemas que aprovechen la energía térmica (Mori, 2017). La segunda, “Diseño del sistema fotovoltaico de 3KW en Zonas Rurales de Socorro, Huarumpa y Yanuna del Distrito de Paucas-Huari-Ancash”, en la cual busca proveer de energía eléctrica para los pobladores que no tienen acceso, realizó su diseño a partir de datos recolectados en campo, como el consumo diario, y encontrados por instituciones competentes para el registro de radiación (Yornaldo, 2019). La tercera, “Optimización del sistema solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en viviendas aisladas altoandinas”, la cual realizó su diseño en base a la radiación solar, dimensionamiento de componentes, estructura del sistema solar fotovoltaico, entre otros factores para viviendas ubicadas en Junín (Clemente, 2014).

Tabla 6: Características de sistema fotovoltaico instalado en diferentes proyectos

Lugar	Demanda (kWh/día)	Panel fotovoltaico		Batería	Inversor
		Potencia de módulo (W)	Voltaje (V)	Capacidad requerida (Ah)	Potencia instalada (kW)
Puno	4.05	240	48	1064.9	4.48
Ancash	1.65	329.6	220	533.85	1.7
Junín	0.25	85	12	60	-

3.3. Criterios de selección

Para la determinación del tipo de panel fotovoltaico se tuvieron en cuenta algunas consideraciones para cumplir con la energía requerida para abastecer a una vivienda en una zona rural del Perú. Passos et al (2018) indica que el principal factor es la irradiación del lugar donde se desea instalar los paneles solares. También, señala la importancia de la orientación e inclinación del panel; ya que, para un mejor rendimiento debe recibir la incidencia de los rayos solares la mayor cantidad del tiempo al día y durante todo el año. Por lo que, recomienda la posición hacia el sur y norte para las localidades del hemisferio norte y sur respectivamente. Por lo tanto, se deberá de tomar en cuenta dichas consideraciones en el diseño para optimar al máximo la captación de los rayos solares en los paneles.

Otro requisito es la demanda energética por parte de la edificación ya sea una vivienda como sistema aislado o el conjunto de hogares como un sistema interconectado, los cuales dependen de los aparatos electrónicos con que cuenta cada familia. Luego está las características propias del sistema fotovoltaico como son los paneles, controladores, convertidores, las baterías en caso se requieran, entre otros aspectos técnicos únicos de cada tipo de sistema fotovoltaico (ADINELSA, 2013; Valdiviezo, 2014). Además, los materiales utilizados deberían ser de larga duración, así como su accesibilidad para su mantenimiento. Por último, en la selección del tipo de sistema fotovoltaico influye el costo económico. Aunque, en los últimos años va decreciendo debido al avance tecnológico, la demanda del mercado, el incremento del desarrollo por la búsqueda de soluciones de energía renovables (Passos et al., 2018). Por ende, el Sistema fotovoltaico es una alternativa accesible tanto por el costo económico como los elementos que se requieren; ya que, no son complejos de instalar ni de adquirir. Además, se puede instalar de manera individual como conjunta.

3.4. Delimitación de la zona de estudio

Para este trabajo de investigación se van a considerar dos perspectivas, una referente al potencial solar del lugar y seguidamente, otra referente al índice de población rural de las zonas con mayor radiación solar para así, enfocar el trabajo en el área geográfica que tenga mayor aprovechamiento del sistema fotovoltaico.

Respecto al potencial solar, el Banco Interamericano de Desarrollo (2018) menciona en su guía de aplicación que las dos ciudades con mayor promedio de irradiación solar son Arequipa y Cusco. Además, según el MINEM (2014), ambas ciudades se encuentran dentro de las zonas más rentables para la aplicación de proyectos relacionados con la energía solar, debido a sus valores de irradiación solar. Asimismo, según lo expuesto por el INEI (2017) en el perfil sociodemográfico; en el departamento de Arequipa el 8.2% de su población pertenece al sector rural; mientras que en el caso de Cusco este porcentaje asciende a un 39.3%.

Por lo mencionado anteriormente, se concluye que la ubicación del caso de estudio será en el departamento de Cusco, por lo que se analizará la viabilidad técnica de los paneles solares en caso se apliquen en las diversas zonas del departamento antes mencionado.

3.5. Descripción de la vivienda

Una vivienda es un lugar acondicionado para que las personas puedan habitar y convivir; sin embargo, el concepto en sí guarda diversos significados de acuerdo al contexto propio. Por ello, se puede definir también el término de vivienda rural. Entonces, una vivienda rural se caracteriza por ser colectiva y de un contacto cercano con la naturaleza o el medio ambiente (Dután 2017). Este tipo de viviendas se encuentran en lugares con poca densidad poblacional y alejada de las ciudades; por ello, se tiene que están en contacto directo con el medio ambiente. Asimismo, los integrantes de las viviendas rurales son personas dedicadas a la vida de campo: agricultura, ganadería, entre otros.

Para definir las características de la vivienda rural se tomó en consideración dos casos de estudio. En primer lugar, se tiene el estudio Vladimir Bressny Larico Huanca, en su tesis “Propuesta de módulo de vivienda rural para la población que habita en el área rural del distrito de Azángaro” (2019); entonces, se presenta los datos más relevantes para este estudio en la Tabla 7.

Tabla 7: Ambiente de módulo de vivienda rural para cinco personas

Dormitorio Principal	15.20 m ²
Dormitorio Hijos(as)	14.00 m ²
Dormitorio Hijo(s)	13.78 m ²
Pasadizo interior	05.30 m ²
Cocina-Comedor	12.80 m ²
Corral de ovejas	37.50 m ²
Cobertizo para vacas	32.00 m ²
Pasadizo interior	05.30 m ²

Nota. Tomado de “Propuesta de módulo de vivienda rural para la población que habita en el área rural del distrito de Azángaro”, por Vladimir Bressny Larico Huanca, 2019

En este programa se propone el modelo de vivienda Sumaq Wasi con material adobe se plantea las siguientes dimensiones en la Tabla 8.

Tabla 8: Área en ambientes de vivienda de adobe

AMBIENTE	ÁREA PISO	
Dormitorio 1	5.10	m ²
Dormitorio 2	5.64	m ²
Cocina Comedor	9.08	m ²
Área tapón	1.05	m ²
Vereda	2.12	m ²

Nota. Tomado de “Programa Nacional de Vivienda Rural”, por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019



Figura 13: Modelo Sumaq Wasi en adobe

Nota. Tomado de “Programa Nacional de Vivienda Rural”, por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019

De esta manera, para el presente estudio se estableció las siguientes consideraciones presentada en la Tabla 9 que se elaboró a partir de los casos de estudio expuestos anteriormente.

Tabla 9: Áreas de ambientes de vivienda

Ambiente	Área piso	
Dormitorio 1	6	m ²
Dormitorio 2	5	m ²
Cocina Comedor	10.5	m ²
Baño	3.65	m ²

3.6. Cuadro de cargas

Para la vivienda en estudio, se establecieron los aparatos eléctricos fundamentales con el fin de determinar la demanda energética que el panel debería satisfacer. Dichos elementos fueron basados del informe del Organismo Supervisor de la Inversión de la Energía y Minería (Osinergmin, 2015) para una vivienda ubicada en zonas alejadas a la energía y con bajo consumo energético. La Tabla 10 muestra la cantidad de unidades y equipos que se definió para la vivienda propuesta. También, se especificó la potencia unitaria de cada dispositivo, así como las horas promedio de uso al día con el fin de calcular el consumo diario total.

Tabla 10: Cuadro de cargas para la vivienda

Zona	Equipo	Unidades	Potencia Unitaria (Watt)	Horas de funcionamiento (horas/día)	Consumo diario (KWh/día)
Iluminación	Lámparas fluorescentes	4	10	3.5	0.14
Dormitorios	Cargador de celular	2	5	10	0.1
Cocina	Televisor	1	80	2	0.16
Comedor	Radio	1	10	3	0.03
Total					0.43

3.7. Especificaciones del panel

La selección del sistema solar fotovoltaico se basó en los componentes, potencia brindada y precio de los productos encontrados, los cuales se mencionarán en las siguientes tablas. Los componentes en un sistema solar fotovoltaicos autónomo comprenden de las celdas fotovoltaicas, las cuales captan la energía térmica del sol y pueden aprovecharse de manera

eléctrica posteriormente; regulador de carga, para controlar la carga que será distribuida a los diferentes productos de la vivienda; batería, la cual almacena la energía no utilizada durante el día; inversor, con el que ayuda a convertir la corriente continua en corriente alterna para dispositivos como los electrodomésticos; y cables, con los cuales se conectarán estos componentes y los productos a abastecer.

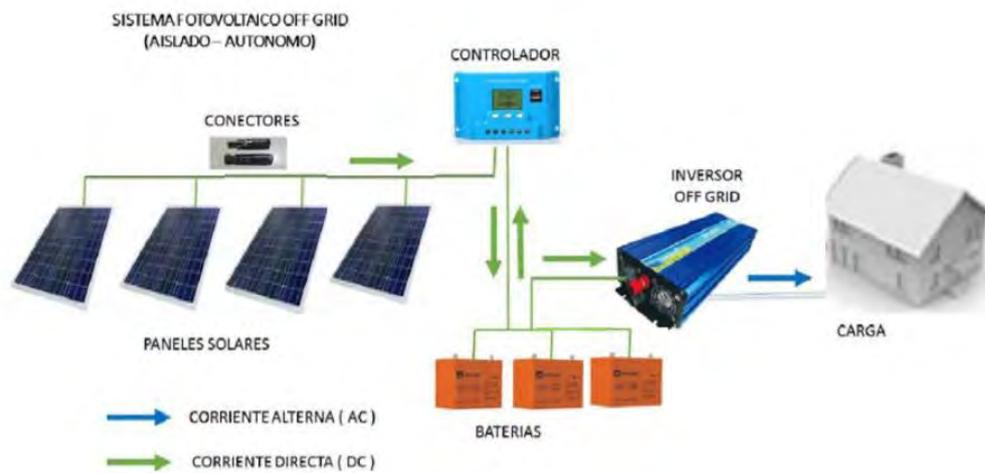


Figura 14: Representación final de sistema fotovoltaico

Nota. Tomado de “Diseño del Sistema Fotovoltaico de 3KW en Zonas Rurales de Socorro, Huarumpa y Yanuna del Distrito de Paucas-Huari-Ancash”, Mori, 2017

Con el cuadro de cargas se determinó el consumo diario, con lo cual se hizo la búsqueda de empresas que vendan el sistema eléctrico solar que pueda proporcionar la cantidad requerida por la familia. Además, se consideró a distribuidores peruanos para una estimación más precisa en relación al costo del producto. En las siguientes tablas elaboradas (Tabla 11 y Tabla 12) se mostrarán los productos que ofrecen las empresas “AutoSolar Perú” y “Panel Solar Perú”, los cuales producen una potencia promedio diaria que satisface al consumo diario calculado en el punto anterior.

Tabla 11: Kit de paneles solares de la empresa AutoSolar Perú.

AutoSolar Perú				
Producto	Potencia promedio diaria (Wh/día)	Voltaje (V)	Precio (S/.)	Componentes
Kit Panel Solar 12V 500 Wh/día	500	12	1289.76	
Kit Panel 300W Solar 12V 500 Wh/día con batería AGM	500	12	1923.80	
Kit Panel 300W Solar 12V 500 Wh/día	500	12	2089.44	
Kit Solar Gel 300W 12V 750Whdía	750	12	2216.08	
Kit Panel Solar 600W 12V 750Whdía	750	12	3065.12	
Kit Panel Solar 12V 750Whdía	750	12	1384.16	

Nota. Adaptado de “Kits solares fotovoltaicos”, AutoSolar Perú, 2020

Tabla 12: Kit de paneles solares de la empresa Panel Solar Perú.

Panel Solar Perú				
Producto	Potencia promedio diaria (Wh/día)	Voltaje (V)	Precio (S/.)	Componentes
Kit solar Perú 500W/día. Onda modificada	500	12	2039.17	
Kit solar Perú 500W/día Premium. Onda pura	500	12	2640.44	
Kit solar Perú 600W/día uso diario. Onda modificada	600	12	2509.74	

Nota. Adaptado de “Kits solares”, Panel Solar Perú, 2020

En este caso el kit escogido es el de “Kit Solar Gel 300W 12V 750Wh/día” de la empresa AutoSolar Perú, el cual en promedio brinda mayor potencia de la requerida calculada y ofrece una potencia mínima que cumple con el consumo diario, porque contiene todos los componentes básicos necesarios y es accesible económicamente, entre las otras opciones.

3.8. Diseño de instalaciones eléctricas

La vivienda contará con dos circuitos: un circuito de alumbrado y otro dedicado a tomacorrientes. En base al cuadro de cargas presentado en la tabla 9 es posible determinar la intensidad de corriente que se requiere en cada circuito. Se utiliza un factor de seguridad de 1.25. La Tabla 13 fue elaborada para presentar la intensidad de corriente que requiere cada circuito.

Tabla 13: Características de circuito de alumbrado y tomacorriente

Tablero General	Potencia (W)	FD	Cos phi	I (A)
C-AG	175	-	0,9	0,51
C-1 Alumbrado	50	1	1	0,23
C-2 Tomacorrientes	125	1	1	0,57

Debido a que la intensidad de corriente es baja (menor a 1) se utiliza la mínima intensidad de corriente recomendada por el código nacional de electricidad y se utiliza 15A para el diseño. Con esta intensidad de corriente es posible determinar los valores nominales que se requieren en los cortacircuitos y diferenciales a utilizar en el tablero general. Se ha desarrollado la Tabla 14 la cual muestra las capacidades nominales de cortacircuitos y diferenciales a utilizar en el tablero general.

Tabla 14: Características de tablero general

Tablero General	Amp	Cortacircuito	Diferencial
C-AG	15	3x16	4x25
Alumbrado	15	2x16	2x25
Tomacorrientes	15	2x16	2x25

Tomando como referencia el *National Electric Code* de Estados Unidos (1953) es posible determinar el diámetro de cables y entubado que se requiere para las instalaciones eléctricas. Se ha elaborado la Tabla 15, la cual presenta el calibre de cables y diámetro de entubado requeridos para la vivienda en estudio.

Tabla 15: Características de cableado

Tablero General	Amp	Cable	Cable	Tierra	Nº de Cables	Entubado
C-AG	15	3-1·#14	3-1 x 2,5	3-1 x 2,5	5	φ 20mm (P)
		AWG THW	mm2 THW	mm2 THW		
Alumbrado	15	2-1·#14	2-1 x 2,5	2-1 x 2,5	5	φ 20mm (L)
		AWG TW	mm2 TW	mm2 TW		
Tomacorrientes	15	2-1·#14	2-1 x 2,5	2-1 x 2,5	5	φ 20mm (L)
		AWG TW	mm2 TW	mm2 TW		

El diseño elaborado se detalla en planos de diagrama unifilar, circuito de iluminación, circuito de tomacorrientes. Los planos resultantes pueden consultarse en la sección de anexos A, B, C y D.

4. Análisis comparativo del sistema fotovoltaico frente al convencional

4.1 Análisis comparativo técnico

En la siguiente tabla elaborada se puede mostrar la potencia instalada promedio, así como también su producción de energía en todo un año de operación tanto para el sistema fotovoltaico como para el hidráulico. Para la determinación de la producción anual de energía, se ha considera una diferencia potencia instalada por día en la estación de invierno como para la de verano; 450 KWh/día y 1050 KWh/día respectivamente para ambas estaciones.

Tabla 16: Potencias Instaladas

Sistema	Potencia Instalada (KWh/día)	Producción Anual (KWh/día)
Fotovoltaico	0.750	270
Hidráulico	1.000	360

Asimismo, es importante complementar la información presentada en la Tabla 16 con el potencial solar que presenta Perú en diversas zonas de las que se tiene información y que se mostrarán en la Tabla 17. Como se puede observar, el potencial energético en el caso de Cusco es de 5.22KWh/m²d, lo cual indica que el panel empleado tendrá un superávit de irradiación al momento de producir energía eléctrica, pues presenta una eficiencia de alrededor del 18% requiriendo para una irradiancia mínima de 2500Wh/m²d.

Tabla 17: Potencial energético de radiación solar en Perú

Zona	Potencial solar (Wh/m².d)
Piura	5129
Lambayeque	5000
Cajamarca	4582
San Martin	4431
Huaraz	5792
Huancayo	6780
Lima	4090
Ayacucho	5592
Cusco	5220
Madre de Dios	--
Puno	6804
Arequipa	7094
Tacna	5430
Moquegua	6141

Nota. Tomado de "Radiación solar en el Cusco", por Zanabria ,2012.

Por otro lado, también se importante analizar la respuesta de los paneles ante el factor suciedad. En este sentido, la tesis desarrollada por Karim Navarrete (2019) muestra la reducción de la eficiencia de los paneles solares según el tipo de material y cantidad de este presente en un metro cuadra de panel. Se adaptarán esos valores a factores de reducción aplicados a la eficiencia que presenta el tipo de panel que se está empleado para así poder analizar este efecto.

Tabla 18: Comparación de eficiencia de un panel limpio y uno sucio con polvo de arcilla

Cantidad de deposición de polvo (g/m²)	Panel limpio (%)	Panel con Polvo de arcilla (%)	Factores de Reducción
5	10.7	9.4	0.88
15	10.4	5.6	0.54
25	10.8	2.5	0.23
35	10.6	0.4	0.04

Nota. Adaptado de “Análisis técnico-económico de un sistema fotovoltaico con influencia de suciedad, viento y lluvia en Arequipa-Perú”, por Navarrete ,2019.

Tabla 19: Comparación de eficiencia para el panel empleado

Cantidad de deposición de polvo (g/m²)	Panel limpio (%)	Panel con Polvo de arcilla (%)	Irradiación Requerida (Wh/m²d)
5	18	15.8	2845
15	18	9.7	4642
25	18	4.2	10800
35	18	0.7	66250

Nota. Adaptado de “Análisis técnico-económico de un sistema fotovoltaico con influencia de suciedad, viento y lluvia en Arequipa-Perú”, por Navarrete ,2019.

Como se puede observar en la Tabla 19, el factor suciedad es muy importante pues al contar con un espesor mayor de 15g/m² ya es posible que el panel presente problema con la producción necesaria para el correcto funcionamiento de los aparatos con los que cuenta la vivienda. En este sentido, se expondrán los potenciales solares de las diversas zonas de Cusco para así analizar si el funcionamiento de los paneles será el correcto para toda la ciudad en cuestión.

Tabla 20: Potencial Solar por zonas en Cusco

Zonas	Provincias	Potencial Solar (KWh/m²d)
Zona 1	Cusco	5.2
	Anta Canchis	
Zona 2	Urubamba	5.3
	Calca	
	Quispicanchis	
Zona 3	Chumbivilcas	6.0
	Canas	
	Espinar	
Zona 4	Quillabamba	4.7
	Calca (Selva)	
	Paucartambo	

Nota. Tomado de “Radiación solar en el Cusco”, por Zanabria, 2012.

En este sentido, tal como se ha expuesto, el potencial solar solo puede satisfacer los requerimientos de la vivienda planteado ante condiciones de un panel en óptimo funcionamiento (limpio) y ante condiciones de suciedad para 15 g/m² de polvo de arcilla como máximo, al sobrepasar los valores de deposición de polvo, no se asegura un óptimo funcionamiento de todos los aparatos eléctricos. Además, la aplicación del sistema fotovoltaico con el kit a utilizar es viable técnicamente para cualquier zona o distrito menciona en la Tabla 20, los valores de potencial solar satisfacen a los que se requieren ante las condiciones de funcionamiento antes mencionadas.

4.2. Análisis comparativo económico

En la Figura 15 da a conocer, según el Instituto Nacional de Estadísticas para el año 2005, el contexto del porcentaje de hogares con acceso a la electricidad de la red por región en el Perú. Entonces, se aprecia que en el país el acceso a la electricidad no llega en su totalidad a todos los hogares; por ejemplo, en la zona de la Amazonía solo poseen acceso el 18% de los hogares, de la misma manera, la región Andina norte también solo posee acceso el 22% de los hogares. Asimismo, se observa que la zona Costera Sur es la región que con más porcentaje de hogares con acceso a la electricidad.

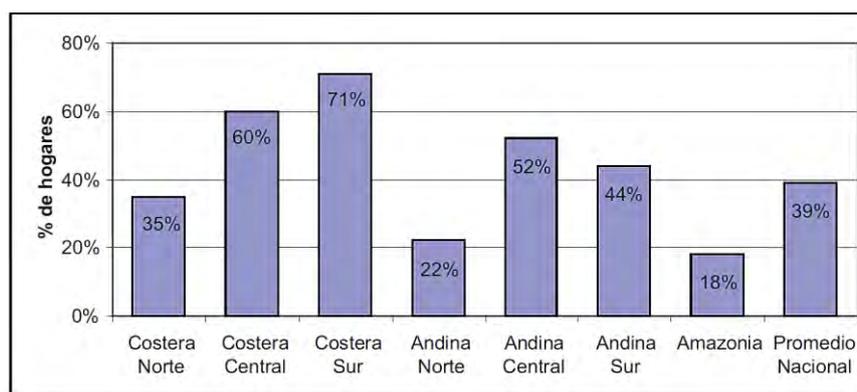


Figura 15: Porcentaje de hogares con acceso a la electricidad de la red por región en el Perú

Nota. Tomado de “Perú encuesta nacional de consumo de energía a hogares en el ámbito rural”, por INEI, 2005

En este ámbito, es preciso realizar una comparación económica de los paneles solares frente al sistema típico de distribución de energía eléctrica. Para ello, en la Resolución N° 339-2008-OS/CD del Consejo Directivo del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinermin, 2008), en el año 2008, se resolvió en el artículo 2° la tarifa eléctrica rural a nivel de cada empresa. Esto a partir de un procedimiento para la fijación de la tarifa, donde las empresas brindaron su información dentro del plazo establecido. En la Tabla 21 se puede observar una tarifa de promedio de S./KW-mes 16.32 en media Tensión y S./KW-mes 38.70 en baja Tensión para 11 empresas que ofrecen servicios en zonas rurales.

Tabla 21: Tarifa eléctrica rural a nivel de cada empresa

Empresa	VAD (S/. kW-mes)	
	Media Tensión (VADMT)	Baja Tensión (VADBT)
Electro Oriente (1)	14.616	35.430
Electro Oriente (2)	13.328	32.152
Electro Puno	14.209	34.277
Electro Sur Este	14.209	34.277
Electro Sur Medio	37.866	94.947
Electro Tocache	14.209	34.277
Electrocentro	14.209	34.277
Electronoroeste	14.209	34.277
Electronorte	14.209	34.277
Hidrandina	14.209	34.277
Seal	14.209	34.277

Nota. Tomado de “Resolución de consejo directivo Organismo supervisor de la inversión en energía y minería Osinermin N° 339-2008-OS/CD”, por Osinermin, 2008

Cabe resaltar que la baja tensión corresponde al rango de 50 voltios a los 1000 voltios; entonces, a este rango corresponde el voltaje necesario para una vivienda común, en este caso

una vivienda rural que es materia de estudio. Ahora bien, el promedio del tarifario en baja tensión es de S/.38.70 y este valor es el Valor Agregado de Distribución (VAD) que corresponde aproximadamente al 41% de la composición de la tarifa final, según el Osinergmin, tal como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22: Composición de la tarifa al cliente final

Remuneración a	Porcentaje
PNG	46%
PEAJE	14%
VAD	41%
Tarifa final	100%

Nota. Tomado de “Fundamentos técnicos y económicos del sector eléctrico peruano”, por Osinergmin, 2011

Así, la tarifa o precio al cliente resultó ser un monto total de S/. 92.20; sin embargo, mediante Ley N°27510, se creó el Fondo de compensación Social Eléctrica (FOSE) que es un sistema de subsidios que su principal objetivo es favorecer a los consumidores eléctricos de bajos ingresos (Osinergmin, 2011). Este fondo establece la siguiente reducción de tarifa según el tipo de usuario y el sector y se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23: Subsidios aplicables por el FOSE

Usuarios	Sector	Reducción Tarifaria para consumos menores o iguales a 30kW.h/mes
Sistema Interconectado	Urbano	25% del cargo de energía
	Urbano-rural y Rural	50% del cargo de energía
Sistema Aislado	Urbano	50% del cargo de energía
	Urbano-rural y Rural	62.5% del cargo de energía

Nota. Tomado de “Fundamentos técnicos y económicos del sector eléctrico peruano”, por Osinergmin, 2011

De esta manera, para el presente caso de estudio, por ser un sistema aislado y de sector rural, le corresponde una reducción tarifaria de 62.5%, considerando también por lo ya obtenido anteriormente que el consumo de la vivienda en materia de estudio es menor a los 30 kW/mes con un valor de 0.43 kW/mes. En ese sentido, se obtuvo un monto de costo mensual ascendiente a S/.14.87.

Por otro lado, previamente se eligió al panel y en conjunto al Kit Solar Gel 3000W 12V 750Wh día donde el costo de este Kit es de 2 mil 216.08 soles a nivel de equipamiento; asimismo, se considera un porcentaje del 50% para cuestiones de instalación y mantenimiento, además una vida útil de 20 años según la fuente proveedora Autosolar. En ese sentido, se tiene

un precio equivalente a 3 mil 324.12 soles, que en términos mensuales asciende a S/.13.85 soles por mes.

Por último, se compara los precios del uso del sistema típico de distribución de energía eléctrica frente a la utilización del panel solar correspondiente y se obtiene una diferencia de S/.1.02.

4.3. Análisis comparativo de operación y mantenimiento

El funcionamiento del sistema fotovoltaico, así como su mantenimiento a lo largo de su vida útil varía respecto a otras fuentes de energía, tal como las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) las cuales se consideraron similares a las centrales hidroeléctricas, por ser una de las principales fuentes de producción en el Perú. En lo referente a la funcionabilidad, los sistemas fotovoltaicos operan sin ninguna intervención humana permanente a menos que no trabaje adecuadamente. Aunque, los usuarios podrían monitorear los componentes con la finalidad de que el suministro energético es lo esperado. En cambio, las PCH se deberá tener en cuenta algunas consideraciones en las diferentes etapas de obras civiles, equipos electromecánicos y redes eléctricas; por ejemplo, un componente de dichas etapas es el desarenador, turbina y, redes de transmisión y distribución respectivamente. La maniobra de los componentes de PCH es recomendado realizar por personal capacitado (Passos et al., 2018; Villanueva, 2014).

Acerca del mantenimiento de los sistemas, existe dos maneras de llevarlo a cabo; el primero es el mantenimiento preventivo que consiste en la revisión frecuente respetando los criterios establecidos con anterioridad por los especialistas para que los usuarios realicen sin ningún inconveniente. En segundo lugar, el mantenimiento correctivo se caracteriza por realizar cambios de algún elemento que no funciona correctamente; por lo tanto, el encargo deberá ser capacitado (Villanueva, 2014)

Algunas consideraciones que se podrían realizar en el sistema fotovoltaico y PCH son la limpieza constante e inspección visual. En los sistemas fotovoltaicos, el panel solar es el elemento primordial que debería estar libre de polvo o algún otro objeto; ya que, impediría la correcta captación de la irradiación solar. En el caso de las PCH, la limpieza se realiza con la finalidad de asegurar que el agua transcurra sin ningún inconveniente; por ello, se eliminaría los objetos que incurran en el camino, así como la limpieza de los diferentes componentes en cada paso que va desde la generación de energía, transmisión hasta su distribución domiciliaria.

La inspección visual consistiría en la verificación de los componentes de cada sistema se encuentren en optimo estado y funcionamiento. Por ejemplo, en los sistemas fotovoltaicos se

examinaría que los convertidores no aparezcan los mensajes de error, los cables estén correctamente ajustados o que las baterías no presenten alguna alteración. En el caso de las PCH, dependerá de cada etapa; por ende, se requerirá de personal capacitado para que se encuentren en permanente observación (Villanueva, 2014).

Para el sistema fotovoltaico seleccionado el ciclo de vida se proyecta un estimado de 20 años; debido a experiencias previstas en otros proyectos tal como se mencionó en las anteriores secciones. Pese a ello, los componentes se realizarían mantenimientos frecuentes dependiendo del funcionamiento y de los ciclos de vida. Además, se ha considerado que los periodos de vida del controlador de carga y el convertidor sea como mínimo 10 y 5 años respectivamente, para cumplir con los requerimientos establecidos en las “Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus componentes para Electrificación Rural” (MINEM, 2007).

Como se ha descrito, en los sistemas fotovoltaicos solo en caso se requiriera se deberá contar con personal capacitado ante los inconvenientes ya sea para arreglar los elementos o para ser intercambiados por unos nuevos. Por otro lado, en las PCH se necesita personal capacitado tanto para las etapas de operación y mantenimiento en los tres tramos que compone el sistema. Por lo que, el implementar mano de obra se verá afectado en los costos del uso de la electricidad.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

La producción de energía eléctrica estimada para una vivienda empleando un sistema de paneles solares es de 0.75 KWh por día en cualquier zona de Cusco, pues como se ha mostrado en la Table 16, todas las zonas de este departamento mencionado presentan una irradiancia mayor a la mínima requerida para proveer energía a una casa rural con los aparatos básicos; asimismo, como se puede observar en la Tabla 19, la presencia de polvo de arcilla en acumulación media puede afectar significativamente la eficiencia del panel, pues con una máxima concentración de polvo de arcilla de 15gr/m² se puede garantizar un buen desempeño y la dotación mínima de 0.43KWh requeridos para el óptimo funcionamiento del sistema eléctrico del hogar; no obstante, en caso se supere, el sistema no podrá ser capaz de proveer lo solicitado. Por tal motivo, se concluye que el empleo de estos paneles es factible en toda la zona de Cusco con una constante limpieza de las celdas para un idóneo funcionamiento en caso se requiera aproximadamente 0.45KWh por día, pues es lo mínimo que se puede brindar en épocas de invierno u otoño debido a la poca irradiancia que se genera.

Si bien es cierto, la comparación económica nos brindó un coste relativamente menor de S/.1.02 del uso de un panel solar en específico (Kit Solar Gel 3000W 12V 750Wh/día) respecto del sistema típico de distribución de energía eléctrica, ambos resultan tener un costo, en términos generales, cómodos para la implementación de acuerdo con las posibilidades de pobladores en zonas rurales; sin embargo, según la tienda fotovoltaica Autosolar, los paneles solares normalmente pueden resistir hasta unos 40 años de vida útil (Autosolar,2020), y esto es preciso mencionar debido a que para el coste por mes solo se consideró 20 años de vida útil; asimismo, se adicionó un costo del 50% por razones de instalación y mantenimiento. Entonces, el único detalle a tomar en cuenta se halla en que el costo de adquisición del panel solar es el monto totalizado en un solo pago, mas no en pagos mensuales como se realizaría con una adquisición de energía eléctrica por el sistema de distribución típica. Por otra parte, resulta importante mencionar que no todas las zonas rurales cuentan con el acceso a la distribución típica de energía eléctrica; de manera que, la implementación y el uso de paneles solares resulta ser una excelente vitrina.

El funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos es automática una vez instalada, lo que le hace ser un sistema autónomo; debido a que, no es necesario la intervención de personal con conocimientos técnicos a diferencia de los sistemas convencionales. Además, la operación de

los sistemas fotovoltaicos es directa en lugar de las tres fases de producción, transmisión y distribución del sistema común. Por otra parte, los elementos que conforman el sistema fotovoltaico tienen diferente tiempo de vida; por ende, se realizará el mantenimiento correctivo respectivo. El tiempo de operación del sistema fotovoltaico fue proyectado por 20 años, aunque con un mantenimiento preventivo se podría prolongar el ciclo de vida de los componentes, beneficiando así a los usuarios por la generación de energía por un periodo de años adicionales. En consecuencia, la operación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos son prácticos para que los usuarios lo utilicen sin la necesidad de contratar mano de obra calificada, sobre todo cuando la instalación es en zonas rurales de difícil acceso.

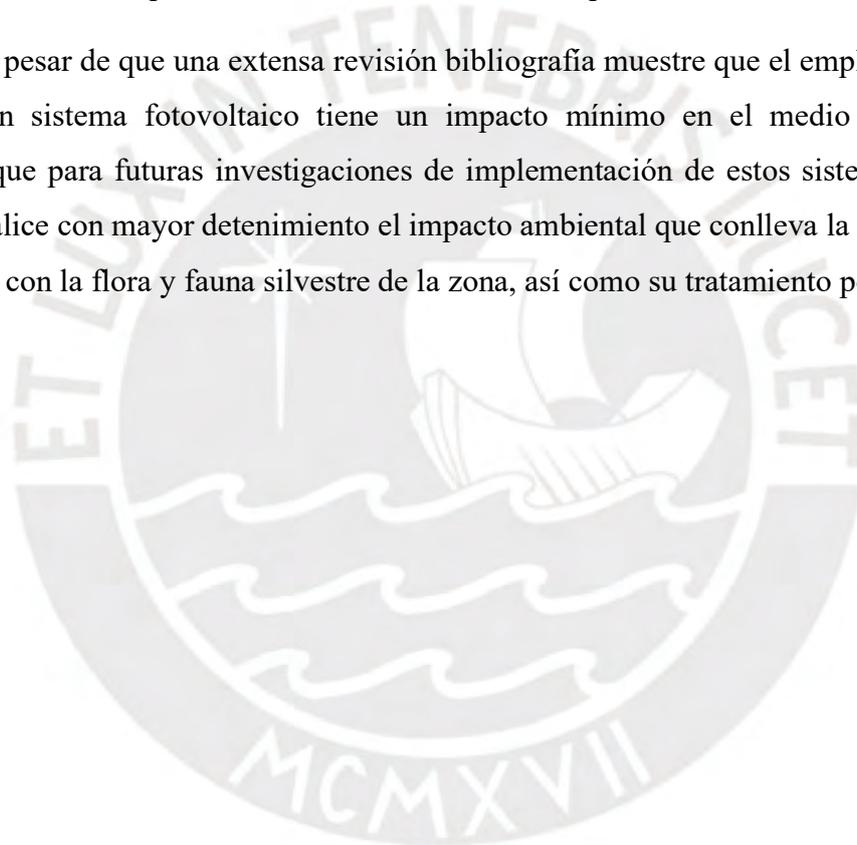
5.2.Recomendación

Según lo expresado en el desarrollo de la investigación, este trabajo se enfoca en el análisis de la viabilidad del empleo de sistema fotovoltaico en el departamento de Cusco y expone su potencial solar por medio de la irradiancia de la zona. No obstante, no se descarta que el empleo de estos sistemas en zonas rurales que gocen de una buena irradiancia como es el caso de Arequipa, Moquegua, Huancayo, etc., y en general en las provincias costeras, ya que poseen un potencial solar mayor al necesario para el buen desempeño de los aparatos eléctricos de una casa con las proporciones propuestas. Por esta razón, se recomienda el empleo de los sistemas fotovoltaicos, pero con una previa evaluación de diversos factores como la irradiancia de la zona en invierno, presencia de lluvias, polvo o vientos.

En este sentido, para la selección del sistema fotovoltaico es necesario tomar en cuenta las potencias máximas y mínimas porque las empresas ofrecen sus productos con el promedio de potencia que el sistema puede generar. Es importante resaltar esta recomendación ya que la radiación solar varía según la zona y la temporada del año, mientras más baja sea la radiación menor será la carga que pueda generar el panel con lo que puede no ser capaz de abastecer el consumo diario necesario. De la misma manera, es importante darle un mantenimiento constante de limpieza, revisión de piezas entre otros aspectos con mayor atención en las temporadas de baja exposición solar; debido a que, el polvo o el efecto de alguna pieza puede disminuir la potencia producida por el panel. Por tanto, sería recomendable que al momento de adquirir el panel la potencia mínima que produce deberá ser mayor que el consumo diario necesario. Con ello se aseguraría una generación de energía eléctrica constante durante el tiempo de vida del sistema solar.

La comparación económica de dos fuentes de energía diferentes, como el realizado en este trabajo de investigación, requiere de la consideración de ciertos adicionales al costo de adquisición, por ejemplo, para el panel solar se agregó los costos de mantenimiento y operación. Esto porque la suma de los costos adicionales contribuye a obtener resultados comparativos más específicos, eficientes y cercanos a la realidad, donde se puede apreciar una comparación más exhaustiva. Por otro lado, también es necesario, en el caso de la tarifa de la energía eléctrica del sistema típico, considerar que la tarifa que se utiliza para la comparación debe ser acorde al contexto donde se esté realizando la investigación. Por ese motivo, en el presente escrito, se adoptó por una tarifa correspondiente a zonas rurales del Perú ya que la zona de estudio es correspondiente a un ambiente rural del país.

Por último, a pesar de que una extensa revisión bibliografía muestre que el empleo de paneles solares en un sistema fotovoltaico tiene un impacto mínimo en el medio ambiente, se recomienda que para futuras investigaciones de implementación de estos sistemas en zonas rurales se analice con mayor detenimiento el impacto ambiental que conlleva la interacción de estos paneles con la flora y fauna silvestre de la zona, así como su tratamiento post vida útil.



6. Bibliografía

- ANDINA (06 de junio de 2019). Perú contará con electricidad en todo su territorio al 2030. Recuperado de <https://andina.pe/agencia/noticia-peru-contara-electricidad-todo-su-territorio-al-2030-754652.aspx> [Consulta 02 de noviembre de 2020]
- Arancibia, C. (2010). Energía del sol. Ciencia-Academia Mexicana de Ciencias.
- Arancibia, G. (2016). La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica. Revista electrónica de veterinaria.
- Barbosa, J. (2013). *Estudio comparativo entre variables fotovoltaicas de dos sistemas de paneles solares (monocristalino y policristalino) en Bogotá*. (Tesis de maestría, Universidad Sergio Arboleda, Escuela de Postgrado. Bogotá, Colombia)
- Bojorquez, M. A. (2018). *Planteamiento de un parque eólico marino en la costa peruana: regiones de Ica, Piura y La Libertad*. (Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima, Perú)
- Clemente, W. (2014). *Optimización del sistema solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en viviendas aisladas altoandinas*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Dammert, A. (2010). Regulación y supervisión del sector eléctrico. Fondo Editorial PUCP
- Dammert, A., Molinelli, F., & Carbajal, M. (2011). Fundamentos técnicos y económicos del sector eléctrico peruano. In Osinergmin.
- Gamio, P. (2010). Energía en el Perú: ¿Hacia dónde vamos? *Matriz Energética en el Perú y energías renovables*. Lima, Perú.
- Gamio, P. (2017). Energía: un cambio necesario en el Perú. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, 1, 93–135. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.201701.004>
- Horn, M. (2006) El estado actual del uso de la energía solar en el Perú. *Los retos energéticos del Perú*, 29(11), 10-11.
- IPCC (2011). Fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático. Grupo intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

- Kaushika, N. (2016). *Sustainable energy and the environment: A clean technology approach*. Indian Institute of Technology Madras. Chennai, India
- Larico, V. B. (2019). *Propuesta de módulo de vivienda rural para la población que habita en el área rural del distrito de Azángaro*. (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura. Puno, Perú)
- MINAGRI. (s.f.). *Energía renovable*.
- Merino, L. (2003). *Las energías renovables*. España: fundación de la energía de la comunidad de Madrid. Consulta: 10 de octubre de 2020.
- MINEM. (2007). *Especificaciones técnicas y procedimientos de evaluación del sistema fotovoltaico y sus componentes para electrificación rural*.
- MINEM (2013). *Electrificación Rural Masiva Con Sistemas Fotovoltaicos Autónomos En Áreas No Conectadas A Red*
- MINEM (2014). *Plan energético nacional 2014-2025*
- MINEM (2016). *Plan nacional de electrificación rural (PNER) periodo 2016 - 2025*.
- MINEM (2020). *Anuario Ejecutivo de Electricidad 2019*
- Mohanty, P. (2016). *Solar photovoltaic system applications*. Nueva Delhi: The Energy and Resources Institute.
- Mori, D. (2017). *Proyecto de viabilidad de climatización y electrificación en viviendas de comunidades rurales en Zonas Alto Andinas (Puno-Perú)*. Universidad de Barcelona.
- Navarrete, K. P. (2019). *Análisis técnico-económico de un sistema fotovoltaico con influencia de suciedad, viento y lluvia en Arequipa-Perú*. (Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica del Perú, Facultad de Ingeniería. Lima, Perú)
- Núñez, T y Cruz, V. (2013). *Diseño de sistemas de energía solar fotovoltaica-aplicación en el Perú*. PAIDEIA XXI. Lima, 3, 4, pp. 160-170.
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (2015). *Determinación de la tarifa y mecanismos de remuneración para suministros en áreas no conectadas a red*.
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (2019). *Supervisión de contratos de proyectos de generación y transmisión de energía eléctrica en operación*.

ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSIÓN EN ENERGÍA Y MINERÍA (OSINERGMIN). (11 de abril de 2008). Fijan la tarifa eléctrica rural a nivel de cada empresa. [Resolución de Consejo Directivo N° 339-2008-OS/CD-OSINERGMIN]. [Consulta: 20 de noviembre de 2020].

Oyernanmi, S. (2020). Electricity energy transmission. Salem Press Encyclopedia.

Passos, M., Alarcon, A., y Dalaison, W. (2018). + *Sol + Luz: Guía práctica para la implementación de sistemas fotovoltaicos en proyectos de infraestructura social*. Banco Interamericano de Desarrollo.

Revistel. (s.f.). Energía solar fotovoltaica llega a la Isla de los Uros en el lado peruano del Lago Titicaca. Recuperado de <http://revistel.pe/energia-solar-fotovoltaica-llega-a-la-isla-de-los-uros-en-el-lado-peruano-del-lagotiticaca/#:~:text=Inicio%2FPortada,Energ%C3%ADa%20solar%20fotovoltaica%20llega%20a%20la%20Isla%20de%20los%20Uros,lado%20peruano%20del%20Lago%20Titicaca&text=Hacia%20julio%20del%202019%20se,mantenimiento%20asegurados%20por%2015%20a%C3%BIos>[Consulta: 4 de octubre de 2020]

Reyes, J. (2018). Las Siete Plantas Solares Fovoltaicas en el Perú. *Voltaika Perú S.A.*

Schmerler, D.; Velarde, J. C.; Rodríguez, A. y Solís, B. (2019). *Energías renovables: experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética*. Osinergmin. Lima-Perú.

SENCICO (2013). Manual de instalación de sistema fotovoltaico domiciliario.

Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía. (2014). *Fuentes de energía eléctrica*.

Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía. (2016). *La generación eléctrica*.

Tamayo, J.; Salvador, J.; Vásquez, A. y Vilches C. (2016). *La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país*. Osinergmin. Lima, Perú.

Yornaldo, A. (2019). *Diseño del Sistema Fovoltaico de 3KW en Zonas Rurales de Socorro, Huarumpa y Yanuna del Distrito de Paucas-Huari-Ancash*. Universidad Tecnológica del Perú.

Valdiviezo, P. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la Pucp*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

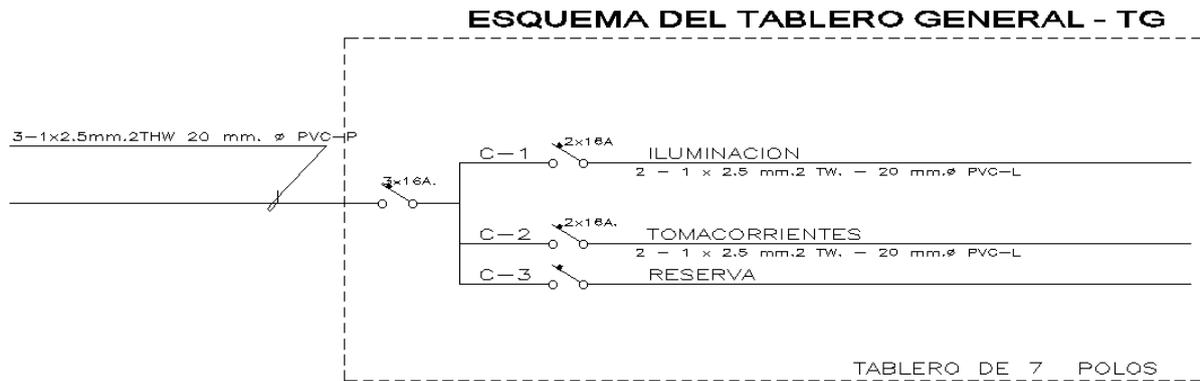
Villanueva, G. (2014). Operación y mantenimiento de pico centrales hidráulicas: cartilla informativa para la generación de energía eléctrica. En *Soluciones Prácticas*.

Zanabria, P. (2012). *Radiación Solar en Cusco*. Cusco: Guzlop Editoras.

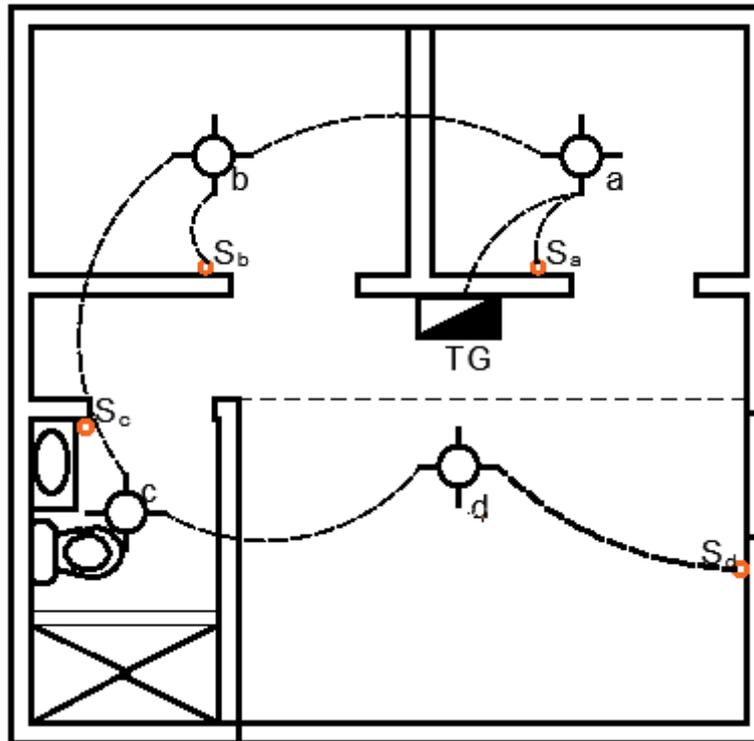


ANEXOS

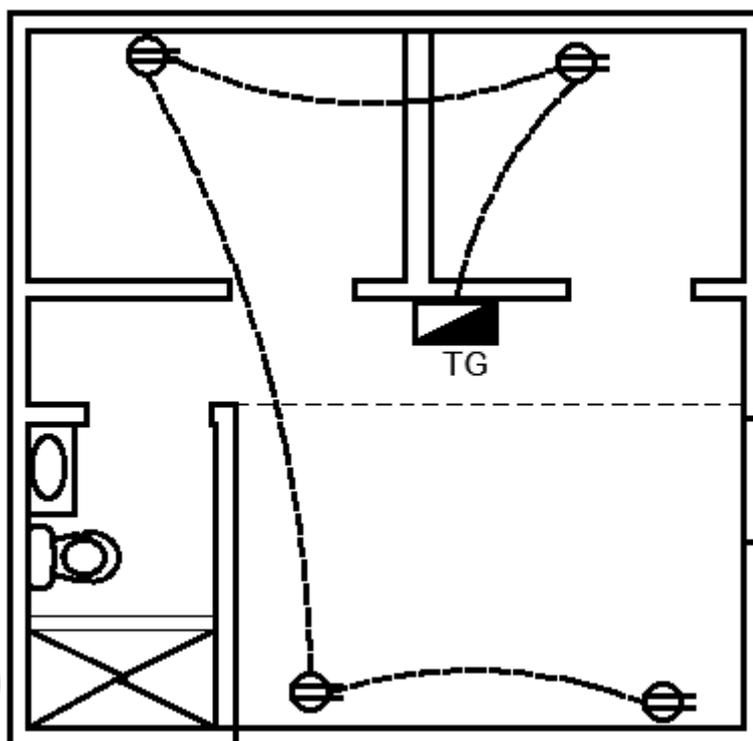
Anexo A: Diagrama unifilar de tablero general



Anexo B: Plano de circuito de iluminación (sin escala)



Anexo C: Plano de circuito de tomacorrientes (sin escala)



Anexo D: Leyenda de planos

LEYENDA		
ALTURA SOBRE EL N.P.T	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
1.80		TABLERO
1.10		CENTRO DE LUZ
0.40		TOMACORRIENTE BIPOLAR
0.40		CIRCUITO EN CONDUCTO EMPOTRADO EN TEGHO O PARED
2.00		CIRCUITO EN CONDUCTO EMPOTRADO PISO