

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**Estudio para la estabilización de un sistema eléctrico domiciliario
rural conectado a la red con recursos energéticos renovables**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA LA OBTENCIÓN
DEL GRADO DE BACHILLER EN CIENCIAS CON
MENCIÓN EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

AUTOR:

Rodrigo Javier Aguilar Iza

ASESOR:

M.Sc Juan Antonio Jave Sagástegui

Lima, noviembre de 2020

Resumen

En el mundo, la necesidad de implementar recursos energéticos renovables (RERs) es cada vez mayor, sea por la disminución del uso de combustibles fósiles o la expansión de una matriz energética dependiente de una fuente única. Es primordial en las nuevas propuestas de electrificación la incidencia de fuentes renovables.

Al año 2017, el 20% de las comunidades rurales del país no poseían energía eléctrica [7] y, la disponibilidad de tal recurso no asegura que sea de calidad pues, el común denominador en implementaciones rurales es la extensión de las redes del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), la solución se vuelve un problema al afectar negativamente la transmisión de energía eléctrica a las comunidades rurales, sea por las grandes distancias entre la red primaria y la comunidad como por el estado del tendido eléctrico y la falta de medidas de seguridad [8].

La utilización de energías renovables en el mundo permite a los usuarios de locaciones alejadas poseer energía eléctrica estable y de mínima incidencia en el medio ambiente, sostenible en el tiempo. Para una locación rural cuyo servicio eléctrico es inestable o insuficiente, la inclusión de fuentes renovables para su estabilización provee una respuesta inteligente frente a ello.

El presente trabajo de investigación desarrolla el marco teórico del dimensionamiento y diseño de un sistema eléctrico basado en recursos energéticos renovables conectado a la red, utilizando un software especializado (HOMER) que permitirá evaluar múltiples resultados factibles a nivel técnico y económico para la locación rural de Rumisapa, distrito de Lamas.

*A mi madre,
Por su apoyo y enseñanzas que me
hicieron llegar tan lejos en mi vida y mi
carrera profesional.*



Índice

Resumen.....	ii
Índice de figuras.....	vi
Índice de tablas.....	vii
Índice de anexos.....	viii

Introducción1

Capítulo 1: Problemática de electrificación rural en el Perú

1.1 Identificación de la problemática.....	2
1.1.1 Demanda energética y contaminación global.....	2
1.1.2 Deficiencias del sistema eléctrico peruano.....	2
1.1.3 Zonas rurales del país: problemas y locación de implementación.....	3
1.1.3.1. Domicilio en Rumisapa, distrito de Lamas.....	3
1.2. Estado del arte.....	4
1.2.1 Incidencia de energías renovables en el mundo.....	4
1.2.2. Matriz energética del país.....	6
1.2.3. Marco legal de la Política Energética Nacional del Perú.....	6
1.2.4. Dimensionamiento y evaluación técnico-económica por simulaciones.....	7
1.2.4.1. Comunidad rural de Satna, India.....	8
1.2.4.2. Edificio urbano en Medellín, Colombia.....	8
1.3. Justificaciones.....	8
1.3.1. Compromiso del estado en contra de la contaminación ambiental.....	8
1.3.2. Calidad de producto: confiabilidad y estabilidad.....	9
1.3.3. Energía como herramienta de desarrollo.....	9
1.3.4. Potencial del país para la implementación de RERs.....	10

Capítulo 2: Características de la zona de implementación, software de simulación y partes de un sistema de generación on grid

2.1. Introducción.....	11
2.2 Parámetros de calidad técnica de electricidad en el Perú.....	11
2.3. Software de simulación.....	13
2.4. Patrones eólicos y solares de Quilmaná.....	14
2.4.1. Patrones eólicos.....	14
2.4.2. Patrones solares.....	15

2.5. Estructura del sistema eléctrico on grid	16
2.5.1. Paneles fotovoltaicos	16
2.5.2. Reguladores de carga	17
2.5.3. Baterías.....	18
2.5.4. Inversor AC/DC	19
2.5.5. Inversor híbrido	19
2.6. Lógica actual del sistema eléctrico.....	20
Conclusiones	21
Recomendaciones	22
Referencias.....	23
Anexos	26



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación geográfica de la estancia a implementar el sistema en Google Earth

Figura 1.2. Incidencia global de fuentes renovables 2008 al 2018 [2]

Figura 1.3. Porcentajes de participación en matriz energética del país durante el año 2018 [5]

Figura 2.1. GHI promedio del Perú [31] y de Rumisapa [32]

Figura 2.2. Diagrama de bloques de un sistema fotovoltaico on grid

Figura 2.3. Gráficas características de un regulador MPPT [36]

Figura 2.4. Diagrama de lógica de control del sistema



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Potencial de potencia instalada para recursos renovables en Perú, evaluados al 2014 [25]



INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Recibo de consumo eléctrico del medidor compartido en Rumisapa

Anexo 2: Promedios mensuales de velocidad del viento a 50 m. de altura en Rumisapa [30]

Anexo 3: Promedios mensuales de irradiancia global horizontal en Rumisapa [30]

Anexo 4: Promedios mensuales del índice de claridad en Rumisapa [30]



Introducción

La energía es un foco de desarrollo que mejora las condiciones de vida promedio de las personas y genera oportunidades de crecimiento dentro de la sociedad. Al 2017, el 89% de la población mundial tenía acceso al uso de electricidad y el 87% que no poseen dicho recurso vivían en zonas rurales. Ese mismo año, un censo a cargo del INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) reveló que el 20% de las comunidades rurales del país aún no poseen energía eléctrica y, las comunidades que ya poseen una conexión al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), sufren de deficiencias del producto eléctrico, consecuencia directa de la misma inclusión a la red que no contempla otorgar un producto eléctrico con altos estándares de calidad. Por tales motivos, el presente trabajo de investigación propone la evaluación económica y técnica de un sistema eléctrico basado en recursos energéticos renovables (RER) conectado a la red para una locación rural que permita disminuir la incidencia del suministro eléctrico para la respuesta a la demanda.

El presente documento se compone de 2 capítulos: el primer capítulo expone la problemática global de la producción de energía, la necesidad de diversificación de la matriz eléctrica del país y la situación actual de la electrificación rural. Se explica el estado de la producción por fuentes renovables en el Perú, el marco legal que ampara tales implementaciones y casos reales en los cuales se ha utilizado softwares de simulación y dimensionamiento, las justificaciones pertinentes y los objetivos a lograr. El segundo capítulo explica las características de calidad de producto eléctrico del país y el marco teórico de los componentes de un sistema eléctrico basado en RER conectado a la red, además de la lógica de control actual en el sistema implementado. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio.

CAPÍTULO 1

Energías renovables en el Perú y el mundo: Problemática del suministro eléctrico en zonas rurales

1.1. Identificación de la problemática

1.1.1. Demanda energética y contaminación global

La tasa de crecimiento de capital humano de una sociedad y su desarrollo está vinculada a su consumo energético y este, a su vez, a la producción de gases contaminantes [1]. Por ejemplo, el consumo eléctrico doméstico en el año 2018 fue de 22 964 TWh, un 3.5% mayor al del 2017 que sigue una tendencia de aumento promedio de 3.1% desde el año 2008. Por otro lado, durante el 2018 se produjeron aproximadamente 32 915 $MtCO_2$ (millones de toneladas de CO_2) a nivel global, un crecimiento de 1.9% respecto al 2017[2]. Las consecuencias del estilo tradicional de generación y distribución de energía son plausibles, el aumento de temperatura gradual lleva a modificaciones en los ciclos vitales, la agricultura, los paisajes y la conducta de la naturaleza como tal [3]. La crisis energética impacta de manera inmediata la vida de las personas porque la limitación del crecimiento energético es el tope de generación por parte de los combustibles fósiles [4].

Al 2017, el 89% de la población mundial tenía acceso al uso de electricidad y el 87% de las personas que no poseen dicho recurso vivían en zonas rurales. El crecimiento de demanda no necesariamente se relaciona con la habilitación de energía eléctrica a la población total [5].

1.1.2. Deficiencias del sistema eléctrico peruano

La producción del país al 2018 creció un 4.2% respecto al año anterior y la demanda, un 3.7%. Si se considera la pérdida de distribución y el consumo propio de las generadoras de energía,

la eficiencia de distribución fue del 87.89% [6]. Ello significa que se posee un superávit en capacidad de producción de energía y, sin embargo, siguen existiendo zonas del país que no poseen acceso a la red eléctrica. Además, la generación de energía en el Perú depende, en gran parte, de la producción hidráulica y térmica [6], lo que lleva a la necesidad inmediata de diversificar la matriz energética debido a: problemas por dependencia de una sola fuente renovable (intermitencia e impredecibilidad) y las consecuencias inherentes de fuentes combustibles.

1.1.3. Zonas rurales del país: problemas y locación de implementación

El 2017, un censo a cargo del INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) reveló que el 20% de las comunidades rurales del país aún no poseen acceso a energía eléctrica [7]. Sumado a ello, la característica en común de los proyectos de electrificación rural en el país es la inclusión de la locación en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), esto se lleva a cabo mediante extensiones de las redes primarias a grandes distancias de su ubicación lo que ocasiona caídas de tensión y sobretensiones afectando la estabilidad de la señal, así como interrupciones causadas por fallas de las instalaciones de tendido aéreo que comúnmente poseen deficiencias de protección [8]. Las fluctuaciones de la red inciden directamente en la confiabilidad del sistema eléctrico, las variaciones e intermitencias alteran las cargas dependientes de ella y, a su vez, generan gastos de mantenimiento de las mismas, en síntesis, las deficiencias del sistema eléctrico son atribuibles a su estado en las zonas rurales.

1.1.4. Domicilio rural en Rumisapa, distrito de Lamas

Rumisapa es uno de los 10 distritos de la provincia de Lamas, perteneciente al departamento de San Martín. Se ubica a 15 Km de la ciudad de Tarapoto y se caracteriza por un clima ligeramente húmedo y cálido durante todo el año, con temperaturas que varían entre los 19 y 31 °C [9].

Actualmente, el distrito se ubica en la zona de concesión de distribución eléctrica de la empresa Electro Oriente S. A. y comparte, junto con otros 7 domicilios de la zona, un solo medidor en tarifa BT5B cuyas mediciones de consumo superan los 360 KWh mensuales (anexo 1). Además, pertenece al área de facturación por zona rural por lo que se rige bajo la regulación de la Ley General de Electrificación Rural (Ley N° 28749) y sus normativas de calidad [10]. Por último, la zona cuenta con descuentos por vales del estado FOSE (Fondo de Compensación Social Eléctrica) que dependen del consumo promedio medido [11].



Figura 1.1. Ubicación geográfica de la estancia a implementar el sistema desde Google Earth

1.2. Estado del arte

1.2.1. Incidencia de energías renovables en el mundo

La crisis energética puede abordarse desde el aumento de producción y la búsqueda de eficiencia en su uso y gestión. En pro de un desarrollo sostenible, los países del globo buscan ampliar y diversificar su matriz energética al incluir fuentes de energía renovable, la meta en cuestión ya es parte de los objetivos de la ONU para el desarrollo sostenible de la humanidad y busca: acceso universal a energía segura, grandes porcentajes de incidencia de energía renovables e inversión en una implementación moderna, todo proyectado al 2030 [5]. Ya en el

año 2018, la generación a base de RERs alcanzó los 6808.15 TWh, representó el 25.6% de la producción global (Figura 1.2).

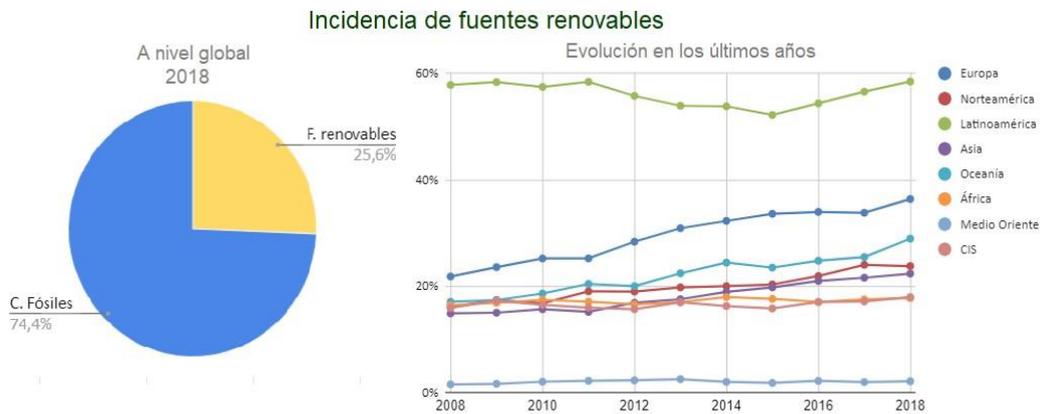


Figura 1.2. Incidencia global de fuentes renovables 2008 al 2018 [2].

América Latina lidera la generación por fuentes renovables, desde el 2008 ha representado más del 50% (Figura 2) de su producción energética total, ello se debe a la gran incidencia de fuentes hidroeléctricas en sus matrices energéticas; sin embargo, el sistema eléctrico se vuelve dependiente del comportamiento cíclico hidrológico de la zona, lo que obliga a cubrir la demanda energética por otras fuentes no renovables [12], no solo las fuentes hidroeléctricas sufren de intermitencia por estaciones, las solares y eólicas también varían su producción por estación y por ubicación.

Las soluciones a la variabilidad e impredecibilidad de generación por fuentes renovables son ampliamente estudiadas en el mundo, las matrices energéticas con altos porcentajes de RERs deben de asegurar la respuesta a la demanda energética de los usuarios en tiempo real y cumplir con parámetros de calidad. Entre los métodos de evaluación más utilizados están: coeficiente de correlación entre múltiples fuentes y la demanda de la red, desviación estándar de salida de generadores y aplicación de softwares de simulación y evaluación [13].

1.2.2. Matriz energética del país

El Perú se caracteriza por la gran incidencia de energía hidroeléctrica en su matriz energética, representó el 56% al año 2018 (Figura 1.3) con un aumento del 1% respecto al 2017, ampliamente mayor a las producciones por fuentes eólicas (1%) y solares (3%) [6]. Además, desde su descubrimiento en Cuzco, la producción térmica ha migrado al uso de gas natural a partir del 2004, la cual produce menores cantidades de gases contaminantes respecto a las fuentes de combustible clásicas y constituye una opción económicamente viable.

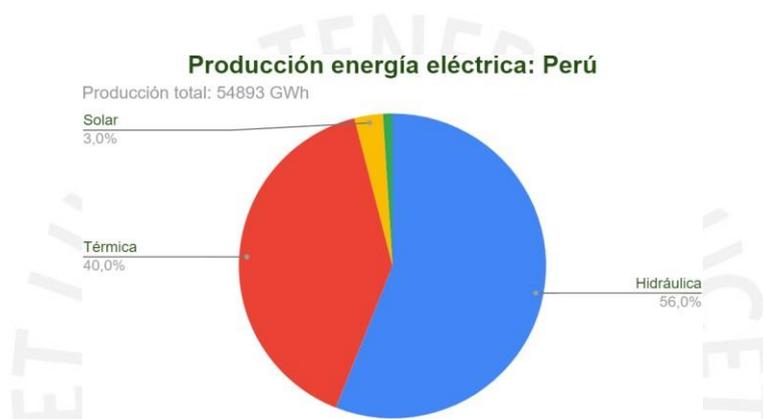


Figura 1.3. Porcentajes de participación en matriz energética del país durante el año 2018 [6]

1.2.3. Marco legal de la Política Energética Nacional del Perú

La Política Energética Nacional del Perú, aprobada el 2010 en el DS N° 064-2010-EM, plantea una visión del sistema energético peruano al 2040 que cubra con las demandas del país [14]. Propone objetivos como: Diversificar la matriz del país, proveer un acceso universal al suministro, disminuir al mínimo el impacto ambiental del sector energía, entre otros. Bajo el marco propuesto, el estado peruano ha impulsado y aprobado múltiples decretos en pro del uso e integración de las RERs [15]:

DL 1002:

- Se declara de interés nacional y necesidad pública el desarrollo de energía eléctrica a base de RERs.

- El Ministro de energía y minas debe proyectar un porcentaje objetivo a 5 años de incidencia de RERs en la matriz del país, sin considerar fuentes hidroeléctricas.
- En los sistemas de producción y distribución del SEIN, los RERs tienen prioridad de conexión.

DL 1058:

- Se fija una depreciación acelerada para el impuesto a la renta a maquinaria, equipos y obras de centrales de producción basadas en RERs no mayor al 20% anual.

DS-012-2011-EM:

- Se prioriza el uso de fondos financieros designados a proyectos e inversiones a fuentes renovables, propuestas que posean una importante seguridad de suministro, un financiamiento de otras fuentes (gobiernos. regionales) y sea pionero de desarrollo en el país.

DS 020-2013-EM:

- Se ratifica el reglamento para la “Promoción de la Inversión Eléctrica en Áreas No Conectadas a Red”.

1.2.4. Dimensionamiento y evaluación técnico-económica por simulaciones

El software HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) fue creado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable de Estados Unidos (NREL) con el fin de modelar la respuesta a la demanda de sistemas aislados (off grid) o conectados a la red (on grid) con múltiples fuentes de generación, además, considera la factibilidad técnica y económica de la implementación de cada configuración [16]. En el globo, HOMER se ha utilizado en múltiples dimensionamientos:

1.2.4.1. Comunidad rural de Satna, India

Se simularon 2 modelos en HOMER utilizando la ubicación del área para estimar los patrones eólicos y solares. El software comparó un sistema aislado a la red basado en producción por energía solar, eólica y un generador con almacenamiento por baterías y un sistema conectado a la red con producción eólica y solar. Considerando los costos estimados (transporte de combustible, implementación, mantenimiento, etc.) y retornos totales de implementación durante el tiempo de vida del proyecto, se determinó la segunda opción como la más factible, pues el costo inicial sería menor y los excesos de producción de energía son vendidos a la red, logrando un mayor retorno de inversión a largo plazo [17].

1.2.4.2. Edificio urbano en Medellín, Colombia

Similar al caso anterior, se utilizó la ubicación geográfica para la estimación de producción de energía por RER y se comparó un sistema aislado y otro conectado a la red. La relevancia de la producción solar destacó en ambas simulaciones a diferencia de la eólica, sin embargo, concluyó que, aunque ambos sistemas fuesen viables a nivel técnico, no hubo una opción económicamente factible, pues los costos de inversión inicial hacían de ambas opciones insostenibles. No consideró una venta de energía a la red pues, durante el estudio, Colombia no poseía un marco reglamentario de ello [18].

1.3 Justificaciones

1.3.1. Compromiso del estado en contra de la contaminación ambiental

El país actúa en pro de la mitigación de contaminación ambiental: comparte los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU, participó y ratificó su compromiso con el Acuerdo de París, propuso una reducción del 30% en emisiones de gases al 2030 y la integración de RERs a largo plazo. Además, consignó un proyecto interministerial llamado PlanCC (Planificación ante el Cambio Climático) el cual se está desarrollando y consta de 3 fases: pre-inversión (evaluación

de opciones de mitigación y sectores a cubrir) entre el 2012 y 2014, Planificación (Planteamiento de políticas públicas) entre el 2015 y 2016 e implementación, etapa iniciada el 2017 la cual culminaría este año [19].

Dentro del catálogo de opciones de mitigación desarrollado en la primera fase, se propone al 2050, una matriz energética para el SEIN compuesta por: recursos hidroeléctricos (59%), RERs (excluyendo hidroeléctrica) (24%) y recursos térmicos (17%) [20].

1.3.2. Calidad de producto: confiabilidad y estabilidad

Un sistema eléctrico se considera estable cuando, al ser sometido a múltiples perturbaciones, los valores característicos durante el funcionamiento permanecen dentro de rangos específicos, conocidos como tolerancias. Por otro lado, un sistema eléctrico confiable puede definirse como aquel que posee un funcionamiento constante en un intervalo de tiempo determinado [21], también puede deducirse como la disponibilidad continua del servicio para cuando el usuario lo requiera [22]. Una propuesta híbrida permite aprovechar la variabilidad de cada fuente para cubrir de manera efectiva la demanda, asegura la confiabilidad del suministro de energía en el tiempo.

1.3.3. Energía como herramienta de desarrollo

La energía es un foco de desarrollo que mejora las condiciones de vida promedio de las personas y genera oportunidades de crecimiento dentro de la sociedad. La capacidad de las personas de apropiarse y utilizar la energía cambia cómo ellas afrontan sus necesidades básicas, sean fisiológicas (almacenamiento y preparación de alimentos, calefacción), de seguridad (alumbrado público) de conocimiento (herramientas de estudio) o de simple comodidad (entretenimiento, ocio) [23-24]. Una comunidad cuyos servicios y necesidades básicas están cubiertas gradualmente adquiere experiencia y conocimiento en el uso de la misma, ello propicia la innovación y la creación de sus propias fuentes de capital [23], genera así su propia

sostenibilidad en el tiempo. La tasa de crecimiento de capital humano de una sociedad y su desarrollo está vinculada a su demanda energética [1].

1.3.4. Potencial del país para la implementación de RERs

El Perú posee grandes potenciales de producción por RERs (tabla 1.1) que ya han sido identificados y aún no son explotados. Un ejemplo de ello es la capacidad eólica del país que asciende a 77 000 MW de los cuales más de 22000 MW son explotables o las fuentes geotérmicas, existen más de 60 posibles yacimientos ubicados en la cadena volcánica del sur que podrían significar una potencia instalada de 3000 MW o la gran radiación media a lo largo de la zona costa del país, rodea los 250W/m² promedio al día [25].

Tabla 1.1

Potencial de potencia instalada para recursos renovables en Perú, evaluados al 2014 [25]

	Potencial	Aplicación
Hidroeléctrica	69445 MW	Electricidad
Solar	Radiación media diaria: 250W/m ²	Electricidad, calor
Eólica	22450 MW	Electricidad
Geotérmica	3000 MW	Electricidad, calor
Bioenergía	177 MW (biomasa) 5151 MW (biogás)	Electricidad

CAPÍTULO 2

Características de la zona de implementación, software de simulación y partes de un sistema de generación on grid

2.1. Introducción

Se plantea implementar un sistema eléctrico conectado a la red eléctrica (on grid) en una locación rural que asegure los márgenes de tolerancia para la calidad técnica de producto y la continuidad de suministro eléctrico en una zona rural, corresponda a la demanda energética y, además, sea factible a nivel técnico y económico. A continuación, se describirán los parámetros de calidad en el país, el funcionamiento del sistema de evaluación económica y dimensionamiento a utilizar (HOMER) juntos con los parámetros meteorológicos necesarios para la simulación, las características de los componentes del modelo de sistema eléctrico on grid a implementar y, finalmente, el sistema de control actual sobre los equipos.

2.2. Parámetros de calidad técnica de electricidad en el Perú

La estabilidad de una red en el país es relacionable a su nivel de calidad. La electricidad, a diferencia de otros productos, es regulada por el estado en materia de costos y calidad ya que no pertenece a un mercado de competencias efectivas [10]. Ello, sumado a la necesidad primaria de suministro de energía a las personas, causa una necesidad constante de supervisión de la misma. La calidad técnica de electricidad en el Perú se subdivide en: calidad de producto y calidad de suministro según el DS N° 020-97-EM [26].

Indicadores de calidad de producto:

- La tensión entregada es evaluada por la diferencia entre el valor efectivo y la tensión nominal, en porcentajes de tensión nominal. La evaluación se realiza en intervalos de

15 minutos y posee una tolerancia sectorial: $\pm 5.0\%$ en todos los niveles de entrega, exceptuando las redes secundarias en servicios rurales y urbano-rurales, donde se acepta un $\pm 7.5\%$ de variación. Se considera de mala calidad si supera los rangos de tolerancia y excede del 5% total del tiempo de medición.

- La frecuencia entregada es medida por variaciones sostenidas de frecuencias, la diferencia entre la frecuencia medida en un punto no aislado del sistema y la frecuencia nominal, en porcentaje de frecuencia nominal. Además, existe la medición de variaciones súbitas de frecuencia (VSF) y la integral de variaciones diarias de frecuencia (IVDF). Los niveles de tolerancia aceptados son: $\pm 0.6\%$ en variaciones sostenidas, ± 1 Hz en variaciones súbitas y ± 600 ciclos en integral de variaciones diarias. Se considera de mala calidad si: las variaciones sostenidas sobrepasan la tolerancia y exceden el 1% de tiempo de prueba normal o si la VSF o IVDF excedan los valores de tolerancia durante la medición.
- Las perturbaciones como las tensiones armónicas o variaciones de luminosidad por distorsión de onda (*flicker*), se miden por el voltaje en su punto de acoplamiento común (PAC). Para las perturbaciones *flicker*, se utiliza un índice de severidad cuyo valor debe ser menor a uno; mientras que, para la medición de armónicos, las tensiones armónicas individuales y el factor de distribución total por armónicos (THD) no deben sobrepasar los valores predeterminados por orden de armónico.

Indicadores de calidad de suministro:

- Para la evaluación del suministro se utilizan 2 indicadores: el número total de interrupciones por cliente (N) y la duración total ponderada de interrupciones por cliente (D). Son medidas de manera semestral y consideran diferencias relevantes en tolerancias con las zonas rurales y urbano-rurales, mientras que N no debe exceder las 6 interrupciones por semestre y D, 10 h. por semestre, en cualquier nivel de entrega, en

las zonas urbano-rurales se puede considerar un incremento en N del 50% y de D en 100% y en las rurales, un aumento de N del 50% y de D en 250%.

Al calificarse un servicio de mala calidad, el estado estima compensaciones económicas a los usuarios, proporcionales a los excedentes de tolerancia de cada parámetro medible. Los parámetros internacionalmente reconocidos para medir la calidad de suministro y, por ende, la confiabilidad, son: el SAIDI (frecuencia media de interrupción por usuario) y el SAIFI (duración media interrupción por usuario). Dichos criterios también son utilizados por el Osinergmin para evaluar la calidad promedio, pero no son un criterio dentro de la norma regulatoria para compensaciones.

En las zonas rurales, las tolerancias en los indicadores son mayores por la inestabilidad de las redes secundarias de las cuales dependen. Se permiten tensiones entre [203.5 - 236.5] V RMS y mayor cantidad de interrupciones y duración de las mismas, un máximo de 9 interrupciones con duraciones acumuladas de hasta 25 h. semestrales. En un año, se contemplan 18 interrupciones de hasta 50 h. acumuladas sin alguna compensación por parte del distribuidor, valores muy altos comparados a la distribución regular en zonas urbanas.

2.3. Software de simulación

HOMER, como software de evaluación, genera simulaciones de múltiples configuraciones y dimensionamientos de sistemas eléctricos para una respuesta óptima a una determinada demanda de consumo de energía. Bajo criterios de respuesta a la demanda, retorno e inversión de capital, discierne entre las configuraciones factibles a nivel técnico y económico, el resultado del procesamiento permite al usuario analizar múltiples sistemas que cumplan con los requisitos de carga ingresados, sean rentables y posean la incidencia de energía renovable solicitada [27]. El algoritmo ordena los resultados implementables por un criterio de costos,

muestra las configuraciones ordenadas por campos de: costo actual neto y costo de energía [27].

Costo actual neto (NPC): indica el costo de instalación y el costo operativo del sistema a lo largo de su vida útil por la relación entre los costos anualizados sumados (TAC) y el factor de recuperación de capital (CRF). Además, el CRF es afectado por la tasa de interés y el tiempo de vida del proyecto (R_{pr}) [28].

$$NPC = \frac{TAC}{R_{pr}(i, CRF)}$$

Costo de energía (COE): es el costo promedio por KWh de energía útil generada. Se calcula a través de la relación entre TAC y las cargas primarias de DC y AC [28].

$$COE = \frac{TAC}{L_{prim,ac} + L_{prim,dc}}$$

2.4. Patrones eólicos y solares de Rumisapa

2.4.1. Patrones eólicos

La energía eólica depende, principalmente, de la intensidad del viento, afectada por factores geográficos. Los patrones diurnos y estacionales inciden de manera independiente cada zona. En general, el país cuenta con potencial eólico concentrado en las zonas costeras, con velocidades de viento promedio de 6 y 12 m/s a 100 m. de altura [29]. Para estimar las velocidades promedio a 50 m. de altura en la zona de Rumisapa, se utilizó la base de datos de la institución NASA Surface Metrology and the National Solar Radiation Database [30] para calcular los últimos 5 años de valores de velocidades del viento. Los resultados de la velocidad promedio a 50 m. de altura no exceden los 2.5 m/s (anexo 2).

2.4.2. Patrones solares

El potencial energético solar depende de la longitud y latitud de la ubicación a evaluar. Para estimar los valores necesarios de radiación en la zona, se utilizó la base de datos de la institución NASA Surface Metrology and the National Solar Radiation Database [30] para hallar una predicción de la irradiancia horizontal global (GHI) y del índice de claridad [31]. En particular, el Perú se ubica cerca de la línea ecuatorial, por lo que posee una mayor cantidad de horas de sol al día y cierta uniformidad de energía solar a lo largo del año (Figura 2.1) [29].

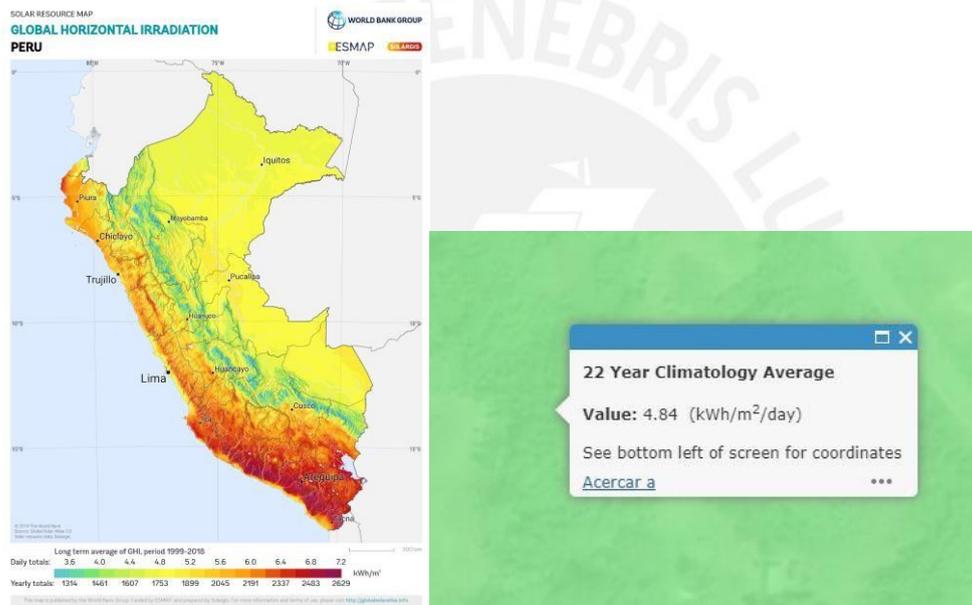


Figura 2.1. GHI promedio del Perú [32] y de Rumisapa [9]

La irradiancia horizontal global o GHI es la radiación total que se recibe en una superficie determinada ($\text{KWh/m}^2/\text{día}$), se halla mediante la suma de la irradiancia normal directa (DNI - radiación que se alcanza directamente desde la superficie terrestre) y la irradiancia difusa horizontal (DHI - radiación indirecta causada por la dispersión atmosférica) [29]. Se debe considerar el índice de claridad, es un factor de calidad de la atmósfera que indica cuánto afecta el estado climático a la transmisión de radiación solar. Los valores estimados de GHI y del

índice de claridad de los últimos 5 años se ubican en los anexos 2 y 3, serán utilizados como parámetros para la simulación.

2.5 Estructura del sistema eléctrico on grid

El diagrama de bloques mostrado (Figura 2.2) describe las partes funcionales que constituyen un sistema fotovoltaico conectado a la red (on grid). Un sistema de tales características provee de electricidad por energía solar y, según la configuración del uso de carga de la batería, conmuta al respaldo por red eléctrica. Actualmente, existen diferentes dispositivos disponibles comercialmente que cumplen una o varias tareas de cada módulo del sistema. Por consiguiente, se explicará el funcionamiento de cada bloque funcional y las tecnologías actuales que se utilizan para cada uno, además de la lógica propuesta de control general para el sistema con el fin de asegurar su confiabilidad. Se presupone un sistema basado únicamente en energía solar, ya que los valores de velocidad del viento no son favorables en la zona, ello aún debe ser simulado y evaluado mediante el software HOMER.

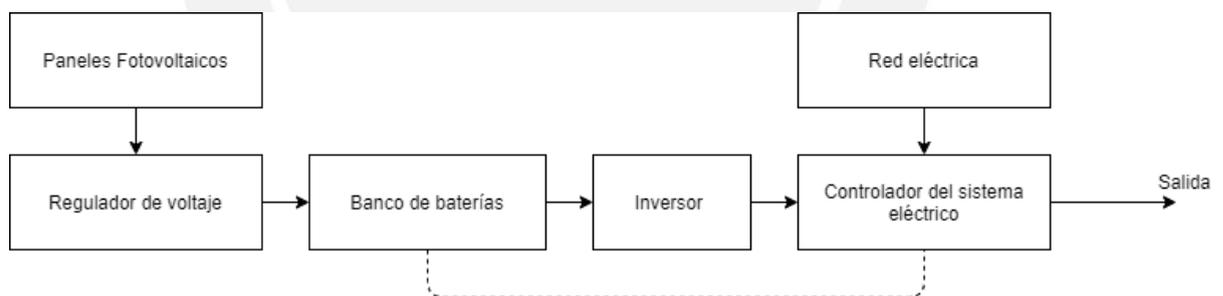


Figura 2.2. Diagrama de bloques de un sistema fotovoltaico on grid

2.5.1. Paneles fotovoltaicos.

Las celdas fotovoltaicas están compuestas por semiconductores (silicio) con características fotoeléctricas que liberan electrones al absorber los fotones generados por la radiación solar y genera una corriente continua explotable al direccionar los electrones libres [33]. La interconexión y arreglo de múltiples celdas es conocido como módulo o panel fotovoltaico el

cual posee un valor nominal de potencia de entrega y un factor de eficiencia que rige su comportamiento, además, al igual que las celdas, los paneles pueden ordenarse en arreglos según se requiera mayor voltaje (serie) o mayor corriente (paralelo) para aumentar la generación de energía [34]. El dimensionamiento de los paneles depende de la potencia que pueda producir en base a la irradiación global horizontal del área a evaluar, el ángulo de posición, el índice de claridad, la temperatura, y la potencia demandada por la carga.

Para la simulación de producción de energía del arreglo de paneles solares, el software considera los datos descriptivos dependientes del tipo y modelo de panel a utilizar. Para considerar la información como válida, los valores deben haber sido hallados en condiciones estándar de simulación: radiación de 1 kW/m², a una temperatura promedio de 25°C y sin influencia del viento.

2.5.2. Reguladores de carga.

El regulador de carga controla los valores de corriente y voltaje entre los paneles solares y el banco de baterías, permite proteger las baterías de cargas de descargas profundas (altas fluctuaciones de corriente) lo que asegura su vida útil en el sistema [35] y también influye en la producción de los paneles solares, ya que el voltaje de operación al cual estará sometido define la potencia máxima. Existen dos tipos de reguladores disponibles: PWM y MPPT.

Un regulador PWM fija los módulos conectados al voltaje de las baterías, por lo que no aprovecha la potencia máxima explotable por un panel solar. Por el contrario, el MPPT (Maximum Power Point Tracking) actúa como un convertidor DC - DC que asigna el voltaje idóneo para aprovechar la cosecha de los paneles al máximo y no permite que la batería se sobrecargue al fijar valores nominales [36].

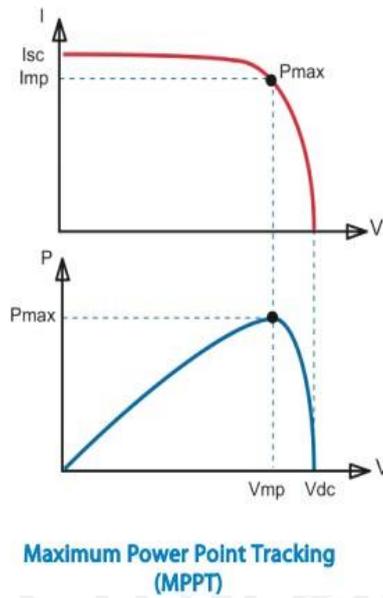


Figura 2.3. Gráficas características de un regulador MPPT [37]

El MPPT establece un voltaje V_{mp} que asegura el pico de explotación de potencia del panel fotovoltaico con una corriente I_{mp} (Figura 2.3), si se implementara un PWM, el V_{mp} sería igual al voltaje de las baterías, inferior a V_{mp} . Por ofrecer una mayor eficiencia de explotación, el regulador MPPT es idóneo para la implementación de cualquier sistema fotovoltaico. El software permite integrar a la simulación los datos técnicos del modelo a utilizar, tales como: eficiencia máxima, costos y tiempo estimado de vida útil [38].

2.5.3. Baterías.

Las baterías son el medio de almacenamiento de la energía producida por los paneles solares, permiten el flujo constante de la energía al evitar las caídas y sobrepicos de tensión por la variabilidad de la producción solar [39] y mantienen la confiabilidad del suministro hacia la demanda. En una instalación doméstica, es necesario que las baterías cumplan con ciclos diarios suaves y ciclos anuales profundos [40]. Por tal motivo, es común la aplicación de baterías de plomo-ácido y de ión de litio. En comparativa, la densidad energética (relacionada al volumen del componente) de las baterías li-ion permite mayores ciclos de carga, pero el

costo en el mercado de las baterías de plomo-ácido mantienen su uso comercial, es necesario considerar ambas opciones en la evaluación económica.

2.5.4. Inversor AC/DC

El componente inversor es el encargado de convertir la señal DC de las baterías en una salida apta para las cargas con valores de tolerancia similares o mejores que los suministrados por la red eléctrica. Por consecuencia, la THD (distorsión armónica total) debe ser mínima, el posible aumento del contenido armónico en una red afecta el funcionamiento de las cargas dependientes de la misma [41]. Se opta por utilizar inversores de onda sinusoidal pura sobre los inversores de onda modificada o cuadrada por el aprovechamiento de la frecuencia fundamental.

Se debe considerar durante la elección de un inversor una alta eficiencia, el caso contrario significa la pérdida de parte de la energía producida. La robustez del inversor en zonas rurales también es fundamental ya que la potencia que las cargas demande varía en rangos amplios y, además, el posible efecto de picos de corriente por conexión de cargas como motores [40].

2.5.5 Inversor Híbrido

Comúnmente, se conocen como inversores híbridos a los componentes del sistema eléctrico que permiten la conmutación entre la red eléctrica, generación basada en RERs y banco de baterías bajo una lógica de control programada [42] para la respuesta a la demanda de la carga conectada. Tales dispositivos unifican los módulos de regulación e inversión del sistema y permiten la conexión de todos los componentes en un solo equipo, también integra un sistema de control capaz de configurar múltiples modos de funcionamiento: utilizar la energía de las baterías hasta un valor mínimo de carga y conmutar a la red, utilizar las baterías como una fuente de respaldo de la red eléctrica e, inclusive, administrar un sistema fotovoltaico independiente de la red (off grid).

Los parámetros más importantes del equipo dependen de los submódulos que lo integran, es decir, la potencia del inversor DC/AC promedio y pico, la corriente máxima del regulador de carga (sea PWM o MPPT) y los parámetros de corriente y voltaje máximos para la configuración física de los paneles solares.

Las desventajas de este equipo son los altos costos de inversión inicial y, sin un dimensionamiento y configuración adecuados, puede reducir drásticamente la vida útil de las baterías pues se encontraría en un constante proceso de carga y descarga abrupta [42].

2.6. Lógica actual del sistema eléctrico.

El sistema implementado utiliza una lógica sobre el sistema eléctrico que prioriza el consumo de energía renovable y conmuta a la red eléctrica cuando se sobrepase el umbral mínimo de carga de la batería. Sin embargo, tal manejo de energía no plantea criterios de control basados en el rendimiento de equipos y factores económicos. Por lo que, los ciclos útiles de la batería pueden verse afectados y tener efectos negativos sobre el costo total de la red y el costo de energía.

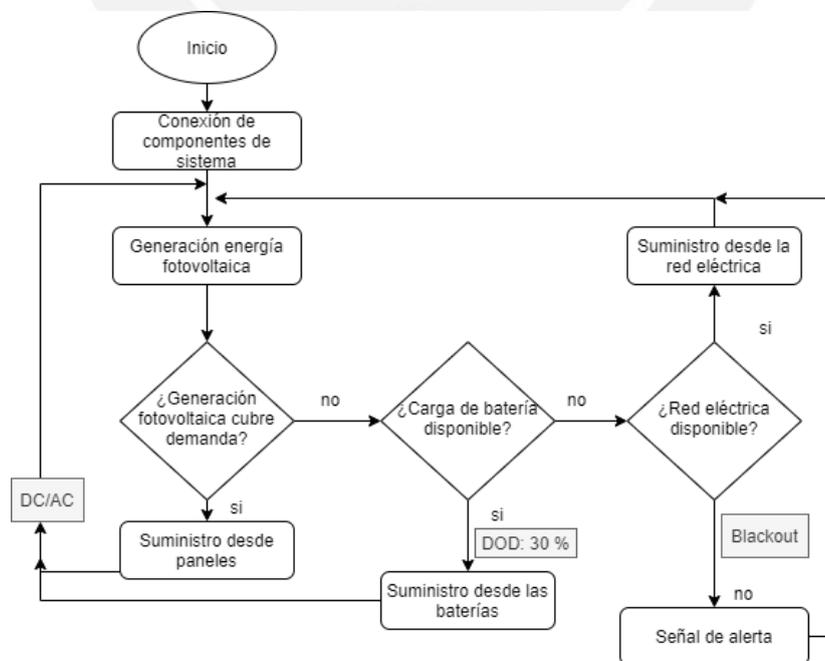


Figura 2.4. Diagrama de lógica de control actual del sistema

CONCLUSIONES

Se concluye la necesidad de la evaluación de inclusión de recursos energéticos renovables en el sistema eléctrico domiciliario rural conectado a la red. Tales resultados permitirán estimar múltiples opciones que tienen como fin aumentar la calidad eléctrica suministrada. Basado en la revisión bibliográfica, es posible dimensionar e implementar una solución acorde a la problemática.

Si bien se presupone el uso generación fotovoltaica en el segundo capítulo, es necesaria la evaluación de los RER disponibles con el fin de gestionar correctamente la energía eléctrica a generar y cumplir con la carga demandada. Además, es posible determinar un mínimo de incidencia de recursos renovables dentro de la matriz energética.

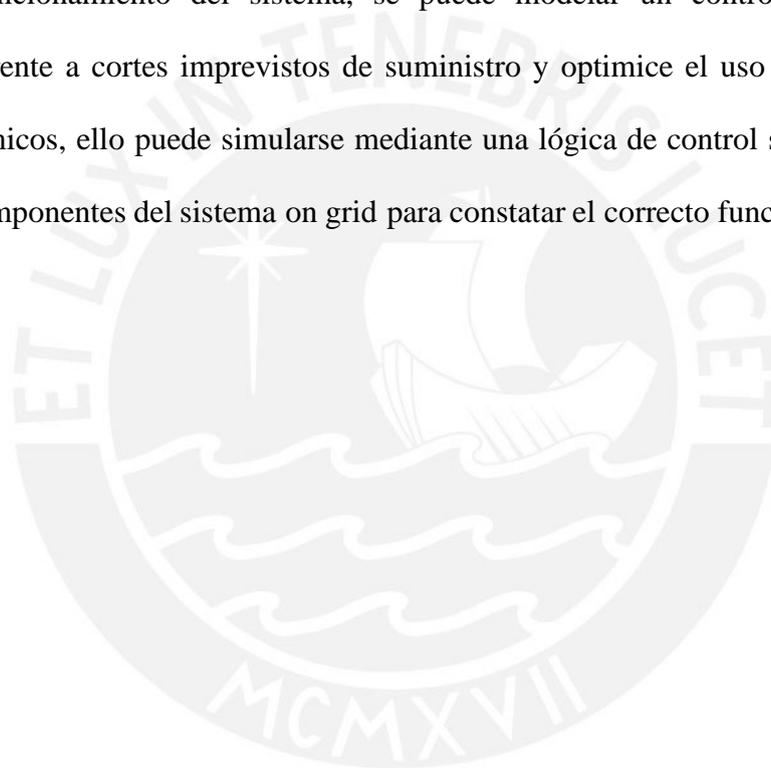
Respecto a los criterios económicos, servirán de pauta de selección para la configuración óptima. Un resultado será económicamente factible al utilizar parámetros de comparación como el NPC y el costo de energía (COE) expresado en energía en soles por Kilovatio-hora.

Por consecuente, es posible brindar energía eléctrica sostenible en el tiempo, estable y confiable según la normativa de calidad de producto eléctrico peruano. Todo ello debe ser evaluado y medido en la implementación con el fin de comparar y verificar el correcto funcionamiento acorde a los resultados de simulaciones en un software especializado.

RECOMENDACIONES

Es necesario el uso de herramientas especializadas para el dimensionamiento y simulación de los equipos, se sugiere el uso del software HOMER para determinar tanto las fuentes energéticas como la potencia de los equipos e, incluso, los costos de energía de cada configuración. Ello significa un proceso de simulación iterativa el cual se optimiza según resultados preliminares, para así obtener un diseño óptimo a nivel técnico y económico.

Respecto al funcionamiento del sistema, se puede modelar un control que contemple contingencias frente a cortes imprevistos de suministro y optimice el uso de energía según criterios económicos, ello puede simularse mediante una lógica de control sobre dispositivos que simulen componentes del sistema on grid para constatar el correcto funcionamiento.



Referencias

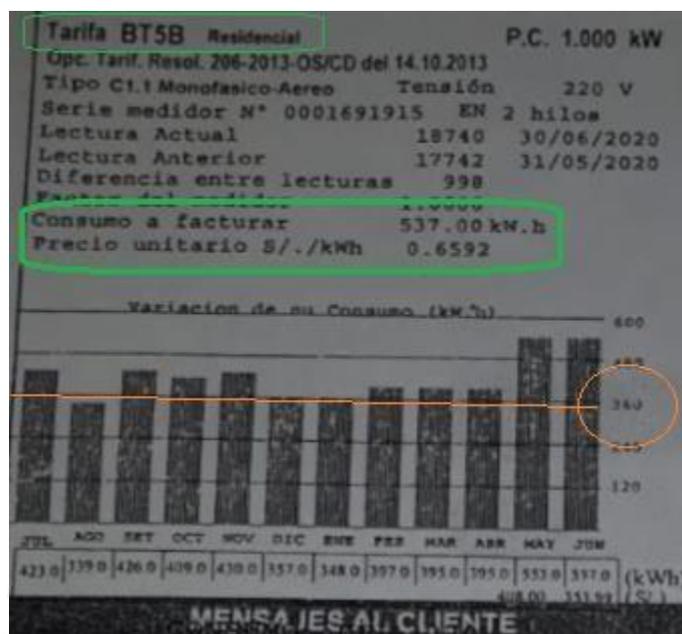
- [1] R. A. Ramos, “*Relación entre las tasas de crecimiento de urbanización, consumo de energía eléctrica, capital humano y emisiones de CO₂, a través de un análisis de cointegración para datos de panel a nivel mundial, período 1986-2016*”, Univ. Nacional de Rioja, pp. 54-64.
- [2] Enerdata, “*Global Statistical Yearbook 2019*”, Disponible en: <https://datos.enerdata.net/> [Accedido: 27-mayo2020]
- [3] A. Barceló, “*Ojeada Sobre La Crisis Energética*” *Mientras Tanto*, 2009, no. 110/111, pp. 101-111.
- [4] C. M. “*Los límites del crecimiento: crisis energética y cambio climático*”. *Mientras Tanto*, 2012, p. 5-10.
- [5] ONU, “*OBJETIVO 7: Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all*” ONU, 2017. Disponible en: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/goal -07/> [Accedido: 27-mayo2020]
- [6] Osinergmin, “*Capítulo 1: Balance e indicadores eléctricos*” En Anuario Estadístico de Electricidad 2018, pp. 1–3, 2018. disponible en: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Capitulo%201%20Balance%20e%20Indicadores%202018.pdf>
- [7] Diario El Peruano, “*Avances en electrificación rural,*” diciembre 2019. Disponible en: <https://www.elperuano.pe/noticia-avances-electrificacion-rural-87702.aspx>
- [8] Osinergim, “*Diagnóstico de la problemática de la electrificación rural en el Perú,*” 2010. Disponible en: https://issuu.com/osinergmin/docs/2._diagnostico_de_la_problematika_d
- [9] NASA, “*The POWER Project, data access*”, febrero 2020. Disponible en: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- [10] A. Dammert et al., “*Regulación y Supervisión del Sector Eléctrico*”, enero 2008. Disponible en: https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Libro_Regulacion_Supervision_del_Sector%20Electrico.pdf
- [11] Osinerg, “*Procedimiento para la aplicación del fondo de compensación social eléctrica,*” Lima, Perú. Disponible en: <http://www2.osinerg.gob.pe/resoluciones/pdf/Fose-ProyectodeNormaMotivos.pdf>
- [12] A. V. Aldana Urrea and D. J. Rodríguez Patarroyo, “*Complementarity of energy resources for the electrical generation: a review*”, *Cienc. e Ing. Neogranadina*, vol. 29, no. 2, pp. 99–114, 2019.
- [13] F. Weschenfelder et al., “*A review on the complementarity between grid-connected solar and wind power systems*”, *J. Clean. Prod.*, vol. 257, p. 120617, 2020.
- [14] “*Decreto Supremo N° 064-2010-EM*”, Lima, Perú. Disponible en: <http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/DS-064-2010-EM-CONCORDADO.pdf>

- [15] Osinergmin, “*Normas relacionadas con la promoción de energías renovables*”, Disponible en: <http://www2.osinerg.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/Normas.html>
- [16] HOMER, “*About HOMER Energy LLC*”, 2020. Disponible en: <https://www.homerenergy.com/company/index.html>
- [17] K. R. Ritu, A. K. Wadhvani, and A. Rajoria, “*Techno-Economic Comparison of on Grid and off Grid Hybrid WT / Solar Photo Voltaic Connected Power Generating Unit Using HOMER*,” 2018 Int. Conf. Adv. Comput. Telecommun. ICACAT 2018.
- [18] D. Restrepo, et. al., “*Microgrid analysis using HOMER: A case study*,” DYNA, vol. 85, no. 207, pp. 129–134, 2018
- [19] “*Proyecto Planificación ante el Cambio Climático*”, 2014. Disponible en: <http://planccperu.org/sobre-el-proyecto>
- [20] “*77 Opciones de mitigación*”, diciembre 2014. Disponible en: http://planccperu.org/wp-content/uploads/2016/05/plancc_77_opciones_de_mitigacion_baja-2.pdf
- [21] G. A. Gómez-Ramírez, “*Evolución y tendencias de índices de confiabilidad en sistemas eléctricos de potencia TT - Evolution and Trends of Indexes of Reliability in Electrical Systems of Power*,” Rev. Tecnol. en Marcha, vol. 29, no. 2, pp. 3–13, 2016
- [22] A. G. Gary, “*Evaluación de Confiabilidad en Sistemas Eléctricos de Distribución*,” Tesis para optar al grado Magíster en Ciencias la Ing., no. Sistemas Eléctricos de Distribución, p. 108, 1994.
- [23] Y. F. Ceballos, J. J. Aguilar Zambrano, y J. Robledo Velásquez, “*La Energía como una Herramienta de Desarrollo en Zonas Rurales no Interconectadas*”, Investig. innov. ing, vol. 3, n.º 1, ene. 2015.
- [24] Y. F. Ceballos, O. Baqueiro Espinosa, y I. Dyner, “*Análisis del desarrollo social en zonas rurales aisladas empleando simulación basada en agentes*”, rev.ing.univ.Medellin, vol. 13, n.º 24, pp. 133-146, 1.
- [25] Osinergmin, “*La industria de la electricidad en el Perú, 25 años*”, 2016. Disponible en: https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anos.pdf
- [26] “*Decreto Supremo N° 020-97-EM*”, Lima, Perú. Disponible en: <http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/DS-020-97-EM.pdf>
- [27] HOMER, “*HOMER Grid User Manual*,” 2020. Disponible en: <https://www.homerenergy.com/products/grid/docs/latest/index.html>
- [28] M. Nurunnabi and N. K. Roy, “*Grid connected hybrid power system design using HOMER*,” Proc. 2015 3rd Int. Conf. Adv. Electr. Eng. ICAEE 2015, pp. 18–21, 2016, doi: 10.1109/ICAEE.2015.7506786.
- [29] Osinergmin, “*Energías renovables, experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética*,” vol. 2019, pp. 74–117, 2019. Disponible en: https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf

- [30] NASA “*POWER viewer*,” the POWER project, 2020. Disponible en <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- [31] R. Khan and N. N. Schulz, “*Cost Optimization of Hybrid Islanded Microgrid for Rural Electrification*,” IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet., vol. 2019-Augus, pp. 6–10, 2019, doi: 10.1109/PESGM40551.2019.8974024.
- [32] Solargis, “*Global Horizontal Irradiation, Perú*,” 2017. Disponible en: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/peru>
- [33] NASA, “*How do Photovoltaics Work?*,” 2002. Disponible en: <https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells>
- [34] Wakulat R. J., “*Photovoltaics (PV)*,” Salem Press Encyclopedia, 2018. Disponible en: <http://search.ebscohost.com.ezproxybib.pucp.edu.pe:2048/login.aspx?direct=true&db=ers&AN=89475328&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- [35] Autosolar Perú, “*¿Qué es un regulador de carga? Características y tipos*,” 2018. Disponible en: <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-regulador-de-carga-caracteristicas-y-tipos>
- [36] Budiman, A. Taqwa, and R. D. Kusumanto, “*IoT Technology Monitoring, Controlling and Data Logging for ATS on Grid Connected Solar-Wind Hybrid System*,” J. Phys. Conf. Ser., vol. 1167, no. 1, 2019.
- [37] Victron Energy, “*BlueSolar and SmartSolar MPPT Charge Controllers Overview*,”. Disponible en: <https://cdn.shopify.com/s/files/1/0017/8847/7489/files/Datasheet-BlueSolar-and-SmartSolar-charge-controller-overview.pdf?1035>
- [38] HOMER, “*User guide: PV*,” 2020. Disponible en: <https://www.homerenergy.com/products/grid/docs/latest/pv.html>
- [39] F. Perez, et al., “*Application of energy storage elements on a PV system in the smart grid context*,” 2015 IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Lat. Am. ISGT LATAM 2015, pp. 751–756, 2016
- [40] I. E. Pereda Soto, “*Celdas Fotovoltaicas En Generacion Distribuida*,” Pontif. Univ. Catol. Chile, p. 173, 2005.
- [41] F. Chan et. al. “*Análisis de la calidad de energía de los inversores en sistemas fotovoltaicos*”, Semana nacional de energía solar, 2010
- [42] P. G. Ochnev and Y. B. Shchemeleva, “*Renewable energy: Hybrid inverter*,” Proc. - 2020 Int. Conf. Ind. Eng. Appl. Manuf. ICIEAM 2020, pp. 7–12, 2020

Anexos

Anexo 1: Recibo de consumo eléctrico del medidor compartido en Rumisapa



Anexo 2: Promedios mensuales de velocidad del viento a 50 m. de altura en [30]

Velocidad del viento a 50 m. de altura (m/s)													
Año	Ene	Feb	Mar.	Abr.	May	Jun	Jul	Agos	Setiem,	Oct.	Nov.	Dic,	Prom. anual
2015	0,93	0,91	0,81	0,68	0,61	0,78	0,53	0,93	1,05	1,04	1,17	1,05	0,87
2016	1,15	0,66	0,66	0,7	0,66	0,84	0,66	0,97	0,93	1,06	1,25	1,11	0,89
2017	0,88	1,03	0,77	0,84	0,77	0,59	0,73	0,85	0,73	1	1,04	1,19	0,87
2018	1,02	1,13	0,65	0,88	0,79	0,81	0,64	0,72	0,96	0,95	1,21	1,1	0,9
2019	0,92	0,77	0,81	0,87	0,89	0,79	0,72	0,76	0,85	0,95	1,01	1,03	0,86

Anexo 3: Promedios mensuales de irradiancia global horizontal en Rumisapa [30]

Irradiancia global horizontal (kW-hr/m ² /día)													
Año	Ene	Febrero	Mar.	Abr.	May	Jun	Jul	Agos	Setiem,	Oct.	Nov.	Dic.	Prom. anual
2015	4,31	4,35	4,21	4,53	4,02	4,44	4,43	4,99	5,17	5,21	4,88	4,88	4,62
2016	5,61	4,03	4,21	4,73	4,22	4,31	4,44	4,9	4,76	5,1	5,14	4,75	4,69
2017	4,08	4,05	4,03	4,79	4,28	4,29	4,51	4,86	4,36	4,71	4,82	4,46	4,45
2018	4,58	4,62	4,13	4,48	4,26	4,35	4,23	4,7	5,02	4,35	4,68	4,27	4,42
2019	4,14	4,23	3,9	4,51	4,24	4,31	4,57	4,67	4,55	4,22	4,54	4,52	4,32

Anexo 4: Promedios mensuales del índice de claridad en Rumisapa [30]

Índice de claridad													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Prom. anual
2015	0,4	0,4	0,4	0,46	0,45	0,47	0,51	0,53	0,51	0,49	0,44	0,46	0,46
2016	0,51	0,37	0,4	0,48	0,47	0,49	0,51	0,52	0,47	0,47	0,47	0,45	0,47
2017	0,38	0,38	0,38	0,49	0,48	0,5	0,52	0,52	0,43	0,45	0,45	0,42	0,45
2018	0,43	0,43	0,39	0,46	0,47	0,51	0,49	0,50	0,49	0,41	0,44	0,40	0,45
2019	0,39	0,39	0,37	0,46	0,46	0,51	0,52	0,5	0,42	0,4	0,43	0,41	0,44

