



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA
EN LA EDIFICACIÓN, LA INDUSTRIA Y EL TRANSPORTE**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

DISEÑO Y ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN
SISTEMA HÍBRIDO AUTÓNOMO EN MICRORED.

Nº REGISTRO: TFM MUEE 78/2020

AUTOR: Miguel Erick Cornelio Diego

TUTORA:

Sandra Castaño Solís

Universidad Politécnica de Madrid – Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica
Automática Y Física Aplicada

Convocatoria: 2018

Madrid, 30 de abril del 2020

DEDICATORIA

El desarrollo del Trabajo Fin de Máster está dedicado, en primer lugar, a mi hermosa familia por su apoyo constante. En especial a mi esposa Mariella, quien supo sobrellevar mi lejanía con mucha valentía y amor; a mi madre, por su gran corazón y coraje, y a mi hija Luciana, que fue mi inspiración para seguir desarrollándome personal y profesionalmente.

En segundo lugar, dedico este trabajo a mis amigos, por sus consejos, buenos ratos y porque me enseñaron que la lealtad y compromiso son el ingrediente perfecto para una buena amistad.

En tercer lugar, dirijo este trabajo a la empresa COGA; y a mis colegas de trabajo por permitir dar un paso importante en mi desarrollo profesional de manera desinteresada y por su apoyo en los momentos más difíciles.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer, en primer lugar, al Estado Peruano porque me permitió hacer posible el sueño que tenía desde muy pequeño de estudiar en el exterior a través del otorgamiento de la beca Presidente de la República.

Agradecer, también, a la institución PRONABEC por otorgarme todas las facilidades en busca de este gran objetivo.

Asimismo, quiero agradecer a mi tutora, por su colaboración constante y su predisposición para el desarrollo de este trabajo. Su experiencia, conocimientos y su amabilidad hicieron posible llevar con mucha motivación la elaboración de este trabajo.

RESUMEN

Hoy en día, el acceso a la energía es uno de los pilares para el desarrollo de cualquier sociedad, por lo que su disponibilidad, calidad y uso son claves para impulsar el desarrollo económico de una nación. En el caso del Estado Peruano, existen varias zonas rurales que aún no cuentan con acceso a la red eléctrica nacional, debido a la gran lejanía con ciudades urbanas y a los grandes montos de inversión que ello implica.

Frente a esta situación, se plantea en este trabajo una alternativa de generación eléctrica que aprovecha las fuentes renovables de la zona rural de estudio. El desarrollo de este trabajo consiste en modelizar y diseñar un sistema de generación eléctrica renovable con tecnología eólica y solar, la cual será aplicada al Caserío Yapato, ubicado en la ciudad de Sechura, Piura, al norte del territorio peruano.

El diseño contempla un sistema de almacenamiento que permita un suministro eléctrico continuo en horas donde no se disponga de las fuentes renovables, así como respuesta frente a una interrupción. Asimismo, se ha incluido un sistema de control que permita optimizar el uso de las fuentes renovables, así como una gestión eficiente y personalizada de la potencia eléctrica entregada y almacenada.

Del mismo modo, este trabajo contempla un análisis de sensibilidad técnica y económica de distintas configuraciones híbridas con el fin de determinar el sistema que brinda mejores resultados futuros, haciendo viable su inversión.

En tal sentido, este trabajo plantea una alternativa de desarrollo energético en zonas rurales, donde los hogares puedan incorporar un sistema de gestión personalizada de la potencia eléctrica entregada, haciendo posible que el mismo usuario tenga mayor apertura a la energía, fomentando su desarrollo social y económico, y contribuyendo a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.

Palabras claves: *Energía renovable, eficiencia energética, gestión energética, control de potencia, sensibilidad.*

Código UNESCO: *210601 Energía solar, 251091 recursos renovables, 332205 fuentes no convencionales de energía, 531102 Gestión Financiera*

ABSTRACT

Nowadays, access to energy is one of the pillars for the development of any society, so its availability, quality and use are key to driving economic development. In the case of the Peruvian State, there are several rural areas that still do not have access to the national electricity grid, due to the great distance with urban cities and the large amounts of investment that this implies.

Faced with this situation, an alternative of electricity generation that takes advantage of renewable sources in the rural area of study is proposed in this work. The development of this work consists of modeling and designing a renewable electricity generation system with wind and solar technology, which will be applied to the Caserío Yapato, located in the city of Sechura, Piura, in northern Peru.

The design contemplates a storage system that allows a continuous electrical supply in hours where renewable sources are not available, as well as a response to an interruption. Likewise, a control system has been included to optimize the use of renewable sources, as well as efficient and personalized management of the electrical power delivered and stored.

In the same way, this work contemplates an analysis of technical and economic sensitivity of different hybrid configurations in order to determine the system that provides better future results, making your investment viable.

In this sense, this work proposes an alternative for energy development in rural areas, where households can incorporate a personalized management system for the electric power delivered, making it possible for the user to be more open to energy, promoting their social development and economic, and contributing to the reduction of greenhouse gas emissions.

Key words: Renewable energy, energy efficiency, energy management, power control, sensitivity.

UNESCO Nomenclature: 210601 Solar energy, 251091 renewable resources, 332205 unconventional energy sources, 531102 Financial Management

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO.....	1
INTRODUCCIÓN	3
Antecedentes.....	3
Justificación	4
OBJETIVOS	6
CAPITULO 1: ENERGIA RENOVABLE	7
1.1 Introducción	7
1.2 Energía Renovable en el Perú	9
1.3 Energía Eólica en el Perú	11
1.4 Energía Eólica en el Mundo	12
1.5 Energía Solar Fotovoltaica en el Perú.....	14
1.6 Energía Solar Fotovoltaica en el Mundo.....	15
CAPÍTULO 2: SISTEMAS HÍBRIDOS.....	16
2.1 Introducción	16
2.2 Sistemas híbridos eólico-solar	16
2.2.1 Sistemas híbrido autónomo	17
2.2.2 Sistema híbrido conectado a la red.....	17
2.3 Normativa aplicable al proyecto	18
2.3.1 Normativa de Autoconsumo Europeo	18
2.3.2 Normativa Española	18
2.3.3 Normativa Peruana.....	20
CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN	22
3.1 Locación	22
3.2 Actividad Económica.....	24
3.3 Acceso a red eléctrica.....	24
3.4 Condiciones climáticas del Caserío Yapato	25
CAPÍTULO 4: ANALISIS DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LA INSTALACIÓN	27
4.1 Características de consumo.....	27
4.1.1 Consumo por cantidad de personas	27
4.1.2 Frecuencia de consumo	28
4.2 Perfil de carga de la instalación	30
4.3 Consumo de combustible de los Generadores Eléctricos de uso actual.....	33
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS	35
5.1 Evaluación del recurso solar	35
5.2 Cálculo de la irradiancia en inclinación óptima	36
5.3 Evaluación del recurso eólico.....	39

5.4 Representación estadística del viento.....	39
5.5 Método gráfico para la estimación de los parámetros de Weibull.....	40
CAPITULO 6: DIMENSIONADO DEL SISTEMA HÍBRIDO.....	42
6.1 Paneles Fotovoltaicos.....	43
6.1.1 Factores que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos.....	44
6.1.2 Energía producida por panel fotovoltaico.....	45
6.1.3 Análisis de modelos de mercado y elección del panel fotovoltaico.....	45
6.2 Aerogeneradores eólicos.....	45
6.2.1 Parámetros característicos de un aerogenerador.....	46
6.2.2 Energía producida por aerogenerador.....	46
6.2.3 Análisis de modelos de mercado y elección del aerogenerador.....	47
6.3 Controladores de Carga.....	47
6.4 Inversores.....	48
6.5 Metodología para el dimensionamiento del Sistema Híbrido.....	49
6.6 Dimensionamiento del Sistema híbrido.....	51
6.6.1 Demanda energética.....	51
6.6.2 Evaluación energética.....	52
6.6.3 Evaluación de diferentes configuraciones híbridas.....	53
6.6.4 Elección del sistema híbrido.....	59
6.6.5 Tratamiento de excedentes.....	60
6.6.6 Factor de planta.....	63
6.6.7 Dimensionamiento final del sistema híbrido.....	63
6.7 Modos de operación del sistema híbrido.....	66
6.8 Dimensionamiento del conexionado eléctrico.....	66
6.8.1 Cálculo de la sección de cables:.....	67
6.8.2 Puesta a tierra.....	70
6.8.3 Dispositivos de protección.....	71
6.8.4 Tablero eléctrico.....	75
6.9 Evolución del rendimiento de los equipos principales.....	75
6.10 Presupuesto inicial.....	76
CAPITULO 7: ESTUDIO ECONÓMICO.....	77
7.1 Criterios de evaluación.....	77
7.1.1 Valor Actual Neto (VAN).....	77
7.1.2 Tasa Interna de Retorno (TIR).....	78
7.1.3 Retorno de la inversión (RI).....	78
7.2 Costes del proyecto.....	78
7.2.1 Costo de oportunidad del capital (COK).....	78

7.2.2 Costo de Operación y Mantenimiento.....	79
7.2.3 Costo por actualización de equipos	80
7.2.4 Depreciación de equipos	82
7.3 Beneficios económicos del proyecto	83
7.4 Flujo de cajas del proyecto.....	83
7.5 Análisis de resultados	85
CONCLUSIONES.....	86
LINEAS FUTURAS.....	88
BIBLIOGRAFÍA	89
ANEXOS	92
Anexo A: Evaluación del Recurso Energético Solar	92
Anexo B: Cálculos de los parámetros estadísticos de Weibull	101
Anexo C: Determinación de la dirección del viento	113
Anexo D: Características técnicas de los componentes del sistema híbrido	114
Anexo E: Data técnica de los equipos utilizados en Caserío Yapato.....	129
ÍNDICE DE FIGURAS	131
ÍNDICE DE TABLAS.....	133
ABREVIATURAS.....	136
GLOSARIO	137

RESUMEN EJECUTIVO

La energía juega un papel muy importante en temas como la erradicación de la pobreza, el mejoramiento a la educación, la reducción de la mortalidad y el acceso a atención médica de calidad, entre muchos otros. El Ministerio de Energía y Minas (MEM) de Perú, aprobó, en el año 2015, el Plan Nacional de Electrificación Rural (PNER) al periodo 2015-2024 que promueve el desarrollo eficiente y sostenible de la electrificación de zonas rurales, localidades aisladas y de frontera del Perú, permitiendo la implementación de sistemas autosustentables que permita garantizar una energía amplia, confiable y de calidad a estas regiones.

El Caserío Yapato es una de las regiones desérticas, de la costa norte del Perú, ubicada en la provincia de Sechura, departamento de Piura, que presenta varias necesidades y limitaciones energéticas, ya que no cuenta con acceso a la red eléctrica nacional debido a su difícil acceso y su lejanía con ciudades importantes, por lo que tender una red de alta tensión no es económicamente rentable para el gobierno local.

A partir de esta necesidad, se desarrolla este trabajo, como una alternativa para ampliar el acceso a la energía eléctrica, con una mayor confiabilidad de este recurso y mejoramiento de su calidad. En este trabajo se plantea el diseño y estudio de factibilidad de un sistema híbrido que permita reemplazar la limitada energía con la que cuenta el Caserío Yapato, a través de sistemas que aproveche el potencial solar y eólico para que se genere electricidad cerca al centro poblado. Además, se plantea un sistema de almacenamiento que permita un suministro eléctrico continuo ante cualquier fallo en algún equipo, o en horas donde no se disponga de estas fuentes renovables.

En la primera parte del trabajo, se describe el consumo energético de la zona de estudio, el cual está conformado por 70 familias alojadas de manera dispersa en los 0.19 km² de su extensión. La evaluación energética, tomo como premisa una disponibilidad de uso sin ninguna limitación de potencia. Además, se ha podido analizar el perfil de carga para periodos diarios, semanales, mensuales y anuales.

Seguidamente, y teniendo como premisa que el lugar de estudio no cuenta con información meteorológica, se realizó un estudio de los recursos energéticos de los valores de radiación solar obtenido del "Atlas de Energía Solar" del Perú, elaborado por el SENAMHI, así como, la evaluación del recurso eólico, tomado de la base de datos de SENAMHI en la estación más cercana y con similares condiciones de altitud, clima y superficie, la cual está ubicada a unos 4 km del centro poblado.

Previo al dimensionamiento del sistema híbrido, se inició con el análisis de la energía producida tanto por panel fotovoltaico como por el aerogenerador eólico, además de un estudio de mercado sobre los equipos que ofrecen los proveedores nacionales e internacionales, para determinar el coste por energía producida. Una vez determinado el equipo con mayor condiciones técnicas y económicas, se ha procedido a dimensionar el sistema híbrido. El método aplicado fue el método del peor mes, que consiste en calcular las dimensiones del sistema para que pueda funcionar en el mes donde se presente una mayor relación de demanda energética versus la generación de energía (peor mes).

Del mismo modo, se han evaluado distintas configuraciones híbridas y se determinó, en base un análisis de flexibilidad, que el sistema híbrido presenta mayores prestaciones energética a un menor coste de instalación.

Asimismo, el trabajo contempla la evaluación económica que permite valorar la inversión a partir de la información cuantitativa obtenida al inicio y a lo largo del uso de la instalación. El análisis de sensibilidad del proyecto contemplará tres escenarios: Optimista, Pesimista y Base, debido a la incertidumbre y variación de variables que más afectan el resultado económico del proyecto. Del mismo modo, se ha estudiado los costes a lo largo de la operación del proyecto, tales como: Operación y Mantenimiento, depreciación de equipos y costo por actualización de equipos; así como, los costes de oportunidad de inversión. Con ello, se ha podido determinar la viabilidad técnica y económica de este proyecto.

En tal sentido, este trabajo plantea una metodología para el diseño de un sistema híbrido que brinde energía en una zona rural, cumpliendo con las condiciones técnica de instalación, así como un procedimiento que permita evaluar la viabilidad económica de su posible instalación.

INTRODUCCIÓN

En el siglo XX, las redes de suministro eléctrico fueron todo un símbolo del progreso. Sin embargo, estas redes han sufrido una transformación: las fuentes energéticas se han multiplicado y a ello se suma la necesidad de administrar mejor los recursos para favorecer la protección del medioambiente. Por otra parte, cabe destacar que las plantas de generación se encuentran situadas a grandes distancias de los centros de consumo.

Antecedentes

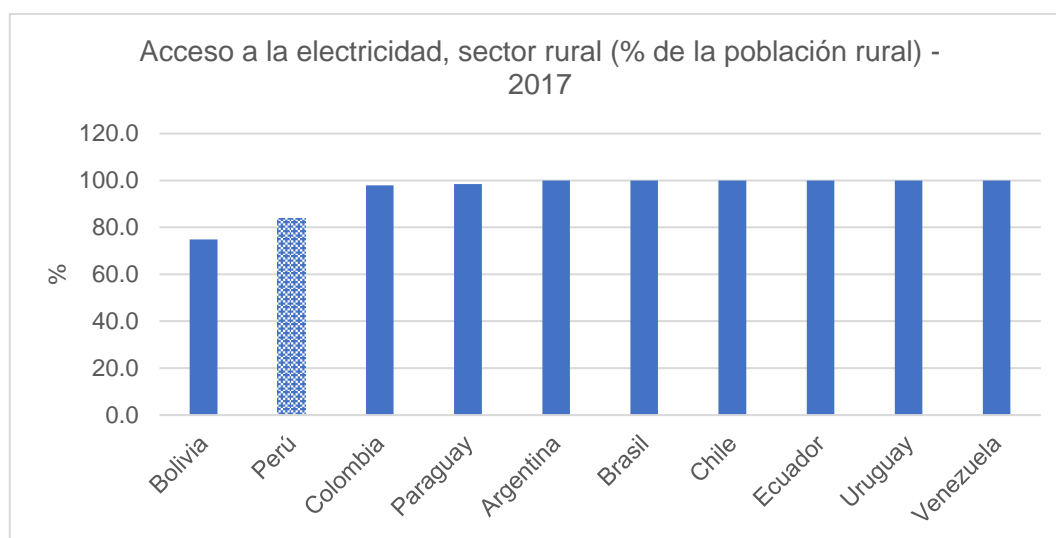
El sector eléctrico en el Perú ha experimentado sorprendentes mejoras en los últimos 20 años. El acceso a la electricidad ha crecido del 45% en 1990 al 96% en junio de 2019 según cifras del INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática), a la vez que mejoró la calidad y la eficacia de la prestación del servicio.

Sin embargo, aún quedan muchos retos. La electrificación rural es una de las tareas pendientes con las que se enfrenta el Gobierno en materia de infraestructura y provisión de servicios básicos. Cifras del INEI muestran que el reto es grande: en 2019, la cobertura de acceso a electricidad de zonas rurales en el Perú es de 84.4%.

Esta brecha continúa pese al importante esfuerzo público realizado en los últimos años para cerrarla. Así, durante el período 2006-2019 la cobertura de electrificación rural en viviendas casi se duplicó, al pasar de 40% a 85%. Un aspecto clave para lograrlo fue la asignación de recursos para la electrificación rural en la Ley General de Electrificación Rural emitida en el 2006¹.

Sin embargo, estadísticas del Banco Mundial en el año 2017 muestran que el Perú está en desventaja en cuanto a acceso a electrificación rural en Sudamérica, pues se ubica en el penúltimo lugar de cobertura de electrificación rural tal como se muestra en la figura 1, mientras que países como Argentina, Brasil, Chile, Ecuador, Uruguay y Venezuela ya alcanzaron la cobertura universal.

Figura 1: Cobertura de electrificación rural al 2017 (%)²



¹ Definición tomada de referencia [1]

² Fuente: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS.RU.ZS?end=2017&locations=PE-BO-AR-BR-CO-EC-CL-PY-UY-VE&start=2017&view=bar>

Justificación

Los objetivos mundiales al 2030 planteados por las Naciones Unidas han considerado de manera específica el acceso universal a la electrificación. Así, la primera meta del Objetivo 7 “Energía Asequible y no contaminante” propone: “garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos”³.

El propósito de la electrificación rural es brindar el acceso al servicio básico de electricidad a la vivienda, con el fin de resolver las brechas existentes de desarrollo de infraestructuras entre zonas urbanas y rurales, logrando una inclusión social que permita a la población gozar de los beneficios del mercado, consumo y desarrollo lo que produce una reducción de la pobreza.

Actualmente la cobertura eléctrica en la Región Piura alcanza el 86% cuantificando el número de las viviendas electrificadas es de 403.052 y viviendas sin electrificar es de 66.220. Sin embargo, la cobertura en zonas rural es de sólo el 59% (INEI, 2019).

La provincia de Sechura es una de las ocho que conforman el departamento de Piura en el Norte del Perú. Limita por el Norte con la provincia de Paíta y la provincia de Piura; por el Este con el departamento de Lambayeque; y, por el Sur y Oeste con el océano Pacífico. Está situada a unos 50 km al sur de Piura, en pleno Desierto de Sechura, tal es así que Sechura es conocida también como la "Capital de la Arena".

Figura 2: Localización del Distrito de Sechura en mapa Peruano⁴



El clima en Sechura es un clima desértico, donde apenas hay precipitaciones a lo largo del año (33 mm/año). La temperatura media anual es de 23.3 °C. Asimismo, y dada su situación geográfica, es una zona con alto potencial eólico, especialmente en el litoral pacífico.

La provincia de Sechura es una de las provincias, donde se tiene un menor porcentaje de coberturas y menor desarrollo de proyectos que impulsen el acceso universal de la electricidad. Para incrementar el acceso universal en esta región se debe desarrollar una estrategia que considere la estructura y los costes, de modo de brindar a la población el acceso a la electrificación. Además, se deberá asegurar el desarrollo sostenible de la gestión

³ Información tomada de referencia [2]

⁴ Imagen tomada de la web: <https://es.wikipedia.org/wiki/Sechura>

energética. En la medida que el país supere con éxito estos desafíos, la población rural podrá acceder a energía eléctrica en sus hogares.

Frente a estos factores y modelo tradicional, surge un modelo alternativo en el que la generación de energía se acerca al consumidor, tanto física como virtualmente. Nace así la denominada Generación Distribuida.

El término “generación distribuida” a través de microredes, se refiere a la generación de energía eléctrica mediante fuentes de generación a pequeña escala, las cuales se sitúan cerca del consumidor y están conectadas a la red de distribución de energía eléctrica. En este sentido, tener distribuida la generación reduce pérdidas en la red y descarga la red de transporte.

Con el estudio planteado se busca brindar una alternativa de desarrollo energético en una zona rural, que permita mejorar el acceso a la electricidad de manera confiable e ininterrumpida, a través del uso de fuentes renovables.

OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo consiste en brindar una alternativa de generación eléctrica renovable, que permita mitigar el consumo actual de combustible en el Caserío Yapato, con una posible inversión moderada y que logre beneficios económicos, permitiendo el desarrollo energético a las poblaciones de zonas rurales donde se limita el uso de la energía.

Asimismo, se tiene los siguientes objetivos específicos.:

- Promover la eficiencia energética a través del planteamiento del sistema híbrido que cumplan con los requerimientos técnicos del sistema peruano y que pueda ser fusionados a una red de generación distribuida.
- Diversificar la generación eléctrica, promoviendo el uso de recursos solares y eólicos que permitan a la población tener una alternativa de acceso a una energía de calidad, de alta autonomía y confiable.
- Desarrollar un análisis técnico-económico de distintas configuraciones híbridas, que permita seleccionar el más adecuado desde la inversión inicial hasta los costes asociados a lo largo del proyecto.
- Promover las tecnologías renovables, acorde a los objetivos y políticas del plan de desarrollo rural en Perú y de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

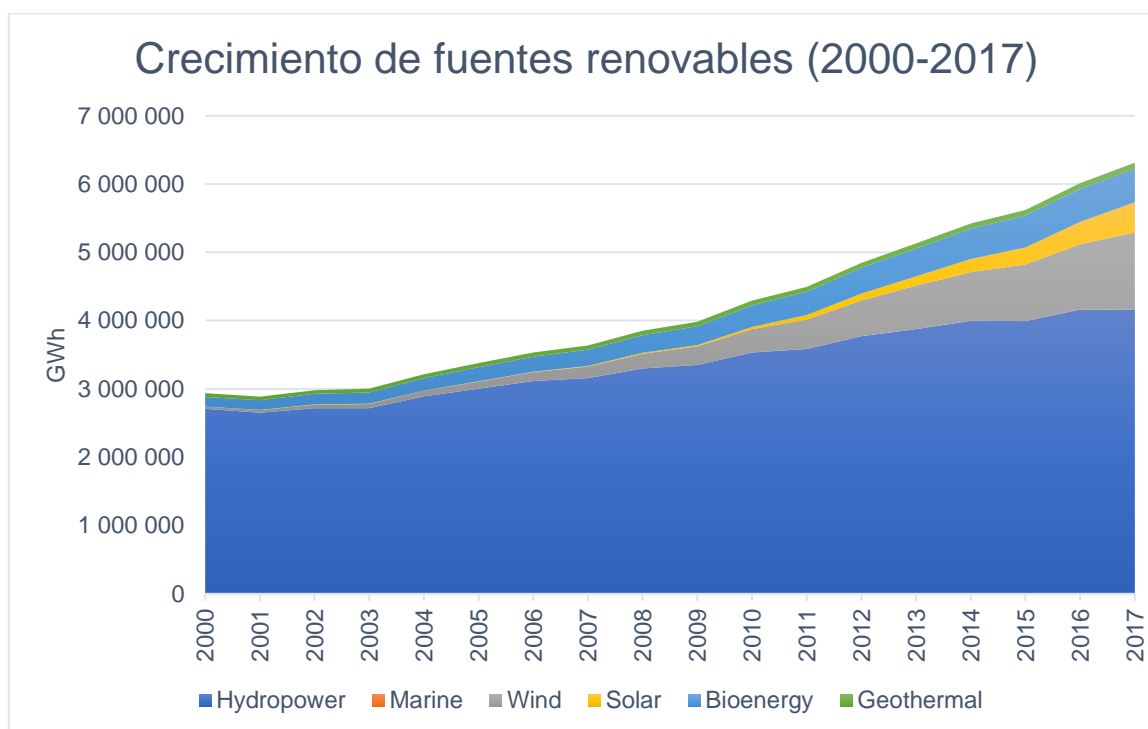
El alcance de este trabajo es establecer el diseño del sistema de generación híbrida, con el respectivo control y adecuación de electricidad al consumo final de la población.

CAPITULO 1: ENERGIA RENOVABLE

1.1 Introducción

Las energías renovables son fuentes de energía limpias, inagotables y crecientemente competitivas. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero ni emisiones contaminantes que son los causantes del cambio climático. Además, sus costes evolucionan a la baja de forma sostenida, mientras que la tendencia general de costes de los combustibles fósiles es la opuesta, al margen de su volatilidad coyuntural. En la figura 3 se muestra el crecimiento mundial de la producción de energía a través de fuentes renovables.

Figura 3: Crecimiento del uso energético de fuentes renovables en el mundo⁵



El desarrollo de las energías limpias es imprescindible para combatir el cambio climático y limitar sus efectos más devastadores. El 2014 fue el año más cálido desde que existen registros. La Tierra ha sufrido un calentamiento de 0,85°C de media desde finales del siglo XIX, apunta National Geographic en su número especial del Cambio Climático de noviembre de 2015⁶.

Por eso, uno de los objetivos establecidos por Naciones Unidas es lograr el acceso universal a la electricidad en 2030, además de la utilización de fuentes renovables.

Las ventajas que presenta las energías renovables son⁷:

- Son el socio imprescindible contra el cambio climático: las renovables no emiten gases de efecto invernadero en los procesos de generación de energía, lo que las revela como la solución limpia y más viable frente a la degradación medioambiental.

⁵ Datos obtenidos de la referencia [3]

⁶ Información tomada de referencia [4]

⁷ Información tomada de referencia [5]

- Son inagotables: al contrario que las fuentes tradicionales de energía como el carbón, el gas, el petróleo o la energía nuclear, cuyas reservas son finitas, las energías limpias cuentan con la misma disponibilidad que el sol donde tienen su origen y se adaptan a los ciclos naturales (por eso las denominamos renovables). Por ello son un elemento esencial de un sistema energético sostenible que permita el desarrollo presente sin poner en riesgo a las futuras generaciones.
- Reducen la dependencia energética: la naturaleza autóctona de las fuentes limpias implica una ventaja diferencial para las economías locales y un acicate para la independencia energética. La necesidad de importar combustibles fósiles produce una supeditación a la coyuntura económica y política del país proveedor que puede comprometer la seguridad del suministro energético. En cualquier parte del Planeta hay algún tipo de recurso renovable –viento, sol, agua, materia orgánica- susceptible de ser aprovechado para producir energía de forma sostenible.
- Crecientemente competitivas: Las principales tecnologías renovables –como la eólica y la solar fotovoltaica- están reduciendo drásticamente sus costes, de forma que ya son plenamente competitivas con las convencionales en un número creciente de emplazamientos. Las economías de escala y la innovación están ya consiguiendo que las energías renovables lleguen a ser la solución más sostenible, no sólo ambiental sino también económico.
- Horizonte político favorable: las decisiones acordadas en la COP21 han aportado un torrente de luz al futuro de las energías renovables. La comunidad internacional ha entendido la obligación de robustecer la transición hacia una economía baja en carbono por el futuro sostenible del planeta. El clima de consenso internacional en favor de la descarbonización de la economía constituye un marco muy favorable para el impulso de las tecnologías energéticas limpias.

Entre las energías renovables o también llamadas energías limpias encontramos⁸:

- Energía eólica: la energía que se obtiene del viento
- Energía solar: la energía que se obtiene del sol. Las principales tecnologías son la solar fotovoltaica (aprovecha la luz del sol) y la solar térmica (aprovecha el calor del sol)
- Energía hidráulica o hidroeléctrica: la energía que se obtiene de los ríos y corrientes de agua dulce
- Biomasa y biogás: la energía que se extrae de materia orgánica
- Energía geotérmica: la energía calorífica contenida en el interior de la Tierra
- Energía mareomotriz: la energía que se obtiene de las mareas
- Energía undimotriz u olamotriz: la energía que se obtiene de las olas
- Bioetanol: combustible orgánico apto para la automoción que se logra mediante procesos de fermentación de productos vegetales
- Biodiésel: combustible orgánico para automoción, entre otras aplicaciones, que se obtiene a partir de aceites vegetales

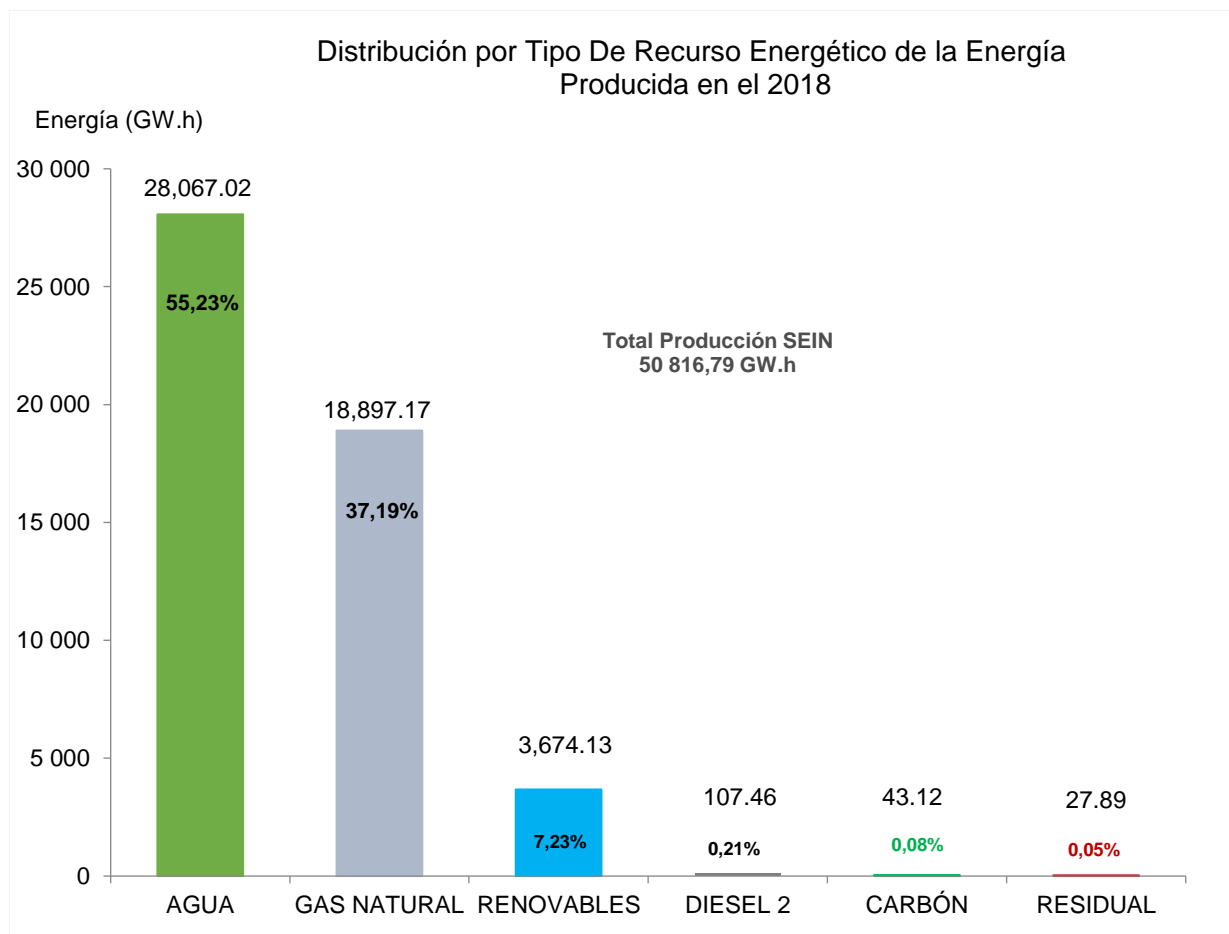
⁸ Información tomada de referencia [4]

1.2 Energía Renovable en el Perú

En el año 2008, el Estado Peruano emitió el Decreto Legislativo 1002, Ley de Promoción de la Inversión en Generación de la Electricidad con el uso de Energías Renovables, que promueve la inversión para la generación de electricidad con el uso de Recursos Energéticos Renovables ('RER', en adelante), tales como la energía eólica, solar, geotérmica, mareomotriz, la biomasa y las pequeñas hidroeléctricas con una capacidad instalada de hasta 20MW, con el fin de diversificar la fuente energética, mejorar la calidad de vida de la población y proteger el medio ambiente. Dentro de los objetivos planteados en ese momento fue de alcanzar el 5% de generación eléctrica anual. Desde ese entonces, la instalación de centrales renovables ha ido en aumento de manera moderada, y en el 2017 se tuvo una generación del 5.06% (2.478,90 GWh), cumpliendo el objetivo de generación RER, por volumen de generación.

En el año 2018, la generación eléctrica a través de fuentes RER representó 7.23% del total de la generación energética del país (3.674,13 GWh), a través de las 45 plantas RER instaladas, siendo el 3er tipo de recurso energético utilizado para la producción de energía en Perú, tal como muestra la figura 4.

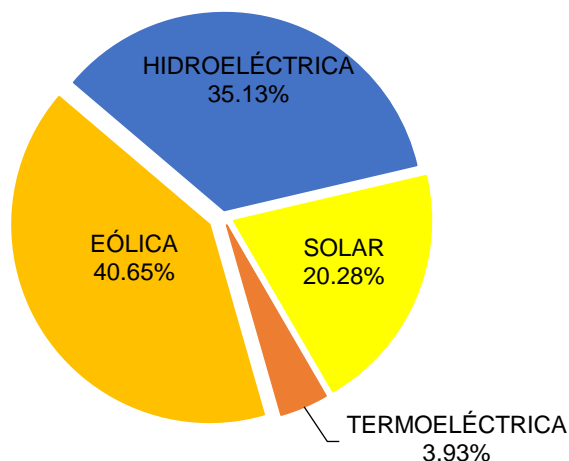
Figura 4: Producción de Energía en Perú por tipo de recursos 2018 (COES, 2018)⁹



⁹ Información tomada de referencia [6], Capítulo: Estadística Relevante, del SEIN, figura 1.2

Respecto a la producción de las fuentes RER, la generación hidroeléctrica ha sido la de mayor participación con un total de 35,13% (1.290,9 GWh), seguido de la eólica con 40.65% (1.493,6 GWh), solar 4.99% (745,2 GWh) y térmica biomasa-eléctrica con 3,93% (144,4 GWh), tal como se muestra en la figura 5.

Figura 5: Producción de Energía con recursos renovables RER – Año: 2018¹⁰



Asimismo, en el Perú existe un gran potencial para el aprovechamiento de energías renovables de todo tipo: eólica (principalmente en Ica, Piura y Lambayeque), solar (principalmente en Moquegua, Ica, Piura, tumbes), geotérmica (zonas volcánicas del sur del país), hídrica (a lo largo de los Andes), entre otros, tal como muestra la tabla 1.

Tabla 1: Potencial de crecimiento de generación RER¹¹

Fuente	Potencial	Aplicación
Hidroeléctrica	69.445 MW	Electricidad
Solar	Radiación media diaria: 250 W/m2	Electricidad, calor
Eólica	22.450 MW	Electricidad
Geotérmica	3.000 MW	Electricidad, calor
Bioenergía	177 MW (biomasa) 5.151 MW (biogás)	Electricidad

Un objetivo que el Estado Peruano se está planteando es tener en el año 2040 una matriz energética diversificada, competitiva, con énfasis en las fuentes de RER (al menos del 20%) y que fomente la eficiencia energética. Ante este contexto, el Estado peruano ha estado brindando un impulso importante a las fuentes de RER, como la biomasa y biogás, las fuentes solares, eólicas y minihidráulicas. La energía renovable no convencional (RER) utiliza el flujo inagotable de fuentes naturales de energía (sol, viento, agua, crecimiento de las plantas, movimiento del mar, entre otras) para abastecer la creciente demanda energética.

¹⁰ Información tomada de referencia [6], capítulo: Producción con Recursos Renovables en el SEIN, figura 7.1

¹¹ Información tomada de referencia [7], capítulo: Potencial de las fuentes renovables en el Perú, cuadro 3.1

1.3 Energía Eólica en el Perú

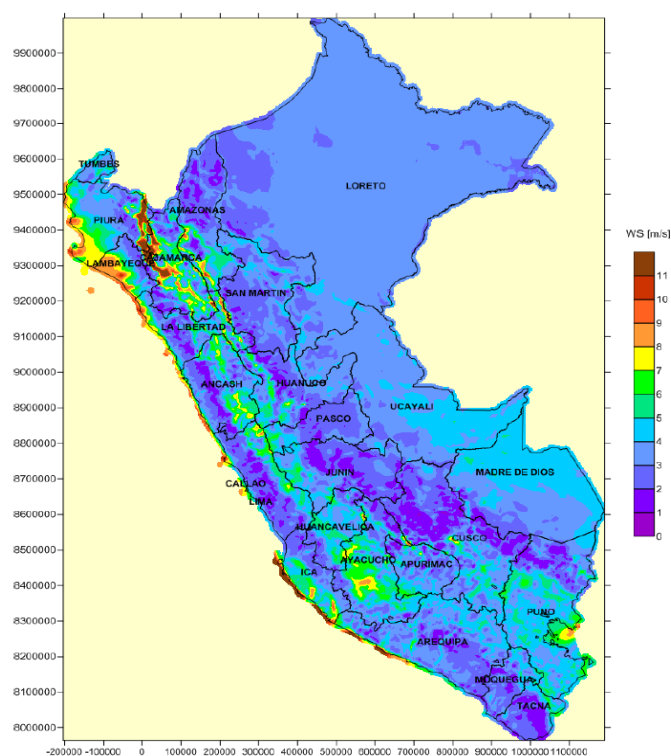
Acorde al COES-SINAC, la potencia eólica instalada en el año 2018 fue de 376 MW tal como se detalla en la tabla 2. En los últimos 3 años ha tenido un incremento del 153%, siendo el recurso renovable con mayor producción eléctrica en el Perú.

Tabla 2: Potencia instalada por cada planta eólica en el 2018 en Perú¹².

Empresa	Central	Número de aerogeneradores	Potencia instalada (MW)
ENEL GREN	C.E. WAYRA	42	132,3
ENERGÍA EÓLICA	C.E. CUPISNIQUE	45	83,2
	C.E. TALARA	17	30,9
PE MARCONA	C.E. MARCONA	11	32
PE TRES HERMANAS	C.E. TRES HERMANAS	33	97,2
			375,6

Sin embargo, esto sólo representa el 2.9% de la producción de energía generada en todo el país. Acorde con el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), menos del 2% del recurso eólico ha sido explotado a la fecha, por lo que hay una gran brecha que el Estado Peruano tiene por acortar. En ese sentido, el Estado Peruano tiene una oportunidad de crecimiento de la industria eólica, particularmente en las zonas costeras tales como: Piura, Lambayeque, Ica y Ancash, tal como se observa en la figura 6.

Figura 6: Mapa de velocidad de viento promedio anual¹³



¹² Información tomada de referencia [6], capítulo: Distribución por tipo de recurso energético de la energía producida en el 2018, cuadro 7.8

¹³ Información tomada de referencia [8], figura D.3.

1.4 Energía Eólica en el Mundo

La energía eólica instalada en el mundo creció un 9,6% en 2018, según datos del Global Wind Energy Council (GWEC), hasta situarse en 591 GW. La figura 7 muestra el crecimiento anual de la potencia eólica instalada en el mundo, esto a raíz a que más países migran su matriz energética a este tipo de tecnología.

Figura 7: Potencia eólica instalada en el mundo¹⁴



El potencial de la energía eólica en el mundo es enorme, y permitirá expandir la energía renovable a escala mundial con miras a enfrentar el cambio climático global, aumentar el acceso a la electricidad y estimular el desarrollo económico. En la tabla 3, se muestra el ranking de países con mayor potencia eólica instalada, siendo los primeros: China, Estados Unidos, Alemania, India y España.

Tabla 3: Ranking de países con mayor potencia eólica instalada¹⁵

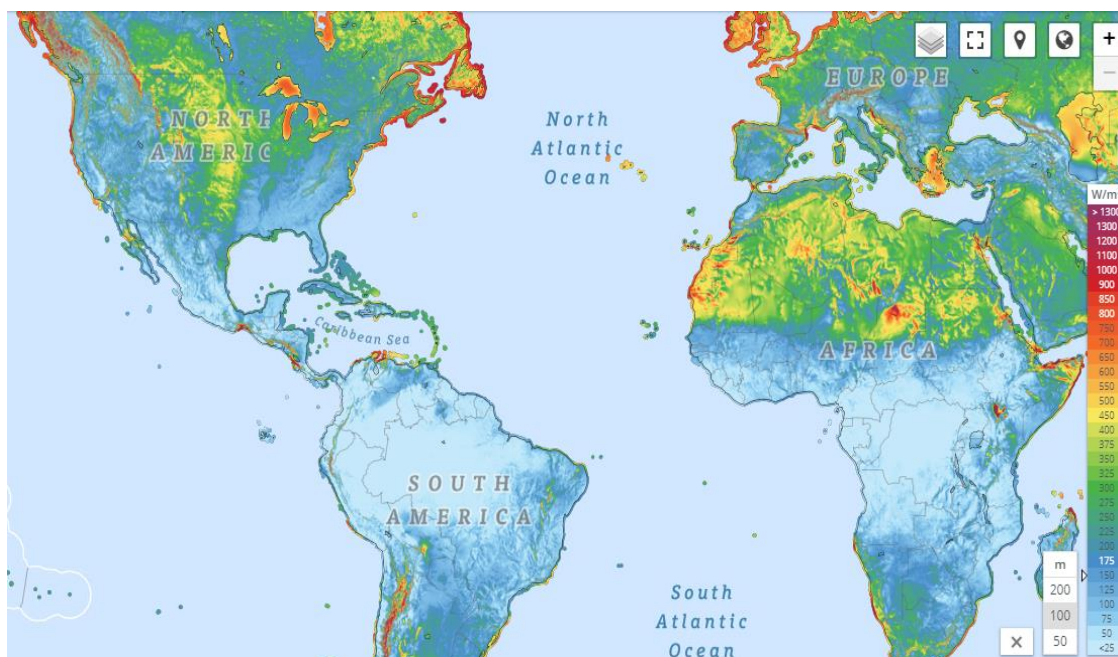
Países	2018
China	211
Estados Unidos	97
Alemania	59
India	35
España	23
Reino Unido	21
Francia	15
Canadá	13
Brasil	15
Italia	10
Resto del mundo	91

¹⁴ Información tomada de referencia [9], pág. 28

¹⁵ Información tomada de referencia [9], pág. 29

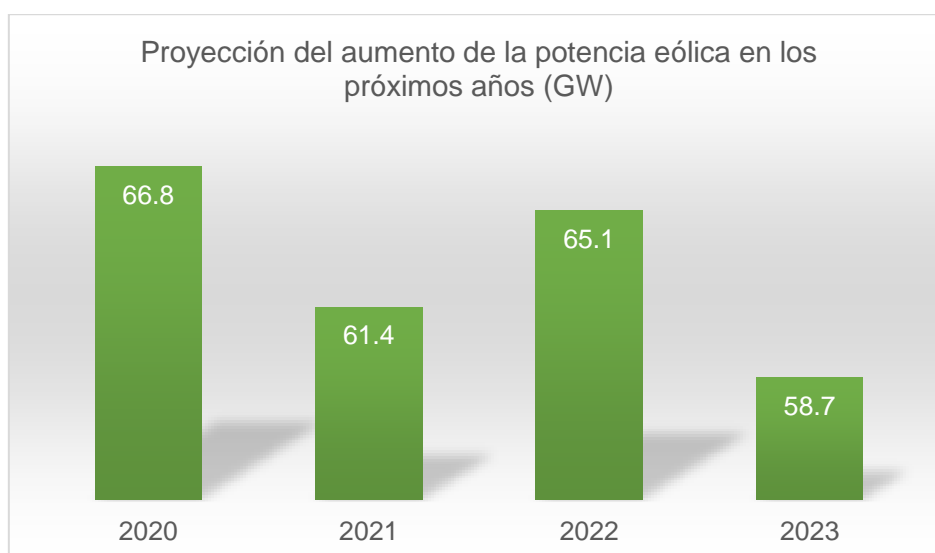
En la figura 8, se muestra un mapa mundial de la potencia del viento, donde se pueda observar que varias regiones de Europa, Norte América, América Latina, África y el Sur-este asiático presentan un alto potencial para la aplicación de esta tecnología.

Figura 8: Densidad de potencia eólica en el mapa mundial(W/m²)¹⁶



Acorde al Global Wind Energy Council, las expectativas de crecimiento prevén un aumento anual promedio de 63GW de nuevas plantas eólicas del 2020 al 2023, tal como muestra la figura 9. Con acuerdos bilaterales eficaces y el apoyo gubernamental se hará posible desarrollar la industria eólica en todos los continentes.

Figura 9: Expectativas de crecimiento de instalaciones eólicas en el mundo¹⁷



¹⁶ Imagen tomada de la web: <https://globalwindatlas.info/>

¹⁷ Información tomada de referencia [9], pág. 54

1.5 Energía Solar Fotovoltaica en el Perú

En el Perú, se usa esta forma de energía en la telecomunicación y cada vez más en la industria por ejemplo en la agricultura para el bombeo de agua, en minas y otros sectores.

Con una parte importante de la población rural todavía sin conexión a la red, la energía solar fotovoltaica es, en vista de una escasa densidad de población, las vastas distancias y otros retos, frecuentemente la forma más económica para brindar electricidad a casas, oficinas, escuelas, centros de salud y otros establecimientos. Desde los años 80 (más de 25 años) existen proyectos de energía solar y el gobierno cada vez más promueve esta forma de energía para la población rural aislada. Actualmente, el Estado Peruano tiene como objetivo aumentar la electrificación demás de 500,000 hogares con energía solar.

El Ministerio de Energía y Minas (MEM) del Perú ha diseñado una plataforma interactiva del Atlas Solar del Perú, publicado en 2003 como parte de los programas para reforzar la electrificación rural con sistemas fotovoltaicos. La figura 10 muestra un mapa extraído de dicha plataforma, perteneciente al mes de agosto, donde brindan daos de irradiancia en todo el territorio peruano. El promedio anual de la irradiancia varía desde 4.5 en la Amazonía hasta 6.5kWh/día en el sur. En la zona del altiplano es más de 5.5kWh/día. Estos valores son excelentes y altamente favorecen instalaciones en todo el país.

Estos valores son superiores a las que presenta Alemania, donde la mayoría de los sistemas fotovoltaicos al nivel mundial están instalados, siendo el promedio anual de la radiación llega solamente a 3.01kWh/día.¹⁸

Figura 10: Energía Solar Incidente promedio anual en Perú¹⁹



¹⁸ Información tomada de referencia [10]

¹⁹ Fuente: SENAMHI, Mapa de energía solar incidente en el Perú

El proyecto de electrificación se incluye dentro del Plan Renovable del Ministerio de Energías y Minas con el que se pretende conseguir el 100% de electrificación rural para el año 2021. Sólo desde 2016 y hasta noviembre de 2018 se instalaron 95.000 sistemas fotovoltaicos, uno en cada vivienda. En 2019, el plan continúa a pasos agigantados y a actualmente, se están llevando a cabo 56 obras de electrificación rural que beneficiarán alrededor de 286.000 personas.²⁰

1.6 Energía Solar Fotovoltaica en el Mundo

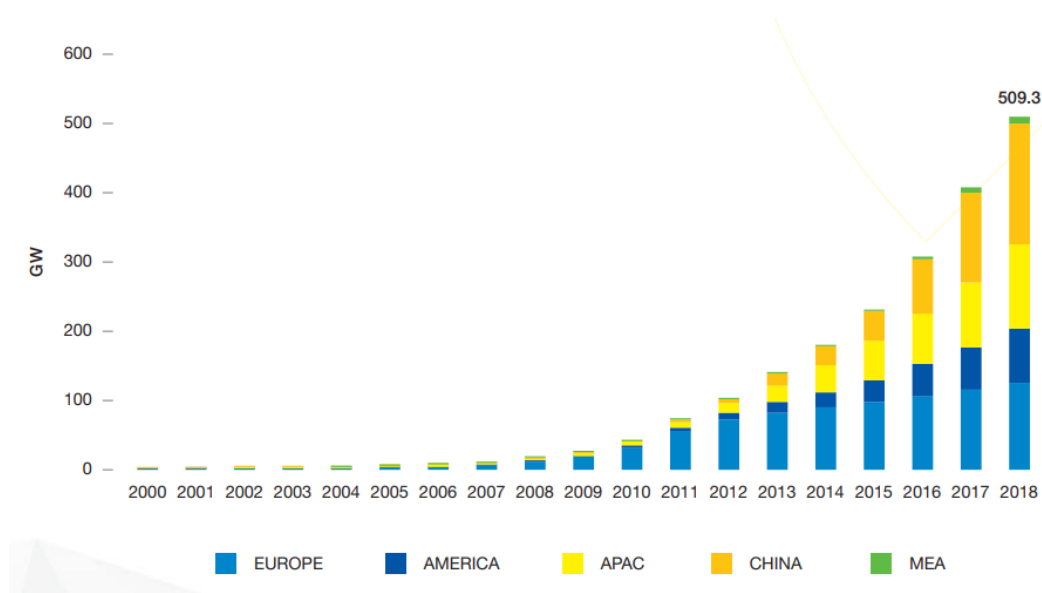
El crecimiento mundial de la energía solar fotovoltaica ha seguido una curva exponencial durante más de dos décadas. Durante este periodo de tiempo, ha evolucionado desde un nicho de mercado basado en aplicaciones de pequeña escala hasta convertirse en una fuente convencional de electricidad.

Cuando los sistemas fotovoltaicos se reconocieron por primera vez como una tecnología de energía renovable prometedor, se comenzaron a implementar programas de subvenciones en diferentes países para proporcionar incentivos económicos a las inversiones. Durante varios años, el crecimiento fue principalmente conducido por Japón y varios países europeos pioneros como Alemania.

Como consecuencia, el coste de la energía solar fotovoltaica ha declinado significativamente debido a las mejoras en tecnología y economías de escala, sobre todo cuando la producción de módulos y células solares empezó a dispararse en China. Desde entonces, el despliegue de la fotovoltaica se está produciendo a cada vez mayor escala, particularmente en Asia, pero también en América del Norte y otras regiones, donde la energía solar está compitiendo cada vez más con fuentes de energía convencional, al alcanzarse la paridad de red en aproximadamente 30 países.

Acorde a Solar Power Europe, a finales de 2018, la energía solar fotovoltaica instalada en el mundo alcanzaba los 509 GW, tal como muestra en la figura 11, y se convertía en la primera fuente de energía eléctrica renovable en capacidad desplegada a nivel mundial.

Figura 11: Crecimiento de la potencia solar fotovoltaica instalada en el mundo²¹



²⁰ Información tomada de referencia [11]

²¹ Información tomada de referencia [12], figura 8, pág. 14

CAPÍTULO 2: SISTEMAS HÍBRIDOS

2.1 Introducción

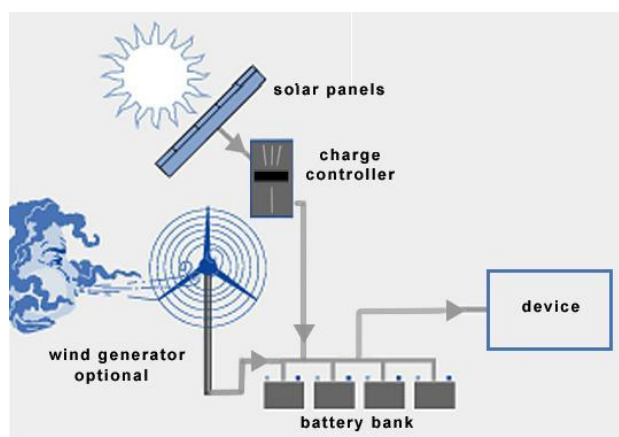
Los sistemas híbridos han cobrado un papel fundamental para los diferentes desarrollos energéticos a nivel mundial para el suministro de electricidad. Un sistema de energía híbrido consiste generalmente en dos o más fuentes de energía renovable que se utilizan de manera conjunta para proporcionar una mayor eficiencia del sistema y un mayor equilibrio en el suministro de energía. En ciertas ocasiones, cuando no hay energía solar o eólica disponible, la mayor parte de los sistemas híbridos suministran energía por medio baterías y/o un generador de motor alimentado por combustibles convencionales como el diésel.

Las diferentes combinaciones de fuentes renovables hacen posible el mejoramiento de diferentes recursos.

2.2 Sistemas híbridos eólico-solar

Este sistema combina un aerogenerador y placas fotovoltaicas, que aprovecha al máximo los recursos del sol y del viento disponibles las 24 horas del día y así optimizar las horas de generación de energía, siendo posible abastecer el 100 % de los consumos eléctricos de una vivienda media. La figura 12, muestra el diagrama de un sistema híbrido utilizando fuente solar y eólico.

Figura 12: Diagrama de un sistema híbrido eólico-solar²²



En el Perú se cuenta con gran potencia de fuentes renovables, y en algunas ciudades se cuenta tanto recursos solares como eólicos, siendo posible la instalación de este sistema híbrido.

Dado que la energía solar fluctúa y la capacidad de generación de los grupos electrógenos diésel se limita a un cierto rango, a menudo es una opción viable incluir el almacenamiento de la batería para optimizar la contribución de la energía solar a la generación general del sistema híbrido.

Los mejores casos de negocios para la reducción de diésel con energía solar y energía eólica normalmente se pueden encontrar en ubicaciones remotas porque estos sitios a menudo no

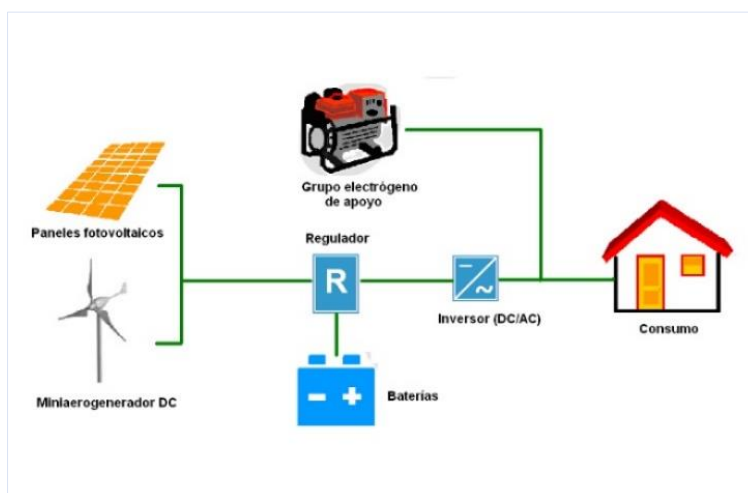
²² Imagen tomada de la web: http://www.asolanosolar.com/sistemas_h%C3%ADbridos_solar-e%C3%B3licos/sistema_h%C3%ADbrido_solar-e%C3%B3lico_en_panam%C3%A1

están conectados a la red y el transporte de diésel a largas distancias es costoso. Muchas de estas aplicaciones se pueden encontrar en el sector de la minería y en las islas

2.2.1 Sistemas híbrido autónomo

Sistema de generación híbrida no conectada a la red eléctrica. La necesidad de un suministro eléctrico, para satisfacer la demanda de la sociedad actual, en emplazamientos alejados de la red de distribución eléctrica, ha fomentado el desarrollo de estos tipos de sistemas de generación aislada de energía eléctrica. Estos sistemas al no tener alimentación de red externa requerirán baterías de almacenamiento que permita garantizar el suministro de energía durante los momentos que no se cuente con el recurso solar o eólico, acorde al diagrama mostrado en la figura 13.

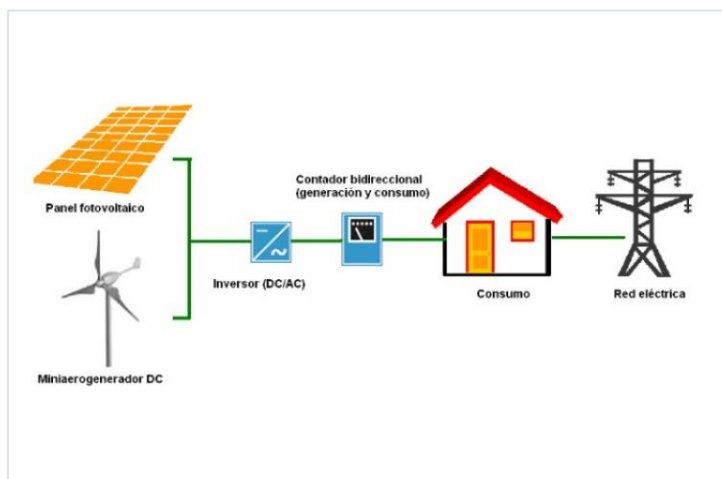
Figura 13: Diagrama de un sistema híbrido autónomo²³



2.2.2 Sistema híbrido conectado a la red

Este permite enlazar con la red eléctrica externa, también, con un sistema secundario para el suministro de energía a los equipos básicos de la vivienda, de manera independiente y, con ello, asegura ante cualquier incidente, acorde al diagrama mostrado en la figura 14. Si el consumo es superior a la energía fotovoltaica, el inversor tomara la energía que le falta de la red pública.

²³ Imagen tomada de la web: <https://www.barloventorecursos.com/es/destacados/micro-renova-calculo-energetico-y-operacion-de-sistemas-hibridos-de-pequena-potencia>

Figura 14: diagrama de un sistema híbrido conectado a la red²⁴

2.3 Normativa aplicable al proyecto

Las instalaciones eléctricas híbridas son tecnologías que están ingresando paulatinamente al territorio peruano, por lo que la reglamentación asociada a instalaciones de baja tensión se encuentra en proceso de desarrollo. En la actualidad, las normativas peruanas, relacionadas al sistema híbrido, son generales y buscan impulsar el desarrollo renovable a través de centrales de generación eléctrica, mejorar la eficiencia energética, así como el uso de fuentes renovables en sector rurales.

En ese sentido, para este proyecto se aplicará la normativa europea y española, que presentan un mayor desarrollo y aplicación a detalle sobre el dimensionamiento y consideraciones técnicas para la instalación eléctrica de un sistema de autoconsumo en una zona urbana o rural.

2.3.1 Normativa de Autoconsumo Europeo

La Unión Europea a través de la iniciativa 'Clean energy for all Europeans', el cual es una directiva orientada al periodo 2021-2030 para "mantener la competitividad de la UE en la transición hacia las energías limpias que están transformando los mercados energéticos globales. Donde se indica que los consumidores o comunidades de consumidores tendrán derecho a producir, almacenar o vender su propia electricidad, pudiendo beneficiarse de la caída de costes de los paneles solares para los tejados y otras unidades de generación de pequeña escala para ayudarles a reducir las facturas de la luz". También se defiende el autoconsumo compartido entre hogares, edificios e industrias.

Esto permitirá otorgar más derechos a los consumidores y facilita su participación en el mercado como consumidores activos. El hecho de que los proveedores de electricidad puedan fijar sus propios precios limitará las distorsiones del mercado, aumentará la competencia y reducirá los precios para los consumidores. Gracias a la nueva normativa sobre responsabilidades de comercio y balance, el sistema eléctrico podrá dar cabida a la generación variable de electricidad procedente de fuentes renovables.

2.3.2 Normativa Española ²⁵

a) Normativa de Autoconsumo

²⁴ Imagen tomada de la web: <https://www.barloventorecursos.com/es/destacados/micro-renova-calculo-energetico-y-operacion-de-sistemas-hibridos-de-pequena-potencia>

²⁵ Definición tomada de referencia [13]

El 05 de abril se promulgo el Real Decreto 244/2019, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.

En este Real Decreto se establece 3 tipos de modalidades de autoconsumo, las cuales son: Autoconsumo sin excedentes, Autoconsumo con excedente sin compensación y autoconsumo con excedentes con compensación.

- Autoconsumo sin excedentes: es necesario un mecanismo anti vertido que impida la inyección a red. En el Anexo 1 de este documento se incluyen los tipos de sistemas permitidos, así como los esquemas de conexionado de los mismos. De acuerdo con la Ley 24/2013, este tipo de autoconsumidores tendrá la consideración de “sujeto consumidor”
- Autoconsumo con excedentes: las que inyectan energía a la red de transporte y distribución. Bajo esta modalidad existirán dos figuras: (i) “sujeto consumidor” y (ii) “sujeto productor”. Asimismo, la modalidad de autoconsumo con excedente se subdivide en dos categorías.
 - i) **Excedentes acogidas a compensación**: cuando se cumplan todas las condiciones siguientes: (i) tecnología renovable, (ii) $P \leq 100 \text{ kW}$, (iii) Si resultase necesario solo se hubiera suscrito un único contrato de suministro para consumo y servicios auxiliares, (iv) el autoconsumidor haya suscrito un contrato de compensación de excedentes y (iv) instalaciones no sujetas a Régimen Retributivo Específico.
 - ii) **Excedentes no acogidas a compensación**: cualquiera que no cumpla todos los requisitos del anterior” o que o quieran acogerse a esa modalidad.

Los principales aspectos son:

- Reglamentación del autoconsumo colectivo.
- Para instalaciones fotovoltaicas la potencia instalada será la potencia máxima del inversor.
- Se permite que el consumidor y el propietario de la instalación sean diferentes.
- Simplificación de tramitación: Las instalaciones sin excedentes o las de excedentes de hasta quince kilovatios (15 kW) no necesitan permisos de acceso y conexión. Para instalaciones de hasta 100 kW conectadas a baja tensión el contrato de acceso con la distribuidora será realizado de oficio por la empresa distribuidora.
- Establece los equipos de medida a instalar: De forma general, solamente hace falta un equipo de medida bidireccional en el punto frontera. Los autoconsumos colectivos, con excedentes no acogidos a compensación con varios contratos de suministro o tecnología no renovable deberán contar con 2 equipos. Uno para consumo y otro que mida la generación neta. En ciertos casos, se permite que el contador de medida se ubique fuera del punto frontera.

Establece el régimen económico. Se establecen varias posibilidades en función del tipo de autoconsumo: Autoconsumo con excedentes acogidos a compensación: Pueden (i) vender la energía en el pool, o (ii) compensar mensualmente excedentes, mediante la valoración de la energía horaria excedentaria. El importe por compensar nunca podrá

b) Reglamento electrotécnico para baja tensión (REBT)

Tiene por objeto establecer el marco de las condiciones técnicas y garantías que deben reunir las instalaciones eléctricas conectadas a una fuente de suministro en los límites de baja

tensión, con la finalidad de preservar la seguridad de las personas y los bienes, asegurar el normal funcionamiento de dichas instalaciones y prevenir las perturbaciones en otras instalaciones y servicios, y contribuir a la fiabilidad técnica y a la eficiencia económica de las instalaciones. Las instrucciones técnicas complementarias (ITC) desarrollan aspectos específicos del mismo, entre las que destacan para este proyecto:

- ITC-BT-18: Instalaciones de puesta a tierra
- ITC-BT-22: Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra sobreintensidades
- ITC-BT-23: Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra sobretensiones
- ITC-BT-40: Instalaciones generadoras de baja tensión

2.3.3 Normativa Peruana

La normativa peruana sobre aplicaciones híbridas de baja tensión se encuentra en desarrollo, no obstante, es importante mencionar que las actuales normativas renovables ayudan a que un futuro cercano se promueva a detalle la reglamentación para instalación de esta tecnología a zonas de baja tensión.

a) Normativa Peruana para Promoción Renovable

La evolución de la legislación peruana en materia de energías renovables ha sufrido cambios significativos en los últimos quince años. Dichos cambios han ayudado a fomentar y promover el uso y aplicación de las energías renovables en sectores rurales del Estado Peruano. Entre ellas se destacan:

Mayo del 2008: Decreto Legislativo N° 1002 – “Ley de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el Uso de Energía Renovables”: El 01 de mayo del año 2008 se promulgó esta norma con el fin de promover el aprovechamiento de los Recursos Energéticos Renovables (tales como biomasa, eólico, solar, geotérmico, mareomotriz e hidráulica, cuando la capacidad instalada no sobrepasa de los 20 MW), y establecer una participación anual del 5% de la generación eléctrica del país en los próximos 5 años.

DS. 050-2008-EM – “Reglamento de la Generación de Electricidad con Energías Renovables”: Mediante esta norma reglamentaria se establece la fórmula para la asignación de primas de energía que serán puestas en subasta (la cual se determina multiplicando el porcentaje objetivo de generación RER por el Consumo Nacional de Electricidad menos la producción real de energía RER del año previo proveniente de generadores adjudicatarios).

b) Normativa Peruana de Autoconsumo

Respecto a la normativa de autoconsumo, el Estado Peruano viene promoviendo modernamente estas prácticas, a través de los siguientes decretos:

Decreto Legislativo N°1221, Ley que mejora la Regulación de la Distribución para Promover el Acceso a la Energía Eléctrica en el Perú: Aprobado en el 2015 y se establecen que los usuarios del servicio público de electricidad que disponen de equipamiento de generación eléctrica renovable no convencional o de cogeneración, hasta la potencia

máxima establecida para cada tecnología, tienen derecho a disponer de ellos para su propio consumo o pueden inyectar sus excedentes al sistema de distribución.

Ley 28546: Promoción y Utilización de Recursos Energéticos Renovables no convencionales en Zonas Rurales Aisladas y de Frontera del País: Esta Ley promueve el uso de las energías renovables no convencionales para fines de electrificación en las zonas rurales aisladas y de frontera del país. Para ello, clasifica las energías en convencionales y no convencionales y permite ejecutar proyectos de energía renovables no convencionales en zonas aisladas.²⁶

El Proyecto PER/98/G31 “Electrificación Rural a Base de Energía Fotovoltaica en el Perú: Tiene como objetivo promover la aplicación sostenible de energía fotovoltaica en zonas rurales del país, como una alternativa limpia y libre de la emisión de gases de efecto invernadero.

²⁶ Definición tomada de referencia [14]

CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

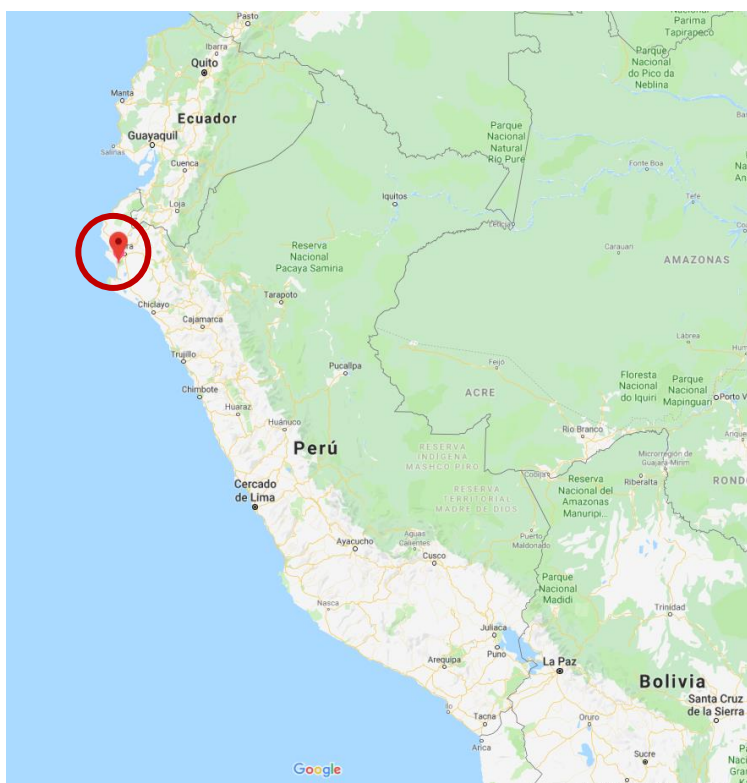
3.1 Locación

La localidad donde se realizará la instalación del sistema híbrido es el “Caserío Yapato”, ubicado en el noroeste del territorio peruano en el distrito La Union, Provincia Sechura, Departamento Piura.

El Caserío Yapato se sitúa a unos 40 km al Sur de la ciudad de Piura, en pleno desierto de Sechura. Asimismo, presenta una extensión aproximada de 0.19 km², y se ubica a 8 msnm (metros sobre el nivel del mar), presentando una superficie totalmente plana, con pocas plantaciones de árboles de baja estatura que le dan poca aparición de sombras, siendo ideal para la instalación de paneles fotovoltaicos.

En la figura 15 se muestra la ubicación del Caserío Yapato referenciado en el mapa peruano, siendo sus coordenadas: Latitud: 5.489056 S, Longitud: 80.811778 O.

Figura 15: Ubicación del “Caserío Yapato” en el territorio peruano²⁷



El centro poblado está formado por un total de 70 familias alojadas en 65 viviendas, las cuales están ubicadas en forma dispersa a lo largo de su área de extensión.²⁸

Además, el Caserío Yapato cuenta con un local comunal de uso múltiple, donde se llevan a reuniones, eventos, gestiones administrativas, entre otros. Además, cuenta con un solo centro educativo de formación de grado primaria y una posta médica que permite atender enfermedades básicas²⁹.

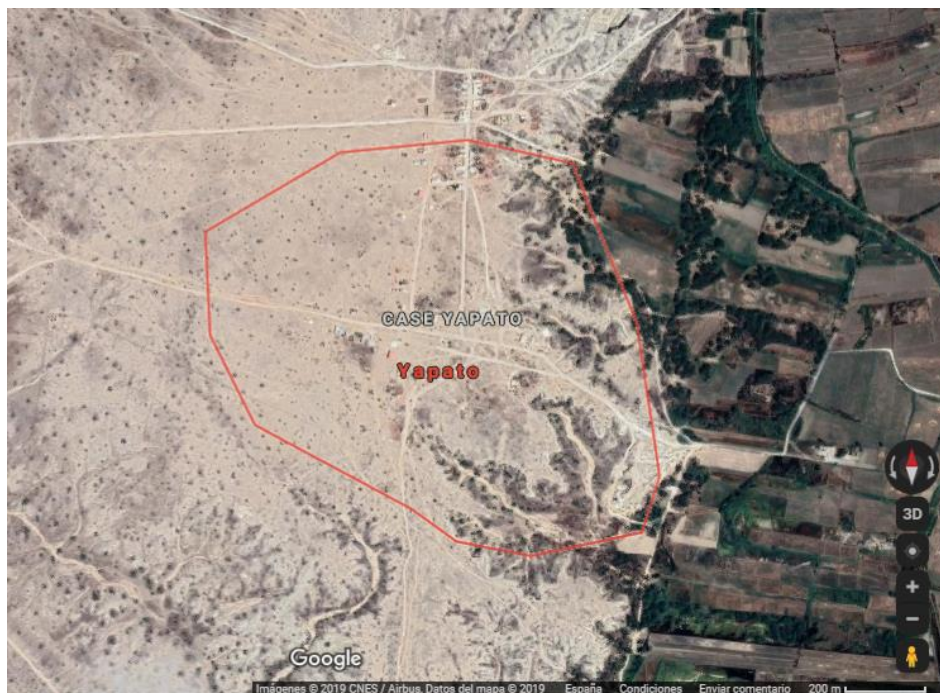
²⁷ Fuente: Google Maps

²⁸ Información relevada en visita al Caserío Yapato

²⁹ Información relevada en visita de Caserío Yapato

En la figura 16, se muestra una imagen satelital del Caserío Yapato, donde se puede observar que la zona es totalmente desértica, con algunas áreas de cultivos que son aprovechadas por las personas del centro poblado.

Figura 16: Imagen satelital del Caserío Yapato³⁰



El acceso a esta localidad se da por trochas carrozables o por caminitos poco accesible, tal como se muestra en la figura 17. Aproximadamente a 1.3 km se encuentra la carretera que conecta las ciudades de Sechura y el centro de la ciudad Piura.

Figura 17: Carretera de acceso al Caserío Yapato³¹



³⁰ Fuente: Google maps

³¹ Fotografía propia

3.2 Actividad Económica

A pesar de la aridez del clima y los suelos en ocasiones improductivos, la población del Caserío Yapato se dedica principalmente a la agricultura. De acuerdo con lo manifestado por los pobladores, se realiza la siembra de alimentos como maíz, frijol, zapallo, hortalizas. Para el regadío cuentan con 3 motobombas de una potencia de 2HP cada una y tiene un área de regadío del agua de 46 hectáreas. Estos equipos fueron donadas por el municipio de Sechura.³²

- Con relación a la ecología del lugar, hay formas de vida que han logrado adaptarse a las rigurosas condiciones ambientales existentes en el desierto de Sechura. Las personas del lugar han logrado adaptarse a la vida en el desierto, aprovechando eficientemente la poca agua disponible, viviendo en las cercanías de manantiales, o en los cauces secos de ríos.
- Respecto a su fauna, el Caserío Yapato presenta pocos ecosistemas y estos son frágiles, además la diversidad de organismos es muy baja, esto debido a que tiene una superficie totalmente desértica, tal como se muestra la figura 18.

En la parte norte del desierto del Pacífico, en el desierto de Sechura, se han reportado sólo 34 especies de aves, 7 especies de reptiles (Iguanidae y Teiidae), y 2 especies de mamíferos (Canidae y Mustelidae). También se encuentran cabras y burros en estado silvestre.³³

Figura 18: Zona desértica del Centro Poblado³⁴



Es una localidad que presenta varias necesidades y limitaciones. Las condiciones de vivienda han ido mejorando al transcurrir los años, y con el apoyo del gobierno regional han podido establecerse como Caserío y tener mayores beneficios.

3.3 Acceso a red eléctrica.

El Caserío Yapato es uno de los pueblos desérticos de la provincia de Sechura que cuenta con extensas tierras comunales donde hay gran potencial de yacimientos mineros que atraen a las empresas internacionales para la explotación de los fosfatos. Sin embargo, los beneficios y regalías que se generan por esta actividad económica no llegan a las poblaciones aledañas necesitadas, como es el caso del Caserío Yapato.

³² Información relevada en visita a Caserío Yapato

³³ Información tomada de referencia [15]

³⁴ Imagen tomada de la web: <https://www.iperu.org/desierto-de-sechura>

Actualmente, el Caserío Yapato no cuenta con acceso a la red eléctrica nacional debido a la lejanía con ciudades importantes y su difícil acceso, por lo que tender una red de alta tensión no es económicamente rentable para el gobierno nacional. Sin embargo, el Caserío Yapato ha recibido el apoyo del gobierno regional, a través de la adquisición de generadores eléctricos que les permite iluminar el interior de los hogares, locales comunales y las calles del centro poblado. Asimismo, cuentan con unas motobombas que son usados para el regadío de los suelos agrícolas que se encuentran a 60 metros del lugar.³⁵

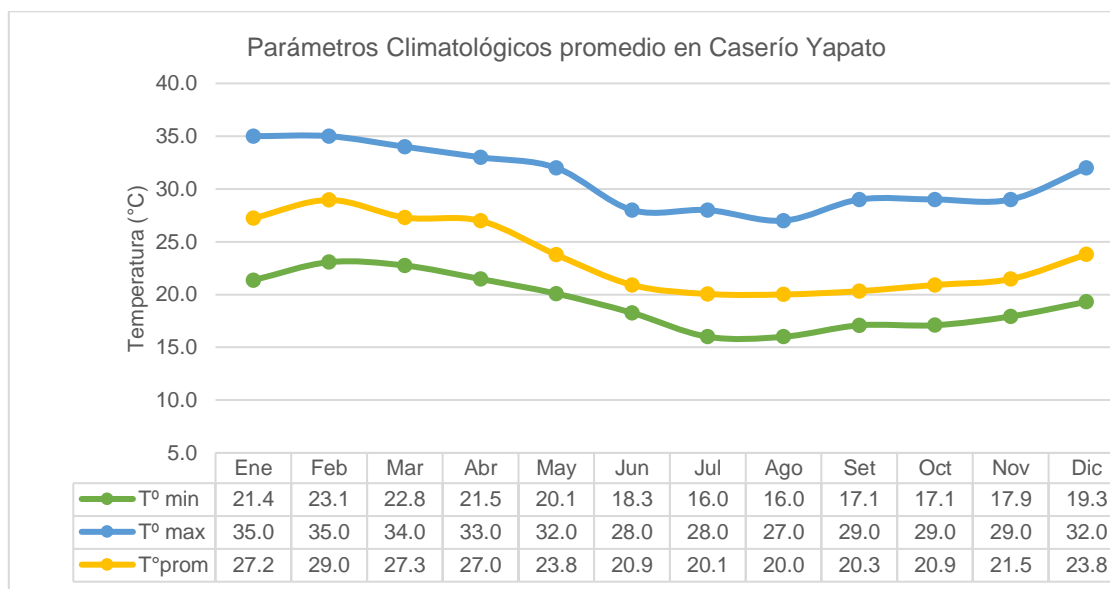
En el año 2015, El Ministerio de Energía y Minas (MEM) aprobó el Plan Nacional de Electrificación Rural (PNER) al periodo 2015-2024, con el objeto de establecer el marco normativo para la promoción y el desarrollo eficiente y sostenible de la electrificación de zonas rurales, localidades aisladas y de frontera del Perú. Este plan busca consolidar los planes de desarrollo regional y local concertados, los programas de expansión de las empresas concesionarias y distribución eléctrica y de electrificación rural, las iniciativas privadas y los programas o proyectos a desarrollarse por el Gobierno Nacional.³⁶ Esto permitirá beneficiar a varios lugares donde aún no cuentan con acceso a la red eléctrica nacional.

3.4 Condiciones climáticas del Caserío Yapato

El Caserío Yapato se sitúa en el desierto de Sechura, al norte del territorio peruano, uno de los desiertos más grande del Perú y con proximidad a la línea ecuatorial, presentando un clima del tipo árido, seco y subtropical.

En verano, la temperatura se extiende de 22° C a 35° C. En invierno (junio con septiembre), es fresco y nublado con temperaturas que varían de 16° C durante la noche y de 28° C durante el día, tal como se muestra en la figura 19.

Figura 19: Evolución de la Temperatura en Caserío Yapato, tomado de la estación CHUSIS (SENAMHI)³⁷



Para obtener la información meteorológica se utiliza la estación CHUSIS, acorde al SENAMHI, el cual se encuentra a 4km del Caserío Yapato, siendo este el más cercano al centro poblado.

³⁵ Información relevada en visita al Caserío Yapato

³⁶ Información tomada de referencia [11]

³⁷ Fuente: SENAMHI, Estación Base CHUSIS.

Asimismo, la ausencia casi absoluta de lluvias se debe a que los vientos alisios cargados de humedad pasan por encima de la corriente marina fría de Humboldt (en Perú), se enfrían y se produce neblina y nubes en forma de estratos entre los 800 a 1000 msnm, sin originarse lluvia³⁸. Por encima de esta capa de neblina y nubes, la temperatura asciende hasta los 24 °C. Este aire relativamente caliente absorbe la humedad impidiendo la precipitación de lluvias. Cuando la humedad relativa alcanza valores muy altos, se origina una llovizna muy fina llamada garúa.

En el desierto de Sechura, las precipitaciones son extremadamente escasas, con un promedio anual de 7mm. Solo en años excepcionales, cuando ocurre el fenómeno de El Niño, las precipitaciones pueden presentar un aumento significativo, e incluso puede originar inundaciones por los desbordes de ríos. Sin embargo, el río más cercano al Caserío Yapato se encuentra a 70km, por lo que no existe riesgo a inundación.

³⁸ Información tomada de referencia [15]

CAPÍTULO 4: ANALISIS DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LA INSTALACIÓN

El consumo actual del Caserío Yapato es limitado por la capacidad de potencia de sus moto-generados. Sin embargo, para lograr un adecuado diseño del sistema híbrido, se contemplará un escenario donde el consumo energético no presente limitación de capacidad de potencia, con el fin de asegurar un buen dimensionamiento que pueda cubrir todas las necesidades energéticas del centro poblado.

4.1 Características de consumo

Conforme a lo indicado en el punto 3.1, el Caserío Yapato presentan un total de 70 familias alojadas en 65 casas, las cuales se encuentran distribuidas a lo largo del área de extensión, 0.14 km². Para determinar el consumo energético, se analizaron el consumo por cantidad de personas (consumo familiar y grupal) y la frecuencia de consumo de cada equipo eléctrico.

4.1.1 Consumo por cantidad de personas

Consumo por familia: Se ha identificado los principales equipos usados en el Caserío Yapato. En la tabla 4 se presentan la potencia de cada una de estas con su factor de simultaneidad. Además, se ha contemplado incluir el porcentaje de población, el cual representa la cantidad de familias que tienen acceso a los equipos eléctricos.

Tabla 4: Artefactos eléctricos usados por familia³⁹

Equipo	Potencia (W)	Factor de simultaneidad	% de población ⁴⁰
Refrigeradora	140	1	50%
Iluminación interior	120	0.85	80%
Televisión de 20"	120	0.7	70%
Plancha eléctrica	600	0.4	40%

Consumo grupal: En la tabla 5 se presentan los principales equipos eléctricos de uso común para todas las familias. No se considera factor de simultaneidad ya que son usos comunes para toda la población.

Tabla 5: Equipos eléctricos usados en toda la población⁴¹

Equipo	Cantidad	Potencia por unidad (W)	Potencia total (W)
Alumbrado eléctrico exterior	10	50	500
Electrobomba de 2HP	3	1864	5592
Iluminación Posta médica	15	20	300
Iluminación Colegio	20	20	400
Equipos de computo	4	120	480

³⁹ Elaboración propia. Relevamiento de información en visita al Caserío Yapato

⁴⁰ Elaboración propia. Relevamiento de información en visita al Caserío Yapato

⁴¹ Elaboración propia. Relevamiento de información en visita al Caserío Yapato

4.1.2 Frecuencia de consumo

Los equipos eléctricos del Caserío Yapato presentan una frecuencia de uso diario semanal, y mensual. Además, se ha identificado equipos que presentan consumo anual (períodos de siembra-cultivo)⁴².

Consumo diario: En la tabla 6 se muestra la demanda horaria de los equipos que presentan una frecuencia diaria.

Tabla 6: Consumo horario - Frecuencia diaria⁴³

Hora	Refrigeradora	Iluminación interior	Alumbrado exterior	Posta médica	Demanda Horaria (Wh)
0	4,900	-	500	-	5,400
1	4,900	-	500	-	5,400
2	4,900	-	500	-	5,400
3	4,900	-	500	-	5,400
4	4,900	-	500	-	5,400
5	4,900	-	500	-	5,400
6	4,900	-	500	-	5,400
7	4,900	5,712	-	-	10,612
8	4,900	5,712	-	300	10,912
9	4,900	5,712	-	300	10,912
10	4,900	5,712	-	300	10,912
11	4,900	5,712	-	300	10,912
12	4,900	5,712	-	300	10,912
13	4,900	5,712	-	300	10,912
14	4,900	5,712	-	300	10,912
15	4,900	5,712	-	300	10,912
16	4,900	5,712	-	300	10,912
17	4,900	5,712	-	300	10,912
18	4,900	5,712	-	-	10,612
19	4,900	-	500	-	5,400
20	4,900	-	500	-	5,400
21	4,900	-	500	-	5,400
22	4,900	-	500	-	5,400
23	4,900	-	500	-	5,400

En la tabla 7, se muestra el factor de utilización contemplado para cada día de la semana, siendo los fines de semana los días de mayor utilización de los equipos eléctricos⁴⁴.

Tabla 7: Factor de utilización establecido por día

Día	Factor de utilización
Lunes	0.75
Martes	0.8
Miércoles	0.85
Jueves	0.95
Viernes	0.9
Sábado	0.95
Domingo	0.97

⁴² Elaboración propia. Relevamiento de información en la visita de campo al Caserío Yapato

⁴³ Elaboración propia. Relevamiento de información en la visita de campo al Caserío Yapato

⁴⁴ Elaboración propia. Relevamiento de información en la visita de campo al Caserío Yapato

Consumo semanal: En la tabla 8 se presenta el perfil de demanda eléctrica horaria los equipos que presentan una frecuencia semanal de su consumo. Asimismo, se ha incluido el factor de simultaneidad de cada equipo, en función del día de uso, así como los días de uso, el tiempo de uso y las horas del día donde son mayoritariamente usados.

Tabla 8: Consumo horario - frecuencia semanal⁴⁵

Equipo	Días de uso	Tiempo de uso (hrs)	Hora del día	Factor de simultaneidad
Televisión de 20"	Jueves	2 hrs	13:00-15:00 hrs	0.6
	Viernes	2 hrs y 15 min	13:00-15.15 hrs	0.7
	Sábado	2 hrs y 30 min	13:00-15.30 hrs	0.75
	Domingo	3 hrs	13:00-16:00 hrs	0.75
Plancha eléctrica	Sábado	30 min	10 hrs a 10:30 hrs	0.25
	Domingo	45 min	11 hrs a 11:45 hrs	0.3

Consumo por periodos mensuales: En la tabla 10 se presenta el perfil de demanda horaria de los equipos que presenta un consumo mensual similar. Estos consumos están relacionadas a las actividades académicas que presentan el colegio ubicado en el Caserío Yapato.

Tabla 9: Consumo horario - Frecuencia mensual⁴⁶

Equipos	Mes	Días de uso	Tiempo de uso	Horario
Iluminación Colegio	Marzo a Diciembre	Lunes a viernes	6 hrs	8 a 14 hrs
Equipos de computo	Marzo a Diciembre	Lunes a viernes	3 hrs	9 a 12 hrs

Asimismo, en la tabla 9 se presenta el consumo horario de la electrobomba, el cual es utilizado en la temporada agrícola de siembra y cosecha.

Tabla 10: Consumo horario - Frecuencia temporada de siembra⁴⁷

Equipo	Meses	Días de uso	Tiempo de uso	Horario del día
Electrobomba de 2HP	Enero-febrero / Agosto-septiembre	Lunes	4 hrs	7 a 11 hrs
		Martes	4 hrs y 30 min	7 a 11 hrs
		Miércoles	5 hrs	8 a 13 hrs
		Jueves	3.5 hrs	7 a 10 hrs
		Viernes	3 hrs	7 a 10 hrs

⁴⁵ Elaboración propia. Relevamiento de información en la visita de campo al Caserío Yapato

⁴⁶ Elaboración propia. Relevamiento de información en la visita de campo al Caserío Yapato

⁴⁷ Elaboración propia. Relevamiento de información en la visita de campo al Caserío Yapato

4.2 Perfil de carga de la instalación

Con las características de consumo de los equipos calculados en el punto 4.1, se determinó el perfil de carga horaria para cada mes del año. Los perfiles se han agrupado en 4 bloques (1er bloque: enero-febrero, 2do bloque: marzo julio, 3er bloque: agosto-septiembre, 4to bloque: octubre-diciembre). En las siguientes figuras 20, 21, 22 y 23 se muestra los perfiles de carga en cada bloque:

Figura 20: Perfil de carga del 1er bloque (enero-febrero)⁴⁸

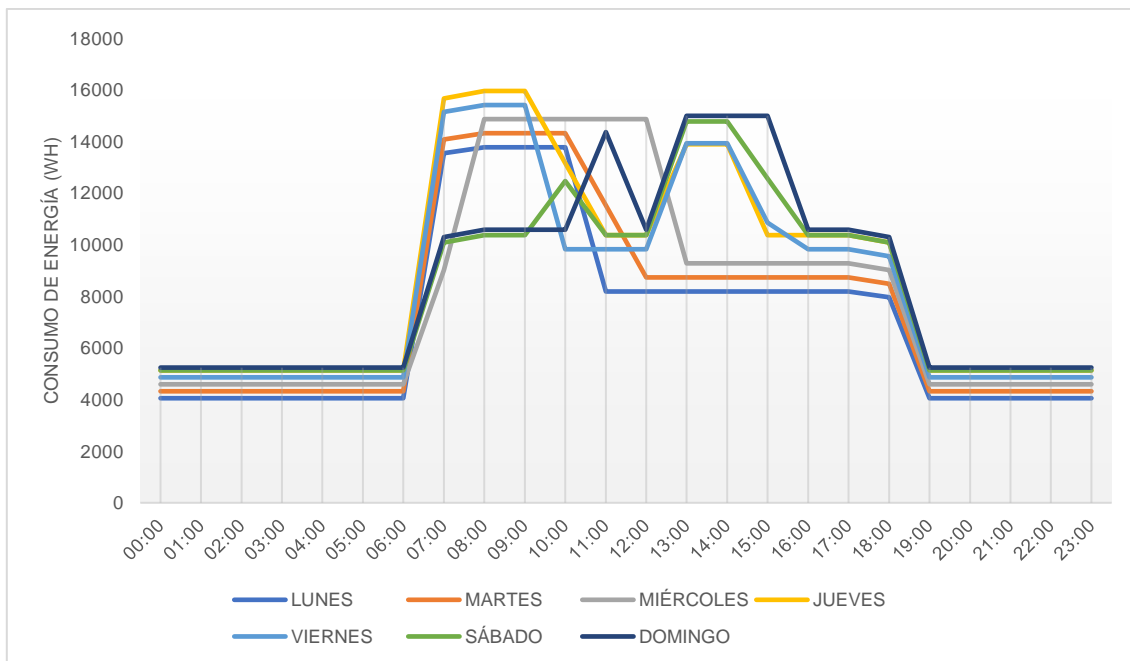
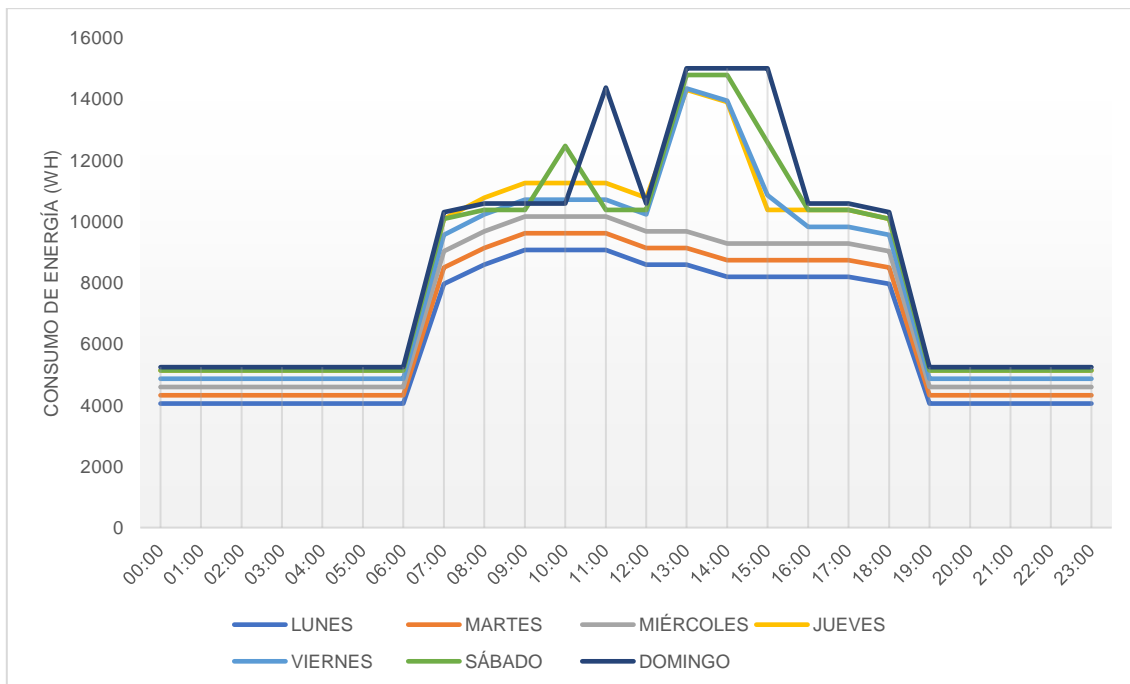


Figura 21: Perfil de carga del 2do bloque (marzo - julio)⁴⁹



⁴⁸ Elaboración propia

⁴⁹ Elaboración propia

Figura 22: Perfil de carga del 3er bloque (agosto - septiembre)⁵⁰

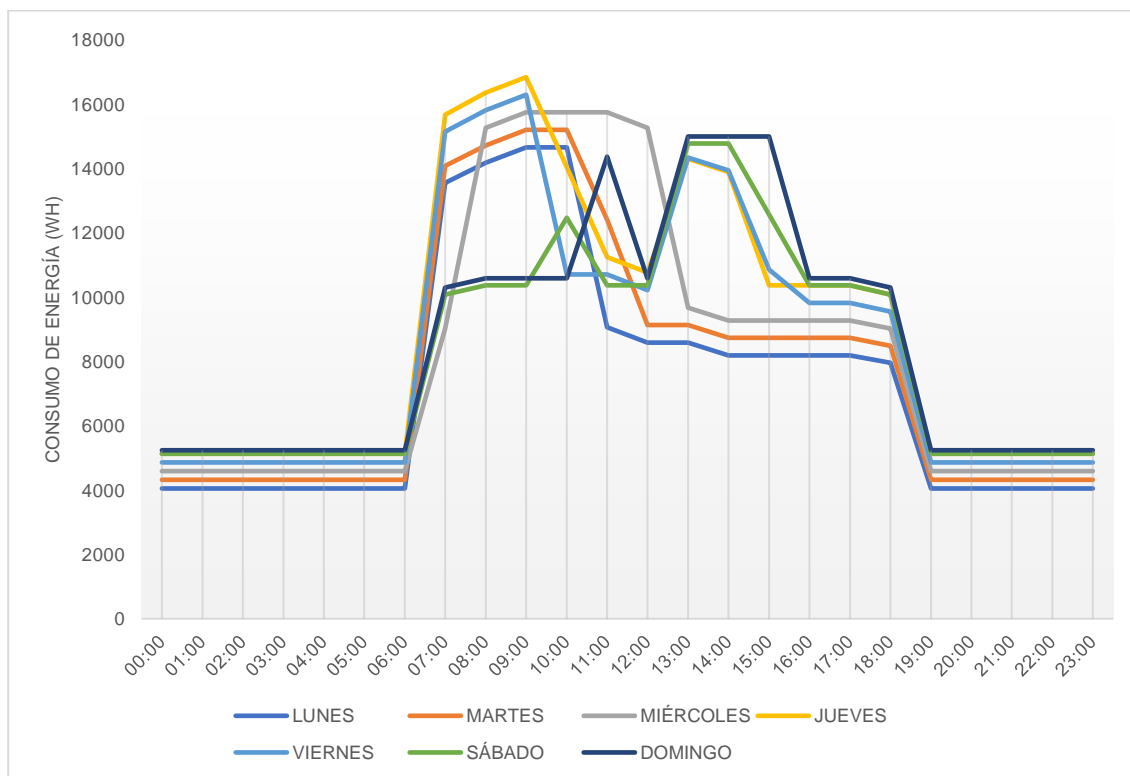
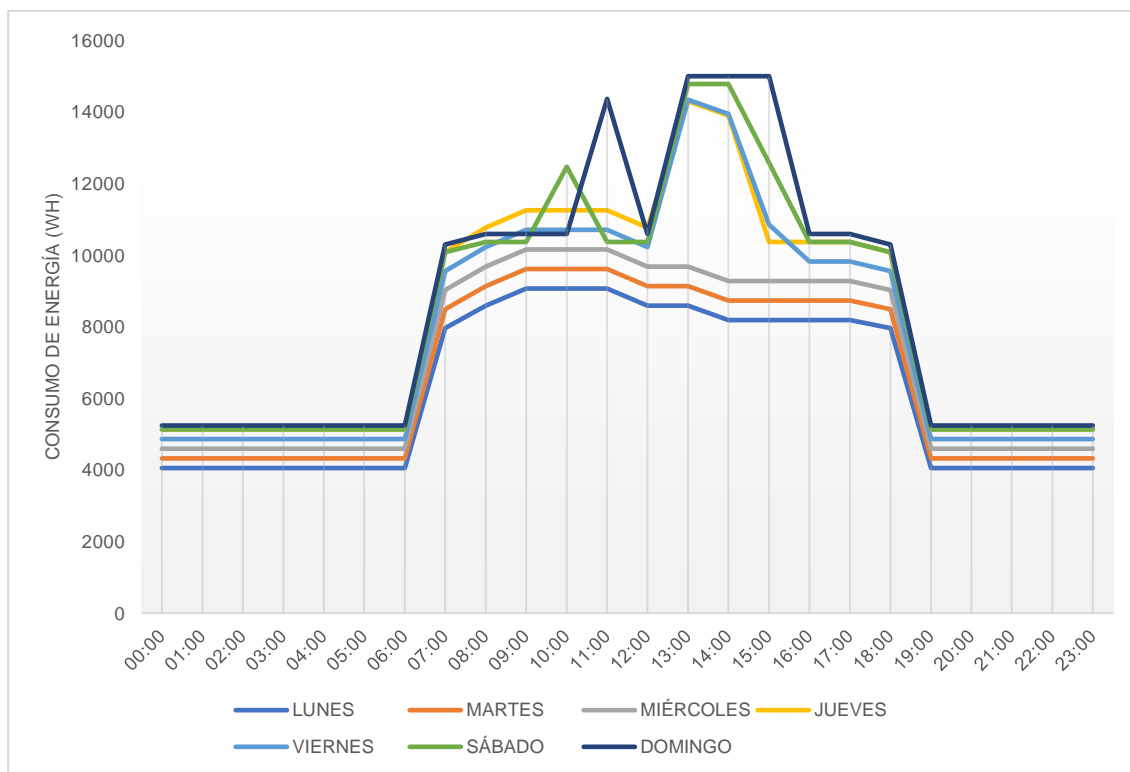


Figura 23: Perfil de carga del 4to bloque (octubre - diciembre)⁵¹

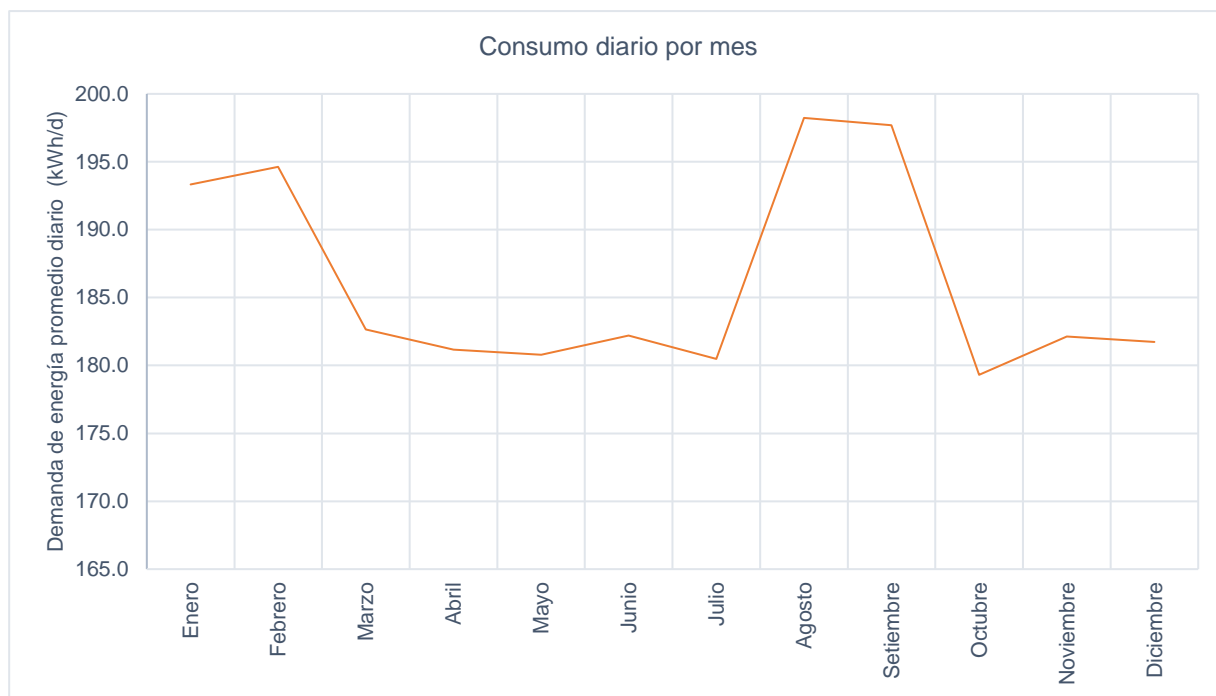


⁵⁰ Elaboración propia

⁵¹ Elaboración propia

En la figura 24 se muestra el consumo energético promedio diario de cada mes, siendo el mes de agosto el de mayor consumo diario, debido principalmente al uso de las electrobombas para el regadío en sus zonas de cultivo.

Figura 24: Consumo energético diario⁵²



Potencia eléctrica demanda: En la tabla 11 se muestra la potencia promedio y la potencia máxima de cada uno de los 4 bloques, siendo el 3er bloque (agosto-septiembre) el que presenta la potencia máxima, el cual asciende a 16.8 kW.

Tabla 11: Potencia promedio y máxima de cada bloque⁵³

Día	bloque N°1		bloque N°2		bloque N°3		bloque N°4	
	Potencia promedio (kW)	Potencia máxima (kW)	Potencia promedio (kW)	Potencia máxima (kW)	Potencia promedio (kW)	Potencia máxima (kW)	Potencia promedio (kW)	Potencia máxima (kW)
LUNES	7.0	13.8	6.3	9.1	7.2	14.7	6.3	9.1
MARTES	7.6	14.3	6.7	9.6	7.7	15.2	6.7	9.6
MIÉRC.	8.1	14.9	7.1	10.2	8.2	15.7	7.1	10.2
JUEVES	8.8	16.0	8.2	14.3	9.0	16.8	8.2	14.3
VIERNES	8.4	15.4	7.9	14.3	8.6	16.3	7.9	14.3
SÁBADO	8.3	14.8	8.3	14.8	8.3	14.8	8.3	14.8
DOMINGO	8.6	15.0	8.6	15.0	8.6	15.0	8.6	15.0

⁵² Elaboración propia

⁵³ Elaboración propia

4.3 Consumo de combustible de los Generadores Eléctricos de uso actual

El Caserío Yapato cuenta con 4 generadores eléctricos, provistas por el gobierno regional de Sechura, como parte de su apoyo social a las comunidades que no cuentan con acceso a la red eléctrica nacional.⁵⁴ En la tabla 12 se detalla las características de los generadores eléctricos.

Tabla 12: Generadores eléctricos instalados en el Caserío Yapato⁵⁵

N°	Marca	Modelo	Potencia (kW)	Consumo (l/hr)	Tipo de combustible
1	Hwasdan	Hge650	2.5	1.0	Gasolina
2	Hwasdan	Hge651	2.5	1.0	Gasolina
3	Atlas Copco	P6500	2.5	0.9	Gasolina
4	Atlas Copco	P6501	2.5	0.9	Gasolina
TOTAL (kW)			10.0	3.8	

El consumo de combustible se determinó por la demanda energética y las horas de funcionamiento efectiva de los generadores eléctricos, tal como se muestra en la tabla 13. Asimismo, se ha contemplado un consumo extra del 15% por el desgaste de los generadores eléctricos, los cuales tienen entre 5 a 8 años de antigüedad.

Tabla 13: Consumo de combustible de los generadores eléctrico en el Caserío Yapato⁵⁶

Mes	Demanda (kWh)	Horas de funcionamiento efectiva (hr/mes)	Consumo combustible (litros/mes)
Enero	5,993	599	2,619
Febrero	5,449	545	2,381
Marzo	5,662	566	2,474
Abril	5,435	544	2,375
Mayo	5,605	560	2,449
Junio	5,466	547	2,389
Julio	5,595	560	2,445
Agosto	6,145	615	2,685
Setiembre	5,931	593	2,592
Octubre	5,559	556	2,429
Noviembre	5,464	546	2,388
Diciembre	5,634	563	2,462
TOTAL (litros/año)			29,689

Se tiene un consumo anual promedio de combustible de 29,689 litros.

⁵⁴ Elaboración propia. Relevamiento de información en visita al Caserío Yapato

⁵⁵ Elaboración propia. Relevamiento de información en visita al Caserío Yapato

⁵⁶ Elaboración propia

Para determinar el coste anual del combustible, se ha tomado el “Precio de Referencia” que se publica por el ente regulador de tarifas de combustible del Perú: OSINERMING⁵⁷. En la figura 25, se detalla el precio del combustible utilizado, “Gasohol”, que es una mezcla de gasolina y alcohol en distintas proporciones, para uso como combustible en motores de explosión diseñados para quemar derivados del petróleo.

Figura 25: Precio de referencia - Reporte OSINERMING

PR1 : Precios de Referencia del Gasohol y Alcohol Carburante

Precios de Referencia del Gasohol en US\$/Bl			
Gasohol 97	Gasohol 95	Gasohol 90	Gasohol 84
84.77	82.05	74.58	69.08

En la tabla 14 se muestra el precio del combustible a la venta, el cual incluye los gastos comerciales, de transporte y de IG^V⁵⁸.

Tabla 14: Precio total del Gasohol en Caserío Yapato⁵⁹

Concepto	Precio (\$/litros)
Precio Gasohol 97 sin incl IG ^V (\$/litros)	0.53
Precio Gasohol 97 sin incl IG ^V + Gastos Comerciales (\$/litros)	0.64
Precio Gasohol 97 sin incl IG ^V + Gastos Comerciales + Transporte (\$/litros)	0.83
Precio Gasohol 97 con IG ^V (\$/litros)	0.98

De acuerdo con la información obtenida en la tabla 13 y 14, el costo anual de combustible asciende a **29,137 \$**.

Impacto ambiental por el uso de los generadores eléctricos: El consumo anual de combustible genera un impacto al medio ambiente a través de la emisión de dióxido de carbono (CO₂), causante del calentamiento de la atmósfera por el efecto invernadero. La cantidad de gases de efecto invernadero se determina utilizando la ecuación 1.

$$ton\ CO_2e = \frac{Cantidad \left(\frac{litros}{año}\right) * 0.26417 \left(\frac{galón}{litros}\right) * Factor\ de\ emisión \left(\frac{kg\ CO_2e}{galón}\right)}{1000} \quad (1)$$

Donde:

- Cantidad: 29, 689 litros/año, acorde a lo calculado en la tabla 13.
- Factor de emisión: 8.45 kg CO₂e/galón, información obtenida del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero del Perú⁶⁰

Se generar un total de 66.3 toneladas de CO₂ equivalente al año por el uso de combustible en los generadores eléctricos.

⁵⁷ Información tomada de referencia [16]

⁵⁸ El IG^V (Impuesto general a las ventas) del Perú es de 18% del precio de venta.

⁵⁹ El precio final incluye gastos comerciales, transporte e IG^V.

⁶⁰ Información tomada de referencia [17], pág. 70

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS

El Caserío Yapato cuenta con un potencial recurso energético solar y eólico. La información de climatología se ha obtenido del ente regulador de climatología del Perú, SENAMHI.

5.1 Evaluación del recurso solar

Para evaluar el recurso solar, es conveniente medir tres componentes de la Irradiancia Solar: Irradiancia directa (B), Irradiancia difusa (D) e Irradiancia reflejada (R), las cuales conforman la irradiancia global (G).

Para este trabajo, los valores de irradiación global (G) horizontal fueron obtenidos del “Atlas Solar del Perú”, elaborado por el SENAMHI⁶¹. En la figura 26, se muestra el mapa peruano con escala de colores que representa la energía solar incidente, tanto a nivel mensual y anual, las han sido calculados con técnicas de estimación e interpolación fundamentados en procesos físicos de toda data histórica recolectada entre los años 1975 y 1990⁶².

Figura 26: Mapa de la energía solar incidente diaria para el mes de Enero⁶³.



El “Atlas Solar del Perú” permite ubicar zonas potenciales para el aprovechamiento energético solar en el Perú. A través de esta información solar, se identificó el potencial solar que tiene el Caserío Yapato, siendo una zona con un alto grado de radiación solar, convirtiéndolo en una localidad rural con potencial desarrollo de tecnología fotovoltaica.

Los valores de irradiancia global del “Atlas de Energía Solar” de Perú están mostrados por rangos de valores en todo el litoral peruano, para cada mes del año.

⁶¹ Fuente: SENAMHI, Mapa de energía solar incidente en el Perú

⁶² Información tomada de referencia [8]

⁶³ Información tomada de referencia [8], figura de la radiación enero

En la tabla 15 tenemos el rango de valores de irradiación global diaria de cada mes de la zona del Caserío Yapato, además, se muestra el valor que ha sido seleccionado para este trabajo, el cual considera el menor valor del rango, con el fin de asegurar un margen de seguridad sobre los valores que el Atlas ha calculado. El mes con menor irradiancia recibida es el mes de junio, con una irradiancia global diaria de 4.5 kWh/m²/d, mientras que los meses de mayor irradiancia son octubre y noviembre.

Tabla 15: Datos mensuales de irradiancia solar horizontal global diaria en Caserío Yapato⁶⁴

Mes	G(0) - Irradiancia Global diaria (kWh/m ² /d)	
	Rango	Valor seleccionado
Enero	5,5 - 6	5.5
Febrero	6 - 6,5	6.0
Marzo	5,5 - 6	5.5
Abril	5 - 5,5	5.0
Mayo	5 - 5,5	5.0
Junio	4,5 - 5	4.5
Julio	5 - 5,5	5.0
Agosto	5,5 - 6	5.5
Septiembre	6 - 6,5	6.0
Octubre	6,5 - 7	6.5
Noviembre	6,5 - 7	6.5
Diciembre	6 - 6,5	6.0

La información que muestra la tabla 15, representa la irradiación global horizontal G(0), es decir la irradiancia que se percibe en una superficie plana. Para obtener la mayor cantidad de energía solar captada a lo largo del año, se ha determinado el ángulo de inclinación óptimo.

5.2 Cálculo de la irradiancia en inclinación óptima

Para proceder con el cálculo de los valores de la irradiación global en superficie inclinada, se utiliza el modelo isotrópico desarrollado por Liu y Jordan (1962) y descrito posteriormente por Klein (1977)⁶⁵, que permite relacionar la irradiancia global con los tres componentes de la irradiancia solar: Irradiancia directa (B), Irradiancia difusa (D) e Irradiancia reflejada (R). La ecuación 2 muestra esta relación.

$$G(\alpha, \beta) = B(\alpha, \beta) + D(\alpha, \beta) + R(\alpha, \beta) \quad (2)$$

Donde:

- α : Es el ángulo azimut.
- β : Es el ángulo de inclinación de los paneles con respecto al plano horizontal.

⁶⁴ Información tomada de referencia [8]. Gráficos mensuales de la zona del Caserío Yapato

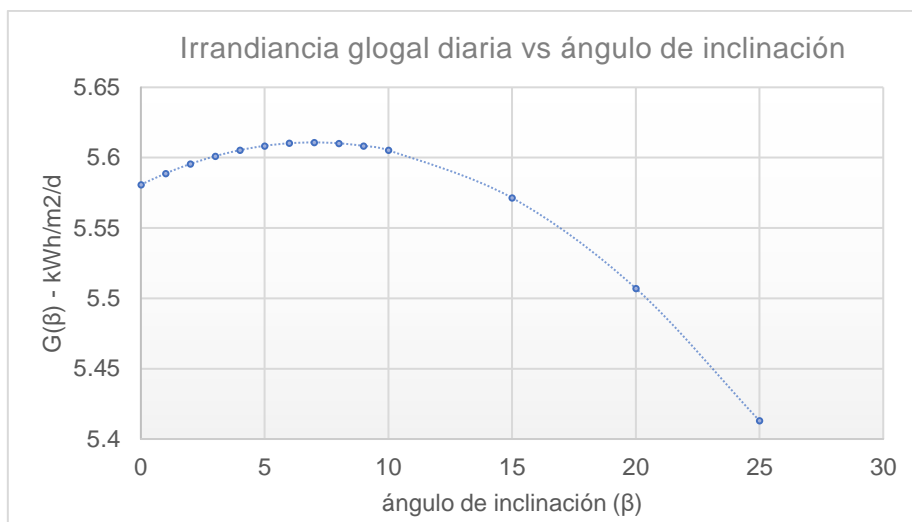
⁶⁵ Información tomada de referencia [18]

Para este trabajo se ha considerado un ángulo azimut $\alpha=0$, con la cual la expresión de radiación global en superficie inclinada se representa con la ecuación 3.

$$G(\beta) = B(\beta) + D(\beta) + R(\beta) \tag{3}$$

Los cálculos se han elaborado en el anexo A para distintos ángulos de inclinación. En la figura 27, se muestra el comportamiento de la irradiancia global diaria a distintos ángulos de inclinación. Como se puede observar la mayor irradiancia global diaria se obtiene para un ángulo de inclinación de $\beta=7^\circ$.

Figura 27: Irradiancia global diaria vs ángulo de inclinación⁶⁶



En la tabla 16 se muestra la irradiancia global mensual con el ángulo de inclinación óptimo:

Tabla 16: Irradiancia global mensual en inclinación óptima⁶⁷

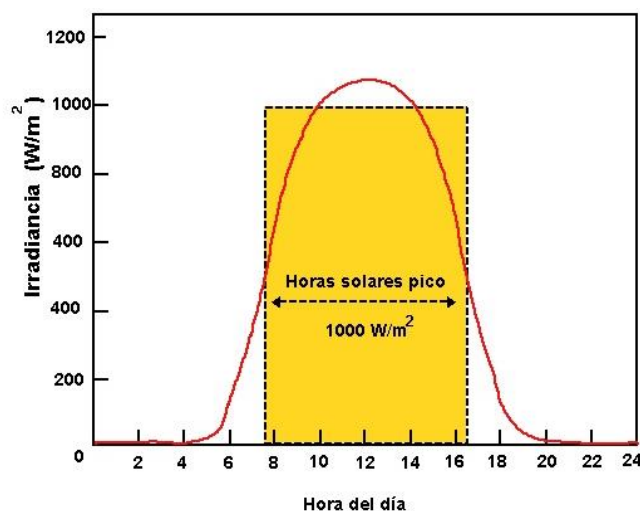
Mes	Irradiancia global diaria $\beta=7^\circ$ (kWh/m²/d)
Ene	5.29
Feb	5.86
Mar	5.51
Abr	5.14
May	5.28
Jun	4.80
Jul	5.32
Ago	5.73
Set	6.07
Oct	6.39
Nov	6.25
Dic	5.72
Promedio	5.61
Anual (kWh/m²)	2,047.96

⁶⁶ Elaboración propia

⁶⁷ Elaboración propia

Horas solar pico: En la figura 28, se representa un gráfico con la distribución horaria de la irradiación incidente sobre la superficie terrestre donde los niveles varían a lo largo del día. De esta manera, la hora solar pico indica el número de horas en las que se recibe una irradiación solar de 1000W/m^2 . En resumen, si en este lugar existen 5 HSP, se tiene 5 horas de sol que está transmitiendo 1000W/m^2 .

Figura 28: Comportamiento de horas solares pico (HSP)⁶⁸



Las horas sol pico, permiten conocer la energía disponible, y con ello calcular el campo fotovoltaico necesario. En la tabla 17, se muestra los valores que se han calculado.

Tabla 17: Cálculo del número de horas picos mensual en el Caserío Yapato⁶⁹

Mes	NHE
Ene	5.29
Feb	5.86
Mar	5.51
Abr	5.14
May	5.28
Jun	4.80
Jul	5.32
Ago	5.73
Set	6.07
Oct	6.39
Nov	6.25
Dic	5.72
Promedio	5.61
Anual	2047.96

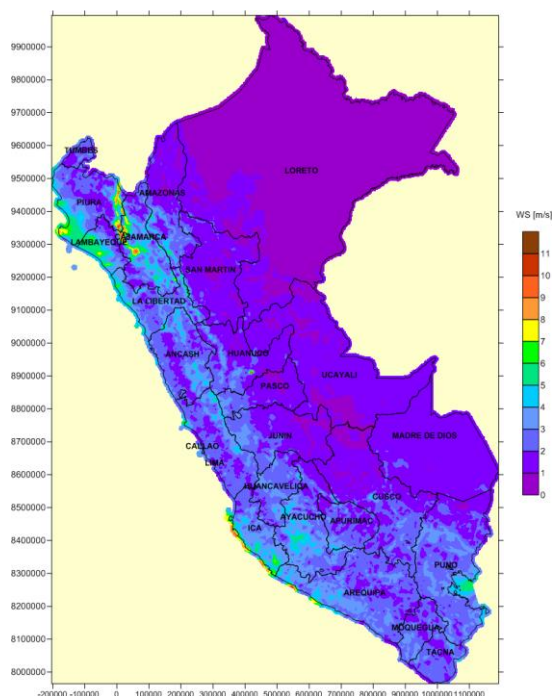
⁶⁸ Imagen tomada de la web: <http://calculationsolar.com/blog/?cat=3>

⁶⁹ Elaboración propia

5.3 Evaluación del recurso eólico

Para instalar un sistema eólico, se debe evaluar las características del viento del lugar de estudio, tales como velocidad, turbulencias, cargas, entre otras. En el Perú, se ha elaborado el “Atlas Eólico”, el cual contiene un estudio del aprovechamiento eólico para fines energéticos. A través de este atlas se ha identificado el potencial eólico del Caserío Yapato. En la figura 29, se muestra un mapa con rango de colores, que representa la velocidad del viento a lo largo del territorio peruano.

Figura 29: Mapa de potencial eólico en el territorio peruano - mes de Enero⁷⁰



Asimismo, el SENAMHI tiene estaciones bases meteorológicas, que brinda información eólica. Se ha identificado que la estación base más cercana al Caserío Yapato y con similares condiciones de altitud, clima y superficie, se encuentra a 2km del lugar, y tiene como nombre estación de datos CHUSIS⁷¹.

Para la evaluación del recurso eólico, se ha tomado la información meteorológica de esta estación base (velocidad del viento, dirección del viento, humedad, entre otros). Con estos datos y un análisis estadístico se ha verificado el potencial eólico del Caserío Yapato.

5.4 Representación estadística del viento

Las funciones estadísticas de proyección del viento permiten aproximar el comportamiento real del mismo, para conocer la velocidad y la frecuencia de la velocidad promedio del viento en un periodo de proyección.

Para el análisis cualitativo se ha tomado la distribución de Weibull para determinar las densidades de potencia mensual. Se trata de una distribución de dos parámetros: un parámetro de escala “c” y un parámetro factor de distribución de forma “k”.

⁷⁰ Información tomada de referencia [19], velocidad media anual del viento a 10m, figura E.1

⁷¹ Información obtenida de la web: <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=piura&p=estaciones>

La función de densidad de probabilidad de la velocidad del viento se puede calcular mediante la ecuación 4:

$$P(U) = \left(\frac{k}{c}\right) * \left(\frac{U}{c}\right)^{k-1} * \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right] \quad (4)$$

Donde:

- U: Es la velocidad del viento.

Asimismo, la función de distribución acumulada se calcula mediante la ecuación 5.

$$F(U) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right] \quad (5)$$

5.5 Método gráfico para la estimación de los parámetros de Weibull

Este método deriva de la función de distribución acumulativa F(U), donde los datos de velocidad se interpolan por una línea recta, utilizando el concepto de mínimos cuadrados. Para este método se puede representar por una transformación logarítmica doble, como se detalla en la ecuación 6:

$$\ln[\ln(1 - F(U))^{-1}] = k * \ln U - k * \ln(c) \quad (6)$$

Se ajusta por mínimos cuadrados a la recta: $y=k*x+B$, obteniendo la ecuación 7:

$$y = \ln[\ln(1 - F(U))^{-1}]; \quad x = \ln U; \quad B = -k * \ln(c) \quad (7)$$

Calculada la recta por mínimos cuadrados, su pendiente proporciona el valor de “k” y el valor de “c” se obtiene mediante la ecuación 8:

$$c = \exp^{-\left(\frac{B}{k}\right)} \quad (8)$$

En el anexo B se tiene el cálculo de los parámetros de cada mes. En la tabla 18, se muestra los resultados obtenidos:

Tabla 18: Cálculo de los parámetros de distribución de Weibull⁷²

Mes	k	c
Enero	2.403	5.432
Febrero	3.114	4.451
Marzo	1.757	4.802
Abril	2.807	3.960
Mayo	3.247	4.537
Junio	2.561	4.156
Julio	2.939	4.000
Agosto	4.540	4.844
Setiembre	3.179	5.201
Octubre	3.635	5.151
Noviembre	3.784	5.077
Diciembre	3.565	5.193

⁷² Elaboración propia

La velocidad media está representada en términos de la función Gamma, mediante la ecuación 9:

$$U = c * \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (9)$$

En el anexo B se presenta el cálculo de la velocidad media mensual. En la tabla 19 se muestra los resultados obtenidos:

Tabla 19: Velocidad media mensual⁷³

Mes	U (m/s)
Enero	4.815
Febrero	3.981
Marzo	4.276
Abril	3.527
Mayo	4.066
Junio	3.690
Julio	3.569
Agosto	4.422
Setiembre	4.657
Octubre	4.644
Noviembre	4.588
Diciembre	4.677

⁷³ Elaboración propia

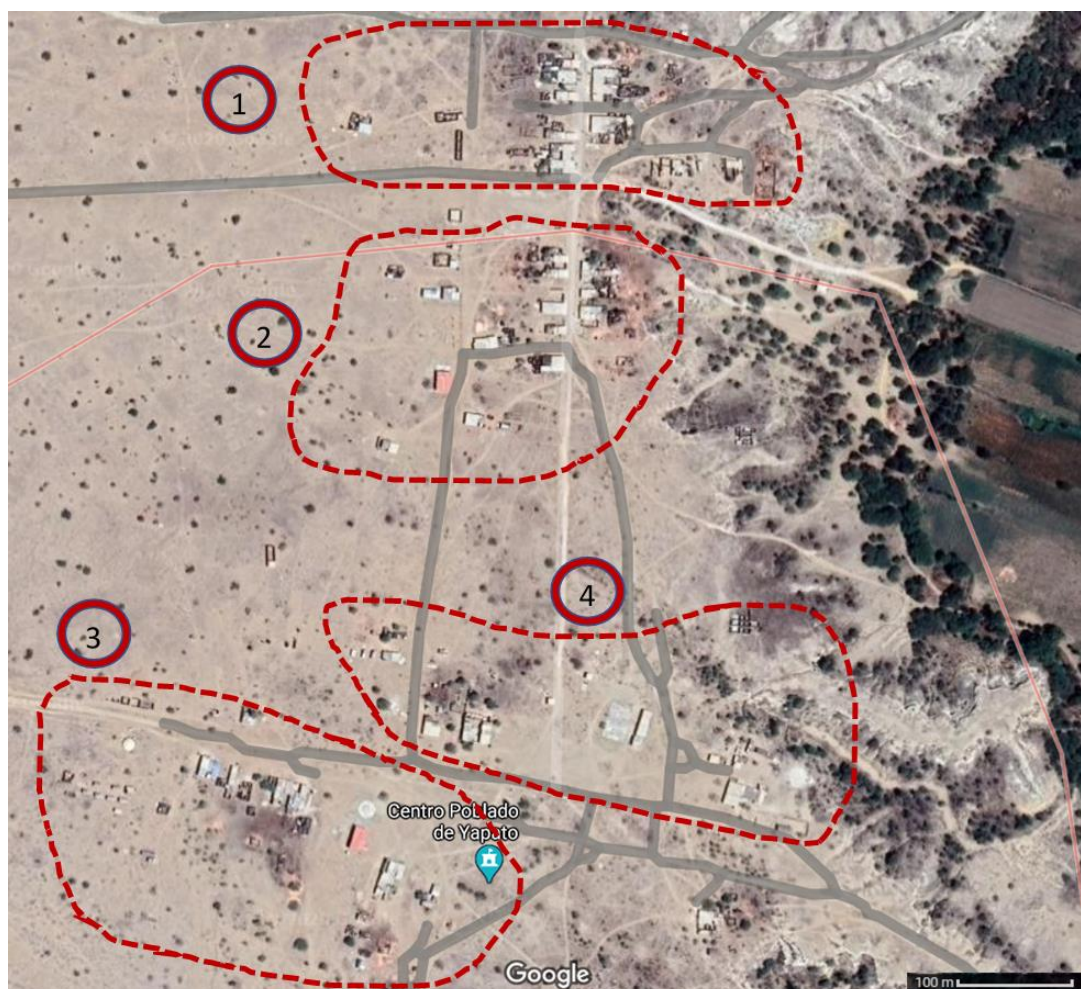
CAPITULO 6: DIMENSIONADO DEL SISTEMA HÍBRIDO

Para el dimensionamiento se han evaluado distintas configuraciones del sistema híbrido tales como: 100% solar, 100% eólica e híbrido, con el fin de determinar la configuración más rentable y que garantice una cobertura total de la demanda energética del Caserío Yapato.

Asimismo, el dimensionamiento comprende la instalación de un sistema de almacenamiento que garantice el suministro continuo de energía, respondiendo a fallas o interrupciones del sistema. Además, se contempla la instalación de controladores e inversores que serán lo encargado del control y adecuación de la electricidad para el consumo final.

Conforme al punto 4.3, el gobierno regional les ha brindado 4 generadores eléctricos, las cuales están ubicados en 4 puntos estratégicos, respondiendo a la concentración de hogares a lo largo de la extensión del centro poblado. Cada bloque, tiene un generador eléctrico y su respectiva red eléctrica de baja tensión independiente.

Figura 30: Imagen satelital del Caserío Yapato y las 4 zonas ubicadas a lo largo de su extensión⁷⁴



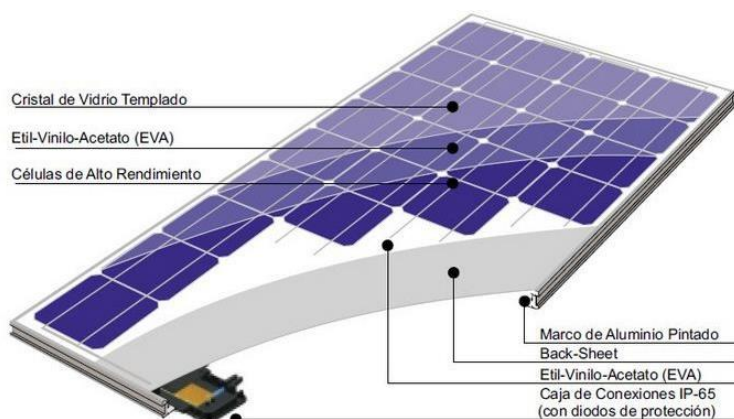
En ese sentido, y con el fin de aprovechar la instalación de baja tensión, se realizará el dimensionamiento en sub-sistemas híbridos independientes que cubre la demanda de cada uno de los 4 bloques. Asimismo, dividir en sub-sistemas otorga un mayor espacio físico para la instalación de los componentes del sistema híbrido.

⁷⁴ Fuente: Google maps

6.1 Paneles Fotovoltaicos

Es la tecnología más desarrollada y con mayor número de proveedores a nivel nacional, tanto para su instalación en alta y baja escala. Los paneles solares fotovoltaicos constan de multitud de celdas, llamadas células fotovoltaicas, que convierten la radiación solar en electricidad. Se genera electricidad debido al 'efecto fotovoltaico' que provoca la energía solar (fotones), generando cargas positivas y negativas en dos semiconductores próximos de distinto tipo, lo que genera un campo eléctrico que producirá corriente eléctrica⁷⁵. En la figura 31, se muestra las partes importantes de un panel solar.

Figura 31: Panel solar fotovoltaico⁷⁶



Las características eléctricas más importantes de los paneles solares son⁷⁷:

- **Intensidad de cortocircuito (I_{cc} o I_{sc}):** es aquella que se produce a tensión de 0 voltios, por lo que puede ser medida directamente en bornes mediante un amperímetro. Su valor variará en función de las condiciones atmosféricas de medida.
- **Tensión de circuito abierto (V_{ca} o V_{oc}):** es la tensión máxima del panel, se puede medir al no tener ninguna carga conectada, directamente con un voltímetro, su valor variará en función de las condiciones atmosféricas.
- **Potencia máxima (P_{max}), medida en vatios pico (W_p):** es la potencia máxima que puede suministrar el panel, es el punto donde el producto intensidad y tensión es máxima, bajo unas condiciones estándar de medida.
- **Corriente en el punto de máxima potencia (I_p o I_{mp}):** es la corriente producida cuando la potencia es máxima, bajo unas condiciones estándar de medida.
- **Voltaje en el punto de máxima potencia (V_p o V_{mp}):** es la tensión producida cuando la potencia es máxima, bajo unas condiciones estándar de medida.
- **Eficiencia (η):** este parámetro define la eficiencia de conversión (η), la cantidad de potencia radiación incidente (W_r) sobre el panel que es capaz de convertirse en potencia eléctrica (W_p). La expresión es la siguiente: $\eta = W_p / W_r$

⁷⁵ Información tomada de referencia [21]

⁷⁶ Imagen tomada de la web: <https://eliseosebastian.com/elementos-con-panel-solar-fotovoltaico/>

⁷⁷ Información tomada de referencia [22]

6.1.1 Factores que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos

Pérdida por efecto temperatura⁷⁸: El aumento de la temperatura afecta de gran manera la eficiencia del panel fotovoltaico y está relacionado con factores ambientales tales como la temperatura ambiente y del suelo, la radiación solar y el viento. Además, influyen los factores estructurales del panel como la geometría, tamaño, espesores, tipo de materiales encapsulantes, capas ópticas antirreflectantes, etc.

A través de un método estándar denominado temperatura de operación nominal de la celda (TNOCT), se calcula la temperatura de la celda (TC) mediante la ecuación 10:

$$T_C = T_a + \frac{I}{I_{NOCT}} * (T_{NOCT} - T_{a,NOCT}) \quad (10)$$

Donde:

T_a: Temperatura de ambiente de trabajo (°C).

I: Radiación incidente en el plano del panel (W/m²)

T_{NOCT}: Temperatura de operación nominal de la celda (°C), dato provisto por el fabricante. Por lo general toma el valor de 45°C.

I_{NOCT}: Radiación incidente a 800 W/m².

T_{a,NOCT}: Temperatura ambiente de 20 °C y una velocidad de viento de 1 m/s.

Para un día promedio a las 12 hrs se tiene una radiación incidente (I) de 800W/m², y una temperatura de ambiente promedio de 21°C en el Caserío Yapato⁷⁹. El valor del rendimiento del panel solar por efecto de la variación de la temperatura, se calcular mediante la ecuación 11:

$$\eta_T = \frac{100\% - 0.48 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}} * (T_c - T_a)}{100\%} \quad (11)$$

Pérdida por variación del valor de la potencia nominal⁸⁰: Los módulos fotovoltaicos obtenidos de un proceso de fabricación industrial no son todos idénticos, sino que su potencia nominal presenta una determinada dispersión. En general los fabricantes garantizan que la potencia de un módulo fotovoltaico de potencia nominal, P*, está dentro de una banda que oscila entre P*±3%, P*±5% o P*±10%.

Pérdida por caídas óhmicas⁸¹: Tanto en la parte DC como en la parte AC de la instalación se producen unas pérdidas energéticas originadas por las caídas de tensión cuando una determinada corriente circula por un conductor de un material y sección determinados. Estas pérdidas se minimizan dimensionando adecuadamente la sección de los conductores en función de la corriente que por ellos circula. Para efectos de diseño se ha considerado una pérdida del 6%.

⁷⁸ Definición tomada de referencia [23]

⁷⁹ Información obtenida de la web: <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=piura&p=estaciones>

⁸⁰ Definición tomada de referencia [24]

⁸¹ Definición tomada de referencia [24]

6.1.2 Energía producida por panel fotovoltaico

La energía generada por un panel fotovoltaico depende de la potencia del panel, las horas efectivas y las pérdidas explayadas en el punto 6.1.1. El cálculo de esta energía está dado mediante la ecuación 12:

$$E_P = P_{nom} * NHE * \eta_T * \eta_P * \eta_O / 1000 \quad (12)$$

Donde:

E_P : Energía producida por un panel fotovoltaico (kWh)

P_{nom} : Potencia nominal del panel fotovoltaico

NHE: Número de horas efectivas al día (h)

η_T : Rendimiento por efecto de temperatura (%)

η_P : Rendimiento por variación de la potencia nominal (%)

η_O : Rendimiento por pérdida de caída óhmica.

6.1.3 Análisis de modelos de mercado y elección del panel fotovoltaico

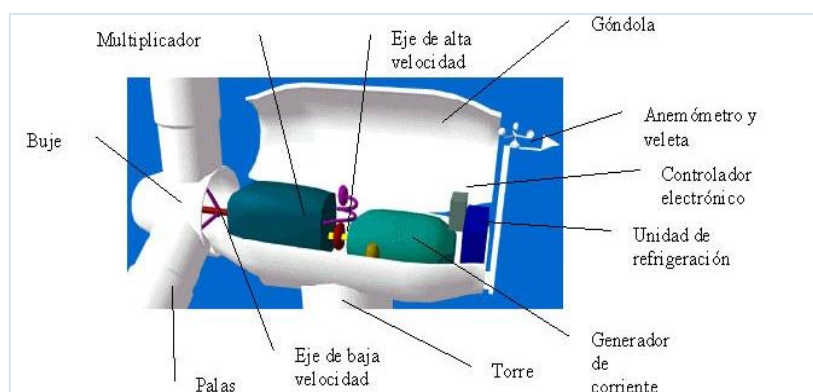
La tecnología fotovoltaica es uno de los mercados de energía renovable más desarrollado en el territorio peruano, debido a su fácil instalación y a la disminución de precios. La mayor fabricación de estos paneles fotovoltaicos proviene de China, Alemania, Canadá. Los proveedores nacionales que se ha contactado son: Deltavolt, Proviento, Auto solar y Panel solar Perú.

En el anexo D se encuentran los paneles más representativos de esos proveedores, con las características técnicas y económicas. La mejor elección por precio y características técnicas es el panel Jinko Solar modelo JKM330PP-72 de una potencia de 330W, del proveedor Panel Solar Perú.

6.2 Aerogeneradores eólicos

Es un generador eléctrico que funciona convirtiendo la energía cinética del viento en energía mecánica a través de una hélice y en energía eléctrica gracias a un alternador (generador de corriente eléctrica alterna). La energía eólica, en realidad la energía cinética del aire en movimiento proporciona energía mecánica a un rotor hélice que, a través de un sistema de transmisión mecánico, hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador trifásico, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica. En la figura 32, se muestra las componentes de un aerogenerador.

Figura 32: Componentes de un aerogenerador⁸²



⁸² Imagen tomada de la web: <https://centraleolica.wordpress.com/partes-de-un-aerogenerador/>

Son dispositivos que han tenido mayor desarrollo, similar a los paneles fotovoltaicos, y que pueden ser aprovechados en lugares con potencial eólico como la localidad de Sechura. El aerogenerador cuenta con distintos elementos que permiten su funcionamiento, los cuales son⁸³:

- La góndola: La góndola es el conjunto de bastidor y carcasa del aerogenerador. El bastidor es una pieza sobre la que se acoplan los elementos mecánicos principales (el rotor, el multiplicador, el generador) del aerogenerador y que está situada sobre la torre.
- Las palas del rotor: Son los elementos del aerogenerador encargados de captar la energía cinética del viento. Es uno de los componentes más críticos de la máquina. En palas de gran longitud permiten un mejor aprovechamiento de la energía, las altas velocidades que se consiguen en los extremos llevan al límite la resistencia de los materiales con que están fabricados.
- El buje: El buje del rotor está acoplado al eje de baja velocidad del aerogenerador.
- El eje de baja velocidad: Conecta el buje del rotor al multiplicador.
- El multiplicador: Tiene a su izquierda el eje de baja velocidad. Permite que el eje de alta velocidad que está a su derecha gire 50 veces más rápido que el eje de baja velocidad.
- El eje de alta velocidad: Gira aproximadamente a 1.500 r.p.m. lo que permite el funcionamiento del generador eléctrico. Está equipado con un freno de disco mecánico de emergencia. El freno mecánico se utiliza en caso de fallo del freno aerodinámico, o durante las labores de mantenimiento de la turbina.
- El rotor: Es la parte de la máquina que transforma la energía del viento en energía mecánica. Aumentando el diámetro de las palas, se puede aumentar la superficie de captación de viento y la potencia proporcionada por la máquina.

6.2.1 Parámetros característicos de un aerogenerador

Entre los principales parámetros a evaluar para el diseño de un sistema eólico son⁸⁴:

- Curva de potencia: Es un gráfico que indica cuál será la potencia eléctrica disponible en el aerogenerador a diferentes velocidades del viento.
- Velocidad de arranque: Es la velocidad del viento para la cual el generador comienza a suministrar potencia útil. En aerogeneradores rápidos tripala de eje horizontal acostumbra a ser del orden de unos 4 a 5 m/s. Por debajo de estos umbrales, el generador no produce potencia eléctrica.
- Velocidad nominal: Es la velocidad del viento para la que se alcanza la potencia nominal del aerogenerador. En rotores tripala de eje horizontal suele estar comprendida entre 12 y 15 m/s.
- Velocidad de parada: Es la velocidad del viento a la cual el rotor se detiene por la acción de los sistemas de regulación y control, para evitar el riesgo de sufrir algún daño dada la elevada velocidad del viento. La velocidad se sitúa en el rango de 25 a 30 m/s.
- Velocidad de supervivencia: Es la velocidad del viento por encima de la cual el aerogenerador puede dañarse a pesar de estar parado. En promedio, 70 m/s.

6.2.2 Energía producida por aerogenerador

La energía que puede ser aprovechada de un aerogenerador se calcula a partir de su curva de potencia y las frecuencias horarias para cada intervalo de la velocidad del viento a lo largo del año. El cálculo de esta energía está dado por la siguiente 13^{85} :

⁸³ Definición tomada de referencia [25]

⁸⁴ Definición tomada de referencia [26]

⁸⁵ Información tomada de referencia [25]

$$E_w = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * t_i}{1000} \quad (13)$$

Dónde: E_w : Energía anual producida por el aerogenerador (kWh)
 i : Valor de velocidad del viento (m/s)
 P_i : Valor de potencia a la velocidad i según curva del aerogenerador (W)
 t_i : Número de horas al año de viento a la velocidad i (h)

6.2.3 Análisis de modelos de mercado y elección del aerogenerador

La tecnología eólica aún se encuentra en desarrollo de expansión en el territorio peruano. La cantidad de proveedores de esta tecnología es limitada, pero ofrecen una gama amplia de aerogeneradores de baja potencia. La mayor fabricación de estos paneles fotovoltaicos proviene de China, Alemania, España. Los proveedores nacionales y extranjeros contactados son: Proviento, HC Solar, ENAIR y Bornay.

En el anexo D se encuentran los aerogeneradores más representativos de esos proveedores, con las características técnicas y económicas. La mejor elección por precio y características técnicas es el aerogenerador ZONHAN modelo ZH 3kW de una potencia de 3000W, del proveedor HC SOLAR.

6.3 Controladores de Carga

Dispositivo electrónico que controla constantemente el estado de carga de las baterías para realizar un llenado óptimo y alargar su vida útil⁸⁶.

Para este trabajo, se ha utilizado el controlador híbrido que permite controlar el flujo de energía que circula entre los elementos. El control de flujo de energía se realiza mediante el control de los parámetros de Intensidad (I) y Voltaje (V) al que se inyecta en la batería, este flujo depende del algoritmo de carga de las baterías y de la energía generada por el sistema híbrido, determinando las fases o estados de carga.

En la figura 33, se muestra un controlador comercial, de la marca SmartSolar

Figura 33: Controlador de carga⁸⁷



⁸⁶ Información tomada de referencia [27]

⁸⁷ Imagen tomada de la web: <https://autosolar.pe/controladores-de-carga>

Según como se efectúe la regulación de la carga de la batería los reguladores se clasifican

- Controladores PWM (pulse-width modulation)⁸⁸: Permite el paso de toda la corriente disponible en el generador fotovoltaico hasta que la tensión en la batería alcanzaba un valor predeterminado (alrededor de 14,5 V se considera llena). Llegado a este valor se interrumpía el paso de la corriente. Para valores menores de 12V en la batería volvía a establecer el paso de toda la corriente a las baterías desde los generadores FV.
- Controladores MPPT (Maximum Power Point Tracking)⁸⁹: Seguidor del punto de potencia máxima. El “punto” al que se hace mención es el que corresponde a los valores óptimos para el voltaje y corriente de salida que proporcionan la máxima potencia de salida. Este tipo de control incorpora un limitador de corriente, para no sobrepasar la corriente máxima tolerada por las baterías cuando la potencia de entrada sube transitoriamente. Un regulador MPPT modula el voltaje del panel y lo adapta a las características de las baterías conectadas. Son los reguladores usados hoy en día en casi todas las instalaciones y los más caros que los que veremos a continuación, pero consiguen un aumento de la producción energética de un 30% respecto a los PWM

En este trabajo, se analizaron varios controladores, tanto para tecnología 100% solar y eólica, así como híbrida. En el Anexo D se encuentra los controladores utilizados en este trabajo, con las características técnicas y económicas.

Para el controlador híbrido se optará por el tipo de control PWM, mientras que el controlador destinado para solar y eólica será del tipo de control de MPPT.

6.4 Inversores

Dispositivo electrónico que convierte un determinado voltaje de entrada de Corriente Continua (CC) en voltaje de salida de Corriente Alterna (CA), de manera de alimentar a los dispositivos eléctricos que funcionan con corriente alterna.

Figura 34: Inversor de Corriente⁹⁰



Para este trabajo, se ha contemplado la instalación de inversores de onda sinusoidal, las cuales producen señal de corriente más constante y con picos y valles más suaves. Este tipo de inversores son los utilizados para equipos y aparatos domésticos.

En el Anexo D se encuentra los inversores utilizados en este trabajo, con las características técnicas y económicas de cada tipo de inversor el cual será evaluado en las distintas configuraciones.

⁸⁸ Información tomada de referencia [28]

⁸⁹ Información tomada de referencia [28]

⁹⁰ Imagen tomada de la web: <https://coelectrix.com/producto/inversor-de-corriente-1500w-onda-sinusoidal-pura>

6.5 Metodología para el dimensionamiento del Sistema Híbrido

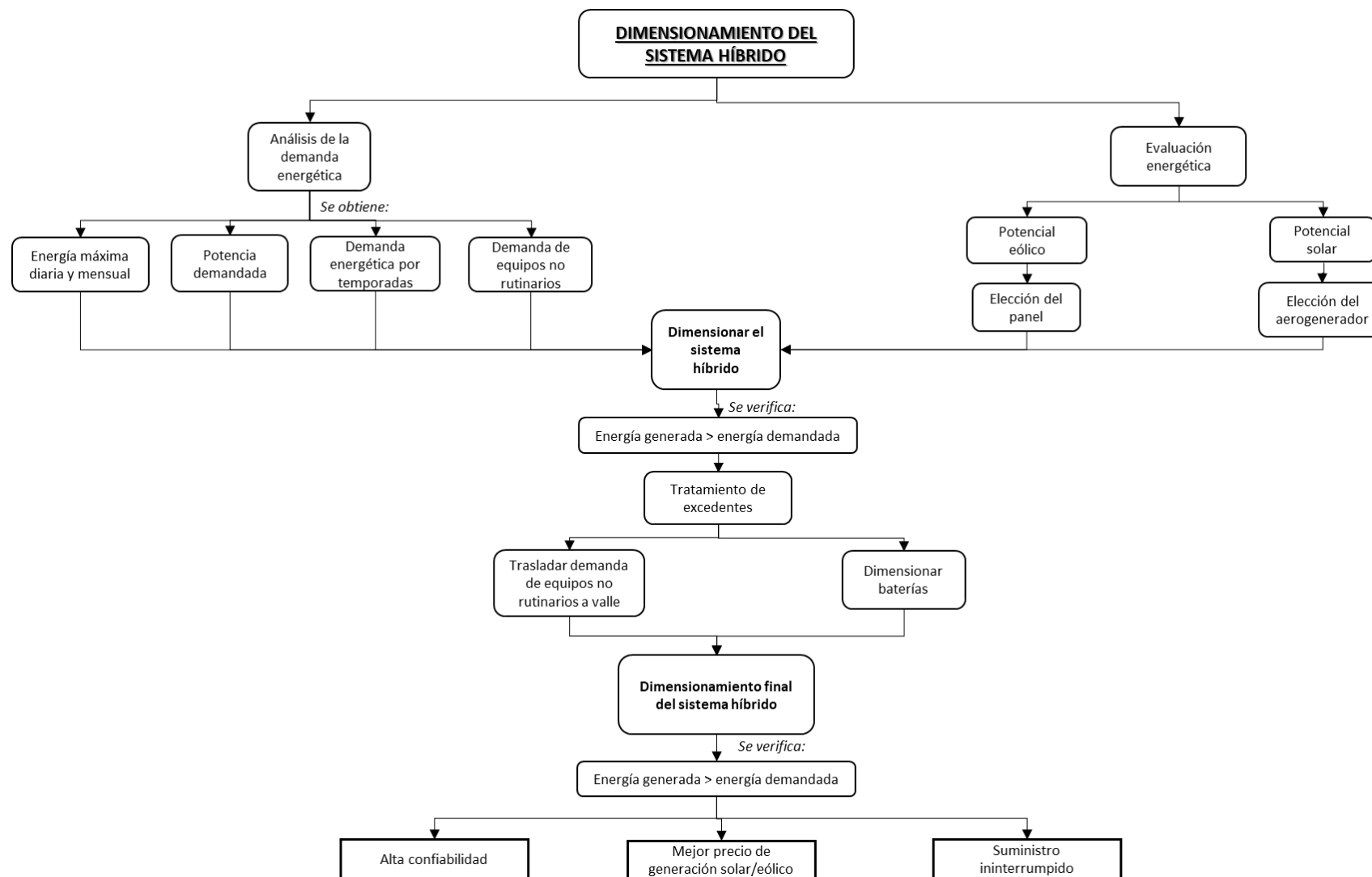
Existen varias metodologías de cálculo para dimensionar un sistema híbrido, desde software computarizados hasta más simples que pueden realizarse mediante el uso de algunas ecuaciones y hojas de cálculo.

La metodología que se utiliza es el método del peor mes, que consiste en dimensionar el sistema híbrido en el mes donde hay mayor relación entre la demanda y generación eléctrica, con la finalidad de cubrir el 100% de la demanda energética del Caserío Yapato. El comportamiento de la demanda energética será clave para el desarrollo del este sistema, además del estudio del potencial eólico y solar.

Asimismo, se ha contemplado la instalación de un sistema de almacenamiento, que permita cubrir la demanda, en caso haya una falla en algunos de los componentes. Con esto se garantiza una alta confiabilidad de los equipos, minimizando problemas de fallas.

La figura 35 muestra el diagrama de flujos que se ha utilizado para para obtener el dimensionamiento del sistema híbrido:

Figura 35: Metodología para el dimensionamiento del Sistema Híbrido⁹¹



⁹¹ Elaboración propia

6.6 Dimensionamiento del Sistema híbrido

Mediante el cálculo de la demanda energética, la elección del panel fotovoltaico y aerogeneradores que se ha realizado en el punto 6.1.3 y 6.2.3 respectivamente, se procede a calcular la cantidad de equipos a instalar. Asimismo, se evaluará la compatibilidad tecnológica y eléctrica con el controlador e inversor.

6.6.1 Demanda energética

La demanda energética del Caserío Yapato presenta ciertas particularidades que el sistema híbrido debe contemplar, las cuales son:

Demanda mensual: En la tabla 20, se muestra la demanda mensual a cubrir que considera un 5% adicional a la demanda calculada en el punto 4.2, con el fin de asegurar una cobertura total de la demanda energética en el Caserío Yapato.

Tabla 20: Demanda mensual Caserío Yapato⁹²

Mes	Número de días	Demanda mensual (kWh)
Enero	31	62,928
Febrero	28	57,218
Marzo	31	59,454
Abril	30	57,070
Mayo	31	58,849
Junio	30	57,393
Julio	31	58,750
Agosto	31	64,524
Setiembre	30	62,275
Octubre	31	58,366
Noviembre	30	57,370
Diciembre	31	59,155
TOTAL	365	713,351

Potencia máxima demandada: La potencia máxima demanda que debe entregar el sistema híbrido está en función de la máxima potencia horaria que tiene el centro poblado. Acorde a la información de la tabla 11, la máxima potencia demandada es 16.8kW.

Demanda de equipos no rutinarios: Se refiere a las electrobombas de 2HP que se utilizan por temporada para el regadío de todo el terreno agrícola. En este trabajo se plantea un reacomodo de su consumo energético con el fin de aprovechar la baja demanda energética en los meses donde hay exceso de generación eléctrica.

⁹² Elaboración propia

6.6.2 Evaluación energética

Energía generada por panel fotovoltaico: En la tabla 21, se muestra la energía mensual producida por un panel fotovoltaico seleccionado en el punto 6.1.3.

Tabla 21: Energía solar mensual producida por panel fotovoltaico⁹³

Mes	Energía solar mensual (kWh/mes)
Enero	41.9
Febrero	42.0
Marzo	43.6
Abril	39.4
Mayo	41.8
Junio	36.8
Julio	42.2
Agosto	45.4
Setiembre	46.5
Octubre	50.7
Noviembre	47.9
Diciembre	45.4
TOTAL (kWh/año)	523.6

Energía generada por aerogenerador: En la tabla 22, se muestra la energía mensual producida por un aerogenerador seleccionado en el punto 6.2.3.

Tabla 22: Energía eólica mensual producida por un aerogenerador⁹⁴

Mes	Energía eólica mensual (kWh/mes)
Enero	436.1
Febrero	210.1
Marzo	371.7
Abril	165.1
Mayo	243.2
Junio	197.9
Julio	173.0
Agosto	282.0
Setiembre	344.7
Octubre	339.3
Noviembre	314.4
Diciembre	347.7
TOTAL	3425.3

⁹³ Elaboración propia

⁹⁴ Elaboración propia

Rendimiento de los componentes: En la tabla 23, se muestra la información de los rendimientos del controlador e inversor, las cuales se han obtenida de la ficha técnica ubicados en el anexo D.

Tabla 23: Rendimiento de componentes sistema híbrido⁹⁵

Equipo	Rendimiento
Controlador de carga solar	0.98
Controlador de carga eólico	0.98
Inversor	0.98

Evaluación de lugar de instalación:

Tal como se indica en el punto 6.6, los hogares del Caserío Yapato se encuentran dispersos a lo largo de su extensión territorial, por lo cual es conveniente instalar sub-sistemas híbridos en las 4 zonas identificadas. Cada sub-sistema híbrido presenta un sistema de generación renovable, sistema de control, inversor DC/AC y un sistema de almacenamiento.

6.6.3 Evaluación de diferentes configuraciones híbridas

Para todas las configuraciones se adoptó el método del peor mes. Se ha contemplado analizar 3 tipos de configuración:

1. Configuración 100% Solar
2. Configuración 100% Eólico
3. Configuración Híbrida

Configuración 100% Solar: Para esta configuración sólo se tomó en cuenta que la generación de energía esté a cargo 100% de paneles solares, asimismo se contempla la instalación de un controlador del tipo MPPT. En la tabla 24 se describen los equipos utilizados para cubrir la demanda del Caserío Yapato:

Tabla 24: Listado de equipos y precios total para sistema 100% solar⁹⁶

Equipos	Marca	Modelo	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Panel fotovoltaico	Jinko Solar	JKM330PP-72	160	183	29,205
Controlador	Victron Energy	SmartSolar MPPT 250/60	20	730	14,600
Inversor	Victron Energy	48V 3000VA	20	1,795	35,900
				TOTAL	79,705

El costo de inversión para la adquisición de equipos es de 79,705 \$. El campo fotovoltaico (campo PV), estará formado por grupo de 8 paneles: 4 celdas en serio y 2 en paralelo. Con ello, se tendrá 20 campos de 8 paneles cada uno las cuales serán repartidos en las 4 zonas establecidas.

⁹⁵ Dato obtenido de la ficha técnica de cada producto. Ubicado en Anexo D

⁹⁶ Elaboración propia

Los datos presentados en la tabla 25 verifican que el controlador y el inversor son compatibles con la dimensión del campo.

Tabla 25: Verificación de compatibilidad técnica entre equipos en sistema 100% solar⁹⁷

Especificaciones	Panel fotovoltaico		Controlador		Inversor	
	PV	Arreglo PV (4x2)	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Voltaje de circuito abierto (V)	47 Vdc	188 Vdc	250 Vdc	48 Vdc	38 – 66 Vdc	230 Vac
Corriente de corto circuito (A)	9.1 Adc	23 Adc	35 Adc	60 Adc	100 Adc	20 Aac
Potencia nominal (W)	330	2640	3440	3440	3300	3300

En la tabla 26 se muestra la comparativa entre la energía producida vs la demanda energética. La energía producida cubre en todos los meses la demanda energética mensual, siendo junio el mes con la menor diferencia.

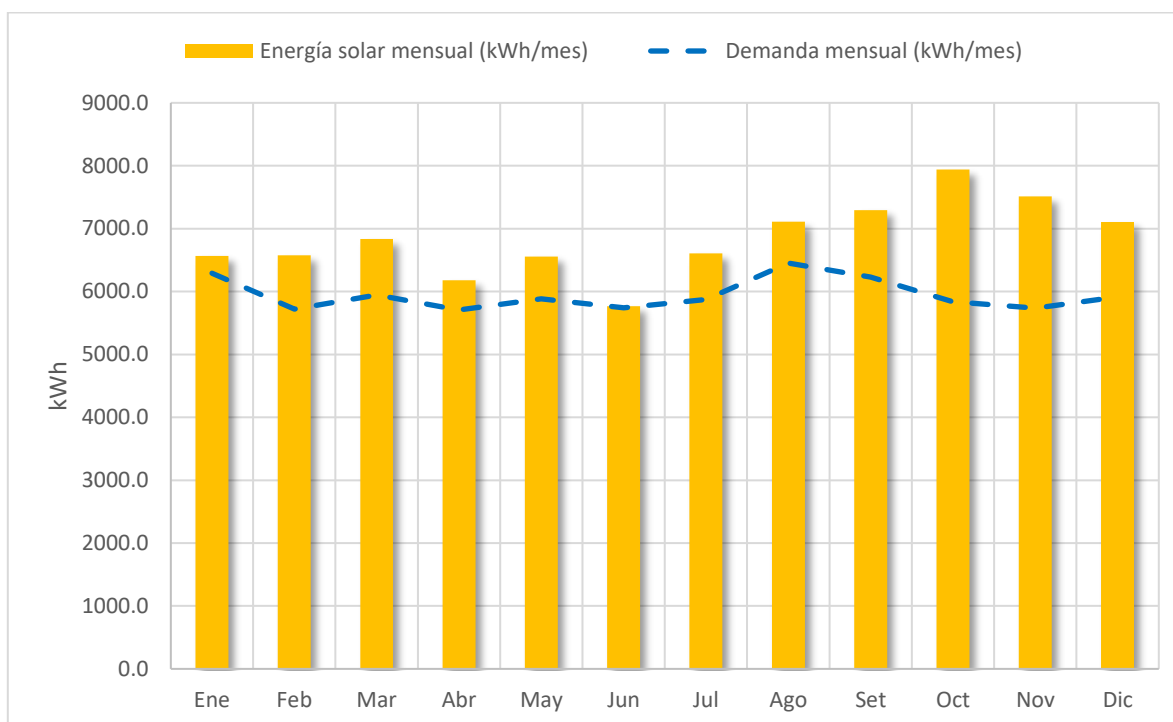
Tabla 26: Energía producida por configuración 100% fotovoltaico⁹⁸

Mes	Demanda energética mensual (kWh/mes)	Energía solar mensual (kWh/mes)	Diferencia (kWh/mes)
Enero	6,293	6,566	274
Febrero	5,722	6,575	853
Marzo	5,945	6,837	892
Abril	5,707	6,180	473
Mayo	5,885	6,553	668
Junio	5,739	5,767	28
Julio	5,875	6,605	730
Agosto	6,452	7,111	659
Setiembre	6,227	7,294	1,066
Octubre	5,837	7,939	2,103
Noviembre	5,737	7,510	1,773
Diciembre	5,915	7,108	1,192
TOTAL (kWh/año)	71,335	82,046	10,711

⁹⁷ Elaboración propia

⁹⁸ Elaboración propia

Figura 36: Demanda energética mensual vs energía producida mensual por sistema 100% solar⁹⁹



Con esta configuración se tiene un precio de energía y potencia, sobre los costes de adquisición de equipos (paneles, controladores e inversores) de 0.97 \$/kWh y 1.51 \$/kW respectivamente. Asimismo, se ha obtenido un excedente de 10,711kWh, el cual representa 21% más que la energía demandada.

Configuración 100% eólica: Se contempla la instalación con 100% aerogeneradores, además del controlador eólica. En la tabla 27 se detalle los equipos utilizados para cubrir la demanda eléctrica del Caserío Yapato:

Tabla 27: Listado de equipos y precios total para sistema 100% eólico¹⁰⁰

Equipos	Marca	Modelo	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Aerogenerador	ZONHAN	ZH 3 kW	35	2,690	94,150
Controlador eólico	Ginlong	China	35	840	29,400
Inversor eólico	SMA	Windy Boy - 3300	35	2,870	100,450
TOTAL					224,000

El costo de inversión para la adquisición de equipos es de 224,000 \$.

Los datos presentados en la tabla 28 verifican que el controlador y el inversor son compatibles con la dimensión del sistema eólico.

⁹⁹ Elaboración propia

¹⁰⁰ Elaboración propia

Tabla 28: Verificación de compatibilidad técnica entre equipos del sistema 100% eólico¹⁰¹

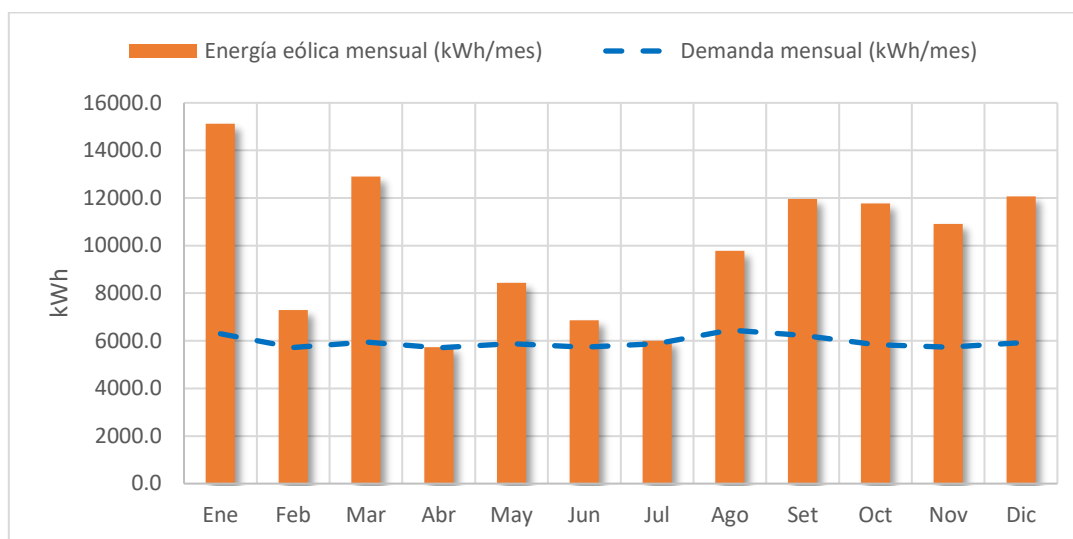
Especificaciones	Aerogenerador	Controlador		Inversor	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
Voltaje (V)	230Vac	40 a 500 Vac	48 Vdc	40 a 500 Vdc	230 Vac
Corriente máxima (A)	20 Aac	40 Aac	70 Adc	20 Vdc	20 Vac
Potencia nominal (W)	3000	20000	12000	3300	3300

En la tabla 29 se muestra la comparativa entre la energía producida vs la demanda energética. La energía producida cubre en todos los meses la demanda energética mensual, siendo abril el mes con la menor diferencia.

Tabla 29: Energía producida por configuración 100% eólico¹⁰²

Mes	Demanda energética mensual (kWh/mes)	Energía eólica mensual (kWh/mes)	Diferencia (kWh/mes)
Enero	6,293	15,128	8,836
Febrero	5,722	7,288	1,567
Marzo	5,945	12,897	6,952
Abril	5,707	5,729	22
Mayo	5,885	8,439	2,554
Junio	5,739	6,867	1,128
Julio	5,875	6,002	127
Agosto	6,452	9,783	3,330
Setiembre	6,227	11,959	5,731
Octubre	5,837	11,772	5,935
Noviembre	5,737	10,909	5,172
Diciembre	5,915	12,065	6,149
TOTAL (kWh/anual)	71,335	118,837	47,502

¹⁰¹ Elaboración propia¹⁰² Elaboración propia

Figura 37: Demanda energética mensual vs energía producida mensual por sistema 100% eólica¹⁰³

Con esta configuración se tiene un precio de energía y potencia, sobre los costes de adquisición de equipos (paneles, controladores e inversores) de 1.88 \$/kWh y 2.13 \$/kW respectivamente. Asimismo, se ha obtenido un excedente de 47,502 kWh, el cual representa 75% más que la energía demandada.

Configuración Híbrida: Se ha propuesto una combinación híbrida que comparte la potencia generada por cada sistema renovable. En la tabla 30 se detalla los equipos utilizados para cubrir la demanda:

Tabla 30: Listado de equipos y precios total para sistema híbrido (solar eólico)¹⁰⁴

Equipos	Marca	Modelo	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Panel fotovoltaico	Jinko Solar	JKM330PP-72	96	183	17,523
Aerogenerador	ZONHAN	ZH 3 kW	12	2,690	32,280
Controlador híbrido	BANGZHAO	BWS-6.5kw-48v	12	1,260	15,120
Inversor	MUST	PV30-6KW MPK	12	2,499	29,988
				TOTAL	94,911

El costo de inversión para la adquisición de equipos ascendería a 94,911 \$.

Los datos presentados en la tabla 31, 32 y 33 verifican que el controlador y el inversor son compatibles con la dimensión del sistema híbrido.

Tabla 31: Verificación de compatibilidad técnica entre sistema solar y controlador híbrido¹⁰⁵

Especificaciones	Panel fotovoltaico		Controlador híbrido	
	PV	Arreglo PV (4x2)	Entrada	Salida
Voltaje (V)	47 Vdc	188 Vdc	250 Vdc	48 Vdc
Corriente máxima (A)	9 Adc	23 Adc	25 Adc	80 Adc
Potencia nominal (W)	330	2,640	3,500	6,500

¹⁰³ Elaboración propia¹⁰⁴ Elaboración propia¹⁰⁵ Elaboración propia

Tabla 32: Verificación de compatibilidad técnica entre sistema eólico y controlador híbrido¹⁰⁶

Especificaciones	Aerogenerador	Controlador híbrido	
		Entrada	Salida
Voltaje (V)	230Vac	>120 Vac	48 Vdc
Corriente máxima (A)	20 Aac	35 Aac	80 Adc
Potencia nominal (W)	3,000	4,000	6,500

Tabla 33: Verificación de compatibilidad técnica entre controlador híbrido e inversor¹⁰⁷

Especificaciones	Controlador	Inversor	
	Salida	Entrada	Salida
Voltaje (V)	48 Vdc	>40 Vdc	230 Vac
Corriente máxima (A)	80 Adc	90 Adc	28 Aac
Potencia nominal (W)	6,500	6,500	6,500

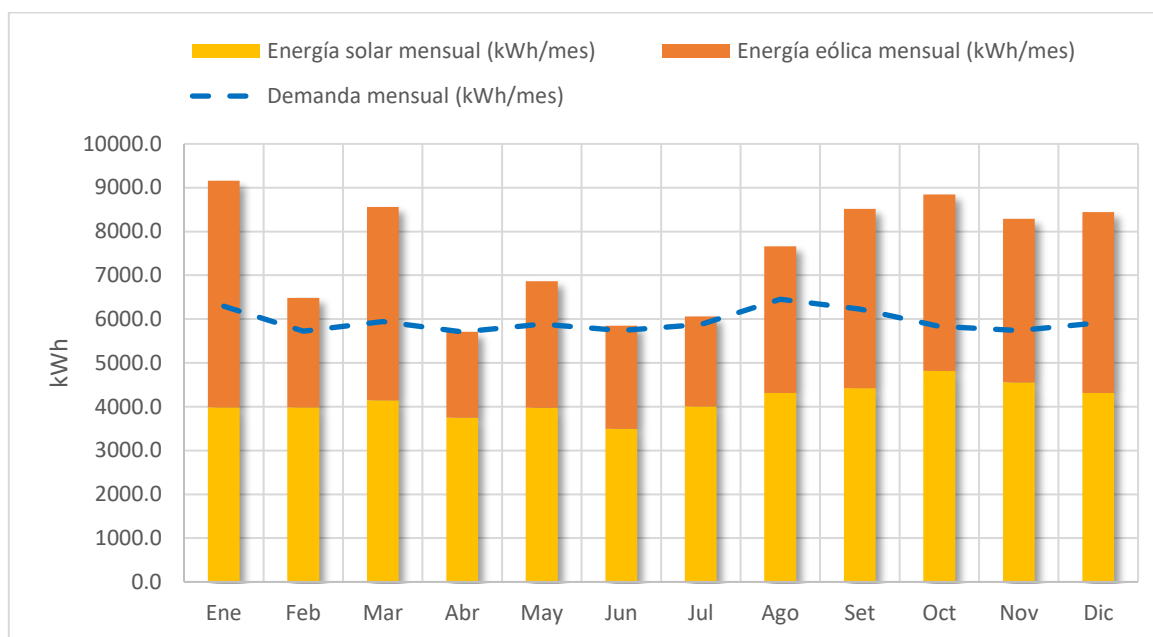
En la tabla 34, se muestra la comparativa entre la energía producida vs la demanda energética. La energía producida cubre en todos los meses la demanda energética mensual, siendo abril el mes con la menor diferencia.

Tabla 34: Energía producida por configuración híbrida (solar-eólico)¹⁰⁸

Mes	Demanda energética mensual (kWh/mes)	Energía solar mensual (kWh/mes)	Energía eólica mensual (kWh/mes)	Energía total producida (kWh/mes)	Diferencia (kWh/mes)
Enero	6,293	3,982	5,179	9,161	2,869
Febrero	5,722	3,987	2,495	6,483	761
Marzo	5,945	4,147	4,415	8,562	2,616
Abril	5,707	3,748	1,961	5,709	2
Mayo	5,885	3,974	2,889	6,863	978
Junio	5,739	3,497	2,351	5,848	109
Julio	5,875	4,005	2,055	6,060	185
Agosto	6,452	4,313	3,349	7,662	1,209
Setiembre	6,227	4,423	4,094	8,517	2,290
Octubre	5,837	4,815	4,030	8,845	3,008
Noviembre	5,737	4,555	3,735	8,289	2,552
Diciembre	5,915	4,310	4,130	8,441	2,525
TOTAL (kWh/año)	71,335	49,756	40,684	90,441	19,105

¹⁰⁶ Elaboración propia¹⁰⁷ Elaboración propia¹⁰⁸ Elaboración propia

Figura 38: Demanda energética mensual vs energía producida mensual por sistema híbrido (solar - eólico)¹⁰⁹



Con esta configuración se tiene un precio de energía y potencia, sobre los costes de adquisición de equipos (paneles, controladores e inversores) de 1.05 \$/kWh y 1.40 \$/kW respectivamente. Asimismo, se ha obtenido un excedente de 19,105 kWh, el cual representa 33% más que la energía demandada.

6.6.4 Elección del sistema híbrido

En la tabla 35, se resume los costes asociados a la adquisición de equipos de los diferentes sistemas de generación renovable.

Tabla 35: Comparación de costes asociados de generación de cada sistema renovable¹¹⁰

Costes	Sistemas		
	100% eólico	100% solar	híbrido
Precio por energía (\$/kWh)	1.80	0.97	1.05
Precio por potencia (\$/kW)	2.03	1.51	1.40
Inversión preliminar (\$)	213,500	79,705	94,014

De acuerdo con los datos mostrados, el sistema que presenta menor costo por energía producida es el sistema 100% solar, sin embargo, presenta los siguientes inconvenientes:

- La energía que se produce por este sistema es limitada por el tiempo de horas de luz solar, en tal sentido el dimensionamiento de las baterías es aún mayor para cubrir las horas donde no hay presencia de luz solar.
- Dependencia a un solo recurso energético.

¹⁰⁹ Elaboración propia

¹¹⁰ Elaboración propia

Respecto al sistema eólico, este presenta el mayor precio entre los tres sistemas, además tiene las siguientes desventajas:

- Sobre generación de energía, respecto a la demanda energética.
- Mayor inversión en la adquisición de equipos.
- Dependencia a un solo recurso energético.
- Recurso eólico irregular

Mientras que el sistema híbrido presenta mayor flexibilidad por tener dos fuentes de generación renovable, es decir, cuando una fuente de energía no esté disponible por temas climáticos, la generación de energía eléctrica es proporcionada por la otra fuente de energía. Asimismo, cuando se presenta mayores horas de sol y de viento, las baterías se cargarán aún más rápido. Además, el precio por la energía generada por el sistema híbrido es ligeramente mayor que el precio de energía generado por el sistema solar, sin embargo, es mucho más barato que el sistema eólico.

En ese sentido, el sistema híbrido es el sistema que mejor prestación energética otorga con una mayor viabilidad técnica y económica.

6.6.5 Tratamiento de excedentes

El excedente generado por el sistema híbrido es de 19,105 kWh por año, el cual representa un 33% más que la energía demanda por el Caserío Yapato. Con el fin de aprovechar este excedente eléctrico, se ha considerado los siguientes planteamientos:

a) Sistema de almacenamiento

Los excedentes permiten alimentar un sistema de almacenamiento por baterías, que garantice cubrir la demanda energética en caso exista alguna falla o alguna limitación en la generación de alguna fuente renovable.

El dimensionamiento se realizará para cada una de las 4 zonas identificadas. Cada zona contará con 3 controladores, por lo que es conveniente tener 3 sistemas de almacenamiento de baterías independientes para cada zona, haciendo un total de 12 sistemas de almacenamiento en el total del sistema híbrido.

La demanda máxima diaria por cada uno de los doce sistemas de almacenamiento es de 17.99 kWh/d, por lo cual se ha considerado una tensión nominal (V_n) de 48V en el sistema eléctrico de corriente continua (CC ó DC).

Asimismo, el dimensionamiento de las baterías depende del tiempo de disponibilidad de la energía de la batería frente a un fallo del sistema híbrido, así como la tensión nominal y la demanda por cada controlador híbrido. La ecuación 14, permite calcular la capacidad de acumulación necesarias para las baterías¹¹¹.

$$C_{100} = \frac{N_d * E_{Tm}}{P_d * V_n} \quad (14)$$

Donde:

- C_{100} : Capacidad de la batería C_{100} (Ah)
- N_d : Días de autonomía. Debido al costo elevado de las baterías, se ha considerado 2 días de autonomía (48 hrs).
- E_{Tm} : Energía demanda diaria para el mes peor (Wh). 17,990 Wh.

¹¹¹ Definición tomada de referencia [29] [30]

- P_d : Profundidad de descarga de la batería. Se ha considerado un valor de 0.8 para baterías de plomo ácido.
- V_n : Voltaje nominal del sistema DC considerado: 48V

Se tiene que la capacidad requerida para las baterías debe estar por encima de 937 Ah. En función de este parámetro, se evaluaron varias marcas y modelos de baterías.

En el anexo D, se encuentran las características técnicas de las baterías evaluadas. La mejor elección por precio y características técnicas es la batería Ultracell UZS590-2 de 2V con una capacidad de 590 Ah.

En función de las características eléctricas de la batería se calcularon el número de batería que se requieren en serio y paralelo, mediante las ecuaciones 15 y 16 respectivamente:

- Número de baterías en serie

$$N_s = \frac{V_n}{V_{bat}} \quad (15)$$

$$N_s = \frac{48}{2} = 24$$

- Número de batería en paralelo:

$$N_p = \frac{C_{100} * 1.2}{C_{bat}} \quad (16)$$

$$N_p = \frac{937 * 1.2}{590} = 1.91 \approx 2$$

Cada uno de los 12 sistemas de almacenamiento presentará 48 baterías.

b) Ampliar consumo de equipos no rutinarios en zona valle.

La electrobomba es uno de los equipos no rutinarios que presenta consumo por temporada. Actualmente, la electrobomba de 2HP tiene un tiempo de uso promedio de 4 hrs/d, de lunes a viernes en los meses de enero, febrero, agosto y septiembre¹¹², tal como muestra la tabla 36. Esta cantidad de tiempo se encuentra limitado por el generador eléctrico, que presenta una capacidad de potencia reducida y no le permite entregar más energía, limitando la cantidad de agua vertida para el regadío en sus productos agrícolas.

Asimismo, los meses donde se presentan mayor excedente de energía producida son de agosto a enero, es decir, cuando la producción de energía es mayor a la demanda del Caserío Yapato (zona valle), las cuales coinciden con el uso de la motobomba de 2HP.

En este trabajo se plantea ampliar el consumo de la electrobomba para los meses de agosto a febrero. Se ha considerado ampliar el tiempo promedio de uso de 4 a 8 horas por día, así como el número de días, de 5 a 7 días, con fin de aumentar el volumen de agua vertido para el regadío agrícola.

Asimismo, se contempla la instalación de tanques de acumulación de agua que garantice el uso del agua frente a una situación que imposibilite u obstaculice el consumo de agua de red.

¹¹² Elaboración propia. Relevamiento de información en visita al Caserío Yapato

Este tanque permitirá almacenar agua en los meses donde se necesite verter agua para el riego agrícola, y con ello asegurar el desarrollo económico en la zona.

La cantidad y volumen del tanque de almacenamiento dependerá de la cantidad de agua que se desea almacenar por mes. En la tabla 36, se muestra la cantidad de agua que se podría almacenar por mes, el cual se encuentra en función de la cantidad de horas de funcionamiento de las motobombas y el caudal de bombeo ($0.3 \text{ m}^3/\text{hr}^{113}$).

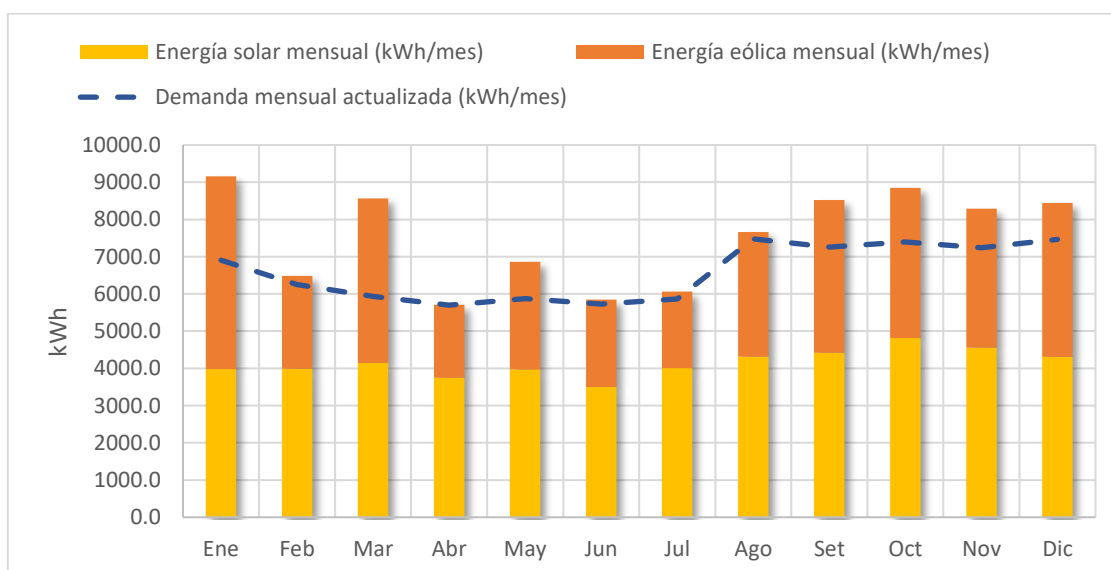
Tabla 36: Volumen anual vertido por las motobombas para el regadío agrícola¹¹⁴

Día	Horas de bombeo (hrs)	Volumen vertido día (lt)	Volumen por mes (lt)
Lunes	4	1,200	4,800
Martes	4.5	1,350	5,400
Miércoles	5	1,500	6,000
Jueves	3.5	1,050	4,200
Viernes	3	900	3,600
Total por mes			24,000

Se ha contemplado que el tanque de agua pueda almacenar un volumen de 24,000 litros, el cual es equivalente al volumen vertido en un 1 mes, acorde a los datos mostrados en la tabla 36. El tanque de almacenamiento que se ha seleccionado tiene una capacidad de 25,000 litros. Las características técnicas y el cálculo del volumen de almacenamiento se encuentran en el anexo D. Asimismo, el aumento de consumo eléctrico que podría incurrir las electrobombas no implica una ampliación del sistema híbrido, ya que su uso se hará en las zonas valles.

En la figura 39, se muestra que el nivel de demanda energética actualizada con el aumento de consumo de la electrobomba es mayor a la energía producida por el sistema híbrido. Con esto, el excedente energético se reduce de 19,105 kWh/año a 11,350 kWh/año, reduciendo el excedente energético de 33% a 14%.

Figura 39: Demanda energética mensual actualizada vs energía producida mensual por sistema híbrido¹¹⁵



¹¹³ Información acorde a la ficha técnica de la motobomba ubicada en Anexo D

¹¹⁴ Elaboración propia

¹¹⁵ Elaboración propia

6.6.6 Factor de planta

Se refiere al cociente entre la energía real generada por la central eléctrica durante un período, generalmente anual, y la energía generada si hubiera trabajado a plena carga durante ese mismo período, conforme a los valores nominales de las placas de identificación de los equipos. Es una indicación de la utilización de la capacidad de la planta en el tiempo.¹¹⁶

El factor de planta en un sistema de generación eléctrica es calculado mediante la ecuación 17:

$$FP = \frac{E_{gen}}{E_{genPC}} * 100\% \quad (17)$$

Donde:

- E_{gen} : Energía generada en el año (kWh/año)
- E_{genPC} : Energía que se generaría a plena carga en el año (kWh/año)

Se evaluará se evaluará el factor de planta para cada tecnología, eólica y solar, y del sistema híbrido.

Factor de planta de paneles solares:

$$FP_{PV} = \frac{49,756.4 \text{ kWh/año}}{31.7 \text{ kW} * 8760 \text{ h/año}} * 100\% = 17.9\%$$

Factor de planta de aerogenerador:

$$FP_{AG} = \frac{40684.2 \text{ kWh/año}}{36 \text{ kW} * 8760 \text{ h/año}} * 100\% = 12.9\%$$

Factor de planta del sistema híbrido:

$$FP_{SH} = \frac{90440.5}{67.7 \text{ kW} * 8760 \text{ h/año}} * 100\% = 15.3\%$$

6.6.7 Dimensionamiento final del sistema híbrido

Tal como se ha indicado el punto 6.6 la instalación del sistema híbrido se realizará en 4 zonas, debido a que cada una de ellas cuenta con la instalación eléctrica de baja tensión independientes. Cada una de 4 zonas se compondrá de los siguientes equipos detallados en la tabla 37:

Tabla 37: Equipos del sistema híbrida de cada una de las 4 zonas.

Equipos	Marca	Modelo	Cantidad
Panel fotovoltaico	Jinko Solar	JKM330PP-72	24
Aerogenerador	ZONHAN	ZH 3 kW	3
Controlador híbrido	BANGZHAO	BWS-6.5kw-48v	3
Inversor	MUST	PV30-6KW MPK	3
Baterías	Ultracell	UZS590-2	144

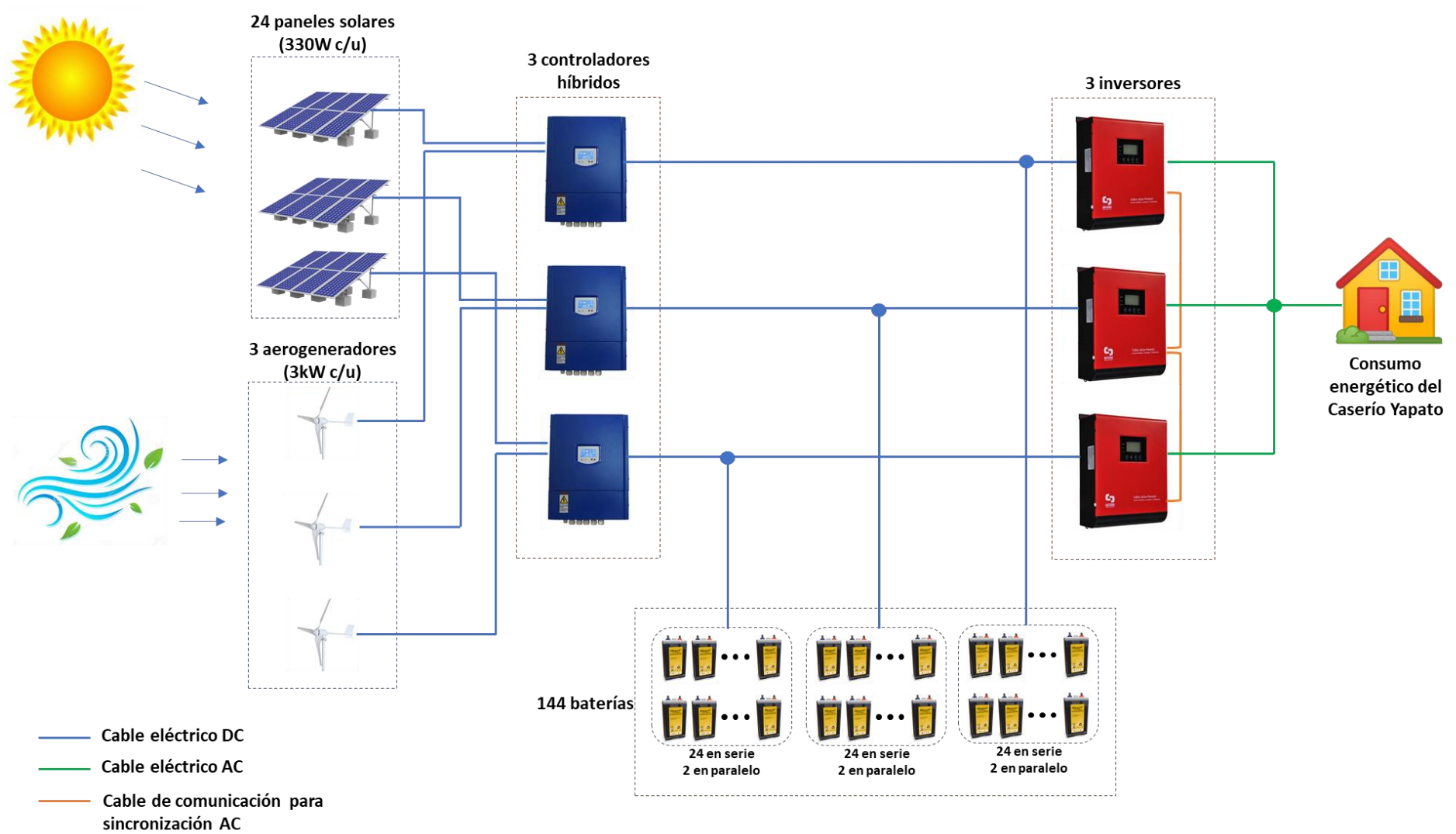
¹¹⁶ Definición tomada de referencia [31]

Cada uno de los 3 controladores híbrido se podrá gestionar la energía generada de 8 paneles solares, 1 aerogenerador y 48 baterías de manera independiente.

Asimismo, cada uno de los 3 inversores acondicionará la señal continua gestionada por cada controlador híbrido y la convertirá en corriente alterna (CA o AC). Para la sincronización de la señal alterna a la salida de los 3 inversores, se ha instalado un enlace de comunicación entre ellos, que les permita acondicionar las fases de la seña AC.

En la figura 40, se muestra el dimensionamiento del sistema híbrido por cada una de las 4 zonas:

Figura 40: Esquema del dimensionado del sistema híbrido de cada una de las 4 zonas¹¹⁷



¹¹⁷ Elaboración propia

6.7 Modos de operación del sistema híbrido

La operación del sistema híbrido presenta varios escenarios de funcionamiento, con el fin de atender y gestionar de manera eficiente la demanda energética del Caserío Yapato. El control de la potencia estará a cargo del controlador híbrido. Los casos de operación son los siguientes.

a) La generación es mayor a la demanda

- **Operación sistema híbrido:** El sistema híbrido estará alimentando directamente la demanda energética, y el excedente que se presenta serán utilizados para cargar las baterías hasta llegar a un punto en que su carga está al 100%. En este caso, el nivel de tensión de la red DC es mayor o igual a la tensión de las baterías establecido por la regulación de red de baja tensión.
- **Condición de sobrecarga de baterías:** Cuando la demanda es mucha menor que la generación y se tenga una sobrecarga de baterías, el controlador optará por limitar la generación para que la demanda energética sea atendida exclusivamente por las baterías dado que los paneles y aerogeneradores no pueden entregar una corriente de magnitud constante

b) La generación es menor a la demanda

- **Operación sistema híbrido – batería:** El sistema híbrido y las baterías están alimentando las cargas, con el fin de abastecer toda la energía demanda por las cargas.
- **Falla de suministro de generación:** Ante algún fallo en el aerogenerador o panel fotovoltaico, las baterías serán las encargadas de proporcionar la energía demanda durante la cantidad de días de autonomías definidas en el punto 6.6.5. La tensión de las baterías disminuirá hasta el punto en el que se consideran descargadas, según las especificaciones establecidas por el fabricante, detalladas en el anexo D.

6.8 Dimensionamiento del conexionado eléctrico

El dimensionamiento del conexionado eléctrico es de vital importancia para un proyecto exitoso, asimismo, parte importante de una instalación son los dispositivos de protección como los interruptores termomagnéticos (o fusibles) y los interruptores diferenciales (interruptor de circuito por falla a tierra), cuya función es la protección de personas, materiales y equipos.

Actualmente, en el Perú se cuenta con mínimas instalaciones de sistema híbridos, por ser una tecnología que recién ingresa a la región. Por tal razón, el Estado Peruano no tiene estipulado un marco normativo o regulatorio para la instalación y/o dimensionamiento de un sistema híbrido autónomo. Por esta razón, se utilizará la normativa española, así como buenas prácticas y estándares internacionales.

El dimensionamiento eléctrico contempla los siguientes puntos:

- Cálculo de la sección nominal mínima y la capacidad de corriente de conductos en régimen permanente, para sistemas AC y DC.
- Equipos de protección de diferencial de corriente y protección contra cortocircuito.
- Cuadros eléctricos.
- Puesta a tierra.
- Tubos para cables, caja de empalme, material accesorio.

6.8.1 Cálculo de la sección de cables:

El criterio del cálculo de la sección de cables para sistema híbridos está en función de la intensidad de corriente y la caída de tensión:

Intensidad máxima admisible: Está asociada a las pérdidas asociadas al efecto Joule, y si bien el revestimiento del cable es aislante, hay una cantidad de corriente máxima que es capaz de soportar sin que se sobrecaliente en exceso. Según el IEC 60364-7-712:2017 (Comisión Electrotécnica Internacional), el cable debe ser dimensionado para una intensidad que contemple el 1.25 de la intensidad máxima de cortocircuito en sistema fotovoltaicos. Para este trabajo se ha contemplado utilizar un factor de 1.35 en continua y alterna, con el fin de brindar un margen de seguridad y asegurar un dimensionamiento adecuado del conductor.

$$I_{CM} = I_{m\acute{a}x} * 1.35 \quad (18)$$

Donde:

- I_{CM} : Intensidad máxima del cable conductor seleccionado.
- $I_{m\acute{a}x}$: Intensidad máxima del circuito a instalar el cable.

Caída de tensión máxima: Es la diferencia presente entre los extremos de un conductor eléctrico. Al aplicar un determinado voltaje en un extremo del cable, debido a las condiciones físicas del mismo siempre, se producirá una caída del voltaje que llegará al otro extremo. Según la norma española, ITC-BT-40, la caída de máxima de tensión entre el generador y el punto de interconexión a la red de distribución pública no será superior a 1.5% para la intensidad nominal. Para este trabajo se ha contemplado una caída de tensión del 0.80% del voltaje máxima en continua y alterna.

$$S = \frac{2 * I_{m\acute{a}x} * L_C}{56 * \Delta V_{TP}} \quad (19)$$

Donde:

- $I_{m\acute{a}x}$: Intensidad máxima del circuito donde se instalaría el cable conductor.
- L_C : Longitud del cable (m). El factor 2 tiene en cuenta los dos cables conductores.
- ΔV_{TP} : caída de tensión entre los extremos del cable a instalar. Se contempla el 0.80% del voltaje máxima.

Los cables que han sido considerados presentan un aislamiento PVC de baja tensión (0.6/1 kV) por su bajo coste. El proveedor nacional considerado es INDECO.

Asimismo, se dimensionará el conexionado interno de cada uno de los 4 sub-sistemas híbridos.

a) Paneles fotovoltaicos – Controlado híbrido

L1: Cable entre los paneles solares en serie: Cable que conectan los paneles solares para obtener el array serie de los 4 paneles. En la tabla 38, se muestra el diámetro del conductor dimensionado.

L2: Cable entre el array de paneles y controlador (C_{L2}): Cable que conecta el array total de paneles (4x2) hacia el controlador híbrido. En la tabla 38, se muestra el diámetro del conductor dimensionado.

Tabla 38: Dimensionamiento de cable entre Panel Solar y Controlador Híbrido¹¹⁸

Cable:	L1	L2
Imáx (A)	9.1	18.1
Vmáx (V)	185.6	185.6
Intensidad de corriente admisible		
Icm (A)	12.2	24.4
S (mm ²)	1.5	4
Caída de tensión máxima		
ΔV_{tp} (V)	1.5	1.5
L (m)	10	18
S (mm ²)	2.9	10.6
Conductor elegido	2x4mm²	2x16mm²

Los conductores dimensionados tienen una caída real de tensión de 0.59% y 0.53% de los cables L1 y L2 respectivamente. El total de longitud se replicará por cada uno de los 3 controladores que presenta cada sub-sistema híbrido.

b) Aerogenerador eólico – Controlador híbrido

L3: Cable que conecta el generador eólico al controlador híbrido. En la tabla 39, se muestra el diámetro del conductor dimensionado.

Tabla 39: Dimensionamiento de cable entre Aerogenerador eólico y Controlador Híbrido¹¹⁹

Cable:	L3
Pnom (W)	3000
Vnom (V)	120
Imáx (A)	25.0
Intensidad de corriente admisible	
Icm (A)	33.8
S (mm ²)	6
Caída de tensión máxima	
ΔV_{tp} (V)	1.0
L (m)	18
S (mm ²)	22.6
Conductor elegido	2x25mm²

¹¹⁸ Elaboración propia

¹¹⁹ Elaboración propia

c) Controlador híbrido – Batería – Inversor

L4: Cable entre controlador híbrido y batería: cable que conecta el controlador híbrido y el banco de baterías en cada subsistema híbrido. En la tabla 40, se muestra el diámetro del conductor dimensionado.

L5: Cable entre controlador híbrido e inversor: cable que conecta el controlador híbrido y el inversor en cada subsistema híbrido. En la tabla 40, se muestra el diámetro del conductor dimensionado.

Tabla 40: Dimensionamiento de cable entre Controlador Híbrido, Batería e Inversor¹²⁰

Cable:	L4	L5
Pnom (W)	5160	6000
Vnom (V)	48	48
Imáx (A)	107.5	125.0
Intensidad de corriente admisible		
Icm (A)	145.1	166
S (mm ²)	35	50
Caída de tensión máxima		
ΔV_{tp} (V)	0.4	0.4
L (m)	2	2
S (mm ²)	27.0	30.9
Conductor elegido	2x35mm²	2x50mm²

d) Cableado entre inversor y barra de alimentación de baja tensión

L6: Cable que conecta la salida del inversor y la barra de alimentación donde se conecta todas las cargas del Caserío Yapato. En la tabla 41, se muestra el diámetro del conductor dimensionado.

Tabla 41: Dimensionamiento del conexionado eléctrico entre Inversor y Barra de alimentación de baja tensión¹²¹

Cable:	L6
Pnom (W)	6500
Vnom (V)	230
Imáx (A)	48.9
Intensidad de corriente admisible	
Icm (A)	66.1
S (mm ²)	16
Caída de tensión máxima	
ΔV_{tp} (V)	1.8
L (m)	18
S (mm ²)	23.1
Conductor elegido	2x25mm²

¹²⁰ Elaboración propia

¹²¹ Elaboración propia

En la tabla 42, se muestra la longitud y características del cableado eléctrico del sistema híbrido del Caserío Yapato.

Tabla 42: Características y longitud total requerido para la instalación del sistema híbrido¹²²

Cableado	Conductor	Aislamiento	Característica	Longitud por sub-sistema (m)	Longitud total sistema híbrido(m)
L1	1x4mm ²	PVC	THW-90 0,6/1 kV	60	240
L2	2x16mm ²	PVC	SET 0,6/1 kV	54	216
L3	2x25mm ²	PVC	SET 0,6/1 kV	54	216
L4	2x35mm ²	PVC	SET 0,6/1 kV	6	24
L5	2x50mm ²	PVC	SET 0,6/1 kV	6	24
L6	2x25mm ²	PVC	NYY 0,6/1 kV	54	216

6.8.2 Puesta a tierra

La puesta a tierra permitir proteger equipos y personas en el caso de una corriente de fuga, en lugar de quedarse en la parte metálica del aparato conectado al enchufe, esta corriente se deriva al terreno por estos cables o instalación llamada "Instalación de Toma de Tierra". Asimismo, previenen que no aparezcan diferencias de potencial peligrosas.

De esta manera, los equipos principales del sistema híbrido como el aerogenerador, arreglo fotovoltaico y banco de baterías, así como el tablero eléctrico deben contemplar la instalación de una toma de tierra. Asimismo, estarán conectados a la puesta a tierra, los dispositivos de protección frente a sobretensiones.

El tipo y la profundidad de enterramiento de las tomas de tierra deben ser tales que la posible pérdida de humedad del suelo, la presencia del hielo u otros efectos climáticos, no aumenten la resistencia de la toma de tierra por encima del valor previsto. La profundidad nunca será inferior a 0,50 m¹²³.

Acorde al ITC-BT-18 (Instrucciones Técnica Complementaria), los cables de puesta a tierra deben ser del mismo material que los conductores activos de la instalación, por lo cual el conductor que se utilizará será de material de cobre e irán alojados en la canalización utilizada para los conductores activos. La determinación de la sección del conductor de puesta a tierra está en función de la sección del conductor activo¹²⁴, acorde a la tabla 43.

Tabla 43: Relación entre las secciones de los conductores de protección y los de fase¹²⁵

Sección de los conductores activos de la instalación S (mm ²)	Sección mínima de los conductores de puesta a tierra Sp (mm ²)
S ≤ 16	Sp = S
16 < S ≤ 35	Sp = 16
S > 35	Sp = S/2

En ese sentido, para el conexionado de continua y alterna se va a contemplar la instalación de un cable THW-90 2x16mm² de una longitud total de 150m para todas las sub-sistemas

¹²² Elaboración propia

¹²³ Definición tomada de referencia [32]

¹²⁴ Definición tomada de referencia [33]

¹²⁵ Definición tomada de referencia [33], tabla 2.

híbridos. Estos cables serán instalados a la varilla de cobre que cuenta actualmente el Caserío Yapato.

6.8.3 Dispositivos de protección

Son utilizados para evitar la destrucción de equipos o instalaciones por causa de una falla que podría iniciarse de manera simple y extenderse sin control. Su objetivo es aislar la sección donde se produjo la falla para evitar los daños de equipos, minimizar la posibilidad de incendio y minimizar el peligro a las personas.

En este trabajo se establecen protecciones para cada tramo del circuito del sistema híbrido, tanto para corriente continua como para corriente alterna.

Las protecciones que han sido dimensionadas son:

- Protección contra sobrecargas
- Protección contra cortocircuitos
- Protección contra sobretensiones

a) Protección de la instalación en corriente continua

De acuerdo con el estándar internacional IEC 60364-7-712, se tiene que contemplar la instalación de un interruptor principal en continua contra sobretensiones que será ubicado entre el generador e inversor.

Interruptor general para campo fotovoltaico

Este interruptor permitirá aislar y proteger el arreglo fotovoltaico. En este trabajo, cada arreglo cuenta con 8 paneles (4 en serie y 2 líneas paralelas).

$$V_{arreglo} = V_{OC_{PV}} * 4 = 46.4 * 4 = 185.6 V$$

$$I_{arreglo} = 1.35 * I_{CC_{PV}} * 2 = 1.35 * 9.05 * 2 = 24.4 A$$

Con los datos obtenidos, se ha considerado un interruptor termomagnético bipolar de 2x32A de la marca Solera, con poder de corte de 6kA.

Asimismo, se ha contemplado la instalación de fusibles en cada línea serie del arreglo fotovoltaico, de modo de no generar una sobre costo asociado en la instalación. El dimensionamiento de los fusibles debe cumplir la relación mostrada en la ecuación 20:

$$I_b \leq I_n \leq 0.9 * I_{adm} \quad (20)$$

Donde:

- I_b : Corriente nominal.
- I_{adm} : Es la máxima intensidad admisible del cable conductor de la línea.

La línea serie cuenta con 4 paneles, con lo cual se tendrá:

$$I_b = 1.35 * I_{CC_{PV}} = 1.35 * 9.05 = 12.2A$$

Además, esta línea tiene un diámetro de 2x4mm con intensidad máxima de 36A.

Con los datos obtenidos, se ha considerado un fusible de 2x20A de la marca Bticino, que será conectado a la salida de cada línea en serie del campo fotovoltaico.

Interruptor general para aerogenerador

$$V_{aero} = 120 V$$

$$I_{aero} = 1.35 * I_{m\acute{a}x} = 1.35 * 25 = 33.8 A$$

Con los datos obtenidos, se ha considerado un interruptor termomagnético bipolar de 2x40A de la marca Bticino, con poder de corte de 10kA.

Interruptor general para las baterías

Este interruptor permitirá aislar y proteger el banco de baterías. En este trabajo, cada banco de batería está asociado a cada controlador e inversor.

$$V_{banco\ baterias} = V_{bat-arreglo} = 48V$$

$$I_{banco\ baterias} = 1.35 * I_{m\acute{a}x_{bat-arreglo}} = 1.35 * 110 = 148.5 A$$

Con los datos obtenidos, se ha considerado un interruptor termomagnético bipolar de 2x160A de la marca Schneider Electric, con poder de corte de 85kA.

Asimismo, se ha contemplado la instalación de fusibles en cada línea de la salida del controlador híbrido al inversor. El dimensionamiento de los fusibles debe cumplir según la siguiente relación:

$$125 \leq I_n \leq 168 A$$

Con los datos obtenidos, se ha contemplado un fusible de 2x160A de la marca Bticino, para cada línea en serie del banco de baterías.

b) Protección de la instalación en corriente alterna

Estas protecciones permiten aislar el sistema de generación total con la red de baja tensión y evitar cualquier defecto de alguna carga o evento externo que dañe la red, con el fin de proteger a las personas y evitar daños a la red.

Se ha contemplado el dimensionamiento de un interruptor termomagnético y diferencial en la salida de cada inversor.

Interruptor termomagnético

Para su dimensionamiento, se ha tenido en cuenta la corriente máxima de cada inversor.

$$I_{out_{inversor}} = 1.35 * I_{m\acute{a}x_{inversor}} = 1.35 * 48.9 = 66.1 A$$

Con los datos obtenidos, se ha contemplado un interruptor termomagnético bipolar de 2x80A de la marca Schneider Electric, con poder de corte de 20kA, los cuales se han de instalar a la salida de cada inversor.

Interruptor diferencial

Similar al dimensionamiento del interruptor termomagnético, el interruptor diferencial debe tener una capacidad mayor a 66.1A, además deberá tener una sensibilidad de defecto de 30mA.

Con estos datos, se ha contemplado un interruptor diferencia Id 2x80A 30mA de la marca Schneider Electric, con unidad de reconexión automática y con posición de polo de neutro.

Interruptor general de la instalación

Este interruptor tiene como función la desconexión automática de la instalación frente a sobrecargas y cortocircuitos. Además, que permite realizar una desconexión manual, en caso se requiera realizar un mantenimiento total o prueba a la instalación híbrida.

Para su dimensionamiento, se tendrá en cuenta la corriente máxima de los 3 inversores conectados en paralelo.

$$I_{out_{inversor}} = 1.35 * I_{nom_{inversor}} * 3 = 1.35 * 28.2 * 3 = 114 A$$

Con estos datos, se contempla un interruptor termomagnético bipolar de 2x125A de la marca Schneider Electric, con poder de corte de 20kA, los cuales se han de instalar a la salida de cada inversor.

c) Protección frente a sobretensiones¹²⁶

Una sobretensión refiere a una tensión elevada que supera el voltaje máximo de la instalación. La descarga de un rayo sobre cualquier cable conductor provoca sobretensiones en el conductor que se caracterizan por su corta duración, crecimiento rápido y valores de cresta muy elevado (hasta varios centenares de kV).

Las protecciones frente a estas sobretensiones normalmente consisten en varistores, que tienen la propiedad de presentar una resistencia muy elevada para tensiones normales del circuito, mientras que cuando detecta una sobretensión, la resistencia del varistor se hace muy pequeña derivando ésta a tierra y protegiendo al receptor.

Según el Reglamento electrotécnico para baja tensión de España (REBT), en su ITC-BT-23 (Instrucciones Técnica Complementaria), las instalaciones deberán proteger de sobretensiones, siempre que la instalación no esté alimentada por una red de distribución subterránea en su totalidad, tal como es el caso de la instalación híbrida de este trabajo.

Protección de sobretensiones en corriente continua

Los descargadores que se van a emplear son de tipo 2, destinados a la protección de los equipos generadores de energía. La tensión nominal del arreglo fotovoltaico y aerogenerador, son 185 y 120V respectivamente. Se ha contemplado el protector de clase II, que tiene una capacidad de derivar sobretensiones inducida de 8/20 μ s

En ese sentido, se ha considerado la instalación de protección de sobretensiones clase C bipolar para corriente continua de 40 kA de la marca PSM-PV, las cuales han de ser instalados entre el arreglo fotovoltaico y controlador, y entre el aerogenerador y el controlador.

Protección de sobretensiones en corriente alterna

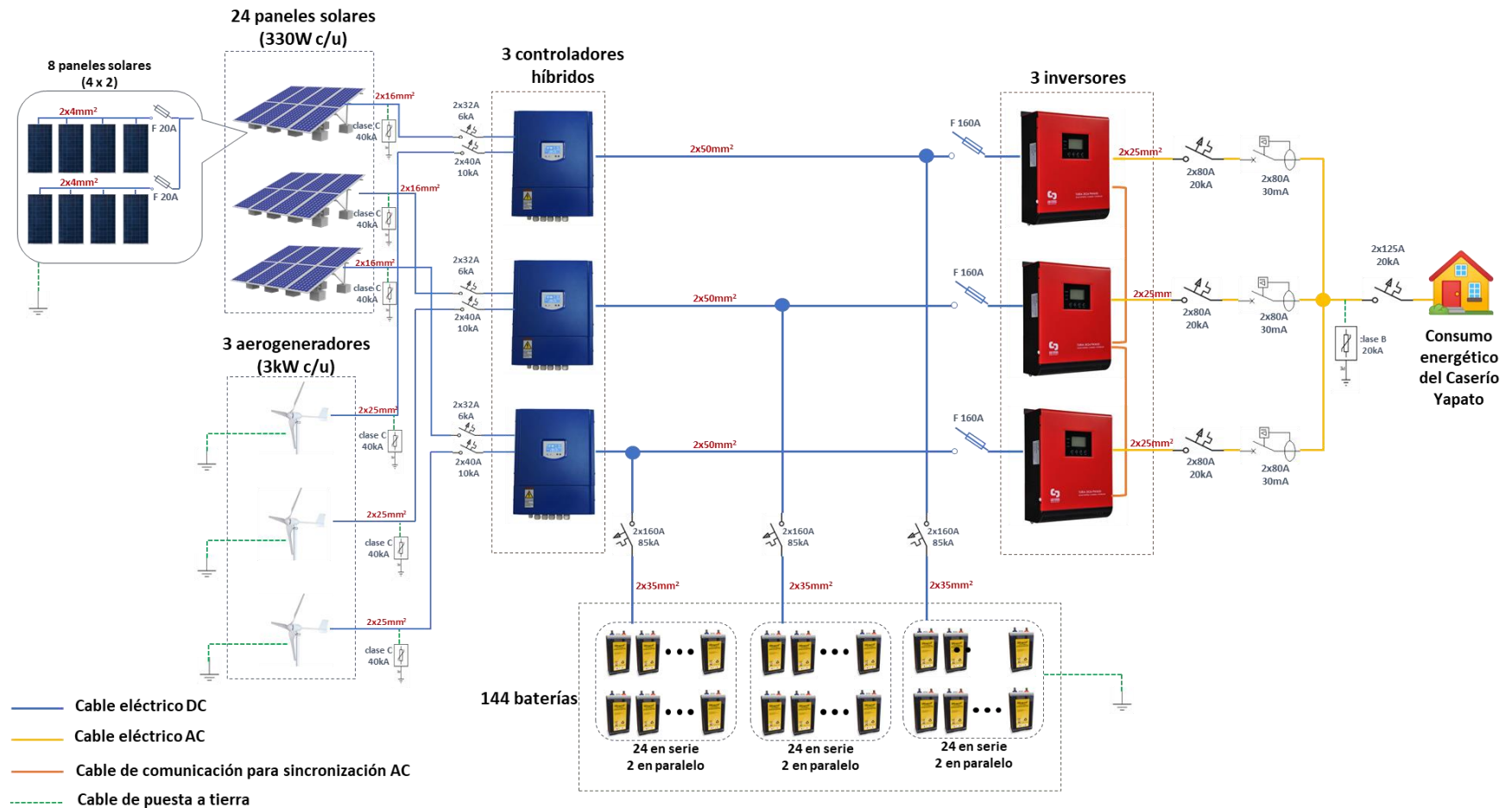
Los descargadores que se van a emplear son de tipo 1, destinados a la protección general de la instalación. La tensión nominal a la salida de la instalación es de 230V. Se ha contemplado el protector de clase I, que tiene una capacidad de derivar sobretensiones inducida de 10/350 μ s.

En ese sentido, se ha considerado la instalación de protección de sobretensiones clase B monofásico para corriente alterna de 20 kA de la marca Schneider, las cuales serán instaladas previo al interruptor general de la instalación.

¹²⁶ Definición tomada de referencia [34]

En la figura 41, se muestra un posible esquema de conexiones y protecciones del sistema híbrido.

Figura 41: Esquema del circuito eléctrico y protecciones del sistema híbrido de cada una de las 4 zonas¹²⁷



¹²⁷ Elaboración propia

6.8.4 Tablero eléctrico

Los tableros eléctricos son armazones metálicos que se utilizan para proteger a todos los componentes de mando y de control de un sistema eléctrico. En ellos irán montados los dispositivos de protección, control y maniobra que protegen a los generadores, y además permiten controlar la instalación de consumo en forma conjunta o fraccionada.

Para este trabajo, se ha contemplado la instalación de 2 tableros eléctricos.

Tablero eléctrico de control: Este tablero albergará todos los dispositivos de protección y cables asociados al aerogenerador, paneles solares, controlador, baterías y entrada al inversor.

Tablero eléctrico de salida de carga: Este tablero albergará las terminales de salida de cada inversor, así como los dispositivos de protección de alterna como el interruptor general termomagnético y el protector diferencial. Además, acogerá la barra de alimentación para las cargas del Caserío Yapato.

6.9 Evolución del rendimiento de los equipos principales

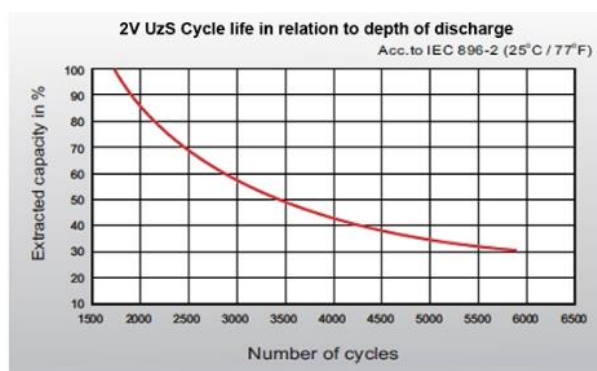
La evolución del rendimiento de cada equipo principal dependerá del programa de mantenimiento a ejecutarse, así como el desgaste propio del equipo por envejecimiento.

De acuerdo con la información del fabricante, la eficiencia del panel fotovoltaico se ve reducida en los primeros 5 años, en un 5%; 15 años después, se reduce en 10%, pasado los 25 años se ve reducida en 40%, tiempo en el cual amerita su cambio por llegar al final de su vida útil.

Para el caso del aerogenerador, su eficiencia se ve reducida en los primeros 10 años en un 10%, pasado los 20 años se reduce en 40%. Para el controlador e inversor, son equipos que por lo general mantienen su eficiencia. Para este trabajo se ha considerado una reducción, pasado 10 años, de un 5%.

De acuerdo con la información del fabricante, las baterías presentan una reducción de su rendimiento conforme aumenta el número de ciclos de descarga, tal cual se muestra en la figura 42.

Figura 42: Relación del rendimiento y ciclo de descarga de la batería¹²⁸



El sistema híbrido dimensionado cubre la totalidad de la demanda energética, con lo cual el funcionamiento de las baterías estará en función a la indisponibilidad o falla del sistema renovable. Para este trabajo, se ha contemplado 150 descargas cíclicas por año, con lo cual, en 20 años, se tendría 3000 ciclos, reduciendo su rendimiento a 60%.

¹²⁸ Información obtenida de la ficha técnica del fabricante. Anexo D.

6.10 Presupuesto inicial

Adquisición de equipos principales

En la tabla 44, se muestra el presupuesto de los equipos principales del sistema híbrido.

Tabla 44: Presupuesto de adquisición de los equipos principales del sistema híbrido¹²⁹

Equipos	Marca	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Panel fotovoltaico	Jinko Solar	96	183	17,523
Aerogenerador	ZONHAN	12	2,690	32,280
Controlador híbrido	BANGZHAO	12	1,260	15,120
Inversor	MUST	12	2,499	29,988
Baterías	Ultracell	576	190	109,440
			TOTAL	204,351

Presupuesto del dimensionado eléctrico

Se ha contemplado un gasto que representa un 20% del costo de los equipos del sistema híbrido. Para este trabajo, representa una suma que asciende a \$40,870.

Presupuesto de otros equipos

Se ha contemplado la instalación de 1 tanque de acumulación de agua, el cual permitirá almacenar agua en los meses donde se necesite verter agua para el riego agrícola. El precio del tanque es \$5,780¹³⁰, el cual incluye instalación y colocación de soportes.

Presupuestos de instalación y mano de obra

Este presupuesto contempla lo siguiente:

- Mástil para soportar el aerogenerador.
- Estructura para colocar los paneles fotovoltaicos.
- Soporte para colocar los bancos de baterías.
- Obras civiles, Mano de obra entre otros.

Se ha contemplado un gasto que representa un 30% del costo total de los equipos del sistema híbrido. Para este trabajo, representa una suma que asciende a \$ 61,305.

Presupuesto total

La tabla 45 muestra el resumen del presupuesto inicial de instalación del sistema híbrido:

Tabla 45: Presupuesto inicial para la instalación del sistema híbrido

Concepto	Inversión (\$)
Equipos principales del sistema híbrido	204,351
Dimensionado eléctrico	40,870
Instalación y mano de obra	61,305
Otros equipos	5,780
TOTAL	312,306

¹²⁹ Elaboración propia

¹³⁰ Precio tomado de la web: https://www.rotoplas.com.pe/tanques-industriales/25000?PS=21&map=c,specificationFilter_42

CAPITULO 7: ESTUDIO ECONÓMICO

La evaluación económica-financiera del proyecto permite valorar la inversión a partir de la información cuantitativa obtenida al inicio y a lo largo del proyecto.

A través de un flujo de caja, se podrá evaluar la rentabilidad de los flujos futuros, una vez descontada la inversión inicial, y así entender la viabilidad de este proyecto desde el punto de vista económico¹³¹

El análisis de sensibilidad del proyecto ha contemplado tres escenarios: Optimista, Pesimista y Base, los cuales responden a la incertidumbre y variación de variables externas que más afectan el resultado económico del proyecto, tales como precio del petróleo, costo de operación y mantenimiento e inflación anual.

7.1 Criterios de evaluación

Consiste en comparar precisamente los flujos de ingresos con los flujos de costes para el análisis de la rentabilidad de la inversión. Las categorías que han sido evaluados: Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el retorno de la inversión (RI).

7.1.1 Valor Actual Neto (VAN)

Permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. Para ello se llevan todos los flujos de caja al presente descontándoles un tipo de interés determinado. El valor actual neto se calcula mediante la ecuación 21.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad (21)$$

Donde:

- n: Número de periodos de tiempo. Se analizará por periodos anuales
- I_0 : Inversión realiza en el momento inicial ($t = 0$)
- F_t : Flujos de dinero en cada periodo t
- k: Tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión. En ese trabajo, el valor será igual al porcentaje del costo de oportunidad.

Los criterios de decisión, si las inversiones son realizadas, son las siguientes:

- $VAN > 0$, el valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios.
- $VAN = 0$, el proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, siendo su realización, en principio, indiferente.
- $VAN < 0$, el proyecto de inversión generará pérdidas, por lo que deberá ser rechazado.

¹³¹ Definición tomada de referencia [35]

7.1.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. Es una medida que está muy relacionada con el valor actualizado neto (VAN). También se define como el valor de la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero, para un proyecto de inversión dado. La tasa interna de retorno se calcula mediante la ecuación 22.

$$VAN = -I_o + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad (22)$$

Los criterios de decisión, si las inversiones son realizadas, son las siguientes:

- Si $TIR > k$, el proyecto de inversión será aceptado. En este caso, la tasa de rendimiento interno que obtenemos es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.
- Si $TIR = k$, estaríamos en una situación similar a la que se producía cuando el VAN era igual a cero. En esta situación, la inversión podrá llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa y no hay alternativas más favorables.
- Si $TIR < k$, el proyecto debe rechazarse. No se alcanza la rentabilidad mínima que le pedimos a la inversión.

7.1.3 Retorno de la inversión (RI)

Permite conocer la rentabilidad real de cualquier tipo de inversión, es decir, es una métrica general del performance financiero del proyecto que muestra cuánto has ganado o perdido por cada dólar que se ha gastado.

El cálculo es de la siguiente manera:

$$RI = \frac{\text{Ingresos} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}} * 100\% \quad (23)$$

Donde:

- Ingresos: se refiere a la sumatoria de los flujos de cajas llevado al presente
- Inversión: Es el presupuesto inicial, contemplado en el punto 6.10.

7.2 Costes del proyecto

Se han tomado en cuenta los costes a lo largo de la operación del proyecto, los costes relacionados al proyecto, y los costes asociados a la oportunidad de la inversión en otros estados financieros.

7.2.1 Costo de oportunidad del capital (COK)

Es el coste de la alternativa a la que se renuncia cuando se toma una determinada decisión, incluyendo los beneficios que se podría haber obtenido de haber escogido otro proyecto, es decir, los recursos que se podría ganar si se colocará a trabajar el dinero de la inversión.

Considerando colocar en una tasa de inversión a plazo fijo del dinero en dólares, actualmente se podría conseguir una tasa anual de 4%, valor que se definirá como costo de oportunidad en este trabajo.

7.2.2 Costo de Operación y Mantenimiento

Un buen suministro de energía eléctrica requiere un alto grado de confiabilidad, se debe evaluar el grado y frecuencia de riesgos técnicos del sistema, el tiempo promedio entre fallas, la redundancia, así como los tipos de fallas y sus efectos¹³².

Para tales fines se plantea la aplicación de una Operación y Mantenimiento a todo el sistema híbrido, el cual permitirá asegurar la confiabilidad, prever fallas de los equipos, así como reducir los costes por la compra de equipos nuevos. Es recomendable revisar el estándar IEC 62446-2 sobre Mantenimiento de energías renovables.

En la tabla 46, se describe la frecuencia de mantenimiento aplicada para cada componente del sistema híbrido:

Tabla 46: Programa de Mantenimiento contemplado para el Sistema Híbrido¹³³

Equipo	Descripción de la actividad	Frecuencia
Panel Fotovoltaico	Limpieza e inspección visual	Bimestral
	Inspección integral y medición de parámetros eléctricos	Anual
Aerogenerador	Limpieza, verificación del desgaste	Bimestral
	Inspección integral y medición de parámetros eléctricos	Anual
Controlador híbrido	Limpieza e inspección visual	Cuatrimestral
	Inspección integral y medición de parámetros eléctricos	Anual
Inversor	Limpieza e inspección visual	Cuatrimestral
	Inspección integral y medición de parámetros eléctricos	Anual
Batería	Limpieza e inspección visual	Cuatrimestral
	Inspección integral y medición de parámetros eléctricos	Anual
Conexión interior y protecciones	Inspección integral y medición de parámetros eléctricos	Anual

Los costes asociados a la operación y mantenimiento se refieren a los gastos referente al personal, limpieza de equipos, verificación de funcionamiento de equipos, detección de fallas, entre otros. Hay diferentes fuentes donde se puede obtener información. De acuerdo con la fuente de OSINERMING¹³⁴, los costes de operación y mantenimiento asociados a la generación solar y eólica varía entre 1 y 2% de costo inicial de la inversión. En este caso, alcanzaría los \$7,120.9 anuales al primer año, y se ha considerado una inflación anual de 3%.

En función a los tres escenarios definidos en el punto 7, se contempla lo siguiente:

- Para el caso optimista, se ha considerado que el costo de O&M aumente por año e un promedio de 1% anual.
- Para el caso base, se ha considerado que el costo de O&M aumente por año e un promedio de 2% anual.
- Para el caso pesimista, se ha considerado que el costo de O&M aumente por año e un promedio de 3% anual.

¹³² Definición tomada de referencia [36]

¹³³ Elaborado en función a las recomendaciones de la referencia [36]

¹³⁴ Información tomada de referencia [7], pág. 40

7.2.3 Costo por actualización de equipos

Los equipos presentan un tiempo de vida útil determinado por el fabricante. Una vez transcurrido este tiempo se reemplazaría por un equipo nuevo.

En la tabla 47, se muestra el tiempo de vida útil de cada equipo del sistema híbrido, las cuales fueron extraídas de la ficha técnica de cada producto, ubicadas en el anexo D.

Tabla 47: Tiempo de vida útil de los equipos principales del sistema híbrido¹³⁵

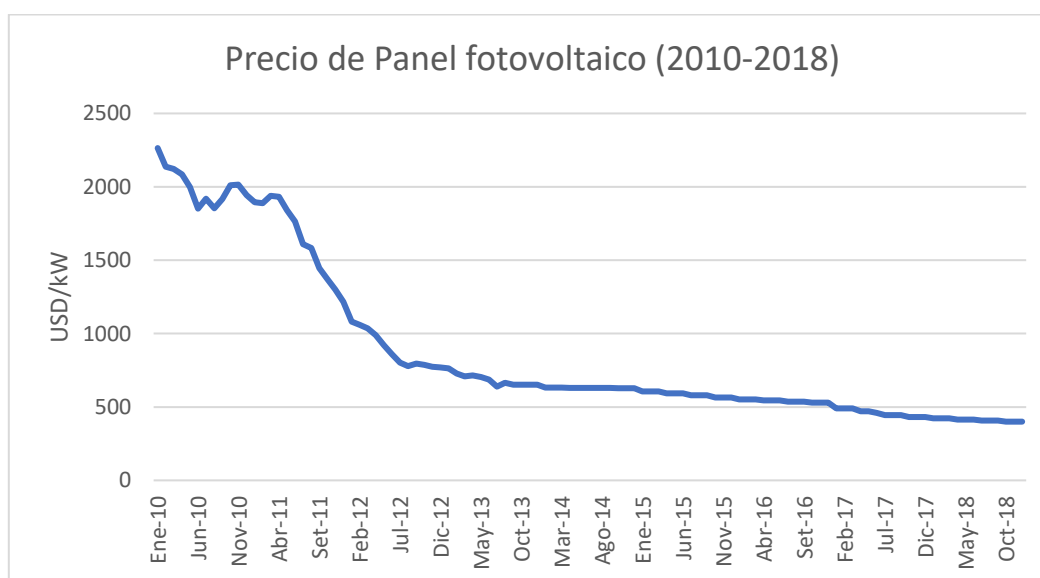
Equipos	Tiempo de vida útil (años)
Panel fotovoltaico	25
Aerogenerador	20
Controlador híbrido	18
Inversor	18
Baterías	20

Transcurrido el tiempo de vida útil, el precio de adquisición de cada equipo no será igual al precio en la actualidad por diversos factores tales como:

- Productos con mayores prestaciones energéticas
- Desarrollo tecnológico.
- Aumento de proveedores nacionales e internacionales.

En la figura 43, se muestra la evolución de precios de paneles fotovoltaicos. Entre los años 2010 y 2012, los precios de los paneles disminuyeron en un rate de 35%. Entre el 2013 y 2016, la disminución de los precios se mantuvo en un rate de 8%. En los últimos años, la disminución de los precios ha estado en 5% anual.

Figura 43: Evolución de precio de generación de paneles fotovoltaico¹³⁶



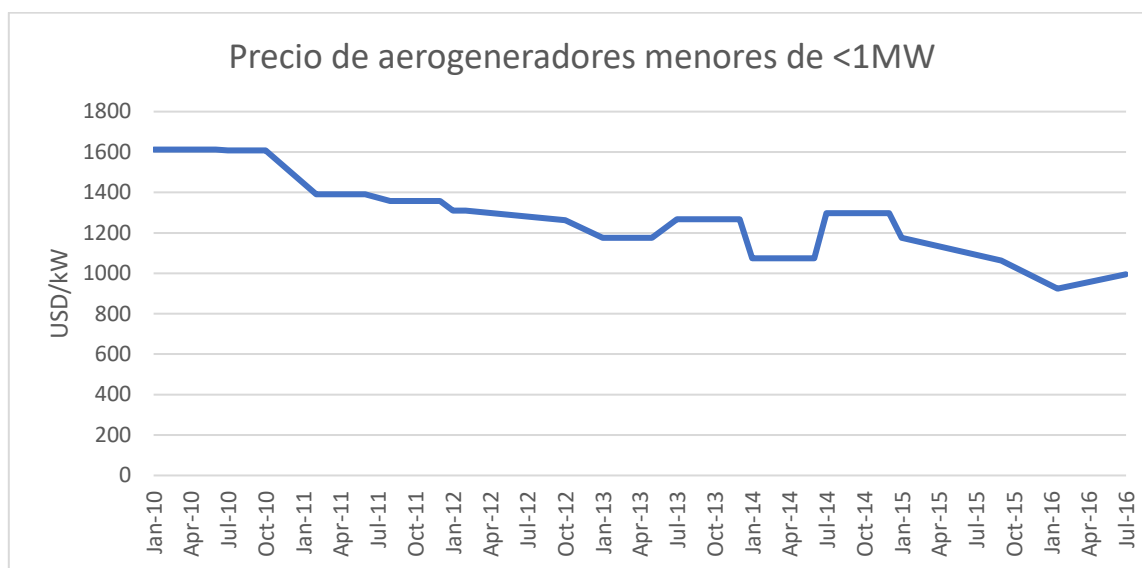
Para este trabajo, se ha considerado una disminución anual promedio de 1% del precio de los paneles solares, los cuales, al transcurrir 25 años, tendrían una reducción de 25% respecto al precio que actualmente se tiene.

¹³⁵ Elaboración propia

¹³⁶ Información tomada de referencia [37]

En la figura 44, se muestra la evolución de precios de los aerogeneradores menores de 1MW. Entre los años 2012 y 2016, los precios han tenido una disminución anual de 5%.

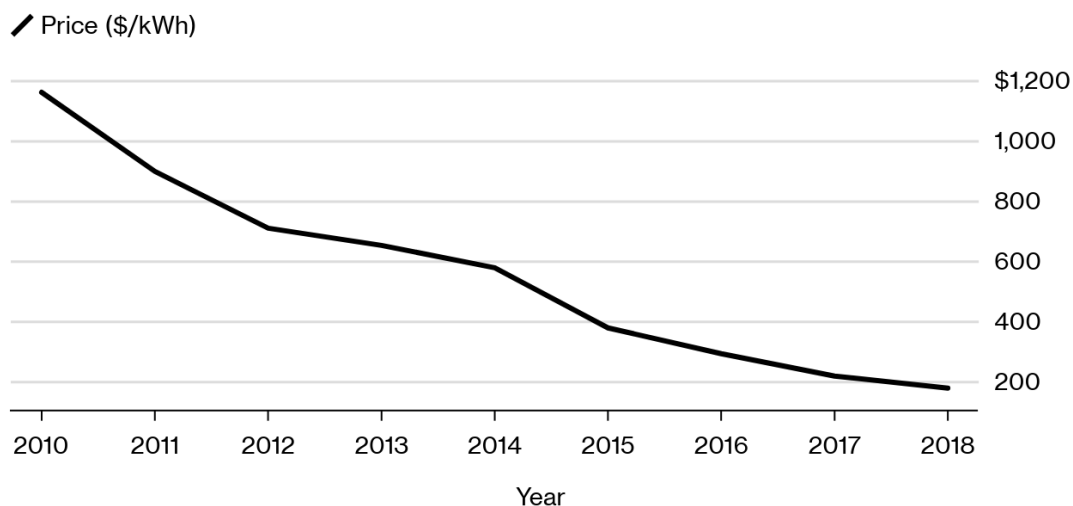
Figura 44: Evolución del precio de generación de aerogeneradores menores a 1MW¹³⁷



Para este trabajo, se ha considerado una disminución anual promedio de 1% del precio de los aerogeneradores, los cuales, al transcurrir 20 años, tendría una reducción de 20% respecto al precio que actualmente se tiene.

En la figura 45, se muestra la evolución de precios de las baterías. Entre el 2010 y 2018, el precio ha venido disminuyendo en un rate anual de 20%.

Figura 45: Evolución de precio de baterías plomo ácido (2010-2018)¹³⁸



Source: BloombergNEF

Bloomberg

Para este trabajo, se ha considerado una disminución anual promedio de 5% del precio de las baterías, los cuales, al transcurrir 20 años, tendría una reducción del 60% respecto al precio actual.

¹³⁷ Información tomada de referencia [37]

¹³⁸ Imagen tomada de la web: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-04-03/battery-reality-there-s-nothing-better-than-lithium-ion-coming-soon>

Para el caso del controlador híbrido e inversor se ha contemplado una disminución de su precio en un rate de 1% anual. Al transcurrir el tiempo de vida de estos equipos (18 años) se tendría una reducción acumulada de 17% respecto al precio actual.

En la tabla 48, se muestra el precio de adquisición de los equipos principales, al transcurrió su tiempo de vida útil. Se ha contempla instalar el mismo número de equipos dimensionado en el punto 6.6.7.

Tabla 48: Costo por actualización de equipos principales¹³⁹

Equipos	Precio total actual (\$)	Tiempo de vida útil (años)	Precio total al término del tiempo de su vida útil (\$)
Panel fotovoltaico	17,523	25	13,142
Aerogenerador	32,280	20	25,824
Controlador híbrido	15,120	18	12,550
Inversor	29,988	18	24,890
Baterías	109,440	20	43,776

7.2.4 Depreciación de equipos

Se utiliza para dar a entender que las inversiones iniciales de los equipos han disminuido en potencial de servicio. En contabilidad, la depreciación es una manera de asignar el coste de las inversiones a los diferentes ejercicios en los que se produce su uso o disfrute en la actividad empresarial. Los activos se deprecian basándose en criterios económicos, considerando el plazo de tiempo en que se hace uso en la actividad productiva, y su utilización efectiva en dicha actividad. Una deducción anual de una porción del valor de la propiedad y/o equipamiento.

La depreciación que se considera es del tipo línea recta, el cual supone una depreciación constante con una alícuota periódica de depreciación invariable en función de la vida útil del equipo. En la tabla 49, se muestra la depreciación calculada en cada equipo del sistema híbrido.

Tabla 49: Cálculo de la depreciación anual de equipos principales del sistema híbrido¹⁴⁰

Equipos	Tiempo de vida (años)	Valor inicial (\$)	Depreciación anual (\$)
Panel fotovoltaico	25	17,523	701
Aerogenerador	20	32,280	1,614
Controlador híbrido	18	15,120	840
Inversor	18	29,988	1,666
Baterías	20	109,440	5,472

¹³⁹ Elaboración propia.

¹⁴⁰ Elaboración propia

7.3 Beneficios económicos del proyecto

Una vez instalado el sistema híbrido, se dejará de utilizar el moto-generador, con lo cual el ahorro anual que se obtendría asciende a \$29,137, acorde a lo calculado en el punto 4.3. Este beneficio tendrá una ligera variación a lo largo del año, ya que el precio del combustible, al no ser un commodity, estará en función de la variabilidad del mercado internacional.

En función a los tres escenarios se ha contemplado lo siguiente:

- Para el caso optimista, se ha considerado que el precio incremente por año en un promedio de 2.5% anual, con lo cual el beneficio que se tendría en cada año aumentaría en dicho rate.
- Para el caso base, se ha considerado que el precio aumente por año en un promedio de 1% anual, con lo cual el beneficio que se tendría en cada año aumentaría en dicho rate.
- Para el caso pesimista, se considera que el precio se mantenga, con lo cual el ahorro anual se mantiene igual para todos los años.

7.4 Flujo de cajas del proyecto

Se refiere a la diferencia entre los pagos y cobros en un determinado periodo de tiempo, lo cual suele diferir de los gastos y beneficios del proyecto. Desde el punto de vista financiero, los segundos hacen referencia a un derecho u obligación, mientras que los primeros implican una transferencia real de dinero.

Para estimar el flujo de fondos, se ha considerado que el proyecto trascienda a lo largo de 25 años, por ser un pronóstico de duración que se emplea generalmente para proyectos sociales y aceptado a la evaluación económica de este tipo de proyectos

Asimismo, no se contemplado los impuestos sobre las utilidades que se puedan obtener por ser un proyecto de ayuda social y de carácter público.

El flujo de caja de cada año se calcula mediante la ecuación²⁴.

$$\text{Flujo de caja} = (\text{Ingresos} - \text{Egresos}) + \text{Amortizaciones/Depreciaciones} \quad (24)$$

Para este proyecto, se ha analizado para cada uno de los 3 escenarios definidos en el punto 7, con sus respectivas particularidades. En la tabla 50, se muestra las consideraciones en cada uno de ellos:

Tabla 50: Consideraciones particulares para cada escenario¹⁴¹

Inflación Anual	Base	Optimista	Pesimista
Costo anual de O&M:	2%	1%	3%
Precio del petróleo:	1%	2%	0%

Cada uno de ellos, impactará en los ingresos y egresos del proyecto de instalación del sistema híbrido. En la figura 46, se muestra el análisis de flujo de caja de cada escenario.

¹⁴¹ Elaboración propia

7.5 Análisis de resultados

En resumen, tenemos los siguientes resultados:

Tabla 51: Resultados del análisis de flujo de caja

Variables de análisis	Base	Optimista	Pesimista
VAN (@4%)	15,792	81,493	- 44,552
TIR	5%	6%	2%
RI	5%	26%	-

Los resultados muestran que para un escenario base y optimista, se obtienen beneficios a lo largo de los años de evaluación del proyecto.

Para el caso pesimista, indica que el proyecto genera pérdidas económicas, sin embargo, la consideración con la que fue evaluada es improbable que pueda suceder ya que históricamente el precio del petróleo aumenta. Además, el caso pesimista considera un aumento del costo de O&M por encima del mercado. Por esta razón, el caso pesimista puede ser desestimado.

El escenario base, tiene como lineamientos pronósticos respaldados por datos históricos considerando todas las variables actuales, por lo cual es una información importante para el análisis de factibilidad técnica-económica

En ese sentido, se puede considerar que el proyecto es técnica y económicamente viable. Por tanto, considerando un escenario base, a los 20 años se recuperaría la totalidad de la inversión del proyecto, y transcurridos 25 años se tendría un beneficio que asciende a 15,792 US\$.

De igual manera, hay que tener en cuenta que los cambios del entorno y de las variables estimadas son imposibles de predecir con exactitud.

CONCLUSIONES

En este trabajo se planteó un estudio de factibilidad para permitir ampliar el acceso a la electricidad y mitigar el consumo actual de combustible en el Caserío Yapato, a través un sistema que cumpla con la viabilidad técnica y que logre beneficios económicos.

Ello ha implicado, diseñar un sistema de generación eléctrica renovable que permita aprovechar las fuentes renovables que se cuentan en el lugar. Con los resultados obtenidos en el punto 5, se ha verificado que el Caserío Yapato presenta condiciones favorables para la implementación de un sistema de generación de energía solar y eólica. Se ha comprobado, según se describió en el punto 6.6.7, que un sistema híbrido, solar y eólico, brinda una mayor flexibilidad de generación eléctrica, y un alto grado de confiabilidad, en comparación a los sistemas de generación eléctrica de una sola fuente renovable. Asimismo, mediante un sistema de control de potencia ha permitido que se logre una gestión eficiente de la energía.

Dentro de los sistemas de almacenamiento que han sido evaluados, se verificó que las baterías de plomo ácido tienen una mayor flexibilidad para instalarse en zona rurales, debido a varias ventajas eléctricas y físicas que tiene frente a otros modelos, así como a su precio accesible, los cuales reflejan que tiene un efecto positivo en los proyectos de larga duración.

Del mismo modo, el planteamiento de una reestructuración del uso de la energía en determinados meses ha sido clave para contribuir al uso responsable de la energía. En el punto 6.6.5, se ha planteado trasladar el consumo de equipos no rutinario a zonas valles, donde hay mayor generación de energía respecto a la demanda, llevando a que el excedente energético se reduzca de 33% a 14%.

Asimismo, se ha demostrado que la aplicación de este proyecto tiene una viabilidad económica a largo plazo. Los resultados obtenidos en el punto 7.5, demuestran que, ante un escenario base (escenario más cercano a las condiciones reales) a lo largo de 25 años del proyecto se tendrían un valor actual neto que asciende a 15,792 US\$ y una tasa interna de retorno de 5%, superior al costo de oportunidad que ha sido considerado (4%).

De la misma manera, para asegurar que este proyecto se encuentre funcionando a lo largo de ciclo de vida y que la pérdida de su eficiencia sea mínima, se ha planteado en el punto 7.2.2 el programa de mantenimiento a los equipos principales del sistema híbrido, por colaboración externa especializada, así como la atención de los ciudadanos del centro poblado, que serán los principales actores para la confiabilidad y larga duración de estos equipos.

Asimismo, el tiempo y coste de instalación del sistema híbrido autónomo es menor al escenario de integrar las ciudades rurales a las líneas de transmisión. Por lo cual, el desarrollo de la tecnología renovable será clave para brindar energía a las regiones rurales. Asimismo, la reducción de precios de la tecnología renovable, la mejora de rendimiento, menores costes de mantenimiento y una amplia gama de productos, harán posible conseguir costes atractivos para instalar esta microrred a cualquier zona rural.

De la misma forma, los resultados que brinda el sistema híbrido tienen un impacto social y ambiental importante frente a los sistemas convencionales. Los datos obtenidos en el punto 4.3 muestran que el desarrollo de este trabajo permitiría una reducción de 66 toneladas de CO₂ equivalente por año, el cual suma al compromiso asumido por el Estado Peruano para hacer frente a la mitigación de gases de efecto invernadero.

Se concluye finalmente que el trabajo planteado es técnica y económicamente viable para la instalación en una zona rural, dando la posibilidad de ser extendida a otras zonas de la región. Este trabajo contribuye a impulsar la instalación de sistemas eléctricos renovables en zonas rurales, donde las generaciones futuras pueden desarrollarse y encontrar el rumbo económico que como sociedad desean lograr.

Finalmente, es importante mencionar que el Gobierno Peruano desarrolle normativas detalladas para integrar diferentes tecnologías renovables tanto a nivel domiciliario como industrial, con el fin de dar más apertura y facilidad técnicas a los proyectos destinados a las zonas rurales. Asimismo, resulta necesario que el Estado Peruano promueva una mayor instalación de estaciones base meteorológicas necesarias para conocer de manera real y cercana el recurso energético en todo el país.

LINEAS FUTURAS

Si bien los objetivos del trabajo presentando se han cumplido en su totalidad, queda una serie de actividades futuras que pueden ejecutar para que se consolide la generación renovable en microrredes en todo el territorio Peruano.

Sería importante ampliar el uso de estas tecnologías, como una unión de este sistema híbrido a una futura red eléctrica nacional donde se pueda inyectar a la red energía generada en los sistemas híbridos rurales, a través de la migración de redes inteligentes.

Asimismo, la disminución de precios en los próximos años permitirá que se logran mejore los diseños. En la fase de diseño de este trabajo, se ha utilizado equipos con funciones independiente tales como controladores, inversores y baterías. No obstante, y conforme se viene desarrollándose la tecnología, estos equipos podrían integrarse en un futuro cercano, lo que contribuye a facilitar su instalación y a disminuir costes.

Asimismo, se plantean las siguientes acciones:

- Consolidar estos sistemas y expandir su aplicación a diferentes proyectos de la región.
- Adicionar otras fuentes de generación renovable acorde al lugar de instalación.
- Realizar una reestructuración y mejora en la gestión de la demanda, que permita optimizar el uso de la energía.
- Mejorar el diseño del sistema de almacenamiento, conforme se actualice y reduzcan los precios de las baterías. Esto permitirá reducir el tamaño de instalación de los bancos de baterías.
- Añadir sensores que permitan automatizar el horario de uso, y el encendido y apagado para optimizar la demanda energética.

En ese sentido, este trabajo propone un procedimiento de dimensionamiento que pueda ser replicado en otras zonas de la región, fomentando la instalación de estas tecnologías y siendo capaz de acoplarse a redes inteligentes.

BIBLIOGRAFÍA

- (1). VIDENZA CONSULTORES (2018). Obtenido de Agenda pendiente de electrificación rural en el Perú. Recuperado de <https://gestion.pe/blog/evidencia-para-la-gestion/2018/04/agenda-pendiente-de-electrificacion-rural-en-el-peru.html>
- (2). Naciones Unidas (2007). Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- (3). IRENA (2018), Renewable capacity statistics 2018, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi
- (4). Agencia Internacional de la Energía, Revista National Geographic en su número especial del Cambio Climático (noviembre de 2015), 10 argumentos a favor de las energías renovables - Sostenibilidad para todos
- (5). ACCIONA (2016), Energías Renovables. Recuperado de <https://www.accion.com/es/energias-renovables/>
- (6). COES-SINAC (2018), Estadística de Operación 2018, Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES-SINAC), Lima Perú
- (7). Vásquez, Arturo; Tamayo, Jesús y Julio Salvador (2017). La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático. Osinergmin. Lima-Perú.
- (8). MINEM, Atlas de Energía del Perú (2016), Ministerio de Energía y Minas.
- (9). Karin Ohlenforst (lead author), Steve Sawyer, Alastair Dutton, Ben Backwell (2019), Global Wind Report 2018, Global Wind Energy Council, Bélgica.
- (10). DeltaVolt (2018), Energía Solar Fotovoltaica. Recuperado de <https://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar>
- (11). MINEM, Plan Nacional De Electrificación Rural (PNER) periodo 2013-2022 (2012), Ministerio de Energía y Minas.
- (12). Michael Schmela, Aurélie Beaucais, Naomi Chevillard, Mariano Guillen Paredes (2019), Global Market Outlook for Solar Power 2019-2023, Solar Power Europe, Alemania
- (13). Energías Renovables (2019). El Real Decreto de Autoconsumo. Recuperado de <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/el-real-decreto-de-autoconsumo-al-detalle-20190409>
- (14). Pedro Gamio, Urphy Vásquez (2017), Regulación y acceso a la energía con energías renovables. Colectivo de Acceso Básico a la Energía. Lima, Perú

- (15). Trigal Perdomo (2016), Desierto del Pacífico: características, clima, flora y fauna. Recuperado de <https://www.lifeder.com/desierto-del-pacifico/>
- (16). OSINERMIN (Noviembre 2019), Precios de Referencia. Recuperado de <https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/institucional/Paginas/VisorPreciosReferencia.aspx?Codigo=2020>
- (17). Ministerio de Ambiente (2016), Guía 1: Elaboración del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero - Sector Energía. Categorías: Combustión Estacionaria y Emisiones Fugitivas.
- (18). Liu B.Y. H. and R.C. Jordan 1960. "The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse, and total solar radiation" Solar Energy 4(3), 1-19.
- (19). MINEM, Atlas Eólico del Perú (2016), Ministerio de Energía y Minas.
- (20). ECURED (2010), Rosa de los vientos. Recuperado de https://www.ecured.cu/Rosa_de_los_vientos
- (21). AutoSolar (2015), ¿Qué es un panel solar?. Recuperado de <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-panel-solar>
- (22). Tecnosolab (2017), Características eléctricas de los paneles solares .Recuperado de <https://tecnosolab.com/noticias/caracteristicas-electricas-de-los-paneles-solares/>
- (23). Mario Battioni (2016) Evaluación de distintos metodos para estimar la temperatura de operación de módulos fotovoltaicos y estimación de las pérdidas de energía por efecto de la temperatura, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, (pp 04.01-04.11)
- (24). Pedro José, Déboda (2009). Caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil. (Trabajo de fin de grado) Universidad Carlos III.
- (25). SOTAVENTO (2016), funcionamiento del aerogenerador. Recuperado de <http://www.sotaventogalicia.com/area-tecnica/instalaciones-eolicas/funcionamiento/>
- (26). Miguel Villarrubia López (2012), "Ingeniería de la Energía Eólica", Facultad de Física – Universidad de Barcelona, 222-223
- (27). ENER CITY (2019), Regulador de carga solar. Recuperado de <https://enercitysa.com/regulador-de-carga-solar-2/>
- (28). AutoSolar (2018), ¿Regulador MPPT o PWM?. Recuperado de <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/regulador-mppt-o-pwm>
- (29). Miguel Alonso Abella (2014). "Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos". CIEMAT, Laboratorio de Energía Solar Fotovoltaica.
- (30). Jorge Serván Sócola (2014). Análisis técnico-económico de un sistema híbrido de baja potencia eólico solar conectado a la red. (Trabajo de fin de grado) Universidad de Piura.

- (31). Aprende con energía (2015) Factor de planta. Recuperado de <https://www.aprendeconenergia.cl/glossary/factor-de-planta/>
- (32). Ministerio de Ciencia y Tecnología (2018), Instalaciones de puesta a tierra - Guía ITC-BT-18
- (33). Gallardo Calderón, José (2017), Diseño de instalación fotovoltaica de vivienda unifamiliar para autoconsumo conectada a red en Yuncos. (Trabajo de fin de grado) Universidad Politécnica de Madrid.
- (34). Rodolfo Dufo López (2005), Protección frente a sobretensiones en instalaciones de baja tensión. Técnica Industrial. Recuperado de <http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/18/36/a36.pdf>
- (35). Joselyne Del Pilar Prado Prado (2017). Análisis de factibilidad, técnica, estratégica y económica para la creación una empresa de servicios de consultoría y gestión de facility management. (Trabajo de fin de máster). Universidad de Chile
- (36). Johnny Nahui Ortiz (2014), Fijación de la tarifa eléctrica rural para sistemas fotovoltaicos 2014 – 2018, Universidad Nacional de Ingeniería.
- (37). IRENA (2019), Renewable Power Generation Costs in 2018, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- (38). Wikipedia, “Declinación solar”. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Declinaci%C3%B3n_solar
- (39). Tuller S. E. 1976. “The relationship between diffuse, total, and extraterrestrial solar radiation”. Solar Energy 18, 259 -263.
- (40). Bautista Carrascosa, Inmaculada (2016), “Cálculo de la radiación solar extraterrestre en función de la latitud y la declinación solar”, Departamento de Química - Universidad Politécnica de Valencia
- (41). Wikipedia, “Índice de claridad”. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%8Dndice_de_claridad
- (42). Rees, W. G. Physical Principles of Remote Sensing. Cambridge, England: Cambridge University Press, p. 46, 1990.
- (43). GLOBAL SOLAR ATLAS, Recuperado de <https://globalsolaratlas.info/map>

ANEXOS

Anexo A: Evaluación del Recurso Energético Solar

Para obtener la mayor aportación del recurso solar se ha calculado el ángulo de inclinación óptima. Para el cálculo de esta inclinación óptima se tiene que conocer los componentes de la irradiación global horizontal diaria, mediante la ecuación 25:

$$B(0) + D(0) + R(0) = G(0) \quad (25)$$

Donde:

- B(0): Irradiación Difusa en superficie horizontal.
- D(0): Irradiación Directa en superficie horizontal
- R(0): Irradiación Reflejada en superficie horizontal

a) Declinación Solar

La declinación solar es el ángulo entre la línea Sol-Tierra y el plano ecuatorial celeste (proyección del ecuador terrestre). El valor de la declinación solar varía a lo largo del año, de 23,45° (21 de junio), a -23,45° (21 de diciembre), pasando por cero en los equinoccios de primavera y de otoño¹⁴³

Para el cálculo de la declinación solar se utiliza la ecuación 26:

$$\delta = 23.45 * \text{sen} \left[\frac{360}{365} (n_d + 284) \right] \quad (26)$$

Siendo: n_d : Número del día del año.

El promedio mensual de la irradiación diaria coincide numéricamente con el valor de irradiación diaria correspondiente a los denominados días promedios, días en los que la declinación correspondiente coincide con el promedio mensual. En la tabla 52, se muestra el cálculo de la declinación solar de cada mes:

Tabla 52: Declinación solar mensual del día más representativo¹⁴⁴

Mes	Fecha seleccionada	Día del año (n)	δ (°)	δ (rad)
Ene	16/01/2018	16	-21.10	-0.368
Feb	15/02/2018	46	-13.29	-0.232
Mar	16/03/2018	75	-2.42	-0.042
Abr	16/04/2018	106	9.78	0.171
May	16/05/2018	136	19.03	0.332
Jun	16/06/2018	167	23.35	0.408
Jul	16/07/2018	197	21.35	0.373
Ago	16/08/2018	228	13.45	0.235
Set	16/09/2018	259	1.81	0.032
Oct	16/10/2018	289	-9.97	-0.174
Nov	16/11/2018	320	-19.38	-0.338
Dic	16/12/2018	350	-23.37	-0.408

¹⁴³ Información tomada de referencia [38]

¹⁴⁴ Elaboración propia

b) Ángulo de salida del Sol

La posición del sol depende de la ubicación del observador. El ángulo de salida y puesta de sol se calcula mediante la ecuación 27:

$$W_s = \arccos[-\tan(\delta) * \tan(\varphi)] \quad (27)$$

Donde:

- W_s : Ángulo de salida del sol
- δ : Es el ángulo de declinación solar
- φ : La latitud del lugar. En el caso del caserío Yapato es 5°29'20.6"S.

En la tabla 45, se muestra el cálculo del ángulo de salida.

Tabla 53: Ángulo de salida del Sol¹⁴⁵

Mes	Ws (°)	Ws (rad)
Ene	93.30	1.6284
Feb	92.02	1.6061
Mar	90.36	1.5771
Abr	88.53	1.5451
May	87.05	1.5193
Jun	86.30	1.5063
Jul	86.65	1.5124
Ago	87.95	1.5351
Set	89.73	1.5661
Oct	91.50	1.5970
Nov	93.01	1.6233
Dic	93.70	1.6353

c) Radiación media diaria mensual extraterrestre

La radiación solar extraterrestre es la energía que recibe, durante un periodo de tiempo, una superficie del plano tangencial al planeta Tierra en un punto situado al exterior de la atmósfera; plano que será también el plano horizontal de ese punto¹⁴⁶ (Fuente:)

Para el cálculo se utiliza la ecuación 28:

$$G_o = \left(\frac{24}{\pi}\right) * G_{sc} * \left[1 + 0.033 * \cos\left(\frac{360 * n_d}{365}\right)\right] * \left[\cos \varphi * \cos \delta * \sin W_s + \left(\frac{\pi * W_s}{180}\right) * \sin \varphi * \sin \delta\right] \quad (28)$$

Donde:

- G_o : Radiación extra-atmosférica.
- G_{sc} : Constante solar, a efectos del cálculo se ha tomado un valor de 1,367 W/m², que será corregido en función del día del año representativo que se tomado para cada mes.

¹⁴⁷

¹⁴⁵ Elaboración propia

¹⁴⁶ Información tomada de referencia [39]

¹⁴⁷ Información tomada de referencia [40]

En la tabla 54, se muestra el cálculo de la radiación media diaria mensual extraterrestre.

Tabla 54: Irradiancia extra-atmosférica diaria mensual¹⁴⁸

Mes	G _o (kWh/m ² /d)
Ene	10.86
Feb	10.86
Mar	10.52
Abr	9.69
May	8.78
Jun	8.27
Jul	8.47
Ago	9.27
Set	10.16
Oct	10.69
Nov	10.81
Dic	10.80

d) Índice de claridad

Se define como la relación entre la irradiación anual sobre una superficie horizontal situada en la Tierra y la irradiación anual sobre una superficie horizontal situada fuera de la atmósfera¹⁴⁹. El índice de claridad se calcula mediante la ecuación 29:

$$K_d = \frac{G(0)}{G_o} \quad (29)$$

Donde:

- K_d: Índice de claridad o coeficiente de transmisividad de la atmósfera.
- G(0): Irradiación global en superficie horizontal.
- G_o: Irradiación extra-atmosférica.

e) Fracción Difuso

Se define como la relación entre la irradiación global difusa y la irradiación global en superficie horizontal. Para el cálculo de la fracción difuso se utiliza la ecuación 30:

$$K_t = \frac{D_d}{G(0)} \quad (30)$$

Donde:

- K_t: Fracción de difusa.
- D(0): Radiación global difusa
- G(0): Radiación global en superficie horizontal.

¹⁴⁸ Elaboración propia

¹⁴⁹ Información tomada de referencia [41]

e) Relación entre índice de claridad y fracción difuso

Mediante la correlación propuesta por Liu y Jordan (1960), se puede relacionar el índice de claridad y la fracción difusa para valores diarios medios mensuales. Para el cálculo se utiliza la ecuación 31:

$$K_t = [1.39 - 4.027 * K_d + 5.531K_d^2 + 3.108K_d^3] \text{ si } K_d \in [0.3; 0.7] \quad (31)$$

En la tabla 55, se muestra el cálculo los parámetros adimensionales K_d y K_t , para cada mes del año.

Tabla 55: Índice de claridad y fracción difuso¹⁵⁰

Mes	K_d	K_t
Ene	0.51	0.37
Feb	0.55	0.33
Mar	0.52	0.35
Abr	0.52	0.36
May	0.57	0.32
Jun	0.54	0.34
Jul	0.59	0.30
Ago	0.59	0.30
Set	0.59	0.30
Oct	0.61	0.29
Nov	0.60	0.29
Dic	0.56	0.33

f) Componentes de la radiación global de una superficie horizontal

Al atravesar la atmósfera, la radiación solar está expuesta a innumerables fenómenos físicos siendo transmitida, absorbida y reflejada, por lo cual al llegar a la superficie horizontal la radiación solar se divide en 3 componentes importantes las cuales son: Difuso, Directo y Albedo.

El cálculo de estas 3 componentes se da de la siguiente manera:

- Radiación difusa: $D(0)=K_t * G(0)$
- Radiación reflejada o albedo: $R(0)= \rho * G(0)$
Siendo: ρ : Reflectancia difusa del suelo.
- Radiación directa $B(0)= G(0)-D(0)-R(0)$

El índice de reflectancia para el Caserío Yapato ha sido considerado con un valor de 0.18¹⁵¹, por ser una zona desértica con área seca.

¹⁵⁰ Elaboración propia

¹⁵¹ Información tomada de referencia [42]

En la tabla 56, se muestra los cálculos de los componentes de una superficie horizontal, para cada mes

Tabla 56: Radiación directa, difusa y reflejada en superficie horizontal¹⁵²

Unidad: kWh/m²/d

Mes	Directa B(0)	Difusa D(0)	Reflejada R(0)	Global G(0)
Ene	2.50	2.01	0.99	5.50
Feb	2.94	1.98	1.08	6.00
Mar	2.57	1.94	0.99	5.50
Abr	2.31	1.79	0.90	5.00
May	2.52	1.58	0.90	5.00
Jun	2.18	1.51	0.81	4.50
Jul	2.59	1.51	0.90	5.00
Ago	2.87	1.64	0.99	5.50
Set	3.12	1.80	1.08	6.00
Oct	3.46	1.87	1.17	6.50
Nov	3.43	1.90	1.17	6.50
Dic	2.96	1.96	1.08	6.00

g) Componentes de la radiación global en superficie inclinada.

Radiación directa en superficie inclinada: Para determinar los valores, se ha utilizado el factor R_d , el cual se define como la relación entre la radiación global media directa en superficie inclinada y la radiación directa en superficie horizontal, tal como se muestra en la ecuación 32:

$$B(\beta) = B(0) * R_d \quad (32)$$

La expresión matemática del factor R_b fue definida por Duffie y Beckman (1974), y se calcula mediante la ecuación 33:

$$R_d = \frac{\cos(\varphi - \beta) * \cos \delta * \sin W_{sm} + \left(\frac{\pi}{180}\right) * W_{sm} * \sin(\varphi - \beta) * \sin \delta}{\cos \varphi * \cos \delta * \sin W_{sm} + \left(\frac{\pi}{180}\right) * W_{sm} * \sin \varphi * \sin \delta} \quad (33)$$

Siendo:

- δ : Es el ángulo de declinación solar
- ϕ : La latitud del lugar. En el caso del caserío Yapato es 5°29'20.6"S¹⁵³.
- β : Es el ángulo de inclinación de los paneles con respecto al plano horizontal.
- W_{sm} : Angulo del recorrido por el Sol en mediodía solar para una superficie inclinada.

¹⁵² Elaboración propia

¹⁵³ Obtenido de la web de Google maps: <https://www.google.com/maps>

La expresión para el cálculo del W_{sm} está dado por la ecuación 34:

$$W_{sm} = \min [W_s; W_s(\beta)] \quad (34)$$

Para determinar el ángulo del recorrido por el Sol, se ha utilizado la expresión del ángulo de salida del Sol, incluyendo el ángulo de inclinación (β), y está dado por la ecuación 35:

$$W_s(\beta) = \arccos[-\tan(\delta) * \tan(\varphi - \beta)] \quad (35)$$

Radiación difusa en superficie inclinada: En el caso más simple de un cielo isotrópico, el valor de la irradiación difusa sobre el plano inclinado se estima mediante la ecuación 36:

$$D(\beta) = \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) * D(0) \quad (36)$$

Radiación reflejada: Para el cálculo de la radiación reflejada por el suelo, se ha considerado que tanto la componente directa como la difusa son reflejadas isotrópicamente, por lo tanto, la irradiación solar reflejada por el suelo que incide sobre el plano inclinado puede ser calculada como función del albedo y de la inclinación del plano, mediante la ecuación 37:

$$R(\beta) = \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) * R(0) \quad (37)$$

En la tabla 57, se muestran los datos calculados de la irradiancia global diaria para diferentes ángulos de inclinación, donde el ángulo de inclinación que permite la mayor captación de radiación global anual es de 7°.

Tabla 57: Radiación Global en diferentes ángulos de inclinación:¹⁵⁴

Ángulo de inclinación (β)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
0	5.50	6.00	5.50	5.00	5.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	6.50	6.00	5.58082
1	5.47	5.98	5.50	5.02	5.04	4.55	5.05	5.54	6.01	6.49	6.47	5.96	5.58879
2	5.44	5.97	5.51	5.05	5.08	4.59	5.10	5.57	6.03	6.48	6.43	5.93	5.59553
3	5.42	5.95	5.51	5.07	5.13	4.63	5.14	5.60	6.04	6.46	6.40	5.89	5.60105
4	5.38	5.93	5.51	5.09	5.17	4.68	5.19	5.64	6.05	6.45	6.36	5.85	5.60535
5	5.35	5.91	5.51	5.11	5.20	4.72	5.23	5.67	6.06	6.43	6.33	5.81	5.60841
6	5.32	5.89	5.51	5.13	5.24	4.76	5.28	5.70	6.06	6.41	6.29	5.77	5.61024
7	5.29	5.86	5.51	5.14	5.28	4.80	5.32	5.73	6.07	6.39	6.25	5.72	5.61084
8	5.25	5.84	5.50	5.16	5.31	4.84	5.36	5.75	6.07	6.37	6.21	5.68	5.61021
9	5.22	5.81	5.50	5.17	5.34	4.87	5.40	5.78	6.08	6.35	6.17	5.63	5.60835
10	5.18	5.78	5.49	5.19	5.38	4.91	5.44	5.80	6.08	6.32	6.12	5.59	5.60526
15	4.98	5.63	5.44	5.24	5.52	5.07	5.61	5.90	6.06	6.18	5.89	5.34	5.57140
20	4.76	5.44	5.36	5.26	5.63	5.21	5.74	5.97	6.01	6.01	5.62	5.07	5.50711
25	4.52	5.23	5.25	5.25	5.70	5.31	5.85	6.00	5.93	5.80	5.33	4.78	5.41294
30	4.26	4.99	5.11	5.21	5.75	5.38	5.91	5.99	5.81	5.56	5.01	4.47	5.28970

¹⁵⁴ Elaboración propia

Otros mecanismos de cálculo de inclinación óptima que se ha considerado son

Herramienta Web: Herramienta del “Global Solar Atlas”¹⁵⁵, permite encontrar la inclinación óptima, el cual está en función de la latitud del emplazamiento.

- Latitud del emplazamiento: 5.489056 S
- Temperatura promedio anual: 23.5 °C

Una vez colocadas los datos en el portal, se obtiene el resultado mostrado en la figura 47:

Figura 47: Inclinación óptima en Caserío Yapato. Fuente Global Solar Atlas¹⁵⁶

The screenshot shows the 'Site Info' section of the Global Solar Atlas website. It includes a search bar with a magnifying glass icon, the coordinates '-05°29'21", -80°48'42"', and the location 'Sechura, Piura, Peru'. Below this, there are two tabs: 'Site Data' and 'PV Power Calculator'. Under the 'PV Power Calculator' tab, a red-bordered box displays the result: 'OPTA 7° / 0°'.

El resultado es similar a lo calculo en la tabla 57.

Método estadístico de la inclinación óptima anual: La ecuación 38 permite calcular la inclinación óptima anual para capturar la mayor radiación solar anual posible sobre un captador solar estático. Se basa en un análisis estadístico de la radiación solar anual sobre superficies con diferentes inclinaciones situadas en lugares de diferentes latitudes, por lo que proporciona la inclinación óptima en función de la latitud del lugar:

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 * |\varphi| \quad (38)$$

Siendo:

- φ : La latitud del lugar. En el caso del caserío Yapato es -5.489675¹⁵⁷.

La inclinación óptima obtenido según la ecuación 38 es de 7.4°, similar a lo calculado en la tabla 57.

¹⁵⁵ Información obtenida de la web: <https://globalsolaratlas.info>

¹⁵⁶ Información tomada de referencia [43], Caserío Yapato (-5° 29' 21", -80° 48' 42")

¹⁵⁷ Información tomada de referencia [43], Caserío Yapato (-5.489675, -80.812968)

Asimismo, el método estadístico de la inclinación óptima anual, permite obtener la irradiación global diaria óptima sobre una superficie inclinada, mediante la ecuación 39:

$$G(\beta) = \frac{G(0)}{1 - 4.46 * 10^{-4} * \beta_{opt} - 1.19 * 10^{-4} * \beta_{opt}^2} \quad (39)$$

En la tabla 58, se muestra los resultados obtenidos

Tabla 58: Comparativa entre el cálculo estadístico y teórico

Mes	G(0)	G(β_{opt})	G(7°)
Ene	5.50	5.56	5.29
Feb	6.00	6.06	5.86
Mar	5.50	5.56	5.51
Abr	5.00	5.05	5.14
May	5.00	5.05	5.28
Jun	4.50	4.55	4.80
Jul	5.00	5.05	5.32
Ago	5.50	5.56	5.73
Set	6.00	6.06	6.07
Oct	6.50	6.57	6.39
Nov	6.50	6.57	6.25
Dic	6.00	6.06	5.72
Promedio	5.58	5.64	5.61
Anual (kWh/m2)	2,037.92	2,058.52	2,048.51

Los resultados del cálculo de la expresión estadística son similares a lo calculados en la tabla 57, con una diferencia de 0.5%.

Anexo B: Cálculos de los parámetros estadísticos de Weibull

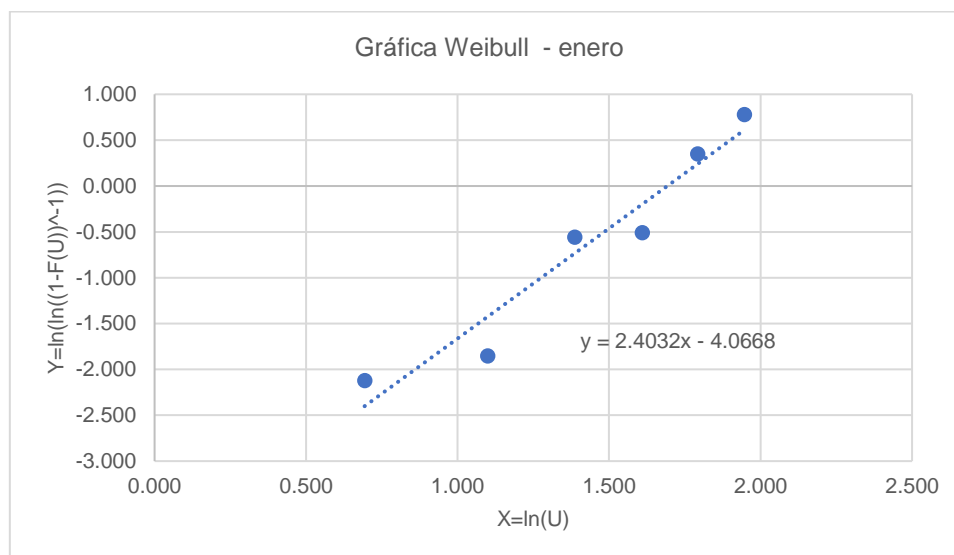
Para el análisis estadístico se ha tomado la base de datos de la estación CHUSIS, el cual es el dato más cercano. A pesar de la información limitada que presenta, se ha podido obtener valores reales del comportamiento eólico en el Caserío Yapato. En las siguientes tablas y figuras se procede a calcular los parámetros estadísticos de cada mes.

Enero:

Tabla 59: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de enero¹⁵⁸

Velocidad m/s (U)	Frecuencia de clase	Frecuencia relativa	Distribución acumulativa F(U)	X	Y
1	0	0.00	0.00	0.000	-
2	7	0.11	0.11	0.693	-2.122
3	2	0.03	0.15	1.099	-1.853
4	18	0.29	0.44	1.386	-0.559
5	1	0.02	0.45	1.609	-0.510
6	19	0.31	0.76	1.792	0.350
7	8	0.13	0.89	1.946	0.780
8	7	0.11	1.00	2.079	-
9	0	0.00	1.00	2.197	-
10	0	0.00	1.00	2.303	-
11	0	0.00	1.00	2.398	-

Figura 48: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de enero



De la figura 48 se obtiene los parámetros de Weibull (k,c) , y luego la velocidad media (U) con la ecuación [7][8]:

$$k=2.4032; c=5.4317; U=4.8152$$

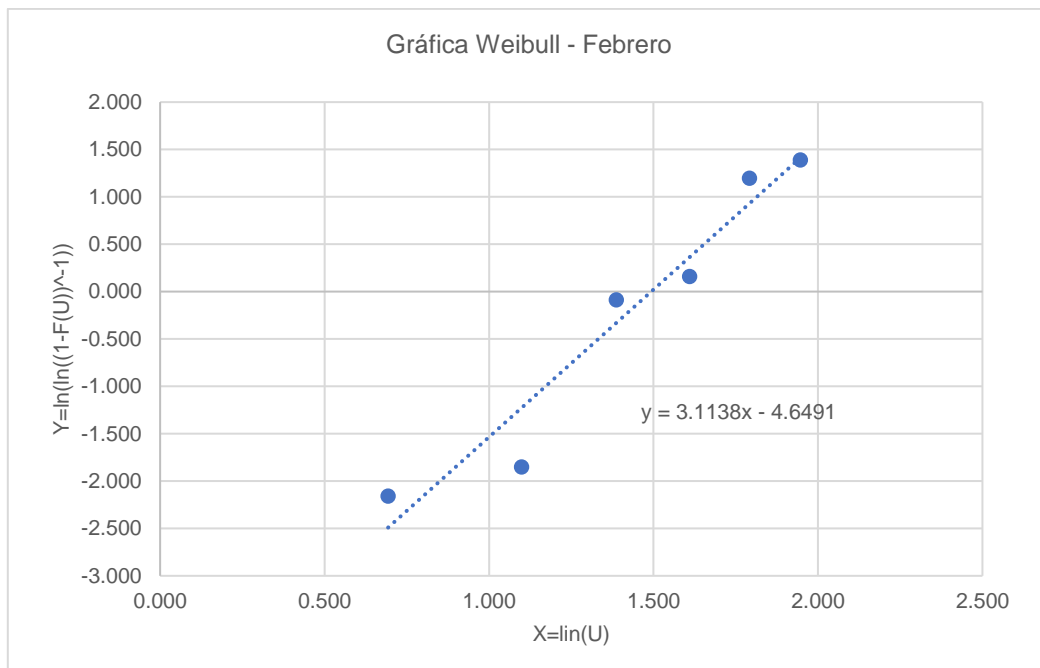
¹⁵⁸ Elaboración propia

Febrero:

Tabla 60: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de febrero¹⁵⁹

Velocidad m/s (U)	Frecuencia de clase	Distribución relativa	Distribución acumulada F(U)	X	Y
1	0	0.00	0.00	0.000	-
2	6	0.11	0.11	0.693	-2.158
3	2	0.04	0.15	1.099	-1.850
4	25	0.45	0.60	1.386	-0.087
5	5	0.09	0.69	1.609	0.161
6	15	0.27	0.96	1.792	1.198
7	1	0.02	0.98	1.946	1.388
8	1	0.02	1.00	2.079	-
9	0	0.00	1.00	2.197	-
10	0	0.00	1.00	2.303	-
11	0	0.00	1.00	2.398	-

Figura 49: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de febrero¹⁶⁰



De la figura 49 se obtiene los parámetros de Weibull (k,c) , y luego la velocidad media (U) con la ecuación [7][8]:

$$k=3.1138; c=4.4507; U=3.9811$$

¹⁵⁹ Elaboración propia

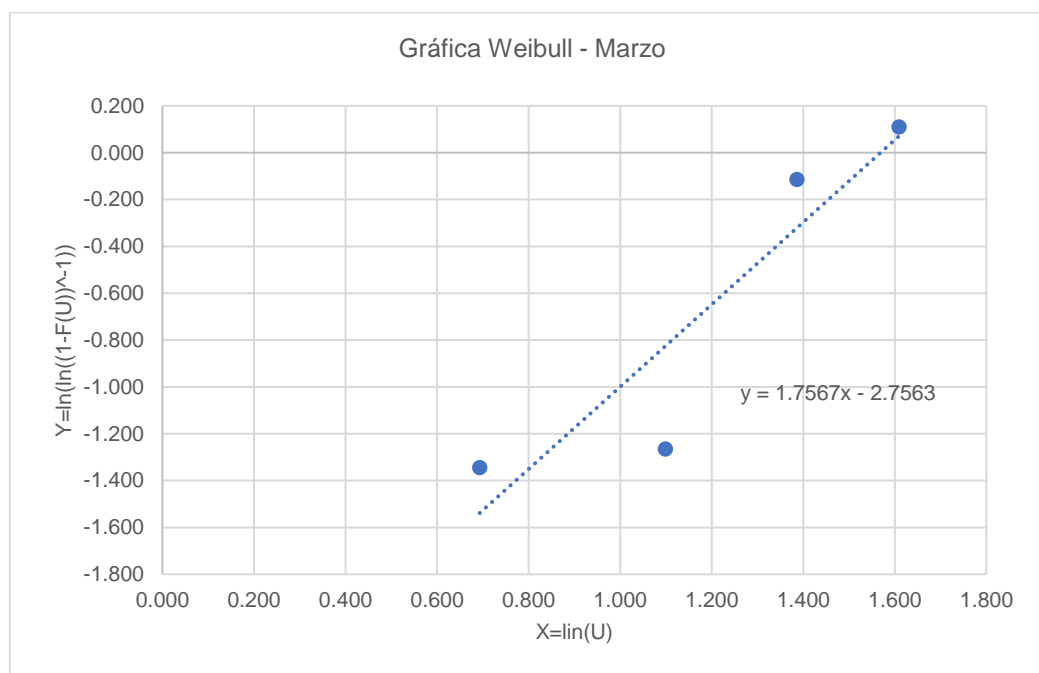
¹⁶⁰ Elaboración propia

Marzo:

Tabla 61: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de marzo¹⁶¹

Velocidad m/s (U)	Frecuencia de clase	Distribución relativa	Distribución acumulada F(U)	X	Y
1	0	0.00	0.00	0.000	-
2	14	0.23	0.23	0.693	-1.344
3	1	0.02	0.25	1.099	-1.265
4	21	0.34	0.59	1.386	-0.114
5	5	0.08	0.67	1.609	0.109
6	20	0.33	1.00	1.792	-
7	0	0.00	1.00	1.946	-
8	0	0.00	1.00	2.079	-
9	0	0.00	1.00	2.197	-
10	0	0.00	1.00	2.303	-
11	0	0.00	1.00	2.398	-

Figura 50: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de marzo¹⁶²



De la figura 50 se obtiene los parámetros de Weibull (k,c) , y luego la velocidad media (U) con la ecuación [7][8]:

$$k=1.7567; c=4.8019; U=4.2758$$

¹⁶¹ Elaboración propia

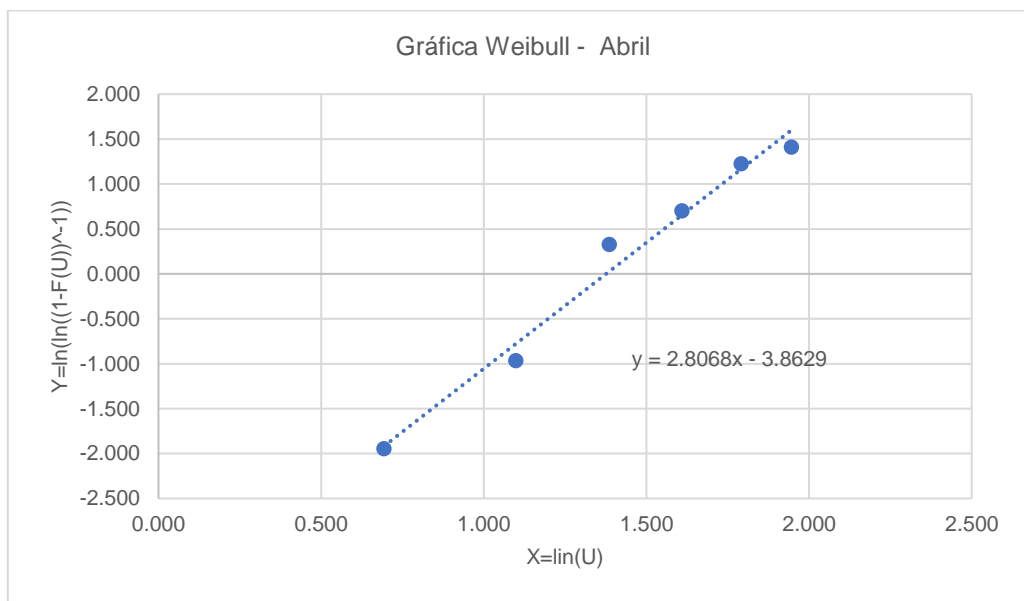
¹⁶² Elaboración propia

Abril:

Tabla 62: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de abril¹⁶³

Velocidad m/s (U)	Frecuencia de clase	Distribución relativa	Distribución acumulada F(U)	X	Y
1	0	0.00	0.00	0.000	-
2	8	0.13	0.13	0.693	-1.944
3	11	0.18	0.32	1.099	-0.966
4	26	0.43	0.75	1.386	0.327
5	7	0.12	0.87	1.609	0.701
6	6	0.10	0.97	1.792	1.224
7	1	0.02	0.98	1.946	1.410
8	1	0.02	1.00	2.079	-
9	0	0.00	1.00	2.197	-
10	0	0.00	1.00	2.303	-
11	0	0.00	1.00	2.398	-

Figura 51: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de abril¹⁶⁴



De la figura 51 se obtiene los parámetros de Weibull (k,c) , y luego la velocidad media (U) con la ecuación [7][8]:

$$k=2.8068; c=3.9601; U=3.5266$$

¹⁶³ Elaboración propia

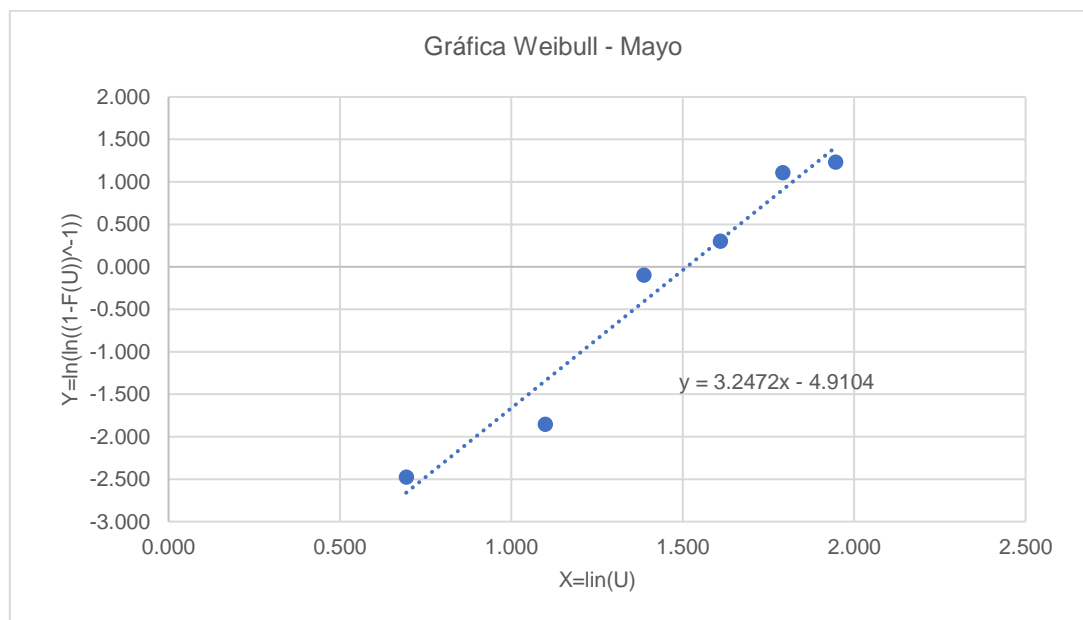
¹⁶⁴ Elaboración propia

Mayo:

Tabla 63: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de mayo¹⁶⁵

Velocidad m/s (U)	Frecuencia de clase	Distribución relativa	Distribución acumulada F(U)	X	Y
1	0	0.00	0.00	0.000	-
2	5	0.08	0.08	0.693	-2.476
3	4	0.06	0.15	1.099	-1.853
4	28	0.45	0.60	1.386	-0.096
5	9	0.15	0.74	1.609	0.303
6	13	0.21	0.95	1.792	1.108
7	1	0.02	0.97	1.946	1.234
8	2	0.03	1.00	2.079	3.604
9	0	0.00	1.00	2.197	3.604
10	0	0.00	1.00	2.303	3.604
11	0	0.00	1.00	2.398	3.604

Figura 52: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de mayo¹⁶⁶



De la figura 52 se obtiene los parámetros de Weibull (k,c) , y luego la velocidad media (U) con la ecuación [7][8]:

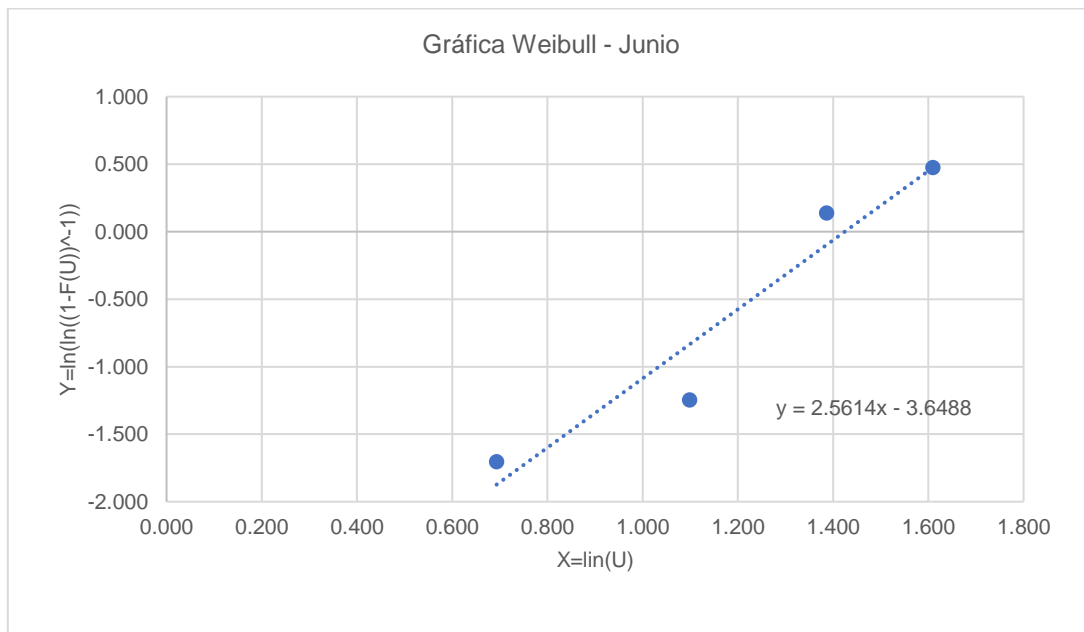
$$k = 3.2472; c = 4.5367; U = 4.0662$$

¹⁶⁵ Elaboración propia

¹⁶⁶ Elaboración propia

Junio:Tabla 64: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de junio¹⁶⁷

Velocidad m/s (U)	Frecuencia de clase	Distribución relativa	Distribución acumulada F(U)	X	Y
1	0	0.00	0.00	0.000	-
2	10	0.17	0.17	0.693	-1.702
3	5	0.08	0.25	1.099	-1.246
4	26	0.43	0.68	1.386	0.140
5	7	0.12	0.80	1.609	0.476
6	12	0.20	1.00	1.792	-
7	0	0.00	1.00	1.946	-
8	0	0.00	1.00	2.079	-
9	0	0.00	1.00	2.197	-
10	0	0.00	1.00	2.303	-
11	0	0.00	1.00	2.398	-

Figura 53: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de junio¹⁶⁸

De la figura 53 se obtiene los parámetros de Weibull (k,c) , y luego la velocidad media (U) con la ecuación [7][8]:

$$k = 2.5614; c = 4.1559; U = 3.6897$$

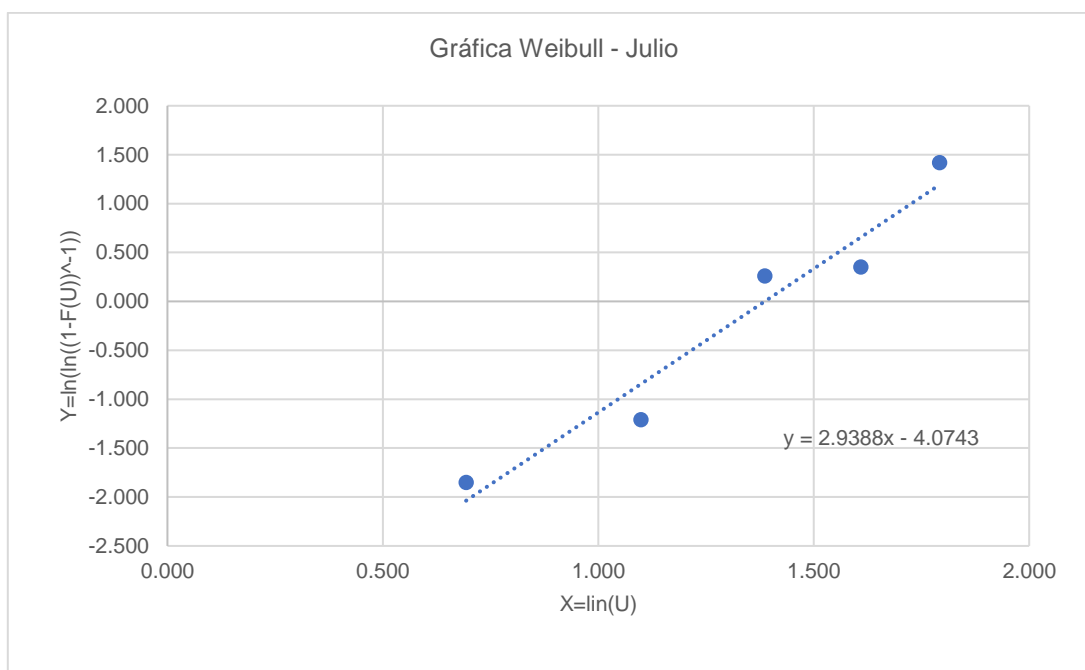
¹⁶⁷ Elaboración propia¹⁶⁸ Elaboración propia

Julio:

Tabla 65: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de julio¹⁶⁹

Velocidad m/s (U)	Frecuencia de clase	Distribución relativa	Distribución acumulada F(U)	X	Y
1	0	0.00	0.00	0.000	-
2	9	0.15	0.15	0.693	-1.853
3	7	0.11	0.26	1.099	-1.209
4	29	0.47	0.73	1.386	0.258
5	2	0.03	0.76	1.609	0.350
6	14	0.23	0.98	1.792	1.418
7	1	0.02	1.00	1.946	-
8	0	0.00	1.00	2.079	-
9	0	0.00	1.00	2.197	-
10	0	0.00	1.00	2.303	-
11	0	0.00	1.00	2.398	-

Figura 54: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de julio¹⁷⁰



De la figura 54 se obtiene los parámetros de Weibull (k,c) , y luego la velocidad media (U) con la ecuación [7][8]:

$$k = 2.9388; c = 4.0004; U = 3.5691$$

¹⁶⁹ Elaboración propia

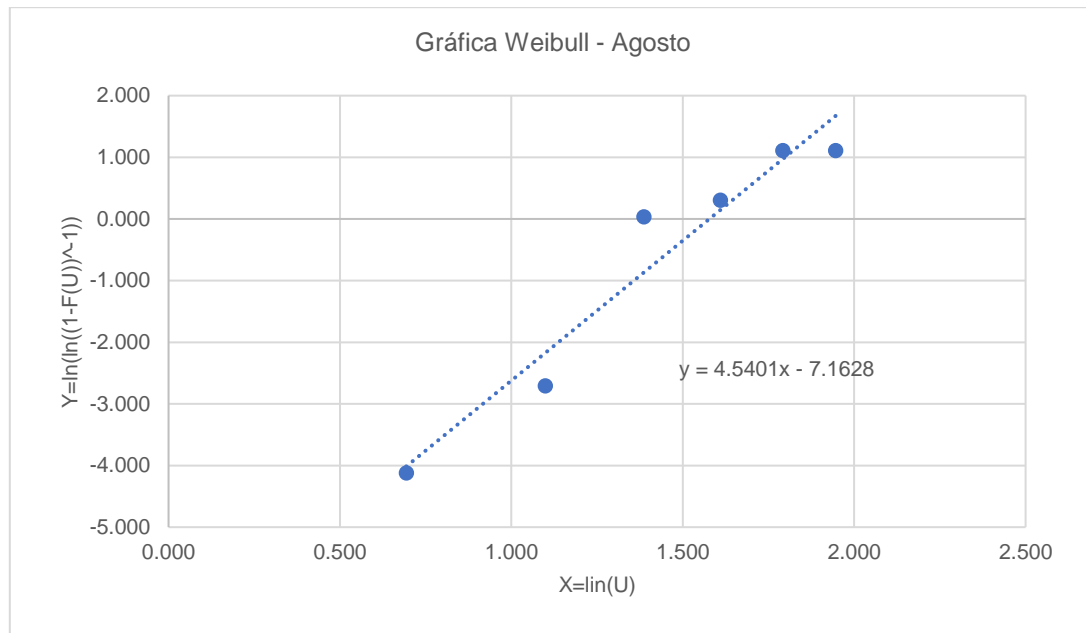
¹⁷⁰ Elaboración propia

Agosto:

Tabla 66: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de agosto¹⁷¹

Velocidad m/s (U)	Frecuencia de clase	Distribución relativa	Distribución acumulada F(U)	X	Y
1	0	0.00	0.00	0.000	-
2	1	0.02	0.02	0.693	-4.119
3	3	0.05	0.06	1.099	-2.708
4	36	0.58	0.65	1.386	0.035
5	6	0.10	0.74	1.609	0.303
6	13	0.21	0.95	1.792	1.108
7	0	0.00	0.95	1.946	1.108
8	3	0.05	1.00	2.079	-
9	0	0.00	1.00	2.197	-
10	0	0.00	1.00	2.303	-
11	0	0.00	1.00	2.398	-

Figura 55: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de agosto¹⁷²



De la figura 55 se obtiene los parámetros de Weibull (k,c) , y luego la velocidad media (U) con la ecuación [7][8]:

$$k= 4.5401; c=4.8437; U=4.4225$$

¹⁷¹ Elaboración propia

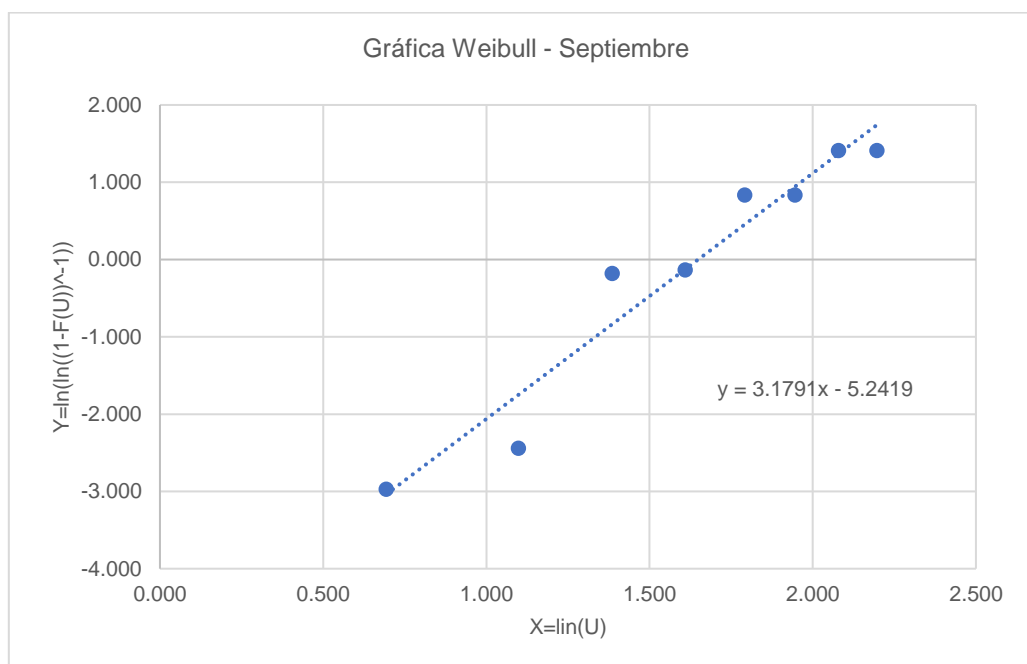
¹⁷² Elaboración propia

Septiembre:

Tabla 67: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de septiembre¹⁷³

Velocidad m/s (U)	Frecuencia de clase	Distribución relativa	Distribución acumulada F(U)	X	Y
1	0	0.00	0.00	0.000	-
2	3	0.05	0.05	0.693	-2.970
3	2	0.03	0.08	1.099	-2.442
4	29	0.48	0.57	1.386	-0.179
5	1	0.02	0.58	1.609	-0.133
6	19	0.32	0.90	1.792	0.834
7	0	0.00	0.90	1.946	0.834
8	5	0.08	0.98	2.079	1.410
9	0	0.00	0.98	2.197	1.410
10	1	0.02	1.00	2.303	-
11	0	0.00	1.00	2.398	-

Figura 56: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de septiembre¹⁷⁴



De la figura 56 se obtiene los parámetros de Weibull (k,c) , y luego la velocidad media (U) con la ecuación [7][8]:

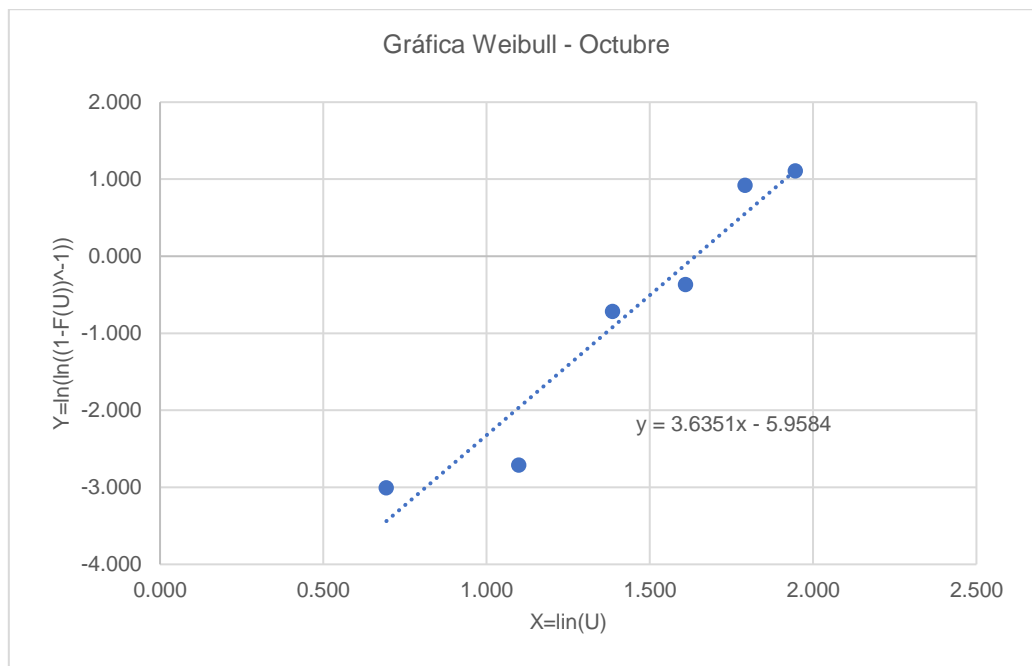
$$k= 3.1791; c=5.2011; U=4.6569$$

¹⁷³ Elaboración propia

¹⁷⁴ Elaboración propia

Octubre:Tabla 68: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de octubre¹⁷⁵

Velocidad m/s (U)	Frecuencia de clase	Distribución relativa	Distribución acumulada F(U)	X	Y
1	0	0.00	0.00	0.000	-
2	3	0.05	0.05	0.693	-3.004
3	1	0.02	0.06	1.099	-2.708
4	20	0.32	0.39	1.386	-0.714
5	7	0.11	0.50	1.609	-0.367
6	26	0.42	0.92	1.792	0.923
7	2	0.03	0.95	1.946	1.108
8	3	0.05	1.00	2.079	-
9	0	0.00	1.00	2.197	-
10	0	0.00	1.00	2.303	-
11	0	0.00	1.00	2.398	-

Figura 57: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de octubre¹⁷⁶

De la figura 57 se obtiene los parámetros de Weibull (k,c) , y luego la velocidad media (U) con la ecuación [7][8]:

$$k= 3.6351; c=5.1507; U=4.6438$$

¹⁷⁵ Elaboración propia

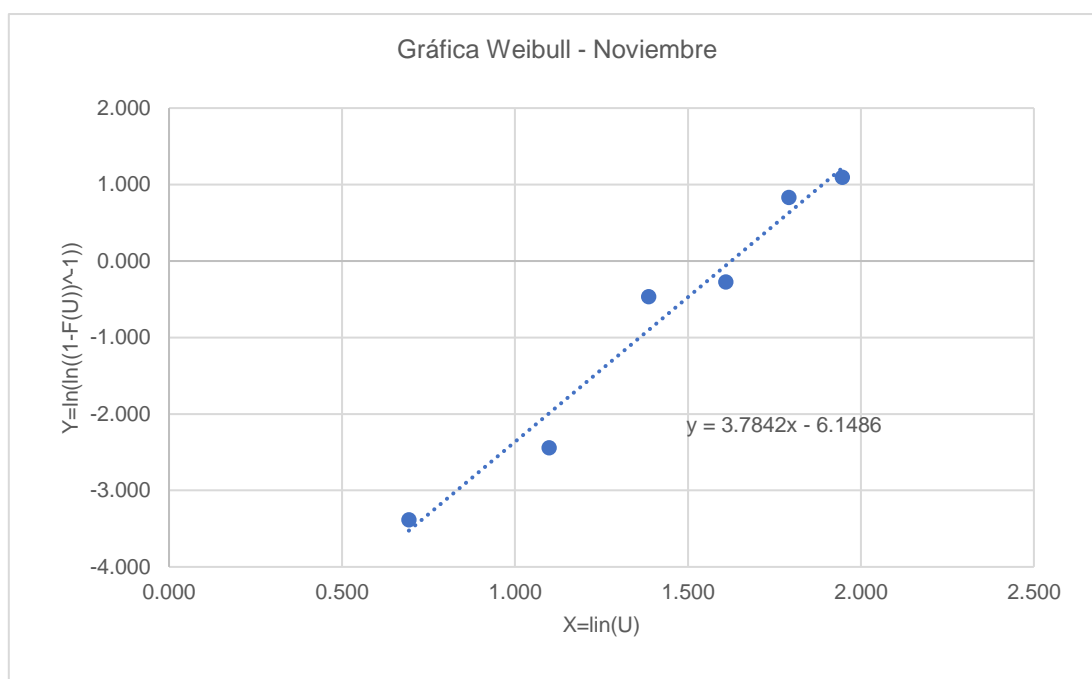
¹⁷⁶ Elaboración propia

Noviembre:

Tabla 69: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de noviembre¹⁷⁷

Velocidad m/s (U)	Frecuencia de clase	Distribución relativa	Distribución acumulada F(U)	X	Y
1	0	0.00	0.00	0.000	-
2	2	0.03	0.03	0.693	-3.384
3	3	0.05	0.08	1.099	-2.442
4	23	0.38	0.47	1.386	-0.464
5	4	0.07	0.53	1.609	-0.272
6	22	0.37	0.90	1.792	0.834
7	3	0.05	0.95	1.946	1.097
8	3	0.05	1.00	2.079	-
9	0	0.00	1.00	2.197	-
10	0	0.00	1.00	2.303	-
11	0	0.00	1.00	2.398	-

Figura 58: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de noviembre¹⁷⁸



De la figura 58 se obtiene los parámetros de Weibull (k,c) , y luego la velocidad media (U) con la ecuación [7][8]:

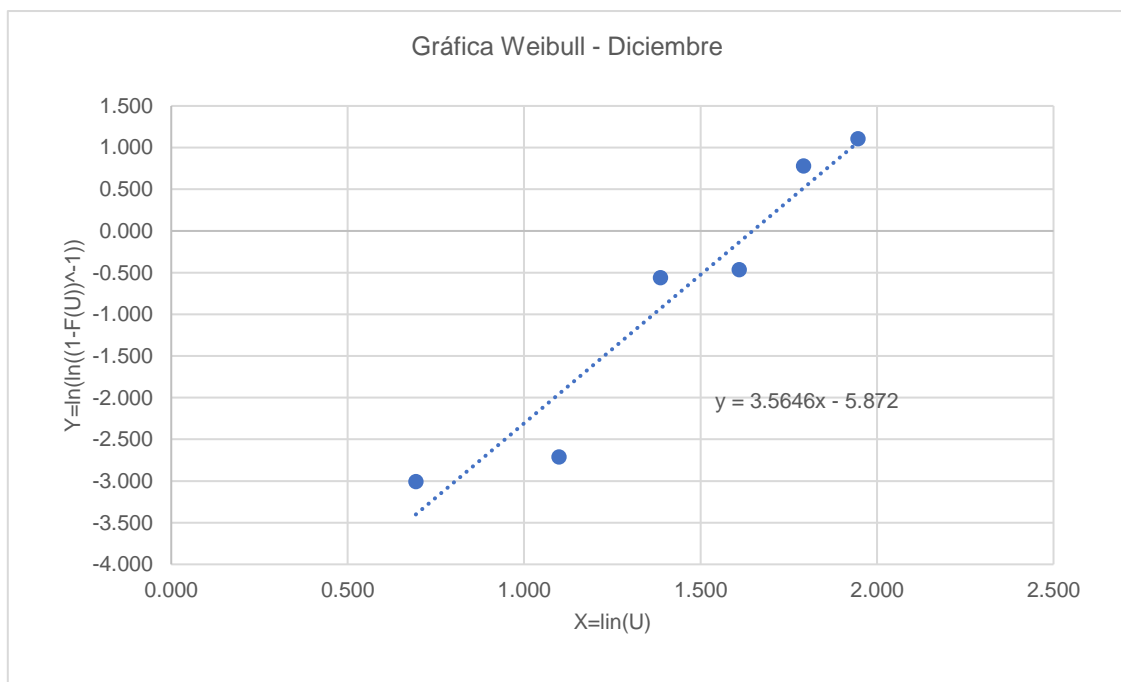
$$k= 3.7842; c=5.0774; U=4.5879$$

¹⁷⁷ Elaboración propia

¹⁷⁸ Elaboración propia

Diciembre:Tabla 70: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de diciembre¹⁷⁹

Velocidad m/s (U)	Frecuencia de clase	Distribución relativa	Distribución acumulada F(U)	X	Y
1	0	0.00	0.00	0.000	-
2	3	0.05	0.05	0.693	-3.004
3	1	0.02	0.06	1.099	-2.708
4	23	0.37	0.44	1.386	-0.559
5	2	0.03	0.47	1.609	-0.461
6	26	0.42	0.89	1.792	0.780
7	4	0.06	0.95	1.946	1.108
8	3	0.05	1.00	2.079	-
9	0	0.00	1.00	2.197	-
10	0	0.00	1.00	2.303	-
11	0	0.00	1.00	2.398	-

Figura 59: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de diciembre¹⁸⁰

De la figura 59 se obtiene los parámetros de Weibull (k,c) , y luego la velocidad media (U) con la ecuación [7][8]:

$$k= 3.5646; c=5.1930; U=4.6769$$

¹⁷⁹ Elaboración propia

¹⁸⁰ Elaboración propia

Anexo C: Determinación de la dirección del viento

Los valores de dirección del viento se han obtenido de la web de Atlas Eólico elaborado por el Ministerio de Energía y Minas. Esta aplicación Web proporciona los valores de la dirección del viento como una distribución en frecuencias por cada uno de los 16 sectores de 22.5 grados, es decir agrupando los valores de dirección en intervalos de -11.25° a 11.25° , y así para los demás sectores.¹⁸¹

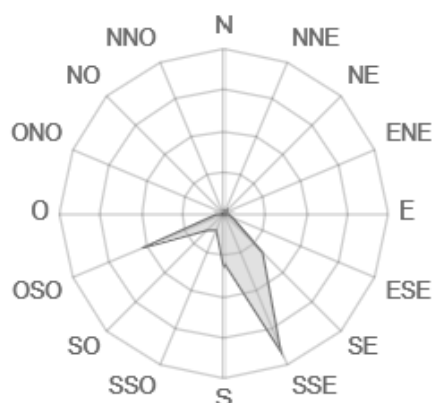
En la tabla 71, se muestra los 16 sectores cardinales con su respectiva representación de grados correspondientes:

Tabla 71: Dirección de 16 sectores cardinales utilizados en la rosa de vientos¹⁸²

Dirección	Abreviatura	Grados
Nor-noroeste	NNE	22.5°
Noreste	NE	45°
Este-noreste	ENE	67.5°
Este	E	90°
Este-sureste	ESE	112.5°
Sureste	SE	135°
Sur-sureste	SSE	157.5°
Sur	S	180°
Sur-suroeste	SSO	202.5°
Suroeste	SO	225°
Oeste-suroeste	OSO	247.5°
Oeste	O	270°
Oeste-noroeste	ONO	292.5°
Noroeste	NO	315°
Norte noroeste	NNO	337.5°
Norte	N	360°

En la figura 60, se muestra la rosa de vientos obtenida de la Web de Atlas Eólico en el Caserío Yapato.

Figura 60: Rosa de vientos de promedio anual en Caserío Yapato¹⁸³



En la rosa de vientos se aprecia que la dirección principal a lo largo del año en el caserío Yapato es de ante dirección del viento en SSE (157.5°)

¹⁸¹ Información tomada de referencia [19]

¹⁸² Información tomada de referencia [20]

¹⁸³ Información obtenida de la Web de Atlas Solar del Perú:
http://mapas.minem.gob.pe/map_eolico/

Anexo D: Características técnicas de los componentes del sistema híbrido

PANELES FOTOVOLTAICOS

En las siguientes tablas se detallan las características técnicas de los paneles fotovoltaicos que se han obtenido por cada proveedor.

Tabla 72: Especificaciones técnica del panel fotovoltaico del proveedor DELTAVOLT¹⁸⁴

PANALES FOTOVOLTAICO			
<u>DATOS GENERALES</u>			
Marca	Canadian Solar	Canadian Solar	Canadian Solar
Modelo	CS6P-240P	CS6P-260P	CS6K-270P
Tipo	Policristalino	Policristalino	Policristalino
Número de celdas	60	60	60
Procedencia	Canadá	Canadá	Canadá
<u>ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS</u>			
Potencia nominal (W)	240	260	270
Tensión en circuito abierto "Voc" (V)	37	37.5	37.9
Intensidad Corto circuito "Icc" (A)	8.59	9.12	9.32
Tensión en máxima potencia "Vmp" (V)	29.9	30.4	30.8
Intensidad en máxima potencia "Imp" (A)	8.03	8.56	8.75
<u>ESPECIFICACIONES FÍSICAS</u>			
Dimensiones (mm)	1638x982x40	1638x982x40	1650x992x40
Área (m ²)	1.52	1.52	1.64
Peso (kg)	19	18	18.2
<u>ESPECIFICACIONES GENERALES</u>			
Tolerancia de la potencia nominal	2%	2%	2%
η_P : Rendimiento por variación de la potencia nominal	0.97	0.97	0.97
NOCT (°T)	45	45	45
η_T : Rendimiento por efecto de temperatura (T _{prom} : @24°C y Temp NOCT: @45°C)	0.88	0.88	0.88
η_O : Rendimiento por pérdida de caída óhmica.	0.94	0.94	0.94
Eficiencia del módulo (%)	14.9	16.2	16.5

¹⁸⁴ Las especificaciones se han obtenido de la ficha técnica de: <https://deltavolt.pe/>

Tabla 73: Energía producida y costo del kWh de paneles solares DELTAVOLT¹⁸⁵

COMPARATIVA CAPACIDAD-COSTO			
Modelo	CS6P-240P	CS6P-260P	CS6K-270P
Potencia	240	260	270
NHE	5.61	5.61	5.61
Energía anual (kWh/año)	396.64	429.69	446.22
Costo (\$)	260.5	282.3	293.1
Precio energía (\$/kWh)	0.66	0.66	0.66
Potencia efectiva (W/m ²)	157.89	171.05	164.96

Tabla 74: Especificaciones técnica del panel fotovoltaico del proveedor AUTOSOLAR¹⁸⁶

PANALES FOTOVOLTAICO			
DATOS GENERALES			
Marca	Talesun	Era Solar	CSUN
Modelo	TP672P 72 cell Serier	Panel Solar 325W	CSUN320-72P
Tipo	Policristalino	Policristalino	Policristalino
Número de celdas	72	72	72
Procedencia	China	China	China
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS			
Potencia nominal (W)	325	325	320
Tensión en circuito abierto "Voc" (V)	45.7	45.6	45
Intensidad Corto circuito "Icc" (A)	9.22	9.2	9.17
Tensión en máxima potencia "Vmp" (V)	37.4	37.8	36.2
Intensidad en máxima potencia "Imp" (A)	8.7	8.6	8.84
ESPECIFICACIONES FÍSICAS			
Dimensiones (mm)	1960x992x35	1956x992x40	1956x990x50
Área (m ²)	1.94	1.94	1.94
Peso (kg)	22	20.9	22.3
ESPECIFICACIONES GENERALES			
Tolerancia de la potencia nominal	3%	3%	3%
η_p : Rendimiento por variación de la potencia nominal	0.97	0.97	0.97
NOCT (°T)	45	45	45
η_T : Rendimiento por efecto de temperatura (T _{prom} : @24°C y Temp NOCT: @45°C)	0.88	0.88	0.88
η_o : Rendimiento por pérdida de caída óhmica.	0.94	0.94	0.94
Eficiencia del módulo (%)	16.6	16.5	16.5

¹⁸⁵ El precio es obtenido del proveedor a enero 2020, el cual incluye costo logístico, así como el IGV

¹⁸⁶ Las especificaciones se han obtenido de la ficha técnica de: <https://autosolar.pe/paneles-solares>

Tabla 75: Energía producida y costo del kWh de paneles solares AUTOSOLAR¹⁸⁷

COMPARATIVA CAPACIDAD-COSTO			
Modelo	TP672P 72 cell Serier	Panel Solar 325W	CSUN320-72P
Potencia	325	325	320
NHE	5.61	5.61	5.61
Energía anual (kWh/año)	537.11	537.11	528.85
Costo (\$)	288.0	276.3	273.4
Precio energía (\$/kWh)	0.54	0.51	0.52
Potencia efectiva (W/m ²)	167.15	167.50	165.25

Tabla 76: Especificaciones técnica del panel fotovoltaico del proveedor PROVIENTO¹⁸⁸

PANALES FOTOVOLTAICO			
DATOS GENERALES			
Marca	Eco Green Energy	Eco Green Energy	Simax
Modelo	EGE-270P-60	EGE-360M-72	SIMAX 156
Tipo	Policristalino	Policristalino	Policristalino
Número de celdas	60	72	60
Procedencia	China	China	China
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS			
Potencia nominal (W)	270	335	270
Tensión en circuito abierto "Voc" (V)	38.45	47.22	38.45
Intensidad Corto circuito "Icc" (A)	9.03	9.51	9.03
Tensión en máxima potencia "Vmp" (V)	31.44	39.15	31.44
Intensidad en máxima potencia "Imp" (A)	8.59	9.15	8.59
ESPECIFICACIONES FÍSICAS			
Dimensiones (mm)	1640x992x40	1956x992x40	1640x992x40
Área (m ²)	1.63	1.94	1.63
Peso (kg)	18.8	22.8	18.8
ESPECIFICACIONES GENERALES			
Tolerancia de la potencia nominal	3%	3%	3%
η_p : Rendimiento por variación de la potencia nominal	0.97	0.97	0.97
NOCT (°T)	45	45	45
η_T : Rendimiento por efecto de temperatura (T _{prom} : @24°C y Temp NOCT: @45°C)	0.88	0.88	0.88
η_o : Rendimiento por pérdida de caída óhmica.	0.94	0.94	0.94
Eficiencia del módulo (%)	16.3	17.3	16.3

¹⁸⁷ El precio es obtenido del proveedor a enero 2020, el cual incluye costo logístico, así como el IGV

¹⁸⁸ Las especificaciones se han obtenido de la ficha técnica de: <https://www.proviento.com.pe/>

Tabla 77: Energía producida y costo del kWh de paneles solares PROVIENTO¹⁸⁹

COMPARATIVA CAPACIDAD-COSTO			
Modelo	EGE-270P-60	EGE-360M-72	SIMAX 156
Potencia	270	335	270
NHE	5.61	5.61	5.61
Energía anual (kWh/año)	446.22	553.64	446.22
Costo (\$)	224.2	330.4	224.2
Precio energía (\$/kWh)	0.50	0.60	0.50
Potencia efectiva (W/m ²)	165.96	172.65	165.96

Tabla 78: Especificaciones técnica del panel fotovoltaico del proveedor PANEL SOLAR PERÚ¹⁹⁰

PANALES FOTOVOLTAICO			
DATOS GENERALES			
Marca	Jinko Solar	Peimar	AE Solar Power Plus
Modelo	JKM330PP-72	SG330P	AE P6-60_270W
Tipo	Policristalino	Policristalino	Policristalino
Número de celdas	72	72	60
Procedencia	China	Italia	Alemania
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS			
Potencia nominal (W)	330	330	270
Tensión en circuito abierto "Voc" (V)	46.9	45.1	38.31
Intensidad Corto circuito "Icc" (A)	9.14	9.78	9.31
Tensión en máxima potencia "Vmp" (V)	37.8	36.4	30.82
Intensidad en máxima potencia "Imp" (A)	8.74	9.07	8.76
ESPECIFICACIONES FÍSICAS			
Dimensiones (mm)	1956x992x40	2000X1200X1200	1650x992x35
Área (m ²)	1.94	2.40	1.64
Peso (kg)	26.5	22.5	18.5
ESPECIFICACIONES GENERALES			
Tolerancia de la potencia nominal	3%	5%	2%
η_p : Rendimiento por variación de la potencia nominal	0.97	0.97	0.97
NOCT (°T)	45	45	45
η_T : Rendimiento por efecto de temperatura (T _{prom} : @24°C y Temp NOCT: @45°C)	0.88	0.88	0.88
η_o : Rendimiento por pérdida de caída óhmica.	0.94	0.94	0.94
Eficiencia del módulo (%)	16.8	16.8	16.8

¹⁸⁹ El precio es obtenido del proveedor a enero 2020, el cual incluye costo logístico, así como el IGV

¹⁹⁰ Las especificaciones se han obtenido de la ficha técnica de: <https://www.panelsolarperu.com/>

Tabla 79: Energía producida y costo del kWh de paneles solares PANEL SOLAR PERÚ¹⁹¹

COMPARATIVA CAPACIDAD-COSTO			
Modelo	JKM330PP-72	SG330P	AE P6-60_270W
Potencia	330	330	270
NHE	5.61	5.61	5.61
Energía anual (kWh/año)	545.38	545.38	446.22
Costo (\$) - no incluye IGV	154.7	155.7	127.6
Costo (\$)	182.5	183.7	150.6
Precio energía (\$/kWh)	0.33	0.34	0.34
Potencia efectiva (W/m ²)	170.07	137.50	164.96

AEROGENERADORES EÓLICOS

En las siguientes tablas se detallan las características técnicas de los aerogeneradores eólicos que se han obtenido por cada proveedor.

Tabla 80: Especificaciones técnica del aerogenerador del proveedor PROVIENTO¹⁹²

DATOS GENERALES		
Marcas de aerogenerador	ZONHAN	ZONHAN
Modelo	ZH 1.5 kW	ZH 2 kW
País de fabricación	China	China
ESPECIFICACIONES FÍSICAS		
Número de hélices	3	3
Material hélices	Fibra de vidrio	Fibra de vidrio
Peso (kg)	60	75
Diámetro del rotor (m)	2.8	3.2
Tamaño de la torre (m)	12	12
ESPECIFICACIONES ELECTRICAS		
Potencia nominal (W)	1,500	2,000
Potencia máxima (W)	1,800	2,800
Voltaje de trabajo	DC 24/48 AC 120/230	DC 24/48 AC 120/230
Velocidad para arrancar (m/s)	2.5	3.0
Velocidad nominal (m/s)	9	10
Velocidad de supervivencia (m/s)	45	50
ESPECIFICACIONES GENERALES		
Tipo	Horizontal	Horizontal
Freno	Eléctrico	Eléctrico
Controlador	Opción de conexión a Red y carga de baterías	Opción de conexión a Red y carga de baterías
Nivel de ruido	< 35 dB	< 35 dB

¹⁹¹ El precio es obtenido del proveedor a enero 2019, el cual incluye costo logístico, así como el IGV

¹⁹² Las especificaciones se han obtenido de la ficha técnica de: <https://www.proviento.com.pe/>

Tabla 81: Energía producida y costo del kWh de aerogeneradores PROVIENTO¹⁹³

COMPARATIVA CAPACIDAD - COSTO					
Modelo:		ZH 1.5 kW		ZH 2 kW	
Velocidad (m/s)	Horas de viento (h)	Potencia (W)	Energía (kWh)	Potencia (W)	Energía (kWh)
1	305	0	0	0	0
2	926	0	0	0	0
3	1,674	45	75	85	142
4	2,128	130	277	195	415
5	1,896	240	455	430	815
6	1,119	390	437	630	705
7	451	585	264	1,030	464
8	150	1,000	150	1,515	227
9	54	1,500	82	2,470	134
10	24	1,750	41	2,680	63
11	11	1,800	20	2,750	30
12	5	1,685	8	2,650	13
Energía Total producida al año (kWh)		1,808		3,010	
Precio del equipo (\$)		1,490		2,390	
Costo por energía producida (\$/kWh)		0.82		0.79	

Tabla 82: Especificaciones técnica del aerogenerador del proveedor HC SOLAR¹⁹⁴

DATOS GENERALES		
Marcas de aerogenerador	ZONHAN	Ista Breeze
Modelo	ZH 3 kW	Heli 4.0 kW
País de fabricación	China	Alemania
ESPECIFICACIONES FÍSICAS		
Número de hélices	3	3
Material hélices	Fibra de vidrio	Fibra de vidrio
Peso (kg)	85	106
Diámetro del rotor (m)	3.9	3.0
Tamaño de la torre (m)	12	12
ESPECIFICACIONES ELECTRICAS		
Potencia nominal (W)	3,000	4,000
Potencia máxima (W)	3,500	4,600
Voltaje de trabajo	DC 24/48 AC 120/230	DC 24/48 AC 120/230
Velocidad para arrancar (m/s)	3.0	2.9
Velocidad nominal (m/s)	12	12
Velocidad de supervivencia (m/s)	50	60

¹⁹³ El precio es obtenido del proveedor a enero 2019, el cual incluye costo logístico, así como el IGV

¹⁹⁴ Las especificaciones se han obtenido de la ficha técnica de: <http://www.hcsolarperu.com/>

ESPECIFICACIONES GENERALES		
Tipo	Horizontal	Horizontal
Freno	Eléctrico	Eléctrico
Controlador	Opción de conexión a Red y carga de baterías	Opción de conexión a Red y carga de baterías
Nivel de ruido	< 35 dB	< 40 dB

Tabla 83: Energía producida y costo del kWh de aerogeneradores HC SOLAR¹⁹⁵

COMPARATIVA CAPACIDAD - COSTO					
Modelo:		ZH 3 kW		Heli 4.0 kW	
Velocidad (m/s)	Horas de viento (h)	Potencia (W)	Energía (kWh)	Potencia (W)	Energía (kWh)
1	305	0	0	0	0
2	926	0	0	0	0
3	1,674	90	151	150	251
4	2,128	260	553	340	723
5	1,896	500	948	900	1,706
6	1,119	800	895	1,500	1,679
7	451	1,180	532	2,000	901
8	150	1,590	239	2,500	375
9	54	2,300	125	3,300	179
10	24	3,000	71	4,000	95
11	11	3,300	36	4,300	47
12	5	3,500	17	4,600	22
Energía Total producida al año (kWh)		3,567		5,979	
Precio del equipo (\$)		2,690		7,906	
Costo por energía producida (\$/kWh)		0.75		1.32	

Tabla 84: Especificaciones técnica del aerogenerador, proveedor extranjero ENAIR¹⁹⁶

DATOS GENERALES		
Marcas de aerogenerador	ENAIR	ENAIR
Modelo	ENAIR 30	ENAIR 70
País de fabricación	Español	Español
ESPECIFICACIONES FÍSICAS		
Número de hélices	3	3
Material hélices	Fibra de vidrio con resina	Fibra de vidrio con resina/poliuretano
Peso (kg)	130	165

¹⁹⁵ El precio es obtenido del proveedor a enero 2019, el cual incluye costo logístico, así como el IGV

¹⁹⁶ Las especificaciones se han obtenido de la ficha técnica de: <https://www.enair.es/es/>

Diámetro del rotor (m)	4.1	4.3
Tamaño de la torre (m)	12	12
ESPECIFICACIONES ELECTRICAS		
Potencia nominal (W)	3,000	4,000
Potencia máxima (W)	1,900	5,500
Voltaje de trabajo	DC 24/48 AC 120/230	DC 24/48 AC 120/230
Velocidad para arrancar (m/s)	2.0	2.0
Velocidad nominal (m/s)	12	11
Velocidad de supervivencia (m/s)	60	60
ESPECIFICACIONES GENERALES		
Tipo	Horizontal	Horizontal
Freno	Eléctrico	Eléctrico
Controlador	Opción de conexión a Red y carga de baterías	Opción de conexión a Red y carga de baterías
Nivel de ruido	< 30 dB	< 48 dB

Tabla 85: Energía producida y costo del kWh de aerogeneradores ENAIR¹⁹⁷

COMPARATIVA CAPACIDAD - COSTO					
Modelo:		ENAIR 30		ENAIR 70	
Velocidad (m/s)	Horas de viento (h)	Potencia (W)	Energía (kWh)	Potencia (W)	Energía (kWh)
1	305	0	0	0	0
2	926	0	0	40	37
3	1,674	10	17	50	84
4	2,128	100	213	210	447
5	1,896	300	569	440	834
6	1,119	700	783	900	1,007
7	451	1,000	451	1,400	631
8	150	1,450	218	2,000	300
9	54	1,850	101	2,800	152
10	24	2,100	50	3,400	80
11	11	2,300	25	4,000	43
12	5	2,500	12	4,400	22
Energía Total producida al año (kWh)		2,437		3,638	
Precio del equipo (\$)		4,000		7,000	
Costo por energía producida (\$/kWh)		1.64		1.92	

¹⁹⁷ El precio es obtenido del proveedor a enero 2019, el cual incluye costo logístico, así como el IGV

Tabla 86: Especificaciones técnica del aerogenerador, proveedor extranjero BORNAY¹⁹⁸

DATOS GENERALES		
Marcas de aerogenerador	BORNAY	BORNAY
Modelo	Bornay 3000	Bornay 6000
País de fabricación	Español	Español
ESPECIFICACIONES FÍSICAS		
Número de hélices	3	3
Material hélices	Fibra de vidrio/carbono	Fibra de vidrio/carbono
Peso (kg)	93	107
Diámetro del rotor (m)	4.0	4.0
Tamaño de la torre (m)	12	12
ESPECIFICACIONES ELECTRICAS		
Potencia nominal (W)	3,000	6,000
Potencia máxima (W)	3,500	6,500
Voltaje de trabajo	DC 24/48 AC 120/230	DC 24/48 AC 120/230
Velocidad para arrancar (m/s)	3.5	3.5
Velocidad nominal (m/s)	12	12
Velocidad de supervivencia (m/s)	60	60
ESPECIFICACIONES GENERALES		
Tipo	Horizontal	Horizontal
Freno	Eléctrico	Eléctrico
Controlador	Opción de conexión a Red y carga de baterías	Opción de conexión a Red y carga de baterías
Nivel de ruido	< 40 dB	< 45 dB

Tabla 87: Energía producida y costo del kWh de aerogeneradores BORNAY¹⁹⁹

COMPARATIVA CAPACIDAD - COSTO					
Modelo:		Bornay 3000		Bornay 6000	
Velocidad (m/s)	Horas de viento (h)	Potencia (W)	Energía (kWh)	Potencia (W)	Energía (kWh)
1	305	0	0	0	0
2	926	0	0	100	93
3	1,674	100	167	200	335
4	2,128	500	1,064	750	1,596
5	1,896	750	1,422	1,400	2,654
6	1,119	1,200	1,343	1,850	2,071
7	451	1,500	676	2,500	1,126
8	150	1,900	285	3,400	510

¹⁹⁸ Las especificaciones se han obtenido de la ficha técnica de: <https://www.bornay.com/es>¹⁹⁹ El precio es obtenido del proveedor a enero 2019, el cual incluye costo logístico, así como el IG

9	54	2,250	122	4,400	239
10	24	2,500	59	5,000	118
11	11	2,800	30	5,500	60
12	5	3,150	15	5,900	29
Energía Total producida al año (kWh)		5,185		8,831	
Precio del equipo (\$)		4,580		12,000	
Costo por energía producida (\$/kWh)		0.88		1.36	

CONTROLADORES

En las siguientes tablas se detallan las características técnicas de los controladores para cada configuración híbrida.

Controlador Solar:

Tabla 88: Especificaciones técnica y costo del Controlador Solar^{200 201}

DATOS GENERALES	
Marca	Victron Energy
Modelo	SmartSolar MPPT 250/60
País de procedencia	Holanda
Proveedor nacional	Autosolar Perú
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Tensión máxima de entrada (V)	250
Máxima corriente de entrada (A)	35
Voltaje de salida (V)	48
Corriente de carga nominal (A)	60
Potencia PV máxima (W)	3440
Tipo de control	MPPT
Eficiencia	99%
ESPECIFICACIONES GENERALES	
Peso (kg)	3
Temperatura de trabajo (°C)	-30 a +60
Ruido (dB)	<30
Precio (\$)	730

²⁰⁰ Las especificaciones se han obtenido de la ficha técnica ubicada en: <https://autosolar.pe/controladores-de-carga>

²⁰¹ El precio es obtenido del proveedor a enero 2019, el cual incluye costo logístico, así como el IGV

Controlador Eólico

Tabla 89: Especificaciones técnica costo del Controlador Eólico^{202 203}

DATOS GENERALES	
Marca	Ginlong
Modelo	GCB-20k
País de procedencia	China
Proveedor nacional	Proviendo
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Voltaje máximo de entrada (Vac)	40 Vac a 500 Vac
Corriente máximo de entrada (Aac)	40 Aac
Potencia máxima de entrada (W)	20000
Voltaje de salida (V)	48 Vdc
Máxima corriente de corto circuito (A)	70 Adc
Potencia máxima de salida	12000
Eficiencia	99%
Tipo de control	PWM
ESPECIFICACIONES GENERALES	
Peso (kg)	6.4
Temperatura de trabajo (°C)	-25 a +60
Ruido (dB)	<40
Precio (\$)	840

Controlador Híbrido

Tabla 90: Especificaciones técnica y costo del Controlador Híbrido^{204 205}

DATOS GENERALES	
Marca	BANGZHAO OR OEM
Modelo	BWS-6.5kw-48v
País de procedencia	China
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Voltaje de entrada eólico (Vac)	> 120 Vac
Corriente máxima de entrada eólica (Aac)	35 Aac
Voltaje de entrada de entrada solar (Vdc)	250 Vdc
Corriente máxima de entrada solar (Adc)	45 Adc
Potencia máxima (W)	6500

²⁰² Las especificaciones se han obtenido de la ficha técnica ubicada en: <https://www.erm-energies.com/abb-ginlong/99-gcb-20k.html>

²⁰³ El precio es obtenido del proveedor a enero 2019, el cual incluye costo logístico, así como el IGV

²⁰⁴ Las especificaciones se han obtenido de la ficha técnica ubicada en: <https://bangzhao.en.made-in-china.com/product/gXEQVyBIHJpZ/China-48V-120V-240V-LCD-Display-Charge-Controller-for-Wind-Solar-Hybrid-System.html>

²⁰⁵ El precio es obtenido del proveedor a enero 2019, el cual incluye costo logístico, así como el IGV

Voltaje de salida (Vdc)	48
Corriente de salida (Vdc)	80
Tipo de control	PWM
Voltaje de presión constante (Vdc)	>40
Bajo voltaje de batería (Vdc)	40
Eficiencia	97%
ESPECIFICACIONES GENERALES	
Peso (kg)	26
Peso dum load (kg)	31
Temperatura de trabajo (°C)	-30 a +60
Ruido (dB)	<40
Precio (\$)	1260

INVERSORES

En las siguientes tablas se detallan las características técnicas de los inversores que han sido utilizados en las diferentes configuraciones híbridas.

Tabla 91: Especificaciones técnica y costo del Inversor aplicado a la configuración solar^{206 207}

DATOS GENERALES	
Marca	Victron Energy
Modelo	48V 3000VA
Tipo de fuente	Solar
País de procedencia	Holanda
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Rango de tensión de entrada (Vdc)	38 - 66
Corriente de entrada máxima (A)	100
Potencia máxima de salida (VA)	3000
Potencia nominal (W)	3300
Voltaje de salida (Vac)	120/230 Vac
Corriente máxima de salida (Aac)	20 Aac
Eficiencia	95%
Consumo en vacío (W)	30 - 35
Funcionamiento en paralelo	Si
Tipo	Monofásico
Factor de potencia	1
Frecuencia de salida	50/60 Hz
ESPECIFICACIONES GENERALES	
Peso (kg)	30
Temperatura de trabajo (°C)	-30 a +65
Puerto de comunicación para funcionamiento en paralelo	Si
Precio (\$)	1795

²⁰⁶ Las especificaciones se han obtenido de la ficha técnica ubicada en: <https://autosolar.pe/inversores-48v/inversor-victron-phoenix-48v-3000va>

²⁰⁷ El precio es obtenido del proveedor a enero 2019, el cual incluye costo logístico, así como el IGV

Tabla 92: Especificaciones técnica y costo del Inversor aplicado a la configuración eólico^{208 209}

DATOS GENERALES	
Marca	SMA
Modelo	Windy Boy -3300
Tipo de fuente	Eólica
País de procedencia	USA
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Rango de tensión de entrada (Vdc)	40-500V
Corriente de entrada máxima (A)	100
Potencia máxima de salida (VA)	3600
Potencia nominal (W)	3300
Voltaje de salida (Vac)	120/230 Vac
Corriente máxima de salida (Aac)	20 Aac
Eficiencia	95.20%
Consumo en vacío (W)	7
Funcionamiento en paralelo	Si
Tipo	Monofásico
Factor de potencia	1
Frecuencia de salida	50/60 Hz
ESPECIFICACIONES GENERALES	
Peso (kg)	40
Temperatura de trabajo (°C)	-25 a +60
Modo ON/OFF	Remoto
Puerto de comunicación para funcionamiento en paralelo	Si
Precio (\$)	2870

Tabla 93: Especificaciones técnica y costo del Inversor aplicado a la configuración híbrido^{210 211}

DATOS GENERALES	
Marca	MUST
Modelo	PV30-6KW MPK
Tipo de fuente	Hibrido
País de procedencia	China
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Rango de tensión de entrada (Vdc)	>40
Corriente de entrada máxima (A)	90
Potencia máxima de salida (VA)	6000

²⁰⁸ Las especificaciones se han obtenido de la ficha técnica ubicada en: https://es.made-in-china.com/co_kingforestcn/product_Windy-Boy-Inverter-3000-US_honuhooog.html

²⁰⁹ El precio es obtenido del proveedor a enero 2019, el cual incluye costo logístico, así como el IGV

²¹⁰ Las especificaciones se han obtenido de la ficha técnica ubicada en: <http://www.must-solar.es/must-solar-pv3000/>

²¹¹ El precio es obtenido del proveedor a enero 2019, el cual incluye costo logístico, así como el IGV

Potencia nominal (W)	6500
Voltaje de salida (Vac)	120/230 Vac
Corriente máxima de salida (Aac)	20 Aac
Eficiencia	98%
Consumo en vacío (W)	50
Funcionamiento en paralelo	Si
Tipo	Monofásico
Factor de potencia	1
Frecuencia de salida	50/60 Hz
ESPECIFICACIONES GENERALES	
Peso (kg)	49
Temperatura de trabajo (°C)	-15 a +60
Modo ON/OFF	Remoto
Puerto de comunicación para funcionamiento en paralelo	Si
Precio (\$)	2499

BATERÍAS

En las siguientes tablas se detallan las características técnicas de las baterías que han sido analizadas.

Tabla 94: Especificaciones técnica y costo de las baterías del proveedor AUTOSOLAR PERÚ^{212 213}

DATOS GENERALES			
Marca	Ultracell	Ultracell	TAB
Modelo	UZV580-2	UZS590-2	TOPzS 625
Tipo de batería	Plomo ácido	Plomo ácido	Plomo ácido
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS			
Voltaje (V)	2	2	2
Capacidad (Ah)	580	590	625
Máxima corriente de descarga (A)	4,800	3,360	5,000
Voltaje de carga de impulso @ 20°C (V)	2.4 a 2.5	2.3 a 2.4	2.3 a 2.4
Resistencia interna (mΩ)	0.8	0.58	0.58
ESPECIFICACIONES GENERALES			
Temperatura de funcionamiento (°C)	-20 a 50°C	-15 a 45°C	-15 a 55°C
Tiempo de vida (años)	20	20	20
Dimensiones (mm)	145x206x471	145x206x471	198x137x720
Peso (kg)	34	24.5	38
Precio (\$)	220	190	235

²¹² Las especificaciones se han obtenido de la ficha técnica ubicada en: <https://autosolar.pe/baterias-solares>

²¹³ El precio es obtenido del proveedor a enero 2019, el cual incluye costo logístico, así como el IGV

La capacidad de la batería necesaria ha sido calculada en el punto 6.6.5, dando un valor de 937 Ah. Con esta información, se ha determinado la cantidad baterías en serie y paralelo del rack de baterías, tal como se muestra en la tabla 95

Tabla 95: Dimensionamiento del rack de baterías²¹⁴

DIMENSIONAMIENTO DEL RACK			
Modelo	UZV580-2	UZS590-2	TOPzS 625
Número baterías en serio (Ns)	24	24	24
Número baterías en paralelo (Np)	2	2	2
Número total baterías	48	48	48
Área total (m2)	1.4	1.4	1.3

Se instalará 3 racks de baterías en cada una de las 4 zonas definidas en el punto. A continuación, se muestra la cantidad total de baterías a instalar.

Tabla 96: Dimensionamiento por cada zona a instalar y dimensionamiento total de las baterías²¹⁵

Dimensionamiento del rack de baterías por bloque (3 racks)			
Número total baterías por bloque	144	144	144
Área total (m2)	4.3	4.3	3.9
Dimensionamiento total			
Número total de batería	576	576	576
Costo total de baterías (\$)	126,720	109,440	135,360

²¹⁴ Elaboración propia

²¹⁵ Elaboración propia

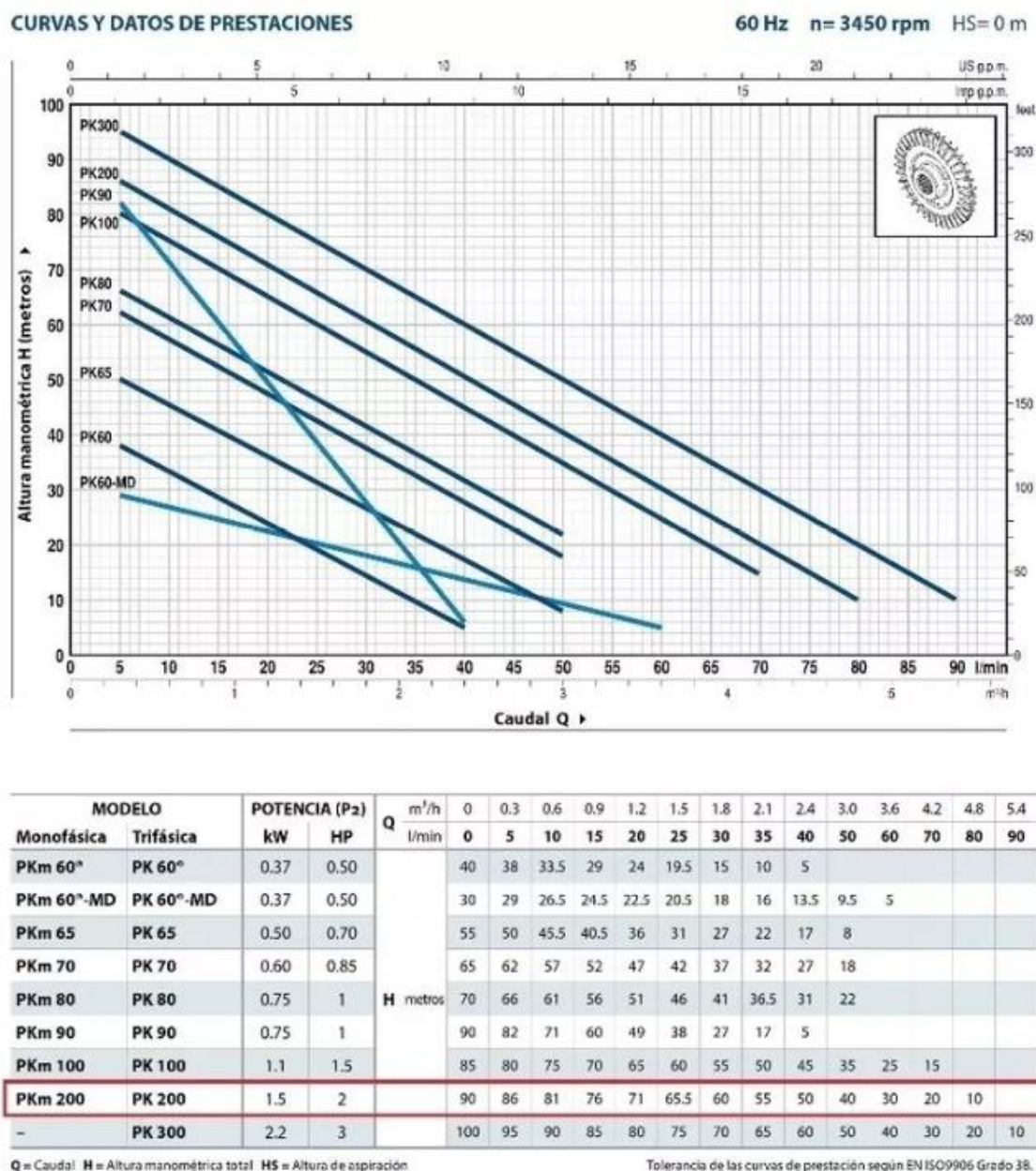
Anexo E: Data técnica de los equipos utilizados en Caserío Yapato

Electrobomba

- Marca: Pedrollo
- Modelo: PKM 200-1 2HP 220V
- Potencia: 2 HP
- Altura manométrica: 100m
- Alcance de 90 metros: bombeo de 0.1 m3/h

En la figura 61, se muestra la curva y datos de prestación de la electrobomba que cuenta el Caserío Yapato²¹⁶

Figura 61: Ficha técnica de la electrobomba Pedrollo 2HP



²¹⁶ Datos obtenidos de la ficha técnica ubicada de la siguiente página: <https://www.slideshare.net/LEVRental/pedrollo-modpk>

Tanque de almacenamiento de agua

- Marca: Eternit
- Capacidad: 25,000 Lt.
- Diámetro: 3m

En la figura 62, se muestra las ventajas y especificaciones técnica del tanque de almacenamiento de agua²¹⁷

Figura 62: Especificaciones técnicas del tanque de almacenamiento de agua

TANQUE PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA

Con Capa interior A+ antimicrobiana que impide el crecimiento y reproducción de bacterias. Fabricado con polietileno de alta densidad que cumple con las normas de la FDA (Food and Drug Administration de los EEUU.) grado alimenticio.

▶ VENTAJAS

- Protección UV.
- Fáciles de transportar e instalar.
- Fácil limpieza y mantenimiento.
- No requiere anclaje a la base.
- Anillos de refuerzo para mayor resistencia.
- Superficies planas que facilitan la instalación de accesorios de entrada y salida ubicados en la parte superior e inferior del tanque.
- Incluye tapa de 18".
- Color negro.
- Resiste temperaturas ambientales desde -10°C hasta 60°C.
- Asesoría técnica permanente.



▶ ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Capacidad (Lts.)	Altura (mm.)	Diámetro (mm.)	Tapa (H)
5000	1800	2200	18"
10000	3000	2200	18"
25000	3980	3000	18"

²¹⁷ Datos obtenidos de la ficha técnica ubicada de la siguiente página:
<https://www.eternit.com.pe/es-ES/download/file/es/643be896ed764ae9a6a3a820015b7dcd/download-catalogo-tanques-industriales?rev=61d2ca3d-21bd-4af2-9d86-73ff096c8023>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cobertura de electrificación rural al 2017 (%)	3
Figura 2: Localización del Distrito de Sechura en mapa Peruano	4
Figura 3: Crecimiento del uso energético de fuentes renovables en el mundo.....	7
Figura 4: Producción de Energía en Perú por tipo de recursos 2018 (COES, 2018)	9
Figura 5: Producción de Energía con recursos renovables RER – Año: 2018.....	10
Figura 6: Mapa de velocidad de viento promedio anual	11
Figura 7: Potencia eólica instalada en el mundo	12
Figura 8: Densidad de potencia eólica en el mapa mundial(W/m2).....	13
Figura 9: Expectativas de crecimiento de instalaciones eólicas en el mundo.....	13
Figura 10: Energía Solar Incidente promedio anual en Perú	14
Figura 11: Crecimiento de la potencia solar fotovoltaica instalada en el mundo.....	15
Figura 12: Diagrama de un sistema híbrido eólico-solar	16
Figura 13: Diagrama de un sistema híbrido autónomo.....	17
Figura 14: diagrama de un sistema híbrido conectado a la red.....	18
Figura 15: Ubicación del “Caserío Yapato” en el territorio peruano	22
Figura 16: Imagen satelital del Caserío Yapato.....	23
Figura 17: Carretera de acceso al Caserío Yapato	23
Figura 18: Zona desértica del Centro Poblado	24
Figura 19: Evolución de la Temperatura en Caserío Yapato, tomado de la estación CHUSIS (SENAMHI).....	25
Figura 20: Perfil de carga del 1er bloque (enero-febrero).....	30
Figura 21: Perfil de carga del 2do bloque (marzo - julio)	30
Figura 22: Perfil de carga del 3er bloque (agosto - septiembre).....	31
Figura 23: Perfil de carga del 4to bloque (octubre - diciembre)	31
Figura 24: Consumo energético diario	32
Figura 25: Precio de referencia - Reporte OSINERMINING	34
Figura 26: Mapa de la energía solar incidente diaria para el mes de Enero.	35
Figura 27: Irradiancia global diaria vs ángulo de inclinación.....	37
Figura 28: Comportamiento de horas solares pico (HSP)	38
Figura 29: Mapa de potencial eólico en el territorio peruano - mes de Enero.....	39
Figura 30: Imagen satelital del Caserío Yapato y las 4 zonas ubicadas a lo largo de su extensión	42
Figura 31: Panel solar fotovoltaico	43
Figura 32: Componentes de un aerogenerador.....	45
Figura 33: Controlador de carga	47
Figura 34: Inversor de Corriente	48
Figura 35: Metodología para el dimensionamiento del Sistema Híbrido	50
Figura 36: Demanda energética mensual vs energía producida mensual por sistema 100% solar.....	55
Figura 37: Demanda energética mensual vs energía producida mensual por sistema 100% eólica	57
Figura 38: Demanda energética mensual vs energía producida mensual por sistema híbrido (solar - eólico)	59
Figura 39: Demanda energética mensual actualizada vs energía producida mensual por sistema híbrido	62
Figura 40: Esquema del dimensionado del sistema híbrido de cada una de las 4 zonas	65
Figura 41: Esquema del circuito eléctrico y protecciones del sistema híbrido de cada una de las 4 zonas.....	74

Figura 42: Relación del rendimiento y ciclo de descarga de la batería 75

Figura 43: Evolución de precio de generación de paneles fotovoltaico 80

Figura 44: Evolución del precio de generación de aerogeneradores menores a 1MW 81

Figura 45: Evolución de precio de baterías plomo ácido (2010-2018)..... 81

Figura 46: Análisis de flujo de caja de los 3 escenarios para la instalación del sistema híbrido..... 84

Figura 47: Inclinación óptima en Caserío Yapato. Fuente Global Solar Atlas..... 99

Figura 48: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de enero 101

Figura 49: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de febrero 102

Figura 50: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de marzo 103

Figura 51: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de abril 104

Figura 52: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de mayo 105

Figura 53: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de junio 106

Figura 54: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de julio 107

Figura 55: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de agosto 108

Figura 56: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de septiembre..... 109

Figura 57: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de octubre 110

Figura 58: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de noviembre..... 111

Figura 59: Gráfica de Weibull de interpolación de valores X e Y para el mes de diciembre 112

Figura 60: Rosa de vientos de promedio anual en Caserío Yapato..... 113

Figura 61: Ficha técnica de la electrobomba Pedrollo 2HP 129

Figura 62: Especificaciones técnicas del tanque de almacenamiento de agua 130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Potencial de crecimiento de generación RER	10
Tabla 2: Potencia instalada por cada planta eólica en el 2018 en Perú.....	11
Tabla 3: Ranking de países con mayor potencia eólica instalada	12
Tabla 4: Artefactos eléctricos usados por familia	27
Tabla 5: Equipos eléctricos usados en toda la población	27
Tabla 6: Consumo horario - Frecuencia diaria	28
Tabla 7: Factor de utilización establecido por día	28
Tabla 8: Consumo horario - frecuencia semanal.....	29
Tabla 9: Consumo horario - Frecuencia mensual.....	29
Tabla 10: Consumo horario - Frecuencia temporada de siembra.....	29
Tabla 11: Potencia promedio y máxima de cada bloque	32
Tabla 12: Generadores eléctricos instalados en el Caserío Yapato	33
Tabla 13: Consumo de combustible de los generadores eléctrico en el Caserío Yapato	33
Tabla 14: Precio total del Gasohol en Caserío Yapato.....	34
Tabla 15: Datos mensuales de irradiancia solar horizontal global diaria en Caserío Yapato	36
Tabla 16: Irradiancia global mensual en inclinación óptima.....	37
Tabla 17: Cálculo del número de horas picos mensual en el Caserío Yapato	38
Tabla 18: Cálculo de los parámetros de distribución de Weibull.....	40
Tabla 19: Velocidad media mensual	41
Tabla 20: Demanda mensual Caserío Yapato.....	51
Tabla 21: Energía solar mensual producida por panel fotovoltaico	52
Tabla 22: Energía eólico mensual producida por un aerogenerador	52
Tabla 23: Rendimiento de componentes sistema híbrido.....	53
Tabla 24: Listado de equipos y precios total para sistema 100% solar	53
Tabla 25: Verificación de compatibilidad técnica entre equipos en sistema 100% solar	54
Tabla 26: Energía producida por configuración 100% fotovoltaico.....	54
Tabla 27: Listado de equipos y precios total para sistema 100% eólico.....	55
Tabla 28: Verificación de compatibilidad técnica entre equipos del sistema 100% eólico	56
Tabla 29: Energía producida por configuración 100% eólico.....	56
Tabla 30: Listado de equipos y precios total para sistema híbrido (solar eólico)	57
Tabla 31: Verificación de compatibilidad técnica entre sistema solar y controlador híbrido.....	57
Tabla 32: Verificación de compatibilidad técnica entre sistema eólico y controlador híbrido.....	58
Tabla 33: Verificación de compatibilidad técnica entre controlador híbrido e inversor .	58
Tabla 34: Energía producida por configuración híbrida (solar-eólico).....	58
Tabla 35: Comparación de costes asociados de generación de cada sistema renovable	59
Tabla 36: Volumen anual vertido por las motobombas para el regadío agrícola	62
Tabla 37: Equipos del sistema híbrida de cada una de las 4 zonas.	63
Tabla 38: Dimensionamiento de cable entre Panel Solar y Controlador Híbrido	68
Tabla 39: Dimensionamiento de cable entre Aerogenerador eólico y Controlador Híbrido.....	68
Tabla 40: Dimensionamiento de cable entre Controlador Híbrido, Batería e Inversor .	69

Tabla 41: Dimensionamiento de cable entre Inversor y Barra de alimentación de baja tensión.....	69
Tabla 42: Características y longitud total requerido para la instalación del sistema híbrido.....	70
Tabla 43: Relación entre las secciones de los conductores de protección y los de fase	70
Tabla 44: Presupuesto de adquisición de los equipos principales del sistema híbrido	76
Tabla 45: Presupuesto inicial para la instalación del sistema híbrido	76
Tabla 46: Programa de Mantenimiento contemplado para el Sistema Híbrido	79
Tabla 47: Tiempo de vida útil de los equipos principales del sistema híbrido	80
Tabla 48: Costo por actualización de equipos principales	82
Tabla 49: Cálculo de la depreciación anual de equipos principales del sistema híbrido	82
Tabla 50: Consideraciones particulares para cada escenario	83
Tabla 51: Resultados del análisis de flujo de caja	85
Tabla 52: Declinación solar mensual del día más representativo	92
Tabla 53: Ángulo de salida del Sol.....	93
Tabla 54: Irradiancia extra-atmosférica diaria mensual	94
Tabla 55: Índice de claridad y fracción difuso.....	95
Tabla 56: Radiación directa, difusa y reflejada en superficie horizontal.....	96
Tabla 57: Radiación Global en diferentes ángulos de inclinación:.....	98
Tabla 58: Comparativa entre el cálculo estadístico y teórico.....	100
Tabla 59: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de enero.....	101
Tabla 60: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de febrero	102
Tabla 61: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de marzo.....	103
Tabla 62: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de abril.....	104
Tabla 63: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de mayo	105
Tabla 64: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de junio	106
Tabla 65: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de julio	107
Tabla 66: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de agosto	108
Tabla 67: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de septiembre	109
Tabla 68: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de octubre.....	110
Tabla 69: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de noviembre	111
Tabla 70: Frecuencia de clase, distribución acumulada y cálculo de los valores de la línea recta para el mes de diciembre	112
Tabla 71: Dirección de 16 sectores cardinales utilizados en la rosa de vientos.....	113
Tabla 72: Especificaciones técnica del panel fotovoltaico del proveedor DELTAVOLT	114
Tabla 73: Energía producida y costo del kWh de paneles solares DELTAVOLT	115

Tabla 74: Especificaciones técnica del panel fotovoltaico del proveedor AUTOSOLAR	115
Tabla 75: Energía producida y costo del kWh de paneles solares AUTOSOLAR.....	116
Tabla 76: Especificaciones técnica del panel fotovoltaico del proveedor PROVIENTO	116
Tabla 77: Energía producida y costo del kWh de paneles solares PROVIENTO.....	117
Tabla 78: Especificaciones técnica del panel fotovoltaico del proveedor PANEL SOLAR PERÚ	117
Tabla 79: Energía producida y costo del kWh de paneles solares PANEL SOLAR PERÚ	118
Tabla 80: Especificaciones técnica del aerogenerador del proveedor PROVIENTO .	118
Tabla 81: Energía producida y costo del kWh de aerogeneradores PROVIENTO	119
Tabla 82: Especificaciones técnica del aerogenerador del proveedor HC SOLAR....	119
Tabla 83: Energía producida y costo del kWh de aerogeneradores HC SOLAR	120
Tabla 84: Especificaciones técnica del aerogenerador, proveedor extranjero ENAIR	120
Tabla 85: Energía producida y costo del kWh de aerogeneradores ENAIR	121
Tabla 86: Especificaciones técnica del aerogenerador, proveedor extranjero BORNAY	122
Tabla 87: Energía producida y costo del kWh de aerogeneradores BORNAY	122
Tabla 88: Especificaciones técnica y costo del Controlador Solar	123
Tabla 89: Especificaciones técnica costo del Controlador Eólico	124
Tabla 90: Especificaciones técnica y costo del Controlador Híbrido	124
Tabla 91: Especificaciones técnica y costo del Inversor aplicado a la configuración solar	125
Tabla 92: Especificaciones técnica y costo del Inversor aplicado a la configuración eólico	126
Tabla 93: Especificaciones técnica y costo del Inversor aplicado a la configuración híbrido	126
Tabla 94: Especificaciones técnica y costo de las baterías del proveedor AUTOSOLAR PERÚ	127
Tabla 95: Dimensionamiento del rack de baterías	128
Tabla 96: Dimensionamiento por cada zona a instalar y dimensionamiento total de las baterías.....	128

ABREVIATURAS

- AC: Corriente alterna
- DC: Corriente continua
- Lt: litros.
- Lt/hr: litros por hora.
- m: metros
- mm: milímetros
- mm²: milímetros cuadrados
- A: Amperios
- V: Voltios
- W: Vatios
- Wh: Vatios hora
- kWh: Kilo vatios hora
- HP: Caballo de fuerza (unidad de medida)
- kg: Kilogramo
- tn: Tonelada
- CO₂: Dióxido de carbono

GLOSARIO

CEI (Comisión Electrotécnica Internacional): Es una organización de normalización en los campos: eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas.

COES-SINAC (Comité de Operaciones del Sistema Interconectado Nacional): Es el comité operador del sistema, está conformado por todos los agentes del SEIN (Generadores, Transmisores, Distribuidores y Usuarios Libres). Se encarga de coordinar y planificar la operación del SEIN a corto, medio y largo plazo al mínimo costo, preservando la seguridad del sistema y la eficiencia en el uso de los recursos energéticos.

GWEC (Global Wind Energy Council): Es un foro representativo para todo el sector de la energía eólica a nivel internacional. Presenta como objetivo garantizar que la energía eólica se establezca como una de las principales fuentes de energía del mundo, proporcionando beneficios ambientales y económicos sustanciales.

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática): Es un organismo constitucional autónomo del Perú. Se encarga de dirigir los sistemas nacionales de estadística y también de informática del país.

IRENA (Agencia Internacional de las Energías Renovables): es una organización intergubernamental para la promoción de la energía renovable (ER) en todo el mundo. Su objetivo es proporcionar asesoramiento sobre políticas concretas y facilitar la capacidad y la transferencia de tecnología.

ITC (Instrucción Técnica Complementaria): son las instrucciones del Reglamento electrotécnico para baja tensión que contiene aspectos detallados de las instalaciones eléctricas de la normativa española.

MINEM (Ministerio de Energía y Minas): Entidad rectora del sector energético y minero. Asimismo, promueve la inversión privada para la modernización de infraestructura en dichos sectores. Cabe destacar que el MINEM es el único organismo con poder concedente, por lo que otorga concesiones y autorizaciones para participar en la industria eléctrica en el país.

OSINERGMIN (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería): Es un organismo supervisor público especializado. Fiscaliza, supervisa y regula las actividades del sector de la energía, regula la tarifa y fija los distintos precios regulados del servicio eléctrico.

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú): Es un organismo técnico especializado del Estado Peruano que brinda información sobre el pronóstico del tiempo, así como asesoría y estudios científicos en las áreas de hidrología, meteorología, agrometeorología y asuntos ambientales.