



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**Alternativas de energía renovable y gastos operativos del  
suministro eléctrico para una antena de telefonía -Porcón Alto-  
Cajamarca.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Mecánico Electricista**

**AUTORES:**

Agustin Flores, Jensen Milton (orcid.org/0000-0002-9881-2984)  
Vargas Campos, Romel (orcid.org/0000-0002-4092-0376)

**ASESOR:**

Mg. Castro Anticona, Walter Miguel (orcid.org/0000-0002-8127-4040)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Generación, transmisión y distribución

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

## DEDICATORIA

La presente Tesis lo dedico a mi madre Consuelo Campos Oblitas, a mi padre Rodolfo Vargas Becerra en el cielo, quienes han sido los principales promotores de mis sueños, que con su ejemplo, dedicación y palabras de aliento nunca bajaron los brazos para que yo tampoco lo haga aun cuando todo se complicaba, Los amo.

A mi esposa Jaqueline y a mis hijos, Camila y Eduar por tener paciencia de sacrificar tiempo juntos y apoyarme en mis estudios.

A mis hermanos y hermanas, en especial a mi hermano Eduar en el Cielo, quien me enseñó a dar valor a la vida aún más, ya que se fue a muy temprana edad, a mi padre Rodolfo Vargas que no vió culminada mi carrera de ingeniería, también partió al más allá, a mis tíos y cuñados personas especiales que supieron entender y creyeron en mí todo el tiempo, gracias a todos ustedes.

***Vargas Campos, Romel***

La presente Tesis lo dedico a mis padres Victoria Flores y Walter Agustín quienes han sido los pilares de mis metas y sueños; con su ejemplo, dedicación y palabras de aliento nunca bajaron los brazos para que yo tampoco lo haga aun cuando todo se complicaba.

A mi amada esposa Tita por el constante apoyo incondicional, en ella tengo el espejo en el cual me quiero reflejar pues sus virtudes y su gran corazón me llevan a admirarla cada día más.

***Agustín Flores, Jensen Milton***

## **AGRADECIMIENTO**

Al asesor metodológico de la Tesis, Dr. Jorge Eduardo Lujan López, por la orientación y la ayuda que nos brindó para la realización de nuestra Tesis.

Al asesor especialista de la Tesis, Mg. Walter Miguel Castro Anticona, por la orientación y la ayuda que nos brindó para la realización de nuestra Tesis.

A todos los docentes de la facultad de ingeniería mecánica eléctrica de la Universidad Cesar Vallejo, por la orientación, dedicación y esmero que demostraron durante todo el proceso de mi carrera.

***Romel Vargas Campos & Jensen Agustín Flores***

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

|   |      |
|---|------|
| ÍNDICE DE CONTENIDOS.....   | iv   |
| ÍNDICE DE TABLAS.....   | v    |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS.....   | vi   |
| RESUMEN.....  | vii  |
| ABSTRACT.....   | viii |
| I. INTRODUCCIÓN.....  | 9    |
| II. MARCO TEÓRICO.....  | 13   |
| III. METODOLOGÍA.....   | 25   |
| 3.1. Tipo y diseño de investigación.....  | 25   |
| 3.2. Variables y operacionalización.....  | 25   |
| 3.3. Población (criterios de selección), muestra, muestreo, unidad de análisis..... | 25   |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....                           | 26   |
| 3.5. Procedimientos.....  | 26   |
| 3.6. Método de análisis de datos.....   | 27   |
| 3.7. Aspectos éticos.....   | 27   |
| IV. RESULTADOS.....   | 28   |
| 4.1. Demanda máxima de energía eléctrica actual de la antena.....                   | 28   |
| 4.1.1. Mediciones realizadas en el sistema eléctrico de la antena.....              | 28   |
| 4.1.2. Demanda máxima actual.....   | 30   |
| 4.2. Costos operativos del suministro eléctrico de la antena.....                   | 30   |
| 4.3. Análisis técnico-económico del suministro de energía eléctrica.....            | 31   |
| 4.3.1. Sistema fotovoltaico.....  | 31   |
| 4.3.2. Sistema eólico.....  | 36   |
| 4.3.3. Sistema Híbrido.....   | 38   |
| 4.4. Evaluación Económica.....  | 41   |
| V. DISCUSION.....   | 43   |
| VI. CONCLUSIONES.....   | 45   |
| VII. RECOMENDACIONES.....   | 46   |
| REFERENCIAS.....  | 47   |
| ANEXOS.....   | 52   |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1.</b> <i>Registro de Mediciones AC en los bornes del grupo electrógeno.....</i> | 29 |
| <b>Tabla 2.</b> <i>Registro de Mediciones a la salida de los rectificadores.....</i>      | 29 |
| <b>Tabla 3.</b> <i>Demanda Máxima en el suministro de energía eléctrica .....</i>         | 30 |
| <b>Tabla 4.</b> <i>Parámetros de grupo electrógeno .....</i>                              | 30 |
| <b>Tabla 5.</b> <i>Gastos operativos mensual para grupo electrógeno .....</i>             | 31 |
| <b>Tabla 6.</b> <i>Costro del Sistema Fotovoltaico .....</i>                              | 41 |
| <b>Tabla 7.</b> <i>Costro del Sistema Eólico .....</i>                                    | 41 |
| <b>Tabla 8.</b> <i>Costro del Sistema Hibrido .....</i>                                   | 42 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <i>Figura 1.</i> Sistemas alimentación de CA para una EBC típica .....                          | 17 |
| <i>Figura 2.</i> Diagrama de bloques de un sistema de suministro de energía híbrido.....        | 17 |
| <i>Figura 3.</i> Turbina eólica moderna. (XEMC Darwind. Eize de Vries 23 October 2020) .....    | 18 |
| <i>Figura 4.</i> Sistema de generación eólica. (A. B., & ABB, S., 2012, Barcelona, España.) ... | 21 |
| <i>Figura 5.</i> Sistema de generación eólica (ABB,, 2012).....                                 | 22 |
| <i>Figura 6.</i> Diagrama unifilar de la antena telefónica .....                                | 28 |
| <i>Figura 7.</i> DNI en la ubicación de la antena, (Global Solar Atlas, 2022) .....             | 32 |
| <i>Figura 8.</i> Hora de aprovechamiento de la energía solar (Global Solar Atlas, 2022). .....  | 33 |
| <i>Figura 9.</i> Arreglo de paneles del sistema fotovoltaico.....                               | 35 |
| <i>Figura 10.</i> Esquema del sistema fotovoltaico. ....  | 36 |
| <i>Figura 11.</i> Esquema del sistema eólico.....   | 38 |
| <i>Figura 12.</i> Esquema de un sistema de suministro de energía híbrido.....                   | 39 |
| <i>Figura 13.</i> Grafica paramétrica de la potencia vs velocidad.....                          | 40 |
| <i>Figura 14.</i> Arreglo de paneles del sistema fotovoltaico.....                              | 43 |

## RESUMEN

En este trabajo de tesis se ha realizado estudio de alternativas de energía renovable y gastos operativos del suministro eléctrico para una antena de telefonía -Porcón Alto-Cajamarca. Debido a que la empresa de telecomunicaciones propietaria de la antena a percibido una pérdida económica a razón de que este equipo carece de suministro eléctrico, donde el grupo electrógeno que ha sido instalado trabaja continuamente para abastecer de energía eléctricas a los componentes de la antena. Como la ubicación es de difícil acceso para la concesionaria de energía eléctrica se ha visto en la necesidad implementar un sistema independiente. Entre las altivas que se tiene para este problema se encuentran las energías renovables, de las cuales en este trabajo se analizan la viabilidad de su aplicación para abastecer de electricidad a la antena telefónica.

El procedimiento metodológico se inició con la recopilación de parámetros eléctricos de la estación base celular (EBC) y datos meteorológicos del lugar, posteriormente con la data obtenida se realizó los cálculos de los sistemas a comparar, que son: eólico, fotovoltaico e Híbrido. Se obtuvieron los costos de cada uno de los sistemas y se observó la diferencia entre ellos. Finalmente, el sistema híbrido posee mejores prestaciones a nivel técnico y económico, donde el costo de implementación es de \$ 53,280.00.

Palabras clave: antenas, fotovoltaico, aerogenerador, EBC, estudio, energía.

## **ABSTRACT**

In this thesis work, a study of renewable energy alternatives and operating expenses of the electrical supply for a telephone antenna -Porcón Alto-Cajamarca has been carried out. Because the telecommunications company that owns the antenna has received an economic loss due to the fact that this equipment lacks electrical supply, where the generator set that has been installed works continuously to supply electrical energy to the components of the antenna. As the location is difficult to access for the electricity concessionaire, it has been necessary to implement an independent system. Among the haughty ones for this problem are renewable energies, of which the feasibility of their application to supply electricity to the telephone antenna is analyzed in this work.

The methodological procedure began with the collection of electrical parameters of the cellular base station (EBC) and meteorological data of the place, later with the data obtained, the calculations of the systems to be compared were made, which are: wind, photovoltaic and Hybrid. The costs of each of the systems were obtained and the difference between them was observed. Finally, the hybrid system has better technical and economic benefits, where the implementation cost is \$53,280.00.

Keywords: antennas, photovoltaic, wind turbine, EBC, study, energy.

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el consumo de energías renovables se ha incrementado aproximadamente 2.3% desde el año 2015, esto debido al mayor aumento de la demanda a nivel mundial. En el continente asiático se observa la mayor capacidad en generación en Energías Renovables (ER) instalada, entre estos países se puede mencionar a China, siendo el país con mayor obtención de energía solar, eólica e hidroeléctrica. De igual modo Tailandia ha incrementado su producción de energía solar en una proporción mayor a la de otros países europeos; en tanto Filipinas y Pakistán han incrementado claramente su capacidad de energía eólica. A su vez Australia, líder de la región de Oceanía en capacidad de electricidad renovable, el mayor porcentaje de su energía lo consiguen de las hidroeléctricas con el 59% y la energía eólica con el 32% (Algarín y Álvarez, 2018).

Con la mejora de la comunicación inalámbrica y su mayor demanda de datos, los operadores de redes de telecomunicaciones están instalando continuamente una mayor cantidad de estaciones base celulares (EBC). Con el tiempo las compañías están cambiando la forma de hacer sus actividades comerciales, adaptándose a los actuales avances tecnológicos como los celulares inteligentes o las tabletas y que, en conjunto con el servicio de Internet, han permitido la comunicación con clientes en todo el mundo, mejorando la distribución y el avance de los productos. Con la rápida extensión de las telecomunicaciones se ha logrado atraer la inversión extranjera directa de países en pleno desarrollo de sus economías. Con todo esto las telecomunicaciones se han modificado en algo necesario para las personas y las empresas. (ISP.ES COMUNICACIONES S.L., 2021)

En países Latinoamericanos, desde el año 2014, han entrado en actividad 625 MW de energía fotovoltaica (FV), frente a los 133 MW instalados en el 2013. El principal país donde se ha notado el crecimiento fue en Chile que aporta un 75% del total, seguido de México y Brasil. Por su parte Chile agregó 0.7GW en 2016 finalizando el año con un total de 1.6GW. México adicionó 150 MW para un total instalado de 0.3 GW. El costo de la electricidad a partir de nuevos sistemas construidos varía de 90 a 300 USD/MWh, dependiendo del recurso solar; el tipo,

tamaño, costo de los sistemas, madurez de los mercados y los costos del capital. Se estima que la participación de la energía FV en la producción de la electricidad mundial tendría un alcance de 16% para el 2050, lo cual representaría un aumento significativo de la meta del 11% para el 2010. La generación fotovoltaica se estima que contribuiría con un 17% de toda la electricidad limpia, y hasta el 20% de toda la electricidad renovable. Para los próximos años se espera que China continúe liderando el mercado mundial, el cual representa alrededor del 37% de la capacidad mundial proyectada para el 2050. Para lograr las metas anteriormente mencionadas, se espera que los costos de la electricidad por energía FV en diferentes partes del mundo se reduzcan en un 25% para el 2020, 45% en 2030, y el 65% en 2050; lo que lleva a un rango de 40 a 160 USD/MWh. (Algarin y Álvarez, 2018)

Para el 2018, se produjeron 3674 MW en energías renovables, y la participación de los recursos energéticos Renovables (RER) fue de 7.9% con respecto a la potencia total instalada. En sistemas de generación, los RER aportaron el 7.2% del total de la producción eléctrica del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). Nuestro país cuenta con vasto potencial para desarrollar proyectos basados en RER; sin embargo, a la fecha, el porcentaje de potencia instalada en el SEIN con respecto a la potencia técnica aprovechable es 7.12% (total hidráulico), 1.83% (eólico), 1.14% (solar), 7.88% (biomasa) y 0% (geotermia) (Schmerler et al., 2019).

En el ámbito de las telecomunicaciones, en el Perú se estima que una EBC puede atender a 924 usuarios, además en las últimas décadas el avance en las telecomunicaciones ha llevado a mejorar la calidad de transmisión de datos por lo cual las empresas de telecomunicaciones han recurrido a instalar mayor cantidad de antenas. Se estima para el año 2025, debido a la creciente demanda en el consumo de datos móviles, el Perú deberá contar con 60 771 EBC distribuidas a nivel nacional. Se estima también que el consumo de datos móviles en el Perú al año 2025 será de 971 PB (Peta Bytes) mensual. Actualmente el Perú tiene una antena 4G por cada 924 habitantes, mientras que, en países como Canadá, se tiene una antena 4G por cada 112 habitantes. (More et al., 2020) La empresa operadora de telecomunicaciones es una de las más importante de América Latina, en el Perú

tiene el 50% del mercado de telecomunicaciones debido a la alta aceptación de los usuarios, ya que proporciona una mayor cobertura con respecto a sus competidores, esto es debido a que posee una mayor cantidad de antenas instaladas en zonas recónditas del país. En el departamento de Cajamarca tiene instalada 15 de las cuales el 80% no se encuentran conectadas al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).

Debido a que la empresa de telecomunicaciones propietaria de las antenas a percibido una pérdida económica a causa de que las EBC que carecen de suministro eléctrico son alimentadas por grupos electrógenos, los cuales deben trabajar continuamente para abastecerlos de energía, sumado a estos gastos, se debe considerar los gastos de combustible, mantenimientos, averías, desgaste de máquina y otros. Como es evidente esto causa un incremento los gastos operativos, razón por la cual proponemos el desarrollo de este trabajo de investigación.

Por lo mencionado anteriormente en el presente trabajo de investigación se ha propuesto realizar estudio de Alternativas de energía renovable y gastos operativos del suministro eléctrico para una antena de telefonía -Porcón Alto-Cajamarca. En este estudio se realizará la comparación de tres sistemas de suministro eléctrico los cuales son: sistema eólico, sistema fotovoltaico y un sistema híbrido (eólico y fotovoltaico).

El presente trabajo se justifica a nivel tecnológico por medio de la implementación de un sistema de suministro eléctrico empleando energías renovables, los cuales serán analizados para determinar el sistema óptimo según los requerimientos energéticos de las EBC.

Para el desarrollo del presente trabajo se ha definido el siguiente objetivo general: Elaborar un estudio de Alternativas de energía renovable y gastos operativos del suministro eléctrico para una antena de telefonía -Porcón Alto-Cajamarca.

Para cumplir con el objetivo general se han planteados los siguientes objetivos específicos: Determinar la demanda de energía eléctrica actual de la antena. Determinar los costos operativos actuales relacionados al suministro eléctrico de la antena. Analizar técnica y económicamente el uso de energía eólica, energía fotovoltaica o un sistema híbrido eólico-fotovoltaico para el suministro eléctrico de la antena ubicada en Porcón Alto.

## II. MARCO TEÓRICO

A continuación, se describen los antecedentes que se han sido consultados para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Zhao et al. (2020) se basa en energía híbrida fotovoltaico/aerogenerador almacenamiento de energía de aire comprimido adiabático propuesto para una estación base móvil en zonas rurales. Siendo las principales fuentes renovables la luz solar, el viento y el sistema de acumulación de energía de aire comprimido adiabático, el cual actúa como acumulador de energía mecánica para una turbina que acciona un generador eléctrico, con el fin de amortiguar las fluctuaciones de la demanda eléctrica. Los resultados de la simulación en condiciones de diseño nos muestran que la probabilidad de pérdida de suministro de energía, la tasa de carga, de descarga, la de fluctuación relativa y de ahorro de energía son 0,988%, 28,81%, 1,8377 y 11,23%, respectivamente, además que en condiciones de capacidad de energía eólica fija la pérdida máxima de suministro de energía llega al 1%, mientras que la tasa de carga y descarga aumenta.

Jahid et al. (2020) estudiaron un análisis de plausibilidad de soluciones óptimas de suministro de energía, como la energía solar fotovoltaica (PV) independiente, la energía fotovoltaica híbrida/turbina eólica (PV/WT), la energía fotovoltaica híbrida/generador diésel (DG) y la red fotovoltaica/eléctrica híbrida (PV/EG) para sostener las estaciones base (BS) de la red (LTE) relacionadas con los aspectos técnicos, económicos y ambientales en Bangladesh. Se realizó simulaciones en Monte-Carlo basadas en la evaluación del rendimiento de la red inalámbrica en el marco de la eficiencia energética (EE), ahorro de energía promedio, eficiencia de radio que varía el ancho de banda del sistema (B) y potencia de transmisión BS (PTX) considerando el comportamiento dinámico de la intensidad del tráfico y el perfil de generación de energías renovables (ER). Los resultados de la simulación muestran ahorros de energía de hasta un 36%.

Hossain et al. (2020) se llevó a cabo un estudio técnico-económico del sistema de energía solar óptimo para estaciones base celular LTE. En el cual se exploran la viabilidad del uso de paneles solares fotovoltaicos (SPV) y dispositivos que conservan energía para alimentar las macro estaciones base fuera de la red LTE en Bangladesh. El objetivo fue el costo actual neto y las emisiones de gases que deterioran la capa de ozono en el cual se garantiza la sostenibilidad energética durante 10 años. Los resultados demostraron que el sistema de energía solar fotovoltaica/batería propuesto logró una mejora significativa de la reducción del gasto general con un rendimiento de hasta el 54,8% en comparación con el sistema de energía diésel y garantiza una sostenibilidad energética prominente con un modelado efectivo de la recolección de energía renovable.

Zhang et al. (2019). investigaron acerca del efecto de configuración y funcionamiento del sistema híbrido de generación de energía solar-eólica-batería basado en NSGA-II. Se estudió la demanda de energía en las instalaciones de energía CC, CA y el equipo de enfriamiento de la estación base móvil. El resultado mostró que en tres escenarios: viento fuerte/sol fuerte, viento fuerte/sol débil y viento débil/sol fuerte podían cumplir con los requisitos de carga y le quedaba algo de energía para que las baterías se cargaran. Solo la condición de viento débil/sol débil generaba energía insuficiente y tenía que consumir la electricidad almacenada en las baterías para conducir equipo eléctrico. se concluyó que, de acuerdo con el análisis de datos meteorológicos del año estándar, el número de días con viento débil y luz débil representa aproximadamente el 6% de todo el año, y el funcionamiento del sistema puede satisfacer la demanda real del equipo de energía.

Mina y Sakr (2019) presentaron un modelo exhaustivo del costo de funcionamiento de una estación de radio base para proporcionar a los operadores de telecomunicaciones una herramienta matemática que estime con precisión su gasto total. se desarrolló una herramienta MATLAB de diseño y optimización genérica para minimizar este costo mediante la introducción en las soluciones existentes de generación de red, energía renovable (RE) para formar un sistema de abastecimiento de energía totalmente híbrido (HPSS).

.Tagüide (2020). realizó el análisis de sistemas híbridos para utilizarlo como suministro de energía eléctrica en equipos de telecomunicaciones de bajo consumo. Estudió las particularidades técnicas que rigen el desempeño de los sistemas fotovoltaicos solares eficaces, además demostró la disminución de las emisiones de gases contaminantes para la capa de ozono, también determinó los requerimientos mínimos para un adecuado funcionamiento del sistema híbrido del sistema eléctrico que él propuso. Concluyó que el sistema híbrido fotovoltaico es energía de gran calidad, debido a que produce impacto negativo en el medio ambiente.

Flores (2019). se implementó un sistema de ahorro de energía en bases celulares que no tienen conexión a la red eléctrica nacional. Así mismo se realizó el estudio de viabilidad y practicidad en la instalación de un sistema que almacena energía exceso (suministrada por el generador) el cual será reutilizada, esto reflejará ahorros de energía, coste por mantenimiento y combustible. El sistema se evaluó por medio estudios y análisis económicos con respecto a la viabilidad de implementar el sistema de acumulación de energía eléctrica, por otra parte, se realizó cálculos estadísticos del impacto generado por la implementación de este sistema, de igual forma se determinó el impacto ambiental para implementar el sistema en todo el país. Los resultados demostraron el comportamiento del sistema es seriamente afectado a causa de los distintos climas del país, a pesar que el ahorro energético no llega a los niveles teóricamente esperados esto sigue siendo sustancial.

Huayta y Roberto (2019). Realizo un estudio sobre la "Implementación de un sistema fotovoltaico aislado para electrificación de estaciones base móviles de la empresa Viettel Perú SAC en zonas rurales de la provincia de Huancayo 2019". donde eran geográficamente difíciles trasladar las redes de telecomunicaciones genera dificultades técnicas y económicas para la compañía Viettel PERU SAC. se concluyó que la implementación de un sistema que aprovecha la radiación solar (celdas fotovoltaicas) proporciona una utilidad económica por un período de vida útil de veinte años por lo cual se estima una recuperación económica de aproximadamente doce años.

Cayotopa (2019). "Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado para electrificar al caserío Flor del Valle en Yambrasbamba provincia de Bongará departamento de Amazonas". Precisó que: Según datos de SENAMHI se obtuvo un valor de 4,25 kWh/m<sup>2</sup> /día, y a través de un software (METEORNOM) se obtuvo un valor de 4,94 kWh/m<sup>2</sup> /día, sin embargo los datos de radiación solar promedio mensual según la NASA se obtuvo un valor de 3,64 kWh/m<sup>2</sup> /día. Por lo tanto, se determinó el menor valor para el dimensionamiento de sistema, es decir: 3,64 kWh/m<sup>2</sup> /día. El resultado del costo de este sistema fotovoltaico aislado estimaría s/. 206 019,36.

Ortiz et al. (2018), "Evaluación técnica y económica de la implementación de sistemas fotovoltaicos para la electrificación de radio bases remotas de la CNT (Corporación Nacional de Telecomunicaciones)". se realizó un estudio que presenta una metodología para el diseño de sistemas solares (fotovoltaicos) para la electrificación de las estaciones de telefonía en lugares alejados de la red de electricidad de Ecuador, esto reemplazaría a los generadores (grupo electrógeno) que actualmente se utilizan como suministro de energía. Se evaluó la economía con el fin de verificar si es real los costos operativos y de mantenimiento que genera el sistema fotovoltaico en comparación con el generador. Los resultados muestran que el uso del sistema fotovoltaico es más viable económicamente que el generador actual (grupo electrógeno). Cabe mencionar que el costo estimado fue de \$ 0.15 kWh, a diferencia de la energía generada por el grupo electrógeno fue \$ 0.30 kWh menor en promedio.

Toribio (2018) "Evaluación e inversión para la comercialización de paneles solares fotovoltaicos en la provincia de Barranca". su objetivo fue evaluar la viabilidad económica y financiera de comercialización de paneles solares como mecanismo de auto recolección y regeneración en el uso de equipos electrónicos aplicados a la seguridad en urbanizaciones, áreas residenciales y pequeñas localidades de la provincia de Barranca incrementando la eficiencia y reduciendo costos.

se utilizó una metodología de estudio que estableció una forma más efectiva para la comercialización de paneles fotovoltaicos en la provincia de Barranca; el cual permitió conocer las necesidades y opiniones de los beneficiarios; por ello se

utilizó un diseño representativo y experimental para detallar el mercado actual y el entorno de los beneficiarios.

Después de descritas los antecedentes procedemos detallar los conceptos teóricos fundamentales para la comprensión del presente trabajo de investigación.

Cada estación base celular (EBC) requiere de un sistema de suministro eléctrico el cual se puede ver de manera esquemática en la Figura 1. En esta figura se encuentran representados un transformador, grupo electrógeno, banco de baterías, placa rectificadora y la EBC.

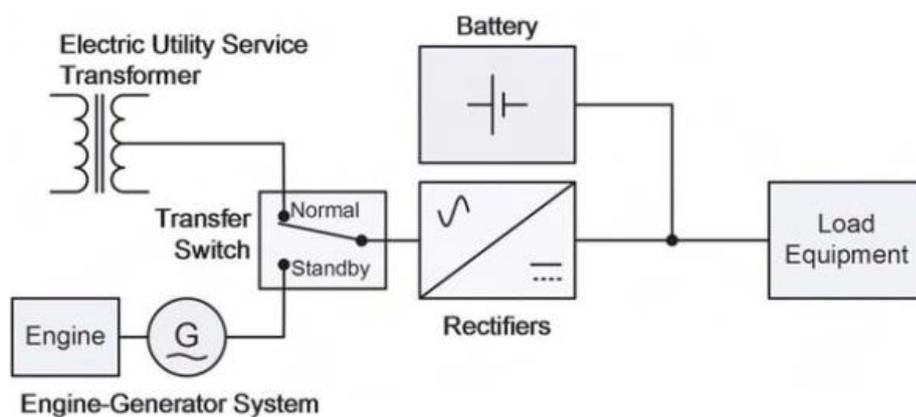


Figura 1. Sistemas alimentación de CA para una EBC típica

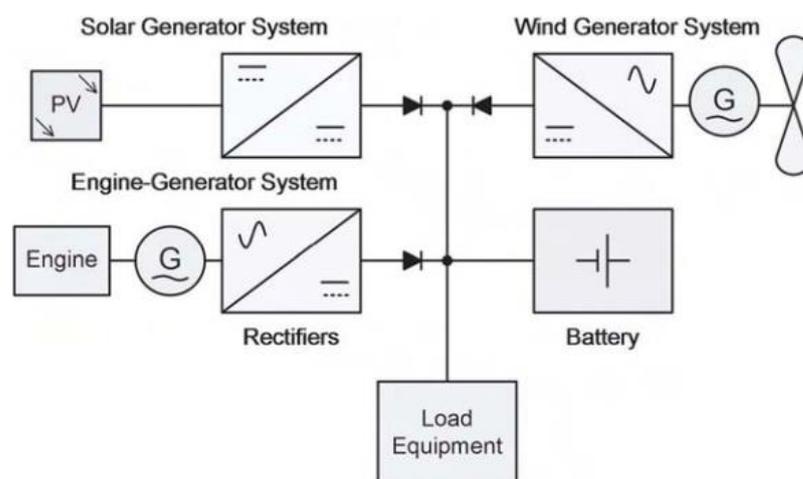


Figura 2. Diagrama de bloques de un sistema de suministro de energía híbrido

## Sistemas eólicos

Un aerogenerador es un complejo aparato que a través de un generador produce electricidad. Esta electricidad se obtiene mediante una fuente de energía renovable e inagotable, sostenible y que no produce emisiones nocivas a la atmósfera: la fuerza natural del viento. Pueden ser terrestres o marinos.

Funcionamiento: el viento crea una fuerza giratoria al transcurrir por las aspas, que rotan el eje del que parten, ubicado en una parte del aerogenerador denominada góndola. Ese eje o buje está comunicado con una caja de cambios que aumenta la rapidez de rotación del eje y da energía al generador, al que está conectada. El generador se vale de campos magnéticos y transforma la energía rotacional en eléctrica. El último paso antes de llegar a las redes de distribución es pasar por un transformador que adecue la cantidad de energía, ya que el voltaje creado es excesivo para ellas. La producción de energía eléctrica del aerogenerador depende de la interacción entre las palas del rotor y el viento primero convirtiendo la energía cinética del viento y la energía mecánica del aerogenerador y luego convirtiendo esta última en energía eléctrica.



*Figura 3.* Turbina eólica moderna. (XEMC Darwind. Eize de Vries 23 October 2020)

## Coeficiente de potencia Cp

Se define el coeficiente de potencia  $C_p(a)$  (o coeficiente de eficiencia) como la relación entre la potencia extraída y la potencia disponible del viento:

$$C_p(a) = \frac{P}{P_{\text{disp}}} = \frac{2 \cdot \rho \cdot A \cdot V_1^3 \cdot a \cdot (1-a)^2}{\frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V_1^3} = 4 \cdot a \cdot (1-a)^2 \quad (1)$$

Donde:

P: potencia

$P_{\text{disp}}$ : Potencia específica disponible

$\rho$ : densidad del aire

A: sección del tubo de flujo considerado.

$V_1$ : velocidad del viento.

Tomando  $a = 1/3$  se obtiene el máximo teórico  $C_{p,\text{max}} = \frac{16}{27} = 0.59$  y menudo se lo denomina "límite Betz" y representa el siguiente concepto básico: La potencia teórica máxima que se puede extraer del flujo de aire con una turbina eólica ideal no debe exceder la potencia disponible del viento. Se sabe que para el factor de potencia  $C_p$  aumenta con el factor de inducción hasta alcanzar un pico en  $a = 1/3$  y luego disminuye hasta en  $a = 1/2$  para lo cual la potencia es cero. La parte correspondiente hasta  $a > 1/2$  no tiene significado físico.

De donde la potencia específica disponible para el generador se puede calcular con:

$$P_e = \eta_e \cdot \eta_m \cdot C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_1^3 \quad (2)$$

$$D = \sqrt{\frac{8 \cdot P_e}{\eta_e \cdot \eta_m \cdot \pi \cdot C_p \cdot \rho \cdot V_1^3}} \quad (3)$$

Donde:

D: Diámetro del aerogenerador, (m)

$P_e$ : Potencia eléctrica generada, (kW)

$\rho$ : densidad del aire

$A$ : sección del tubo de flujo considerado.

$v_1$ : velocidad del viento

$\eta_e$ : rendimiento del generador eléctrico.

$\eta_m$ : es el rendimiento mecánico global de toda la transmisión, desde el rotor hasta el generador eléctrico pasando por el multiplicador.

En la Figura 4 se tiene un sistema eólico donde se muestra sus partes principales.

**Multiplicador:** El multiplicador tiene como misión aumentar la velocidad de rotación del rotor, para adaptarla a los valores requeridos por generadores convencionales (en algunos aerogeneradores, la relación de multiplicación puede ser mayor de 1:100). El multiplicador está constituido por una o varias parejas de engranajes de tipo epicicloidal o de ejes paralelos).

**Frenos:** impide que el rotor gire cuando el aerogenerador está fuera de servicio, los frenos mecánicos también son capaces de detener el rotor en condiciones meteorológicas adversas.

**Generador asíncrono:** es un motor trifásico de inducción, caracterizado por una velocidad de sincronismo que depende del número de polos y de la frecuencia de red.

**Transformador**

Convierte la baja tensión a media tensión para reducir las pérdidas de transmisión. El transformador se instala en la góndola o en la base de la torre.

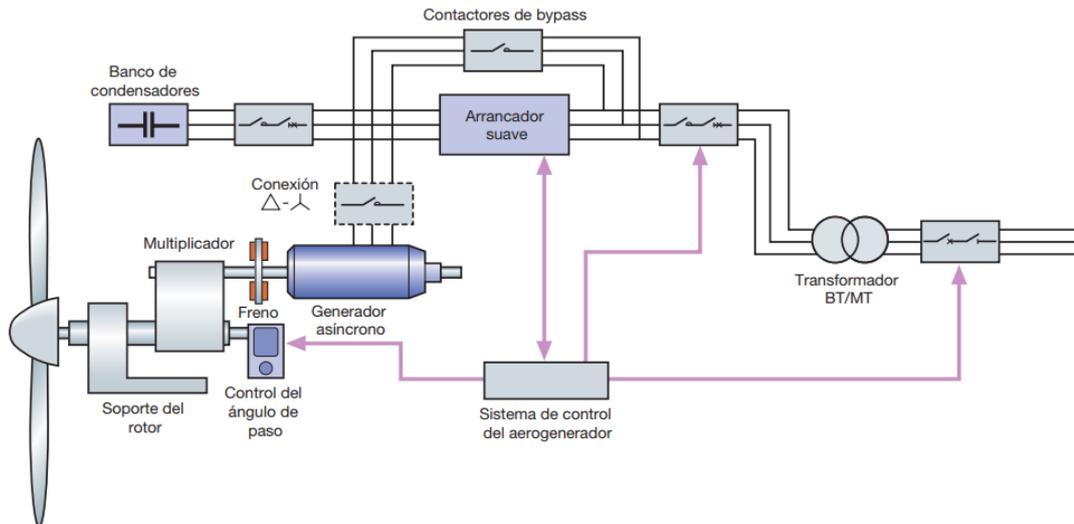


Figura 4. Sistema de generación eólica. (A. B., & ABB, S., 2012, Barcelona, España.)

## Sistema de generación eólica

La turbina eólica (WT) puede convertir la energía cinética del viento en electricidad. La potencia de salida por WT se puede expresar de la siguiente manera función a intervalos:

$$w_{WT}(t) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & (v < v_{in}) \text{ o } (v > v_{out}) \\ W_{rated,WT} \frac{v^3 - v_{in}^3}{v_{rated}^3 - v_{in}^3} & v_{in} \leq v \leq v_{rated} \\ W_{rated,WT} & v_{rated} < v \leq v_{out} \end{array} \right\} \quad (4)$$

donde

$w_{WT}$ : Potencia de salida de WT en el tiempo (t).

$W_{rated WT}$ : Potencia nominal de turbina eólica (WT).

$V_{in}$ : Velocidad del viento de arranque.

$V_{rated}$ : Velocidad nominal del viento.

$V_{out}$ : Velocidad del viento en corte.

$v$ : Velocidad real del viento.

la generación total de energía a partir del viento es:

$$W_{wt}(t) = w_{WT}(t) \cdot N_{WT} \quad (5)$$

Donde:

$W_{wt}$ : Generación total eólica

$w_{WT}$ : Generación de cada aerogenerador

$N_{WT}$ : Número de aerogeneradores

Por lo tanto, la generación de energía total de las energías renovables en el bus de CA después de los inversores se puede lograr como:

$$W_G(t) = (w_{PV}(t) + W_{WT}(t) \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{inv}) \quad (6)$$

Donde:

$\eta_{inv}$ : Eficiencia del inversor

$W_G$ : Generación total de energía renovable

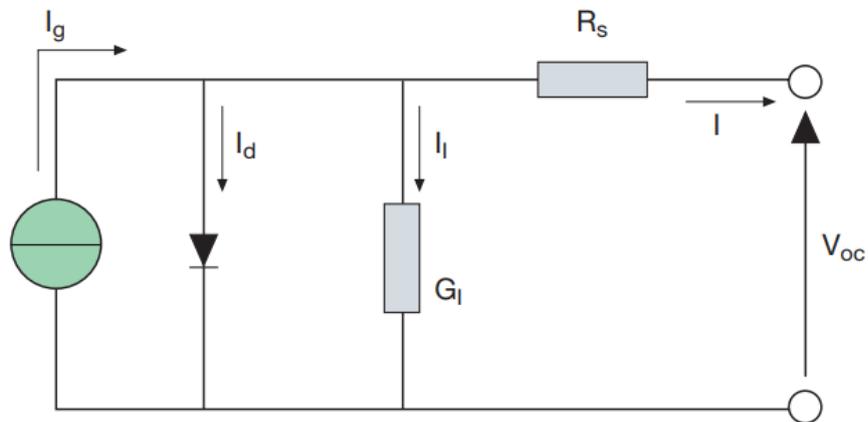


Figura 5. Sistema de generación eólica (ABB, 2012)

## Sistema de generación fotovoltaica

El panel fotovoltaico puede convertir la energía de la luz solar en electricidad. De acuerdo con la radiación solar por hora, la potencia de salida del panel fotovoltaico puede ser calculado por:

$$P_{PV} = \eta_{PV} \cdot A_{PV} \cdot \frac{(DNI/365)}{t_{Ir}} \quad (7)$$

Dónde:

|               |  |
|---------------|--|
| $P_{PV}$ :    | Potencia del sistema fotovoltaico                    |
| $\eta_{PV}$ : | Eficiencia del panel fotovoltaico                    |
| $A_{PV}$ :    | Área de los paneles fotovoltaicos                    |
| $DNI$ :       | Irradiación normal directa                           |
| $t_{Ir}$ :    | Tiempo de aprovechamiento de la energía solar diaria |

La temperatura de la celda se puede calcular por:

La generación de energía total a partir de la energía solar se puede calcular mediante:

$$W_{PV}(t) = w_{PV}(t) \cdot N_{PV} \quad (8)$$

Donde:

$N_{PV}$ : es el número de paneles fotovoltaicos.

## MÁXIMA POTENCIA DE SALIDA.

Para cada condición de trabajo se puede calcular la potencia de salida del panel multiplicando los valores correspondientes al voltaje y a la corriente para ese punto de la curva I-V. En particular, la potencia de salida es nula para dos puntos de trabajo, cortocircuito y circuito abierto, ya que, o la corriente o el voltaje de salida es nulo. Entre estos dos valores nulos, la potencia de salida alcanza un valor máximo que varía con la temperatura. El valor máximo, que corresponde a una

temperatura de trabajo de 25°C, se denomina valor óptimo o valor pico (Wp). Para determinarlo se usan los denominados valores estándar STC (Standard Test Conditions).

- Radiación solar = 1000 W/m<sup>2</sup>
- Temperatura = 25°C
- Espectro luminoso = 1.5 masa de aire

El Wp es la unidad de medida de referencia utilizada para los módulos fotovoltaicos. Expresa la potencia eléctrica que es capaz de suministrar el módulo en condiciones estándar de referencia.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

**Tipo de investigación:** Es aplicada, pues se hará uso de los conocimientos específicos de la ingeniería y las energías renovables para determinar el sistema óptimo que abastezca de energía eléctrica a la antena.

**Diseño de investigación:** Es no experimental, porque se determinará la opción óptima para suministro eléctrico mediante energías renovables en base a la información recopilada en su estado actual.

#### 3.2. Variables y operacionalización

Las variables consideradas para el desarrollo de este estudio serán las que se detallan a continuación:

##### **Variable independiente**

- Sistema de generación de energía renovable

##### **Variable dependiente**

- Costos operativos

#### 3.3. Población (criterios de selección), muestra, muestreo, unidad de análisis

**Población:** cuatro antenas de telefonía de la provincia de Cajamarca que no cuentan con conexión al sistema eléctrico nacional.

**Muestra:** una antena de telefonía ubicada en Porcón Alto, en la provincia de Cajamarca.

**Muestreo:** muestreo no probabilístico de tipo por conveniencia, pues se selecciona de manera arbitraria la antena de telefonía a analizar.

**Unidad de Análisis:** una antena de telefonía ubicada en la provincia de Cajamarca.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **Técnicas de recolección de datos**

En cuanto a las técnicas planteadas, a usarse en el presente estudio son:

- Análisis documental
- Observación
- Entrevista

#### **Instrumentos de recolección de datos**

En cuanto a los instrumentos planteados, los cuales se usarán como técnicas de recolección de información son:

- Ficha de registro documental
- Ficha de registro de observación
- Cuestionario

### **3.5. Procedimientos**

En el desarrollo del presente trabajo se siguieron los siguientes pasos:

Se realizó la recolección de los parámetros eléctricos del suministro de energía de la antena usando un analizador de redes.

Se realizó un diagrama unifilar del suministro eléctrico

Se realizó el diseño basado en energías renovables de cada alternativa del suministro eléctrico

Se realizó la evaluación de la alternativa óptima para la antena de telefonía, usando como criterio la mejora en la eficiencia y la reducción de los costos de operación.

Se realizó un análisis económico para la alternativa ganadora con el fin de evaluar su viabilidad económica

### **3.6. Método de análisis de datos**

Empleando los datos registrados por el analizador de redes determinó los parámetros del suministro eléctrico en su estado actual. Posteriormente usando Matlab se modeló los sistemas de suministro eléctrico con energía renovables, esto es: el sistema fotovoltaico, el sistema eólico y el sistema híbrido. Después del modelado se evaluó el costo operativo obtenido en cada uno de los modelos y se comparó los resultados para determinar el sistema con las mejores especificaciones para la antena de telefonía de Porcón Alto-Cajamarca

### **3.7. Aspectos éticos**

En esta tesis para salvaguardar la confidencialidad de los nombres de las empresas involucradas, se referirá en este trabajo como empresa propietaria, a la empresa dueña de las antenas.

Los autores del presente trabajo se comprometen a cumplir con los requerimientos de validación de la veracidad de la recolección y uso de datos evitando incurrir en plagio de los trabajos de otros autores y la protección de la información expedida por la empresa.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Demanda máxima de energía eléctrica actual de la antena.

Para determinar la demanda máxima se realizó un procedimiento metódico, el cual inicio con la recolección de datos del sistema eléctrico en su estado actual, para esto, se programaron visitas técnicas a las instalaciones de la antena ubicada en Porcón Alto. La programación de estas visitas se realizó previa coordinación con el personal a cargo de esta antena, ya que debido a que la ubicación de la antena está bastante alejada, el personal no se encuentra de manera permanente en tales instalaciones.

#### 4.1.1. Mediciones realizadas en el sistema eléctrico de la antena

Para determinar el consumo actual se realizaron mediciones in situ de los parámetros eléctrico de la red eléctrica de la antena. Para mostrar adecuadamente el punto donde se realizaron las mediciones, se ha elaborado el diagrama unifilar de la antena. En la Figura 6 se muestra este diagrama con los componentes principales de la antena.

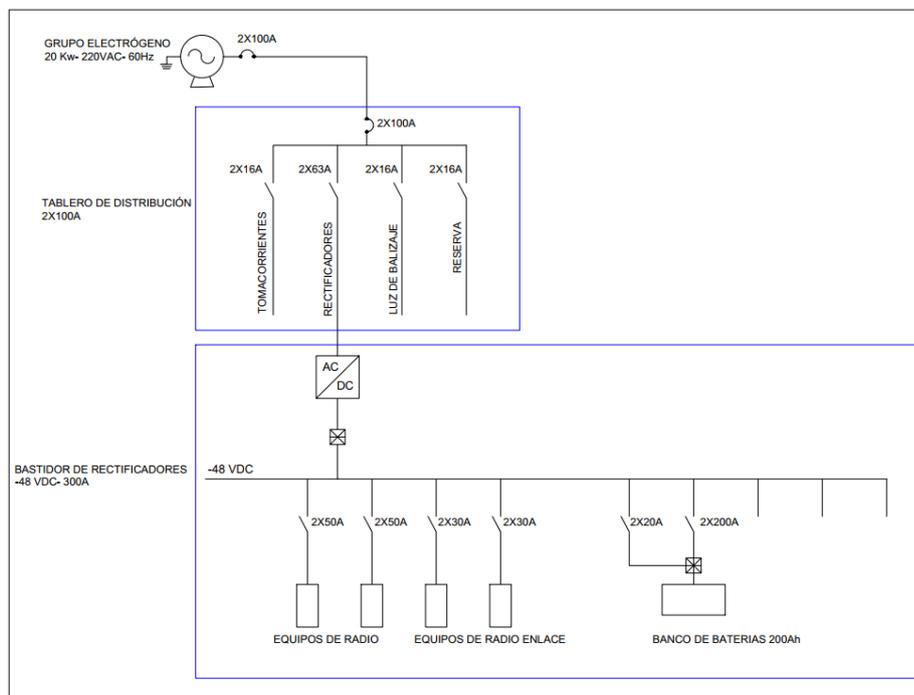


Figura 6. Diagrama unifilar de la antena telefónica

Con el uso del analizador de redes, en la visita técnica se tomaron datos a la salida de los bornes del grupo electrógeno, valores que servirán para estimar la demanda máxima del sistema eléctrico. Debido a que el analizador de redes registra datos a lo largo del tiempo se programó el analizador de redes para que tome datos cada 10 minutos en lapso de 24 horas. En la Tabla 1 se encuentran los valores promedio de los resultados del analizador de redes.

**Tabla 1.** *Registro de Mediciones AC en los bornes del grupo electrógeno*

| ITEM | Variable                        | Unidad | Valor |
|------|---------------------------------|--------|-------|
| 1    | Tensión nominal de alimentación | V      | 214   |
| 2    | Amperaje                        | A      | 14    |
| 3    | Voltaje                         | V      | 220   |
| 4    | Potencia                        | kW     | 3.08  |

Cabe mencionar que las mediciones hechas a la salida del grupo electrógeno son de 3.08 KW en corriente alterna, esto equivale a toda la energía que necesita la antena para funcionar y esta dividida en los equipos que consumen corriente continua y los que consumen corriente alterna.

Los equipos de radio de la antena trabajan en corriente continua y son alimentados por medio de un banco de rectificadores que convierte la corriente alterna en continua. De la medición con multímetro se tienen los valores presentados en la Tabla 2.

**Tabla 2.** *Registro de Mediciones a la salida de los rectificadores*

| ITEM | Variable                        | Unidad | Valor |
|------|---------------------------------|--------|-------|
| 1    | Tensión nominal de alimentación | V      | 55.3  |
| 2    | Amperaje                        | A      | 29    |
| 3    | Potencia                        | kW     | 1.66  |

Adicionalmente se sabe que existe un sistema de aire acondicionado que trabaja en corriente alterna y consume 1300 W. Haciendo el balance de cargas entre las mediciones de las Tablas 1 y 2 se puede determinar que el consumo del aire acondicionado es 1.42 kW.

#### 4.1.2. Demanda máxima actual

Para la demanda máxima se tomaron los valores de las Tablas 1 y 2, y de forma resumida, en la Tabla 3 se presenta la demanda máxima en la red eléctrica de la antena.

**Tabla 3.** *Demanda Máxima en el suministro de energía eléctrica*

| ITEM | Descripción        | Unidad | Valor |
|------|--------------------|--------|-------|
| 1    | Equipos de radio   | W      | 1660  |
| 2    | Aire Acondicionado | W      | 1420  |
|      | TOTAL              | W      | 3080  |

La demanda máxima presentada en la Tabla 3 es satisfecha por un grupo electrógeno que se encuentra en constante funcionamiento. Las especificaciones del grupo electrógeno se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.** *Parámetros de grupo electrógeno*

| Grupo electrógeno         |       |        |
|---------------------------|-------|--------|
|                           | Valor | Unidad |
| <b>Voltaje</b>            | 220   | V      |
| <b>Intensidad</b>         | 14.36 | A      |
| <b>Frecuencia</b>         | 59.5  | Hz     |
| <b>Potencia</b>           | 12    | kW     |
| <b>Factor de potencia</b> | 0,98  |        |
| <b>Horómetro</b>          | 47977 | Hr     |

#### 4.2. Costos operativos del suministro eléctrico de la antena

Aprovechando la visita técnica se realizaron tres entrevistas al personal a cargo de la antena. La información recopilada en las entrevistas está orientada a aspectos técnicos y económicos de la antena. El modelo vacío de la entrevista se encuentra en el Anexo 3 y el cuadro resumen de las entrevistas en el Anexo 4. A continuación se muestra la tabla de los gastos operativos relacionados únicamente al sistema de suministro de energía.

**Tabla 5. Gastos operativos mensual para grupo electrógeno**

| <b>Gastos de grupo electrógeno (promedio mensual)</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Costo unitario s/.</b> | <b>Costo mensual S/.</b> |
|---|-----------------|---------------------------|--------------------------|
| <b>Combustible Diesel</b>                             | 612 galones     | s/.18.00                  | S/. 11,016.00            |
| <b>Traslado de combustible</b>                        | 612 galones     | s/4.00                    | S/. 2,448.00             |
|   |                 |                           | S/. 13,464.00            |

#### **4.3. Análisis técnico-económico del suministro de energía eléctrica**

Para realizar el análisis técnico de las diferentes propuestas de suministro con energía renovable, es necesario conocer la cantidad de energía que se puede aprovechar del sol y el viento; para obtener dichos valores se usó como fuente de información el Global Solar Atlas y el Global Wind Atlas (ENERGYDATA.INFO,2022). Para usar ambas fuentes de información fue necesario conocer la ubicación geográfica de la antena. Gracias a las visitas técnicas realizadas se pudo obtener las coordenadas del lugar los cuales se puede ver en el Anexo 5.

Tomando los valores de la Tabla 3, la demanda máxima que el sistema debe cubrir está dividido en 1660 W para los equipos de radio y 1420 W para el aire acondicionado. Para efectos de diseño se está considerando un factor de servicio de 1.25 con lo cual la potencia suministrada ( $P_m$ ) es de 3850 W.

##### **4.3.1. Sistema fotovoltaico**

El sistema fotovoltaico emplea un grupo de paneles fotovoltaicos para convertir la energía proveniente del sol en energía eléctrica. Como la potencia que es capaz de entregar el sistema fotovoltaico es proporcional al área que cubren los paneles, se realizó el cálculo del número de paneles, tomando como base la demanda máxima de la antena presentada en la Tabla 3 y los datos de radiación solar en la ubicación geográfica de la antena. La fuente de información que se utilizó para obtener los datos de la radiación solar promedio anual es el GLOBAL SOLAR ATLAS (GSA) (ENERGYDATA.INFO, 2022).

## Paneles fotovoltaicos

Como la cantidad de energía solar que podemos aprovechar depende de la ubicación del sol a lo largo del año y de las horas del día, se utilizara el mínimo valor promedio anual para realizar los cálculos del número de paneles. En la Figura 9 se muestra el valor promedio mensual de la irradiación directa normal (DNI) en la ubicación de la antena (ver Anexo 7). En promedio durante el año, el mes donde se obtiene el menor valor del DNI es en marzo, el cual alcanza un valor de  $80 \text{ kWh/m}^2$  por mes (ver Figura 7). Normalizando este valor para el resto de los meses se tiene  $960 \text{ kWh/m}^2$  al año, que equivale al 66% de la radiación promedio anual de  $1453 \text{ kWh/m}^2$ . Para el cálculo se tomará el mínimo valor, pues esto permitirá no quedar desbastecido en los meses de menor radiación.

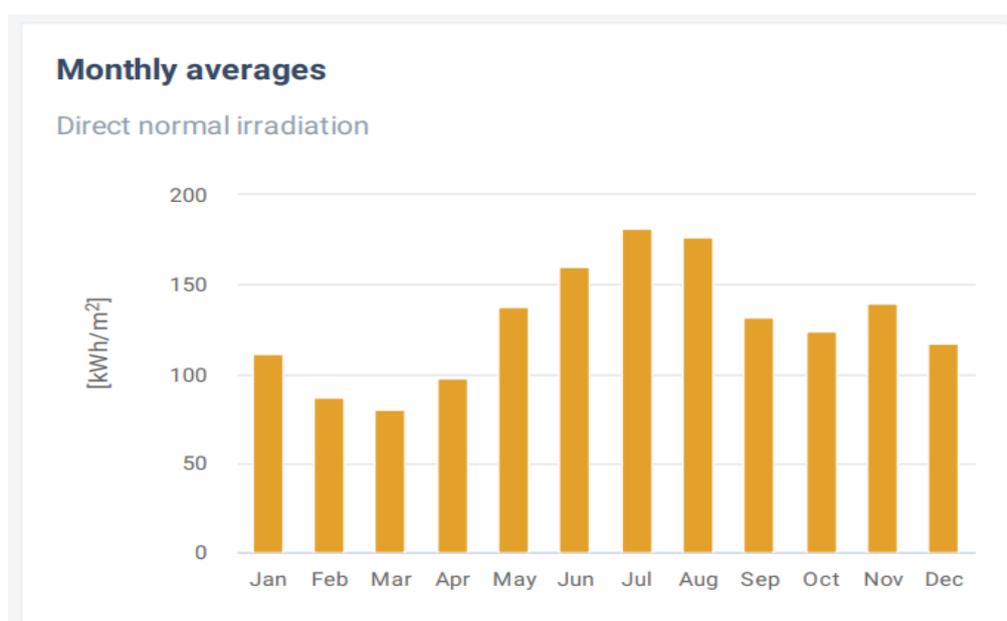


Figura 7. DNI en la ubicación de la antena, (Global Solar Atlas, 2022)

Un limitante importante de la energía solar son las horas de aprovechamiento, estas dependen de día del año y de la ubicación geográfica. Para la ubicación de la antena las horas de aprovechamiento estarían comprendidas entre las 8:00 am hasta las 6:00 pm, tal y como se

ve en la Figura 8. Este periodo de tiempo equivale a 10 horas de aprovechamiento de la energía solar. En la misma Figura 8 se puede ver la cantidad de energía aprovechable por intervalos de tiempo de una hora, donde los valores cercanos al color rojo son los más altos.



Figura 8. Hora de aprovechamiento de la energía solar (Global Solar Atlas, 2022).

Para determinar la potencia que los paneles deben suministrar se debe agregar la potencia de carga del banco de baterías a la demanda máxima; ya que el banco de baterías debe recuperar su carga durante el día. La potencia consumida por el banco de baterías dependerá de la autonomía que deberá tener el equipo. Esta autonomía serán las 12 horas de la noche, donde el sistema fotovoltaico no tiene acceso a la energía solar. Como la potencia que debe ser suministrada es igual tanto de día como de noche, además debido a que el banco de baterías solo puede ser cargado durante las horas del día, la potencia de carga ( $P_{bb}$ ) debe ser igual a la demanda máxima, en otras palabras 3850 W.

Sumando la potencia requerida por la antena ( $P_m$ ) y la potencia para el banco de batería ( $P_{bb}$ ), se tiene que la potencia máxima que los paneles deben suministrar es  $P_{PV} = 7700 W$ .

Por lo mostrado en Figura 8, la radiación es más fuerte en el horario de 8:00 am hasta las 6:00 pm, lo que equivale a 10 horas para el tiempo de aprovechamiento de la energía solar. Adicionalmente para el cálculo se debe indicar la eficiencia mínima del panel ( $\eta_{PV}$ ) el cual se tomó del catálogo de paneles fotovoltaicos del Anexo 9. Realizando los cálculos, se tiene que el área que requieren los paneles es de  $210.7 m^2$ .

Con el dato del área requerida queda determinar la configuración de los paneles para obtener la cantidad de paneles necesarios. Según el catálogo del Anexo 9, las dimensiones de los paneles varían con el modelo. Para efectos de cálculo se ha visto más conveniente conectar en serie dos paneles para alcanzar un voltaje de operación de 53.2V, el cual es suficiente para trabajar con una red a 48 V. Los paneles de este tipo tienen un área de  $1.485 m^2$  y dividiendo el área requerida con el área de cada panel se tiene:

$$N_{PV} = 141.83 \text{ paneles} \approx 142 \text{ paneles}$$

Debido a que los paneles irán agrupados en serie, la cantidad de grupos totales es de 71 grupos. Por cada grupo la corriente nominal trabajando a 48V es 2.26 A y en total para los 71 grupos la corriente nominal es de 160.5 A.

Como los controladores de carga que existen en el mercado no manejan valores de corriente tan altos, se realizó un arreglo en paralelo de 3X24 grupos, donde cada grupo tiene 2 paneles conectados en serie. De esta manera se divide la carga en tres partes siendo la corriente de operación de 54.24 A, para lo cual se requiere tres controladores de carga de 70 A, los cuales trabajaran a 77.5% de su capacidad nominal. Al dividir la carga total en tres arreglos permite flexibilidad al sistema, ya que, en caso de avería en algunos de los arreglos, la antena será abastecido por los otros dos arreglos, en conjunto con el banco de baterías hasta que la falla sea resuelta. En la Figura 9 se encuentra representado cada grupo de paneles con su respectivo controlador de carga.

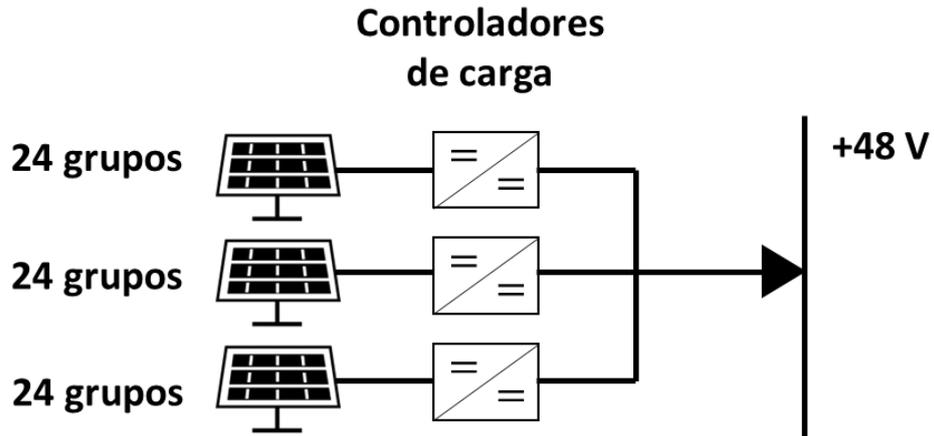


Figura 9. Arreglo de paneles del sistema fotovoltaico.

Otro punto importante es limitar las pérdidas de potencia por efecto Joule, como este fenómeno depende de la corriente y la resistividad del conductor es importante una adecuada selección de los conductores a usar.

Para conectar los paneles dentro de cada arreglo se estimó una longitud de cable es 50 m. Para la sección del cable se tomó como referencia la corriente máxima que puede entregar un panel, esto es 8.28A, lo cual requiere un conductor con sección transversal de  $1.3 \text{ mm}^2$ . Usando el cálculo de la potencia perdida por efecto Joule, la longitud del cable, y la sección de conductor la potencia perdida es de 3.3 W, lo que equivale al 3.11% de la potencia de un grupo (2 paneles en serie).

Ahora queda determinar la capacidad del banco de baterías, como el porcentaje de descarga de la batería afecta su tiempo de vida, se suele limitar la descarga a un 50% de su capacidad nominal. Para este caso la capacidad del banco de baterías será:

$$C_{bb} = 92.4 \text{ kWh}$$

Con los parámetros obtenidos hasta este momento, se puede hacer la selección de los componentes que acompañaran a los paneles. Para el caso de la selección de las baterías, estas se hacen por medio de la

capacidad en amperaje. Sabiendo que el sistema traba a 48 V la corriente total nominal será: 1925 Ah, esta se dividirá por cada arreglo de baterías puestas en serie, como las baterías comerciales son de 12V se usara un arreglo de 4 baterías en serie. Con esto definido, la cantidad de baterías depende de la capacidad individual de cada batería disponible en el mercado. El costo de los componentes seleccionados se verá en el apartado de evaluación económica. En la Figura 10 se ve el esquema del sistema fotovoltaico.

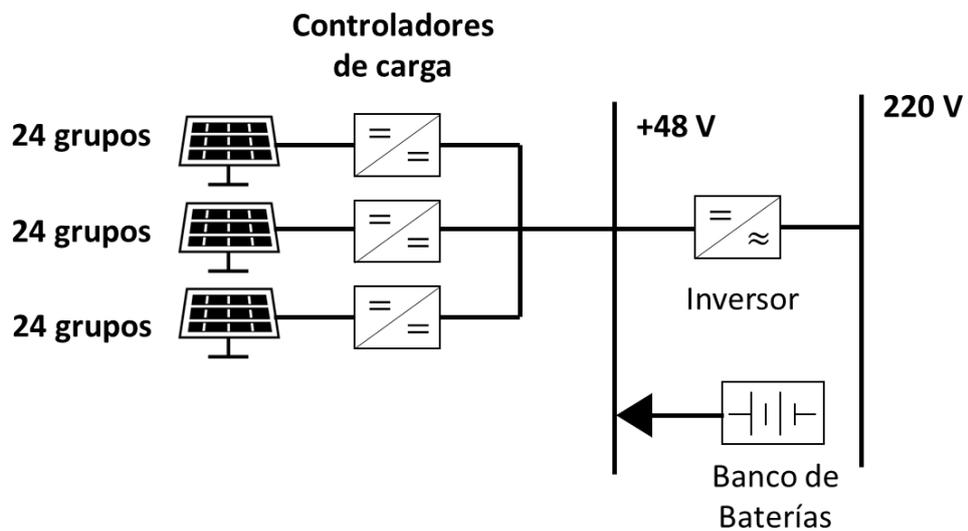


Figura 10. Esquema del sistema fotovoltaico.

#### 4.3.2. Sistema eólico

Para este caso como la fuente de energía es la velocidad del viento se utilizan los datos del GLOBAL WIND ATLAS (GWA) (ENERGYDATA.INFO, 2022). La información de la velocidad promedio en la ubicación donde se encuentra la antena se puede ver en el Anexo 8 y en promedio tiene un valor de 6.05 m/s.

Para determinar la potencia que el sistema eólico ( $P_e$ ) debe entregar se calcula primeramente la potencia de carga del banco de baterías ( $P_{cbb}$ ). Esta potencia depende de la energía ( $E_{bb}$ ) y el tiempo de carga ( $T_{ca}$ ) del banco de baterías. A su vez la energía que el banco de baterías tiene

depende de la potencia que debe entregar ( $P_m$ ) y el tiempo de autonomía ( $T_{au}$ ). Debido a que en los sistemas eólicos la disponibilidad del viento es de 24 h, el tiempo de autonomía quedará definido como  $T_{au} = 6h$ , considerando que en un caso extremo la ausencia del viento sea de 6h. Para esta condición el banco de baterías entregará una potencia de  $P_m = 3850 W$ , requiriendo para ello que el banco sea capaz de entregar una cantidad de energía de  $E_{bb} = 23.1 kWh$ . Para esta energía la capacidad en amperios-hora es de 962.5 Ah para un voltaje de operación a 48 V.

Para almacenar esta cantidad de energía se toma un periodo de carga de  $T_{ca} = 12h$ , con lo cual la potencia de carga es  $P_{ca} = 1.925 kW$ . Al sumar la potencia de carga y la demanda máxima de la antena se tiene que la potencia del sistema eólico es  $P_e = 5.775 kW$ .

Haciendo los cálculos para determinar el valor del diámetro del rotor del generador eólico (ecuación 3), se tiene que este debe ser de  $D_{ge} = 16.4 m$ , pero debido a que este tamaño es relativamente grande, se consideró dividir la potencia total en tres partes quedando cada generador eólico con una potencia de 1.925 kW. Con estos datos el diámetro requerido para cada generador eólico es de  $D_e = 5.8 m$ , este valor se obtuvo para la velocidad del viento promedio de 6.05 m/s considerando la eficiencia mecánica y eléctrica como 0.95.

En la Figura 11 se observa el esquema del sistema eólico el cual está compuesto por tres generadores eólicos, los rectificadores a 48V con una salida de corriente de 40.1 A cada uno, tanto para el inversor como para el banco de baterías. Para manejar el amperaje nominal que entrega cada generador, se empleará un conductor con una sección de  $21.15 mm^2$ , con el cual se obtiene unas pérdidas por efecto Joule de 39.2 W, a lo largo del cable de 30 m que lleva la energía en corriente alterna hasta el rectificador, de cada generador eólico. Para la selección de este rectificador se considera un factor de servicio de 1.25, por lo cual su capacidad nominal debe ser 50 A. Adicionalmente se incluye el inversor que entregará a su salida 220 V para su uso en la antena.

Para el caso del banco de baterías este se calculó con una autonomía de 6 h, pues la disponibilidad del viento es de 24 y se está considerando el caso extremo en que los tres generadores eólicos fallen y se tenga que abastecer del banco de baterías durante 6 horas. Considerando que la descarga permitida del banco de baterías es del 50% de la capacidad nominal de banco de baterías es  $C_{bb} = 46.2 \text{ kWh}$ . Para esto la capacidad total debe ser 962.5 Ah a 48V.

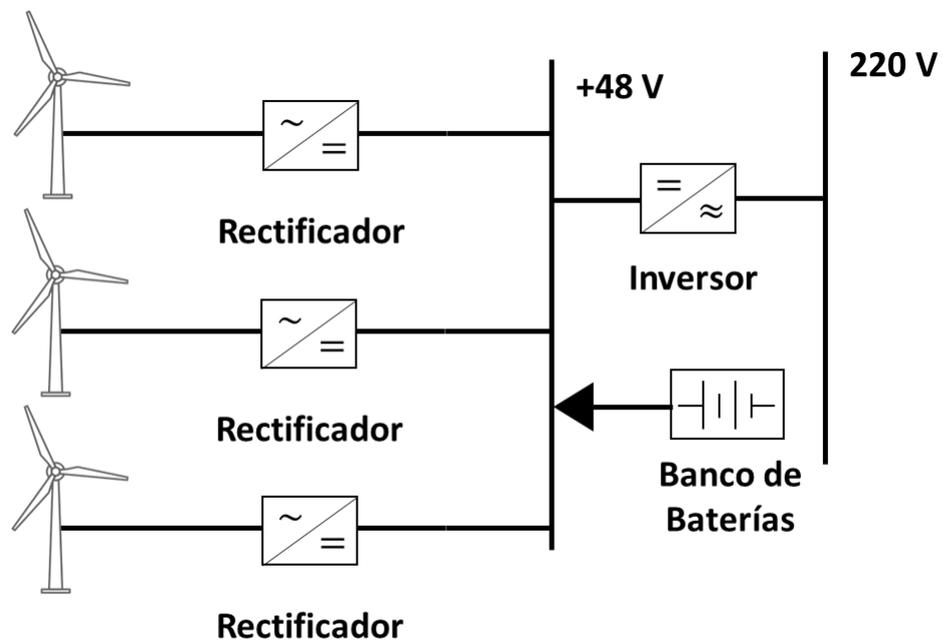
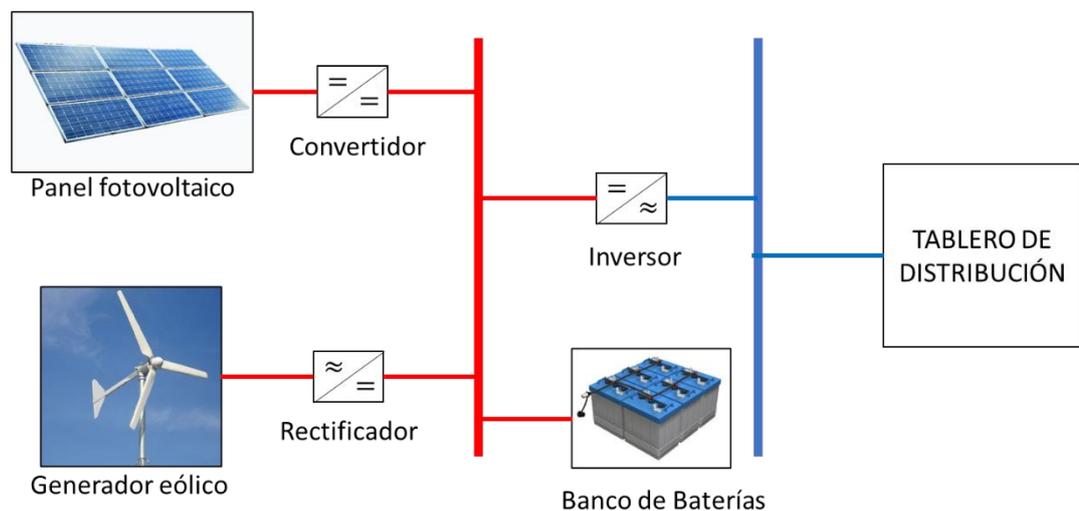


Figura 11. Esquema del sistema eólico.

#### 4.3.3. Sistema Híbrido

A nivel técnico se evalúa la propuesta del sistema híbrido, el cual toma los mejores aspectos de las energías renovables como son los generadores eólicos y los paneles fotovoltaicos. En la Figura 7 se muestra el esquema del sistema híbrido que alimentará a la antena de manera constante. En el esquema podemos ver que la energía generada por el panel fotovoltaico es de corriente continua (CC) mientras que la salida del generador eólico es de corriente alterna (AC), para ambos casos se requieren equipos que

acondicionen el voltaje de salida a una barra común. Para el panel fotovoltaico se empleará un convertidor DC/DC mientras que para el generador eólico se empleará un convertidor AC/DC (Rectificador), adicionalmente se empleará un banco de baterías conectado a la misma barra con el objetivo de mitigar las fluctuaciones en la tensión cuando algunas de las fuentes de energía no satisfagan la demanda eléctrica. Después de la barra común se hará uso de un inversor para convertir el voltaje CC en AC para ser usado en la red eléctrica de la antenna desde el tablero de distribución.



*Figura 12.* Esquema de un sistema de suministro de energía híbrido.

Para el sistema híbrido se puede aprovechar los cálculos anteriores con los cuales se pueden hacer una combinación más conveniente para reducir costos y mejorar la disponibilidad.

La disposición del sistema híbrido utiliza un sistema fotovoltaico para suministra el 50% de la demanda máxima más un porcentaje de la potencia que requiere la carga de banco de baterías, esto es 2887.5 W. Para esta potencia se quiere un área de paneles fotovoltaicos de  $78.98 m^2$  que corresponden a 54 paneles el cual se agruparía en pares los que correspondería a 27 grupos. El amperaje que se manejaría sería de 2.23 A

por cada grupo que corresponde a dos paneles conectado en serie y que en total daría una corriente de 60.16 A. Para este caso como el amperaje no es alto se puede usar un solo controlador de carga de 80 A, para manejar toda la carga de los paneles fotovoltaicos.

Para el caso del sistema eólico este se consideró junto a la potencia que debe suministrar al banco de baterías para cargarlo. La potencia del sistema eólico es por lo tanto  $P_e = 2.4 \text{ kW}$  para una velocidad de viento promedio de 6.05 m/s. En la Figura 13 se puede ver una gráfica paramétrica que relacionan la potencia del generador eólico, la velocidad y los diámetros de rotor. Para la potencia que queremos suministrar y la velocidad promedio del viento de 6.05 m/s, el diámetro de rotor adecuado es de 6.5 m para un solo generador eólico.

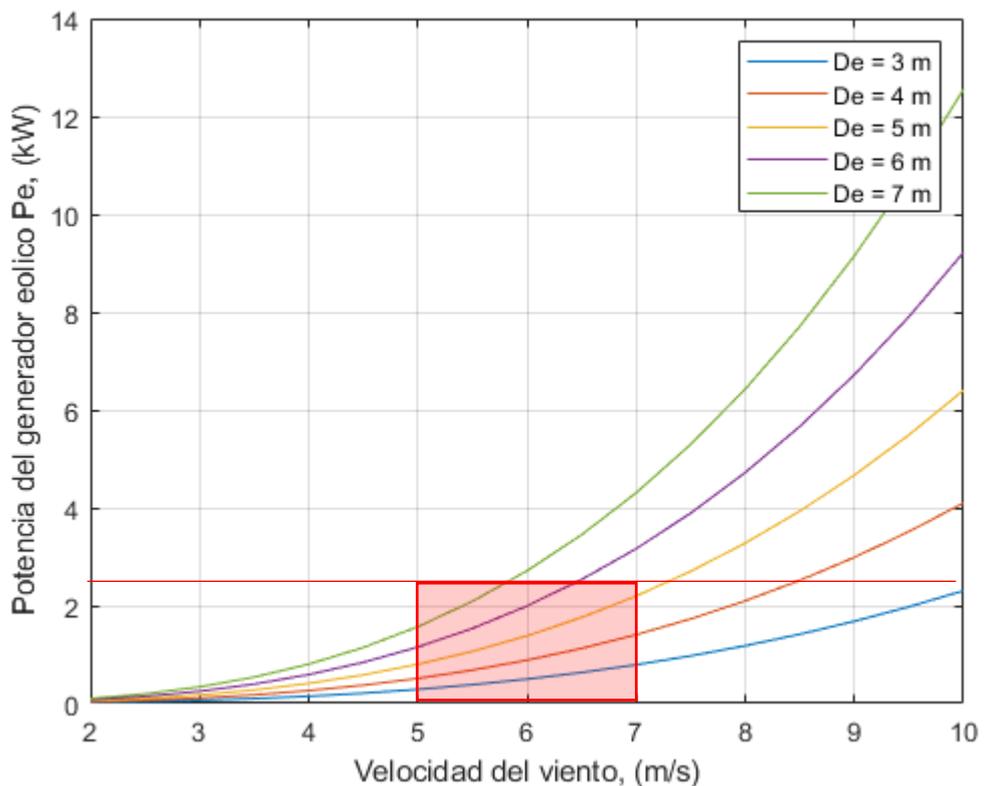


Figura 13. Gráfica paramétrica de la potencia vs velocidad.

El banco de baterías que se necesitará en el sistema híbrido es de  $C_{bb} = 23.1 kWh$ , para lo cual se requerirán mínimo 9 baterías de 220 Ah y 12V que trabajaran serie para dar un voltaje de 48V.

#### 4.4. Evaluación Económica

Para la evaluación económica se presentan las Tablas 6, 7 y 8 con el resumen de los costos de los sistemas de energía renovables.

Para el sistema fotovoltaico se tiene la Tabla 6 donde se han considerado los costos para adquisición de los equipos. El total como se puede ver haciende hasta los \$ 55,224.00

**Tabla 6. Costo del Sistema Fotovoltaico**

| ITEM | Descripción             | Cantidad | Costo Unit   | Costo total         |
|------|-------------------------|----------|--------------|---------------------|
| 1    | Paneles fotovoltaicos   | 142      | \$ 195.00    | \$ 27,690.00        |
| 2    | Controlador de carga    | 3        | \$ 583.00    | \$ 1,749.00         |
| 3    | Batería 220 Ah 12V      | 35       | \$ 400.00    | \$ 14,000.00        |
| 4    | Conductor eléctrico (m) | 50       | \$ 235.70    | \$ 11,785.00        |
|      |                         |          | <b>TOTAL</b> | <b>\$ 55,224.00</b> |

Para el sistema eólico el costo total del sistema es de \$ 68,271.00 como se puede ver en la Tabla 6.

**Tabla 7. Costo del Sistema Eólico**

| ITEM | Descripción               | Cantidad | Costo Unit   | Costo total         |
|------|---------------------------|----------|--------------|---------------------|
| 1    | Aerogenerador Bornay 6000 | 3        | \$ 18,000.00 | \$ 54,000.00        |
| 2    | Batería 220 Ah 12V        | 18       | \$ 400.00    | \$ 7,200.00         |
| 3    | Conductor eléctrico (m)   | 30       | \$ 235.70    | \$ 7,071.00         |
|      |                           |          | <b>TOTAL</b> | <b>\$ 68,271.00</b> |

Para el caso del hibrido los costos incluyen componentes de los otros dos sistemas, aunque la cantidad de componentes es mayor, las potencias son menores y el costo total es de \$ 53,280.00

**Tabla 8.** *Costo del Sistema Híbrido*

| ITEM | Descripción               | Cantidad | Costo Unit   | Costo total  |
|------|---------------------------|----------|--------------|--------------|
| 1    | Paneles fotovoltaicos     | 54       | \$ 195.00    | \$ 10,530.00 |
| 2    | Controlador de carga      | 1        | \$ 583.00    | \$ 583.00    |
| 3    | Aerogenerador Bornay 6000 | 1        | \$ 18,000.00 | \$ 18,000.00 |
| 4    | Batería 220 Ah 12V        | 9        | \$ 590.00    | \$ 5,310.00  |
| 5    | Conductor eléctrico (m)   | 80       | \$ 235.70    | \$ 18,856.00 |
|      |                           |          | TOTAL        | \$ 53,280.00 |

## V. DISCUSION

El primer paso para realizar el análisis de la nueva propuesta para el sistema de suministro de energía de la antena de Porcón – Alto, fue recolección de datos de la antena, la información recolectada abarca tanto aspectos técnicos como económicos. Esta información sirvió para caracterizar el estado actual del sistema eléctrico de la antena, que en resumen podemos mencionar que por la ubicación bastante aislada de la antena y los escasos del personal han hecho que se descuide a esta estación base celular, aunque en la actualidad la antena funciona de manera continua, no lo está haciendo de manera eficiente, pues el grupo electrógeno con el que cuenta está trabajando de manera continua.

Por otra parte, los gastos por consumo de combustible y traslado para el grupo electrógeno suman una cantidad de S/. 13,464.00 mensuales los cuales deben ser cubiertos por la empresa responsable de dicha antena. Al observar que el mayor gasto está relacionado al consumo de combustible (S/. 11,016.00), se considera que existe un gran potencial de ahorro que se puede aprovechar si se sustituye el uso del grupo electrógeno por un sistema más eficiente.

Para el análisis técnico económico se realizó el cálculo de la demanda máxima de la antena, el cual llegó a ser 3.85 kW sin considerar la potencia de carga del banco de baterías, el cual no se puede despreciar porque los sistemas de energía renovable requieren de un almacenamiento de energía para cubrir las fluctuaciones en el suministro. Para esta potencia el área necesaria de paneles fotovoltaicos es de 210.7 m<sup>2</sup>, y requiere un total de 142 paneles puestos en grupos de 24 con 2 paneles cada uno conectados en serie, la división se realizó debido al alto consumo de corriente y que en el mercado los controladores pueden manejar valores estándar como 30, 50, 70, etc. amperios. Para este caso el sistema fotovoltaico hará uso de tres controladores de carga el cual divide la potencia en tres grupos permitiendo flexibilidad en caso de falla de alguno de los paneles. En este sistema la

capacidad del banco de baterías es bastante alto (92.4 kW), pues el sistema fotovoltaico solo aprovecha la energía del sol durante las horas del día.

Para el caso del sistema eólico la potencia total del sistema se divide en tres generadores eólicos que tienen 2.4 kW un diámetro de 6.5 m. Con estos valores se suministra suficiente energía para la antena y el banco de baterías, el cual tiene una capacidad de 46.2 kW, esto es la mitad de la capacidad del banco del sistema fotovoltaico, ya que en este caso como la disponibilidad del viento es durante las 24 h del día, no es necesario un banco de baterías excesivamente grande y costoso.

El sistema híbrido aprovechando las características más resaltantes de los otros dos sistemas, emplea un grupo de 54 paneles fotovoltaico-agrupados en parejas. El banco de baterías de este sistema tiene una capacidad 23.1 KWh, el cual es aún menor que el caso del sistema eólico. La mayor ventaja del sistema híbrido es que reduce la potencia máxima de los equipos permitiendo de esta manera abaratar costos.

Comparando los costos obtenidos para cada sistema, el sistema híbrido es más barato, por su parte el sistema eólico es el más caro, además, aunque la cantidad de baterías es mucho mayor en el sistema fotovoltaico su precio resulta ser menor que el sistema eólico.

## VI. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones actuales el sistema eléctrico de la antena de Porcón- Alto está trabajando de manera ineficiente, causando pérdidas económicas considerables a la empresa responsable de dicha antena.

El sistema fotovoltaico por sí mismo requiere un banco de batería de gran capacidad, esto debido a la disponibilidad de la energía, ya que durante las horas de la noche la energía solar está ausente.

El sistema eólico, aunque tiene mayor disponibilidad de energía las dimensiones del generador aumentar drásticamente con la disminución de la velocidad de viento, además su costo es mayor que los otros dos sistemas.

El sistema híbrido toma lo mejor de cada concepto permitiendo conseguir una flexibilidad y una eficiencia mayor en el uso de la energía. Este sistema tiene el costo más económico.

De los tres sistemas vistos el sistema híbrido es que tiene mayor potencial de aplicación, aunque la inversión de la misma es considerable para la potencia requerida, la robustez del sistema mejora, pues en caso algún subsistema falle las otras partes del sistema sustentara la demanda de la antena junto con el banco de baterías.

## **VII. RECOMENDACIONES**

De este trabajo se desprenden las siguientes recomendaciones:

Implementar un sistema de gestión de mantenimiento preventivo para los nuevos equipos instalados.

Tener un registro de fallas e interrupción y almacenar la información en una base de datos para realizar estudio y mejoras posteriores. Esto también permitirá llevar un seguimiento del desempeño del sistema en los próximos años.

## REFERENCIAS

- ACUÑA, Luceny Guzmán, et al. Modelling autonomous hybrid photovoltaic-wind energy systems under a new reliability approach. *Energy conversion and management*, 2018, vol. 172, p. 357-369.
- AHMED, Faran, et al. Renewable energy assisted traffic aware cellular base station energy cooperation. *Energies*, 2018, vol. 11, no 1, p. 99.
- ALSHARIF, Mohammed H.; KIM, Jeong; KIM, Jin Hong. Energy optimization strategies for eco-friendly cellular base stations. *Energies*, 2018, vol. 11, no 6, p. 1500.
- Algarin, C. R., & Álvarez, O. R. (2018). Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia. *Espacios*, 39(34), 10.
- BAIDAS, Mohammed W., et al. Solar-Powered Cellular Base Stations in Kuwait: A Case Study. *Energies*, 2021, vol. 14, no 22, p. 7494
- Biswas, S. (2020). Renewable energy-focused hybrid supply system for optimal powering the cellular base station. *Journal of Technological Science & Engineering (JTSE)[US ISSN 2693-1389]*, 1(2), 30-37.
- Boveri, A. B., & ABB, S. (2012). Cuaderno de aplicaciones técnicas n. 12 Plantas eólicas. Barcelona, España.
- Cayotopa Medina, J. R. (2019). Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado para electrificar al caserío Flor del Valle en Yambrasbamba provincia de Bongará departamento de Amazonas.
- DAS, Barun K., et al. Feasibility and techno-economic analysis of stand-alone and grid-connected PV/Wind/Diesel/Batt hybrid energy system: A case study. *Energy Strategy Reviews*, 2021, vol. 37, p. 100673.
- EL BADAWE, Mohamed; IQBAL, Tariq; GEORGE, M. Optimal sizing and modeling of a hybrid energy system for a remote telecommunication facility. En *IEEE 21, NECEC Conference, St. John's NF, 2011. 2011.*

- Flores García, J. A. (2019). Optimización de generación y consumo de electricidad mediante tecnologías complementarias, en torres de telecomunicaciones ubicadas fuera de la red eléctrica nacional (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).
- GUANGQIAN, Du, et al. A hybrid algorithm based optimization on modeling of grid independent biodiesel-based hybrid solar/wind systems. *Renewable Energy*, 2018, vol. 122, p. 551-560.
- HOSSAIN, Sanwar; JAHID, Abu; RAHMAN, Fayzur. Quantifying potential of hybrid PV/WT power supplies for off-grid LTE base station. En 2018 International Conference on Computer, Communication, Chemical, Material and Electronic Engineering (IC4ME2). IEEE, 2018. p. 1-5.
- Hossain, M. S., Islam, K. Z., Hossain, M. E., & Biswas, S. (2020). Techno-Economic Investigation of Optimal Solar Power System for LTE Cellular Base Stations. *Journal of Technological Science & Engineering (JTSE)[US ISSN 2693-1389]*, 1(2), 11-20.
- ISP.ES COMUNICACIONES S.L. (15 de octubre del 2021). La telecomunicación, un mundo lleno de beneficios. <https://www.ispgrup.cat/la-telecomunicacion-mundo-beneficios/>
- Jahid, A., Hossain, M. S., Monju, M. K. H., Rahman, M. F., & Hossain, M. F. (2020). Techno-economic and energy efficiency analysis of optimal power supply solutions for green cellular base stations. *IEEE Access*, 8, 43776-43795.
- Jahid, A., & Hossain, S. (2018). Intelligent energy cooperation framework for green cellular base stations. In 2018 International Conference on Computer, Communication, Chemical, Material and Electronic Engineering (IC4ME2) (pp. 1-6). IEEE.
- JAHID, Abu, et al. Techno-economic and energy efficiency analysis of optimal power supply solutions for green cellular base stations. *IEEE Access*, 2020, vol. 8, p. 43776-43795.

- JAVED, Muhammad Shahzad, et al. Solar and wind power generation systems with pumped hydro storage: Review and future perspectives. *Renewable Energy*, 2020, vol. 148, p. 176-192.
- JAVIDSHARIFI, Mahshid, et al. Optimum Sizing of Photovoltaic and Energy Storage Systems for Powering Green Base Stations in Cellular Networks. *Energies*, 2021, vol. 14, no 7, p. 1895.
- López Huayta, Y. R. (2019). Implementación de un sistema fotovoltaico aislado para la electrificación de las estaciones base celular de la empresa Viettel Perú SAC, en zonas rurales de la provincia de Huancayo, 2019.
- MAMANI QUISPE, Manuel Edyson. Estudio del sistema solar fotovoltaico eficiente en potencia para el proyecto de instalación de banda ancha para la conectividad integral y desarrollo social de la región Puno. 2020.
- Mina, R., & Sakr, G. (2019). Design and Optimization of a Renewable-Energy Fully-Hybrid Power Supply System in Mobile Radio Access Networks. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 9(3), 1339-1350.
- More Sánchez, J., & Gavilano Aspillaga, M. (2020). Estimación del número de estaciones base celular para atender la demanda de servicios móviles en el Perú al año 2025, Documento de Trabajo N° 50.
- MOKHTARA, Charafeddine, et al. Design optimization of off-grid Hybrid Renewable Energy Systems considering the effects of building energy performance and climate change: Case study of Algeria. *Energy*, 2021, vol. 219, p. 119605.
- MURTY, Vallem VVSN; KUMAR, Ashwani. Optimal energy management and techno-economic analysis in microgrid with hybrid renewable energy sources. *Journal of modern power systems and clean energy*, 2020, vol. 8, no 5, p. 929-940.

- Ortiz Fustillos, S. E., & Puma Caiza, D. I. (2018). Evaluación técnica y económica de la implementación de sistemas fotovoltaicos para la electrificación de radio bases remotas de CNT (Bachelor's thesis, Quito, 2018.).
- Onur, E. L. M. A., & Gabbar, H. A. (2019, August). Design and analysis of mobile hybrid energy system for off-grid applications. In 2019 International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies (PGSRET) (pp. 1-6). IEEE.
- Reeve, W. D. (2006). DC power system design for telecommunications (Vol. 14). John Wiley & Sons.
- SALEEM, Danial; ZAFAR, Kirn; MAJEED, Rehan. An Outline Design of Standalone Renewable Energy Generation for a Remote Mobile Phone Base Station in Shalbandi, Pakistan. En 2020 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET). IEEE, 2020. p. 1-9.
- Schmerler, D., Velarde, J., Rodríguez, A., & Solís, B. (2019). Energías renovables experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética.
- Toribio Tadeo, M. (2018). Evaluación e inversión para la comercialización de paneles solares fotovoltaicos en la provincia de Barranca 2018.
- WOLDE, Henok K.; ALAREFI, Salma AS. Sustainable feasibility and economic viability for renewable power assisted base stations vehicle-to-telecom-grid. En 2020 11th International Renewable Energy Congress (IREC). IEEE, 2020. p. 1-6.
- Yeshalem, M. T., & Khan, B. (2017). Design of an off-grid hybrid PV/wind power system for remote mobile base station: A case study. *Aims Energy*, 5(1), 96-112.
- YIMEN, Nasser, et al. Optimal sizing and techno-economic analysis of hybrid renewable energy systems—A case study of a photovoltaic/wind/battery/diesel system in Fanisau, Northern Nigeria. *Processes*, 2020, vol. 8, no 11, p. 1381.

- Zhao, P., Xu, W., Zhang, S., Wang, J., & Dai, Y. (2020). Technical feasibility assessment of a standalone photovoltaic/wind/adiabatic compressed air energy storage-based hybrid energy supply system for rural mobile base station. *Energy Conversion and Management*, 206, 112486.
- Zhang, D., Liu, J., Jiao, S., Tian, H., Lou, C., Zhou, Z., ... & Zuo, J. (2019). Research on the configuration and operation effect of the hybrid solar-wind-battery power generation system based on NSGA-II. *Energy*, 189, 116121.

## ANEXOS

Anexo 01. Tabla de operacionalización de variables

| VARIABLE                                   | DEFINICIÓN CONCEPTUAL   | DEFINICIÓN OPERACIONAL  | INDICADOR               | ESCALA DE MEDICIÓN |
|--|---|---|-------------------------|--------------------|
| Sistema de generación de energía renovable | Conjunto de elementos interconectados que aprovechan la energía renovable disponible para su aplicación en generación de energía eléctrica. | Instalación de equipos especializados que aprovechan la energía renovable para la generación de energía eléctrica | Potencia eléctrica (kW) | Razón              |
| Costos operativos                          | Gasto económico que debe realizar la empresa para el desarrollo de sus actividades  | Cantidad de dinero que la empresa debe invertir para mantener operativo sus equipos                               | Costo del sistema (S/.) | Razón              |

**Anexo 2. Ficha de observación.**

| FICHA DE OBSERVACION                                   |                          |            |                                  |        |        |             |                                 |
|--|--------------------------|------------|----------------------------------|--------|--------|-------------|---------------------------------|
| Antena de telecomunicaciones - Porcon Alto - Cajamarca |                          |            |                                  |        |        |             |                                 |
| Lugar:   | Porcon Alto              |            |                                  |        | Fecha: | 02/06/2022  |                                 |
| ITEM   | NOMBRE                   | CODIGO     | DESCRIPCION                      | INICIO | FIN    | ESTADO      | OBSERVACION                     |
| 1  | Grupo Electrónico        | <b>GE</b>  | MARCA: SELMEC                    | 14:00  | 14:30  | Operativo   | Derrame de combustible          |
| 2  | Tablero de distribución  | <b>TD</b>  | PDP GREENFIELD 220V-60HZ-2F      | 14:31  | 15:00  | Operativo   | Cerradura en mal estado         |
| 3  | Equipos de radio enlace  | <b>ER</b>  | HUAWEI                           | 15:31  | 16:00  | Operativo   | Ninguna                         |
| 4  | Equipos de radio celular | <b>ERC</b> | HUAWEI                           | 16:01  | 16:30  | Operativo   | Ninguna                         |
| 5  | Rectificadores           | <b>REC</b> | VALERE POWER                     | 16:31  | 17:00  | Operativo   | Ninguna                         |
| 6  | Banco de batería         | <b>BB</b>  | SONNENSCHIN 10OPZV1200           | 17:01  | 17:30  | Inoperativo | Requiere cambio por degradación |
| 7  | Torre                    | <b>TO</b>  | Metálica Ventada<br>Altura: 32 m | 15:01  | 15:30  | Operativo   | Ninguna                         |

Fuente: Elaboración Propia

**Anexo 3. Modelo vacío de la Entrevista**

**ENTREVISTA**

**Estudio de alternativas de abastecimiento de electricidad con energía renovable para antenas telefónicas en Porcón Alto-Cajamarca**

**ENTREVISTADO:**

**Apellidos y Nombres:** .....

**Cargo:** .....

**ENTREVISTADOR:**

**Apellidos y Nombres:** Vargas Campos, Romel y Agustín Flores Jensen

**Universidad:** Universidad Cesar Vallejo

**Escuela:** Ingeniería Mecánica Eléctrica

1) ¿Ha escuchado hablar de energías renovables en antenas de telecomunicaciones?

SI                      NO  
                     

Si respuesta fue SI, mencione algún ejemplo.

.....  
.....  
.....  
.....

2) Desde su punto de vista ¿Cuán importante es la instalación de energías renovables en antenas de telecomunicaciones? ¿Por qué?

Muy importante  
 Poco importante  
 No es importante

.....  
.....

.....

3) Según su punto de vista, liste en orden de importancia y factibilidad para instalar en la antena de telecomunicaciones los siguientes tipos de energías que existen y conozca.

- |                          |                                  |                          |       |                          |             |
|--------------------------|----------------------------------|--------------------------|-------|--------------------------|-------------|
| <input type="checkbox"/> | Eólica                           | <input type="checkbox"/> | Solar | <input type="checkbox"/> | Hidráulica  |
| <input type="checkbox"/> | Geotérmica (de origen volcánico) |                          |       | <input type="checkbox"/> | Mareomotriz |
| <input type="checkbox"/> | Térmica (grupos electrógenos)    |                          |       |                          |             |

.....  
.....  
.....

4) Considerando que actualmente la antena está abastecida con energía de grupo electrógeno continuamente los 365 días del año ¿Qué dificultades presenta para mantener la operación correcta del equipo?

.....  
.....  
.....

5) ¿Cada cuánto tiempo abastecen con combustible el tanque del grupo electrógeno? Marque con un aspa.

- |                          |           |                          |           |                          |            |
|--------------------------|-----------|--------------------------|-----------|--------------------------|------------|
| <input type="checkbox"/> | Diario    | <input type="checkbox"/> | Semanal   | <input type="checkbox"/> | Quincenal  |
| <input type="checkbox"/> | Mensual   | <input type="checkbox"/> | Bimestral | <input type="checkbox"/> | Trimestral |
| <input type="checkbox"/> | Semestral |                          |           |                          |            |

6) ¿Cuántas horas al mes opera el grupo electrógeno?

.....  
.....  
.....

7) ¿Cuántos galones por hora consume el grupo electrógeno?

.....  
.....

8) ¿Cada cuantas horas o días le realizan mantenimiento al grupo electrógeno?

.....  
.....

9) ¿Qué tan recurrente son las atenciones por averías del grupo electrógeno?

- |                          |               |                          |                  |
|--------------------------|---------------|--------------------------|------------------|
| <input type="checkbox"/> | 1 vez por día | <input type="checkbox"/> | 1 vez por semana |
|--------------------------|---------------|--------------------------|------------------|

- 1 vez por Quincena
- 1 vez por trimestre
- Nunca

- 1 vez por mes
- 1 vez por semestre

10) ¿Llega vehículo hasta la antena?

.....  
.....

11) ¿Cómo trasladan el combustible a la antena? ¿Cuál es el costo?

.....  
.....  
.....

12) ¿Qué distancia y cuánto tiempo se demora para llegar a la antena desde la ciudad de Cajamarca?

.....  
.....  
.....  
.....

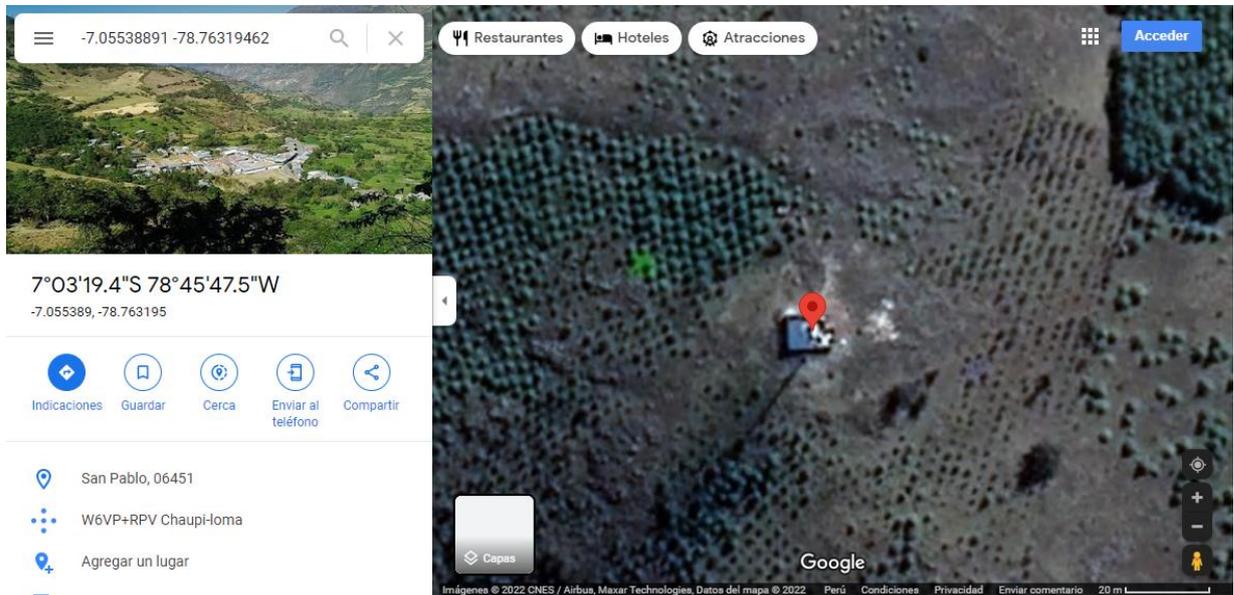
## Anexo 4. Resultados de las entrevistas realizadas al personal de la antena

### Resumen de las entrevistas realizadas

| Preguntas   | Técnico 1   | Técnico 2             | Técnico 3  |
|---|---|-----------------------|--|
| <b>Conocimiento sobre energías renovables</b>                                 | Si: Energía Eólica                                | No                    | Si: Paneles solares                                      |
| <b>Importancia de las energías renovables</b>                                 | Son fuentes de energía limpia e inagotable        | No tiene conocimiento | contribuye a la preservación del medio ambiente.         |
| <b>energías renovables que pueden ser utilizadas en antenas de telefonía.</b> | Eólica<br>Solar                                   | eólica                | Eólica solar   |
| <b>Dificultades que presenta el grupo eléctrico</b>                           | El abastecimiento de combustible                  | El difícil acceso     | Mantenimientos correctivos                               |
| <b>Tiempo de abastecimiento de combustible</b>                                | 15 días   | 15 días               | 15 días  |
| <b>Horas de trabajo del grupo eléctrico</b>                                   | 720 horas/mes                                     | 720 horas/mes         | 720 horas/mes  |
| <b>Galones consumidos por hora</b>  | 0.85 gl   | 0.85 gl               | 0.85 gl  |
| <b>Frecuencia de mantenimiento</b>  | 250 hr  | Máximo 260hr          | 250hr  |
| <b>Frecuencia de fallas</b>   | 2 veces por mes                                   | 1 vez por mes         | 2 veces por mes  |
| <b>Condiciones de acceso a la antena</b>                                      | Zona inhóspita                                    | Trocha                | Obstáculos continuos (tala de árboles)                   |
| <b>Condiciones / costo de traslado de combustible</b>                         | Traslado de combustible en cilindros de 5 galones | Trabajos tercerizados | s/.45.00 costo por cilindro transportado hasta la antena |
| <b>Distancia de la antena</b>   | 35 km   | Aprox. 1.20 min       | 40 km  |

Fuente: elaboración propia.

## Anexo 5. Ubicación geográfica de la antena de telecomunicaciones.



## **Anexo 6. Secuencia de cálculo para el análisis del sistema híbrido para el suministro de energía a la antena de telefonía Porcon Alto-Cajamarca.**

### **Demanda máxima**

La potencia que la antena consume se obtuvo en la Tabla 3 y es igual a la suma de las potencias de los equipos de radio y aire acondicionado, considerando un factor de servicio de  $FS = 1.25$  se tiene que la demanda máxima es:

$$P_m = (P_{rec} + P_{ac})FS$$

$$P_m = (1660 + 1420)(1.25) = 3850 \text{ kW}$$

### **Sistema fotovoltaico**

La potencia consumida por el banco de capacitores dependerá de la autonomía que deberá tener el equipo, esta autonomía serán las 12 horas de la noche. Como la potencia que debe ser suministrada es igual tanto de día como de noches, además debido a que el banco de baterías solo puede ser cargado durante las horas del día, la potencia de carga del banco de baterías ( $P_{bb}$ ) debe ser igual a la demanda máxima, en otras palabras 3850 W.

Sumando la potencia requerida por la antena ( $P_m$ ) y la potencia para el banco de batería ( $P_{bb}$ ), se tiene que la potencia máxima que los paneles deben suministrar es:

$$P_{PV} = 3850 \text{ W} + 3850 \text{ W} = 7700 \text{ W}$$

Para el cálculo del sistema fotovoltaico se tomará la potencia calculada anteriormente, y por medio de la ecuación 7 para la potencia del panel fotovoltaico se obtendrá el área que deben cubrir los paneles para entregar esa potencia. De los datos de la irradiación en la ubicación de la antena que se puede ver en el Anexo 7, se sabe que la irradiación directa normal anual ( $DNI$ ) es de  $1453 \text{ kWh/m}^2$ . Así también podemos ver en el Anexo 7, que la radiación es más fuerte en el horario de 8:00 am hasta las 6:00 pm, lo que equivale a 10 horas para el tiempo de aprovechamiento de la energía solar. Adicionalmente se debe indicar la eficiencia mínima del panel ( $\eta_{PV}$ ) el cual se encontró en el catálogo de paneles fotovoltaicos

del Anexo 9. Tomando estos datos, se tiene que el área que requieren los paneles es de  $210.62 \text{ m}^2$ .

$$A_{PV} = \frac{(7.7 \text{ kW})(10 \text{ h})(365)}{(0.139)(960 \text{ kWh/m}^2)}$$

$$A_{PV} = 210.62 \text{ m}^2$$

Con el dato del área requerida se emplea el catálogo del Anexo 9, para determinar la cantidad de paneles necesarios. Según el catálogo las dimensiones de los paneles varían con el modelo. Para el cálculo se está tomando el panel KD220GH del Anexo 9, el cual tiene un área de  $1.485 \text{ m}^2$ . Con esto podemos ver que la cantidad de paneles es de:

$$N_{PV} = \frac{A_{PV}}{A_{PV\_min}}$$

$$N_{PV} = \frac{210.62 \text{ m}^2}{1.485 \text{ m}^2/\text{panel}} = 141.76 \text{ paneles} \approx 142 \text{ paneles}$$

Para la selección de los componentes adicionales al panel fotovoltaico, se debe indicar la tensión de trabajo, es 48 V. Para cada una de estas configuraciones la corriente nominal de operación se puede calcular como:

$$I = P_{PV}/V$$

$$I_{48V} = \frac{7700 \text{ W}}{48 \text{ V}} = 160.42 \text{ A}$$

Como estos amperajes son altos se dividirá la capacidad total en grupos más pequeños, para esto se hará un arreglo de 3X24 grupos, donde cada sección tendrá 24 grupos y cada grupo tendrá 2 paneles conectados en serie. Cada grupo será gestionado por un solo controlador de carga, como se ve en la Figura 9.

Como el porcentaje de descarga de la batería afecta su tiempo de vida se suele limitar la descarga a un 50% de su capacidad nominal. Para este caso la capacidad del banco de baterías será:

$$C_{bb} = \frac{P_{bb} * t_{eau}}{(50\%)}$$

$$C_{bb} = \frac{(3.85 \text{ kW})(12 \text{ h})}{0.5} = 92.4 \text{ kWh}$$

Para determinar la cantidad de baterías se toma la capacidad del banco en términos de energía y se determina el amperaje:

$$I_{bb} = \frac{C_{bb}}{V_n}$$

$$I_{bb} = \frac{92400 \text{ Wh}}{48 \text{ V}} = 1925 \text{ Ah}$$

### Sistema eólico

Para el sistema eólico la demanda máxima es igual que en el caso del sistema fotovoltaico, mientras que la potencia de carga del banco de baterías es diferente. Para determinar la potencia de carga primero se debe determinar la energía que entregara el banco de baterías, esta energía depende de las horas de autonomía, que para el sistema eólico serán de 6 horas, para lo cual la energía del banco de baterías es:

$$E_{bb} = P_m * t_{eau}$$

$$E_{bb} = (3.85 \text{ kW})(6 \text{ h}) = 23.1 \text{ kWh}$$

Como esta energía debe ser repuesta por el generador eólico y definiendo un tiempo de carga de 12 horas, la potencia de carga es de:

$$P_{ebb} = \frac{E_{bb}}{t_{eca}}$$

$$P_{ebb} = \frac{23.1 \text{ kWh}}{12 \text{ h}} = 1.925 \text{ kW}$$

Sumando la demanda máxima con la potencia de carga del banco de baterías se tiene:

$$P_e = (P_m + P_{ebb})$$

$$P_e = (3850 \text{ W} + 1925 \text{ W}) = 5775 \text{ W}$$

Para calcular el diámetro de rotor de generador se usa la ecuación 3, para lo cual sustituyendo los valores se tiene

$$D = \sqrt{\frac{8P_e}{\eta_e \cdot \eta_m \cdot \pi \cdot C_p \cdot \rho \cdot V_1^3}}$$

$$D = \sqrt{\frac{8(5775 \text{ W})}{(0.95)(0.95)(\pi)(0.59)(1.225)(60.05)^3}} = 16.4 \text{ m}$$

Por disponibilidad técnica se prefirió repartir la potencia entre tres generadores, para lo cual el diámetro es:

$$D = \sqrt{\frac{8(1925 \text{ W})}{(0.95)(0.95)(\pi)(0.59)(1.225)(6.05)^3}} = 5.83 \text{ m}$$

Para la selección de componentes en el sistema eólico se debe determinar la corriente de operación. Esta corriente es:

$$I_{en} = \frac{P_e}{N_{ge} * V_n}$$

$$I_{en} = \frac{5775 \text{ W}}{3 * 48 \text{ V}} = 40.1 \text{ A}$$

Como el porcentaje de descarga de la batería afecta su tiempo de vida se suele limitar la descarga a un 50% de su capacidad nominal. Para este caso la capacidad del banco de baterías será:

$$C_{bb} = \frac{E_{bb}}{(50\%)}$$

$$C_{bb} = \frac{23.1 \text{ kWh}}{0.5} = 46.2 \text{ kWh}$$

Para determinar la cantidad de baterías se toma la capacidad del banco en términos de energía y se determina el amperaje:

$$I_{bb} = \frac{C_{bb}}{V_n}$$

$$I_{bb} = \frac{46200 \text{ Wh}}{48 \text{ V}} = 962.5 \text{ Ah}$$

### Sistema Híbrido

El sistema híbrido emplea los dos sistemas anteriores y se reparte la carga. Para la parte del sistema eólico se asigna el 50% de la demanda máxima, y el 50% de la carga de la batería. Durante el día la energía de la batería es repuesta por el generador eólico y los paneles fotovoltaicos. Definiendo un tiempo de carga de 12 horas, la potencia de carga por parte del sistema fotovoltaico es:

$$P_{ebb} = \frac{E_{bb}}{t_{eca}}$$

$$P_{ebb} = \frac{23.1 \text{ kWh}}{12 \text{ h}} = 0.9625 \text{ kW}$$

Siendo la potencia entregada por el panel fotovoltaico:

$$P_{PV} = 1925 \text{ W} + 962.5 \text{ W} = 2887.5 \text{ W}$$

Para esta potencia el área del grupo de paneles es:

$$A_{PV} = \frac{P_{PV} \cdot t_{Ir} \cdot 365}{\eta_{PV} \cdot DNI}$$

$$A_{PV} = \frac{(2.8875 \text{ kW}) \left(10 \frac{\text{hr}}{\text{dia}}\right) \left(365 \frac{\text{dia}}{\text{año}}\right)}{(0.139) \left(960 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right)} = 78.98 \text{ m}^2$$

Para el cálculo del número de paneles se emplea el panel KD220GH del Anexo 9, el cual tiene un área de  $1.485 \text{ m}^2$ . Con esto podemos ver que la cantidad de paneles es de:

$$N_{PV} = \frac{A_{PV}}{A_{PV\_min}}$$

$$N_{PV} = \frac{78.98 \text{ m}^2}{1.485 \text{ m}^2/\text{panel}} = 53.19 \text{ paneles} \approx 54 \text{ paneles}$$

La corriente nominal de operación se puede calcular como:

$$I = \frac{P_{PV}}{V}$$

$$I_{48V} = \frac{2887.5 W}{48 V} = 60.15 A$$

Para este amperaje habrá una sola sección de 27 grupos con dos paneles puesto en serie en cada grupo. Para este grupo se empleará un controlador de carga de 80 A.

Para la parte del generador eólico dentro del sistema híbrido se considera el otro 50% de la demanda máxima y el 50% de la potencia de carga del banco de baterías.

Durante las horas de la noche el sistema eólico junto al banco de baterías entregará energía a la antena, para esta condición la potencia suministrada por el sistema eólico es de  $P_e = 2406.3 W$ , mientras que la potencia que suministra el banco de baterías es  $P_{bb} = 1443.7 W$  que sumados dan  $3850 W$ .

Sumando la demanda máxima con la potencia de carga del banco de baterías se tiene:

$$P_e = (P_m + P_{ebb})$$

$$P_e = (1925 W + 481.25 W) = 2406.3 W$$

Para calcular el diámetro de rotor de generador se usa la ecuación 3, para lo cual sustituyendo los valores se tiene

$$D = \sqrt{\frac{8P_e}{\eta_e \cdot \eta_m \cdot \pi \cdot C_p \cdot \rho \cdot V_1^3}}$$

$$D = \sqrt{\frac{8(2406.3 W)}{(0.95)(0.95)(\pi)(0.59)(1.225)(60.05)^3}} = 6.51 m$$

Para la selección de componentes en el sistema eólico se debe determinar la corriente de operación. Esta corriente es:

$$I_{en} = \frac{P_e}{N_{ge} * V_n}$$

$$I_{en} = \frac{2406.3 W}{48 V} = 50.13 A$$

Como el porcentaje de descarga de la batería afecta su tiempo de vida se suele limitar la descarga a un 50% de su capacidad nominal. Para este caso la capacidad del banco de baterías será:

$$C_{bb} = \frac{E_{bb}}{(50\%)}$$

$$C_{bb} = \frac{17.325 \text{ kWh}}{0.5} = 34.65 \text{ kWh}$$

Para determinar la cantidad de baterías se toma la capacidad del banco en términos de energía y se determina el amperaje:

$$I_{bb} = \frac{C_{bb}}{V_n}$$

$$I_{bb} = \frac{34.65 \text{ Wh}}{48 \text{ V}} = 721.875 \text{ Ah}$$

## Anexo 7. Datos de radiación solar anual en la ubicación de la antena de telecomunicaciones. (GLOBAL SOLAR ATLAS, 2022).

### GLOBAL SOLAR ATLAS

BY WORLD BANK GROUP

#### San Pablo

-07.055389°,-078.763195°

San Pablo, Cajamarca, Peru

Time zone: UTC-05, America/Lima [PET]

Report generated: 3 Jul 2022

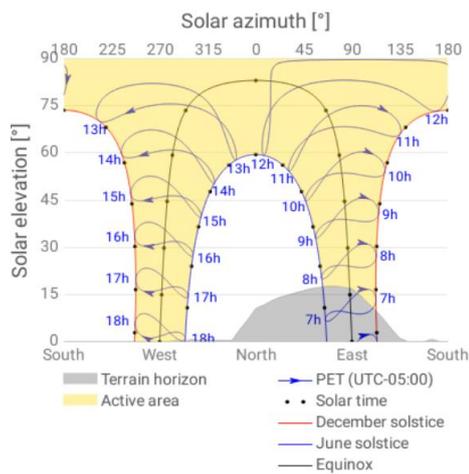
#### SITE INFO

| Map data                                   |                     | Per year                  |
|--|---------------------|---------------------------|
| Specific photovoltaic power output         | PVOUT specific      | 1552.1 kWh/kWp            |
| Direct normal irradiation                  | DNI                 | 1453.0 kWh/m <sup>2</sup> |
| Global horizontal irradiation              | GHI                 | 1794.2 kWh/m <sup>2</sup> |
| Diffuse horizontal irradiation             | DIF                 | N/A                       |
| Global tilted irradiation at optimum angle | GTI <sub>opta</sub> | 1813.1 kWh/m <sup>2</sup> |
| Optimum tilt of PV modules                 | OPTA                | 11 / 0 °                  |
| Air temperature                            | TEMP                | 10.4 °C                   |
| Terrain elevation                          | ELE                 | 3548 m                    |

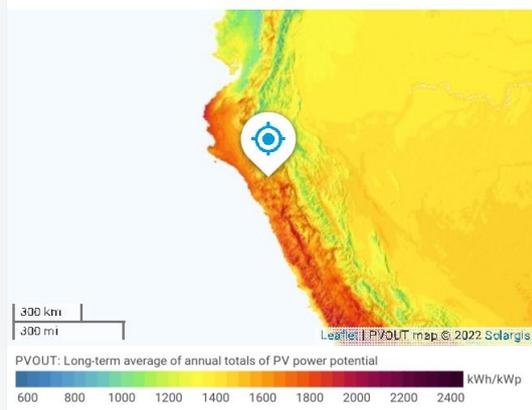
#### Map



#### Horizon and sunpath



#### PVOUT map



# GLOBAL SOLAR ATLAS

BY WORLD BANK GROUP

## PV ELECTRICITY AND SOLAR RADIATION

### Annual averages

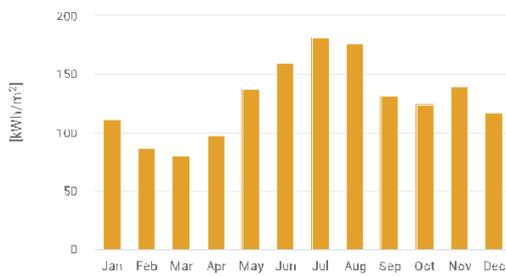
Direct normal irradiation

**1543.5**

kWh/m<sup>2</sup> per year

### Monthly averages

Direct normal irradiation



### Average hourly profiles

Direct normal irradiation [Wh/m<sup>2</sup>]



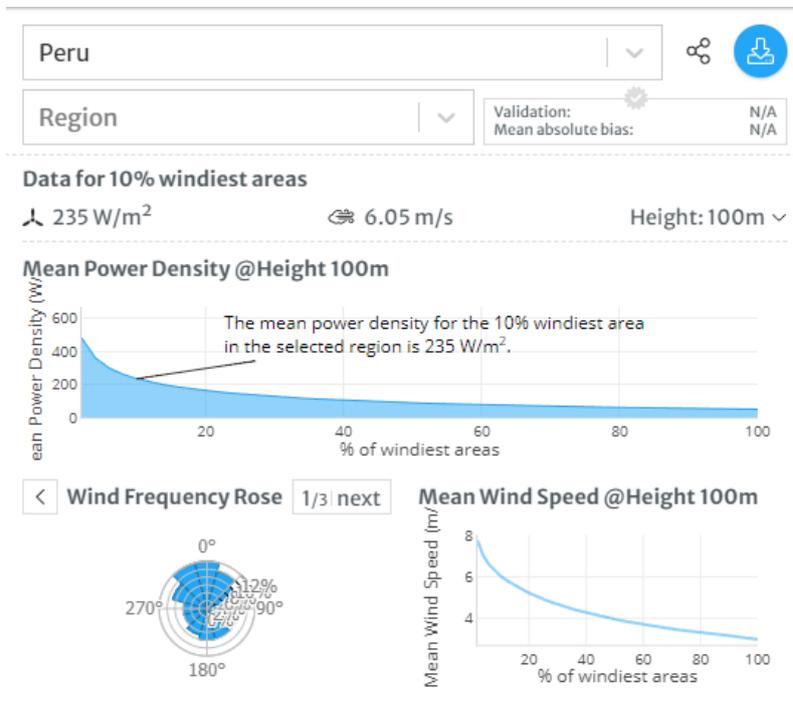
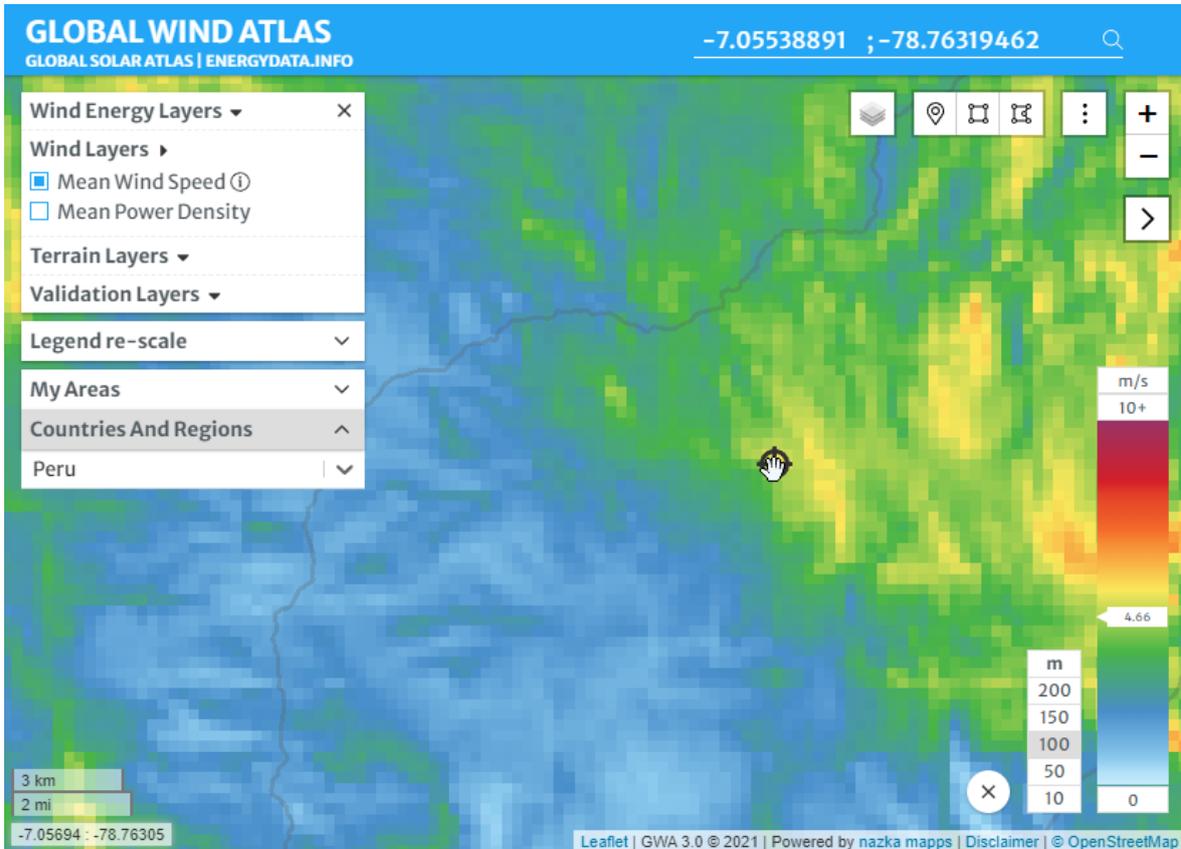
UTC-05

### Average hourly profiles

Direct normal irradiation [Wh/m<sup>2</sup>]

|         | Jan  | Feb  | Mar  | Apr  | May  | Jun  | Jul  | Aug  | Sep  | Oct  | Nov  | Dec  |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 - 1   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1 - 2   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 2 - 3   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 3 - 4   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 4 - 5   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 5 - 6   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 6 - 7   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 110  | 96   |
| 7 - 8   | 478  | 333  | 219  | 259  | 300  | 169  | 174  | 167  | 424  | 538  | 523  | 484  |
| 8 - 9   | 552  | 519  | 495  | 567  | 669  | 723  | 749  | 726  | 646  | 586  | 589  | 555  |
| 9 - 10  | 496  | 472  | 454  | 531  | 656  | 724  | 753  | 741  | 640  | 539  | 555  | 514  |
| 10 - 11 | 413  | 395  | 357  | 445  | 578  | 678  | 716  | 708  | 565  | 473  | 512  | 428  |
| 11 - 12 | 348  | 320  | 246  | 334  | 466  | 591  | 643  | 638  | 431  | 377  | 452  | 355  |
| 12 - 13 | 328  | 250  | 169  | 234  | 359  | 500  | 555  | 556  | 335  | 306  | 430  | 343  |
| 13 - 14 | 242  | 178  | 136  | 171  | 295  | 427  | 488  | 483  | 287  | 204  | 353  | 263  |
| 14 - 15 | 180  | 144  | 114  | 162  | 288  | 403  | 462  | 443  | 264  | 248  | 331  | 215  |
| 15 - 16 | 160  | 143  | 107  | 180  | 301  | 414  | 483  | 449  | 283  | 253  | 311  | 189  |
| 16 - 17 | 155  | 136  | 115  | 191  | 300  | 424  | 471  | 442  | 285  | 237  | 280  | 169  |
| 17 - 18 | 167  | 150  | 134  | 166  | 212  | 286  | 355  | 333  | 212  | 166  | 204  | 158  |
| 18 - 19 | 80   | 63   | 31   | 8    |      |      | 16   | 15   | 9    | 7    | 10   | 22   |
| 19 - 20 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 20 - 21 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 21 - 22 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 22 - 23 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 23 - 24 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Sum     | 3573 | 3103 | 2577 | 3248 | 4423 | 5339 | 5868 | 5700 | 4383 | 3993 | 4661 | 3790 |

**Anexo 8. Datos de energía eólica anual en la ubicación de la antena de telecomunicaciones. (GLOBAL WIND ATLAS, 2022).**



© 2022 DTU | Powered by WAsP | Terms of use



## Anexo 9. Ficha técnica de paneles fotovoltaicos



We care! Since 1975.

### Serie Y

KD140GH-2YU · KD190GH-2YU · KD220GH-4YU  
KD240GH-4YB2 · KD245GH-4YB2 · KD320GH-4YB



Residencia, Alemania

#### TECNOLOGÍA PUNTA

##### ► Celúla:

- 156 mm x 156 mm
- Policristalina, 3 busbar
- Nivel de eficiencia > 16 %
- Integrado en lámina EVA
- Nitruro de silicio texturizado: poco reflejo de luz, coloración homogénea

##### ► Bastidor:

- Aluminio negro anodizado revestido
- Atornillado y adicionalmente encolado
- Capacidad de carga: 5.400 N/m<sup>2</sup>
- Aberturas de drenaje internas contra daños por heladas
- Montaje flexible (transversal o vertical)
- Autorizado para sistemas de inserción (excepto módulos de 80 células)
- Módulos de 60, 80 células: reforzado al dorso con 2 travesaños

##### ► Caja de empalme:

- Incl. diodos bypass
- Totalmente sellada

- Máxima categoría de no inflamabilidad 5VA según UL94
- Módulo de 36, 48 células: preconfeccionada con líneas conectoras y uniones enchufables originales multi-contacto
- Módulo de 54, 60, 80 células: preconfeccionada con líneas conectoras y uniones enchufables SMK (MC4 compatibles)

##### ► Emparejado:

- Proceso de clasificación: se logra la potencia nominal de dos módulos emparejados (p. ej. ≥ 490 Wp con 2 x KD245GH-4YB2)

##### ► Producción:

- Procesos de producción totalmente automatizados e integrados en plantas propias
- Integración vertical = 100 % control

##### ► Asistencia:

- Servicio de asistencia al cliente en toda Europa, desde Esslingen, Alemania

#### LA COMPAÑÍA

Kyocera Solar es una de las pioneras del sector fotovoltaico y tiene más de 35 años de experiencia. Desde entonces que participamos en numerosas soluciones avanzadas en todo el mundo. La innovación y la calidad son lo que más nos importa.

Nuestra meta es hacer que la energía solar sea accesible para todas las personas, procurando así un aprovisionamiento de energía ampliamente difundido y sostenible.

#### Los módulos fotovoltaicos de Kyocera cumplen los más altos requisitos



- Periodic inspection
- Qualified: IEC 61215
- Safety tests: IEC 61730
- Long-term sequential testing



IEC 61701



Kyocera es una empresa certificada según ISO 9001, ISO 14001 y DHSAS 18001.

**CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS SERIE Y**

| Tipo de módulo PV   | KD140GH-2YU                                | KD190GH-2YU                                | KD220GH-4YU                                | KD240GH-4YB2                               | KD245GH-4YB2                               | KD320GH-4YB                                |
|---|--|--|--|--|--|--|
| <b>A 1000 W/m² (STC)<sup>(1)</sup></b>                              |  |  |  |  |  |  |
| Potencia nominal P [W]  | 140  | 190  | 220  | 240  | 245  | 320  |
| Tensión máxima del sistema [V]                                      | 1000                                       | 1000                                       | 1000                                       | 1000                                       | 1000                                       | 1000                                       |
| Tensión de máxima potencia [V]                                      | 17,7                                       | 23,6                                       | 26,5                                       | 29,8                                       | 29,8                                       | 40,1                                       |
| Corriente de máxima potencia [A]                                    | 7,91                                       | 8,06                                       | 8,28                                       | 8,06                                       | 8,23                                       | 7,99                                       |
| Tensión de circuito abierto [V]                                     | 22,1                                       | 29,5                                       | 33,2                                       | 36,9                                       | 36,9                                       | 49,5                                       |
| Corriente de cortocircuito [A]                                      | 8,68                                       | 8,82                                       | 8,98                                       | 8,59                                       | 8,91                                       | 8,60                                       |
| Nivel de eficiencia [%]   | 13,9                                       | 14,3                                       | 14,8                                       | 14,5                                       | 14,8                                       | 14,5                                       |
| <b>A 800 W/m² (NOCT)<sup>(2)</sup></b>                              |  |  |  |  |  |  |
| Potencia nominal P [W]  | 101  | 137  | 158  | 172  | 176  | 230  |
| Tensión de máxima potencia [V]                                      | 16,0                                       | 21,3                                       | 24,0                                       | 26,7                                       | 26,8                                       | 36,1                                       |
| Corriente de máxima potencia [A]                                    | 6,33                                       | 6,45                                       | 6,63                                       | 6,45                                       | 6,58                                       | 6,40                                       |
| Tensión de circuito abierto [V]                                     | 20,2                                       | 27,0                                       | 30,4                                       | 33,7                                       | 33,7                                       | 45,3                                       |
| Corriente de cortocircuito [A]                                      | 7,03                                       | 7,14                                       | 7,27                                       | 6,95                                       | 7,21                                       | 6,96                                       |
| NOCT [°C]   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   |
| Tolerancia de potencia [%]  | +5/-5                                      | +5/-5                                      | +5/-3                                      | +5/-3                                      | +5/-3                                      | +5/-3                                      |
| Resistencia a la corriente inversa I <sub>sc</sub> [A]              | 15   | 15   | 15   | 15   | 15   | 15   |
| Protección max. del string [A]                                      | 15   | 15   | 15   | 15   | 15   | 15   |
| Coefficiente de temperatura de la tensión de circuito abierto [%/K] | -0,46                                      | -0,46                                      | -0,46                                      | -0,46                                      | -0,46                                      | -0,46                                      |
| Coefficiente de temperatura de la corriente de cortocircuito [%/K]  | 0,06                                       | 0,06                                       | 0,06                                       | 0,06                                       | 0,06                                       | 0,06                                       |
| Coefficiente de temperatura a P <sub>max</sub> [%/K]                | -0,46                                      | -0,46                                      | -0,46                                      | -0,46                                      | -0,46                                      | -0,46                                      |
| Reducción del nivel de eficacia de 1000 W/m² a 200 W/m² [%]         | 5,3  | 5,3  | 6,0  | 7,3  | 6,6  | 7,1  |
| <b>MEDIDAS</b>  |  |  |  |  |  |  |
| Longitud [mm]   | 1500 (±2,5)                                | 1338 (±2,5)                                | 1500 (±2,5)                                | 1662 (±2,5)                                | 1662 (±2,5)                                | 1662 (±2,5)                                |
| Ancho [mm]  | 668 (±2,5)                                 | 990 (±2,5)                                 | 990 (±2,5)                                 | 990 (±2,5)                                 | 990 (±2,5)                                 | 1320 (±2,5)                                |
| Altura/incl. caja de contacto [mm]                                  | 46   | 46   | 46   | 46   | 46   | 46   |
| Peso [kg]   | 12,5                                       | 16   | 18   | 20   | 20   | 27,5                                       |
| Cable [mm]  | (+)1010/(-)840                             | (+)1030/(-)840                             | (+)1100/(-)900                             | (+)1190/(-)1060                            | (+)1190 (-)1060                            | (+)1290/(-)1040                            |
| Tipo de conexión  | MC PV-KBT3 ; MC PV-KST3                    | MC PV-KBT3 / MC PV-KST3                    | PV-03 (SMK)                                | PV-03 (SMK)                                | PV-03 (SMK)                                | PV-03 (SMK)                                |
| Caja de contacto [mm]   | 113 × 82 × 15                              | 113 × 82 × 15                              | 123 × 91,6 × 16                            | 123 × 91,6 × 16                            | 123 × 91,6 × 16                            | 133 × 136 × 16,5                           |
| Número de diodos bypass   | 2  | 3  | 3  | 3  | 3  | 4  |
| Código IP   | IP65                                       | IP65                                       | IP65 / IP67                                | IP65 / IP67                                | IP65 / IP67                                | IP65 / IP67                                |
| <b>CÉLULAS</b>  |  |  |  |  |  |  |
| Cantidad por módulo   | 36   | 48   | 54   | 60   | 60   | 80   |
| Tecnología celular  | polycristalina                             | polycristalina                             | polycristalina                             | polycristalina                             | polycristalina                             | polycristalina                             |
| Tamaño celular (cuadrado) [mm]                                      | 156 × 156                                  | 156 × 156                                  | 156 × 156                                  | 156 × 156                                  | 156 × 156                                  | 156 × 156                                  |
| Conexión de células   | 3 busbar                                   |
| <b>DATOS GENERALES</b>  |  |  |  |  |  |  |
| Garantía de rendimiento   | 10 <sup>(3)</sup> / 20 años <sup>(4)</sup> |
| Garantía  | 10 años <sup>(5)</sup>                     |

(1) Los índices eléctricos son válidos en condiciones de prueba estándar (STC): Irradiación de 1000 W/m², masa de aire AM 1,5 y temperatura celular de 25°C.

(2) Los índices bajo temperatura operativa nominal de las células (NOCT): Irradiación de 800 W/m², masa de aire AM 1,5, velocidad del viento de 1 m/s y temperatura ambiente de 20°C.

(3) 10 años al 90% de la potencia máxima especificada P bajo condiciones de prueba normalizadas (STC).

(4) 20 años al 80% de la potencia máxima especificada P bajo condiciones de prueba normalizadas (STC).

(5) En el caso de países dentro de Europa.

Si quieres el detalle o cualquier información con este producto, ponte en contacto con nosotros en nuestro sitio web: [www.kyocera.com](http://www.kyocera.com)

Su distribuidor Kyocera local:



**KYOCERA Fineceramics GmbH**  
Solar Division  
Fritz-Mueller-Strasse 27  
73730 Esslingen / Alemania  
Tel: +49 (0)711-93 93 49 99  
Fax: +49 (0)711-93 93 49 50  
E-Mail: [solar@kyocera.de](mailto:solar@kyocera.de)  
[www.kyocerasolar.es](http://www.kyocerasolar.es)

## Anexo 10. Ficha técnica del aerogenerador Bornay 6000



# Aerogenerador Bornay 6000

### Manual de Usuario

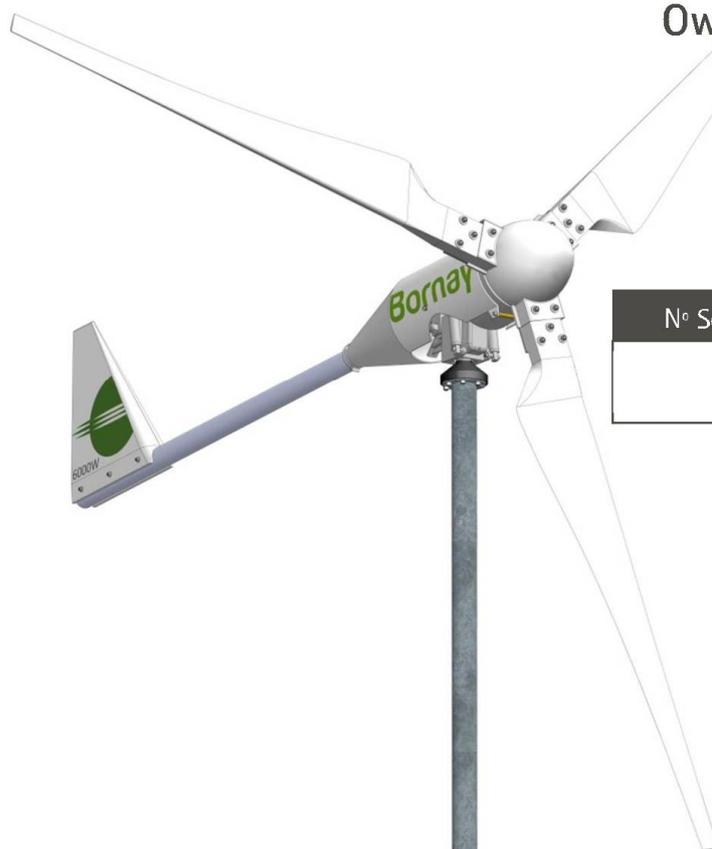
Montaje  
Operación  
Mantenimiento

ESP

### Owner's Manual

Installation  
Operation  
Maintenance

GB



| Nº Serie / Serial # | Voltaie / Voltage |
|---------------------|-------------------|
|                     |                   |

Bornay Aerogeneradores, slú

P.I. Riu, Cno. del Riu, s/n  
03420 Castalla (Alicante) España

Tel. +34/965560025  
Fax +34/965560752

bornay@bornay.com  
www.bornay.com

## Datos técnicos

ESP

### Bornay 6000

#### Especificaciones técnicas

|                       |                           |
|-----------------------|---------------------------|
| Número de hélices     | 3                         |
| Diámetro              | 4 mts.                    |
| Material              | Fibra de vidrio / carbono |
| Dirección de rotación | Anti-horaria              |

#### Especificaciones eléctricas

|                  |                                    |
|------------------|------------------------------------|
| Alternador       | Trifásico de imanes permanentes    |
| Imanes           | Neodimio                           |
| Potencia nominal | 6000 W                             |
| Voltaje          | 48, 120 v.                         |
| RPM              | @ 600                              |
| Regulador        | 48v 150 Amp<br>120v Conexión a red |

#### Velocidad de viento

|                         |         |
|-------------------------|---------|
| Para arranque           | 3,5 m/s |
| Para potencia nominal   | 12 m/s  |
| Para frenado automático | 14 m/s  |
| Máxima                  | 60 m/s  |

#### Especificaciones físicas

|                    |                                |
|--------------------|--------------------------------|
| Peso aerogenerador | 107 Kg                         |
| Peso regulador     | 18 Kgr                         |
| Embalaje           | 1200 x 800 x 800 mm. – 149 Kg  |
| Dimensiones – peso | 2600 x 400 x 150 mm – 22 Kg    |
| Total              | 0.91 m <sup>3</sup> – 171 Kgr. |
| Garantía           | 3 años                         |

Bornay 6000 – Rev 6.1 – P 6

## Anexo 11. Ficha técnica motor Perkins

### 404D-22 Industrial Diesel Engine

31.4-38 kW (42-51 hp) @ 2200-3000 rpm  
EU Stage IIIA/U.S. EPA Tier 4 Interim equivalent

The Perkins 400 Series is an extensive family of engines in the 0.5-2.2 litre range. The 4 cylinder 404-22 model sits at the top of the 400 Series engine range. It combines high performance, low operating costs and a compact package. The 404-22 is the ideal engine for a wide range of off-highway applications. It is offered with both indirect (IDI) and common rail fuel injection systems.

A very quiet 2.2 litre unit delivering improved performance and low operating costs in a small, efficient package.

Designed to meet EU Stage IIIA/U.S. EPA Tier 4 Interim equivalent emission standards.



#### Specifications

| Power Rating   |                     |                        |
|----------------|---------------------|------------------------|
| Minimum power  | 31 kW               | 41.5 hp                |
| Maximum power  | 38 kW               | 51 hp                  |
| Rated speed    | 2200-3000 rpm       |                        |
| Maximum torque | 142.7 Nm @ 1800 rpm | 105.2 lb-ft @ 1800 rpm |

| Emission Standards |  |
|--------------------|--|
| Emissions          | EU Stage IIIA/U.S. EPA Tier 4 Interim equivalent |

| General                      |                     |              |
|------------------------------|---------------------|--------------|
| Number of cylinders          | 4 inline            |              |
| Bore                         | 84 mm               | 3.3 in       |
| Stroke                       | 100 mm              | 3.9 in       |
| Displacement                 | 2.2 litres          | 135 cubic in |
| Aspiration                   | Naturally aspirated |              |
| Cycle                        | 4 stroke            |              |
| Compression ratio            | 24.4:1              |              |
| Combustion system            | Indirect injection  |              |
| Rotation (from flywheel end) | Anti-clockwise      |              |
| Cooling system               | Liquid              |              |

[www.perkins.com](http://www.perkins.com)

Photographs are for illustrative purposes only and may not reflect final specification. All information is substantially correct at time of printing and may be altered subsequently. Final weights and dimensions will depend on completed specification.

SS-10435284-1000002510-004  
MSS-IND-1030902510-007.pdf

Produced In England © 2017 Perkins Engines Company Limited

**Perkins®**

THE HEART OF EVERY GREAT MACHINE

SS Page 1 of 5  
Page M-1 of M-3

## Anexo 12 . Ficha de Validación de datos

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA  
TABLA DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS**

Trujillo, 22 de abril del 2022

Apellidos y Nombres del experto: Alvarez Loyaga Luis Andres

DNI: 47569568

Teléfono: 948567556

Título/grados: Ing. Mecánico Electricista

Cargo e institución en que labora: Team Leader Mantenimiento / Indra Perú S.A.

Mediante la tabla de evaluación de expertos, usted tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con "x" en las columnas de SÍ o NO.

|   | ITEM  | APRECIA |    | OBSERVACIONES |
|---|---|---------|----|---------------|
|   |   | SÍ      | NO |               |
| 1 | ¿El instrumento de recolección de datos está formulado con lenguaje apropiado y comprensible?                                       | X       |    |               |
| 2 | ¿El instrumento de recolección de datos guarda relación con el título de la investigación?  | X       |    |               |
| 3 | ¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?                                   | X       |    |               |
| 4 | ¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con la(s) variable(s) de estudio?  | X       |    |               |
| 5 | ¿Las preguntas del instrumento de recolección de datos se desprenden con cada uno de los indicadores?                               | X       |    |               |
| 6 | ¿Las preguntas del instrumento de recolección de datos se sostienen en antecedentes relacionados con el tema y en un marco teórico? | X       |    |               |
| 7 | ¿el diseño del instrumento de recolección de datos facilitará el análisis y el procesamiento de los datos?                          | X       |    |               |
| 8 | ¿El instrumento de recolección de datos tiene una presentación ordenada?  | X       |    |               |
| 9 | ¿El instrumento guarda relación con el avance de la ciencia, la tecnología y la sociedad?   | X       |    |               |

SUGERENCIAS: \_\_\_\_\_

  
 LUIS ANDRÉS  
 ALVAREZ LOYAGA  
 Ingeniero Mecánico Electricista  
 CIP N° 282431

FIRMA DEL EXPERTO

## Anexo 13. Ficha de Validación de datos

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA  
TABLA DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS**

Trujillo, 22 de Abril del 2022

Apellidos y Nombres del experto: DIAZ MENDOZA JHAYBER

DNI: 42535279

Teléfono: 943 837 852

Título/grados: Ing. Mecánico Electricista

Cargo e institución en que labora: Gerente general de A & J ENERGYS S.R.L.

Mediante la tabla de evaluación de expertos, usted tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con "x" en las columnas de SÍ o NO.

|   | ITEM  | APRECIA |    | OBSERVACIONES |
|---|---|---------|----|---------------|
|   |   | SÍ      | NO |               |
| 1 | ¿El instrumento de recolección de datos está formulado con lenguaje apropiado y comprensible?                                       | X       |    |               |
| 2 | ¿El instrumento de recolección de datos guarda relación con el título de la investigación?  | X       |    |               |
| 3 | ¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?                                   | X       |    |               |
| 4 | ¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con la(s) variable(s) de estudio?  | X       |    |               |
| 5 | ¿Las preguntas del instrumento de recolección de datos se desprenden con cada uno de los indicadores?                               | X       |    |               |
| 6 | ¿Las preguntas del instrumento de recolección de datos se sostienen en antecedentes relacionados con el tema y en un marco teórico? | X       |    |               |
| 7 | ¿el diseño del instrumento de recolección de datos facilitará el análisis y el procesamiento de los datos?                          | X       |    |               |
| 8 | ¿El instrumento de recolección de datos tiene una presentación ordenada?  | X       |    |               |
| 9 | ¿El instrumento guarda relación con el avance de la ciencia, la tecnología y la sociedad?   | X       |    |               |

SUGERENCIAS: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

  
**JHAYBER DIAZ MENDOZA**  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO  
REG. CIP. 236883

\_\_\_\_\_  
FIRMA DEL EXPERTO



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, CASTRO ANTICONA WALTER MIGUEL, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Alternativas de energía renovable y gastos operativos del suministro eléctrico para una antena de telefonía - Porcón Alto-Cajamarca.", cuyos autores son VARGAS CAMPOS ROMEL, AGUSTIN FLORES JENSEN MILTON, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 23.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 09 de Julio del 2022

| <b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>   | <b>Firma</b>  |
|--|---|
| CASTRO ANTICONA WALTER MIGUEL<br><b>DNI:</b> 18173382<br><b>ORCID:</b> 0000-0002-8127-4040 | Firmado electrónicamente<br>por: CASTROA el 22-07-<br>2022 17:46:59 |

Código documento Trilce: TRI - 0331277