








Study of the energy potential in a Photovoltaic WindHybrid system to electrify the rural area of Anexo Quebrada Honda in Cajamarca

Eduardo Chavez, Bachiller¹, Santiago Rubiños, Doctor², Thalia Chavez, Bachiller³, Evelyn Solis, Bachiller⁴, Herbert Grados, Maestro⁵, Marcelo Damas, Doctor⁶ and Fernando Mendoza, Doctor⁷

^{1,2,3,4,5,6,7}Universidad Nacional del Callao, Perú, enchavezg@unac.edu.pe, slrubinosj@unac.edu.pe, tchavezf@unac.edu.pe, esolisi@unac.edu.pe, hjgradose@unac.edu.pe, mdamasn@unac.edu.pe, fmendoza@unac.edu.pe

Abstract– The present investigation had as objective the design of a hybrid photovoltaic wind system isolated from the network for the supply of electrical energy carried out for the Anexo Quebrada Honda in Cajamarca, for this purpose documentary information was used such as technical sheets, observation that allowed to determine the irradiation and the wind speed in the place, likewise the energy demand of the 12 houses that make up the Quebrada Honda annex was determined, determining a total power of 4.64 Kw, the minor radiation 112.68 kWh/m²/mes and the speed of 4.1 m/s in the area. With the demand, the hybrid photovoltaic wind system was dimensioned, consisting of 1 photovoltaic panel, 1 wind turbine, 2 batteries for storing the energy to be generated.

Keywords-- Wind energy, photovoltaic energy, energy demand, hybrid energy.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Estudio del potencial energético en un sistema Híbrido Eólico Fotovoltaico para electrificar la zona rural de Anexo Quebrada Honda en Cajamarca

Eduardo Chavez, Bachiller¹, Santiago Rubiños, Doctor², Thalia Chavez, Bachiller³, Evelyn Solis, Bachiller⁴, Herbert Grados, Maestro⁵, Marcelo Damas, Doctor⁶ and Fernando Mendoza, Doctor⁷
^{1,2,3,4,5,6,7}Universidad Nacional del Callao, Perú, enchavezg@unac.edu.pe, slrubinosj@unac.edu.pe, tchavezf@unac.edu.pe, esolisi@unac.edu.pe, hjgradose@unac.edu.pe, mdamasn@unac.edu.pe, fmendoza@unac.edu.pe

Resumen— La presente investigación tuvo como objetivo el diseño de un sistema híbrido eólico fotovoltaico aislado de la red para el suministro de energía eléctrica realizado para el Anexo Quebrada Honda en Cajamarca, para ello se utilizó información documental como fichas técnicas, observación que permitió determinar la irradiación y la velocidad del viento en el lugar, así mismo se determinó la demanda energética de las 12 viviendas que conforman el anexo Quebrada Honda, determinando una potencia total de 4.64 Kw, la radiación menor 112.68 kWh/m²/mes y la velocidad de 4,1 m/s en el área. Con la demanda se dimensionó el sistema híbrido eólico fotovoltaico compuesto por 1 panel fotovoltaico, 1 aerogenerador, 2 baterías para almacenar la energía a generar.

Keywords—Energía eólica, energía fotovoltaica, demanda de energía, energía híbrida.

I. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es una necesidad básica de la vida cotidiana. La demanda mundial de energía está aumentando rápidamente, lo que no podemos satisfacer e incluso hoy en día 1.400 millones de personas todavía carecen de electricidad [1]. Con la adición de capacidad de generación de energía, en 2025 se estima que las centrales eléctricas de carbón seguirán dominando con una participación de hasta el 58 % o alrededor de 50 GW. Sin embargo, la existencia del carbón como combustible para la generación de electricidad va disminuyendo con el tiempo y por supuesto, no se puede renovar. [2]. Con el agotamiento de los recursos de energía fósil y los problemas ambientales resultantes, se necesitarán más recursos de energía alternativos. De hecho, los recursos energéticos renovables han ganado un gran interés durante las últimas décadas. [3] El uso de energías renovables como la eólica, la solar y su hibridación en lugar de combustibles fósiles es una buena opción para suministrar electricidad a edificios en áreas urbanas y remotas, que pueden operar tanto en modo conectado a la red como autónomo. [4] Los híbridos solar-eólicos garantizan un suministro de energía más continuo durante todo el año, ya que cada tecnología compensa la intermitencia de la otra. [5] Tanto los recursos solares como los eólicos son susceptibles a las fluctuaciones climáticas. La

generación de energía fotovoltaica en verano suele ser mayor que en invierno, mientras que la generación de energía eólica aumenta durante las temporadas de invierno. Por lo tanto, aprovechar la complementariedad de estos dos recursos y combinarlos adecuadamente para formar un sistema híbrido puede superar parcialmente la imprevisibilidad, [6] de modo que el sistema en general pueda operar de manera más económica y eficiente. [7] La confiabilidad y el costo son dos aspectos importantes que se deben tener en cuenta cuando se trabaja con sistemas de energías renovables para la generación de electricidad [8]. Se espera que este tipo de energía se invierta para cubrir alrededor del cincuenta por ciento del consumo total de energía del mundo para 2040 [9].

La energía solar puede convertirse en electricidad utilizando el efecto fotovoltaico [10]. El viento está presente en todas partes, este se ve afectado por el terreno y la topografía de un lugar. La conversión de la energía eólica en energía eléctrica requiere convertidores de viento llamados aerogeneradores. [11] La energía eólica y solar son las fuentes de energía renovable más prometedoras debido a su capacidad ilimitada obvia, especialmente para regiones lejanas. La demanda de áreas rurales se satisface con sistemas y marcos de energía híbrida que pueden abordar este problema existente en la zona de investigación [12]. Por ello en esta investigación se evalúa el rendimiento operativo de la instalación y la complementariedad entre las dos fuentes de energía [13] en cuanto a las variaciones temporales y estacionales de los recursos.

II. Métodos y materiales

A. Análisis y procesamiento de datos

- Para el diseño consideramos los parámetros y valores de la zona como la radiación solar, la velocidad del viento, la demanda eléctrica.
- Para determinar la demanda energética primero se recopiló información como: número de viviendas, número de habitantes y luego se determinó el consumo promedio considerando los artefactos que utiliza la población.
- Mediante los datos de la Nasa, se determinó la máxima, mínima irradiación, velocidad promedio y la temperatura de la zona.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

- Con la información encontrada, luego dimensionamos y seleccionamos los equipos a utilizar para la energía eólica y fotovoltaica, transformándolas en energía eléctrica (hojas de cálculo en Excel) y validando con el software Homer, que abastecerá a la población del Anexo Quebrada Honda.

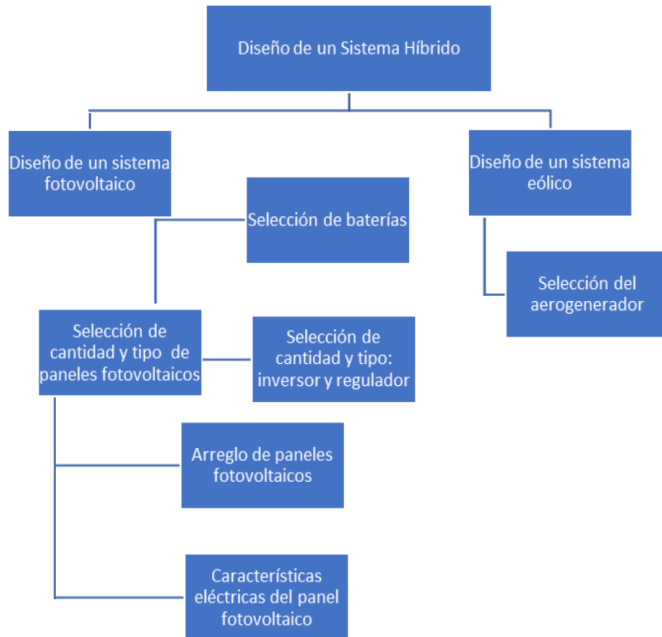


Fig. 1 Diseño de un Sistema híbrido

B. Contexto del lugar de estudio

La presente investigación se desarrolló en el anexo Quebrada Honda perteneciente al distrito Catache en Cajamarca ubicado en las siguientes coordenadas UTC-5 S: 6°39'58.8" (-6.666335); O: 79°02'40.9" (-79.044697), el cual presenta un número de 12 viviendas familiares, que se encuentran separadas en un promedio de 80 metros, dicha localidad no cuenta con los servicios básicos para el desarrollo económico y social, por lo que fue necesario realizar un proyecto diseño que permita suministrar energía eléctrica mediante el uso de energías renovables. La velocidad de viento y el nivel de irradiación en la zona son favorables para generar energía eléctrica y cubrir la demanda energética de cada vivienda.

C. Definiciones

Determinación de la demanda máxima proyectada: La demanda es la potencia que deberá suministrar el sistema de generación híbrida por lo que se debe tener en cuenta cuanto es la máxima potencia que se utilizar durante el día así en el sistema tendrá que tener la capacidad de suministrarla para esto se determinó mediante el consumo de cada carga en el tiempo de encendido cuando es que estas requieren energía en el lapso del día [14].

1) *Cálculo del consumo de energía eléctrica*: Para hallar la energía necesaria suministrada por el sistema híbrido

aplicamos la ecuación 1, en ella añadimos las pérdidas que se tienen durante el consumo diario.

$$E_{necesaria} = \frac{E_{requerida\ por\ día}}{R} \quad (1)$$

Se debe tener en cuenta las posibles pérdidas en la instalación para ello se debe calcular las pérdidas R con la ecuación 2 [15].

$$R = (1 - k_b - k_i - k_r - k_v) \cdot \left(1 - \frac{k_a N}{P_d} \right) \quad (2)$$

Donde

Kb: Coeficiente de pérdidas por rendimiento en el acumulador.

Ka: Fracción de energía que se pierde por autodescarga.

Ki: Pérdidas por el rendimiento del inversor.

Kr: Pérdidas en el controlador de carga.

Kv: Otras pérdidas no consideradas anteriormente.

N: Número de días de autonomía para asegurar un servicio sin carga. Pd: Profundidad máxima de descarga admisible.

Recurso energético solar: La información geográfica fotovoltaica a utilizar corresponde al centro de investigación meteorológica de la Unión Europea - PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. Con esta herramienta es viable obtener información diaria y mensual de irradiación [16].

1) *Hora solar pico*: Es la cantidad de tiempo en su máximo punto en que se encuentra el sol, es la porción de energía solar que incide un metro cuadrado de superficie, la podemos calcular utilizando la ecuación 3 [17].

$$HSP = \frac{Irradiación}{días\ del\ mes} \quad (3)$$

2) *Ángulo de inclinación óptimo*: Para obtener el mejor rendimiento del panel fotovoltaico se busca la perpendicularidad entre el panel y la radiación solar recibida con lo cual se convierte una mayor cantidad de energía solar en electricidad [18], para hallar este valor utilizamos la ecuación 4.

$$\beta = 3.7 + 0.69 \times |\phi| \quad (4)$$

Donde:

β = la inclinación óptima del lugar seleccionado

ϕ = latitud

3) *Potencia del generador Fotovoltaico*: Se determina la potencia del generador Fotovoltaico con la ecuación 5, en función de la energía a producir y de la irradiación a la que están sometidos los Paneles fotovoltaicos [19].

$$PGFV = \frac{Demanda\ energética}{HSP} \quad (5)$$

Donde:

PGFV: Potencia de generador fotovoltaico

HSP: Hora solar pico Con la ecuación hallamos la potencia del generador fotovoltaico.

4) *Cálculo de número de paneles:* A través de los datos obtenidos se puede calcular el número máximo de paneles conectables a partir de la potencia del generador fotovoltaico y la potencia máxima corregida como se puede ver en la ecuación 6 [20].

$$N^{\circ} \text{Paneles} = \frac{PGFV}{\text{Pot.máx.corregida}} \quad (6)$$

Donde:

N° paneles: Número de paneles

PGFV: Potencia de generador fotovoltaico

Pot. Max. Corregida: Potencia máxima corregida

5) *El regulador:* El regulador es el encargado de controlar la carga y descarga del banco de baterías por lo que debe ser correctamente dimensionado de tal manera que soporte las corrientes de entrada que provienen del generador fotovoltaico y las corrientes de salida para abastecer las cargas [21].

Para determinar la magnitud de la corriente del regulador utilizamos la ecuación 7.

$$I_{reg} = I_{max} \cdot f_s \quad (7)$$

Donde:

f_s : factor de seguridad

I_{reg} : corriente del regulador

6) *Determinación de inversor del sistema híbrido:* Es muy poco que todos los consumidores de electricidad o cargas eléctricas operen al mismo tiempo, en casos críticos se debe tener en cuenta un factor de concurrencia del 100%. Si existiera algún equipo o carga que necesita de una corriente eléctrica de arranque se debe comprobar que la potencia máxima durante el tiempo necesario para el arranque es admisible en el inversor [22]. Para hallar la potencia del inversor se utilizó la ecuación 8.

$$P_{inv} = P_t \cdot f_s \quad (8)$$

Donde

P_{inv} : Potencia del inversor

P_t : Potencia de consumo

7) *Determinación de acumuladores:* A través de los datos obtenidos se puede calcular el número máximo de paneles conectables a partir

$$\text{Capacidad(Ah)} = \frac{\text{DemandaEnergética} \times \text{Díasdeautonomía}}{V_{bat} \times P_d} \quad (9)$$

Donde:

V_{bat} : Voltaje de baterías

P_d : Profundidad de descarga

Recurso energético eólico:

1) *Determinación de la velocidad y dirección del viento con respecto a la altura:* Los climas bruscos, o zonas

edificadas hace que se disminuya la velocidad del viento, y lo que es incluso peor, la aparición de turbulencias que inestabilizan corrientes. La variación de la velocidad del viento en un terreno idealmente plano viene dada por la ecuación 10.

$$V = V_{ref} \times \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^{\alpha} \quad (10)$$

Donde:

V_{ref} : Velocidad de referencia

h_{ref} : Altura de referencia

El grado de rugosidad del terreno puede variar según el contenido de la superficie en la zona. Normalmente la morfología, naturaleza y edificación reducen el flujo según los valores de la Tabla 1 [23].

TABLA I
VALORES DEL EXPONENTE α PARA ALGUNOS TIPOS DE TERRENO

| Tipo de terreno | Exponente α |
|--------------------------------------|--------------------|
| Lugares llanos con hielo o hierba | 0.08 – 0.12 |
| Lugares llanos (mar, costa) | 0.14 |
| Terrenos poco accidentados | 0.13 – 0.16 |
| Zonas rústicas | 0.2 |
| Terrenos accidentados o bosques | 0.2 – 0.26 |
| Terrenos muy accidentados y ciudades | 0.25 – 0.4 |

2) *Análisis y evaluación de la distribución de Weibull del recurso eólico:* Existen numerosos métodos diferentes para realizar el cálculo de los parámetros de forma, k, y escala, c, de la distribución de Weibull como el método de la regresión lineal, el método de los momentos, el método de los momentos y el método de máxima verosimilitud. Todos ellos son empleados frecuentemente en cálculos de velocidad de viento.

3) *Selección del aerogenerador:* Para la seleccionar el aerogenerador idóneo a utilizar primero se determina el factor de capacidad. El factor de capacidad mide el rendimiento real de un aerogenerador en un emplazamiento, dado que éstos sólo generan su potencia nominal en un rango determinado de vientos, fuera de ese rango su potencia es inferior [24]. El valor del factor de capacidad debe ser mayor que 20% para que un sistema de generación de electricidad, ya sea un aerogenerador o una agrupación de aerogeneradores, se considere de forma preliminar factible económicamente [25].

4) *Potencial eólico:* El potencial eólico que es la máxima potencia que se podría extraer del viento lo podemos calcular con la ecuación 11, teniendo en cuenta además el valor del radio del aerogenerador seleccionado [26].

$$P_{eólico} = \frac{1}{2} \rho \cdot V^3 \pi r^2 \quad (11)$$

Donde:

V: Velocidad promedio del viento
 r: Radio de aerogenerador
 ρ: Densidad del aire

III. RESULTADOS

A. Demanda rural

El anexo quebrada Honda, según la norma DGE/MEM pertenece a una zona rural de localidades del tipo II. La calificación asignada para este tipo de localidad es de 400 W por lote.

Tabla II
 DEMANDA MÁXIMA DE ENERGÍA POR VIVIENDA EN EL ANEXO QUEBRADA HONDA

| Item | Descripción | Cantidad | Potencia (W) | Potencia total (W) | Horas/Días | Energía (Wh/día) |
|------------------------------------|---------------------|----------|--------------|--------------------|------------|------------------|
| 1 | Focos Led-interior | 3 | 9 | 27 | 7 | 189 |
| 2 | TV | 1 | 100 | 100 | 5 | 500 |
| 3 | Radio | 1 | 50 | 50 | 3 | 150 |
| 4 | Laptop | 1 | 200 | 200 | 5 | 1000 |
| 5 | Cargador de celular | 1 | 10 | 10 | 3 | 30 |
| Potencia instalada (W) | | | | 387 | | |
| Energía Requerida por día (Wh/día) | | | | | | 1869 |

Teniendo en cuenta que las 12 viviendas familiares existentes en el anexo Quebrada Honda presentan en promedio la misma demanda energética obtenemos los siguientes valores que se muestran en la Tabla 3.

Tabla III
 DEMANDA RESIDENCIAL ANEXO QUEBRADA HONDA

| Demanda Rural | |
|---------------------------------|------|
| Número de viviendas | 12 |
| Número de habitantes | 60 |
| Potencia instalada por vivienda | 387 |
| Demanda rural (kW) | 4.64 |

B. Cálculo del consumo de energía eléctrica

Reemplazando los datos en la ecuación 2 según corresponde a la selección, obtenemos R=0.675 por tal motivo al utilizarla en la ecuación 2 obtenemos la energía necesaria es 2768.88 Wh/día.

Energía necesaria al año será: 2768.88 Wh/día x365 días/año= 1010.64 kWh/año

C. Evaluación del recurso energético

Recurso energético solar: Para determinar el recurso energético solar se tomaron datos de irradiación mensual (kWh/m2/mes) de 5 años consecutivos correspondiente al anexo de Quebrada Honda

1) *Determinación de la radiación solar:* Con ayuda de los datos obtenidos se realiza la Tabla 4 en donde se toma los

datos de radiación promedio de menor valor en el mes, obteniéndose el mes de enero un valor de 112.68 kWh/m2/mes.

Tabla IV
 IRRADIACIÓN MENSUAL EN EL ANEXO QUEBRADA HONDA

| Mes/Año | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 | Promedio (kWh/m2/mes) |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------------|
| Ene | 130.35 | 101.11 | 95.7 | 126.17 | 110.1 | 112.68 |
| Feb | 127.12 | 113.38 | 103.84 | 106.9 | 122.87 | 114.822 |
| Mar | 148.29 | 113.19 | 108.26 | 136.43 | 115.67 | 124.368 |
| Abr | 107.96 | 122.44 | 121.18 | 122.03 | 141.33 | 122.988 |
| May | 160.9 | 133.45 | 108.03 | 121.05 | 153.35 | 135.356 |
| Jun | 144.38 | 154.45 | 134.78 | 138.43 | 178.88 | 150.184 |
| Jul | 147.95 | 174 | 156.98 | 143.88 | 196.44 | 163.85 |
| Ago | 165.67 | 185.84 | 158.04 | 126.79 | 208.58 | 168.984 |
| Sep | 140.09 | 107.62 | 163.8 | 144.35 | 201.7 | 151.512 |
| Oct | 165.64 | 135.4 | 122.43 | 140.31 | 151.44 | 143.044 |
| Nov | 130.23 | 126.8 | 159.31 | 133.48 | 136.53 | 137.27 |
| Dic | 106.72 | 141.2 | 130.17 | 123.93 | 162.29 | 132.862 |
| Anual | 1675.27 | 1608.88 | 1562.52 | 1563.75 | 1879.18 | 1657.92 |

2) *Hora solar pico:* Para determinar la hora solar pico utilizamos la ecuación 3, se toma los valores obtenidos en la Tabla 4, en este caso el mes de enero, para el cual se divide la irradiación mensual entre 31 que es el número de días que cuenta dicho mes.

$$HSP = \frac{112.68}{31} \quad (12)$$

$$HSP = 3.63h \quad (13)$$

3) *Ángulo de inclinación óptimo:* Mediante la ecuación 4 se puede calcular la inclinación óptima del panel solar con lo cual se puede conseguir una mayor eficiencia del sistema solar.

$$\beta = 3.7 + 0.69 \times |-6.66| \quad (14)$$

$$\beta = 8.29^\circ \quad (15)$$

Evaluación del sistema fotovoltaico: El sistema fotovoltaico cubrirá el 20% de la demanda energética total. Lo que es equivalente a 553.8 kWh/día.

1) *Potencia del generador Fotovoltaico:* Con la ecuación 5 se puede encontrar la potencia que deberá suplir el generador fotovoltaico.

$$PGFV = \frac{553.8}{3.63} = 151.7W \quad (16)$$

2) *Selección del panel fotovoltaico:* Con la potencia del generador fotovoltaico seleccionamos el panel fotovoltaico a utilizar, la misma que consta de 1 panel seleccionado de la

marca ERA, modelo 200 W en la tabla 5 podemos ver su ficha técnica.

TABLA V
FICHA TÉCNICA PANEL SOLAR DE 200W, 12V MARCA ERA SOLAR

| Ficha técnica del Panel Fotovoltaico | |
|--|---------|
| Potencia máxima (Pmax) | 200W |
| Voltaje nominal (Vnom) | 12V |
| Voltaje en máxima potencia (Vpm) | 18.2V |
| Intensidad en máxima potencia (Ipm) | 11A |
| Voltaje en circuito abierto (Voc) | 22.7V |
| Intensidad por corto circuito (Isc) | 11.86A |
| Temperatura de operación nominal de la cédula (TNOCT) | 45°C |
| Coeficiente de temperatura potencia máxima (Coef. Temp. Pmax) | -0.38% |
| Coeficiente de temperatura voltaje en circuito abierto (Coef. Temp. Voc) | -0.295% |
| Coeficiente de temperatura intensidad por corto circuito (Coef. Temp. Isc) | 0.08558 |

Las especificaciones técnicas que se muestran están dadas en condiciones estándar de medida (STC) las mismas que se muestran a continuación.

Irradiancia solar de 1.000 [W/m²].

Temperatura de la célula fotovoltaica de 25 [°C].

Distribución espectral de 1,5 [AM].

Para el diseño de sistemas fotovoltaicos es necesario realizar una corrección en las especificaciones del panel fotovoltaico considerando condiciones reales las mismas que dependen de la ubicación geográfica del sistema fotovoltaico [27]. La corrección en las especificaciones técnicas se realiza utilizando las ecuaciones 17, 19 y 21.

- Variación de la potencia

$$\Delta P_{\max} = (T_{c_{\max}} - 25)^{\circ}C \cdot Coef \cdot T_{p_{\max}} \% / ^{\circ}C \quad (17)$$

$$\Delta P_{\max} = -11.92 \quad (18)$$

- Variación de voltaje

$$\Delta V_{0C} = (T_{c_{\min}} - 25)^{\circ}C \cdot Coef \cdot TV_{0C} \% / ^{\circ}C \quad (19)$$

$$\Delta V_{0C} = 3.54 \quad (20)$$

- Variación de corriente

$$\Delta I_{SC} = (T_{c_{\max}} - 25)^{\circ}C \cdot Coef \cdot I_{SC} \% / ^{\circ}C \quad (21)$$

$$\Delta I_{SC} = 2.67 \quad (22)$$

Se detalla en la tabla 6 las variaciones de acuerdo a la temperatura, con estos datos podremos obtener el número de paneles a usar.

TABLA VI
INFLUENCIA DE TEMPERATURA

| Influencia de temperatura | |
|---------------------------|---------|
| Temperatura de celda (Tc) | 56.38°C |

| | |
|---|---------|
| Variación de potencia (Var. Potencia) | 3.54% |
| Variación voltaje en circuito abierto (Var. Voc) | 2.67% |
| Variación intensidad por corto circuito (Var. Isc) | 176.15W |
| Voltaje en circuito abierto corregido (Voc Corregido) | 23.50V |
| Intensidad por corto circuito corregido (Isc corregido) | 12.18A |
| Voltaje en circuito abierto en paralelo (Voc en serie) | 23.50V |
| Intensidad por corto circuito en paralelo (Isc en paralelo) | 24.35A |

3) *Cálculo de número de paneles:* A través de estos datos obtenidos se puede calcular el número máximo de paneles conectables. A continuación, en la ecuación 23 se desarrolla el cálculo concerniente al número de paneles necesarios [20].

$$N^{\circ} \text{Paneles} = \frac{151.7W}{176.15W} \quad (23)$$

$$N^{\circ} \text{Paneles} = 0.8611 \quad (24)$$

$$N^{\circ} \text{Paneles} = 1 \quad (25)$$

4) *Determinación de regulador fotovoltaico:* Para determinar el regulador usamos la ecuación 26 [28]:

$$I_{\max} = N^{\circ} PP \cdot I_{SC} \quad (26)$$

Donde:

$N^{\circ} PP$: Numero de paneles fotovoltaicos

I_{SC} : Intensidad por corto circuito corregido

$$I_{\max} = 1(12.18A) = 12.18A \quad (27)$$

Para determinar la magnitud de la corriente del regulador reemplazamos el valor del Imax y del factor de seguridad en la ecuación 7.

$$I_{reg} = 12.18A(1.25) = 15.22A \quad (28)$$

TABLA VII
PARÁMETROS DE REGULADOR

| | |
|---------------------------|--------|
| Corriente máxima del G-FV | 12.18A |
| Factor de seguridad | 1.25 |
| Corriente regulador | 15.22A |
| Tensión de la batería | 24.00V |

Con resultado obtenido seleccionamos un regulador de las siguientes características técnicas: 24V y 20 A

5) *Determinación de inversor del sistema híbrido:* Conociendo el valor de la demanda energética total registrada en la tabla 2, tomamos este valor para seleccionar nuestro inversor, usando un factor de seguridad de 1.25 en la ecuación 8.

$$P_{inv} = 387 \times 1.25 \quad (29)$$

$$P_{inv} = 483.75W \quad (30)$$

TABLA VIII
INFLUENCIA DE TEMPERATURA

| | |
|---------------------------|---------|
| Potencia total de consumo | 387W |
| Factor de simultaneidad | 1.25 |
| Tensión del sistema | 24V |
| Potencia del inversor | 483.75W |

Con este resultado y con la tensión del sistema de 24V seleccionamos el inversor de marca Phoenix 24V /500 que se instalará al panel solar.

6) *Determinación de acumuladores:* Reemplazando los datos de la tabla 9 en la ecuación 9 obtenemos el valor de la capacidad del acumulador.

TABLA IX
SELECCIÓN DE ACUMULADORES

| | |
|-------------------------|-------------|
| Demanda energética | 553.8Wh/día |
| Tensión del sistema | 24V |
| Días de autonomía | 3.63 días |
| Profundidad de descarga | 0.70 |

$$\text{Capacidad}(Ah) = 131.85Ah \quad (31)$$

Para esta capacidad se determinan las cantidades de baterías en serie y en paralelo a utilizar con la ecuación 32.

TABLA X
SELECCIÓN DE ACUMULADORES

| | |
|-------------------------|----------|
| Tensión de la batería | 12V |
| Capacidad de la batería | 119.36Ah |

$$N^{\circ} \text{Baterías en serie} = \frac{C_{\text{sistema}}}{C_{\text{batería}}} \quad (32)$$

Donde:

C_{sistema} : Capacidad del sistema

$C_{\text{batería}}$: Capacidad de la batería

$$N^{\circ} \text{Baterías en serie} = 2 \quad (33)$$

D. Recurso energético eólico

Recurso energético solar: Para determinar el recurso energético solar se tomaron.

1) *Hallar las frecuencias absolutas y relativas de la velocidad del viento:* Con las velocidades obtenidas realizaremos nuestro cuadro de frecuencias.

TABLA XI
VALORES DE FRECUENCIA ABSOLUTA Y RELATIVA A LAS VELOCIDADES DE VIENTO

| Velocidad promedio (m/s) | Rango min. | Rango max. | Frecuencia absoluta | Frecuencia relativa | Frecuencia acumulada |
|--------------------------|------------|------------|---------------------|---------------------|----------------------|
|--------------------------|------------|------------|---------------------|---------------------|----------------------|

| | | | | | |
|----|----|----|------|-------|-------|
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0.000 | 0.000 |
| 2 | 1 | 2 | 13 | 0.007 | 0.007 |
| 3 | 2 | 3 | 15 | 0.008 | 0.015 |
| 4 | 3 | 4 | 295 | 0.161 | 0.177 |
| 5 | 4 | 5 | 1164 | 0.637 | 0.814 |
| 6 | 5 | 6 | 314 | 0.171 | 0.986 |
| 7 | 6 | 7 | 26 | 0.014 | 1.000 |
| 8 | 7 | 8 | 0 | 0.000 | 1.000 |
| 9 | 8 | 9 | 0 | 0.000 | 1.000 |
| 10 | 9 | 10 | 0 | 0.000 | 1.000 |
| 11 | 10 | 11 | 0 | 0.000 | 1.000 |
| 12 | 11 | 12 | 0 | 0.000 | 1.000 |
| 13 | 12 | 13 | 0 | 0.000 | 1.000 |
| 14 | 13 | 14 | 0 | 0.000 | 1.000 |
| 15 | 14 | 15 | 0 | 0.000 | 1.000 |

De la tabla 11 se conoce que el rango de velocidad de 4 a 5 m/s representa mayor número de repeticiones.

TABLA XII
VALORES DE GAMMA RESPECTO AL PARÁMETRO K

| k | $r_{\left(1+\frac{1}{k}\right)} = \frac{U}{c}$ | $r_{\left(1+\frac{1}{k}\right)}^k$ | G | $\frac{G}{r_{\left(1+\frac{1}{k}\right)}^k}$ |
|------|--|------------------------------------|----------|--|
| 1 | 1 | 1 | 1.002 | 100.2 |
| 1.25 | 0.961384 | 0.914978 | 0.915200 | 100.024 |
| 1.5 | 0.902745 | 0.857724 | 0.857333 | 99.954 |
| 1.6 | 0.896574 | 0.839727 | 0.839250 | 99.943 |
| 1.7 | 0.892244 | 0.823802 | 0.823294 | 99.938 |
| 1.8 | 0.889287 | 0.809609 | 0.909111 | 99.938 |
| 1.9 | 0.887363 | 0.796880 | 0.796421 | 99.942 |
| 2.0 | 0.886227 | 0.785398 | 0.785000 | 99.949 |
| 2.1 | 0.885694 | 0.774989 | 0.774667 | 99.958 |
| 2.2 | 0.885625 | 0.765507 | 0.765273 | 99.969 |
| 2.3 | 0.885915 | 0.756835 | 0.756696 | 99.981 |
| 2.4 | 0.886482 | 0.748873 | 0.748833 | 99.995 |
| 2.5 | 0.887264 | 0.741535 | 0.741600 | 100.009 |
| 3.0 | 0.892979 | 0.712073 | 0.712667 | 100.083 |
| 3.5 | 0.899747 | 0.690910 | 0.692000 | 100.158 |
| 4.0 | 0.906402 | 0.674970 | 0.676500 | 100.227 |

Con ayuda de la Tabla 12 de valores de gamma respecto al parámetro k, hallamos la velocidad media mediante la ecuación 34.

$$r_{\left(1+\frac{1}{k}\right)} = \bar{U} \quad (34)$$

Teniendo en cuenta además la expresión analítica tomada del libro Introducción a la energía eólica del autor Linsey podemos aproximar valores de gamma que no se encuentren en la Tabla 12 [29].

$$G = 0.568 + \frac{0.434}{k} \quad (35)$$

2) *Análisis y evaluación de la distribución de Weibull del recurso eólico:* A continuación, se utiliza el método de regresión lineal como podemos ver en la ecuación 36.

$$\ln(-\ln(1-f(v))) = k \ln(v) - k \ln c \quad (36)$$

De acuerdo a los valores de frecuencia acumulada según la tabla 13. Reemplazamos los valores en la Tabla 12. Y damos forma a la ecuación 37 que es la ecuación de la recta

$$y = kx + b \quad (37)$$

Donde:

$$y = \ln(-\ln(1-f(v)))$$

$$x = \ln(v)$$

$$b = -k \ln c$$

Con el cual se puede obtener los dos parámetros k y b por regresión, se trata de un método gráfico [30].

TABLA XIII
VALORES DE FRECUENCIA ABSOLUTA

| Velocidad promedio (m/s) | Frecuencia acumulada | $\ln(V_p)$ | $\ln(-\ln(1-f(v)))$ |
|--------------------------|----------------------|------------|---------------------|
| 0.5 | 0.000 | -0.693 | 0.000 |
| 1.5 | 0.007 | 0.405 | -4.942 |
| 2.5 | 0.015 | 0.916 | -4.171 |
| 3.5 | 0.177 | 1.253 | -1.637 |
| 4.5 | 0.814 | 1.504 | 0.520 |
| 5.5 | 0.986 | 1.705 | 1.447 |
| 6.5 | 1.000 | 1.872 | 0.000 |
| 7.5 | 1.000 | 2.015 | 0.000 |

Luego de determinar los valores de frecuencia acumulada de acuerdo a la velocidad promedio, trasladamos los datos al software Excel para crear una gráfica de dispersión lineal la cual nos arroja la siguiente ecuación lineal de donde obtendremos los valores de k y b.

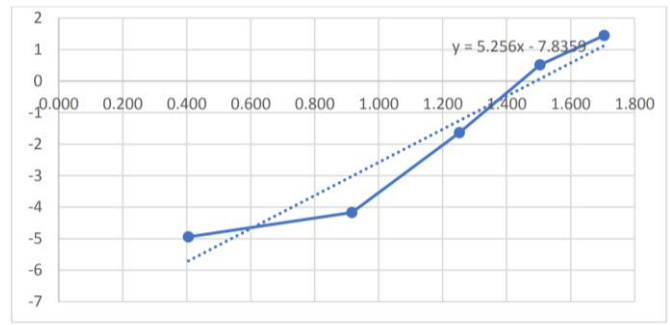


Fig. 2 Gráfica de dispersión lineal de los valores de la frecuencia acumulada

Del gráfico: Se obtiene la ecuación 38.

$$y = 5.256x - 7.8359 \quad (38)$$

La cual igualamos a la ecuación de la recta: $y = -kx + b$

Donde:

$$b = -7.8359$$

$$k = 5.256$$

Con los parámetros k y b hallamos el parámetro de escala c mediante la ecuación 39

$$c = e^{-b/k} \quad (39)$$

$$c = e^{-(-7.8359)/5.256} \quad (40)$$

$$c = 4.44 \text{ m/s} \quad (41)$$

Reemplazamos el valor del parámetro k = 5.256 en la ecuación 42 de la expresión analítica según Lysen:

$$G = 0.568 + \frac{0.434}{k} \quad (42)$$

$$G = 0.65057 \quad (41)$$

a cual nos da el valor aproximado de $r_{\left(1+\frac{1}{k}\right)}^k$ como se

puede ver en la ecuación 43

$$G = r_{\left(1+\frac{1}{k}\right)}^k = \left(\frac{\bar{U}}{c}\right)^k = 0.65057 \quad (43)$$

$$r_{\left(1+\frac{1}{k}\right)}^k = \frac{\bar{U}}{c} = 0.92146 \quad (44)$$

Obtenemos que el valor de la función gamma es 0.92146 la cual reemplazamos en la ecuación 45 dando como resultado el valor de la velocidad media:

$$\bar{U} = 4.1 \text{ m/s} \quad (45)$$

Con el dato de velocidad media se determinó que es el potencial eólico en la zona.

Evaluación del sistema eólico:

1) *Selección del aerogenerador y el factor de capacidad:*

En este estudio utilizaremos el aerogenerador de marca HUMMER, modelo H 2.7 – 500. Con ayuda de su curva de potencia a velocidades de 1 a 20 m/s y la probabilidad de

velocidades de viento presentes se determina el valor del factor de capacidad como se puede ver en la tabla 14, dando como resultado 38.98%, el cual es un porcentaje adecuado para seleccionar el aerogenerador HUMMER H.2.7-500.

TABLA XIV
CÁLCULO DE FACTOR DE CAPACIDAD DEL AEROGENERADOR SELECCIONADO

| Velocidad de viento (m/s) | Potencia (kW) | Probabilidad (%) | Horas (h/año) | Densidad de potencia (kW) | Densidad de energía (kWh/año) | Factor de capacidad (%) |
|---------------------------|---------------|------------------|---------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 1.0 | 0.00 | 0.00% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 2.0 | 0.00 | 0.71% | 62.33 | 0.00 | 0.00 | |
| 3.0 | 0.03 | 0.82% | 71.92 | 0.00 | 2.16 | 38.98% |
| 4.0 | 0.10 | 16.15% | 1414.45 | 0.02 | 141.44 | |
| 5.0 | 0.18 | 63.71% | 5581.08 | 0.11 | 1004.60 | |
| 6.0 | 0.33 | 17.19% | 1505.55 | 0.06 | 496.83 | |
| 7.0 | 0.50 | 1.42% | 124.66 | 0.01 | 62.33 | |
| 8.0 | 0.63 | 0.00% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 9.0 | 0.78 | 0.00% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 10.0 | 0.90 | 0.00% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 11.0 | 1.00 | 0.00% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 12.0 | 0.95 | 0.00% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 13.0 | 0.92 | 0.00% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 14.0 | 0.88 | 0.00% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 15.0 | 0.83 | 0.00% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 16.0 | 0.74 | 0.00% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 17.0 | 0.67 | 0.00% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 18.0 | 0.65 | 0.00% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 19.0 | 0.55 | 0.00% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 20.0 | 0.50 | 0.00% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |

2) Hallar el potencial eólico: Reemplazamos la velocidad media en la fórmula de Potencial eólico que es la ecuación 11

$$P_{eólico} = \frac{1}{2} \times 1.225 \times 4.1^3 \times \pi \times 1.25^2 \quad (46)$$

$$P_{eólico} = 207.21W \quad (47)$$

Donde:

V: Velocidad promedio del viento

r: radio de aerogenerador

ρ : densidad del aire

Con el resultado de potencial eólico de la zona de estudio y estimando que la velocidad media se mantendrá a lo largo de

24 horas en el día, obtenemos la energía generada en un año con la ecuación 48.

$$E_{aerogenerador} = P_{eólico} \times t \quad (48)$$

Donde:

$E_{aerogenerador}$: Energía del aerogenerador

t: tiempo

$$E_{aerogenerador} = 207.2 \times 24h$$

$$E_{aerogenerador} = 4973.23Wh / día$$

$$E_{aerogenerador} = 1815.26kWh / año$$

Para el sistema híbrido se selecciona un aerogenerador de baja potencia que pueda generar energía con bajas velocidades de viento y que posee una velocidad de arranque baja, teniendo en cuenta que nuestra velocidad media obtenida es de 4.1 m/s. Por tal motivo el aerogenerador seleccionado es de potencia nominal de 500W.

Generación eléctrica del sistema híbrido: Calculamos la generación del sistema fotovoltaico por mes y año en kWh como se puede ver en la tabla 15.

TABLA XV
GENERACIÓN DE ENERGÍA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO

| Mes | Irradiación (kWh/m2/mes) | HSP(h) | Potencia de generador (W) | Gen. Mes(kWh/mes) |
|-----|--------------------------|--------|---------------------------|-------------------|
| Ene | 112.68 | 3.65 | 640.28 | 19.85 |
| Feb | 114.822 | 4.10 | 722.36 | 20.23 |
| Mar | 124.368 | 4.01 | 706.70 | 21.91 |
| Abr | 122.988 | 4.10 | 722.15 | 21.66 |
| May | 135.356 | 4.37 | 769.13 | 23.84 |
| Jun | 150.184 | 5.01 | 881.84 | 26.46 |
| Jul | 163.85 | 5.29 | 931.04 | 28.86 |
| Ago | 168.984 | 5.45 | 960.22 | 29.77 |
| Sep | 151.512 | 5.05 | 889.63 | 56.69 |
| Oct | 143.044 | 4.61 | 812.82 | 25.20 |
| Nov | 137.27 | 4.58 | 806.01 | 24.18 |
| Dic | 132.862 | 4.29 | 754.96 | 23.40 |
| | | | TOTAL AÑO | 292.05 |

La energía de salida de los paneles fotovoltaicos a lo largo de un año es 292.05 kWh/año y la energía de salida del aerogenerador es 1,815.23kWh/año, lo cual nos da una energía de salida total de 2,107.28 kwh/año que viene a ser la energía total que nos brinda el sistema híbrido cuando este funciona a plena carga.

Al comparar la energía de salida total con la energía que se necesita para cubrir la demanda, existe una diferencia la

misma que cubrirá las necesidades de energía cuando la velocidad del viento se encuentre menor al promedio anual y cuando la radiación sea baja. De los cálculos realizados de nuestra investigación, se determinó que se requiere de 1 panel fotovoltaico marca Era modelo 200W 12V y 1 aerogenerador marca Hummer modelo H2.7-500W

IV. CONCLUSIONES

Se determinó la ubicación óptima de los paneles solares, del aerogenerador, las baterías considerando la ubicación demográfica de las 12 viviendas logrando el buen funcionamiento del sistema en el anexo Quebrada Honda.

Se utilizó datos reales siendo la radiación menor 112.68 kWh/m²/mes y la velocidad 4.1 m/s de la zona, asegurando que el diseño es viable. Con ellos queda demostrado que el potencial eólico y solar cubre la demanda de energía necesaria para la electrificación rural en el anexo Quebrada Honda.

De los cálculos realizados, se determinó que para la implementación del sistema híbrido es necesario 1 panel fotovoltaico marca Era modelo 200W 12V, 1 aerogenerador marca Hummer modelo H2.7-500W y 2 baterías.

REFERENCES

- [1] R. Saraswat and S. S., "Optimum Scheduling of Isolated Hybrid Renewable Energy System - A Case Study using HOMER," *J. Environ. Anal. Toxicol.*, vol. 07, no. 06, 2017.
- [2] Anggara Trisna Nugraha and D. Priyambodo, "Prototype Hybrid Power Plant of Solar Panel and Vertical Wind Turbine as a Provider of Alternative Electrical Energy at Kenjeran Beach Surabaya," *J. Electron. Electromed. Eng. Med. Informatics*, vol. 2, no. 3, pp. 108–113, 2020.
- [3] N. Bahri and W. Ouled Amor, "Intelligent power supply management of an autonomous hybrid energy generator," *Int. J. Sustain. Eng.*, vol. 12, no. 5, pp. 312–332, 2019.
- [4] E. Bakhtiar, A. Naeimi, A. Behbahaninia, and G. Pignatta, "Size Optimization of a Grid-Connected Solar-Wind Hybrid System in Net Zero Energy Buildings: A Case Study," p. 12, 2022.
- [5] K. Babaremu *et al.*, "Overview of Solar-Wind Hybrid Products: Prominent Challenges and Possible Solutions," *Energies*, vol. 15, no. 16, 2022.
- [6] Y. Yang, Q. Wei, S. Liu, and L. Zhao, "Distribution Strategy Optimization of Standalone Hybrid WT/PV System Based on Different Solar and Wind Resources for Rural Applications," *Energies*, vol. 15, no. 14, 2022.
- [7] H. Nabsbey, E. Budi, and A. S. Budi, "Hybrid power plant development (a combination of wind and solar energy) as an alternative energy to faculty of mathematics and natural sciences universitas negeri Jakarta," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2320, 2021.
- [8] A. F. Altun and M. Kılıç, "Dynamic Simulation of a Pv/Wind Hybrid Power Generation System: Case Study of Bursa Province," *Uludağ Univ. J. Fac. Eng.*, vol. 24, no. 2, pp. 571–582, 2019.
- [9] M. H. Ibrahim and M. A. Ibrahim, "Solar-wind hybrid power system analysis using homer for Duhok, Iraq," *Prz. Elektrotechniczny*, vol. 2021, no. 9, pp. 139–143, 2021.
- [10] S. Kalogirou, *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*. 2014.
- [11] O. S. Alzaid, B. Salim, J. Orfi, S. Khan, and H. Alshehri, "Hybrid Solar and Wind Power Generation in Saudi Arabia," *Energy Environ. Res.*, vol. 10, no. 2, p. 25, 2020.
- [12] N. M. Rasool, S. Abbasoglu, and M. Hashemipour, "Analysis and optimizes of hybrid wind and solar photovoltaic generation system for off-grid small village," *J. Energy Syst.*, vol. 6, no. 2, pp. 176–187, 2022.
- [13] A. Compaore, B. Ouedraogo, K. Haro, R. W. Ouedraogo, Y. Belem, and O. Sanogo, "Study Optimization of a Hybrid Solar-Wind System from an Individual in Ouagadougou," *Open J. Appl. Sci.*, vol. 12, no. 11, pp. 1796–1808, 2022.
- [14] P. A. Guanilo Esteves, "Diseño de un sistema de generación híbrido para suministrar energía eléctrica al fundo 'Alexis', Pacasmayo-La Libertad-2019," Universidad César Vallejo, 2020.
- [15] M. Pajares Espejo, "Generación Híbrida De 2Kw Para El Centro Poblado Laguna Huanama En El Distrito De Salas," Universidad Señor de Sipán, 2017.
- [16] R. F. Guerra Guevara, "Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo para la embarcación de descarga de anchoveta Chata DC-3," Universidad de Piura, 2021.
- [17] L. F. Vega Saavedra, "Determinación del impacto técnico- económico de la generación distribuida con energía solar en usuario industrial Piladora Nuevo Horizonte s.a.c." Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2022.
- [18] G. Nieto Vera and D. Ramos Morocho, "Implementación de un módulo para el análisis de la trayectoria solar en paneles fotovoltaicos," Universidad Politécnica Salesiana, 2021.
- [19] A. K. Rodríguez Manrique, Á. I. Cadena Monroy, and A. J. Aristizábal Cardona, "Diseño de sistemas de energía solar fotovoltaica para usuarios residenciales en Chía, Cundinamarca," *Rev. Mutis*, vol. 5, no. 1, pp. 55–65, 2015.
- [20] B. A. Montalban García, "Propuesta de Integración de un Sistema de Generación Distribuida en la Empresa Aldur Nutripellet para Determinar los Efectos Técnicos en la Red de Media Tensión," Universidad Católica Santo Toribio de Mongrovejo, 2021.
- [21] V. H. Chiluita, "Implementación De Un Sistema Fotovoltaico Para Abastecer De Enería a Un Sector Rural Del Golfo De Guayaquil Mediante El Análisis De Carga Y Simulación Por Software," Universidad Politécnica Salesiana, 2022.
- [22] E. Díaz Guevara, "Diseño de un Sistema Fotovoltaico Aislado para Suministro Eléctrico a una Vivienda Unifamiliar en el Caserío Nuevo Valle, Distrito Sorito, Provincia Moyobamba - San Martín," Universidad Politécnica Amazónica, 2022.
- [23] J. A. Gonzalez, "Optimización geométrica de una tobera ubicada en túnel como sistema de aporte de energía mediante 'Ansys Fluent Adjoint Solver,'" Universidad de Jaén, 2017.
- [24] E. A. Guerrero, F. Sotelo, and J. Lopez, "Calculation of wind potential in the La Joya Sector. Arequipa, Peru," *Proc. LACCEI Int. Multi-conference Eng. Educ. Technol.*, 2020.
- [25] J. Castañeda, E. Cadenas, E. Rangel, and G. Domínguez, "Energía eólica en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. (UMSNH). México," *Cienc. Nicolaita*, vol. 73, pp. 78–95, 2018.
- [26] J. Buenaños, "REVISIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y ELABORACIÓN DEL PROTOCOLO DE MEDIDA Y MONITOREO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN EÓLICA DE BAJA VELOCIDAD," UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA, 2015.
- [27] J. Angamarca and R. Guevara, "DISEÑO DE MICROGENERACIÓN FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED PARA EL SUMINISTRO ELÉCTRICO DE LOS CENTROS OPERATIVOS Y AGENCIAS DE LA EEQ UBICADOS AL NOROCCIDENTE Y SUR DE LA CIUDAD DE QUITO," Escuela Politécnica Nacional, 2020.
- [28] R. Fajardo, "Dimensionamiento De Una Red Experimental De 5 Kw De Salida," Universidad de Ibagué, 2019.
- [29] E. . Lysen, *Introduction to Wind Energy*. The Netherlands: Wind Energy Developing Countries, 1983.
- [30] C. Herrera, "Estudio de la velocidad del viento: análisis espacial y ajuste a una función de distribución," Universidad de Valladolid, 2016.