

# Calculation of Wind Potential in the La Joya Sector. Arequipa, Peru

Eduardo A. Guerreros-Valdivia, Ingeniero<sup>1</sup>, Freedy Sotelo-Valer, Doctor<sup>2</sup>, Jorge Lopez-Cordova, Maestro<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional del Callao, Perú, eduguerreros@gmail.com

<sup>2</sup>Universidad Ricardo Palma, Perú, fresov@hotmail.com

<sup>3</sup>Universidad Ricardo Palma, Perú, jorgelopez024@gmail.com

*Abstract— This work shows the data obtained during the years from 2005 to 2008 and from 2013 to 2018, from the meteorological station of the Peruvian Air Force, with the objective of show the wind potential in the La Joya district, in the Department of Arequipa. It is also sought that the methodology and results obtained serve as a reference for future wind farm projects in the region and in general in our Country.*

*Keywords—Weibull distribution, wind energy, weather station, renewable energy*

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.317>  
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

# Cálculo del Potencial Eólico en el Sector de La Joya. Arequipa - Perú

Eduardo A. Guerreros-Valdivia, Ingeniero<sup>1</sup>, Freedy Sotelo-Valer, Doctor<sup>2</sup>, Jorge Lopez-Cordova, Maestro<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional del Callao, Perú, eduguerreros@gmail.com

<sup>2</sup>Universidad Ricardo Palma, Perú, fresov@hotmail.com

<sup>3</sup>Universidad Ricardo Palma, Perú, jorgelopez024@gmail.com

**Resumen**– En este trabajo se muestran los datos obtenidos durante los años del 2005 al 2008 y del 2013 al 2018, de la estación meteorológica de la Fuerza Aérea del Perú, teniendo como objetivo mostrar el potencial eólico en el distrito de La Joya, en el Departamento de Arequipa. Se busca también, que la metodología y resultados obtenidos sirvan como referencia para futuros proyectos de parques eólicos en la región y en general en nuestro País.

**Palabras Claves**– Distribución Weibull, energía eólica, estación meteorológica, energías renovables.

## I. INTRODUCCIÓN

Las Pampas de La Joya, están ubicadas hacia el oeste de la ciudad de Arequipa a una distancia aproximada de 65 kilómetros y una altura entre los 1169 a 1665 metros sobre el nivel del mar. Geográficamente se encuentra entre Arequipa, el Océano Pacífico, y los valles de Tambo, Vitor, Quilca y Sigwas. La Fig. 1, muestra una imagen satelital del lugar [1].



Fig. 1 Imagen satelital de las Pampas de La Joya, Arequipa, Perú.

Este trabajo, presenta una estimación en base a datos meteorológicos obtenidos del potencial eólico en La Joya, haciendo uso de fórmulas y estadística de descripción de parámetros del viento, mediante la distribución de Weibull, para la caracterización del potencial energético del viento.

Se han realizado estudios [2] a nivel de estimación de potencial eólico con énfasis en distribución de Weibull y parámetros meteorológicos, sin embargo; en el lugar elegido, faltan mediciones in-situ, sobre en todo en la región costa, esto debido a que el mapa eólico nacional [3] solo puede ser usado como referencia, más no como una herramienta para diseño y construcción de parques eólicos. El año 2016 el Ministerio de

Energía y Minas del Perú dispuso la medición de velocidades del viento a 50, 80 y 100 metros de altura.

## II. ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO

Se revisaron los requerimientos de datos meteorológicos para una adecuada evaluación del recurso, por tanto; el dimensionamiento y evaluación de sistemas de conversión de energía eólica para generación eléctrica, bombeo de agua y otros usos potenciales.

### A. Datos meteorológicos

**Velocidad de viento promedio anual.** Parámetro estimado por un período largo para ser utilizado como una primera indicación de la viabilidad.

**Variaciones Estacionales.** Normalmente se presentada como promedios mensuales de velocidad de viento, pero es importante para estimar la variación estacional de entrega de energía y así determinar el mes de diseño crítico.

**Variaciones Diurnas.** Pueden tener influencia en la viabilidad de uso de la energía eólica.

Un lugar donde la intensidad del viento es baja durante 16 horas al día, pero presenta vientos de 6 m/s las restantes 8 horas del día, una aplicación eólica puede ser económicamente viable. En otro caso puede ser que a lo largo de las 24 horas del día se registran vientos menores a los 2 m/s, en los dos casos presentados, la velocidad promedio diaria no excede los 2 m/s. Datos sobre borrascas y vientos de muy alta intensidad son necesarios para determinar las máximas velocidades de viento en las cuales cualquier equipo de conversión de energía eólica puede ser capaz de aguantar sin presentar daño.

**Períodos de Calma.** Períodos de baja intensidad del viento para determinar las dimensiones de elementos como baterías o tanques de almacenamiento de agua para suplir suministro de energía cuando el equipo eólico no esté en operación.

**Distribución de frecuencia de velocidades de viento.** Para un estimado adecuado de la probable producción de energía de cualquier equipo eólico.

### B. Fuentes de datos

Una fuente primaria de información se usó registros de viento del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) [4] y la Dirección de Meteorología (DIRMA-FAP). Generalmente la información eólica en los grupos aéreos y aeropuertos son recolectados a 1,20 metros de altura sobre la superficie, por lo que es necesario recolectar

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.339>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

datos por lo menos durante un año, para una prospección con cierta certidumbre.

### C. Potencial eólico en parte del Sur del Perú

El recurso eólico con resolución de 1 Km sobre el territorio del Perú ha permitido identificar las zonas más apropiadas para estudiar la explotación de la energía eólica.

Hacia el interior, zonas con abundante recurso eólico se reducen a algunas áreas próximas a la cordillera de los Andes. El departamento de Puno es el que tiene una mayor extensión de terreno con viento anual superior a 4 m/s, llegando incluso a superar los 5 m/s en varios sistemas montañosos y en la orilla norte del lago Titicaca [5].

Para filtrar las zonas con potencial eólico suficiente, se ha calculado la producción en cada uno de los puntos simulados sobre tierra con un generador estándar de 2 MW de potencia nominal y 80 m de diámetro de rotor a la altura de 80 m sobre el suelo.

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. Si se expresa matemáticamente, el factor de capacidad es cociente entre la potencia media producida y la potencia nominal del aerogenerador.

Para el cálculo de la potencia total se ha considerado dentro del territorio disponible a cada uno de los nodos de simulación, de 1x1 Km, que presentan un factor de capacidad bruto igual o superior al 20%. El valor de corte para realizar la selección depende de la retribución de la energía en la zona en cuestión; en este caso, se ha seleccionado un valor bastante orientativo en países en que el sector está desarrollado.

La última suposición en el cálculo es el número de aerogeneradores de las características supuestas que razonablemente pueden ubicarse en cada recuadro de 1 Km<sup>2</sup> de la simulación. Una referencia de número de aerogeneradores es de 3, pero geoméricamente podrían caber 4. En la realidad las instalaciones sobre el terreno tienen otros condicionantes, (variaciones del viento dentro del punto de rejilla, dificultades orográficas, etc.), por lo que la cifra real se reduce. Por lo tanto, en cada nodo se puede instalar 6 MW.

Con estos supuestos, se ha estimado la potencia eólica total del Perú en algo más de 77000 MW, sin considerar zonas off-shore (en el mar), distribuida como aparece en la Tabla VI.

Se considera potencia aprovechable a la fracción del total que es realizable a nivel teórico por no existir impedimentos prácticos. En un estudio de micro-escala del nivel de un parque eólico, el número de estos impedimentos es muy grande. Algunos condicionantes, para no tomar en cuenta algunas zonas:

- Altitud igual o superior a 3000 m.s.n.m.
- Pendiente mayor al 20%.
- Centro poblado o casco urbano de una ciudad.
- Zona protegida o restringida.
- Existir en la zona ríos, quebradas o lagos.

Aplicando este filtrado, se obtiene un valor del potencial eólico aprovechable del Perú superior a los 22000 MW, distribuido como se muestra en la Tabla VI.

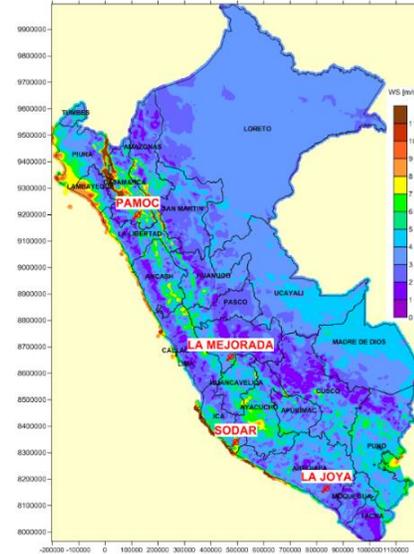


Fig. 2. Estaciones de Medición que se han implementado a partir del 2016, por el MINEN [6] en el cual se incluye a La Joya.

Las restricciones reales suelen ser superiores a las que se hacen en un estudio teórico, tales como; vías de comunicación, infraestructura eléctrica a futuro. Muchas veces el coste es tan elevado que no se llevan a cabo, por lo tanto; la cifra obtenida puede considerarse más un límite superior que un valor realista del potencial realizable.

En la Fig. 2, se observa que recién a partir del 2016, el Ministerio de Energía y Minas, implemento estaciones de medición a 50, 80 y 100 metros de altura, en cual está incluida la estación de La Joya - Arequipa [3].

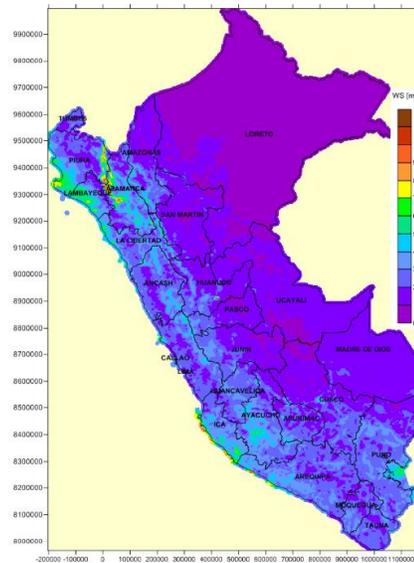


Fig. 3 Velocidad media anual del viento a 10 metros de altura [3], en La Joya Arequipa.

En la Fig. 3, se aprecia la velocidad media anual del viento a 10 m de altura [3], donde para La Joya es de 4 m/s.

**D. Datos Meteorológicos de La Joya del 2006 al 2008**

Inicialmente se utilizaron datos recolectados del División Meteorología de la FAP en la Joya [6], la lectura de datos meteorológicos entre los años 2006 al 2008 la velocidad del viento tiene un promedio de 4 m/s llegando hasta 5,49 m/s, como se muestra en el histograma de la Fig. 4 y en la Tabla I.

También, se recopilamos datos meteorológicos promedios de 10 años de 1983 a 1993 del portal de la NASA (Surface Meteorology and Solar Energy) [7], a una distancia de 10 y 50 metros, como se muestra en la Tabla II.

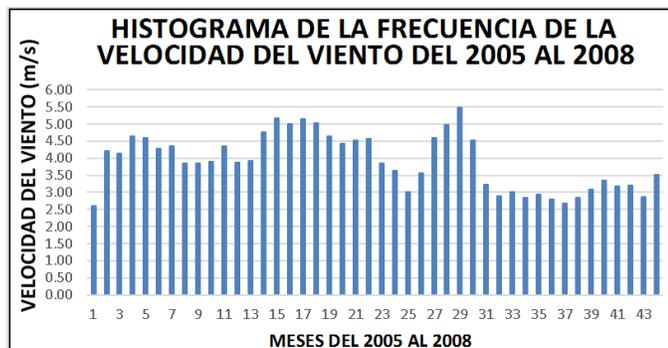


Fig. 4. Histograma de la Velocidad del Viento del 2005 al 2008

TABLA I  
DATOS METEOROLÓGICOS DEL 2006 AL 2008

| Año               | Mes        | Temp.Prom. °C |       | Dirección Viento | Velocidad Prom. (m/s) |
|-------------------|------------|---------------|-------|------------------|-----------------------|
|                   |            | Min           | Max   |                  |                       |
| 2006              | Enero      | 13.84         | 25.57 | 176.9            | 7.94                  |
|                   | Febrero    | 13.88         | 26.6  | 158.92           | 6.99                  |
|                   | Marzo      | 13.21         | 25.33 | 169.32           | 7.19                  |
|                   | Abril      | 12.24         | 25.12 | 146.35           | 7.32                  |
|                   | Mayo       | 9.65          | 25.45 | 52.26            | 8.13                  |
|                   | Junio      | 9.12          | 25.65 | 157.27           | 7.13                  |
|                   | Julio      | 9.73          | 25.28 | 161.55           | 7.54                  |
|                   | Agosto     | 6.68          | 22.66 | 165.61           | 9.01                  |
|                   | Septiembre | 10.15         | 24.61 | 166.8            | 9.04                  |
|                   | Octubre    | 11.33         | 25.81 | 182.19           | 9.19                  |
|                   | Noviembre  | 11.33         | 25.65 | 190.13           | 9.51                  |
|                   | Diciembre  | 11.66         | 24.68 | 174.71           | 9.3                   |
| <b>Prom.Anual</b> |            |               |       | <b>8.19</b>      |                       |
| 2007              | Enero      | 13.8          | 25.25 | 186.01           | 8.95                  |
|                   | Febrero    | 13.82         | 25.89 | 165.31           | 8.19                  |
|                   | Marzo      | 13.89         | 26.31 | 155.42           | 8.18                  |
|                   | Abril      | 11.86         | 25.36 | 156.73           | 8.77                  |
|                   | mayo       | 8.78          | 25.6  | 156.97           | 7.26                  |
|                   | junio      | 6.26          | 23.24 | 165.13           | 6.73                  |
|                   | Julio      | 6.89          | 24.16 | 169.42           | 5.46                  |
|                   | Agosto     | 8.04          | 25.18 | 156.56           | 6.84                  |
|                   | Septiembre | 9.17          | 24.77 | 173.89           | 8.71                  |
|                   | Octubre    | 9.34          | 25.38 | 185.03           | 9.14                  |
|                   | Noviembre  | 12            | 25.45 | 193.53           | 10.44                 |
|                   | Diciembre  | 12.65         | 25.79 | 173.29           | 8.59                  |
| <b>Prom.Anual</b> |            |               |       | <b>8.11</b>      |                       |
| 2008              | Enero      | 13.8          | 25.25 | 162.9            | 6.1                   |
|                   | Febrero    | 13.82         | 25.89 | 147.86           | 5.47                  |
|                   | Marzo      | 13.89         | 26.31 | 137.7            | 5.7                   |

|      |                   |       |       |        |             |
|------|-------------------|-------|-------|--------|-------------|
| 2008 | Abril             | 11.86 | 25.36 | 142    | 5.39        |
|      | Mayo              | 8.78  | 25.6  | 152.71 | 5.59        |
|      | Junio             | 6.26  | 23.24 | 165.64 | 5.39        |
|      | Julio             | 6.89  | 24.16 | 155.61 | 5.1         |
|      | Agosto            | 8.04  | 25.18 | 163.23 | 5.34        |
|      | Septiembre        | 9.17  | 24.77 | 161.27 | 5.84        |
|      | Octubre           | 9.34  | 25.38 | 158.65 | 6.19        |
|      | Noviembre         | 12    | 25.45 | 162.87 | 6.04        |
|      | Diciembre         | 12.65 | 25.79 | 164.65 | 5.99        |
|      | <b>Prom.Anual</b> |       |       |        | <b>5.68</b> |

TABLA II  
DATOS PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL

| Mes             | Velocidad (m/s) |             |
|-----------------|-----------------|-------------|
|                 | a 10 mts        | a 50 mts    |
| Enero           | 3.89            | 4.55        |
| Febrero         | 4.92            | 5.75        |
| Marzo           | 5.3             | 6.2         |
| Abril           | 5.15            | 6.02        |
| Mayo            | 5.33            | 6.23        |
| Junio           | 7.24            | 8.47        |
| Julio           | 8.37            | 9.79        |
| Agosto          | 0.75            | 9.07        |
| Septiembre      | 5.17            | 6.05        |
| Octubre         | 3.98            | 4.65        |
| Noviembre       | 4.17            | 4.88        |
| Diciembre       | 3.96            | 4.63        |
| <b>Promedio</b> | <b>5.44</b>     | <b>6.36</b> |

**E. Datos Obtenidos de la Web**

Se accedió a información del atlas global eólico, mediante el enlace: <https://globalwindatlas.info/> [8], desarrollada para ayudar a los formuladores de políticas e inversores a identificar posibles áreas de viento fuerte para generación de energía eólica y realizar cálculos preliminares. Facilita consultas en línea y proporciona datos de entrada y metodologías de modelado.

Se puede descargar mapas de alta resolución del potencial de recursos eólicos globales, regionales y nacionales. Estos datos y la metodología que será disponible en Global Wind Atlas, en las secciones de Metodología y Conjuntos de datos.

Para la zona de estudio, se aprecian datos a alturas de 200, 100 y 50 metros; se aprecia densidad de potencia media ( $W/m^2$ ), y la densidad media de potencia de 10 ventoso para la región seleccionada, tal como se pueden apreciar en, Fig. 5, Fig. 6 y Fig. 7.

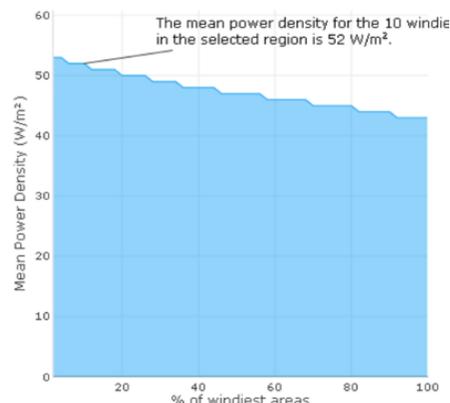


Fig. 5 Datos de .....a 200 metros (a)????

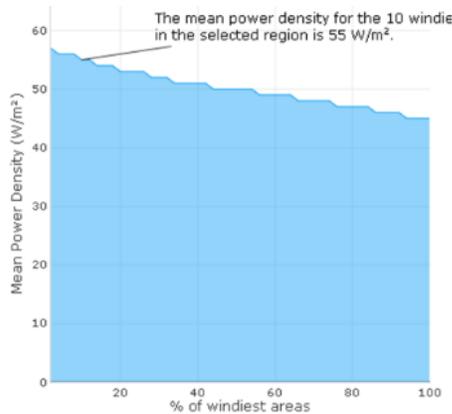


Fig. 6 Datos de ..... a 100 metros

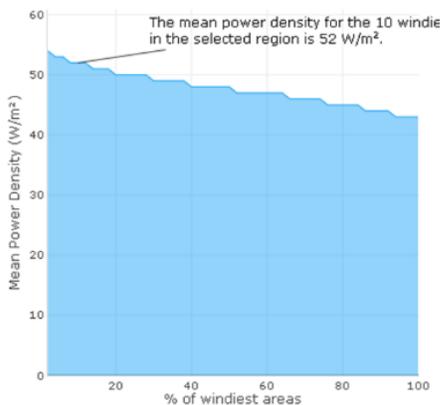


Fig. 7 Datos de .... a 50 metros

Por no ser mediciones reales, se aplicó extrapolación de datos, para obtener más velocidades de viento, obtener promedios anuales y velocidades mínimas y máximas.

No se registraron valores en La Joya de 14:00 a 18:00 horas, entonces a los valores promedio se aplicó extrapolación. Se verifica que la mayor magnitud de la velocidad de viento promedio mensual, es la medida a 50 metros de altura.

Finalmente se obtiene la velocidad promedio de 5,5 m/s, y se estima una producción mensual de 80 KW-h de potencia para la velocidad promedio de 5,5m/s.

Para el estudio de factibilidad de instalación de un aerogenerador se utilizó la escala de Beaufort, mostrada en la Tabla III que indica las características de incidencia del viento en la tierra. En la Tabla IV se observa las relaciones generales de uso de viento como fuente de energía y en la Tabla V las densidades de potencia correspondientes a cada velocidad.

TABLA III  
ESCALA DE BEAUFORT PARA LA INTENSIDAD DEL VIENTO

| Número Beaufort | Velocidad del viento (m/s) | Efectos observados en tierra   |
|-----------------|----------------------------|--|
| 0               | 0 - 0.2                    | Calma, humo asciende verticalmente                                   |
| 1               | 0.3 - 1.5                  | El humo indica la dirección del viento, aspas de molino no se mueven |

|   |             |  |
|---|-------------|--|
| 2   | 1.6 - 3.3   | Se siente el viento en la cara; se mueven las hojas de los árboles; aspas de molinos se empiezan a mover |
| 3   | 3.4 - 5.4   | Hojas y ramas pequeñas se mueven constantemente; banderas livianas se extienden                          |
| 4   | 5.5 - 7.9   | Polvo, hojas y papel en el piso se levanta; ramas se mueven  |
| 5   | 8.0 - 10.7  | Pequeños árboles comienzan bambolear   |
| 6   | 10.8 - 13.8 | Ramas grandes de los árboles en movimiento, silbido emana de cuerdas                                     |
| 7   | 13.9 - 17.1 | Todo el árbol se mueve; resistencia fuerte al caminar contra el viento                                   |
| 8   | 17.2 - 20.7 | Ramitas y ramas de los árboles se rompen; caminar es difícil   |
| La escala de Beaufort va hasta el número 17 se indican velocidades de viento hasta de 60 m/s. |             |  |

TABLA IV  
DENSIDAD DE POTENCIA DE ACUERDO A LAS VELOCIDADES DEL VIENTO

| Velocidad del viento (m/s)   | Densidad de potencia (w/m) |
|--|----------------------------|
| 0  | 0                          |
| 1  | 0.6                        |
| 2  | 4.9                        |
| 3  | 16.5                       |
| 4  | 39.2                       |
| 5  | 76.5                       |
| 6  | 132.3                      |
| 7  | 210.1                      |
| 8  | 313.6                      |
| 9  | 446.5                      |
| 10   | 612.5                      |
| Para una densidad del aire 1.225 Kg/m <sup>3</sup> , corresponde al aire seco a la presión atmosférica estándar al nivel del mar y a 15 °C |                            |

El índice de Beaufort, para la velocidad obtenida es 4, magnitud con la que es viable la instalación de aerobombas y aerogeneradores.

Para los valores obtenidos se recomienda la instalación de un aerogenerador en La Joya. De acuerdo a lo estimado las velocidades de vientos están en el rango de 4 a 5,5 m/s, lo cual indica que en dicho período se puede aprovechar el recurso y dar un uso eficiente de la energía eólica.

TABLA V  
RELACIONES GENERALES ENTRE VIALIDAD Y VELOCIDAD DE VIENTO PARA USO COMO FUENTE DE ENERGÍA

| Promedio anual de velocidad del viento a 10 m de altura | Posibilidad de uso de la energía eólica   |
|---|---|
| Menor a 3 m/s   | Usualmente no es viable, a menos que existan circunstancias especiales para evaluar mejor el recurso  |
| 3 - 4 m/s   | Puede ser buena opción para equipos eólicos de bombeo de agua (aerobombas), poco viable para generación eléctrica con equipos eólicos (aerogeneradores) |
| 3 - 5 m/s   | Aerobombas son competitivas económicamente a los equipos Diesel, aerogeneración con equipos autónomos viable  |
| Más de 5 m/s  | Viable para aerobombas y aerogeneración con sistema autónomos   |

|              |   |
|--------------|---|
| Más de 6 m/s | Viable para aerobombas, aerogeneración con sistemas autónomos y para sistemas conectados a la red eléctrica |
|--------------|---|

El diseño de emplazamiento usó cálculos, usa los datos nominales y promedios de las velocidades de vientos a fin de obtener las dimensiones del lugar, mostrados en la Fig. 8.

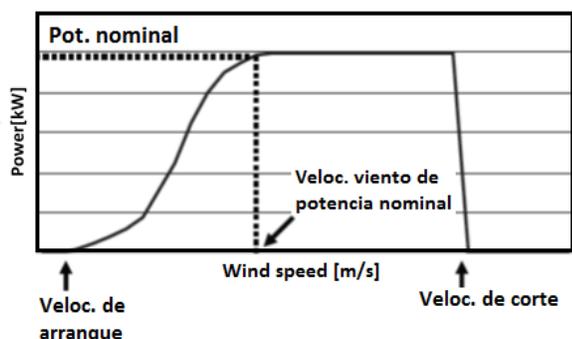


Fig. 8 Velocidad de arranque y corte.

### III. RESULTADOS

En la Tabla VI, se muestran los resultados del diseño.

TABLA VI  
RESULTADOS DEL DISEÑO

| Parámetros del Diseño                |   |
|--------------------------------------|---|
| Parámetros de Weibull                |   |
| C                                    | 5.5                                     |
| a = k                                | 1.15 – 1.92                             |
| Velocidad de diseño                  | 5.5                                     |
| Resultados del diseño                |   |
| V <sub>arranque</sub>                | 3                                       |
| V <sub>corte</sub>                   | 15                                      |
| Factor de Capacidad (FC)             | 0.058                                   |
| Curva característica del equipo      | P1 = 0<br>P2 = 65.2 KW<br>P3 = 123.1 KW |
| Horas equivalentes de funcionamiento | 509.9005                                |

Se realizó la evaluación de la energía eólica aprovechable, para la implantación de aerogeneradores. Inicialmente se utilizaron los datos recolectados del División Meteorología de la FAP en la Joya, entre los años 2013 al 2016, mostradas en la Tabla VII, y en el histograma de la Fig. 9.

TABLA VII  
DATOS METEOROLÓGICOS DEL 2013 AL 2016

| Año               | Mes        | Temperatura Promedio (°C) |       | Dirección del viento | Velocidad Prom. (m/s) |
|-------------------|------------|---------------------------|-------|----------------------|-----------------------|
|                   |            | min                       | max   |                      |                       |
| 2013              | Enero      | 14.2                      | 26.1  | 162                  | 7                     |
|                   | Febrero    | 14                        | 26.3  | 120                  | 7                     |
|                   | Marzo      | 13.6                      | 26.6  | 119                  | 6                     |
|                   | Abril      | 10.2                      | 25.3  | 115                  | 4                     |
|                   | Mayo       | 10.1                      | 24.7  | 111                  | 4                     |
|                   | Junio      | 9                         | 25.1  | 112                  | 4                     |
|                   | Julio      | 9.2                       | 24.6  | 110                  | 4                     |
|                   | Agosto     | 10.4                      | 24.9  | 116                  | 4                     |
|                   | Septiembre | 9.3                       | 22.6  | 125                  | 4                     |
|                   | Octubre    | 11.7                      | 26.1  | 103                  | 5                     |
|                   | Noviembre  | 10.7                      | 19.6  | 106                  | 5                     |
|                   | Diciembre  | 11.6                      | 25    | 106                  | 5                     |
| <b>Prom.Anual</b> | 11.2       | 24.7                      | 117.1 | 4.9                  |                       |
| 2014              | Enero      | 13.2                      | 25.6  | 102                  | 5                     |
|                   | Febrero    | 12.5                      | 24.7  | 99                   | 5                     |
|                   | Marzo      | 12.2                      | 23.1  | 90                   | 4                     |
|                   | Abril      | 11.6                      | 24.3  | 95                   | 3                     |
|                   | Mayo       | 9.2                       | 24.2  | 109                  | 4                     |
|                   | Junio      | 8.1                       | 22.9  | 108                  | 4                     |
|                   | Julio      | 8.9                       | 24.7  | 103                  | 4                     |
|                   | Agosto     | 10.9                      | 26.5  | 110                  | 4                     |
|                   | Septiembre | 10.7                      | 24.8  | 108                  | 5                     |
|                   | Octubre    | 13                        | 26.3  | 115                  | 5                     |
|                   | Noviembre  | 11.6                      | 21.2  | 116                  | 4                     |
|                   | Diciembre  | 12                        | 22.3  | 112                  | 4                     |
| <b>Prom.Anual</b> | 11.2       | 24.2                      | 105.6 | 4.3                  |                       |
| 2015              | Enero      | 13.5                      | 23.8  | 101                  | 4                     |
|                   | Febrero    | 15.3                      | 24.7  | 102                  | 3                     |
|                   | Marzo      | 13.6                      | 21.1  | 116                  | 3                     |
|                   | Abril      | 12.2                      | 17    | 109                  | 3                     |
|                   | Mayo       | 0.4                       | 11.7  | 101                  | 3                     |
|                   | Junio      | 11.9                      | 19.5  | 108                  | 3                     |
|                   | Julio      | 8.2                       | 18    | 95                   | 3                     |
|                   | Agosto     | 8.9                       | 16.6  | 98                   | 3                     |
|                   | Setiembre  | 10.5                      | 19.8  | 87                   | 3                     |
|                   | Octubre    | 9.6                       | 18.8  | 92                   | 3                     |
|                   | Noviembre  | 10.9                      | 20.1  | 92                   | 3                     |
|                   | Diciembre  | 10.1                      | 18.9  | 97                   | 5                     |
| <b>Prom.Anual</b> | 11.1       | 19.2                      | 99.8  | 3.3                  |                       |
| 2016              | Enero      | 13.5                      | 25.5  | 105                  | 6                     |
|                   | Febrero    | 15.1                      | 25.7  | 103                  | 6                     |
|                   | Marzo      | 14.3                      | 26.2  | 104                  | 6                     |
|                   | Abril      | 13.2                      | 24.8  | 104                  | 5                     |
|                   | Mayo       | 11.8                      | 26.1  | 92                   | 6                     |
|                   | Junio      | 7.6                       | 16.7  | 69                   | 4                     |
|                   | Julio      | 9.4                       | 19    | 128                  | 8                     |
|                   | Agosto     | 9.6                       | 17    | 163                  | 10                    |
|                   | Septiembre | 10.1                      | 19    | 168                  | 11                    |
|                   | Octubre    | 12.7                      | 20.5  | 159                  | 11                    |
|                   | Noviembre  | 12.7                      | 21    | 173                  | 11                    |
|                   | Diciembre  | 14.8                      | 20.9  | 165                  | 11                    |
| <b>Prom.Anual</b> | 12.1       | 21.9                      | 127.8 | 7.9                  |                       |

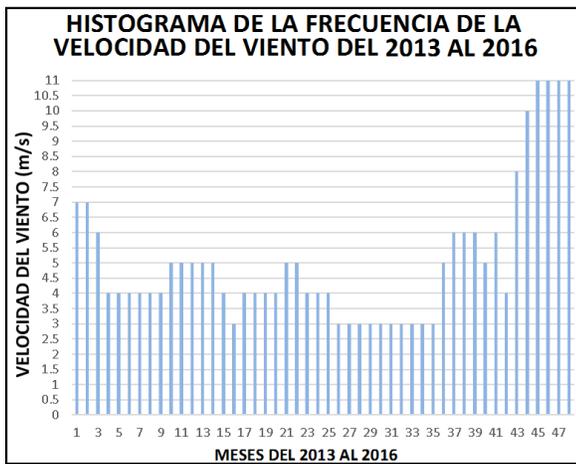


Fig. 9 Histograma de la Velocidad del Viento del 2013 al 2016.

### Selección de la Turbina Eólica (Resultados)

Existe software desarrollado por RETScreen International, con apoyo de Natural Resources Canada's (NRCAN), CanmetENERGY. RETScreen, además de la colaboración de otras organizaciones gubernamentales y multilaterales.

El Software de Análisis de Proyectos de Energía Limpia RETScreen, puede ser obtenido accediendo al enlace, <http://www.retscreen.net>. [9].

También cuenta con otras opciones, análisis de emisiones y análisis financiero; combustible, artefactos y equipos, tarifas eléctricas, conversión de unidades. También Elegir fabricantes de aerogeneradores. En este caso se han elegido, dos opciones.

### Fabricante Gamesa, español [10]:

- Modelo G52-850 WW - 65m. Capacidad nominal 850 KW.
- Potencia con 5.5 m/s = 94.1 KW.
- Altura del eje = 65 metros
- Diámetro del rotor por turbina = 52 metros
- Área de barrido por turbina = 2,123.72 mt<sup>2</sup>

El programa es un *Viewer mode* gratuito, permite realizar cálculos en pantalla, para grabar se tiene que pagar. También, existen software similar en la red [11] [12].

En los gráficos mostrados en Fig. 10, Fig. 11 y Fig. 12, se puede observar los datos obtenidos de la impresión de página y del cálculo con los resultados obtenidos.

**Eólica**  
 Descripción: Turbina - eólica  
 Nota: [ ]

**Nivel**  
 Nivel 1 Nivel 2 Nivel 3

**Eólica - Nivel 2**

**Evaluación de recursos**

Método de evaluación de los recursos: Velocidad del Viento

Velocidad del viento - anual: m/s 5.5

Medido a: m 10

Coefficiente de cizallamiento del viento: [ ]

temperatura del aire - anual: °C 18.2

Presión atmosférica - anual: kPa 96.2

**Datos climatológicos**  
 Perú - Moledo  
 4.4  
 10  
 18.2  
 96.2

**Turbina - eólica**

Capacidad eléctrica por turbina: kW 850

Fabricante: Gamesa

Modelo: G52-850KW - 65m

Número de turbinas: 1

Capacidad de generación eléctrica: kW 850

Altura del eje: m 65

Diámetro de rotor por turbina: m 52

Área barrida por turbina: m<sup>2</sup> 2,123.72

Datos de curva de energía: Estándar

Factor de forma: 2

Fig. 11 El software, al introducir la velocidad del viento (5.5 m/s), altura (10mts), temperatura anual y presión atmosférica anual, nos proporciona el Modelo y marca de la Turbina Eólica con sus características.

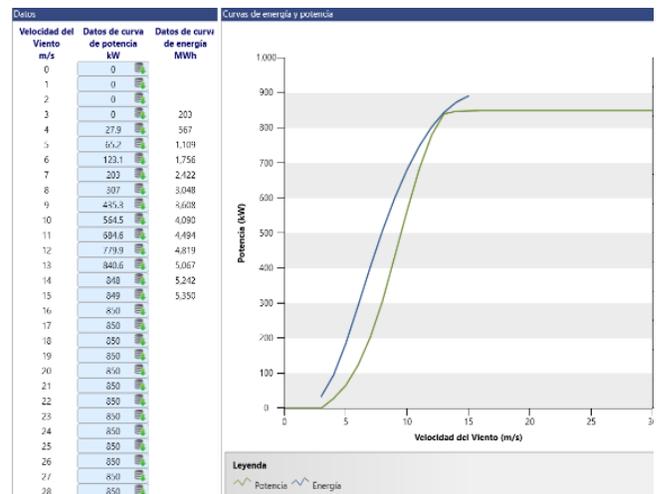


Fig. 12 Curva de energía y potencia de la Turbina Eólica seleccionada.

### Fabricante Siemens, alemán [13]:

- Modelo AN BONUS 1 MW - 60m. Capacidad eléctrica por turbina de 1 MW:
- Potencia con 5.5 m/s = 99.65 KW.
- Altura del eje = 60 metros
- Diámetro del rotor por turbina = 54.2 metros
- Área de barrido por turbina = 2,307.22 mt<sup>2</sup>

La Fig. 13, muestra información de la turbina Siemens seleccionada.

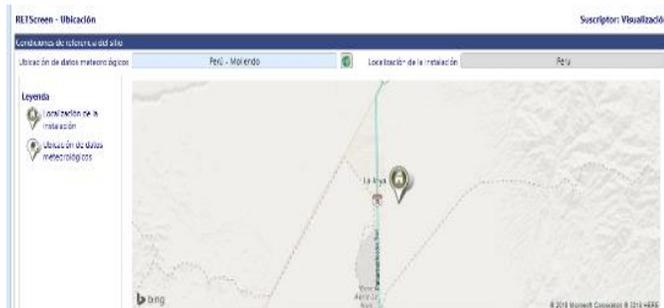


Fig. 10 Ubicación del estudio, La Joya - Arequipa.

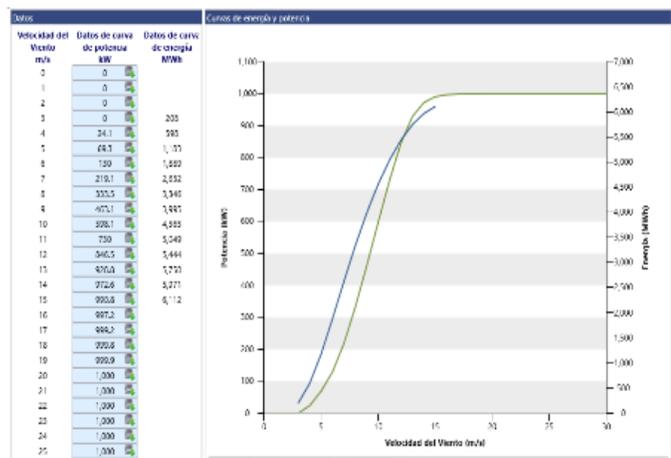


Fig. 13 Curva de energía y potencia de la Turbina Eólica seleccionada.

#### IV. CONCLUSIONES

- 1) Se puede concluir que el aprovechamiento del recurso eólico, es viable como solución técnica y económica, además mencionar que en el lugar del análisis se refiere a un proyecto de inversión social porque, genera beneficios a toda la comunidad y mejora de la calidad de vida en la zona de estudio.
- 2) Desde el punto del análisis de una inversión privada es necesario efectuar un estudio del subsidio no retornable que equivaldría en un 80% de la inversión para que el proyecto sea rentable, estimando un tiempo de recuperación de la inversión aproximada de 15 años.
- 3) A partir de las lecturas realizadas en La Joya, se concluye que la zona de estudio presenta velocidades promedio anuales de 4 a 6 m/s, de donde se puede concluir que el lugar elegido es interesante para llevar a cabo proyectos eólicos.
- 4) De los datos obtenidos mediante fuentes secundarias; tales como, a NASA, NOAA, Atlas Eólico Global, etc., quienes utilizan satélites de observación terrestre, se puede concluir que si es viable la instalación de un Parque Eólico en la zona.

#### RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda que la estación de medición en La Joya, implementada por el Ministerio de Energía y Minas en el 2016, realice mediciones por periodos prolongados de por lo menos 5 años, debido a las variaciones que está sufriendo el planeta debido a los cambios climáticos.
- 2) Emplear esta metodología en otros lugares del país, sobre todo en zonas costeras de característica similar, como una herramienta de cálculo y criterios de dimensionamiento e implementación.
- 3) Se debe considerar que cada lugar presenta sus propias características respecto al comportamiento de los

vientos y tener en cuenta esto para la implementación de parque eólicos.

#### REFERENCIAS

- [1] Enlace de internet: [https://viasatelital.com/mapas/arequipa\\_la\\_joya.htm](https://viasatelital.com/mapas/arequipa_la_joya.htm)
- [2] Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, Ervin Bossanyi, Wind Energy Handbook John Wiley & Sons, Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, pp 14- 30- 185, 2001
- [3] Atlas Eólico del Perú. Lima - Perú 2016. <http://www.foner.gob.pe>.
- [4] Enlace de internet: <https://senamhi.gob.pe/>
- [5] José Quiñonez Choquecota. "Caracterización del recurso eólico en la ciudad de Juliaca". Revista de Investigaciones Altoandinas.
- [6] Eduardo A. Guerreros Valdivia, "Estudio de Viabilidad de Instalación de un Generador Eólico para La Joya - Arequipa", III parte pp 79-118, marzo 2008.
- [7] Michelle T. Ferebee, Nacional Aeronautics and Space Admiration (NASA), Surface Meteorology and Solar Energy - procedencia <http://www.eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
- [8] Atlas Global Eólico, procedencia, <https://globalwindatlas.info/>
- [9] Enlace de internet: Natural Resources Canada's (NRCan), RETScreen@ International. Clean Energy Decision Support Centre, procedencia <http://www.retscreen.net>
- [10] Enlace de internet: <https://www.siemensgamesa.com/es-es>
- [11] Enlace de internet: [https://openei.org/wiki/RETScreen\\_Clean\\_Energy\\_Project\\_Analysis\\_Software](https://openei.org/wiki/RETScreen_Clean_Energy_Project_Analysis_Software)
- [12] Enlace de internet: [https://www.researchgate.net/figure/Color-online-PAMGuard-Map-in-Viewer-Offline-Mode-showing-49-167-DIFAR-bearings-a\\_fig1\\_299354553](https://www.researchgate.net/figure/Color-online-PAMGuard-Map-in-Viewer-Offline-Mode-showing-49-167-DIFAR-bearings-a_fig1_299354553)
- [13] Enlace de internet: <https://www.evwind.com/2016/07/02/eolica-en-alemania-aerogeneradores-terrestres-de-siemens/>