

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
ESCUELA DE POSTGRADO  
DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**TESIS DOCTORAL  
“APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA Y SU  
INTEGRACIÓN A LA RED ELÉCTRICA DE LA CIUDAD  
DE PIURA”**

**Presentada por:  
Mag. Ing. Fernando Madrid Guevara**

**PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN INGENIERÍA  
INDUSTRIAL**

**Línea de Investigación:  
Aprovechamiento y gestión sostenible del Ambiente y los  
Recursos Naturales**

**Sub línea de Investigación:  
Tecnología energética**

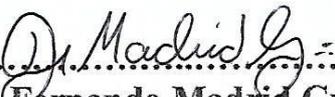
**Piura, Perú  
Noviembre – 2022**

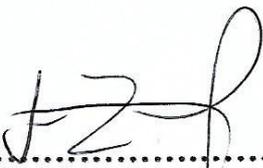
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
ESCUELA DE POSTGRADO  
DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INDUSTRIAL**

**Línea de Investigación:  
Aprovechamiento y gestión sostenible del Ambiente y los Recursos  
Naturales**

**Sub línea de Investigación:  
Tecnología energética**

**TESIS  
“APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA Y SU  
INTEGRACIÓN A LA RED ELÉCTRICA DE LA CIUDAD DE  
PIURA”**

  
.....  
**Mag. Ing. Fernando Madrid Guevara  
EJECUTOR**

  
.....  
**Dr. Néstor Javier Zapata Palacios  
ASESOR**

## Declaración Jurada de Originalidad de la Tesis.

Yo: Fernando Madrid Guevara identificado con DNI N° 02858742, Magister en Ciencias de la Educación Superior y domiciliado en calle Huánuco S/N del Distrito de Piura Provincia de Piura. Departamento de Piura Celular: 942964747 Email: [fmadridg@unp.edu.pe](mailto:fmadridg@unp.edu.pe)

**DECLARO BAJO JURAMENTO:** que la tesis que presento es original e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el Extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. N° 411, del código Penal concordante con el Art. 32° de la Ley N° 27444, y Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de Autor.

En fe de lo cual firmo la presente.

Piura 03 de noviembre del 2022

  
Fernando Madrid Guevara

DNI N° 02858742

Artículo 411.- El que, en un procedimiento administrativo, hace una falsa declaración en relación con hechos o circunstancias que le corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecida por ley, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de cuatro años.

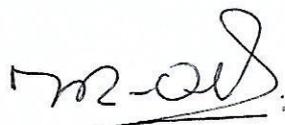
Art. 4. Inciso 4.12 del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales –RENATI Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016-SUNEDU/CD

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
ESCUELA DE POSTGRADO  
DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INDUSTRIAL**

**Línea de Investigación:  
Aprovechamiento y gestión sostenible del Ambiente y los Recursos  
Naturales**

**Sub línea de Investigación:  
Tecnología energética**

**TESIS  
“APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA Y SU  
INTEGRACIÓN A LA RED ELÉCTRICA DE LA CIUDAD DE  
PIURA”**



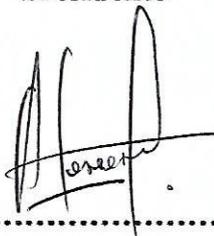
.....  
**Dr. Víctor Hugo Ramírez Ordinola**

**Presidente**



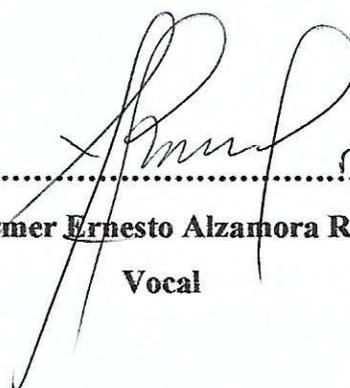
.....  
**Dr. Carlos Alfonso Palacios Otero**

**Secretario**



.....  
**Dr. José Alfredo Herrera Farfán**

**Vocal**



.....  
**Dr. Hermer Ernesto Alzamora Román**

**Vocal**



.....  
**Dr. Carmen Lucila Infante Saavedra**

**Vocal**



## **Dedicatoria**

### **A mis padres**

A mi padre Augusto Fernando que siempre me inculco de seguir adelante en todo lo que me proponga, y que desde el cielo estará festejando de mi logro.

A mi madre Elisa Herminia para que se siga sintiendo orgullosa de su hijo que logro lo que ella siempre añoro y que nunca la defraudare en lo que me proponga.

### **A mis hijos**

Renzo Alexander. Melanie Xiomara y Liam Fernando para que se sientan orgullosos y que sigan mi ejemplo y que logren cumplir sus metas, así como yo lo he realizado.

## **Agradecimientos**

El primer agradecimiento es para la virgen Maria que siempre velo mis pasos y me cuido de lo malo y a Dios por darme la vida todos los días para seguir adelante en esta vida.

A mi hermana Magali por su cariño y apoyo.

A mi asesor por su apoyo y estar pendiente de mis avances.

A mi amiga Dayanara por ayudarme en mi desarrollo con sus apreciaciones.

A mi gata Monchi Maestre que me acompaño en mis noches de trabajo.

Y un agradecimiento al cielo por un gran amigo, Don Ego Rosales, que cuando era universitario siempre me inculco que tuviera el más alto grado que la universidad nos da y ahora le puedo decir Misión Cumplida.

## ÍNDICE

Declaración Jurada de Originalidad de la Tesis. ....	iii
Acta de sustentación.....	v
Dedicatoria.....	vi
Agradecimientos.....	vii
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	x
Índice de anexos.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	xiv
<b>I. ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA.....</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2. Justificación e importancia de la investigación.....	2
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Delimitación de la investigación.....	4
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1. Antecedentes de investigación.....	5
2.2. Bases teóricas.....	7
2.3. Marco referencial.....	15
<b>III. MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>16</b>
3.1. Enfoque y diseño.....	16
3.2. Sujetos de la investigación.....	16
3.3. Métodos y procedimientos.....	17
3.4. Técnicas e instrumentos.....	18
3.5. Aspectos éticos.....	18
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>19</b>
CONCLUSIONES.....	32
RECOMENDACIONES.....	33
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
ANEXOS.....	40

## Índice de tablas

Tabla 2.1 Nomenclatura y definición de geometría.....	13
Tabla 2.2 Ventajas, inconvenientes y aplicaciones de las series NACA.....	13
Tabla 2.3. Características geométricas de la pala.....	14
Tabla 4.1. Clasificación de las velocidades del 17 de marzo del 2020.....	21
Tabla 4.2: Potencial eólico por día del marzo 2020.....	23
Tabla 4.3: Potencial eólico del mes de marzo 2020.....	25
Tabla 4.4: Potencial eólico por día del abril 2020.....	25

## Índice de figuras

Figura 1.1. Fuentes combinadas de energía: Hidráulica-Térmica-Eólica.....	3
Figura 2.1. Turbinas de eje horizontal con diferentes números de palas.....	8
Figura 2.2. Numero de palas vs $C_p$ .....	9
Figura 2.3. Velocidades antes y después del aerogenerador.....	9
Figura 2.4. Relación del $C_p$ y $l_0$ .....	10
Figura 2.5 Perfil alar genérico. Fuerza de Sustentación y arrastre.....	11
Figura 2.6. Vistas de la pala.....	14

## **Índice de anexos**

Anexo 01: Registro de datos con estación de monitoreo EasyWeather.

Anexo 02: Potenciales eólicos por día de los meses de marzo 2020 a marzo 2021

Anexo 03. Perfiles aerodinámicos NACA

Anexo 04: Turnitin de la Tesis Doctoral

## RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo aprovechar la energía eólica para la integración a la red eléctrica de la ciudad de Piura, debido a que el uso de las energías renovables en Aerogeneradores con pequeñas capacidades de producción de energía podría ser una solución para satisfacer la demanda eléctrica en provincias y distrito siempre y cuando se cuente con la solvencia económica para este tipo de proyectos. Para lograr esto se evaluó la velocidad del viento durante el periodo del 17 de marzo 2020 al 17 de marzo 2021, en el Distrito 26 de octubre de la ciudad de Piura, al ser un enfoque cuantitativo con diseño no experimental debido a que las condiciones de las velocidades del viento son aleatorias y depende de la temperatura y la humedad del aire, se caracterizó la velocidad del viento con estación de monitoreo EasyWeather, después se determinó el potencial eólico basado en la distribución de Weibull y por último se propuso el diseño aerodinámico de un aspa para aerogeneradores. Como resultado se presenta el resumen de los potenciales eólicos de los meses de marzo del 2020 a marzo del 2021, los cuales han sido elaborado del registro de velocidades por día y mes, el cual nos sirve para poder dimensionar nuestro generador eólico, teniendo como máximo valor el mes de junio con un valor de 815,87 watts.

Palabras clave. Estación de monitoreo. Distribución de Weibull. NACA. Airfoiltool. Perfil aerodinámico. Solid Edge

## **ABSTRACT**

The objective of this research was to take advantage of wind energy for integration into the electrical network of the city of Piura, because the use of renewable energies in wind turbines with small energy production capacities could be a solution to satisfy the electrical demand in the city of Piura. provinces and districts as long as they have the financial solvency for this type of project. To achieve this, the wind speed was evaluated during the period from March 17, 2020 to March 17, 2021, in the District October 26 of the city of Piura, being a quantitative approach with a non-experimental design due to the fact that the Wind speed conditions are random and depend on the temperature and humidity of the air, the wind speed was characterized with the EasyWeather monitoring station, then the wind potential based on the Weibull distribution will be extended and finally the wind will be dried. aerodynamic design of a blade for wind turbines. As a result, the summary of the wind potentials for the months of March 2020 to March 2021 is presented, which have been prepared from the record of speeds per day and month, which helps us to size our wind generator, having as a maximum value the month of June with a value of 815.87 watts.

Key words. Monitoring station. Weibull distribution. NACA. Airfoiltool. Aerodynamic profile. Solid Edge

## INTRODUCCIÓN

Actualmente la crisis de agotamiento del combustible fósil y el calentamiento global, nos ha llevado a utilizar y poner más énfasis en las Energías Renovables y a su vez al estudio de mejoras en sus diseños ya sea aprovechando la energía solar o la energía del viento. Como lo indica Vásquez, Tamayo y Salvador, (2017) en su publicación, en el siglo XXI el cambio climático está afectando a toda la humanidad debido a la emisión de gases de efecto invernadero y en el Perú se incrementó el uso de gas licuado de petróleo, gas natural y que el uso de las Energías Renovables, que ayuda atenuar el CO<sub>2</sub>. Según el INEI (2017) en Piura el crecimiento energético del 1,4% en el año 2015 respecto a los años 2010 y 2007 que fueron 24,3% y 36,0% respectivamente, hasta el año 2016 la potencia eléctrica instalada el mercado eléctrico indica que la generación Hidráulica es 42.1 Mega watt, Térmica con 393,3 Mega watt y la eólica 30,0 Mega watt, la cual se genera en Talara. Y respecto a la generación eléctrica de uso propio, se genera 75,5 Mega watt. Como podemos analizar lo anterior la energía eléctrica suma 468,9 Mega watt y eso continuaría incidiendo en el efecto invernadero, para lo que el uso de las energías renovables como el uso de Aerogeneradores con grandes capacidades de producción de energía podría ser una solución para satisfacer la demanda eléctrica en provincias y distrito siempre y cuando se cuente con la solvencia económica para este tipo de proyectos. Ante lo antes expuesto nos hacemos la pregunta ¿Cómo el aprovechamiento de la energía eólica permite su integración a la red eléctrica de la ciudad de Piura? Planteándonos los siguientes objetivos específicos. Caracterizar la velocidad del viento con estación de monitoreo EasyWeather. Determinar el potencial eólico basado en la distribución de Weibull y Proponer el diseño aerodinámico de un aspa para aerogeneradores La metodología utilizada tiene un enfoque cuantitativo con diseño no experimental debido a que las condiciones de las velocidades del viento son aleatorias y depende de la temperatura y la humedad del aire, además tiene que limitarse a la toma de datos y análisis dada la dificultad de influir sobre las condiciones ambientales, y para el procedimiento de determinación del Potencia Eólica, se obtuvo la velocidad de los vientos durante el periodo 17 de marzo 2020 al 17 de marzo 2021, clasificando las velocidades, y determinando la función de distribución de Weibull

## **I. ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA**

### **1.1. Descripción de la realidad problemática.**

La energía eléctrica llega al Perú en la penúltima década del siglo pasado luego de una historia de iluminación en base a hachones de madera untados con grasa, lámparas de aceite, mecheros de kerosene y, a partir de 1857, iluminación a gas. Antes del 1972 existía las Empresas Eléctricas Asociadas, las cuales con el Decreto Ley 19521, promulgado por el presidente del Perú General Juan Velasco Alvarado, en su gobierno militar, se organizaron en ELECTROLIMA S.A., y en 1994 después de su privatización, se divide en dos empresas distribuidoras que son Luz del Sur y Edelnor y la empresa generadora de electricidad Edegel S.A.

En las últimas décadas, se apreció un incremento en la demanda de las diferentes fuentes de energías como la gasolina, diésel, agua y gas. A pesar de que estos recursos vienen disminuyendo en accesibilidad a lo largo del tiempo y se convierten en problemas que impactan en el costo de la energía eléctrica per consumo per cápita. De otro lado, la explotación de los yacimientos del gas de Camisea, en el Departamento del Cuzco, al sur del Perú, comienza a partir de agosto del 2004, veinte años después de su hallazgo, sin embargo, dicho proyecto gasífero viene causando impactos sociales. La erosión masiva, la sedimentación y la pérdida de la biodiversidad ya se han presenciado durante las primeras construcciones.

Cabe señalar que el proyecto Camisea pone en peligro la reserva marina de la bahía de Paracas, la más importante de Latinoamérica, debido a que esta se encuentra bajo la protección de la “Convención de Ramsar sobre los humedales”. Sin embargo, el proyecto en mención generara un aumento en el PBI estimado en 1% por año en un horizonte de 30 años de explotación, la cual traerá enormes beneficios al Perú, aunque paralelamente afecta a la biodiversidad de la zona y a los derechos de las comunidades nativas que viven cercanas a los pozos de extracción.

Por otro lado, el panorama energético en el norte del país no es alentador, pues los apagones continúan ya sea por mantenimiento de planta o por fallas técnicas. Por ejemplo en el 2012, las ciudades de Tumbes, Piura y Lambayeque experimentaron en el servicio un corte eléctrico dejando en tinieblas estas tres regiones norteñas. ELECTRONORTE y

ENOSA, tales empresas del GRUPO DISTRILUZ que operan el servicio eléctrico en tales regiones no se pronunciaron respecto al corte de energía.

Según el INEI (2017), en Piura el crecimiento energético del 1,4% en el año 2015 respecto a los años 2010 y 2007 que fueron 24,3% y 36,0% respectivamente, hasta el año 2016 la potencia eléctrica instalada el mercado eléctrico indica que la generación Hidráulica es 42.1 Mega watt, Térmica con 393,3 Mega watt y la eólica 30,0 Mega watt, la cual se genera en Talara. Y respecto a la generación eléctrica de uso propio, se genera 75,5 Mega watt.

El Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), integra las generadoras de Electricidad del país, con lo que se puede satisfacer el consumo Nacional, pero cuando se trabaja a toda carga no se satisface el mercado eléctrico por lo que diversas provincias y distritos y sobre todo las de la Región Piura se quedan sin energía eléctrica generando una demanda insatisfecha.

Ante la problemática nacional y regional expuesta el uso de Aerogeneradores con grandes capacidades de producción de energía podría ser una solución para satisfacer la demanda eléctrica en provincias y distrito siempre y cuando se cuente con la solvencia económica para este tipo de proyectos.

¿Cómo el aprovechamiento de la energía eólica permite su integración a la red eléctrica de la ciudad de Piura?

## **1.2. Justificación e importancia de la investigación.**

La energía eólica es aquella obtenida del viento, por conversión de la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas energéticas útiles para diversas actividades humanas. Además, esta alternativa energética no afecta al medio ambiente pues evita las emisiones de CO<sub>2</sub> que contribuyen al efecto invernadero que afecta al planeta.

El potencial eólico en el Perú es de 22 GW y solo se aprovecha 394 MW y según el INEI (2017) en el departamento de Piura, situado en la costa, la región cuenta con una potencia instalada de 541,1 Mega watt hora y su producción energética de 1 279 473 Mega watt hora, existiendo registros de viento de 5 a 7 m/s.

La demanda eléctrica está creciendo abismalmente, unas de sus fuentes de generación es la hidroeléctrica, pero esta al funcionar por caída de agua depende de las lluvias que llenan los ríos, otra es la térmica pero esta depende del diésel, pero con la escasas o alzas del petróleo se vuelve muy costosa esa generación de energía, por eso con el gas de Camisea, el gas natural a través de su red, nos permite tener funcionando las turbinas eléctricas pero no en todo el país, es por eso que el gobierno debe trabajar en la ampliación del mas gaseoductos.

Por tales motivos y la situación en la que se encuentra el país debido a su crecimiento urbano es que se debe ampliar la matriz energética, para que no exista un desabastecimiento energético y es aquí donde una solución es la energía eólica a la cual se le puede extraer su potencial eólico para su integración a la red energética Además, la generación hidroeléctrica se puede complementar con la generación eólica, debido a que los vientos y las lluvias son estacionales durante todo el año llegando a complementarse. Como lo muestra la siguiente figura, donde existe una de diciembre a mayo hay alta producción hidroeléctrica y de mayo a noviembre un recurso eólico favorable

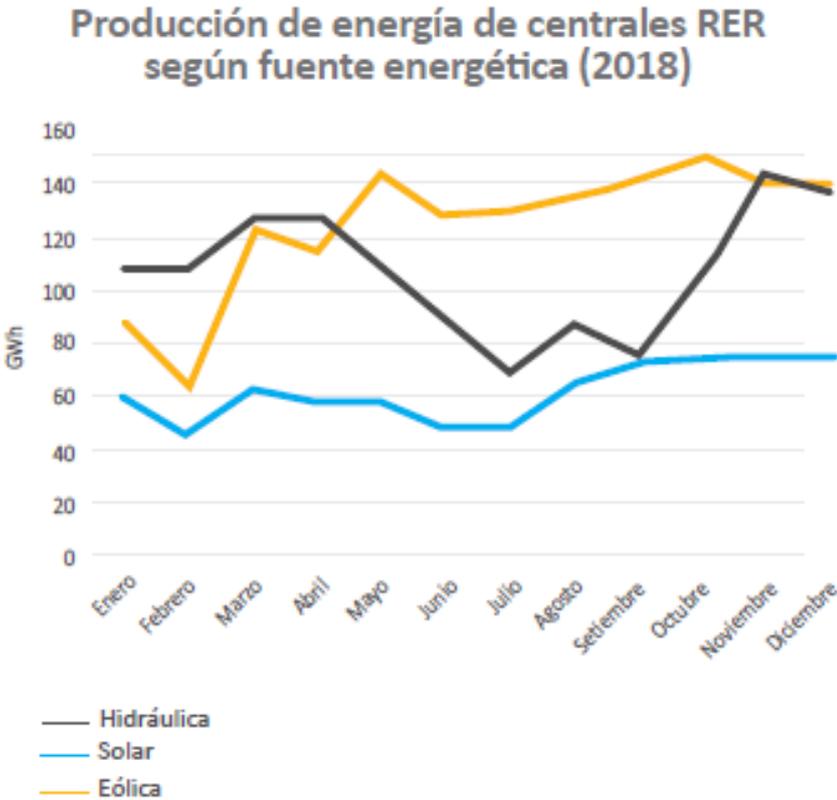


Figura 1.1. Fuentes combinadas de energía: Hidráulica-Térmica-Eólica  
Fuente: COES (2019). Elaboración GPAE - Osinergmin

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Aprovechar la energía eólica para su integración en la red eléctrica en la ciudad de Piura.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

Caracterizar la velocidad del viento con estación de monitoreo EasyWeather.

Determinar el potencial eólico basado en la distribución de Weibull.

Proponer el diseño aerodinámico de un aspa para aerogeneradores

### **1.4. Delimitación de la investigación.**

- Delimitación Espacial

El Estudio a evaluar se desarrollará a nivel tecnológico, legal, Económico y ambiental para aprovechar la energía eólica con aerogeneradores, los cuales serán conectados a la red de distribución. Se desarrollará en la ciudad de Piura.

- Delimitación Temporal:

El período de análisis de la información estadística abarca desde marzo del 2020, y el desarrollo de la propuesta será hasta marzo del 2021.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de investigación

Flores. (2019). En su investigación para mejorar la calidad de vida de la comunidad en las zonas Altoandinas de Arequipa basado en el diseño de un aerogenerador que utilice bajas velocidades de viento, debido al poco desarrollo en la fabricación de aerogeneradores a nivel nacional. Además, indica que las velocidades del viento están en el intervalo de 3 a 5 m/s y en el 2017 el potencial eólico en el Perú es de 22 GW y solo se aprovecha 394 MW y en la región Arequipa solo se utiliza 1,16 GW. Por ello analizo las tecnologías para los aerogeneradores axiales centrado en las geometrías de los perfiles del álabe y los avances teóricos y computacionales basados en el control de la capa límite y los trabajos de Dumitrescu y Cardos en 3D elaborado en forma analítica como forma numérica. Concluyendo que con el rango de velocidades de 3 a 5m/s, solo permite diseñar mini aerogeneradores con potencias entre 300 a 500 W, con radio de pala entre 1,16 a 1,95 m. con la sugerencia de adicionar una superficie hipersustentadora (slat) en el borde delantero para tener valores mayores al coeficiente de sustentación.

Sautié, Romero, Camano & Parnás. (2019). En su investigación determinaron los coeficientes de arrastre y sustentación en un perfil angular de alas iguales con el empleo de simulación numérica. Utilizando la fuerza del viento, la cual depende de causas meteorológicos como la altura, su velocidad y la frecuencia de ocurrencia, además la resistencia aerodinámica modifica la presión distribuida en función del ángulo de ataque del perfil alar. La fuerza del viento se puede descomponer en dos coeficientes uno llamado arrastre (CD) y la otra sustentación (CL), las cuales deben cuantificarse con un correcto dimensionamiento para utilizarlo en diferentes perfiles y es así como en esta investigación lo relacionan con torres de comunicación y otros perfiles metálicos que estarán siendo influenciados con las fuerzas del viento. Para determinara esa relación utilizaron el software OpenFOAM basado en la Dinámica de Fluidos Computacionales (CFD). Su experimento se basó en tres relaciones de bloqueo: 5 %, 10 % y 20 %, basados en las normativas NBR 6123 1988, NC 285 2003, NBCC 2005 y ASCE 7-10 2010 [1]-[4]. Concluyendo que el mejor patrón es el de 5% de bloqueo

Alvarez. (2017). En su investigación, propone un sistema de gestión energética (EMS) es un sistema híbrido basado en energía eólica, solar y celda de combustible basado en hidrógeno, para esto utilizo los modelos estocásticos, aplicando análisis de series de tiempo a través del algoritmo de la media cuadrática con factor de olvido, y utilizando modelado de control predictivo para integrar el sistema, con ello logra predecir el comportamiento de la velocidad del viento y radiación solar, con una hora de adelanto y así conocer la generación de potencia eólica, fotovoltaica y del sistema híbrido. Para este EMS utilizo los datos históricos de la Ciudad de México y curvas de demanda diaria de hogares promedio y mini-tiendas. Sus resultados presentan una mejora en la eficiencia y flexibilidad en conexión de generación distribuida y flexible de fuentes de generación, sin perturbación en la red de distribución mejorando el factor de potencia, la magnitud del voltaje y las pérdidas de potencia, así como cambios bruscos en la potencia de generación.

Salinas. (2016). En su investigación genera electricidad electroquímicamente en un humedal artificial basado en metabolismo microbiano y de plantas de manera sostenible y con casi nada de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), su propuesta es la implementación en comunidades rurales, áreas verdes de zonas urbanas a un bajo costo. Debido a las altas emisiones de GEI por la quema de combustible, esta tecnología permitiría minimizar el daño de la atmosfera. La implantación fue dada a nivel de laboratorio diseñando reactores o celdas bio-electroquímicas con disposiciones variadas. Llegando a generar electricidad removiendo materia orgánica, aunque los valores obtenidos son pequeños siendo esta la primera investigación reportada en México en el tema, y sus resultados indican que debe continuarse con investigaciones posteriores para mejorar la eficiencia del sistema bioelectroquímico y aplicarlo en una escala real.

Osinergmin (2017) en su publicación: La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático. Indica que el consumo energético (CE) per cápita de un país está relacionado con el nivel de desarrollo de su economía. A mayor crecimiento más emisión de gases de efecto invernadero (GEI), degradación ambiental, desaparición de recursos naturales que afectan el crecimiento macroeconómico futuro. Aquí se habla de un suministro eléctrico competitivo debido sostener sociedad de desarrollo continuo tanto así que el desarrollo de la tecnología ha permitido reducir los costos en el sector energético renovable, así como gas natural

aumentando la continuidad energética y la reducción del uso de combustibles. En el Perú en 1990 la Ley de Hidrocarburos y la Ley de Concesiones Eléctricas permitieron una reforma energética y en los últimos se acogió la política de implantar las fuentes renovables no convencionales (RER) de generación eléctrica con el objetivo de reducir las GEI. Además, como dato histórico la generación eléctrica se dio con fuentes hídricas, ya por los 2000 solo se usaba el 87%, en el 2013 se redujo al 54%, generando una reducida emisión de dióxido de carbono que podría afectar al ambiente. Por ello en el 2008, el uso de las fuentes eólicas, solares, biomasa biogás y mini hidráulicas se regula con el Decreto Legislativo N° 1002, Ley de Promoción de la Inversión en Generación de Electricidad con el uso de Energías Renovables y así, mejorar la calidad de vida de la población y proteger el ambiente. Para el 2040 se prevé que el 20% de las fuentes RER estén incluidas en la matriz energética y así tener una buena eficiencia energética, ante la demanda energética que sigue creciendo en nuestro País

## **2.2. Bases teóricas**

### 2.2.1. Energía eólica

La energía eólica se obtiene del viento y se produce a partir de la diferencia de temperaturas entre distintas zonas geográficas, esta utiliza la energía cinética generada por el viento, transformándola en mecánica o eléctrica. Además, es aprovechada mediante máquinas compuestas por aspas oblicuas unidas por un eje giratorio, llamadas aerogeneradores o turbinas eólicas, que se encargan de transformar la energía del viento. A la instalación conjunta de turbinas eólicas conectadas a redes de suministro se le llama parque eólico, que puede ser Onshore u Offshore, dependiendo del terreno donde se encuentre (Vásquez, Tamayo y Salvador, 2017). Onshore, son parques eólicos instalados en tierra. Según Wisser et al. (2011), el tamaño de las turbinas eólicas ha ido creciendo con el paso del tiempo. La razón principal ha sido minimizar el costo nivelado por generación de la energía eólica (LCOE2), ya que los rotores más altos permiten un mayor aprovechamiento de los vientos. Sin embargo, esto puede causar también limitaciones logísticas en el transporte de los materiales. Offshore, comprende la instalación de parques eólicos en el mar y puede capturar mayor energía que la tecnología onshore (Tong, 2010). Su desarrollo comenzó con la construcción del primer parque eólico en Suecia en 1990,

con una capacidad de 220 KW. En 1991, Dinamarca construyó sus primeros parques offshore, que constaban de 11 unidades de turbinas eólicas con una capacidad de 450 KW cada una.

### 2.2.2. Aerogeneradores

Según Gómez y Fernanda. (2018). Un aerogenerador o turbina eólica es un dispositivo eléctrico que transforma la energía del viento en energía mecánica de rotación que incide en las palas de un rotor, que utilizando un alternador produce energía eléctrica que depende de la velocidad del viento y que se pueden conectar a la red eléctrica usando sistemas de sincronización.

Los aerogeneradores poseen diferentes números de aspas o palas, la figura 2.1 muestra los diferentes tipos de palas: Monopala, Bipala y Tripala. Las palas son el elemento más complejo de diseño, ya que a través de ellas se va a transmitir y controlar la energía. La elección del número de palas es muy importante ya que compromete la eficiencia aerodinámica, complejidad, costo, ruido y estética.

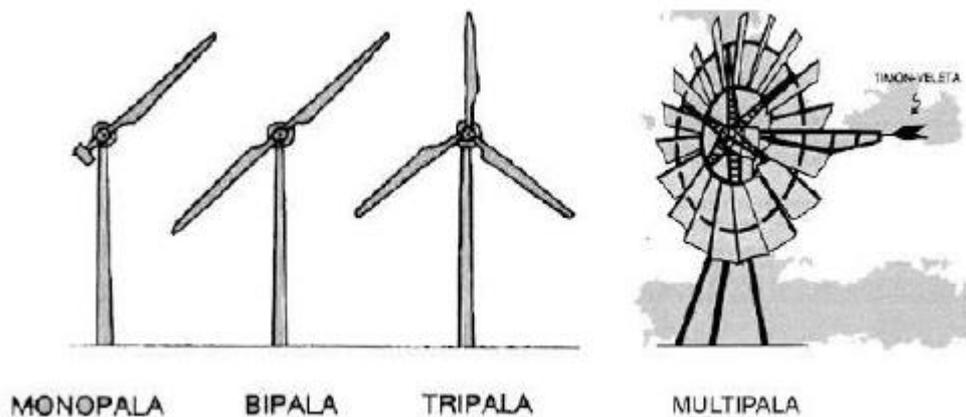


Figura 2.1. Turbinas de eje horizontal con diferentes números de palas

Fuente: Gómez y Fernanda. (2018)

La figura 2.2 muestra la relación del número de palas y el coeficiente potencia en el rotor ( $C_p$ ), y según el número de palas indica la potencia que podamos extraer del viento. A mayor número de palas se obtendrá un mayor  $C_p$ .

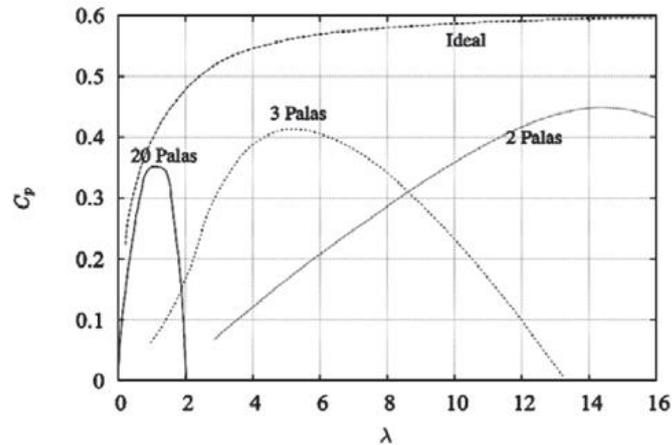


Figura 2.2. Numero de palas vs  $C_p$ .

Fuente: Ramírez y Saavedra (2012).

Las turbinas eólicas extraen potencia del viento actuando como un obstáculo que frena el libre movimiento de viento. En la figura 2.3 se representa dicho efecto, considerando el aerogenerador como un obstáculo donde se muestra el tubo de corriente alrededor del rotor eólico. El fluido que pasa a través del disco, aguas arriba, sección  $A_1$ , donde la velocidad es la del viento incidente  $V_1$ , hasta aguas abajo, sección  $A_2$ , donde resulta una velocidad uniforme  $V_2$ . La potencia extraída de la corriente proviene de la diferencia de presión entre ambas caras del disco.



Figura 2.3. Velocidades antes y después del aerogenerador

Fuente: Vidal. (2014).

La Ley de Betz indica un factor de aprovechamiento máximo de la energía eólica del viento, como el cociente entre la potencia obtenida y la disponible en la corriente a través del área frontal de la turbina es lo que se conoce como Coeficiente de Potencia  $C_p$ . El valor máximo de aprovechamiento es de 0.593 de la potencia eólica y en el caso de un

aerogenerador ideal la velocidad del viento de salida sería como mínimo 1/3 de su velocidad inicial. El límite de Betz indica que tan solo aproximadamente el 60% de la energía contenida en el viento es convertible en energía disponible en la turbina, se obtiene retardando un 33% la corriente en el disco y el un 66% en la estela.

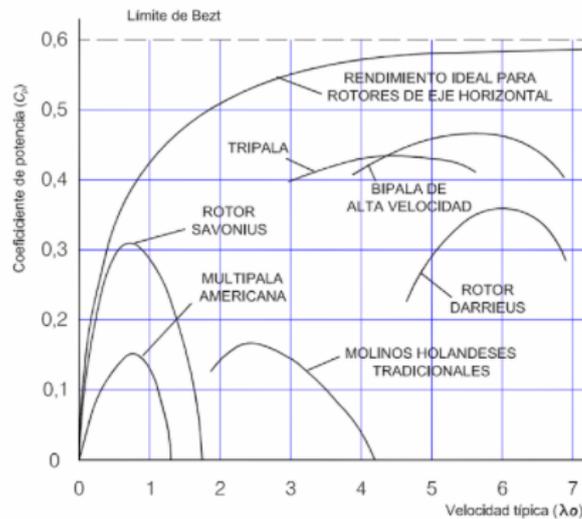


Figura 2.4. Relación del  $C_p$  y  $\lambda_0$

Fuente: Bastianon (2008)

La Figura 2.4 muestra el coeficiente de potencia máximo obtenible para distintos tipos de turbinas actuales en función del parámetro de velocidad del rotor ( $\lambda$ ), que es el cociente entre la velocidad de punta de pala y velocidad del viento incidente. El valor de mayor aproximación al real en el caso del aerogenerador, corresponde a la resultante de la fuerza del viento que actúa sobre la superficie del rotor, calculando el valor de la  $P_{eolica}$  que realmente será aprovechada  $P_{ea}$  (W) por la ecuación 2.1:

$$P_{ea} = \left[ \frac{1}{2} \rho x V^3 x (A_p x N_p) \right] x 0.59 \quad (2.1)$$

Donde:

$P_{ea}$ : Potencia eólica que se aprovecha (W)

$A_p$ : área de la superficie de la pala que enfrenta al viento ( $m^2$ )

$N_p$ : número de palas

$V$ : velocidad del viento que incide sobre el rotor (m/s)

0.59: factor de Betz

### 2.2.3. Perfil aerodinámico

Un perfil aerodinámico es el corte transversal de cada sección del ala. Según Anderson (2001), citado por Flores (2015), en este dependen las fuerzas aerodinámicas de sustentación  $L$  y arrastre  $D$ , así como sus respectivos coeficientes de sustentación y arrastre  $C_l$  y  $C_d$ , respectivamente. La figura 2.5 muestra un perfil alar genérico, se observan estas las fuerzas y su relación con la velocidad de corriente libre del viento  $V$  y velocidad de rotación  $\Omega$ , está dada en función de parámetros geométricos como el ángulo de ataque  $\alpha$ , el ángulo de actitud  $\theta$  y la distancia del elemento de pala al eje de rotación  $r$

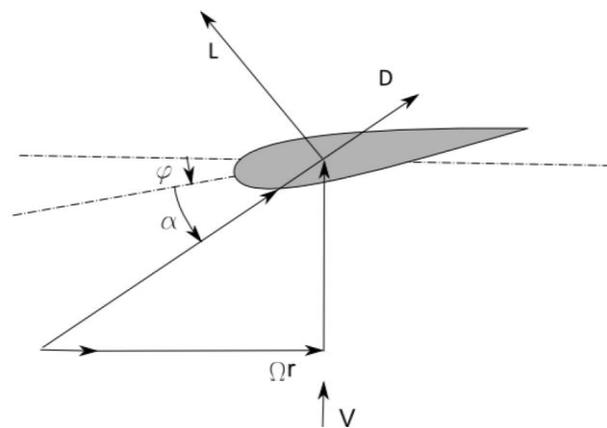


Figura 2.5 Perfil alar genérico. Fuerza de Sustentación y arrastre  
Fuente: Flores (2015)

La fuerza de la sustentación ( $L$ ), es aquella fuerza que permite que las aspas de un aerogenerador se mantengan en movimiento, basado en la ley de Bernoulli que indica, que a mayor velocidad menor presión y a menor presión mayor velocidad. La ecuación 2.2 muestra la fuerza de sustentación.

$$L = \frac{1}{2} C_L \rho V^2 S \quad (2.2)$$

Donde:

$C_L$  : Coeficiente de sustentación

$\rho$ : Densidad del viento

$V$ : Velocidad relativa del viento

$S$ : Superficie de referencia

La Fuerza de Arrastre (D), es la fuerza perpendicular a la de sustentación, es paralela a la velocidad del viento. Esta fuerza afecta negativamente en la generación de potencia en los aerogeneradores, por eso es importante diseñar bien las palas eligiendo el perfil aerodinámico adecuado y así de esta manera minimizar este efecto. La ecuación 2.2 muestra la fuerza de

$$D = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 S \quad (2.3)$$

Donde:

$C_D$  : Coeficiente de arrastre

$\rho$ : Densidad del viento

V: velocidad relativa del viento

S: superficie de referencia

#### 2.2.4. Series NACA

Según <http://airfoiltools.com/> (2022) La nomenclatura NACA (National Advisory Commitee for Aeronautics), actualmente NASA, diseña los perfiles aerodinámicos teniendo en cuenta la velocidad del viento así como su dirección y el ángulo de ataque. Las primeras series fueron desarrolladas sistemáticamente, utilizando la experimentación e innovación de formas conocidas.

Tabla 2.1 Nomenclatura y definición de geometría

PERFIL	1º dígito	2º dígito	3º y 4º dígitos
NACA 1412	Valor de la curvatura máxima en porcentaje de la cuerda. 1%.	Distancia de la curvatura máxima al borde de ataque en % de la cuerda 4%	Espesor máximo del perfil en porcentaje de la cuerda=12%.
NACA 2412	Valor de la curvatura máxima en porcentaje de la cuerda. 2%.	Distancia de la curvatura máxima al borde de ataque en % de la cuerda 4%	Espesor máximo del perfil en porcentaje de la cuerda =12%
	1º dígito	2º y 3º dígito	4º y 5º dígito
NACA 23014	Multiplicada por 0,15 da el coeficiente de sustentación $CL=2*0,15=0,3$	Dividida por 2 da la distancia de la máxima curvatura al borde de ataque en % de la cuerda. $30/2=15\%$	Espesor máximo del perfil en % de la cuerda =14%

Fuente: <http://airfoiltools.com/> (2022)

Las primeras series de perfiles NACA, fueron las de 4 números, 5 números como se aprecia en la tabla 2.1 y sus mejoras, fueron generadas usando ecuaciones analíticas que describen la línea de curvatura y la distribución de espesor a lo largo de la sección. Posteriormente con la publicación de un estudio realizado por la NACA: “The Characteristics of 78 Related Airfoil Sections from Tests in the Variable Density Wind Tunnel”, relacionando la pendiente de la línea de curvatura y la distribución de espesor respecto esta línea aparecen tras series de 6, 7 y 8 números. La tabla 2.2 muestra sus ventajas, inconvenientes y aplicaciones de las series NACA.

Tabla 2.2 Ventajas, inconvenientes y aplicaciones de las series NACA

Familia	Ventajas	Inconvenientes	Aplicaciones
Serie 4	- Buenas características de pérdida - Centro de presiones aproximadamente constante	- Bajo $C_L$ - Elevada resistencia - Elevado momento de cabeceo	- Aviación general - Estabilizadores - Jets supersónicos - Palas de helicópteros - Soportes - Aletas de misiles y cohetes
Serie 5	- Mayores $C_L$ - Bajo momento de cabeceo - Poco afectado por la rugosidad	- Malas características de entrada en pérdida - Elevada resistencia	- Aviación general - Aviones propulsados por motores de pistón - Jets de negocios
Serie 16	- Evita picos de succión - Baja resistencia a altas velocidades	- Poca sustentación	- Hélices de aeronaves - Hélices de barcos
Serie 6	- Alto $C_L$ - Muy poca resistencia dentro de su rango de operación - Optimizado para altas velocidades con amplias regiones de flujo laminar	- Alta resistencia fuera del rango operativo - Momento de cabeceo elevado - Malas características de entrada en pérdida - Sensible a la rugosidad	- Bombardeiros propulsados por motor de pistón - Jets de negocios - Jets supersónicos - Jets de entrenamiento
Serie 7	- Muy poca resistencia dentro de su rango de operación - Bajo momento de cabeceo	- Reducido $C_L$ - Alta resistencia fuera del rango operativo - Malas características de entrada en pérdida - Muy sensible a la rugosidad	- Raramente usados
Serie 8	- Desconocidas	- Desconocidos	Muy raramente usados

Fuente: Oriol. (2021)

### 2.2.5. Palas de aerogenerador

Según Alderete y Cabral (2015). Las palas de un aerogenerador son un conjunto de perfiles con diferentes ángulos de ataque, su diseño no recta sino forma una curva para aprovechar la energía eólica, la figura 2.6 muestra las vistas de palas del generador Costa-I, construidas a partir del escalamiento y rotación de un perfil único Althaus de denominación AH 93-W-145 de uso difundido en generación eólica de pequeña escala, con una longitud total de la pala es de 1.65 m, donde los 1.35 m son del perfil Althaus y el resto de la medida son los acoples que se unirían al rotor. Además, la Tabla 2.3. muestra las dimensiones características de los perfiles alares utilizados en la pala cada 100 mm.

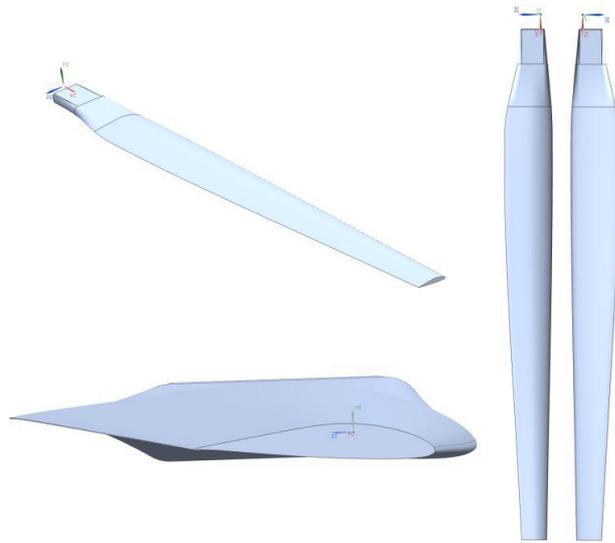


Figura 2.6. Vistas de la pala  
Fuente: Alderete y Cabral (2015).

Tabla 2.3. Características geométricas de la pala

Sección	Distancia a la punta [mm]	Cuerda [mm]	Ángulo de sección $\theta$ [deg]	Radio [mm]
0 (Punta)	0	78.476	2.112	1650
1	100	85.811	2.756	1550
2	200	94.243	3.286	1450
3	300	100.791	3.741	1350
4	400	108.464	4.118	1250
5	500	116.308	4.474	1150
6	600	124.192	4.786	1050
7	700	131.599	5.041	950
8	800	138.264	5.209	850
9	900	143.917	5.294	750
10	1000	148.267	5.291	650
11	1100	150.964	5.183	550
12	1200	151.139	4.995	450
13	1300	148.780	4.788	350

Fuente: Alderete y Cabral (2015).

## **2.3. Marco referencial**

### **2.3.1. Ministerio de Energía y Minas**

El Ministerio de Energía y Minas (MEM), es el organismo central y rector del sector energía y minas, y forma parte integrante del Poder Ejecutivo. El MEM tiene como finalidad formular y evaluar, en armonía con la política general y los planes del Gobierno, las políticas de alcance nacional en materia del desarrollo sostenible y asuntos ambientales de las actividades minero energéticas.

### **2.3.2. Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES)**

El COES es una entidad privada, sin fines de lucro y con personería de Derecho Público. Está conformado por todos los Agentes del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), generadores, transmisores, distribuidores y usuarios libres. Sus decisiones son de cumplimiento obligatorio por los Agentes. Tiene por finalidad coordinar la operación de corto, mediano y largo plazo del SEIN al mínimo costo, preservando la seguridad del sistema, el mejor aprovechamiento de los recursos energéticos, así como planificar el desarrollo de la transmisión del SEIN y administrar el Mercado de Corto Plazo.

### **2.3.3. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN)**

OSINERGMIN es un organismo público cuya misión es regular, supervisar y fiscalizar, en el ámbito nacional, el cumplimiento de las disposiciones legales y técnicas relacionadas con las actividades de los subsectores de electricidad, hidrocarburos y minería, así como el cumplimiento de las normas legales y técnicas referidas a la conservación y protección del medio ambiente en el desarrollo de dichas actividades.

### **III. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Enfoque y diseño**

##### **3.1.1. Enfoque**

La investigación utilizó un enfoque mixto, debido a que, con el enfoque cuantitativo, los datos de las mediciones de las velocidades del viento fueron procesadas para obtener el dato del potencial eólico por mes y con el enfoque cualitativo se utilizó las teorías para diseñar las palas del aerogenerador y seleccionar los componentes que se necesitaran para su construcción.

##### **3.1.2. Diseño**

Según su enfoque cuantitativo se puede considerar como diseño no experimental porque las condiciones de las velocidades del viento son aleatorias y depende de la temperatura y la humedad del aire, además tiene que limitarse a la toma de datos y análisis dada la dificultad de influir sobre las condiciones ambientales.

La investigación se considera descriptiva porque representa las características del viento, cuyos datos se presentan en datos y/o tablas con una transcripción estrecha de las variables estudiadas. Por último, es aplicada porque se utilizan los conocimientos las teorías que se utilizaran en la determinación del potencial eólico y una propuesta de diseño de aerogenerador.

#### **3.2. Sujetos de la investigación**

La velocidad del viento durante el periodo del 17 de marzo 2020 al 17 de marzo 2021, en el Distrito 26 de octubre de la ciudad de Piura

### 3.3. Métodos y procedimientos

#### 3.3.1. Métodos

Dentro de los métodos utilizados tenemos el deductivo, dado que se utiliza la observación y la recopilación de información a través de fuentes de internet y trabajo de campo sobre las características de la energía eólica.

También se utilizó el analítico, donde se realizó el estudio de la velocidad del viento, y en base de ello se determinó las características en el diseño de aspas de un aerogenerador para integrarlo a la red eléctrica.

#### 3.3.2. Procedimientos

Para el procedimiento de determinación del Potencia Eólica, se obtuvo la velocidad de los vientos durante el periodo 17 de marzo 2020 al 17 de marzo 2021, clasificando las velocidades, y determinando la función de distribución de Weibull donde:

Distribución de Weibull: ecuación 1.

Parámetro k: coeficiente de forma.

Parámetro c: coeficiente de escala.

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-(v/c)^k} \quad (1)$$

Función acumulada: ecuación 2.

$$f(v) = 1 - e^{-(v/c)^k} \quad (2)$$

Datos de la ecuación 2

“v” velocidad promedio y la

“f(v)” frecuencia acumulada

Regresión lineal de las frecuencias acumuladas: ecuación 3.

$$\ln(-\ln(1 - f(v))) = k\ln(v) - k\ln(c) \quad (3)$$

Ecuación 3 relacionada con la ecuación de la recta  $y=ax+b$ .

$$y = \ln(-\ln(1 - f(v))) \quad (4)$$

$$x = \ln(v) \quad (5)$$

$$a=k \quad (6)$$

$$b = -k\ln(c) \quad (7)$$

### **3.4. Técnicas e instrumentos**

Como técnica de recolección de datos se utilizó el registro de las velocidades de los vientos recabado por el anemómetro para la elaboración del análisis de vientos por mes y potencial eólico cumpliendo con los objetivos de esta investigación. Además, se utilizó el software Excel en el procesamiento de datos, debido a que la data obtenida se tenía procesar para la determinación del potencial eólico. Y por último, se utilizó página <http://airfoiltools.com/> para seleccionar los diferentes perfiles aerodinámicos con sus respectivas curvas y características.

### **3.5. Aspectos éticos**

Si bien, se evaluara la energía eólica para su aprovechamiento y como es la integración en la red eléctrica de la ciudad, no muestra ningún tipo de peligro físico, psicológico y tampoco tendrá algún impacto negativo en el medio ambiental.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Caracterización de la velocidad del viento con estación de monitoreo EasyWeather.

#### 4.1.1. Registro de velocidades de los vientos.

El registro de las velocidades de los vientos en la Urb. Santa Margarita del Distrito 26 de octubre de la ciudad de Piura, se realizó mediante la instalación una estación meteorológica marca WEATHERWISE INSTRUMENTS, a 10 metros a nivel del suelo, si tener ningún obstáculo. Como se puede apreciar en la figura 4.1.



Figura 4.1. Estación meteorológica instalada 10 metros del nivel de suelo.

Los meses en los cuales se realizó la recolección de los vientos inicio el 17 de marzo 2020 al 17 de marzo 2021, se evaluaron 396 días con intervalo de registro de datos cada 5 minutos, obteniendo 114048 datos. Del registro se eliminó las velocidades que tienen un valor de 0 m/s, debido a que no poseen valor de energía cinética del viento para la generación de energía, también se eliminó las velocidades mayores a los 15 m/s, porque son velocidades esporádica que nos darían un mal análisis, con esas dos recomendaciones, se clasificó las velocidades según un rango específico para conocer su frecuencia y así

determinar los factores necesarios que la ecuación de probabilidad y de distribución de Weibull, que nos permitió determinar el potencial eólico de la zona de estudio.

La figura 4.2 muestra el gráfico de velocidades del día 06 al 27 de febrero del 2021, elaborados por el software EasyWeather Radio Controlled de la estación meteorológica.



Figura 4.2. Datos de velocidad registrados por la estación, semana del 06 al 27 de febrero de 2021.

#### 4.1.2. Análisis de datos de velocidades

En el análisis de datos primero se clasificaron las velocidades obtenidas mediante intervalos cuyos valores están entre 0 m/s y 1,0 m/s, seguida por velocidades entre 1,0 m/s y 2,0 m/s; hasta llegar a la  $V_{max}$  m/s. y así se determinó la frecuencia de los vientos óptimos para la generación de energía. La tabla 4.1 presenta la clasificación de la frecuencia de las velocidades registradas, se reemplazan los valores de velocidad promedio y frecuencia acumulada para obtener el ajuste lineal utilizando el software Excel.

Tabla 4.1. Clasificación de las velocidades del 17 de marzo del 2020

Rango max	Rango min	Velocidad Promedio (m/s)	Frecuencia de Datos	Frecuencia relativa (%)	Frecuencia acumulada (%)	x	y	a	b	c=e <sup>(b/-a)</sup>
1	0	0.5	62	0.261	0.261	-0.6931	-1.1981	1.1026	-0.4282	1.4746
2	1	1.5	100	0.420	0.681	0.4055	0.1324			
3	2	2.5	24	0.101	0.782	0.9163	0.4194			
4	3	3.5	31	0.130	0.912	1.2528	0.8870			
5	4	4.5	16	0.067	0.979	1.5041	1.3514			
6	5	5.5	5	0.021	1.000					
Datos totales			238							

### 4.1.3. Discusión del primer resultado

La caracterización de la velocidad del viento se inició con la instalación de la estación meteorológica marca WEATHERWISE INSTRUMENTS, a 10 metros a nivel del suelo, permitió el registro de las velocidades de los vientos en la Urb. Santa Margarita del Distrito 26 de octubre de la ciudad de Piura, desde el 17 de marzo 2020 al 17 de marzo 2021, evaluándose 396 días con intervalo de registro de datos cada 5 minutos y obteniendo 114048 datos. Se clasificó las velocidades según un rango específico para conocer su frecuencia y así determinar los factores necesarios que la ecuación de probabilidad y de distribución de Weibull, que nos permitió determinar el potencial eólico de la zona de estudio. La tabla 4.1 presenta la clasificación de la frecuencia de las velocidades registradas, se reemplazan los valores de velocidad promedio y frecuencia acumulada para obtener el ajuste lineal utilizando el software Excel, para obtener los parámetros de la regresión lineal que se utilizan en la ecuación de Weibull y nos permite analizar los datos por día de los meses que duro dicha recolección. En la figura 4.6 se observa la regresión lineal de los datos de la velocidad de los vientos obtenidos en el mes de marzo del 2020, los cuales, según la clasificación de las velocidades son mostrados en el anexo 1, donde la tendencia lineal se observa en la ecuación de la recta:  $y = 1.3016 x - 1.0439$  con un valor de coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.9816 el cual nos da un potencial eólico general de 80.9 watts. El coeficiente de determinación,  $R^2$ , indica que el 98.16% de los datos están relacionados linealmente. Indicando que la muestra se comporta conforme a la función de densidad de Weibull. Así como, Álvarez. (2017), utilizó los modelos estocásticos, aplicando análisis de series de tiempo a través del algoritmo de la media cuadrática con factor de olvido, y utilizando modelado de control predictivo para integrar el sistema, con ello logra predecir el comportamiento de la velocidad del viento.

## 4.2. Determinación del potencial eólico basado en la distribución de Weibull

### 4.2.1. Análisis del potencial eólico de la zona de estudio

En la figura 4.3 se muestra la regresión lineal  $y = 1.1026 X - 0.4282$ , obtenida a partir de los datos obtenidos de la medición, donde se identifican los valores  $b = -0.4282$ ,  $a = k = 1.1026$ , para obtener el factor de escala  $c = 1.4745$

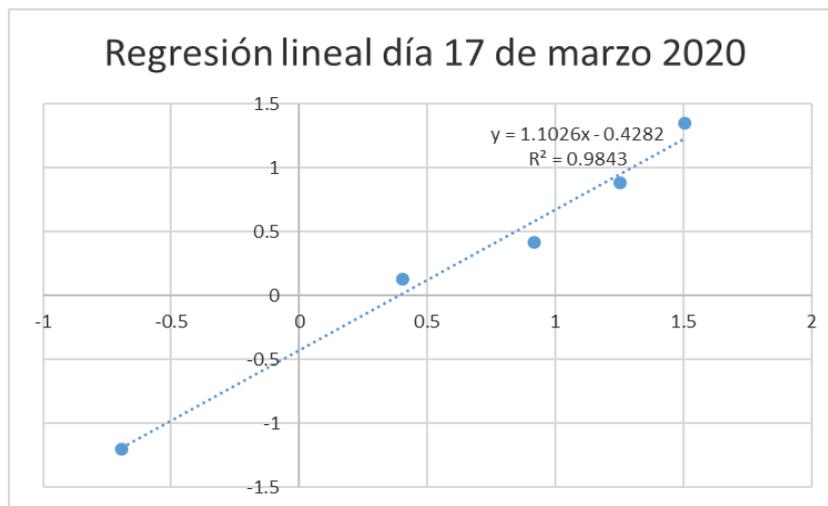


Figura 4.3 - Ajuste lineal datos registrados del 17 de marzo del 2020

El factor de escala  $c$  (m/s) indica la velocidad promedio del lugar de estudio, y el factor de forma  $k$  es un índice de dispersión de los datos y la frecuencia con la que se presenta la velocidad promedio.

Finalmente, la ecuación de Weibull se representa en:

$$f(v) = \frac{1.1026}{1.4745} \left( \frac{v}{1.4745} \right)^{1.1026-1} e^{-(v/1.4745)^{1.1026}}$$

Utilizando el software Matlab, escribimos el script, para dibujar la gráfica de la distribución de Weibull de la ecuación antes representada

Script para dibujar las gráficas de distribución de Weibull

$c = 1.4745$ ;

$K = 1.1026$ ;

```

f=@(k,x) (k/c)*((x/c).^(k-1)).*exp(-(x/c).^k);
x=linspace(0,10,100);
hold on
for i=1:length(K)
    plot(x,f(K(i),x),'displayName',num2str(K(i)))
end
ylim([0 0.6])
xlabel('x')
ylabel('f(x)')
title('Función de distribución de Weibull')
legend('-DynamicLegend','location','NorthEast')
hold off

```

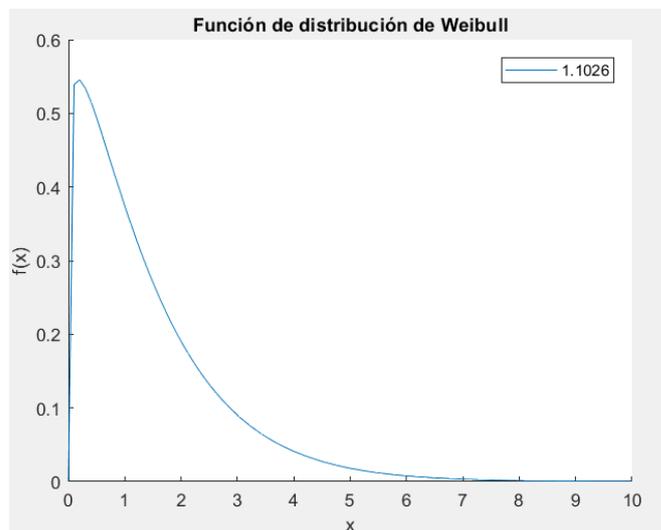


Figura 4.4 - Distribución de Weibull del 17 de marzo del 2020

#### 4.2.2. Análisis de los datos de los días del mes de marzo del 2020

De la tabla 4.1 determinamos el valor de  $c=1.4746$  que será la velocidad promedio del viento en el lugar de estudio.  $v=1.4746$  m/s

Los tamaños de las aspas pueden ser variables, pero para este estudio tendrá un radio  $r=2$  metros

La variación de la densidad en el lugar de estudio está determinada por la ecuación:

$$\rho = 1,225e^{\left[\left(\frac{z}{8435}\right) - \left(\frac{T-15}{288}\right)\right]} \frac{Kg}{m^3}$$

Al ser Z el valor de la altura, este tuvo como valor 10 metros y del anexo 1 obtenemos el valor promedio de la temperatura  $T=30.16^{\circ}\text{C}$  , obteniendo la densidad  $\rho = 1,1609 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

$$\text{Potencial eólico} = \frac{1}{2} \rho * v^3 * r^2 * \pi = \frac{1}{2} * 1.1609 * 1.4746^3 * 2^2 * \pi = 23.4 \text{ watts.}$$

El valor calculado es solo para el día 17 de marzo del 2020

La tabla 4.2 muestra el potencial eólico obtenido por día del anexo 1, teniendo que el 19 de marzo del 2020, se midió el máximo valor de 226.8 watts y el 17 de marzo se midió el menor valor de 23.4 watts, concluyendo que el promedio mensual de energía eólica es de 105.2 watts.

**Tabla 4.2: Potencial eólico por día del mes de marzo 2020**

Días del mes de marzo	Potencial eólico (Watts)	Regresión lineal	Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>
17	23.4	y = 1.1026 x - 0.4282	0.9843
18	53.2	y = 1.1094 x - 0.7346	0.9595
19	226.8	y = 1.7793 x - 2.0386	0.9894
20	78.1	y = 1.604 x - 1.2675	0.9961
21	73.2	y = 1.503 x - 1.1557	0.9933
22	97.9	y = 1.1151 x - 0.9653	0.9578
23	136.2	y = 1.0914 x - 1.0649	0.9669
24	190.8	y = 1.5636 x - 1.7014	0.9849
25	123.3	y = 1.4026 x - 1.3221	0.9937
26	81.9	y = 1.2426 x - 1.0016	0.9799
27	72.1	y = 1.3587 x - 1.0375	0.9878
Promedio	105.2		



Figura 4.5: Variación del potencial eólico mes de marzo 2020

La figura 4.5 muestra en un gráfico de barras la tendencia del potencial eólico que hay en los días del mes de marzo.

### 4.2.3. Análisis de los datos del mes de marzo del 2020

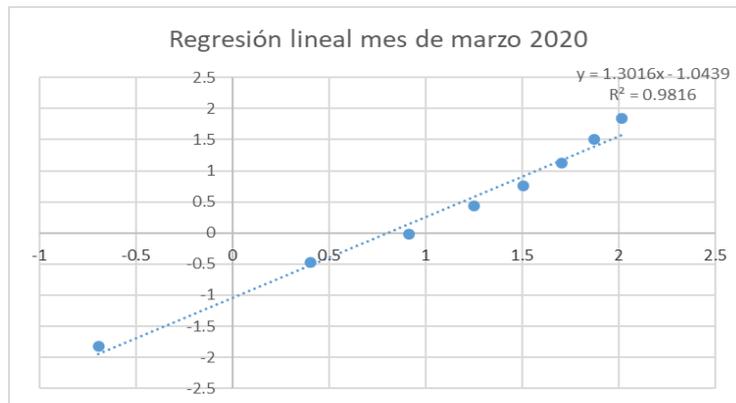


Figura 4.6: Regresión Lineal mes de marzo 2020

En la figura 4.6 se observa la regresión lineal de los datos de la velocidad de los vientos obtenidos en el mes de marzo del 2020, los cuales, según la clasificación de las velocidades son mostrados en el anexo 1, donde la tendencia lineal se observa en la ecuación de la recta:  $y = 1.3016 x - 1.0439$  con un valor de coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.9816 el cual nos da un potencial eólico general de 80.9 watts.

El coeficiente de determinación,  $R^2$ , indica que el 98.16% de los datos están relacionados linealmente. Indicando que la muestra se comporta conforme a la función de densidad de Weibull.

**Tabla 4.3: Potencial eólico del mes de marzo 2020**

Mes de marzo 2020	Potencial eólico (Watts)	Regresión lineal	Coefficiente de determinación $R^2$
11 días	80.9	$y = 1.3016 x - 1.0439$	0.9816

De la tabla 4.3 al sacar el promedio de los potenciales eólicos de los vientos por días del mes de marzo obtenemos un valor de 105.2 watts y obtener el potencial eólico de todos los días del mes de marzo como se aprecia en la tabla 4.3 este nos da 80.9 watts, lo que nos indica que hay una diferencia de 24.3 watts, lo que nos da como conclusión que para el diseño del generador eólico se deberá tomar el máximo potencial obtenido de los 360 días que se evaluó la velocidad de los vientos desde el mes de marzo 2020 al mes de marzo 2021.

#### 4.2.4. Análisis de los datos de los meses de marzo del 2020 al mes de marzo del 2021

La tabla 4.4 presenta el resumen de los potenciales eólicos de los meses de marzo del 2020 a marzo del 2021, los cuales han sido elaborado del registro de velocidades por mes, que se indica en el anexo 1, la tabla consigna los máximos y mínimos potenciales eólicos y su respectivo promedio mensual.

Cada mes tiene su día donde el potencial eólico llega a su máximo valor el cual nos sirve para poder dimensionar nuestro generador eólico y en el mes de junio se obtuvo 815,87 watts

**Tabla 4.4: Potencial eólico máximos y mínimos de los meses de marzo del 2020 a marzo del 2021**

Mes	Día		Velocidad promedio (m/s)	Potencial eólico (Watts)	Promedio mensual
Marzo del 2020	19	Máximo	3.14	226.8	105.2
	17	Mínimo	1.47	23.4	
Abril del 2020	27	Máximo	3.97	456.2	207.3
	28	Mínimo	1.91	50.5	
Mayo del 2020	15	Máximo	3.38	282.7	134.22
	27	Mínimo	1.46	22.8	
Junio del 2020	11	Máximo	4.82	815.87	201.95
	22	Mínimo	2.12	69.91	
Julio del 2020	23	Máximo	4.08	497.15	284.69
	4	Mínimo	2.80	160.24	
Agosto del 2020	26	Máximo	3.74	382.35	148.27
	28	Mínimo	0.88	4.98	
Setiembre del 2020	23	Máximo	3.16	229.64	173.68
	27	Mínimo	2.29	87.65	
Octubre del 2020	18	Máximo	4.22	546.90	130.00
	25	Mínimo	1.04	8.18	
Noviembre del 2020	14	Máximo	2.49	112.47	87.37
	11	Mínimo	1.57	28.40	
Diciembre del 2020	24	Máximo	3.02	200.34	98.36
	31	Mínimo	1.82	43.92	
Enero del 2021	12	Máximo	2.68	140.16	75.71
	26	Mínimo	1.52	25.78	
Febrero del 2021	13	Máximo	2.51	115.43	78.82
	14	Mínimo	1.56	27.88	
Marzo del 2021	4	Máximo	2.42	103.63	49.95
	11	Mínimo	1.15	11.03	

#### 4.2.5. Discusión del segundo resultado

La determinación del potencial eólico se inicia con el análisis de los datos por día del mes de marzo 2020. La tabla 4.1 presenta la clasificación de la frecuencia de las velocidades registradas, se reemplazan los valores de velocidad promedio y frecuencia acumulada para obtener el ajuste lineal utilizando el software Excel, para obtener los parámetros de la regresión lineal que se utilizan en la ecuación de Weibull, con la regresión lineal se obtuvo el valor de  $c=1.4746$  que será la velocidad promedio del viento en el lugar de estudio.  $v=1.4746$  m/s y con un radio  $r=2$  metros de pala y con su la densidad  $\rho = 1,1609 \text{kg} / \text{m}^3$  se obtuvo el Potencial eólico de 23.4 watts, calculado para el día 17 de marzo del 2020, además la tabla 4.2 muestra el potencial eólico obtenido por día del anexo 1, teniendo que el 19 de marzo del 2020, se obtuvo un máximo valor de 226.8 watts y el 17 de marzo se obtuvo un menor valor de 23.4 watts, concluyendo que el promedio mensual de energía eólica es de 105.2 watts. De la tabla 4.3 al sacar el promedio de los potenciales eólicos de los vientos por días del mes de marzo obtenemos un valor de 105.2 watts y obtener el potencial eólico de todos los días del mes de marzo como se aprecia en la tabla 4.3 este nos da 80.9 watts, lo que nos indica que hay una diferencia de 24.3 watts, lo que nos da como conclusión que para el diseño del generador eólico se deberá tomar el máximo potencial obtenido de los 360 días que se evaluó la velocidad de los vientos desde el mes de marzo 2020 al mes de marzo 2021. Además, la tabla 4.4 presenta el resumen de los potenciales eólicos de los meses de marzo del 2020 a marzo del 2021, los cuales han sido elaborado del registro de velocidades por mes, que se indica en el anexo 1, cada mes tiene su día donde el potencial eólico llega a su máximo valor el cual nos sirve para poder dimensionar nuestro generador eólico y en el mes de junio se obtuvo 815,87 watts. Así como, Flores, (2019). En su investigación concluye que con el rango de velocidades de 3 a 5m/s, solo permite diseñar mini aerogeneradores con potencias entre 300 a 500 W, con radio de pala entre 1,16 a 1,95 m.

### 4.3. Propuesta del diseño aerodinámico de un aspa para aerogeneradores

En la página <http://airfoiltools.com/>, se encuentran los diferentes perfiles aerodinámicos con sus respectivas curvas y características. como se aprecia en la figura 4.7, buscamos Applications – Airfoil plotter.

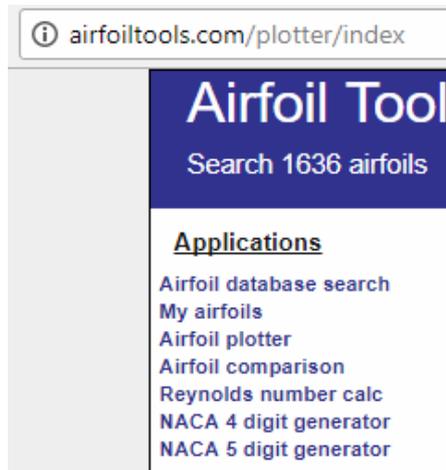


Figura 4.7. Página web airfoiltools

La figura 4.8 muestra los diferentes perfiles aerodinámicos que se pueden seleccionar

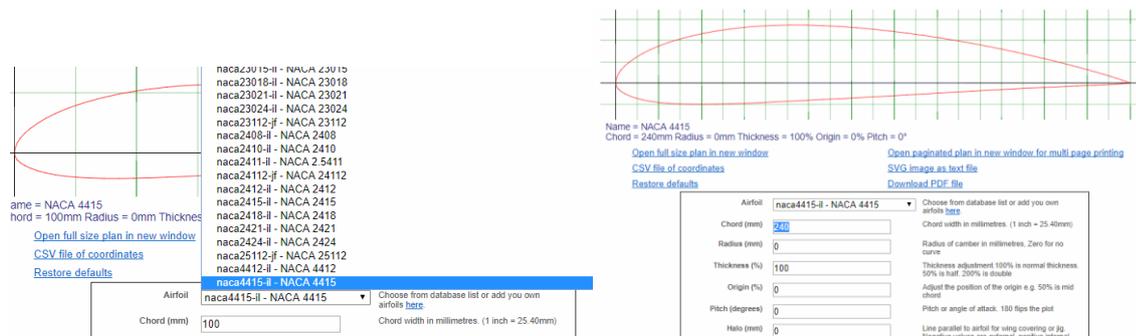


Figura 4.8. Perfil NACA 4415

Al seleccionar el perfil NACA 4415 podremos cambiar los datos que queremos de nuestro perfil aerodinámico, este caso lo que nos importa cambiar es la cuerda de nuestro perfil. Chord (mm) – 240 y luego hacemos click en CSV file of coordinates. La figura 4.9 muestra la descarga del archivo .xlsx. abierto en el archivo Excel y veremos los datos del perfil aerodinámico que plotamos.

	A	B	C	D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
						240	0																				
1	Name	NACA 4415				239.7432	0.0936																				
2	Chord(mm)	240				238.9728	0.3744																				
3	Radius(mm)	0				237.6936	0.8376																				
4	Thickness(%)	100				235.9104	1.464																				
5	Origin(%)	0				233.6328	2.2368																				
6	Pitch(deg)	0				230.8656	3.1272																				
7						227.6256	4.1184																				
8	Airfoil surface					223.9224	5.1984																				
9	X(mm)	Y(mm)				219.7752	6.3648																				
10		240	0			215.2032	7.6104																				
11		239.7432	0.0936			210.2208	8.9208																				
12		238.9728	0.3744			204.852	10.2792																				
13		237.6936	0.8376			199.1208	11.6712																				
14		235.9104	1.464			193.0512	13.0872																				
15		233.6328	2.2368			186.6696	14.5152																				
16		230.8656	3.1272			180	15.9408																				
17		227.6256	4.1184			173.0736	17.3448																				
18		223.9224	5.1984			165.9216	18.708																				
19		219.7752	6.3648			158.5728	20.0184																				
20		215.2032	7.6104			151.0584	21.2592																				
21		210.2208	8.9208			143.412	22.4184																				
22		204.852	10.2792			135.6624	23.484																				
23		199.1208	11.6712																								

Figura 4.9 Archivo en Excel del perfil NACA 4415

Abrimos Solid Edge, nos dirigimos a Operaciones – Curvas – Curvas por puntos XYZ – Examinar, buscamos nuestro archivo .txt le damos en Abrir – Aceptar. Como se aprecia en la figura 4.10.

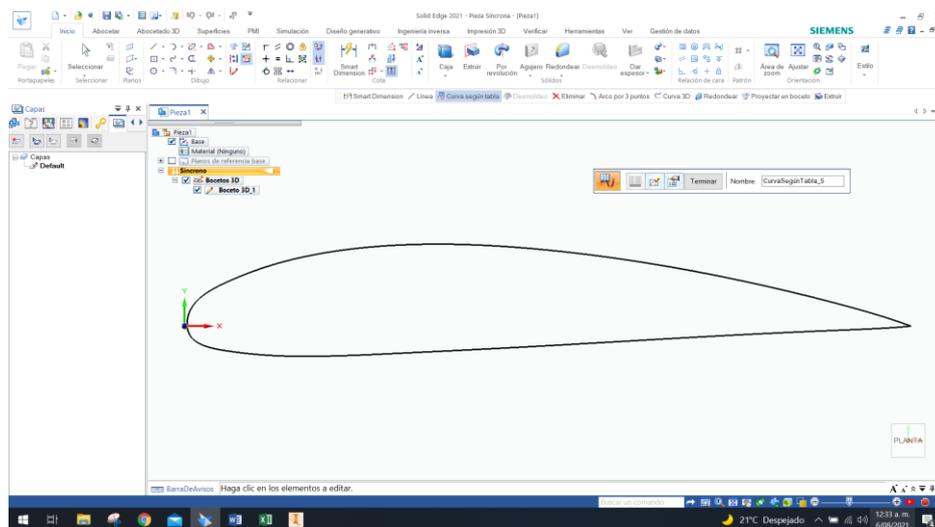


Figura 4.10 Perfil aerodinámico generado en Solid Edge

Y de esta manera hacemos lo mismo con los demás perfiles aerodinámicos que platearemos, con diferentes cuerdas que se les ha asignado. Además, una pala como mínimo necesitas 10 perfiles aerodinámicos para que obtengas un buen trabajo. Después de haber insertado todos los perfiles aerodinámicos en el programa y haberles cambiado su respectivo ángulo de ataque les quedara como la figura 4.11.

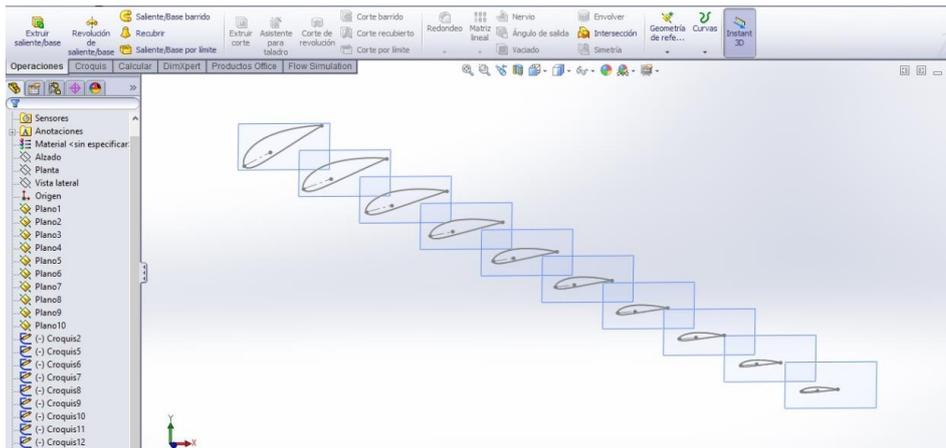


Figura 4.11. Perfil aerodinámico generado en Solid Edge

Por ultimo como se aprecia en la figura 4.12 se crea una línea de referencia al lado de los perfiles y luego le dan a Extruir saliente obteniendo nuestra pala aerodinámica.

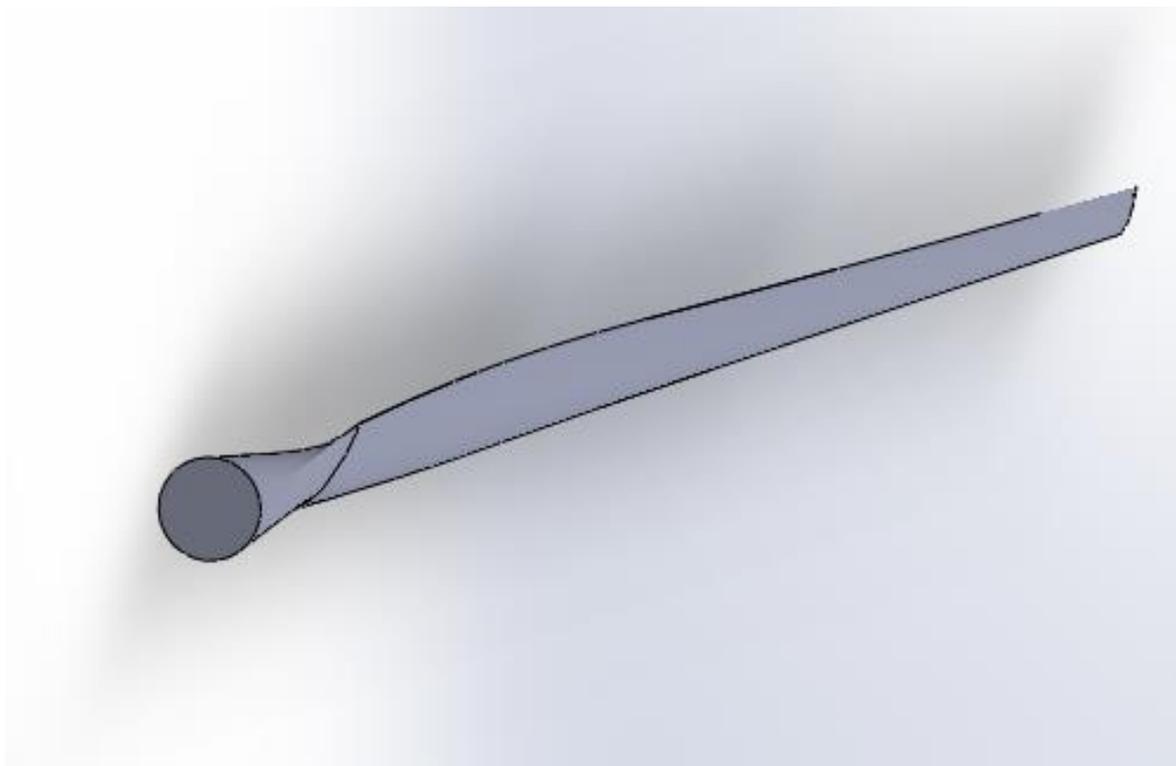


Figura 4.12. Aspa de turbina terminada.

### **4.3.1. Discusión del tercer objetivo**

Para la propuesta del diseño aerodinámico de un aspa para aerogeneradores, los datos del perfil NACA 4415, como curvas y características se descargó de la página <http://airfoiltools.com/>, la cual nos permitió modificar las coordenadas de la “cuerda” que es una línea que une el centro de la curvatura del borde de ataque con el borde de salida de nuestro perfil alar, permitiendo descargar un archivo en Excel con las diferentes cuerdas y su ángulo de ataque, para generar el aspa se necesitó mínimo 10 perfiles aerodinámicos con sus respectivos ángulos de ataque, que el software CAD Solid Edge ploteo y generó el aspa del aerogenerador con el perfil alar antes mencionado. Así como, Flores (2019), en su investigación indica que al estar las velocidades del viento en el intervalo de 3 a 5 m/s analizó las tecnologías para los aerogeneradores axiales centrado en las geometrías de los perfiles del álabe y los avances teóricos y computacionales basados en el control de la capa límite y los trabajos de Dumitrescu y Cardos en 3D elaborado en forma analítica como forma numérica. Así como, Sautié, Romero, Camano, & Parnás. (2019). determinaron los coeficientes de arrastre y sustentación en un perfil angular de alas iguales con el empleo de simulación numérica. Utilizando esta relación con el software OpenFOAM basado en la Dinámica de Fluidos Computacionales (CFD), concluyendo que el mejor patrón es el de 5% de bloqueo

## CONCLUSIONES

Con la caracterización de las velocidades del viento se clasificaron las velocidades según un rango específico para conocer su frecuencia y la tendencia lineal, la cual se determina con la regresión lineal y con su valor de coeficiente de determinación  $R^2$ , indicando que los datos están relacionados linealmente.

Para un diámetro de 4 metros, densidad, coeficiente de forma (k) y coeficiente de escala (c), obtenido por la regresión lineal y reemplazado en la ecuación de Weibull, se calculó el potencial eólico por día y por mes, lo que nos permite dimensionar nuestro generador eólico con el máximo valor, que es el mes de junio, con un valor 815,87 watts

La página <http://airfoiltools.com/> se encuentran los diferentes perfiles aerodinámicos con sus respectivas curvas y características. para lo cual elegimos el NACA 4415 para realizar el modelamiento de la pala con el software Solid Egde y así proponerlo para la generación de 815,87 watts

## RECOMENDACIONES

Realizar más mediciones de velocidad de viento con el uso de anemómetros y así poder predecir el comportamiento del viento en el tiempo.

Desarrollar una aplicación para la selección de los perfiles aerodinámicos con respecto a las variaciones de las velocidades del viento en la zona

Realizar un estudio de materiales livianos para la fabricación de las palas de aerogeneradores con el fin de mejorar el coeficiente de sustentación y así lograr mejor torque y más potencial eólico.

Realizar el estudio de sistemas híbridos como la energía solar con la eólica y así poder tener una continuidad energética en el año.

Realizar el análisis de costo benéfico para su implementación con el perfil alar propuesto, considerando el plan de mantenimiento de para que los componentes del aerogenerador tengan una vida útil considerando un horizonte de 25 años.

Buscar financiamiento a nivel de una STARTUP debido a que la propuesta tecnológica se podría entender como un negocio escalable ya que en zonas rurales aun no cuentan con energía eléctrica y podrían aprovechar la energía eólica y así poder mejorar su calidad de vida.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, Ma. F. (2017). “*Modelado y simulación de generación distribuida usando sistemas híbridos*”. [tesis de doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional. <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/14093>
- Antezana, J. C. (2004). “*Diseño y Construcción de un Prototipo de Generador Eólico de Eje Vertical*”. [tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Institucional. <https://docplayer.es/16649999-Diseno-y-construccion-de-un-prototipo-de-generador-eolico-de-eje-vertical.html>
- Bastianon R. A. (2008). “*Cálculo y diseño de la hélice óptima para turbinas eólica*”s. Recuperado de <https://mydokument.com/calculo-y-diseo-de-la-helice-optima-para-turbinas-eolicas.html>
- Belman, J. M. (2008). “*Desarrollo de un modelo físico para una instalación de producción de frío por compresión de vapor utilizando el refrigerante R134a. Validación experimental y aplicación para la simulación energética*” [Universitat Jaume. Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. Castellón, España] Recuperado de [http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/9753/Desarrollo\\_modelo\\_fisico.pdf?sequence=1](http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/9753/Desarrollo_modelo_fisico.pdf?sequence=1)
- Cádiz, J. & Cabrero, J. “*La Energía Eólica Tecnología e Historia*”. Editorial Blume, Madrid, España.
- Castro, M, Colmenar, A y Dávila, L (2000). “*Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red: Estándares y Condiciones Técnicas*”. 1ª ed. España. Ed. Promotora General de Estudios S.A. ISBN: 8486505860
- Colmenar, A (2005). “*Energía Eólica*”. 2ª ed. España. Ed. Promotora General de Estudios S.A. ISBN: 8495693259 ISBN-13: 9788495693259

- Creus, A. (2011). *“Iniciación a la Aeronáutica”*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Estefanero C. E. y Umpiri S. B. (2018). *“Perfil de un aerogenerador tipo vertical en el edificio de 15 pisos de la Universidad Nacional del Altiplano Puno”* [Tesis de pregrado. de la Universidad Nacional del Altiplano Puno]. Recuperado a partir de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/10597>
- Fernández, L. A. (2007). *“Modelos avanzados para la predicción a corto plazo de la producción eléctrica en parques eólicos”*. [Tesis doctoral. Universidad de La Rioja - España]. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=13747>
- Fernández, A. y Rey, N. (2007). *“Metodología de la Investigación científica”*. 3ª Edición. Lima-Perú, Ed. San Marcos E.I.R.L., ISBN-13: 978-9972-38-304-5.
- Flores, P. B. (2019). *“Diseñar un aerogenerador que utilice bajas velocidades de viento en las Zonas Altoandinas de Arequipa, para mejorar la calidad de vida de la comunidad”*. (Tesis Doctoral). Recuperado a partir de URI: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10655>
- Fraenkel, P. et al. (1993). *“Wind pumps: A guide for development workers”*. IT Publications, Londres.
- García, M (2010) *“Manual de Mantenimiento de Instalaciones Fotovoltaicas Conectadas”*, 1ª ed. Editorial Promotora General de Estudios PROGENSA S.A. ISBN 9788495693655
- GIPE, P. (1993). *“Wind Power for Home & Business: Renewable Energy for the 1990s and Beyond”*. A Real Goods independent Living Book, Vermont, USA.

- Gómez, G. y Fernanda, L. (2018). “*Emulación del proceso de generación de energía eléctrica de un generador de baja potencia usando hardware-in-the-loop*”. Recuperado a partir de <https://www.semanticscholar.org/paper/Emulaci%C3%B3n-del-proceso-de-generaci%C3%B3n-de-energ%C3%ADa-de-G%C3%B3mez-Fernanda/208b48911a81337a2ad0677dfe667d67f7daeafe>
- Hernández, R y et al (2003). “*Metodología de la Investigación*” 3ª Edición. México, Ed. Mc Graw Hill, pp. 113 - 119; 140 – 145 705.
- Herrero, C. (2016). “*Estudio de la velocidad del viento: análisis espacial y ajuste a una función de distribución*” [Tesis de grado. Universidad de Valladolid]. Recuperado de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/22939>
- Lassig, J. L., Palese, C., & Aparian, A. (2011). “*Vientos extremos en la provincia de Neuquén*”. *Meteorológica*, 36(2), 83-93. Recuperado de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-468X2011000200003&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-468X2011000200003&script=sci_arttext&tlng=en)
- López, O. (2021) “*Estudio aerodinámico de un perfil NACA*” [Tesis de grado. Universidad Politécnica de Catalunya]. Recuperado de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/357232/TFG\\_ORIOL\\_LOPEZ\\_MEMORIA\\_QP2021.pdf?sequence=1](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/357232/TFG_ORIOL_LOPEZ_MEMORIA_QP2021.pdf?sequence=1)
- López, J. (2012). “*Módulo 17 Hélices*”. Madrid España: Ediciones Paraninfo S. A.
- Lysen, E.(1983). “*Introduction to Wind Energy*”. CWD Publications, May, TOOL
- Martínez, R., Columbus, C. E., Del Rio, M. S., & Esquivel, P. S. (2018). “*Planeamiento estratégico para el sector de energía eólica del Perú*”. [tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Peru]. Repositorio Institucional. URI <http://hdl.handle.net/20.500.12404/12586>

- Ferreira, A. M. (2003). “*Modelos Estadísticos en Energía Eólica*”. [tesis de doctorado, Universidad de Córdoba - Argentina]. Recuperado de <http://www.energiasolarok.com/2009/01/tesis-doctoral-modelos-stadsticos-en>
- Mattio H. F.; Ponce G. (1998). “*Nociones Generales de Energía Eólica*”. Módulo de Energía Eólica – Bibliografía elaborada para la Maestría en Energías Renovables; Salta – Argentina. :102-107. (Mendoza)
- Medina, M., Casa, J., Jurado, F. (2011). “*Generación de Energía Eléctrica con sistemas fotovoltaicos conectados a la red*”. 1ª ed. España ISBN: 8492669209
- Molina, K., Ortega, D., Martínez, M., Pinto-Hernández, W., & González-Estrada, O. A. (2018). “*Modelado de la interacción fluido estructura (FSI) para el diseño de una turbina eólica HAWT*”. Revista UIS Ingenierías, 17(2), 269–282. <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018023>
- Navales, T. (2011). “*Energía Eólica (Serie Energías Renovables)*” (2º Edición). Zaragoza España: Prensas de la Universidad de Zaragoza. Recuperado de <https://books.google.com/cu/books?id=ML7uDAAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Osinergmin. (2017). “*La Industria de la Energía renovable en el Perú*”. (A. Vásquez, A. Tamayo, & J. Salvador, Edits.) Lima, Perú: Biblioteca Nacional del Perú. Recuperado de [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf)
- Pineda, J. C., & Chica, E. L. (2020). “*Métodos numéricos para el desarrollo de una turbina hidrocínética tipo Gorlov*”. Revista UIS Ingenierías, 19(3), 187–206. Recuperado a partir de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/10731>

- Ramos, C. A., & Ramírez, C. A., & Saavedra, A. J. (2013). “*Modelado y Estimación de Parámetros de un Sistema de Generación Eólico de Baja Potencia*”. *TecnoLógicas*, ( ), 209-221. [fecha de Consulta 16 de Octubre de 2022]. ISSN: 0123-7799. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=344234341016>
- Ramírez, C. A. y Saavedra, A. J. (2012). “*Parameter calculation of a small wind turbine model Cálculo de parámetros del modelo de una turbina eólica (160 W)*”. Recuperado de : <https://www.researchgate.net/publication/261483630>
- Romero, L. (2017). “*Gestión del montaje de parques eólicos*”. Madrid, España: Ediciones Paraninfo S.A.
- Salinas, Ma. G. (2016). “*Estudio de la generación de electricidad en un humedal artificial asistido electroquímicamente*”. [Tesis doctoral Universidad Nacional Autónoma de México]. Recuperado de <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/11321>
- Sautié, N. F., Romero, L., Camano E. B., & Parnás, V. E. (2019). “*Determinación de los coeficientes de arrastre y sustentación en un perfil angular de alas iguales con el empleo de simulación numérica*”. *Ingeniería y Desarrollo*, 38(1), 66-84. Epub May 30, 2021. <https://doi.org/10.14482/inde.38.1.511.8>
- Sequi, J. R., Gómez, U., Herrera, R. (2004). “*Caracterización del recurso eólico en el extremo norte de la subcuenca del Río Los Puestos-Dpto. Ambato–Catamarca*”. *Revista del Centro de Investigación de Zonas Áridas y Semiáridas (CIZAS)-ISSN*, (1515-0453), 24-40. Recuperado de [http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/CIZAS/imagenes/pdf/V6/5.Caracteristica\\_del\\_viento\\_en\\_La\\_Puerta\\_2005\\_.pdf](http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/CIZAS/imagenes/pdf/V6/5.Caracteristica_del_viento_en_La_Puerta_2005_.pdf)
- Vidal, R. (2014). “*Evaluación del recurso eólico en la universidad tecnológica de ciudad Juárez*”. [Tesis de maestría Centro de Investigación en Materiales Avanzados] Recuperado de <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/789>

Vigueras, A. (2008). "Modelado de la fluctuación de potencia en grandes parques eólicos marinos". [Tesis de doctorado. Universidad Politécnica de Cartagena].  
[https://www.upct.es/hidrom/publicaciones/Tesis\\_pfc/TesisDoctoral\\_2008\\_AntonioVigueras.pdf](https://www.upct.es/hidrom/publicaciones/Tesis_pfc/TesisDoctoral_2008_AntonioVigueras.pdf)

# ANEXOS

## Anexo 01: Registro de datos con estación de monitoreo EasyWeather.

No	Time	Interval (mi)	Indoor Humidity (%)	Indoor Temperature (°C)	Outdoor Humidity (%)	Outdoor Temperature (°C)	Absolute Pressure (mmHg)	Wind (m/s)	Gust (m/s)	Direction	Relative Pressure (mmHg)	Dewpoint (°C)	Windchill (°C)	Hour Rainfall (mm)	24 hour Rainfall (mm)	Week Rainfall (mm)	Moist Rainfall (mm)	Total Rainfall (mm)	Wind Level (dft)	Level (dft)
1	14/03/2020 14:28	2	39	36.9	46	36.3	750.1	1.7	3.1	NW	757.9	22.9	36.3	0	0	0	0	0	2	2
2	14/03/2020 14:31	3	44	32.8	63	27.8	751.8	1.4	2.7	SE	759.7	20.1	27.8	0	0	0	0	0	1	2
3	14/03/2020 14:34	5	50	32.5	47	33.9	751.6	1	2	S	759.2	21.1	33.9	0	0	0	0	0	1	2
4	14/03/2020 14:41	5	50	35.1	43	36	751.5	0.7	1.7	W	759.4	21.5	36	0	0	0	0	0	1	2
5	14/03/2020 14:46	5	47	35.5	42	36.7	751.6	0.3	1.4	SE	759.4	21.7	36.7	0	0	0	0	0	1	1
6	14/03/2020 14:51	5	45	35.4	41	37.2	751.7	1	3.1	S	759.5	21.8	37.2	0	0	0	0	0	1	2
7	14/03/2020 14:56	5	43	35.3	40	36.9	751.6	1	2	SW	759.4	21.1	36.9	0	0	0	0	0	1	2
8	14/03/2020 15:01	5	43	35.2	40	37	751.6	0.7	1.4	S	759.4	21.2	37	0	0	0	0	0	1	1
9	14/03/2020 15:06	5	43	35	40	36.5	751.7	0.7	2	SW	759.5	20.8	36.5	0	0	0	0	0	1	2
10	14/03/2020 15:11	5	40	35.5	41	36.3	751.3	0	1.7	NW	759.2	21	36.3	0	0	0	0	0	2	2
11	14/03/2020 15:16	5	41	36	42	36.1	751.3	0	0	SW	759.2	21.2	36.1	0	0	0	0	0	0	0
12	14/03/2020 15:21	5	41	35.3	40	35.9	751.4	0.7	2	SW	759.3	20	35.9	0	0	0	0	0	0	0
13	14/03/2020 15:26	5	42	35.8	44	35.4	751.3	0	0	W	759.2	21.3	35.4	0	0	0	0	0	0	0
14	14/03/2020 15:31	5	42	35.3	46	35.3	751.4	0	0	W	759.3	22	35.3	0	0	0	0	0	0	0
15	14/03/2020 15:36	5	42	34.9	47	35.1	751.4	0	0	W	759.3	22.1	35.1	0	0	0	0	0	0	0
16	14/03/2020 15:41	5	43	34.6	48	34.9	751.3	0	0	W	759.2	22.3	34.9	0	0	0	0	0	0	0
17	14/03/2020 15:46	5	43	34.5	48	34.7	751.3	0	0	W	759.2	22.1	34.7	0	0	0	0	0	0	0
18	14/03/2020 15:51	5	44	34.3	48	34.6	751.2	0	0	W	759.1	22	34.6	0	0	0	0	0	0	0
19	14/03/2020 15:56	5	44	34.2	48	34.4	751.3	0	0	W	759.2	21.8	34.4	0	0	0	0	0	0	0
20	14/03/2020 16:01	5	44	34	49	34.4	751.2	0	0	W	759.1	22.2	34.4	0	0	0	0	0	0	0
21	14/03/2020 16:06	5	44	34	49	34.3	751.2	0	0	W	759.1	22.1	34.3	0	0	0	0	0	0	0
22	14/03/2020 16:11	5	44	33.9	49	34.2	751.1	0	0	W	759	22	34.2	0	0	0	0	0	0	0
23	14/03/2020 16:16	5	44	33.8	49	34.2	751.1	0	0	W	758.9	22	34.2	0	0	0	0	0	0	0
24	14/03/2020 16:21	5	44	33.8	49	34.2	751.1	0	0	W	759	22	34.2	0	0	0	0	0	0	0
25	14/03/2020 16:26	5	44	33.7	49	34.1	751.1	0	0	W	759	21.9	34.1	0	0	0	0	0	0	0
26	14/03/2020 16:31	5	44	33.7	49	34.1	751.1	0	0	W	758.9	21.9	34.1	0	0	0	0	0	0	0
27	14/03/2020 16:36	5	44	33.7	49	34.1	750.9	0	0	W	758.8	21.9	34.1	0	0	0	0	0	0	0
28	14/03/2020 16:41	5	44	33.6	49	34.1	751	0	0	W	758.8	21.9	34.1	0	0	0	0	0	0	0
29	14/03/2020 16:46	5	44	33.6	49	34.1	751.1	0	0	W	759	21.9	34.1	0	0	0	0	0	0	0
30	14/03/2020 16:51	5	44	33.6	49	34.1	751.1	0	0	W	759	21.9	34.1	0	0	0	0	0	0	0
31	14/03/2020 16:56	5	44	33.6	48	34.1	751.2	0	0	W	759.1	21.6	34.1	0	0	0	0	0	0	0
32	14/03/2020 17:01	5	44	33.6	48	34.1	751.2	0	0	W	759.1	21.6	34.1	0	0	0	0	0	0	0
33	14/03/2020 17:06	5	44	33.6	48	34.1	751.2	0	0	W	759.1	21.6	34.1	0	0	0	0	0	0	0
34	14/03/2020 17:11	5	44	33.6	48	34.1	751.3	0	0	W	759.1	21.6	34.1	0	0	0	0	0	0	0
35	14/03/2020 17:16	5	44	33.6	48	34	751.3	0	0	W	759.2	21.5	34	0	0	0	0	0	0	0
36	14/03/2020 17:21	5	44	33.6	48	34	751.3	0	0	W	759.2	21.5	34	0	0	0	0	0	0	0
37	14/03/2020 17:26	5	44	33.6	49	34	751.3	0	0	W	759.2	21.8	34	0	0	0	0	0	0	0
38	14/03/2020 17:31	5	44	33.6	49	34	751.3	0	0	W	759.2	21.8	34	0	0	0	0	0	0	0
39	14/03/2020 17:36	5	44	33.6	49	34	751.3	0	0	W	759.2	21.8	34	0	0	0	0	0	0	0
40	14/03/2020 17:41	5	45	33.6	50	34	751.5	0	0	W	759.4	22.1	34	0	0	0	0	0	0	0
41	14/03/2020 17:46	5	45	33.6	50	34	751.4	0	0	W	759.3	22.1	34	0	0	0	0	0	0	0
42	14/03/2020 17:51	5	45	33.5	50	34	751.5	0	0	W	759.4	22.1	34	0	0	0	0	0	0	0
43	14/03/2020 17:56	5	45	33.5	50	34	751.6	0	0	W	759.4	22.1	34	0	0	0	0	0	0	0
44	14/03/2020 18:01	5	45	33.5	50	33.9	751.6	0	0	W	759.4	22.1	33.9	0	0	0	0	0	0	0
45	14/03/2020 18:06	5	45	33.5	51	33.9	751.7	0	0	W	759.5	22.4	33.9	0	0	0	0	0	0	0
46	14/03/2020 18:11	5	46	33.5	51	33.9	751.7	0	0	W	759.6	22.4	33.9	0	0	0	0	0	0	0
47	14/03/2020 18:16	5	46	33.4	50	33.8	751.4	1.4	4.1	SW	759.3	22.2	33.8	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1	3
48	14/03/2020 18:21	5	46	33.2	54	32	751.6	1	2	S	759.4	22.1	32	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1	3
49	14/03/2020 18:26	5	50	32.1	57	30.9	751.7	2	4.1	SW	759.6	21.4	30.8	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	2	3
50	14/03/2020 18:31	5	53	31.2	59	30.1	751.8	2	3.7	S	759.7	21.2	30	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	2	3
51	14/03/2020 18:36	5	53	30.7	60	29.8	751.8	1.4	2.7	S	759.7	21.2	29.8	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1	2
52	14/03/2020 18:41	5	59	29.6	61	29.5	751.9	1.7	3.1	SW	759.8	21.1	29.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	2	3
53	14/03/2020 18:46	5	58	30.2	62	29.4	751.9	2.4	4.4	S	759.8	21.4	29.1	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2	3
54	14/03/2020 18:51	5	58	29.8	64	29.1	751.9	2	3.4	S	759.8	21.6	28.9	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2	3
55	14/03/2020 18:56	5	57	29.6	65	28.9	752.1	2	3.1	SE	760	21.7	28.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2	2
56	14/03/2020 19:01	5	58	29.3	66	28.7	752.1	2.4	3.4	S	760	21.8	28.3	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2	3
57	14/03/2020 19:06	5	59	29.2	67	28.4	752.2	2.7	4.4	S	760.1	21.9	27.9	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2	3
58	14/03/2020 19:11	5	61	29.2	67	28.4	752.3	0	1	E	760.2	21.7	28.4	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	0	1
59	14/03/2020 19:16	5	59	29.7	67	28.8	752.3	0	0.7	S	760.2	22.1	28.8	5.7	6	6	6	6	0	1
60	14/03/2020 19:21	5	57	30.2	65	29.5	752.4	0	0	NE	760.3	22.3	29.5	5.7	6	6	6	6	0	0
61	14/03/2020 19:26	5	57	30.7	63	29.7	752.6	0	0	S	760.4	21.9	29.7	5.7	6	6	6	6	0	1
62	14/03/2020 19:31	5	55	31.1	63	29.6	752.6	0	0.3	SW	760.4	21.8	29.6	5.7	6	6	6	6	0	1
63	14/03/2020 19:36	5	54	31.3	64	29.5	752.7	0	1	NW	760.6	22	29.5	5.7	6	6	6	6	0	1
64	14/03/2020 19:41	5	53	31.5	64	29.4	752.8	0	1	SE	760.7	21.9	29.4	5.4	6	6	6	6	0	1
65	14/03/2020 19:46	5	53	31.7	64	29.4	752.8	0	0.3	SE	760.7	21.9	29.4	3.3	6	6	6	6	0	1
66	14/03/2020 19:51	5	52	31.9	64	29.3	753	0	0.3	SE	760.9	21.8	29.3	3.3	6	6	6	6	0	1
67	14/03/2020 19:56	5	52	32	65	29.2	753	0	0	SE	760.9	22	29.2	3.3	6	6	6	6	0	0
68	14/03/2020 20:01	5	51	32.1	65	29.2	753.2	0	0.7	S	761	22	29.2	3.3	6	6	6	6	0	1
69	14/03/2020 20:06	5	51	32.2	65	29.2	753.2	0	1.4	NNE	761.1	22	29.2	3.3	6	6	6	6	0	1
70	14/03/2020 20:11	5	51	32.3	65	29.2	753.2	0	0	SW	761.1	21.8	29.2	3.3	6	6	6	6	0	0
71	14/03/2020 20:16	5	51	32.4	66	29	753.4	0	0.3	SW										

**Anexo 02: Potenciales eólicos por día de los meses de marzo 2020 a marzo 2021**

Días del mes de abril del 2020	Potencial eólico (Watts)	Regresión lineal	Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>
27	456.2	$y = 2.0425 x - 2.8159$	0.9827
28	50.5	$y = 1.3007 x - 0.8390$	0.9772
29	182.0	$y = 1.6155 x - 1.7323$	0.9867
30	140.4	$y = 1.5448 x - 1.5230$	0.9815
Promedio	207.3		
Días del mes de mayo del 2020	Potencial eólico (Watts)	Regresión lineal	Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>
1	70.6	$y = 1.2738 x - 0.9641$	0.9881
2	52.3	$y = 1.194 x - 0.7837$	0.9877
3	77.2	$y = 1.4821 x - 1.1654$	0.992
4	80.2	$y = 1.2968 x - 1.0361$	0.9726
5	80.9	$y = 1.338 x - 1.0734$	0.9825
6	91.2	$y = 1.4681 x - 1.2361$	0.9851
7	184.3	$y = 1.4889 x - 1.6027$	0.9967
8	157.4	$y = 1.4026 x - 1.436$	0.9897
9	208.1	$y = 1.803 x - 2.0138$	0.9908
10	118.6	$y = 1.3397 x - 1.2452$	0.982
11	159.6	$y = 1.7576 x - 1.8078$	0.9949
12	136.3	$y = 1.3893 x - 1.3506$	0.9775
13	251.2	$y = 1.575 x - 1.858$	0.9782
14	178.1	$y = 1.3864 x - 1.4767$	0.9809
15	282.7	$y = 2.3767 x - 2.8974$	0.9813
16	193.0	$y = 1.6569 x - 1.8091$	0.9923
17	118.0	$y = 1.363 x - 1.2646$	0.9758
18	74.9	$y = 1.1947 x - 0.9277$	0.9767
19	121.2	$y = 1.4735 x - 1.3804$	0.9759
20	177.4	$y = 1.5855 x - 1.6867$	0.9916

21	238.0	$y = 1.899 x - 2.2062$	0.997
22	156.5	$y = 1.5734 x - 1.6081$	0.9851
23	108.4	$y = 1.4896 x - 1.3402$	0.9926
24	105.8	$y = 1.5049 x - 1.3415$	0.9784
25	83.0	$y = 1.5013 x - 1.2167$	0.984
26	96.3	$y = 1.6046 x - 1.3804$	0.9945
27	22.8	$y = 0.6197 x - 0.2357$	0.9668
Promedio	134.220656		
Días del mes de junio del 2020	Potencial eólico (Watts)	Regresión lineal	Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>
11	815.87	$y = 2.7841 x - 4.3777$	0.9982
16	135.11	$y = 1.956 x - 1.9032$	0.9904
17	186.77	$y = 2.3462 x - 2.5361$	0.9946
18	212.83	$y = 1.8398 x - 2.0688$	0.9927
19	118.16	$y = 1.2698 x - 1.1788$	0.9752
20	137.55	$y = 1.6415 x - 1.607$	0.995
21	129.73	$y = 1.6481 x - 1.5813$	0.9925
22	69.91	$y = 1.2626 x - 0.9512$	0.9824
23	108.75	$y = 1.635 x - 1.4726$	0.9892
24	115.14	$y = 1.4845 x - 1.3653$	0.9784
25	191.58	$y = 3.5701 x - 3.8893$	1
Promedio	201.95		
Días del mes de julio del 2020	Potencial eólico (Watts)	Regresión lineal	Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>
4	160.24	$y = 1.4933 x - 1.5379$	0.976
5	162.30	$y = 1.75 x - 1.8097$	0.9981
6	273.95	$y = 1.7438 x - 1.889$	0.9956
7	290.25	$y = 1.6082 x - 1.7731$	0.9921
8	294.48	$y = 1.978 x - 2.4383$	0.9962
9	428.92	$y = 2.1036 x - 1.6329$	0.9986
23	497.15	$y = 1.9463 x - 2.495$	0.9814
24	271.45	$y = 1.5397 x - 1.6632$	0.9864
25	197.52	$y = 1.6576 x - 1.6149$	0.9897
26	270.69	$y = 2.0851 x - 2.2504$	0.9912
Promedio	284.69		
Días del mes de agosto del 2020	Potencial eólico (Watts)	Regresión lineal	Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>

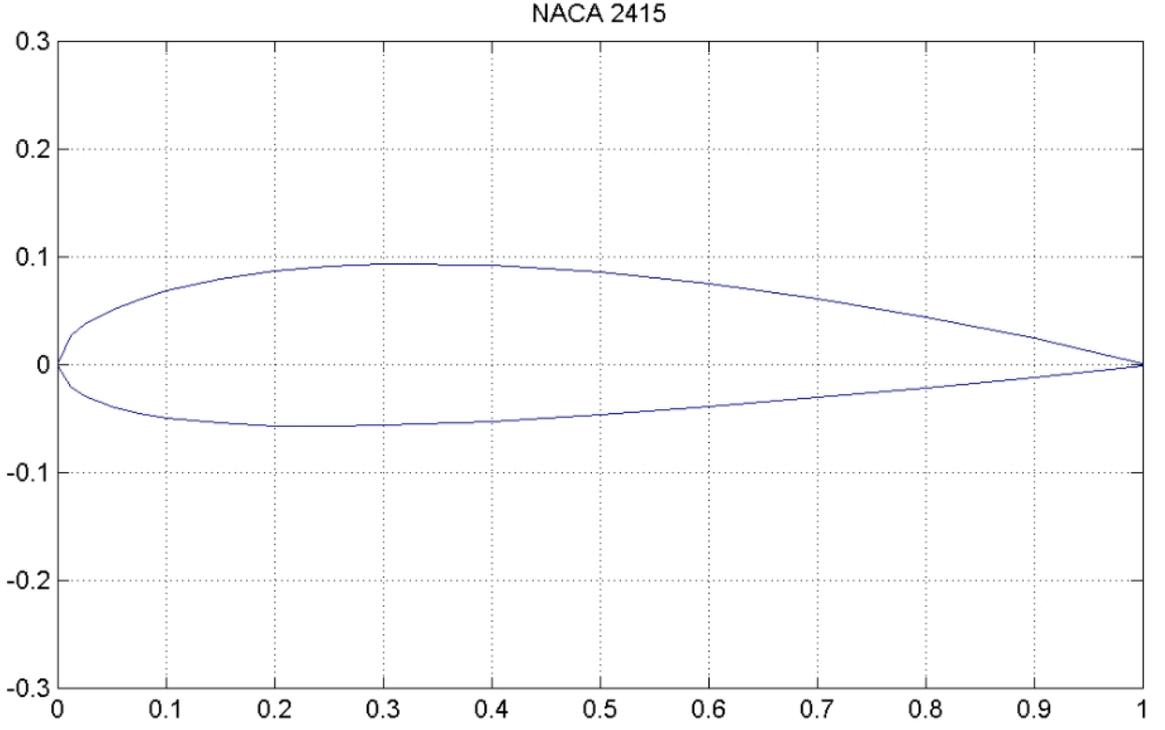
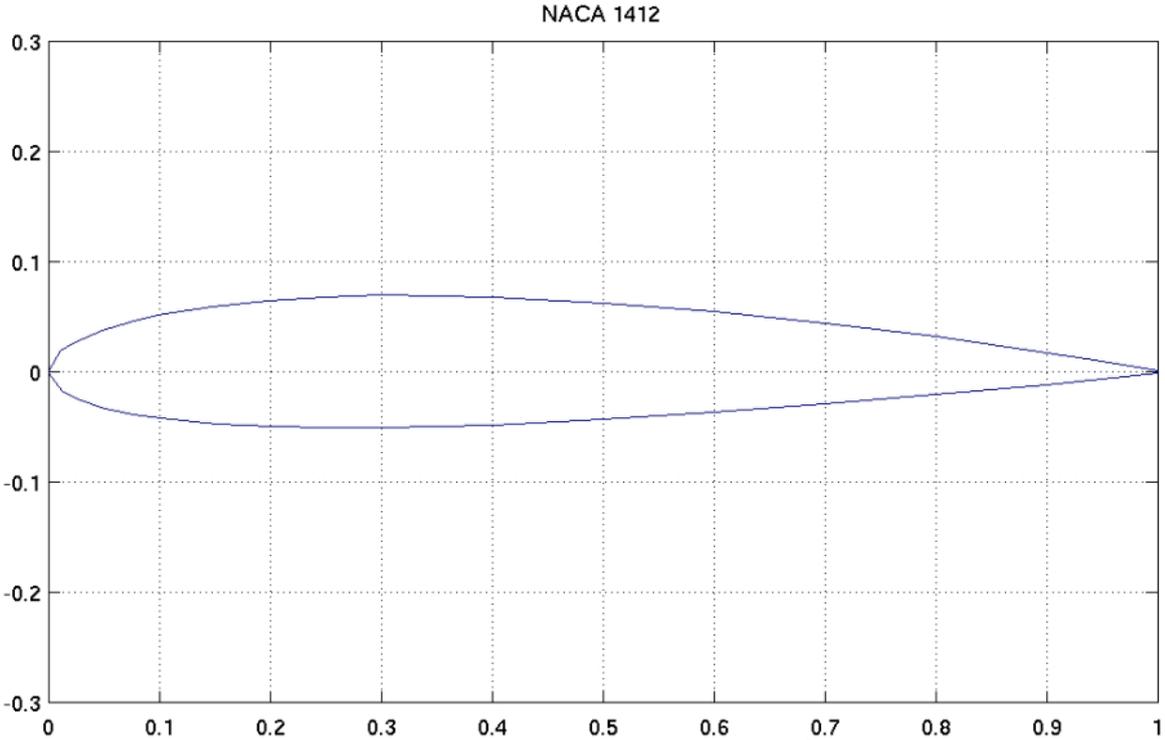
10	237.84	$y = 1.7442 x - 2.0259$	0.9804
11	90.80	$y = 1.3845 x - 1.1637$	0.9677
12	130.06	$y = 1.2972 x - 1.2457$	0.9772
13	28.50	$y = 1.4409 x - 0.6545$	0.9935
26	382.35	$y = 2.3681 x - 3.1253$	0.9837
27	163.41	$y = 1.4015 x - 1.4525$	0.9935
28	4.98	$y = 0.9077 x + 0.1157$	0.9729
Promedio	148.27		
Días del mes de setiembre del 2020	Potencial eólico (Watts)	Regresión lineal	Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>
10	165.7180817	$y = 1.3221 x - 1.3764$	0.9514
11	175.2913232	$y = 1.4768 x - 1.5651$	0.9901
12	148.5586684	$y = 1.6397 x - 1.6473$	0.9929
23	229.6356865	$y = 2.5306 x - 2.9097$	0.9936
24	179.6479028	$y = 1.8757 x - 2.0032$	0.9982
25	222.5170588	$y = 2.0336 x - 2.3169$	0.9945
26	180.4040772	$y = 1.4746 x - 1.5769$	0.9849
27	87.65081787	$y = 2.6688 x - 2.2118$	0.9874
Promedio	173.6779521		
Días del mes de octubre del 2020	Potencial eólico (Watts)	Regresión lineal	Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>
5	65.14	$y = 1.5874 x - 1.1585$	0.9915
6	120.26	$y = 1.6516 x - 1.5429$	0.9972
7	0.41	$y = 1.562 x - 1.4968$	0.9958
8	98.48	$y = -0.2598 x + 0.2254$	1
18	546.90	$y = 2.1908 x - 3.1527$	0.9905
19	154.96	$y = 1.9583 x - 1.9949$	0.9897
20	119.86	$y = 1.5559 x - 1.4518$	0.995
21	110.49	$y = 1.6568 x - 1.501$	0.9897
22	91.84	$y = 1.4034 x - 1.1849$	0.9892
23	126.37	$y = 1.6478 x - 1.5666$	0.9833
24	117.17	$y = 1.3011 x - 1.2042$	0.9818
25	8.18	$y = 1.6646 x - 0.0634$	0.9935
Promedio	130.00		

Días del mes de noviembre del 2020	Potencial eólico (Watts)	Regresión lineal	Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>
7	84.03	$y = 1.3071 x - 1.0649$	0.9667
8	66.06	$y = 0.9683 x - 0.7112$	0.973
9	79.11	$y = 1.1563 x - 0.9188$	0.9766
10	35.63	$y = 0.9485 x - 0.5015$	0.9595
11	28.40	$y = 1.0878 x - 0.4929$	0.9395
12	55.14	$y = 1.2003 x - 0.8093$	0.9594
13	104.73	$y = 1.2958 x - 1.1508$	0.9892
14	112.47	$y = 1.298 x - 1.1836$	0.9827
15	58.34	$y = 1.1715 x - 0.8119$	0.9401
16	74.38	$y = 1.3114 x - 1.0151$	0.9796
25	322.24	$y = 2.0271 x - 2.5597$	0.9915
26	66.08	$y = 1.1133 x - 0.8178$	0.9708
27	45.68	$y = 1.3722 x - 0.8391$	0.9832
28	90.88	$y = 1.2275 x - 1.0321$	0.9711
Promedio	87.37		
Días del mes de diciembre del 2020	Potencial eólico (Watts)	Regresión lineal	Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>
9	88.35	$y = 2.3124 x - 2.3584$	R <sup>2</sup> = 0.986
10	94.07	$y = 1.5669 x - 1.3355$	R <sup>2</sup> = 0.9911
11	48.58	$y = 0.9646 x - 0.6097$	R <sup>2</sup> = 0.9598
20	178.80	$y = 1.4955 x - 1.5948$	R <sup>2</sup> = 0.979
21	133.88	$y = 1.3742 x - 1.3329$	R <sup>2</sup> = 0.9786
22	127.49	$y = 1.7802 x - 1.6977$	R <sup>2</sup> = 0.9879
23	61.27	$y = 1.2914 x - 0.9161$	R <sup>2</sup> = 0.9859
24	200.34	$y = 1.7926 x - 1.9796$	R <sup>2</sup> = 0.9965
25	49.99	$y = 1.4301 x - 0.9175$	R <sup>2</sup> = 0.9954
26	98.59	$y = 1.2511 x - 1.0859$	R <sup>2</sup> = 0.9828
27	46.30	$y = 1.1147 x - 0.6867$	R <sup>2</sup> = 0.9848
28	58.02	$y = 0.9943 x - 0.6873$	R <sup>2</sup> = 0.934
29	130.87	$y = 1.4065 x - 1.3536$	R <sup>2</sup> = 0.9837
30	114.86	$y = 1.8341 x - 1.6853$	R <sup>2</sup> = 0.9959
31	43.92	$y = 2.0704 x - 1.239$	R <sup>2</sup> = 0.9883
Promedio	98.36		

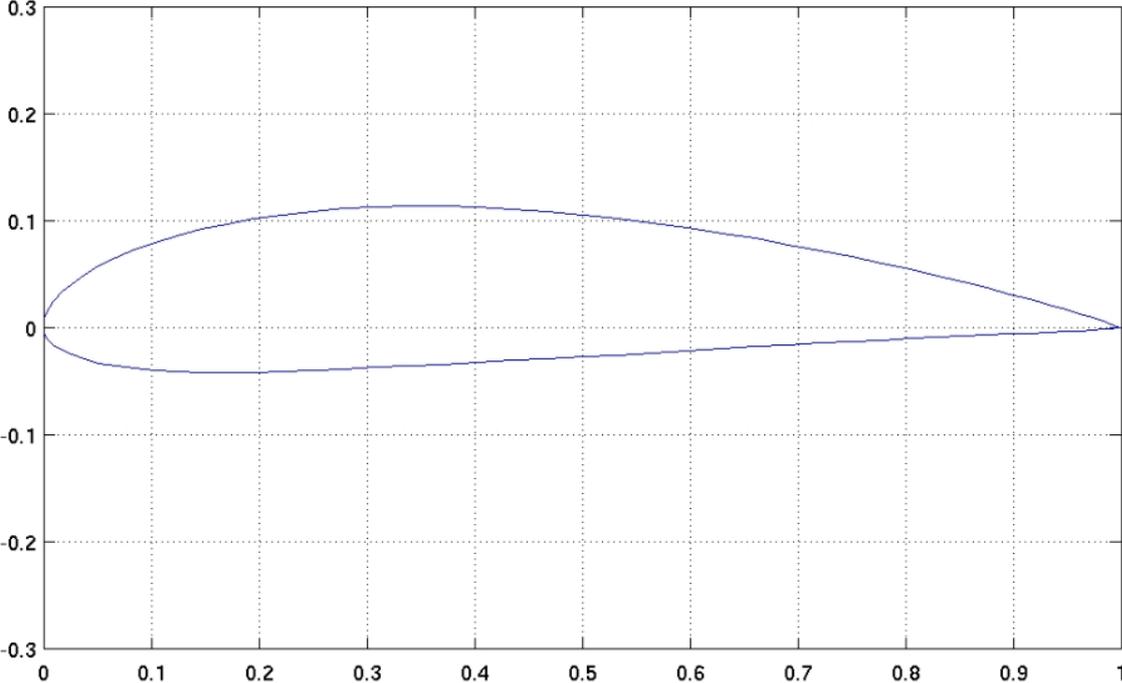
Días del mes de enero del 2021	Potencial eólico (Watts)	Regresión lineal	Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>
11	68.97	$y = 0.8486 x - 0.6355$	R <sup>2</sup> = 1
12	140.16	$y = 1.4369 x - 1.4157$	R <sup>2</sup> = 0.9896
13	88.92	$y = 1.5693 x - 1.3081$	R <sup>2</sup> = 0.9907
14	95.90	$y = 1.2806 x - 1.0997$	R <sup>2</sup> = 0.9762
23	52.85	$y = 1.028 x - 0.6786$	R <sup>2</sup> = 0.973
24	68.69	$y = 1.4777 x - 1.1046$	R <sup>2</sup> = 0.9924
25	64.42	$y = 1.3421 x - 0.9745$	R <sup>2</sup> = 0.9808
26	25.78	$y = 1.1337 x - 0.4771$	R <sup>2</sup> = 0.9818
Promedio	75.71		
Días del mes de febrero del 2021	Potencial eólico (Watts)	Regresión lineal	Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>
7	95.47	$y = 1.3891 x - 1.1908$	R <sup>2</sup> = 0.9803
8	91.96	$y = 2.8874 x - 2.4392$	R <sup>2</sup> = 0.9733
10	57.45	$y = 1.1344 x - 0.539$	R <sup>2</sup> = 0.9545
11	34.37	$y = 0.9676 x - 0.5$	R <sup>2</sup> = 0.9379
12	57.45	$y = 1.4266 x - 0.9203$	R <sup>2</sup> = 0.9874
13	115.43	$y = 1.4433 x - 1.3286$	R <sup>2</sup> = 0.9946
14	27.88	$y = 1.1123 x - 0.4972$	R <sup>2</sup> = 0.9943
28	150.54	$y = 1.7888 x - 1.805$	R <sup>2</sup> = 0.95
Promedio	78.82		
Días del mes de marzo del 2021	Potencial eólico (Watts)	Regresión lineal	Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>
1 de marzo	11.03	$y = 0.9231 x - 0.1273$	R <sup>2</sup> = 0.9862
2 de marzo	23.83	$y = 1.2594 x - 0.497$	R <sup>2</sup> = 0.9924
3 de marzo	42.31	$y = 1.0608 x - 0.6216$	R <sup>2</sup> = 0.9751
4 de marzo	103.63	$y = 1.3473 x - 1.1918$	R <sup>2</sup> = 0.9959
5 de marzo	58.22	$y = 1.2661 x - 0.8766$	R <sup>2</sup> = 0.9974
6 de marzo	54.11	$y = 1.027 x - 0.686$	R <sup>2</sup> = 0.98
7 de marzo	54.35	$y = 1.4324 x - 0.9589$	R <sup>2</sup> = 0.981
9 de marzo	-	$y = 0.2135 x + 0.5534$	R <sup>2</sup> = 1
10 de marzo	75.56	$y = 1.1726 x - 0.9138$	R <sup>2</sup> = 0.9652
11 de marzo	48.00	$y = 0.9727 x - 0.6109$	R <sup>2</sup> = 0.9529
12 de marzo	33.57	$y = 1.0339 x - 0.5261$	R <sup>2</sup> = 0.9863
13 de marzo	66.02	$y = 1.3851 x - 1.0171$	R <sup>2</sup> = 0.995
16 de marzo	92.88	$y = 2.6565 x - 2.2529$	R <sup>2</sup> = 0.9815
17 de marzo	47.14	$y = 1.049 x - 0.6525$	R <sup>2</sup> = 0.9602

18 de marzo	21.46	$y = 0.8776 x - 0.3157$	$R^2 = 0.9731$
19 de marzo	48.37	$y = 1.173 x - 0.7397$	$R^2 = 0.9904$
20 de marzo	31.94	$y = 1.2478 x - 0.6142$	$R^2 = 0.9748$
21 de marzo	67.56	$y = 1.4983 x - 1.1117$	$R^2 = 0.9951$
22 de marzo	42.83	$y = 1.0643 x - 0.628$	$R^2 = 0.9684$
23 de marzo	63.38	$y = 1.4456 x - 1.0418$	$R^2 = 0.9928$
24 de marzo	20.52	$y = 1.1592 x - 0.3997$	$R^2 = 0.9835$
25 de marzo	62.43	$y = 1.6927 x - 1.2114$	$R^2 = 0.9882$
26 de marzo	40.05	$y = 1.3741 x - 0.78$	$R^2 = 0.9882$
27 de marzo	39.61	$y = 1.6506 x - 0.3701$	$R^2 = 0.9975$
Promedio	49.95		

**Anexo 03. Perfiles aerodinámicos NACA**



NACA 4415



Anexo 04. Turnitin



Fernando Madrid Guevara | Tesis Doctoral FMadridG

Resumen del partido

**8%**

1	repositorio.unac.edu.pe <small>Fuente de Internet</small>	1%
2	www.slideshare.net <small>Fuente de Internet</small>	1%
3	docplayer.es <small>Fuente de Internet</small>	1%
4	www.ptolomeo.unam.... <small>Fuente de Internet</small>	1%
5	repositorio.unsa.edu.pe <small>Fuente de Internet</small>	1%
6	nanopdf.com <small>Fuente de Internet</small>	1%
7	riiba.edu.ar <small>Fuente de Internet</small>	1%
8	dspace.uazuay.edu.ec <small>Fuente de Internet</small>	1%
9	repositorio.uccss.edu.pe <small>Fuente de Internet</small>	1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**  
ESUELA DE POSTGRADO  
DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



TESIS DOCTORAL  
"APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA FÓLICA Y SU INTEGRACIÓN A LA RED ELÉCTRICA DE LA CIUDAD DE PIURA"

Presentada por:  
Mag. Ing. Fernando Madrid Guevara

PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Línea de Investigación:  
Aprovechamiento y gestión sostenible del Ambiente y los Recursos Naturales

Sub línea de Investigación:  
Tecnología energética

Piura, Perú  
Noviembre – 2022

Página: 1 de 63

Número de palabras: 11821

Informe de solo texto | Alta resolución