

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO PARA LA GENERACIÓN DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL AEROPUERTO TETERBORO, NEW JERSEY,  
EE.UU.**

**LUIS FELIPE DIAZ TORRES  
000219483**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIAS  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
FLORIDABLANCA  
2018**

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO PARA LA GENERACIÓN DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL AEROPUERTO TETERBORO, NEW JERSEY,  
EE.UU.**

**LUIS FELIPE DIAZ TORRES  
000219483**

**Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico**

**Director  
EMIL HERNANDEZ ARROYO  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIAS  
FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA  
FLORIDABLANCA  
2018**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION .....	11
1. OBJETIVOS.....	13
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	13
1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS .....	13
2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	15
3. MARCO TEÓRICO .....	21
3.1 MIGRACIÓN DE DATOS .....	22
3.2 PROCESAMIENTO DE DATOS .....	28
3.2.1 Calculo de Frecuencias.....	37
3.2.2 Calculo de Intervalos. ....	37
3.2.3 Calculo de Amplitud de los intervalos. ....	38
3.3 ANÁLISIS DEL VIENTO .....	38
3.3.1 Velocidad media del viento horizontal.....	38
3.3.2 Función de distribución de probabilidad de Weibull. ....	40
3.3.2.1 Método empírico .....	41
3.3.2.2 Método de máxima verosimilitud.....	42
3.3.2.3 Método modificado de máxima verosimilitud .....	42
3.3.2.4 Método del patrón de energía .....	42
3.3.2.5 Método grafico .....	43
3.3.3 Distribución de Rayleigh .....	45
3.4 TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA .....	46
3.5 MÁQUINA EÓLICA .....	47
3.5.1 Máquinas eólicas de eje horizontal .....	47
3.5.2 Máquinas eólicas de eje vertical .....	48
3.6 POTENCIA DEL VIENTO .....	49

3.6.1 Modelo teórico de Betz .....	51
3.6.2 Densidad de potencia eólica .....	54
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	55
4.1 CALCULO DE INTERVALOS .....	55
4.2 TABLA DE FRECUENCIAS .....	55
4.3.1 Potencia del viento.....	83
4.3.2 Densidad de potencia eólica .....	83
5. SELECCIÓN DE LA MÁQUINA EÓLICA .....	84
5.1 ESPECIFICACIONES .....	85
5.1.1 Rendimiento.....	86
5.1.2 Ventajas del aerogenerador .....	86
5.2 PRODUCCIÓN DE POTENCIA .....	89
6. CONCLUSIONES .....	94
BIBLIOGRAFÍA .....	96

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Sitios donde se están haciendo estudio sobre energía eólica .....	15
Figura 2. Coordenadas geográficas del aeropuerto de Teterboro. ....	16
Figura 3. Plano del aeropuerto de Teterboro, NJ, USA. ....	18
Figura 4. Pasos para el proceso de Migración de datos. ....	23
Figura 5. Fuente de datos, pagina de Weather Underground. ....	25
Figura 6. Hora y la velocidad del viento, por mes. ....	26
Figura 7. Se convierte el texto" Sin Viento", en la tabla, por el valor 0.....	27
Figura 8. Se extraen las letras de las unidades de la velocidad del viento. ....	28
Figura 9. Grafica Velocidad horizontal del viento vs Elevación.....	39
Figura 10. Sistema conectado a la red .....	46
Figura 11. Sistemas no conectados a la red .....	47
Figura 12. Máquinas eólicas de eje horizontal.....	48
Figura 13. Máquina eólica de eje vertical.....	48
Figura 14. Modelo de Betz.....	51
Figura 15. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Enero....	59
Figura 16. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes enero .....	60
Figura 17. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Febrero	61
Figura 18. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Febrero.....	62
Figura 19. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Marzo ...	63
Figura 20. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Marzo .....	64
Figura 21. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Abril ....	65
Figura 22. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Abril .....	66
Figura 23. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Mayo.....	67
Figura 24. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Mayo .....	68
Figura 25. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Junio.....	69

Figura 26. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Junio.....	70
Figura 27. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Julio .....	71
Figura 28. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Julio.....	72
Figura 29. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Agosto ..	73
Figura 30. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Agosto .....	74
Figura 31. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Septiembre.....	75
Figura 32. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Septiembre.....	76
Figura 33. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Octubre.	77
Figura 34. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Octubre .....	78
Figura 35. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Noviembre .....	79
Figura 36. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Noviembre.....	80
Figura 37. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Diciembre.....	81
Figura 38. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Diciembre .....	82
Figura 39. Máquina eólica Aeolos-V 10 kW .....	85
Figura 40. Exterior de las palas del aerogenerador Aeolos-V 10 kW.....	87
Figura 41. Interior de las palas del aerogenerador Aeolos-V 10 kW .....	87
Figura 42. Aerogenerador Aeolos-V 10 kW en una azotea.....	88
Figura 43. Interfaz de monitoreo remoto del aerogenerador Aeolos -V 10 kW .....	89
Figura 44. Curva de potencia.....	90
Figura 45. Producción de potencia anual del aerogenerador Aeolos-V 10kW .....	91

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Ejemplo Producción de café en sacos .....	36
Tabla 2. Edad vs Número de niños .....	36
Tabla 3. Tabla de frecuencia de la velocidad del viento del mes de enero .....	37
Tabla 4. Valores del exponente de Hellmann en función de la rugosidad del terreno. ....	40
Tabla 5. Numero de intervalos .....	55
Tabla 6. Tabla de frecuencias del mes de enero .....	55
Tabla 7. Tabla de frecuencias del mes de febrero .....	56
Tabla 8. Tabla de frecuencias del mes de marzo .....	56
Tabla 9. Tabla de frecuencias del mes de abril .....	56
Tabla 10. Tabla de frecuencias del mes de Mayo.....	56
Tabla 11. Tabla de frecuencias del mes de Junio.....	57
Tabla 12. Tabla de frecuencias del mes de Julio .....	57
Tabla 13. Tabla de frecuencias del mes de Agosto .....	57
Tabla 14. Tabla de frecuencias del mes de Septiembre .....	57
Tabla 15. Tabla de frecuencias del mes de Octubre.....	58
Tabla 16. Tabla de frecuencias del mes de Noviembre .....	58
Tabla 17. Tabla de frecuencias del mes de Diciembre .....	58
Tabla 18. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Enero .....	59
Tabla 19. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Enero .....	60
Tabla 20. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Febrero ..	61
Tabla 21. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Febrero .....	62
Tabla 22. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Marzo.....	63
Tabla 23. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Marzo .....	64
Tabla 24. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Abril .....	65

Tabla 25. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Abril .....	66
Tabla 26. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Mayo .....	67
Tabla 27. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Mayo.....	68
Tabla 28. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Junio .....	69
Tabla 29. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Junio.....	70
Tabla 30. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Julio .....	71
Tabla 31. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Julio .....	72
Tabla 32. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Agosto ...	73
Tabla 33. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Agosto .....	74
Tabla 34. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Septiembre.....	75
Tabla 35. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Septiembre .....	76
Tabla 36. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Octubre..	77
Tabla 37. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Octubre.....	78
Tabla 38. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Noviembre .....	79
Tabla 39. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Noviembre .....	80
Tabla 40. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Diciembre.....	81
Tabla 41. $\ln - \ln 1 - Fv$ Vs $\ln(v)$ mes Diciembre .....	82
Tabla 42. Parámetros de forma k escala c de los meses del año 2017.....	83
Tabla 43. Densidad promedio de los meses del año 2017 .....	83
Tabla 44. Aplicación de criterios a candidatos .....	84
Tabla 45. Factores de producción por hora .....	91
Tabla 46. Tabla de frecuencias hora por hora del año 2017.....	92
Tabla 47. Producción de potencia del 2017 .....	93



## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL AEROPUERTO TETERBORO, NEW JERSEY, EE.UU

**AUTOR(ES):** Luis Felipe Diaz Torres

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR(A):** Emil Hernandez Arroyo

### RESUMEN

En la búsqueda de energías alternativas, limpias y renovables como una solución a la demanda de esta misma y a la crisis ambiental actual, se encuentra la energía eólica. El objetivo del proyecto es el cálculo del potencial eólico anual y con base a este valor recomendar un aerogenerador para la generación de energía eléctrica en el aeropuerto Teterboro en el Estado de New Jersey, Estados Unidos. Para ello se realizó una búsqueda bibliográfica que tuvo lugar en libros, revistas, artículos de investigación, tesis doctorales y boletines informativos alrededor del mundo sobre el uso, explotación e investigación de las tecnologías relacionadas con la energía eólica. Para el cálculo se tomaron el registro de las mediciones de viento obtenidas por el sistema automático de observación de superficies en el aeropuerto, registradas en el año 2017, a las cuales se les realizó la debida migración de datos para su limpio procesamiento y con ayuda de la estadística descriptiva se elaboraron las tablas de frecuencia para su fácil visualización. La metodología utilizada en este proyecto es la función de distribución de probabilidad de Weibull, utilizando el método gráfico se conocieron los valores de los parámetros de forma  $k$  y de escala  $c$  con el fin de conocer la densidad de potencia eólica. Con base a este valor, a las condiciones del lugar del estudio, a la velocidad promedio y de conexión, se seleccionó un aerogenerador marca Aeolos llamado Aeolos-V 10 kW con el cual se calculó que para las 8760 horas del año 2017 se producirían un total de 37194.954 kW de potencia con esa máquina eólica.

### PALABRAS CLAVE:

Densidad de potencia eólica, función distribución de probabilidad Weibull, Aerogenerador

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

#### GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** ASSESSMENT OF THE WIND POWER FOR ELECTRIC ENERGY GENERATION AT TETERBORO AIRPORT, NEW JERSEY, UNITED STATES.

**AUTHOR(S):** Luis Felipe Diaz Torres

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR:** Emil Hernandez Arroyo

#### ABSTRACT

In the search for alternative, clean and renewable energies as a solution to the demand for it and the current environmental crisis, wind energy is found. The objective of the project is to calculate the annual wind potential and based on this value, recommend a wind turbine for the generation of electric power at the Teterboro airport in the State of New Jersey, United States. To do it, I did a bibliographic search that took place books, journals, research articles, doctoral theses and bulletins around the world on the use, exploitation and research of technologies related to wind energy. For calculating, the record of the wind measurements obtained by the automatic surface observation system at the airport, registered in the year 2017, was taken, after that I did the data migration for clean this information and processes it, besides with the help of the descriptive statistics were developed frequency tables for easy viewing. The methodology used in this project is the probability distribution function of Weibull, using the graphical method we knew the values of the parameters of form  $k$  and of scale  $c$  in order to know the wind power density. Based on this value, at the conditions of the study site, at the average speed and speed connection, an Aeolos brand wind turbine named Aeolos-V 10 kW was selected, this wind machine would produce for the 8760 hours of the year 2017 a total of 37194.954 kW of power.

#### KEYWORDS:

Wind power density, Weibull probability distribution function, Wind turbine

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## INTRODUCCION

El dinamismo de la economía mundial y el crecimiento poblacional van en aumento, es por esto el consumo energético se ha incrementado considerablemente. [1] Además, la dependencia de los combustibles fósiles (en términos de consumo de energía primaria representan en promedio el 35 % para el petróleo, un 27% para carbón, el 23 % para gas natural y el resto en energías alternativas) y su impacto al medio ambiente [2], genera un impulso en la búsqueda de energías alternativas, limpias y renovables como solución a la demanda de energía, a la crisis ambiental actual y la inestabilidad de los precios de los combustibles [1].

Unas de las 6 fuentes de energías renovables identificadas como atractivas para desarrollo e investigación es la energía eólica, es decir, aquella que proviene del viento [3] y es considerada una de las más potentes y rentables en términos de eficiencia energética para un desarrollo sostenible [1].

En este sentido para la implementación de una maquina eólica se deben tener en cuenta numerosos factores locales que influyen en la generación, que, debido a su multiplicidad y a la aleatoriedad del viento son difíciles de simplificar. Para ello, el conocimiento de la circulación general de los vientos, sus tipos y la orografía del terreno son esenciales para aplicaciones como el diseño campos de generación de energía eléctrica; determinar el comportamiento de los ciclones tropicales; determinar la periodicidad del viento y determinar el sitio de evaluación del recurso eólico [1,4].

Con relación a esto, en el Estado de New Jersey el grupo empresarial de servicios públicos (*PSEG*-por sus siglas en inglés), compañía encargada del servicio de energía eléctrica en el Estado, la cual se ha planteado como meta que para el año

2020 el 20% de la electricidad provenga de energías renovables. De la misma forma 14 Estados ya tienen metas para eficiencia energética; lo que significa que se necesitan cambios tanto corto plazo como a largo plazo [5].

Con este proyecto se busca realizar el cálculo del potencial eólico anual en el aeropuerto Teterboro en el estado de New Jersey en los Estados Unidos. Se tendrá como punto de partida una exhaustiva búsqueda sobre el uso e investigación de las tecnologías relacionadas con la generación de la energía eólica, con el fin de aplicar la metodología más utilizada para cálculo del potencial eólico y para proporcionar una base para futuros estudios en esta forma de generación. Para concluir con el trabajo se buscará seleccionar un aerogenerador que se ajuste a las condiciones del lugar del estudio.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el cálculo del recurso eólico para la generación de energía eléctrica en el aeropuerto Teterboro en el Estado de New Jersey, Estados Unidos. El proyecto inicia con la exploración y selección del origen de los datos, para su posterior recolección, análisis y transformación, teniendo en cuenta las diferentes metodologías que se usan al rededor del mundo para dicho cálculo, para que, finalmente con base en este valor presentar una recomendación de una máquina eólica que esté de acuerdo al potencial eólico que se puede obtener. Este proyecto será un punto de partida para próximas investigaciones y aplicaciones para este tipo de generación.

### 1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Realizar la recolección de información sobre uso, explotación e investigación de las tecnologías relacionadas con la energía eólica. Resultado: Un informe de los pasos a seguir y las variables a considerar en el cálculo del potencial eólico en un sitio determinado. Indicador: Revisión de al menos 10 artículos de investigación en bases de datos con información referente al cálculo de potencial eólico.
- Calcular el potencial eólico en el aeropuerto Teterboro en el estado de New Jersey, Estados Unidos. Resultado: Un informe del potencial eólico disponible en kW/año del aeropuerto Teterboro en el Estado de New Jersey, Estados Unidos. Indicador: Los kW/año que se pueden obtener al instalar un maquina

Comentado [EJCT1]: Lo correcto es kW y no KW

eólica comparándolos con 5 o más estudios realizados con condiciones similares.

- Seleccionar una maquina eólica que se ajuste al potencial disponible en el lugar del estudio. Resultado: Un informe en donde se recomiende la máquina eólica que se ajusta a las condiciones del aeropuerto Teterboro en el estado de New Jersey, Estados Unidos. Indicador: Revisión de mínimo 5 catálogos de fabricantes que manejen aerogeneradores que se adecuen al estudio.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

Teniendo en cuenta que este estudio será un punto de partida en próximas investigaciones y para darle una connotación matemática y precisión al estudio, se realizó una búsqueda bibliográfica que tuvo lugar en libros, revistas, artículos de investigación, tesis doctorales y boletines informativos alrededor del mundo como se muestra en la Figura 1.

**Figura 1. Sitios donde se están haciendo estudio sobre energía eólica**



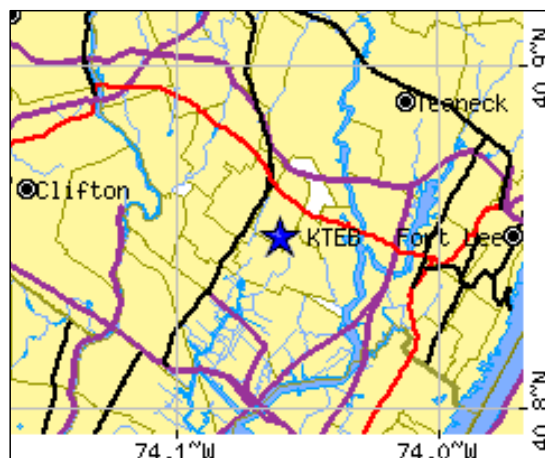
**Comentado [EJCT2]:** Los Títulos de tablas y figuras va en la parte superior y abajo va la fuente (Norma ICONTEC)

Para empezar la evaluación del potencial eólico es un lugar determinado se requiere conocer la posición geográfica del estudio, como se realizó en estudios en el estado de Veracruz, México [1]; el país africano Chad [6]; las ciudades nigerianas Enugu y Owerri [3]; en los departamentos colombianos del Choco, Meta, Nariño y Putumayo [2,12]; en Høvsøre, Dinamarca [7]; en las ciudades del norte de Irak de Tikrit, Tuz, Biji, Kirkuk y Mosul [8]; en una estación aislada al noreste de Arabia Saudita (29°8.282'N, 44°19.817'E) [9]; en la ciudad de Nooriabad, Pakistán [10]; en el Norte,

Este y Oeste de Suráfrica[11] y en Bhopal, India [13] Así, conociendo su posición en el globo distinguir la circulación general de los vientos y los tipos de viento que se producen como consecuencia del desigual calentamiento de la superficie terrestre, además de la rugosidad, clase y superficie del terreno como suburbios, zonas boscosas, zonas rústicas, zonas de aguas (lagos, mar abierto) o Terrenos accidentados [4,13].

El aeropuerto Teterboro está ubicado en los suburbios del condado de Bergen en el estado de Nueva Jersey en los Estados Unidos de América en las coordenadas  $40^{\circ}50'59.99''$  N  $-74^{\circ}03'23.40''$  W [17] como se muestra en el siguientes de las Figura 2.

**Figura 2. Coordenadas geográficas del aeropuerto de Teterboro.**



Fuente [17]

El **Aeropuerto de Teterboro** o el *Teterboro Airport* (código IATA: **TEB**, código OACI: **KTEB**, FAA LID: **TEB**) es un aeropuerto de aviación general localizado en los barrios de Teterboro, Moonachie y Hasbrouck Heights en el condado de Bergen, Nueva Jersey, Estados Unidos. Es propiedad y es operado por la Autoridad

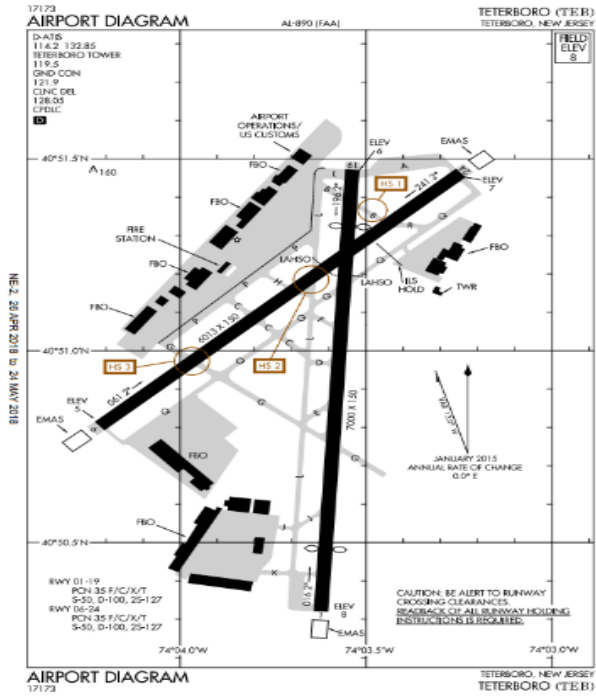


Portuaria de Nueva York y Nueva Jersey. El aeropuerto está a 20km (12 millas) del centro de Manhattan en los Meadowlands de Nueva Jersey, lo que lo hace un aeropuerto muy popular para aeronaves privadas y corporativas. En la Figura 3 se muestra el plano de distribución del aeropuerto [21].

El aeropuerto Teterboro cuenta con un sistema automático de observación de superficies o ASOS (por sus siglas en inglés) que es regulado por el Servicio Nacional Meteorológico de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica junto con Administración Federal de Aviación y el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América, el cual sirve como la principal red de observación meteorológica de todo el país. El sistema ASOS está diseñado para apoyar las actividades de previsión meteorológica y las operaciones de aviación y, al mismo tiempo, para apoyar las necesidades de las comunidades de investigación meteorológica, hidrológica y climatológica [14,15].

Como siguiente paso evaluamos los instrumentos con los cuales se hará la adquisición, procesamiento, distribución, transmisión y documentación de los datos.

Figura 3. Plano del aeropuerto de Teterboro, NJ, USA.



Fuente [17]

Un sistema automático de observación de superficies que tiene 3 componentes principales.

- Grupo de sensores meteorológicos individuales y un paquete de recopilación de datos que proporciona varias tales como:
  - Altura de la nube
  - Visibilidad
  - Precipitación
  - Lluvia congelada

- Presión
- Punto de rocío
- Temperatura ambiental
- Dirección y velocidad del viento
- Unidad de control de adquisición
- Equipo de interfaz de operador

Todos los sensores se ubican de acuerdo con la orientación indicada en los estándares federales para ubicar sensores meteorológicos en aeropuertos (FCM-S4-1987) [15].

El anemómetro de copa giratoria y la simple veleta son los principales indicadores de la velocidad y dirección del viento. Hasta mediados de la década de 1940, el anemómetro de contacto eléctrico era el instrumento de medición de viento estándar. Desde entonces, la serie de instrumentos "F420" se ha convertido en el estándar para la medición del viento en los EE. UU. Un sistema básico de esta serie consiste en un generador de corriente directa (DC) accionado por una taza con una salida calibrada en nudos y una paleta acoplada a un indicador por medio de un sistema sincronizado DC. El ASOS utiliza una versión automatizada moderna del F420, en el cual las señales electromagnéticas generadas por el vaso giratorio y la veleta se convierten directamente en valores por el ASOS. La ubicación de los sensores de viento está orientados respecto al norte verdadero, el sitio debe ser relativamente nivelado, se monta entre 30 y 33 pies (9 a 10 metros) por encima de la altura promedio del suelo dentro de un radio de 500 pies (150 metros). La altura del sensor no debe exceder los 33 pies (10 metros), excepto cuando sea necesario para que este por lo menos a 15 pies (4.5 metros) por encima de cualquier obstrucción dentro de un radio de 500 pies (150 metros) [16].

Por su parte, la Unidad de Control de Adquisición (*ACU*, por sus siglas en inglés), es la unidad de procesamiento central para ASOS, generalmente se encuentra

dentro de una estructura de clima controlado, como una oficina de observación o un edificio de torre de control. La ACU realiza el procesamiento final, el formateo, el control de calidad, el almacenamiento y la recuperación de los datos, y pone los datos de ASOS a disposición de los usuarios [16].

El Dispositivo de Interfaz del Operador (*OID*, por sus siglas en inglés) es el medio principal a través del cual un observador en el sitio ingresa copias de seguridad u observaciones de aumento en el informe de ASOS. Consiste en un teclado y una pantalla de videos interconectados directamente con la ACU, ya sea a través de cable o línea telefónica [16].

### 3. MARCO TEÓRICO

De acuerdo con la metodología utilizada en este proyecto, para encontrar el potencial eólico de un sitio, los datos y el procesamiento adecuado son primordiales para el obtener el mejor resultado. El uso y acceso a la información de la estación meteorológica constituye un impacto importante al interior del procesamiento, desde el punto de vista de la privacidad y confiabilidad, para el desarrollo del proyecto. Los datos representan el insumo necesario para encontrar la tendencia del comportamiento de la velocidad del viento y con ello proyectar el equipo de generación que convendría utilizar.

En un primer momento, es indispensable conocer el concepto de información, el cual ha sido abordado por autores que exponen las características de este recurso y lo sitúan en un lugar sobresaliente ante los recursos tradicionales. Una de estas reflexiones se enuncia a continuación:

Según Gil Pechuán, la información

*“Es un bien que difiere de un bien económico al no acabarse o depreciarse al ser consumido. La información no se extingue al ser compartida, por el contrario, la hace crecer. Información es un dato o un conjunto de datos que, en un contexto determinado tienen un significado para alguien, y transmiten un mensaje útil en un lugar determinado. La información es un recurso primordial que incluso puede determinar el éxito o el fracaso de una institución”.*

Con la base de datos, depuradas y con la calidad necesaria se procede a realizar el procesamiento de datos, requerido por la metodología; por último, se realiza la

búsqueda o estimación del potencial eólico del sitio. A continuación, se describirán cada uno de estos pasos.

### **3.1 MIGRACIÓN DE DATOS**

Los datos meteorológicos de las velocidades del viento para la evaluación del potencial eólico en el aeropuerto Teterboro, son proporcionados por el servicio meteorológico comercial Weather Underground. El cual posee en los Estados Unidos casi 2000 sistemas automáticos de observación de superficies (ASOS) en aeropuertos de todo el país (USA), los cuales son mantenidos por la Administración Federal de Aviación. La estación ubicada en el aeropuerto Teterboro es una de ellas, donde se registraron las velocidades del viento entre enero 1 al 31 de diciembre del año 2017 [18]. El primer paso consiste en mígralos a una base de datos, para su procesamiento.

Para el procesamiento de los datos de la evaluación del potencial eólico se comienza con llevar los datos a un ambiente informático para luego realizar la validación de estos. La validación de los datos está definida como la inspección de todos los datos que no sean razonables y eliminar los valores erróneos con el fin de transformar los datos crudos, en datos válidos para análisis requerido. Los datos pueden ser validados manual o automáticamente. Se recomienda el último para tomar ventaja de la rapidez y poder de los computadores, pero teniendo siempre intervención manual [19]. Para ello utilizamos una metodología de migración de datos.

La migración de datos consiste en: la extracción, transformación y carga de un sistema a otro. Así:

- **Extracción:** Es el proceso mediante el cual se toman los datos del sistema de meteorología del aeropuerto. Estos datos están disponibles para el público en la respectiva página [20].
- **Transformación:** En este paso se le aplican las reglas de negocio para convertirlo, adecuarlo y prepararlo para el siguiente paso. Los datos contienen formatos para ser entendidos por el público en general, entonces, se deben ajustar a un formato que puedan ser procesados por un dispositivo electrónico [20].
- **Carga:** Por último, una vez se realiza la transformación y conversión de los datos se cargan de nuevo al sistema. Justo después de que los datos son transformados a los formatos, para el procesamiento, se almacenan en una hoja de cálculo [20].

La migración de datos implica que la metodología que se implementa para llévalos al nuevo destino requiere ser meticulosa, exhaustiva y ser desarrollada con rigor desde el principio. Dicha metodología está comprendida por 4 etapas.

**Figura 4. Pasos para el proceso de Migración de datos.**



Fuente [20]

- **Descubrimiento/Análisis:** Consiste en evaluar y comprender los datos existentes y en, particular, los que son requeridos por la metodología seleccionada. Para determinar la calidad de los datos orígenes hay que detectar si: Existen datos con otro formato, un mismo concepto ya está definido con distintos términos o ausencia de datos. Para poder concluir se debe hacer un perfilado de los datos, analizando cada uno en particular y las interrelaciones entre estos, además, es fundamental: trabajar sobre el total de datos a migrar, Obtener la guía experta del origen de los datos y terminar el proceso con una validación al final de la migración [20].
- **Calidad de los datos:** Para darle calidad a los datos se deben seguir las siguientes fases: 1) Limpiar los datos orígenes (Eliminando errores, inconsistencias detectadas), 2) Homogenízalos (Llevarlos al mismo formato), 3) Enriquecerlos (Completarlos y dotarlos de la adecuación necesaria que garanticen su consistencia, integridad y fiabilidad) [20].
- **Conversión:** Esta etapa supone transformar los datos orígenes, adecuándolos de tal modo en que se necesitaran en el nuevo destino, por lo tanto, se deben preparar los datos para que sean cargados a la nueva estructura. Para ello, se realizan las conversiones necesarias con base a las reglas de negocio de acuerdo con la metodología utilizada [20].
- **Mapeo y carga de datos hacia la fuente destino:** En esta fase se cargan los datos limpios y transformados al nuevo sistema. Este proceso puede realizarse directamente o empleando áreas intermedias, en donde se validan y se someten los datos a pruebas y simulaciones, de forma que, se aumentan las garantías de éxito en el momento de ejecutar la carga a destino final, ganando agilidad sin perder productividad [20].



Siguiendo la metodología anteriormente mencionada se inicia con el descubrimiento/análisis para ello desde la página oficial de Weather Underground encontramos los datos como se muestra en la Figura 5. En la página se pueden apreciar 12 datos registrados: hora, temperatura, temperatura de vientos helados, Punto de rocío, Humedad, Presión, Visibilidad, Dirección del viento, Velocidad del viento, Velocidad de ráfagas, Precipitación, Eventos, Condiciones.

Los datos seleccionados son la velocidad del viento, presión y temperatura. Se inicia la migración de los datos con la variable, velocidad del viento.

**Figura 5. Fuente de datos, pagina de Weather Underground.**

Hourly Weather History & Observations													
Hora (EST)	Temp.	Vientos helados	Punto de rocío	Humedad	Presión	Visibilidad	Wind Dir	Velocidad del viento	Velocidad de ráfagas	Precip	Eventos	Condiciones	
12:51 AM	19.9 °F	11.1 °F	10.9 °F	55%	30.06 pul	10.0 mi	OSO	6.9 mph	-	N/A		Nublado	
1:51 AM	18.8 °F	6.9 °F	7.0 °F	52%	30.07 pul	10.0 mi	Este	9.2 mph	-	N/A		Despejado	
2:51 AM	18.8 °F	4.9 °F	6.1 °F	50%	30.10 pul	10.0 mi	Este	12.7 mph	19.6 mph	N/A		Despejado	
3:51 AM	17.1 °F	5.0 °F	3.0 °F	59%	30.12 pul	10.0 mi	ONO	10.4 mph	23.0 mph	N/A		Despejado	
4:51 AM	17.1 °F	6.8 °F	3.9 °F	59%	30.16 pul	10.0 mi	NO	8.1 mph	-	N/A		Despejado	
5:51 AM	16.0 °F	3.6 °F	3.0 °F	57%	30.20 pul	10.0 mi	NNO	10.4 mph	25.3 mph	N/A		Parcialmente nublado	
6:51 AM	14.0 °F	-3.4 °F	-2.9 °F	47%	30.23 pul	10.0 mi	NO	19.6 mph	27.6 mph	N/A		Despejado	
7:51 AM	12.9 °F	-5.3 °F	-2.9 °F	40%	30.24 pul	10.0 mi	NO	20.7 mph	27.6 mph	N/A		Despejado	
8:51 AM	12.9 °F	-4.9 °F	-2.9 °F	49%	30.26 pul	10.0 mi	NO	19.6 mph	27.6 mph	N/A		Despejado	
9:51 AM	14.0 °F	-1.4 °F	-4.0 °F	45%	30.30 pul	10.0 mi	NNO	15.0 mph	31.1 mph	N/A		Despejado	
10:51 AM	16.0 °F	0.6 °F	-2.0 °F	45%	30.27 pul	10.0 mi	NNO	16.1 mph	32.2 mph	N/A		Despejado	
11:51 AM	15.1 °F	-2.9 °F	-2.9 °F	45%	30.26 pul	10.0 mi	NO	21.9 mph	27.6 mph	N/A		Despejado	
12:51 PM	15.1 °F	-2.5 °F	-2.9 °F	45%	30.23 pul	10.0 mi	NO	20.7 mph	25.3 mph	N/A		Despejado	
1:51 PM	15.1 °F	-0.1 °F	-4.0 °F	43%	30.26 pul	10.0 mi	NNO	15.0 mph	27.6 mph	N/A		Nubes dispersas	
2:51 PM	14.0 °F	-3.4 °F	-5.1 °F	43%	30.28 pul	10.0 mi	NO	19.6 mph	31.1 mph	N/A		Nublado	
3:51 PM	14.0 °F	1.2 °F	-5.1 °F	43%	30.29 pul	10.0 mi	NO	10.4 mph	24.2 mph	N/A		Despejado	
4:51 PM	12.9 °F	-1.6 °F	-5.1 °F	45%	30.29 pul	10.0 mi	NO	12.7 mph	24.2 mph	N/A		Despejado	
5:51 PM	12.9 °F	-2.7 °F	-5.1 °F	40%	30.30 pul	10.0 mi	NO	12.7 mph	21.9 mph	N/A		Despejado	
6:51 PM	12.9 °F	-1.3 °F	-5.1 °F	40%	30.32 pul	10.0 mi	NO	10.4 mph	18.4 mph	N/A		Despejado	
7:51 PM	10.9 °F	-3.4 °F	-5.1 °F	40%	30.32 pul	10.0 mi	NNO	11.5 mph	21.9 mph	N/A		Despejado	
8:51 PM	10.9 °F	-1.9 °F	-5.1 °F	51%	30.33 pul	10.0 mi	NO	8.1 mph	19.6 mph	N/A		Despejado	
9:51 PM	10.9 °F	-5.2 °F	-5.1 °F	51%	30.32 pul	10.0 mi	NNO	12.7 mph	21.9 mph	N/A		Despejado	
11:51 PM	9.9 °F	-5.1 °F	-4.9 °F	55%	30.33 pul	10.0 mi	NNO	10.4 mph	21.9 mph	N/A		Despejado	

Fuente [18]

Para la calidad de datos, se inicia con la limpieza y homogenización de las variables que no son necesarias, es decir, se elabora una tabla donde se muestra hora y la velocidad del viento, por mes, como se puede observar en la Figura 6.

**Figura 6. Hora y la velocidad del viento, por mes.**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Enero		Hora (EST)	Velocidad del viento			Febrero		Hora (EST)	Velocidad del viento
2			12:51:00 AM	6.9 mph					12:51:00 AM	3.5 mph
3			01:51:00 AM	6.9 mph					01:51:00 AM	sin viento
4			02:51:00 AM	6.9 mph					02:51:00 AM	sin viento
5			03:51:00 AM	8.1 mph					03:51:00 AM	sin viento
6			04:51:00 AM	8.1 mph					04:51:00 AM	sin viento
7			05:51:00 AM	5.8 mph					05:51:00 AM	3.5 mph
8			06:51:00 AM	5.8 mph					06:51:00 AM	6.9 mph
9			07:51:00 AM	8.1 mph					07:51:00 AM	10.4 mph
10			08:51:00 AM	9.2 mph					08:51:00 AM	11.5 mph
11			09:51:00 AM	11.5 mph					09:51:00 AM	10.4 mph
12			10:51:00 AM	13.8 mph					10:51:00 AM	9.2 mph
13			11:51:00 AM	15.0 mph					11:51:00 AM	12.7 mph
14			12:51:00 PM	9.2 mph					12:51:00 PM	13.8 mph
15			01:51:00 PM	8.1 mph					01:51:00 PM	17.3 mph
16			02:51:00 PM	4.6 mph					02:51:00 PM	10.4 mph
17			03:51:00 PM	8.1 mph					03:51:00 PM	12.7 mph
18			04:51:00 PM	4.6 mph					04:51:00 PM	10.4 mph
19			05:51:00 PM	3.5 mph					05:51:00 PM	8.1 mph
20			06:51:00 PM	sin viento					06:51:00 PM	8.1 mph
21			07:51:00 PM	sin viento					07:51:00 PM	4.6 mph
22			08:51:00 PM	sin viento					08:51:00 PM	9.2 mph
23			09:51:00 PM	sin viento					09:51:00 PM	9.2 mph
24			10:51:00 PM	sin viento					10:51:00 PM	6.9 mph
25			11:51:00 PM	9.2 mph					11:51:00 PM	3.5 mph

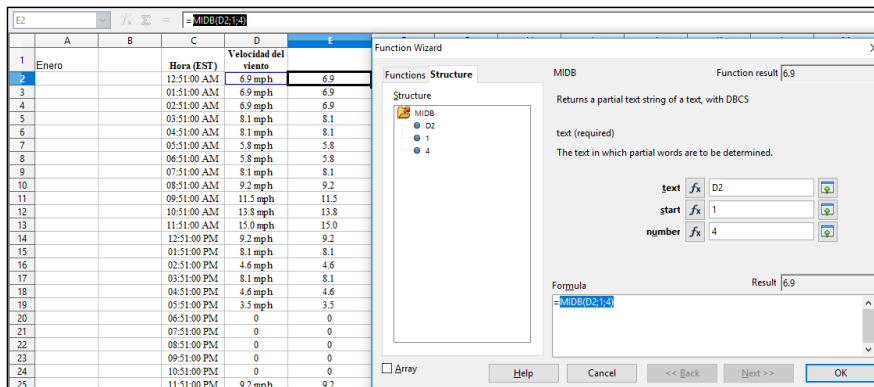
Como siguiente paso, se enriquece la tabla utilizando la función buscar y reemplazar para tener solo datos numéricos en los datos de modo que el dato “sin viento” que es una medición válida sea reemplazada por 0.

**Figura 7. Se convierte el texto " Sin Viento", en la tabla, por el valor 0**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	Enero		Hora (EST)	Find & Replace						Hora (EST)	Velocidad del viento
2			12:51:00 AM	Search for						12:51:00 AM	3.5 mph
3			01:51:00 AM	sin viento						01:51:00 AM	0
4			02:51:00 AM	Find All						02:51:00 AM	0
5			03:51:00 AM	Replace with						03:51:00 AM	0
6			04:51:00 AM	0						04:51:00 AM	0
7			05:51:00 AM	Replace						05:51:00 AM	3.5 mph
8			06:51:00 AM	Replace All						06:51:00 AM	6.9 mph
9			07:51:00 AM	<input type="checkbox"/> Match case <input type="checkbox"/> Entire cells						07:51:00 AM	10.4 mph
10			08:51:00 AM	More Options						08:51:00 AM	11.5 mph
11			09:51:00 AM	Help						09:51:00 AM	10.4 mph
12			10:51:00 AM	Close						10:51:00 AM	9.2 mph
13			11:51:00 AM						11:51:00 AM	12.7 mph	
14			12:51:00 PM						12:51:00 PM	13.8 mph	
15			01:51:00 PM						01:51:00 PM	17.3 mph	
16			02:51:00 PM						02:51:00 PM	10.4 mph	
17			03:51:00 PM						03:51:00 PM	12.7 mph	
18			04:51:00 PM						04:51:00 PM	10.4 mph	
19			05:51:00 PM	3.5 mph					05:51:00 PM	8.1 mph	
20			06:51:00 PM	0					06:51:00 PM	8.1 mph	
21			07:51:00 PM	0					07:51:00 PM	4.6 mph	
22			08:51:00 PM	0					08:51:00 PM	9.2 mph	
23			09:51:00 PM	0					09:51:00 PM	9.2 mph	
24			10:51:00 PM	0					10:51:00 PM	6.9 mph	
25			11:51:00 PM	9.2 mph					11:51:00 PM	3.5 mph	

El siguiente paso que se realizó fue la conversión, dado que para el procesamiento de los datos se tiene en cuenta que, las mediciones están en millas por hora y que la herramienta no reconoce números y letras (3,5 mph) es necesario transformar los datos de origen de tal forma que se tenga solo el número decimal. Para ellos utilizamos la función MIDB el cual extrae los caracteres deseados de la siguiente forma:

**Figura 8. Se extraen las letras de las unidades de la velocidad del viento.**



Por último, se realizó la migración de los datos en el mapeo y el cargue de datos, para lo cual se obtiene una tabla, de una sola columna, con los datos de la velocidad del viento, del año.

De la misma forma se realizó la migración de las otras variables presión y temperatura, mes a mes.

### 3.2 PROCESAMIENTO DE DATOS

Por muchos motivos los seres humanos desean poseer información sobre el comportamiento de diversos fenómenos y para ello, se realizan registros sobre el estado de estos fenómenos en diferentes momentos o espacios [22].

La Estadística es mucho más que sólo números apilados y gráficas bonitas. Es una ciencia con tanta antigüedad como la escritura, y es por sí misma auxiliar de todas las demás ciencias. Los mercados, la medicina, la ingeniería, los gobiernos, etc. Se nombran entre los más destacados clientes de ésta [22].

Habitualmente, el propósito de la Estadística es el de sacar conclusiones de una población en estudio, examinando solamente una parte de ella denominada muestra. Este proceso, llamado Inferencia estadística, suele venir precedido de otro: la Estadística Descriptiva, en el que los datos son ordenados, resumidos y clasificados con objeto de tener una visión más precisa y conjunta de las observaciones, intentando descubrir de esta manera posibles relaciones entre los datos, viendo cuáles toman valores parecidos, cuáles difieren grandemente del resto, destacando hechos de posible interés, entre otros [22].

En todos los campos de la investigación se requiere a menudo el uso racional de los Métodos Estadísticos. Los procesos de planeación, control y toma de decisiones ingenieriles, económicas, administrativas y financieras se basan en resultados obtenidos mediante el análisis estadístico de los fenómenos en ellos involucrados [22].

El acelerado desarrollo de métodos, técnicas y tecnologías para el óptimo análisis de datos justifica que un profesional disponga de una sólida fundamentación conceptual para que realice apropiadamente su evaluación y aporte sustentaciones a su decisión. Las interpretaciones que generan los datos pudieran ser erróneas para aquellas personas que no cuentan con criterios válidos para captar la información. Es por ello por lo que con este módulo se pretende que el estudiante se adentre a los conocimientos básicos de la Estadística Descriptiva [22].

Enfrentarse con datos de muy diversa índole es cosa de todos los días en cualquier práctica del ser humano. Sin embargo, dado la cantidad innumerable de estos, no siempre se comprende el real alcance de lo que dicen. Como parte de una base cultural necesaria para desempeñarse en el mundo de hoy, es requisito desarrollar una capacidad personal para extraer y describir información presente en un conjunto de datos. Y es precisamente allí donde resalta la importancia de la Estadística Descriptiva como primer paso en la determinación de decisiones e inferencias que

pueden concluirse de la variada información que nos llega en forma de datos numéricos [22].

Kendal y Buckland, definen la estadística como un valor resumido, calculado, como base en una muestra de observaciones que generalmente, aunque no por necesidad, se considera como una estimación de parámetro de determinada población; es decir, una función de valores de muestra [22].

Murria R. Spiegel, dice: "La estadística estudia los métodos científicos para recoger, organizar, resumir y analizar datos, así como para sacar conclusiones válidas y tomar decisiones razonables basadas en tal análisis [22].

La estadística es un potente auxiliar de muchas ciencias y actividades humanas: ingeniería, sociología, psicología, economía, etc. Es una herramienta indispensable para la toma de decisiones. También es ampliamente empleada para mostrar los aspectos cuantitativos de una situación. La estadística está relacionada con el estudio de procesos cuyo resultado es más o menos imprescindible y con la finalidad de obtener conclusiones para tomar decisiones razonables de acuerdo con tales observaciones. El resultado de estudio de dichos procesos, denominados procesos aleatorios, puede ser de naturaleza cualitativa o cuantitativa y, en este último caso, discreto o continuo [22].

Son muchas las predicciones de tipo sociólogo, o económico, que pueden hacerse a partir de la aplicación exclusiva de razonamientos probabilísticos a conjuntos de datos objetivos como son, por ejemplo, los de naturaleza demográfica. Las predicciones estadísticas, difícilmente hacen referencia a sucesos concretos, pero describen con considerable precisión en el comportamiento global de grandes conjuntos de sucesos particulares [22].

Para saber quién, de entre los miembros de una población importante, va a encontrar trabajo o a quedarse sin él; o en cuales miembros va a verse aumentada o disminuida una familia en concreto en los próximos meses. Pero que, en cambio puede proporcionar estimaciones fiables del próximo aumento o disminución de la tasa de desempleo referido al conjunto de la población; o de la posible variación de los índices de natalidad o mortalidad [22].

La Estadística para su mejor estudio se ha dividido en dos grandes ramas: la Estadística Descriptiva y la Inferencial:

- **LA ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA:** Describe, analiza y representa un grupo de datos utilizando métodos numéricos y gráficos que resumen y presentan la información contenida en ellos. La estadística descriptiva analiza, estudia y describe a la totalidad de individuos de una población. Su objetivo es obtener información, analizarla, elaborarla y simplificarla para que pueda ser interpretada cómoda y rápidamente y, por tanto, pueda utilizarse eficazmente para el fin que se desee [22].

Tiene por objeto fundamental describir y analizar las características de un conjunto de datos, obteniéndose de esa manera conclusiones sobre las características de dicho conjunto y sobre las relaciones existentes con otras poblaciones, a fin de compararlas. No obstante, puede no solo referirse a la observación de todos los elementos de una población (observación exhaustiva) sino también a la descripción de los elementos de una muestra (observación parcial)

Para el estudio de estas muestras, la estadística descriptiva nos provee de todas sus medidas; medidas que cuando quieran ser aplicadas al universo total, no tendrán la misma exactitud que tienen para la muestra, es decir al estimarse para el universo vendrá dada con cierto margen de error; esto significa que el valor de la medida calculada para la muestra oscilará dentro de cierto límite de confianza, que casi siempre es de un 95 a 99% de los casos [22].

El proceso que sigue la estadística descriptiva para el estudio de una cierta población consta de los siguientes pasos:

- Selección de caracteres dignos de ser estudiados.
- Mediante encuesta o medición, obtención del valor de cada individuo en los caracteres seleccionados.
- Elaboración de tablas de frecuencias, mediante la adecuada clasificación de los individuos dentro de cada carácter.
- Representación gráfica de los resultados (elaboración de gráficas estadísticas).
- Obtención de parámetros estadísticos, es decir, números que sintetizan los aspectos más relevantes de una distribución estadística [22].

- **ESTADÍSTICA INFERENCIAL O INDUCTIVA:** Se apoya en el cálculo de probabilidades y a partir de datos muestrales, efectúa estimaciones, decisiones, predicciones u otras generalizaciones sobre un conjunto mayor de datos. La estadística descriptiva trabaja con todos los individuos de la población. La estadística inferencial, sin embargo, trabaja con muestras, subconjuntos formados por algunos individuos de la población. A partir del estudio de la muestra se pretende inferir aspectos relevantes de toda la población: cómo se selecciona la muestra, cómo se realiza la inferencia, y qué grado de confianza se puede tener en ella, son aspectos fundamentales de la estadística inferencial, para cuyo estudio se requiere un alto nivel de conocimientos de estadística, probabilidad y matemáticas. Está fundamentada en los resultados obtenidos del análisis de una muestra de población, con el fin de inducir o inferir el comportamiento o característica de la población, de donde procede, por lo que recibe también el nombre de Inferencia estadística [22].

Según algunos expertos, la estadística inferencial son procedimientos estadísticos que sirven para deducir o inferir algo acerca de un conjunto de datos numéricos (población), seleccionando un grupo menor de ellos (muestra) [22].



El objetivo de la inferencia en investigación científica y tecnológica radica en conocer clases numerosas de objetos, personas o eventos a partir de otras relativamente pequeñas compuestas por los mismos elementos.

En relación con la estadística descriptiva y la inferencial, Levin & Rubin (1996) citan los siguientes ejemplos para ayudar a entender la diferencia entre las dos:

- Supóngase que un profesor calcula la calificación promedio de un grupo de historia. Como la estadística describe el desempeño del grupo, pero no hace ninguna generalización acerca de los diferentes grupos, podemos decir que el profesor está utilizando estadística descriptiva. Gráficas, tablas y diagramas que muestran los datos de manera que sea más fácil su entendimiento son ejemplos de estadística descriptiva [22].
- Supóngase ahora que el profesor de historia decide utilizar el promedio de calificaciones obtenidas por uno de sus grupos para estimar la calificación promedio de las diez unidades del mismo curso de historia. El proceso de estimación de tal promedio sería un problema concerniente a la estadística inferencial [22].

Los estadísticos se refieren a esta rama como inferencia estadística, ésta implica generalizaciones y afirmaciones con respecto a la probabilidad de su validez [22].

La estadística es una disciplina que estudia cuantitativamente los fenómenos de masa o colectivos, o sea, aquellos fenómenos cuyo estudio solo puede efectuarse a través de una colección de observaciones [22].

La actividad más importante para las personas que trabajan en las organizaciones empresariales es la toma de decisiones. Dado el enorme aumento de la disponibilidad de datos (gracias a los sistemas de información), y dada la complejidad creciente de las operaciones empresariales, los procesos de decisión se ven sometidos a presiones extraordinarias [22].

Una de las técnicas más valiosas que ayudan en los procesos de toma de decisiones es la Estadística. Por lo que es indispensable que los hombres y mujeres que dirigen organizaciones o que de alguna manera participan en la toma de decisiones, estén familiarizados con las técnicas estadísticas para poder determinar cuándo se puede examinar un problema existente, mediante la aplicación del análisis estadístico [22].

En general, un **elemento** es una parte indivisible de un todo o un componente indivisible o básico de un cuerpo. Pero, en estadística se llama elemento a las entidades que tienen una o varias características cuyo estado nos interesa registrar. El registro del estado de estas características es lo que constituye los datos. Estos elementos pueden ser individuos, objetos o sucesos [22].

Los individuos pueden ser personas o seres vivos animales o vegetales. Los sucesos pueden ser, por ejemplo, los accidentes de tránsito, los encuentros deportivos, los recorridos que realiza un vehículo o los días del año, la velocidad del viento cada hora, durante todos los días del año [22].

Ahora bien, el concepto de POBLACIÓN hace referencia al conjunto de medidas, individuos u objetos que comparten una característica en común. La población se basa en cuatro características: contenido, tipo de unidades y elementos, ubicación espacial y ubicación temporal. De la población es extraída la muestra. Para el caso de estudio, tomamos los datos del año 2017 [22].

Por su parte, la Observación directa, es aquella donde se tiene un contacto directo con los elementos o caracteres en los cuales se presenta el fenómeno que se pretende investigar, y los resultados obtenidos se consideran datos estadísticos originales. Para Ernesto Rivas González "Investigación directa, es aquella en la que el investigador observa directamente los casos o individuos en los cuales se produce el fenómeno, entrando en contacto con ellos; sus resultados se consideran datos estadísticos originales, por esto se llama también a esta investigación

primaria". Un ejemplo podría ser, el seguimiento de la población agrícola por año, llevada en una determinada granja [22].

Así mismo, en la observación indirecta, el investigador hace uso de datos estadísticos ya conocidos en una investigación anterior, o de datos observados por un tercero (persona o entidad). Con el fin de deducir otros hechos o fenómenos. Un ejemplo: Si un investigador pretende estudiar la velocidad del viento, en un determinado sitio, tendría que hacer uso de la estación meteorológica, con las observaciones que se han obtenido durante un periodo determinado [22].

Por otra parte, la MUESTRA, es un conjunto de elementos extraídos de la población. Los resultados obtenidos en esta sirven para estimar los resultados que se obtendrían con el estudio completo de la población. Para que los resultados puedan generalizarse a la población, es necesario que la muestra sea seleccionada adecuadamente, es decir, de modo que cualquiera de los elementos de la población tenga la misma posibilidad de ser seleccionados. A este tipo de muestra se le denomina muestra aleatoria [22].

Es por esto que la muestra asociada a un estudio debe ser representativa y aleatoria. Representativa, pues debe estar formada por un número razonable de elementos y aleatoria porque debe ser escogida al azar, de tal manera que quien realiza el estudio no pueda influir en la elección de los individuos por encuestar. Cada elemento de la población debe tener la misma oportunidad de ser seleccionado. El muestreo aleatorio puede ser: Simple, Sistemático, Estratificado y Conglomerado [22].

Ahora bien, las series temporales o cronológicas se definen como una masa o conjunto de datos producto de la observación de un fenómeno individual o colectivo, cuantificable en sucesivos instantes o periodos de tiempo [22].

Es importante resaltar que cuando se trata de series temporales o cronológicas, se debe especificar el instante o el periodo de tiempo a los que se refiere los caracteres en estudio [22].

**Ejemplo:** Producción café en Sacos (periodo 2012 – 2016)

**Tabla 1. Ejemplo Producción de café en sacos**

<b>Años</b>	<b>Sacos (millones)</b>
2012	4.2
2013	4.5
2014	4.2
2015	4.3
2016	4.6

Por su parte, con respecto a las series de frecuencia: cuando se realiza un estudio de cada uno de los elementos que componen la población o muestra bajo análisis, se observa que en general, hay un número de veces en que aparece repetido un mismo valor de una variable, o bien repeticiones de la misma modalidad de un atributo. Este número de repeticiones de un resultado recibe el nombre de frecuencia absoluta o simplemente frecuencia. Al considerar las edades de 20 niños, pertenecientes al grado Preescolar: 5, 6, 5, 4, 6, 5, 3, 5, 5, 6, 6, 4, 5, 5, 4. Tabulando las edades de los niños se encuentra:

**Tabla 2. Edad vs Número de niños**

<b>Edad (variable)</b>	<b>Nro de Niños (Frecuencia)</b>
3	1
4	3
5	7
6	4

**3.2.1 Calculo de Frecuencias** Ahora bien, el sistema automático de observación de superficies (ASOS) ubicado en el aeropuerto Teterboro entre el primero de enero y el 31 de diciembre recolectó mediciones de viento.

Se utilizó la función subtotal (Excel), con el fin de hacer un conteo del número de veces que un dato aparece en la toma, es decir, con qué frecuencia un dato tiene un valor determinado, produciendo las tablas de frecuencias de todos los meses del año. Un ejemplo de estas tablas es la tabla 3 que corresponde al mes de enero.

**Tabla 3. Tabla de frecuencia de la velocidad del viento del mes de enero.**

Velocidad [mph]	Frecuencia
9.2	73
8.1	84
6.9	103
5.8	93
4.6	94
3.5	80
24.2	2
21.9	5
20.7	3
19.6	15
18.4	18
17.3	21
16.1	26
15	24
13.8	33
12.7	48
11.5	44
10.4	54
0	107
Total	927

**3.2.2 Calculo de Intervalos.** Al ser un número considerable de mediciones se requiere organizar todos estos datos en tablas de frecuencia, para ello indispensable recurrir a la estadística básica específicamente en distribución de

frecuencia. Se utilizó la regla de Sturges en todos los meses del año, con la cual se obtuvo una aproximación aceptable sobre el número de intervalos necesarios para agruparlos, como se muestra en la ecuación 1 [22].

$$K = \frac{\log(n)}{\log(2)} + 1 \quad (1)$$

*Límites de intervalos:* El límite inferior corresponde al valor mínimo que puede incluirse en el intervalo, al ser una variable continua se incluyen todos los valores desde el número dado hasta otro número, pero excluyendo al ya contabilizado.

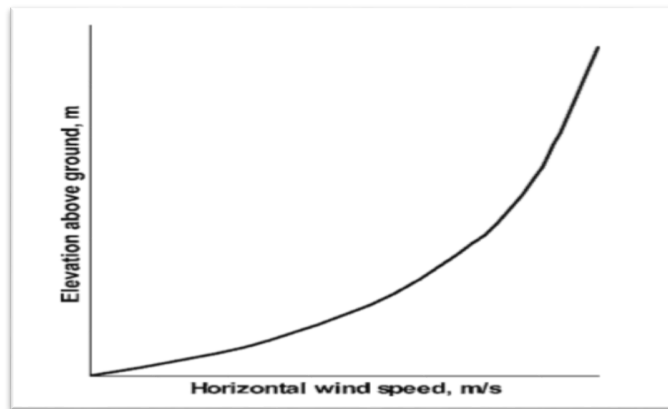
**3.2.3 Calculo de Amplitud de los intervalos.** Los intervalos de una distribución de frecuencia deben tener la misma amplitud, aunque a veces el último intervalo es diferente. Para determinar la amplitud de los intervalos, de una distribución se divide el rango, el cual es el dato mayor menos el dato menor, entre el número de intervalos deseados ( $K$ ), de forma que surge la ecuación 2. La cual fue aplicada para mes del año.

$$I = \frac{\text{Rango}}{\text{Número de intervalos}} = \frac{\text{Dato mayor} - \text{Dato menor}}{\text{Número de intervalos deseados}} \quad (2)$$

### 3.3 ANÁLISIS DEL VIENTO

**3.3.1 Velocidad media del viento horizontal** Ahora bien, la velocidad media del viento horizontal en la superficie terrestre es 0 y aumenta con la altitud en la capa atmosférica. La variación de la velocidad del viento con la elevación se aplica el perfil vertical de la velocidad del viento, tomando en el eje de las abscisas la velocidad horizontal del viento y en el eje de las ordenadas la elevación por encima del suelo. Como se muestra en la Figura 9 [13].

Figura 9. Grafica Velocidad horizontal del viento vs Elevación.



Fuente [13]

La medición de la velocidad del viento debe ser a la misma altura del buje de la turbina eólica, si se desea conocer la velocidad en diferentes alturas se debe realizar una extrapolación de la velocidad del viento [13] gracias a la ley exponencial de Hellmann, [4] de la forma:

$$U = U_r \left( \frac{Z}{Z_r} \right)^\alpha \quad (3)$$

Para muestras a 10 metros y con valor de del exponente de Hellmann  $\alpha = 0,2$  para zonas rusticas la ley resulta:

$$U = U_{10} \left( \frac{Z}{10} \right)^{0,2} \quad (4)$$

De forma que para conocer la velocidad del viento a una altura Z se puede aplicar la ecuación 4.

Donde  $U$  es la velocidad del viento a la elevación  $Z$ ;  $U_r$  es la velocidad del viento a una elevación más alta  $Z_r$  y  $\alpha$  es el exponente de Hellmann en función de la rugosidad del terreno [4], presentadas en la tabla 4.

**Tabla 4. Valores del exponente de Hellmann en función de la rugosidad del terreno.**

Lugares llanos con hielo o hierba	$\alpha = 0,08 \div 0,12$
Lugares llanos (mar, costa)	$\alpha = 0,14$
Terrenos poco accidentados	$\alpha = 0,13 \div 0,16$
Zonas rústicas	$\alpha = 0,2$
Terrenos accidentados o bosque	$\alpha = 0,2 \div 0,26$
Terrenos muy accidentados y ciudades	$\alpha = 0,25 \div 0,4$

Fuente [4]

La función de densidad de probabilidad se puede usar para calcular la variación de la velocidad del viento en un periodo de tiempo y por ende estimar la generación de energía de un sitio específico.

Dadas las características tan dispersas y aleatorias de la energía eólica, la única manera de estudiar si un emplazamiento es adecuado o no, es utilizando la estadística [4]. Hay muchos métodos estadísticos disponibles para apreciar de cerca las potencialidades del viento y las características de la velocidad del viento en un terreno determinado [6].

**3.3.2 Función de distribución de probabilidad de Weibull.** La velocidad del viento se puede representar con la función de distribución de probabilidad de Weibull, como se realizaron en los estudios en Veracruz, México [1]; el país africano Chad [6]; Bhopal, India [13]; el norte de Iraq las ciudades Tikrit, Tuz, Biji, Kirkuk y Mosul [8]; Høvsøre, Dinamarca [7]; noreste de Arabia Saudita [9] y de Nooriabad, Pakistán [10], donde se determinó la efectividad del potencial eólico utilizando esta función junto con los parámetros  $k$  y  $c$



La función de distribución de probabilidad de Weibull proporciona una aproximación cercana a la representación de las distribuciones de velocidad del viento para su aplicación en estudios de velocidad del viento, ya que puede dar un buen ajuste a los datos experimentales, la cual está definida como [1]:

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

Donde  $k$  es el factor forma,  $c$  es el factor de escala,  $v$  es la velocidad del viento y  $f(v)$  la correspondiente función de densidad de probabilidad, La función de distribución acumulativa  $F(v)$  esta dada por [1]:

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (6)$$

Existen diferentes métodos de evaluación de parámetros de Weibull. Los parámetros son esenciales para analizar el potencial eólico y sus características. Si se obtiene los parámetros de la distribución de Weibull no solo proporciona mejores resultados de ajuste, sino que también representa el potencial de energía eólica con precisión. Los métodos utilizados para la estimación de dichos parámetros son: [10]

**3.3.2.1 Método empírico** El método empírico es derivado del método de momentos, esta es una colección de puntos de datos. Los parámetros de forma  $k$  y de escala  $c$  son respectivamente [10]:

$$k = \left(\frac{\sigma}{V_{prom}}\right)^{-1.086} \quad (7)$$

$$c = \frac{V_{prom}}{\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)} \quad (8)$$

Donde  $\sigma$  es la desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (V_i - V_{Prom})^2} \quad (9)$$

$\Gamma$  es la función gamma

**3.3.2.2 Método de máxima verosimilitud** El método de máxima verosimilitud puede ser usado para calcular los parámetros de forma  $k$  y de escala  $c$ , de la siguiente forma [10]:

$$k = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N V_i^k \ln(V_i)}{\sum_{i=1}^N V_i^k} - \frac{\sum_{i=1}^N \ln(V_i)}{N} \right]^{-1} \quad (10)$$

$$c = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i^k \right)^{\frac{1}{k}} \quad (11)$$

Donde  $N$  es el número de datos de la medición del viento y  $V_i$  es el valor del viento en la  $i$ -ésima medición [10].

**3.3.2.3 Método modificado de máxima verosimilitud** Lo siguiente es una modificación de las ecuaciones de los parámetros de forma  $k$  y de escala  $c$  [10].

$$k = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N V_i^k \ln(V_i) + (V_i)}{\sum_{i=1}^N V_i^k f(V_i)} - \frac{\sum_{i=1}^N \ln(V_i) f(V_i)}{f(V \geq 0)} \right]^{-1} \quad (12)$$

$$c = \left( \frac{1}{f(\geq 0)} \sum_{i=1}^n V_i^k P(v_i) \right)^{\frac{1}{k}} \quad (13)$$

**3.3.2.4 Método del patrón de energía** El método de factor de energía está relacionado con la velocidad promedio y puede ser calculada con [10]:

$$E_{fm} = \frac{(V^3)_{promedio}}{(V_{promedio})^3} \quad (14)$$

Los parámetros de forma  $k$  y de escala  $c$  pueden ser calculados a partir del patrón de energía de la forma [10]:

$$k = 1 + \frac{3.69}{(E_{fm})^2} \quad (15)$$

$$c = \frac{V_{prom}}{\Gamma(1+\frac{1}{k})} \quad (16)$$

**3.3.2.5 Método grafico** El método grafico se implementa utilizando la definición de mínimos cuadrados, el cual si se traza una línea que cumple la ecuación general de una recta  $y = ax + b$ , el método de mínimos cuadrados ajusta el valor residual para eliminar los efectos de la desviación positiva o negativa, es decir, de la línea trazada y está dada por la siguiente ecuación [23].

$$SS = \sum_{i=1}^n [y - y_{ajuste}]^2 \quad (17)$$

Donde:

- $SS$  es la suma de los cuadrados
- $y$  es el valor del dato
- $y_{ajuste}$  es el valor de la curva en el punto  $y$

La recta con menor error, es decir, la que más se ajusta al conjunto de puntos es aquella que tiene un valor de  $SS$  menor. De esta forma, se penaliza fuertemente a los puntos más alejados a la recta, aquellos que tiene más error. A su vez, el índice de correlación o coeficiente de determinación  $R^2$  que toma valores entre 0 y 1 expresa la proporción de la varianza entre la variable dependiente  $y$  y la independiente  $x$ , lo que significa que cuando  $R^2$  toma valores cercanos a 0  $x$  no

ayuda a predecir y, por otro lado, cuando aumenta hacia 1, quiere decir que la función de la recta se ajusta a datos [23].

Teniendo como referencia la ecuación (6):

$$\begin{aligned}
 F(v) &= 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \\
 1 - F(v) &= e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \\
 \ln(1 - F(v)) &= \ln\left(e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}\right) \\
 \ln(1 - F(v)) &= -\left(\frac{v}{c}\right)^k \\
 \ln(-\ln(1 - F(v))) &= k \ln\left(\frac{v}{c}\right) \\
 \ln(-\ln(1 - F(v))) &= k(\ln(v) - \ln(c)) \\
 \ln(-\ln(1 - F(v))) &= k \ln(v) - k \ln(c)
 \end{aligned}$$

Se cumple la ecuación de una recta  $y = ax + b$  de forma que:

$$\begin{aligned}
 y &= \ln(-\ln(1 - F(v))) \\
 x &= \ln(v) \\
 a &= k \\
 b &= -k \ln(c) & (18) \\
 c &= e^{-\frac{b}{k}} & (19)
 \end{aligned}$$

Donde  $F(v)$  es la frecuencia acumulada de cada intervalo,  $(v)$  es la velocidad promedio del intervalo,  $a$  hacer referencia a la pendiente y  $b$  es el punto de intersección con el eje Y.

**3.3.3 Distribución de Rayleigh** Cuando no se dispone de muchos datos suele aceptarse la simplificación de hacer  $k = 2$ , que se conoce como distribución de Rayleigh. Con los datos disponibles de la velocidad del viento de un lugar determinado, se puede encontrar la ecuación de distribución de Rayleigh que describe la distribución de velocidades del viento con una aproximación razonable dentro de ciertos límites. La distribución Rayleigh tiene poca precisión para velocidades por debajo de los 15 kilómetros por hora, no siendo útil su aplicación en lugares con una velocidad media del viento inferior a 13 kilómetros por hora. La velocidad del viento media es el promedio de las observaciones de la velocidad del viento que tendremos en ese emplazamiento, lo que hace que la distribución de las velocidades del viento no es simétrica. A veces las velocidades del viento son muy altas, aunque muy raras, siendo las velocidades del viento más comunes las correspondientes al valor medio, que se conoce como valor modal de la distribución [4].

La distribución de Rayleigh es de la forma:

$$\text{T tiempo en horas: } t = 8,76 * \frac{\pi}{2} * \frac{v}{\tilde{v}} * e^{-\xi} ; \xi = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{v}{\tilde{v}}\right)^2 \quad (20)$$

Donde

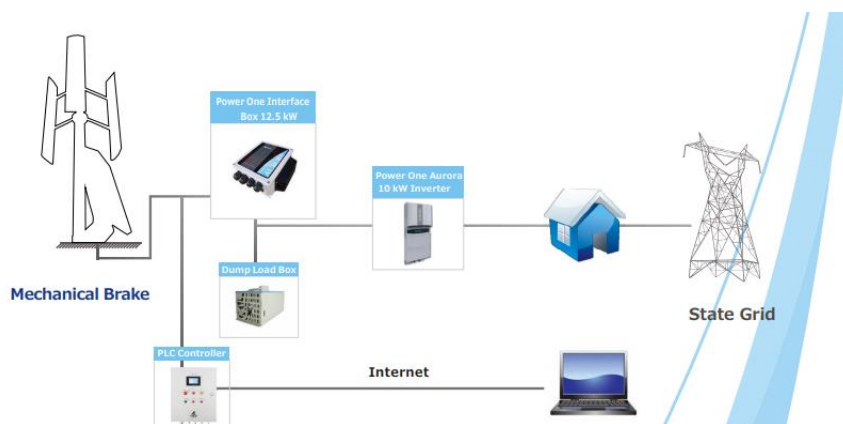
- $v$  la velocidad del viento
- $\tilde{v}$  la velocidad media del viento

Esta ecuación proporciona el número de horas al año que se prevé pueda soplar el viento a la velocidad media  $\tilde{v}$  del lugar

### 3.4 TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA

La transformación de la energía proveniente del viento en energía eléctrica se logra en sistemas conectados a la red gracias a un conjunto compuesto por las palas del aerogenerador, las cuales hacen mover un rotor con su controlador (PLC) y sistemas de seguridad, además de un multiplicador que a su vez está acoplado a un generador, seguido por un inversor el cual se une a la red. Como se muestra en la figura 10 [26].

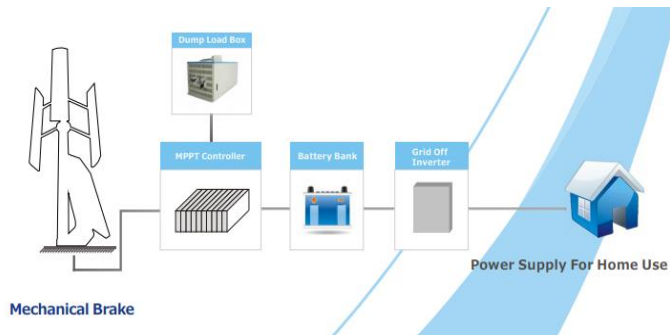
**Figura 10. Sistema conectado a la red**



Fuente [26]

Para sistemas por fuera de la red está compuesto por las palas del aerogenerador, las cuales hacen mover un rotor con su controlador y sistemas de seguridad que a su vez está acoplado a un generador, el cual carga un banco de baterías para luego ir a un inversor y así proporcionar energía eléctrica sin el uso de la red. Como se muestra en la figura 11 [26].

**Figura 11. Sistemas no conectados a la red**



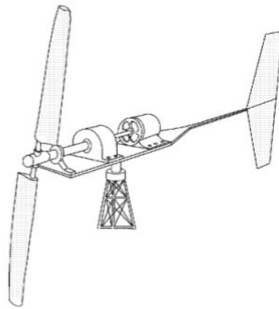
Fuente [26]

### 3.5 MÁQUINA EÓLICA

Las máquinas eólicas han sido estudiadas por el hombre en forma intensiva y dentro de ellas existen en la actualidad diferentes tipos que van desde pequeñas potencias, a las grandes máquinas americanas y alemanas de varios MW las cuales se pueden clasificar según el eje de giro respecto a la dirección del viento.

**3.5.1 Máquinas eólicas de eje horizontal** Deben tener en las palas una velocidad regular y uniforme, para determinadas velocidades de viento se requiere que tanto la dirección como la velocidad se mantengan constantes con respecto a las palas.

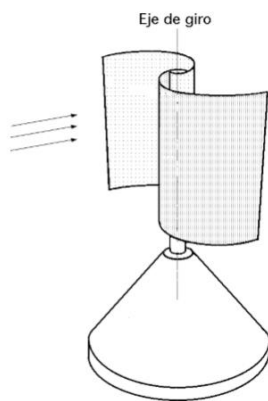
**Figura 12. Máquinas eólicas de eje horizontal**



Fuente [4]

**3.5.2 Máquinas eólicas de eje vertical** manteniendo las mismas condiciones regulares en la velocidad del viento y en la velocidad angular de las palas, resulta que éstas pueden estar sometidas a un viento aparente de dirección y velocidad continuamente variables, por lo que, en estas máquinas, el flujo aerodinámico resulta ser muy complicado.

**Figura 13. Máquina eólica de eje vertical**




Fuente [4]



### 3.6 POTENCIA DEL VIENTO

Considere un “paquete” de aire con masa “ $m$ ” moviéndose a una velocidad  $v$ . Su energía cinética, está dada por la relación [23]:


$$\text{Energía Cinética} = \frac{1}{2}mv^2 \quad (21)$$

La potencia es la energía por unidad de tiempo, la potencia representada por una masa de aire en movimiento a una velocidad  $v$  a través de un área  $A$  será [24]:

$$\text{Potencia a través de un área } A = \frac{\text{Energía}}{\text{tiempo}} = \frac{1}{2} \left( \frac{\text{masa}}{\text{tiempo}} \right) v^2 \quad (22)$$

El flujo másico  $\dot{m}$ , a través del área  $A$ , es el producto de la densidad  $\rho$ , velocidad  $v$  y el área de sección transversal  $A$  [24].

$$\left( \frac{\text{Masa pasando a través de } A}{\text{tiempo}} \right) = \dot{m} = \rho Av \quad (23)$$

Combinando (19) con (20) tenemos la potencia del viento de forma:

$$P_{\text{viento}} = \frac{1}{2} \rho Av^3 \quad (24)$$

La ecuación (7) evaluada por un metro cuadrado de la sección transversal, es llamada potencia específica o densidad de potencia del viento [24,10].

$$P_{\text{viento}} = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (25)$$

Teniendo en cuenta la ley de gases ideales. [24]

$$PV = nRT \quad (26)$$

Donde:

- $P$  es la presión absoluta (atm)
- $V$  es el volumen ( $m^3$ )
- $n$  es el numero de moles (mol)
- $R$  es la constante de los gases ideales  $8.2056 \times 10^{-5} \frac{m^3 atm}{mol K}$
- $T$  es la temperatura absoluta (K)

Si dejamos que el peso molecular del gas signifique  $\frac{g}{mol}$  podemos escribir la siguiente expresión para la densidad del aire [24]:

$$\rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{n(mol) * peso\ molecular \left( \frac{g}{mol} \right) * 10^{-3} \left( \frac{kg}{g} \right)}{V(m^3)} \quad (27)$$

Combinando (23) y (24) obtenemos la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{P * (peso\ molecular) * 10^{-3}}{R * T} \quad (28)$$

Todo lo que necesitamos es el peso molecular del aire, el cual es una mezcla de moléculas. Principalmente de moléculas de nitrógeno (78.08%) y oxígeno (20.95%), un poco de argón (0.93%), dióxido de carbono (0.035%), neón (0.0018%) y así sucesivamente. Usando los pesos molares de  $N_2 = 28.02$ ,  $O_2 = 32$ ,  $Ar = 39.95$ ,  $CO_2 = 44.01$ ,  $Ne = 20.18$  tenemos que el peso molecular del aire es [24]:

$$P.M\ de\ aire = [(28.02 * 0.7808) + (32 * 0.2095) + (39.95 * 0.0093) + (44.01 * 0.00035) + (20.18 * 0.000018)]$$

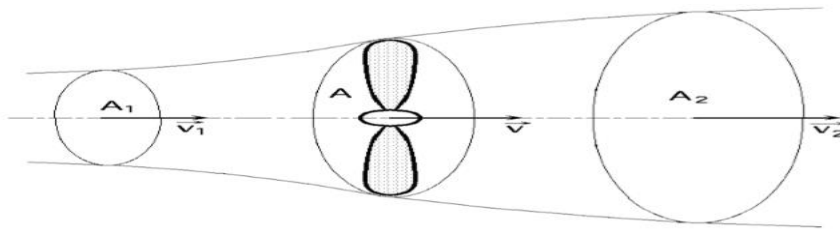
*Peso molecular del aire: 28.97*

De forma que utilizando la ecuación (25) la densidad del aire será función de la presión y la temperatura de la forma [24]:

$$\rho = \frac{P(\text{atm}) * 28.97 * 10^{-3}}{8.2056 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3 \text{atm}}{\text{mol K}} * T(K)} \quad (29)$$

**3.6.1 Modelo teórico de Betz** El modelo teórico afirma que una hélice inmersa en una corriente de aire de velocidad  $v$  que, aguas abajo, posee una velocidad  $v_2$  no nula, lo que permite asegurar que no es posible la transformación y recuperación de toda la energía del viento en forma de energía [4].

**Figura 14. Modelo de Betz.**



Fuente [4]

Se supondrá que aguas arriba de la hélice, el aire que circula por el tubo de corriente como se muestra en la Figura 10 posee una velocidad  $v_1$  en la sección transversal ficticia  $A_1$ , que es la velocidad del viento sin perturbar, mientras que la velocidad  $v_2$  se corresponde con otra sección ficticia  $A_2$  aguas debajo de la zona en que se encuentra la hélice [4].

En el plano que contiene la hélice, la sección transversal batida por la misma sería un disco imaginario de sección  $A$ , siendo  $v$  la velocidad útil del viento en la misma [4].

La hélice se supone como un disco de diámetro  $d$  que capta la energía del aire en movimiento que llega a él. Si el disco fuese capaz de captar toda la energía cinética del viento, agua abajo del mismo aire estaría en reposo y, por lo tanto, se cumple  $v_2 = 0$  [4].

Suponiendo que el gasto másico  $G$  de aire que circula por el tubo es constante, se puede poner

$$G = \rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2 = \rho A v \quad (30)$$

La variación de la energía cinética del viento en la unidad de tiempo utilizando la ecuación 27 resulta de la forma [4]:

$$\Delta E_{cinética} = E_{c1} - E_{c2} = \frac{G}{2} (v_1^2 - v_2^2) = \frac{\rho A v}{2} (v_1^2 - v_2^2) \quad (31)$$

La fuerza  $F$  ejercida por el viento en la unidad de tiempo ( $\Delta t = 1$ ) sobre el área ficticia  $A$  barrida por la hélice, es igual a la variación de la cantidad de movimiento del aire que la atraviesa; el trabajo generado por esta fuerza  $F$  en la unidad de tiempo, es la potencia útil de la forma [4]:

$$p_{útil} = Fv = \left| F = \frac{G\Delta v}{\Delta t} = \rho A v (v_1 - v_2) \right| = \rho A v^2 (v_1 - v_2) \quad (32)$$

Que es igual a la variación de la energía cinética del aire, en el mismo tiempo, pudiéndose poner:

$$p_{útil} = \rho A v^2 (v_1 - v_2) = \frac{\rho A v}{2} (v_1^2 - v_2^2) \quad (33)$$

Siendo  $v = \frac{v_1 - v_2}{2}$  en la ecuación 30 y haciendo el cambio  $v_2 = b v_1$  teniendo en cuenta que  $b$  es mayor a 0 y menor que 1, se cumple ( $0 < b < 1$ ). Tenemos [4]:

$$P_{\text{útil}} = \frac{\rho A(v_1 + v_2)}{4}(v_1^2 - v_2^2) = \frac{\rho A v_1^3}{4}(1 + b)(1 - b^2) \quad (34)$$

El valor máximo de la potencia útil se obtiene de  $\frac{dP_{\text{útil}}}{db} = 0$  [4], resultando

$$(1 - b^2) + (1 + b)(-2b) = 0; (1 + b)(1 - 3b) = 0$$

Cuyas soluciones son:

$b = -1$ , no cumple con la condición ( $0 < b < 1$ )

$$b = \frac{1}{3} = \frac{v_2}{v_1}; v_1 = 3v_2$$

De esta manera, la potencia útil está dada:

$$P_{\text{útil máx}} = \frac{\rho A v_1^3}{4}(1 + b)(1 - b^2) = \frac{\rho A v_1^3}{4}\left(1 + \frac{1}{3}\right)\left(1 - \frac{1^2}{3}\right) = \frac{8\rho A v_1^3}{27} \quad (35)$$

Para calcular el rendimiento máximo aerodinámico o factor de potencia máxima se realiza la relación entre las ecuaciones 21 y 32 de la forma [4]:

$$\eta_{\text{máxima}} = \frac{P_{\text{útil máx}}}{P_{\text{viento}}} = \frac{\frac{8\rho A v_1^3}{27}}{\frac{\rho A v_1^3}{2}} = \frac{16\rho A v_1^3}{27\rho A v_1^3} = \frac{16}{27} = 0,595 = 59,5\% \quad (36)$$

Es el límite teórico o coeficiente de Betz ( $C_p$ ), resultado que ninguna maquina eólica, por mi sofisticada que sea, puede superar [4]. Así que la densidad de potencia del viento puede ser obtenido por [10]:

$$\text{Densidad de potencia del viento} = \frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho C_p V^3 \quad (37)$$

**3.6.2 Densidad de potencia eólica** La densidad de potencia eólica es independiente del área de la turbina eólica y puede ser calculada con la función densidad de probabilidad Weibull [4,10,25].

$$P_w = \frac{1}{2} * \rho * C^3 * \Gamma(1 + \frac{3}{k}) \quad (38)$$

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 CALCULO DE INTERVALOS

Para elaborar la tabla de frecuencias, se utiliza tablas las cuales contienen el conteo del número veces que un dato aparece en la toma, se aplica la ecuación (1) para cada mes, con el fin de conocer el número de intervalos, siendo n la cantidad de datos u observaciones, dando como resultado la siguiente tabla.

**Tabla 5. Numero de intervalos**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
K	10.85643	10.50978	10.74987	10.74819	10.82337	10.64566	10.74819	10.69174	10.6617781	10.6987	10.5603328	10.7245139
Numero de intervalos	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11

### 4.2 TABLA DE FRECUENCIAS

Aplicando la ecuación (2) obtenemos la amplitud que debe tener los 11 intervalos de cada mes del año. Teniendo presente los límites de los intervalos se ubica las frecuencias y se calculan la velocidad promedio de cada intervalo, frecuencia relativa, porcentaje, frecuencia absoluta acumulada, frecuencia relativa acumulada, de esta manera obtenemos las tablas de frecuencias para cada mes del año 2017.

**Tabla 6. Tabla de frecuencias del mes de enero**

Velocidad promedio	Intervalos	Frecuencia absoluta	Frecuencia Relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1.1	(0-2.2]	107	0.115426106	11.5426	107	0.115426106
3.3	(2.2-4.4]	80	0.086299892	8.62999	187	0.201725998
5.5	(4.4-6.6]	187	0.201725998	20.1726	374	0.403451996
7.7	(6.6-8.8]	187	0.201725998	20.1726	561	0.605177994
9.9	(8.8-11]	127	0.137001079	13.7001	688	0.742179072
12.1	(11-13.2]	92	0.099244876	9.92449	780	0.841423948
14.3	(13.2-15.4]	57	0.061488673	6.14887	837	0.902912621
16.5	(15.4-17.6]	47	0.050701187	5.07012	884	0.953613808
18.7	(17.6-19.8]	33	0.035598706	3.55987	917	0.989212513
20.9	(19.8-22]	8	0.008629989	0.863	925	0.997842503
	(22-24.2]	2	0.002157497	0.21575	927	1

**Tabla 7. Tabla de frecuencias del mes de febrero**

Velocidad promedio	Intervalos	Frecuencia absoluta	Frecuencia Relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1.39	(0-2.781]	76	0.104252401	10.4252	76	0.104252401
4.077181818	(2.2781-5.436]	118	0.161865569	16.1866	194	0.26611797
6.795181818	(5.436-8.154]	190	0.260631001	26.0631	384	0.526748971
9.513181818	(8.154-10.872]	96	0.131687243	13.1687	480	0.658436214
12.23118182	(10.872-13.590]	90	0.12345679	12.3457	570	0.781893004
14.94918182	(13.590-16.308]	81	0.111111111	11.1111	651	0.893004115
17.66718182	(16.308-19.026]	28	0.038408779	3.84088	679	0.931412894
20.38518182	(19.026-21.744]	21	0.028806584	2.88066	700	0.960219479
23.10318182	(21.744-24.462]	18	0.024691358	2.46914	718	0.984910837
25.82118182	(24.462-27.180]	6	0.008230453	0.82305	724	0.993141289
28.53918182	(27.180-29.9)	5	0.006858711	0.68587	729	1

**Tabla 8. Tabla de frecuencias del mes de marzo**

Velocidad promedio	Intervalos	Frecuencia absoluta	Frecuencia Relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1.309	(0-2.618]	63	0.073170732	7.31707	63	0.073170732
3.927181818	(2.618-5.236]	98	0.113821138	11.3821	161	0.18699187
6.545181818	(5.236-7.854]	111	0.128919861	12.892	272	0.315911731
9.163181818	(7.854-10.472]	186	0.216027875	21.6028	458	0.531939605
11.78118182	(10.472-13.090]	112	0.130081301	13.0081	570	0.662020906
14.39918182	(13.090-15.708]	95	0.110336818	11.0337	665	0.772357724
17.01718182	(15.708-18.326]	58	0.067363531	6.73635	723	0.839721254
19.63518182	(18.326-20.944]	68	0.07897933	7.8979	791	0.918699187
22.25318182	(20.944-23.562]	48	0.055749129	5.57491	839	0.974448316
24.87118182	(23.562-26.180]	15	0.017421603	1.74216	854	0.991869919
27.48918182	(26.180-28.8)	7	0.008130081	0.81301	861	1

**Tabla 9. Tabla de frecuencias del mes de abril**

Velocidad promedio	Intervalos	Frecuencia absoluta	Frecuencia Relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1.15	(0-2.3]	125	0.145348837	14.5349	125	0.145348837
3.45	(2.3-4.6]	75	0.087209302	8.72093	200	0.23255814
5.75	(4.6-6.9]	150	0.174418605	17.4419	350	0.40697644
8.05	(6.9-9.2]	142	0.165116279	16.5116	492	0.572093023
10.35	(9.2-11.5]	140	0.162790698	16.2791	632	0.734883721
12.65	(11.5-13.8]	120	0.139534884	13.9535	752	0.874418605
14.95	(13.8-16.1]	62	0.072093023	7.2093	814	0.946511628
17.25	(16.1-18.4]	27	0.031395349	3.13953	841	0.977906977
19.55	(18.4-20.7]	14	0.01627907	1.62791	855	0.994186047
21.85	(20.7-23]	4	0.004651163	0.46512	859	0.998837209
24.15	(23-25.3]	1	0.001162791	0.11628	860	1

**Tabla 10. Tabla de frecuencias del mes de Mayo**

Velocidad promedio	Intervalos	Frecuencia absoluta	Frecuencia Relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1.2345	(0-2.509]	83	0.091611479	9.16115	83	0.091611479
3.763590909	(2.509-5.018]	195	0.215231788	21.5232	278	0.306843267
6.272590909	(5.018-7.527]	197	0.217439294	21.7439	475	0.524282561
8.781590909	(7.527-10.036]	144	0.158940397	15.894	619	0.683222958
11.29059091	(10.036-12.545]	135	0.149006623	14.9007	754	0.832229581
13.79959091	(12.545-15.054]	102	0.112582781	11.2583	856	0.944812362
16.30859091	(15.054-17.563]	26	0.028697572	2.86976	882	0.973509934
18.81759091	(17.563-20.072]	18	0.01986755	1.98675	900	0.993377483
21.32659091	(20.072-22.581]	3	0.003311258	0.33113	903	0.996688742
23.83559091	(22.581-25.090]	2	0.002207506	0.22075	905	0.998896247
26.34504545	(25.090-27.6]	1	0.001103753	0.11038	906	1



**Tabla 11. Tabla de frecuencias del mes de Junio**

Velocidad promedio	Intervalos	Frecuencia absoluta	Frecuencia Relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
0.9405	(0-1.881]	108	0.134831461	13.4831	108	0.134831461
2.822318182	(1.881-3.762]	72	0.08988764	8.98876	180	0.224719101
4.703318182	(3.762-5.643]	73	0.09113608	9.11361	253	0.315855181
6.584318182	(5.643-7.524]	188	0.234706617	23.4707	441	0.550561798
8.465318182	(7.524-9.405]	121	0.151061174	15.1061	562	0.701622971
10.34631818	(9.405-11.286]	49	0.061173533	6.11735	611	0.762796504
12.22731818	(11.286-13.167]	87	0.108614232	10.8614	698	0.871410737
14.10831818	(13.167-15.048]	56	0.069912609	6.99126	754	0.941323346
15.98931818	(15.048-16.929]	19	0.02372035	2.37203	773	0.965043695
17.87031818	(16.929-18.810]	21	0.026217228	2.62172	794	0.991260924
19.75540909	(18.810-20.7]	7	0.008739076	0.87391	801	1

**Tabla 12. Tabla de frecuencias del mes de Julio**

Velocidad promedio	Intervalos	Frecuencia absoluta	Frecuencia Relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
0.995	(0-1.990]	142	0.165116279	16.5116	142	0.165116279
2.985909091	(1.990-3.980]	100	0.11627907	11.6279	242	0.281395349
4.975909091	(3.980-5.970]	233	0.270930233	27.093	475	0.552325581
6.965909091	(5.970-7.960]	100	0.11627907	11.6279	575	0.668604651
8.955909091	(7.960-9.950]	137	0.159302326	15.9302	712	0.827906977
10.94590909	(9.950-11.940]	92	0.106976744	10.6977	804	0.934883721
12.93590909	(11.940-13.930]	39	0.045348837	4.53488	843	0.980232558
14.92590909	(13.930-15.920]	8	0.009302326	0.93023	851	0.989534884
16.91590909	(15.920-17.910]	8	0.009302326	0.93023	859	0.998837209
18.90590909	(17.910-19.900]	0	0	0	859	0.998837209
20.89590909	(19.900-21.9]	1	0.001162791	0.11628	860	1

**Tabla 13. Tabla de frecuencias del mes de Agosto**

Velocidad promedio	Intervalos	Frecuencia absoluta	Frecuencia Relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
0.9405	(0-1.881]	138	0.166868198	16.6868	138	0.166868198
2.822318182	(1.881-3.762]	103	0.124548554	12.4547	241	0.291414752
4.703318182	(3.762-5.643]	117	0.141475212	14.1475	358	0.432889964
6.584318182	(5.643-7.524]	196	0.237001209	23.7001	554	0.669891173
8.465318182	(7.524-9.405]	148	0.178960097	17.896	702	0.84885127
10.34631818	(9.405-11.286]	49	0.059250302	5.92503	751	0.908101572
12.22731818	(11.286-13.167]	49	0.059250302	5.92503	800	0.967351874
14.10831818	(13.167-15.048]	16	0.019347037	1.9347	816	0.986698912
15.98931818	(15.048-16.929]	4	0.004836759	0.48368	820	0.991535671
17.87031818	(16.929-18.810]	5	0.006045949	0.60459	825	0.99758162
19.75540909	(18.810-20.7]	2	0.00241838	0.24184	827	1

**Tabla 14. Tabla de frecuencias del mes de Septiembre**

Velocidad promedio	Intervalos	Frecuencia absoluta	Frecuencia Relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
0.995	(0-1.990]	138	0.17037037	17.037	138	0.17037037
2.985909091	(1.990-3.980]	95	0.117283951	11.7284	233	0.287654321
4.975909091	(3.980-5.970]	210	0.259259259	25.9259	443	0.54691358
6.965909091	(5.970-7.960]	82	0.101234568	10.1235	525	0.648148148
8.955909091	(7.960-9.950]	128	0.158024691	15.8025	653	0.80617284
10.94590909	(9.950-11.940]	75	0.092592593	9.25926	728	0.898765432
12.93590909	(11.940-13.930]	61	0.075308642	7.53086	789	0.974074074
14.92590909	(13.930-15.920]	12	0.014814815	1.48148	801	0.988888889
16.91590909	(15.920-17.910]	6	0.007407407	0.74074	807	0.996296296
18.90590909	(17.910-19.900]	2	0.002469136	0.24691	809	0.998765432
20.89590909	(19.900-21.9]	1	0.001234568	0.12346	810	1

**Tabla 15. Tabla de frecuencias del mes de Octubre**

Velocidad promedio	Intervalos	Frecuencia absoluta	Frecuencia Relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1.568	(0-3.136]	158	0.190132371	19.0132	158	0.190132371
4.704363636	(3.136-6.272]	240	0.288808664	28.8809	398	0.478941035
7.840363636	(6.272-9.408]	177	0.21299639	21.2996	575	0.691937425
10.97636364	(9.408-12.544]	103	0.123947052	12.3947	678	0.815884477
14.11236364	(12.544-15.680]	96	0.115523466	11.5523	774	0.931407942
17.24836364	(15.680-18.816]	36	0.0433213	4.33213	810	0.974729242
20.38436364	(18.816-21.952]	16	0.019253911	1.92539	826	0.993983153
23.52036364	(21.952-25.088]	3	0.003610108	0.36101	829	0.997593261
26.65636364	(25.088-28.224]	1	0.001203369	0.12034	830	0.998796631
29.79236364	(28.224-31.360]	0	0	0	830	0.998796631
32.92836364	(31.360-34.5]	1	0.001203369	0.12034	831	1

**Tabla 16. Tabla de frecuencias del mes de Noviembre**

Velocidad promedio	Intervalos	Frecuencia absoluta	Frecuencia Relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1.309	(0-2.618]	137	0.181456954	18.1457	137	0.181456954
3.927181818	(2.618-5.236]	152	0.201324503	20.1325	289	0.382781457
6.545181818	(5.236-7.854]	151	0.2	20	440	0.582781457
9.163181818	(7.854-10.472]	171	0.226490066	22.649	611	0.809271523
11.78118182	(10.472-13.090]	49	0.064900662	6.49007	660	0.874172185
14.39918182	(13.090-15.708]	37	0.049006623	4.90066	697	0.923178808
17.01718182	(15.708-18.326]	22	0.029139073	2.91391	719	0.952317881
19.63518182	(18.326-20.944]	28	0.034437086	3.44371	745	0.986754967
22.25318182	(20.944-23.562]	4	0.005286013	0.5298	749	0.99205298
24.87118182	(23.562-26.180]	3	0.00397351	0.39735	752	0.99602649
27.49009091	(26.180-28.8]	3	0.00397351	0.39735	755	1

**Tabla 17. Tabla de frecuencias del mes de Diciembre**

Velocidad promedio	Intervalos	Frecuencia absoluta	Frecuencia Relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1.15	(0-2.3]	90	0.106382979	10.6383	90	0.106382979
3.45	(2.3-4.6]	83	0.098108747	9.81087	173	0.204491726
5.75	(4.6-9]	178	0.210401891	21.0402	351	0.414893617
8.05	(6.9-9.2]	179	0.211583924	21.1584	530	0.626477541
10.35	(9.2-11.5]	124	0.146572104	14.6572	654	0.773049645
12.65	(11.5-13.8]	81	0.095744681	9.57447	735	0.868794326
14.95	(13.8-16.1]	51	0.060283688	6.02837	786	0.929078014
17.25	(16.1-18.4]	33	0.039007092	3.90071	819	0.968085106
19.55	(18.4-20.7]	16	0.01891253	1.89125	835	0.986987636
21.85	(20.7-23]	5	0.005910165	0.59102	840	0.992907801
24.15	(23-25.3]	6	0.007092199	0.70922	846	1

### 4.3 METODOLOGÍA

La metodología que se utilizó fue la **función de distribución de probabilidad de Weibull**, teniendo en cuenta que es la más utilizada alrededor del mundo y se acomoda a la cantidad de muestras que se tomaron en el aeropuerto Teterboro.

El método con el cual se calcularon los parámetros de forma  $k$  y de escala  $c$  en la herramienta Microsoft Excel fue el método gráfico, de esta forma surgieron las

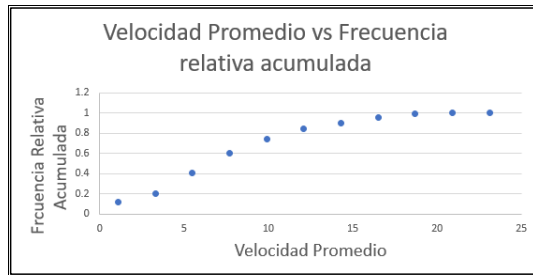
siguientes graficas Velocidad Promedio Vs Frecuencia Relativa Acumulada y  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  para cada mes del año.

Para el mes de enero:

**Tabla 18. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Enero**

Velocidad promedio	Frecuencia relativa acumulada
1.1	0.1154
3.3	0.2017
5.5	0.4034
7.7	0.6051
9.9	0.7421
12.1	0.8414
14.3	0.9029
16.5	0.9536
18.7	0.9892
20.9	0.9978
23.1	0.9999

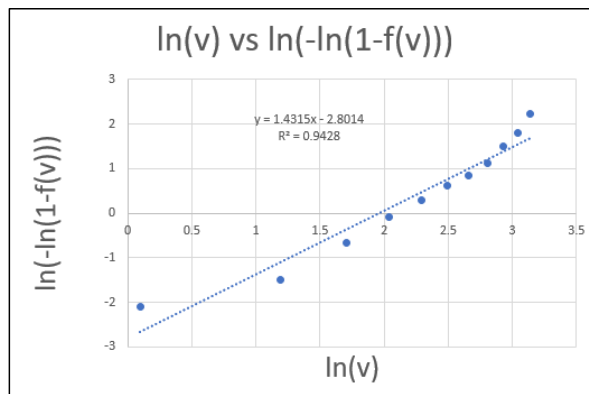
**Figura 15. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Enero**



**Tabla 19.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Enero**

$\ln(v)$	$\ln(-\ln(1-f(v)))$
0.09531018	-2.098667473
1.193922468	-1.49045199
1.704748092	-0.660663714
2.041220329	-0.07351446
2.292534757	0.303936771
2.493205453	0.610509843
2.660259537	0.846732231
2.803360381	1.121826026
2.928523524	1.510326529
3.039749159	1.811447371
3.139832618	2.220326806

**Figura 16.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes enero**



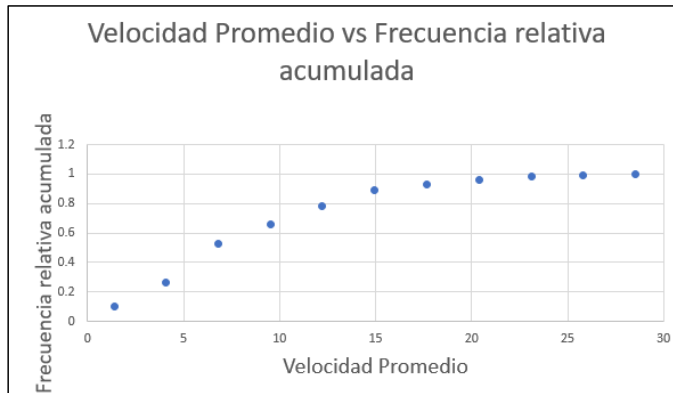
Con una función  $y = 1.4315x - 2.8014$  y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9428$  lo que significa que la función de la recta se ajusta a los datos.

Para el mes de Febrero:

**Tabla 20. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Febrero**

Velocidad promedio	Frecuencia relativa acumulada
1.39	0.1042
4.0771	0.2661
6.7951	0.5267
9.5131	0.6584
12.231	0.7818
14.949	0.893
17.667	0.9314
20.385	0.9602
23.103	0.9849
25.821	0.9931
28.539	0.9999

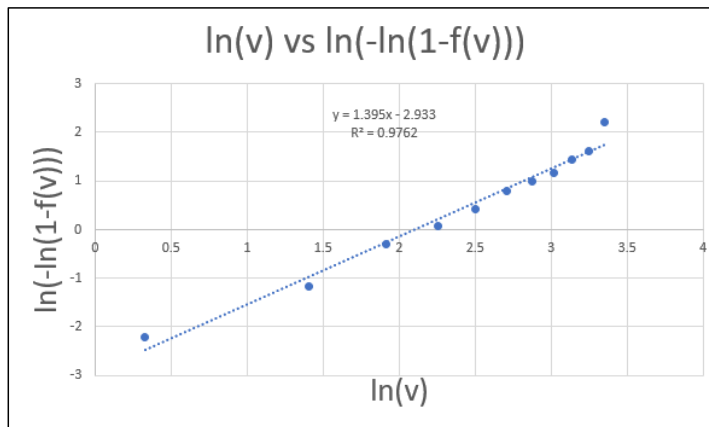
**Figura 17. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Febrero**



**Tabla 21.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Febrero**

$\ln(v)$	$\ln(-\ln(1-f(v)))$
0.329303747	-2.206928562
1.405385951	-1.173176905
1.916201764	-0.290317753
2.252669796	0.071496896
2.503973713	0.42025073
2.704644408	0.804208317
2.871698493	0.985616306
3.014799336	1.170588198
3.139962479	1.433430905
3.251188114	1.604673353
3.351271573	2.220326806

**Figura 18.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Febrero**



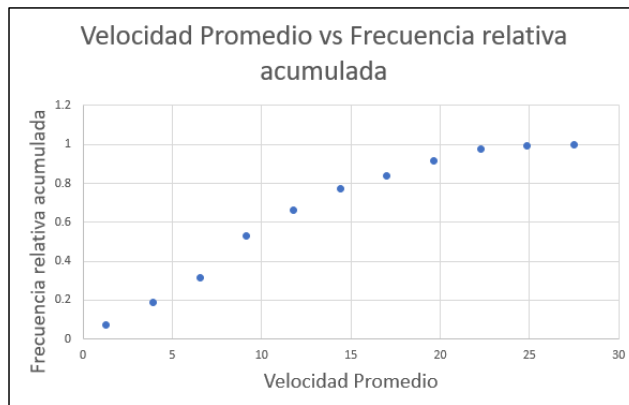
Con una función  $y = 1.395x - 2.933$  y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9762$  lo que significa que la función de la recta se ajusta a los datos.

Para el mes de Marzo:

**Tabla 22. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Marzo**

Velocidad promedio	Frecuencia relativa acumulada
1.309	0.0731
3.9271	0.1869
6.5451	0.3159
9.1631	0.5319
11.781	0.662
14.399	0.7723
17.017	0.8397
19.635	0.9186
22.253	0.9744
24.871	0.9918
27.489	0.9999

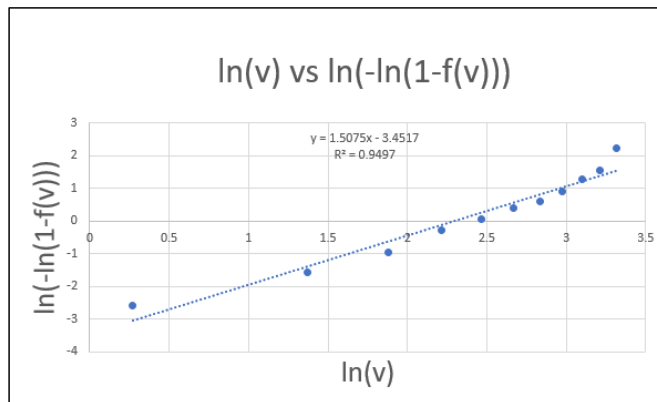
**Figura 19. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Marzo**



**Tabla 23.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Marzo**

$\ln(v)$	$\ln(-\ln(1-f(v)))$
0.269263487	-2.578212198
1.36790124	-1.575514011
1.878716678	-0.968502413
2.215184549	-0.275656891
2.466488064	0.081312102
2.66715876	0.391857142
2.834212844	0.604702897
2.977313688	0.919637129
3.102476831	1.298872789
3.213702466	1.569370034
3.313785925	2.220326806

**Figura 20.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Marzo**



Con una función  $y = 1.5075x - 3.4517$  y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9497$  lo que significa que la función de la recta se ajusta a los datos.

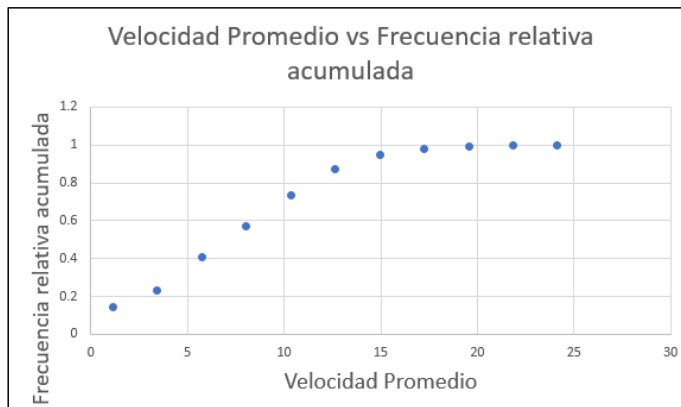


Para el mes de Abril:

**Tabla 24. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Abril**

Velocidad promedio	Frecuencia relativa acumulada
1.15	0.1453
3.45	0.2325
5.75	0.4069
8.05	0.572
10.35	0.7348
12.65	0.8744
14.95	0.9465
17.25	0.9779
19.55	0.9941
21.85	0.9988
24.15	0.9999

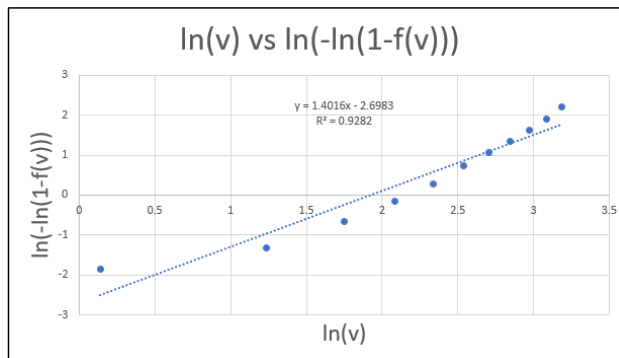
**Figura 21. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Abril**



**Tabla 25.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Abril**

$\ln(v)$	$\ln(-\ln(1-f(v)))$
0.139761942	-1.851479227
1.238374231	-1.329472539
1.749199855	-0.649336517
2.085672091	-0.164129539
2.33698652	0.28312497
2.537657215	0.729793923
2.7047113	1.074344741
2.847812143	1.338200593
2.972975286	1.63565189
3.084200922	1.905896417
3.18428438	2.220326806

**Figura 22.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Abril**



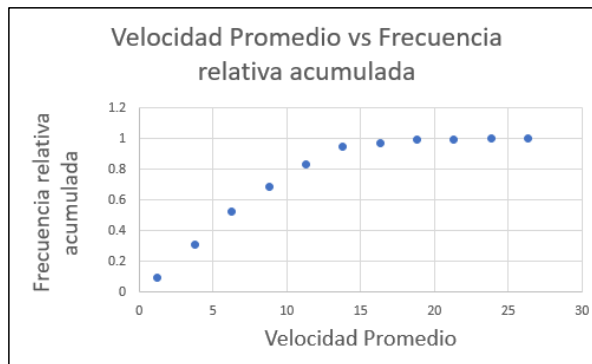
Con una función  $y = 1.4016x - 2.6988$  y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9282$  lo que significa que la función de la recta se ajusta a los datos.

Para el mes de Mayo:

**Tabla 26. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Mayo**

Velocidad promedio	Frecuencia relativa acumulada
1.2345	0.0916
3.7635	0.3068
6.2725	0.5242
8.7815	0.6832
11.29	0.8322
13.799	0.9448
16.308	0.9735
18.817	0.9933
21.326	0.9966
23.835	0.9988
26.345	0.9999

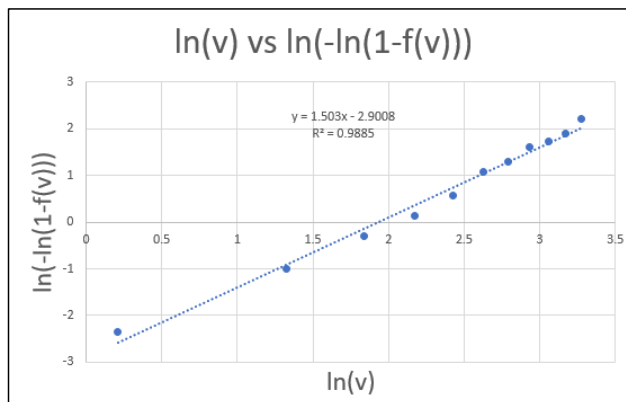
**Figura 23. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Mayo**



**Tabla 27.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Mayo**

$\ln(v)$	$\ln(-\ln(1-f(v)))$
0.21066603	-2.342673307
1.325349375	-1.00392943
1.836174999	-0.297385423
2.172647236	0.139313685
2.423917378	0.579408603
2.624596126	1.06360403
2.791655785	1.289400829
2.934760717	1.610566825
3.059926986	1.737651665
3.171155089	1.905896417
3.271278504	2.220326806

**Figura 24.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Mayo**



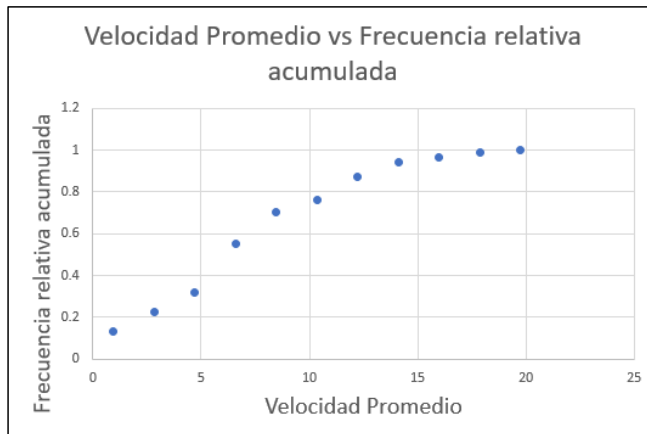
Con una función  $y = 1.503x - 2.9008$  y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9885$  lo que significa que la función de la recta se ajusta a los datos.

Para el mes de Junio:

**Tabla 28. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Junio**

Velocidad promedio	Frecuencia relativa acumulada
0.9405	0.1348
2.8223	0.2247
4.7033	0.3158
6.5843	0.5505
8.4653	0.7016
10.346	0.7627
12.227	0.8714
14.108	0.9413
15.989	0.965
17.87	0.9912
19.755	0.9999

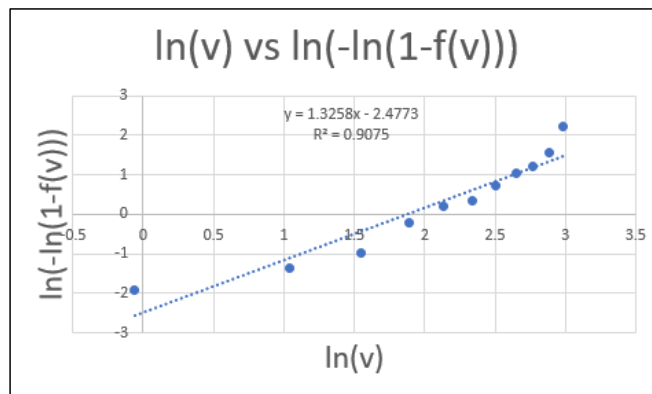
**Figura 25. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Junio**



**Tabla 29.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Junio**

$\ln(v)$	$\ln(-\ln(1-f(v)))$
-0.06134363	-1.932439197
1.037552155	-1.368433902
1.54826439	-0.96888749
1.884688027	-0.223619383
2.135975455	0.190058558
2.336599972	0.363552321
2.503646621	0.71835111
2.646742012	1.042153237
2.771900986	1.20967866
2.883123329	1.554560003
2.983406624	2.220326806

**Figura 26.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Junio**



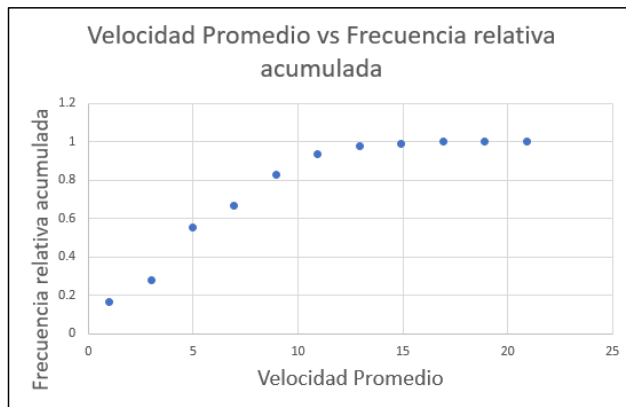
Con una función  $y = 1.3258x - 2.4773$  y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9075$  lo que significa que la función de la recta se ajusta a los datos.

Para el mes de Julio:

**Tabla 30. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Julio**

Velocidad promedio	Frecuencia relativa acumulada
0.995	0.1651
2.9859	0.2813
4.9759	0.5523
6.9659	0.6686
8.9559	0.8279
10.945	0.9348
12.935	0.9802
14.925	0.9895
16.915	0.9988
18.905	0.9988
20.895	0.9999

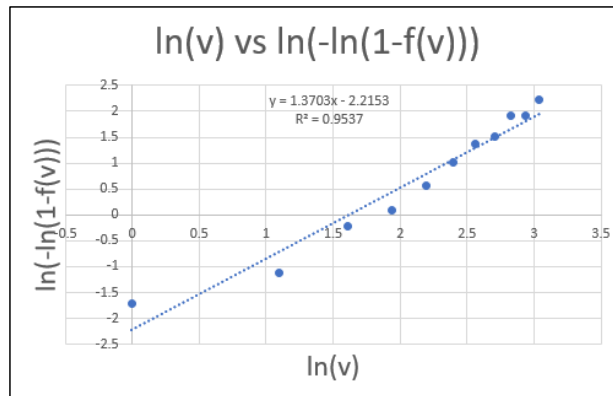
**Figura 27. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Julio**



**Tabla 31.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Julio**

$\ln(v)$	$\ln(-\ln(1-f(v)))$
-0.005012542	-1.712338557
1.093901209	-1.107719874
1.604606259	-0.218613933
1.941026816	0.099328617
2.192312533	0.565131733
2.392882731	1.004409959
2.559936816	1.366620428
2.703037659	1.516528453
2.828200802	1.905896417
2.939426437	1.905896417
3.039509896	2.220326806

**Figura 28.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Julio**



Con una función  $y = 1.3703x - 2.2153$  y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9537$  lo que significa que la función de la recta se ajusta a los datos.

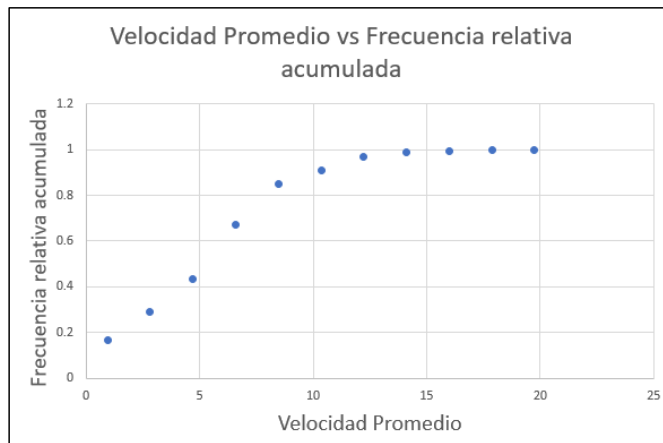


Para el mes de Agosto:

**Tabla 32. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Agosto**

Velocidad promedio	Frecuencia relativa acumulada
0.9405	0.1668
2.8223	0.2914
4.7033	0.4328
6.5843	0.6698
8.4653	0.8488
10.346	0.9081
12.227	0.9673
14.108	0.9866
15.989	0.9915
17.87	0.9975
19.755	0.9999

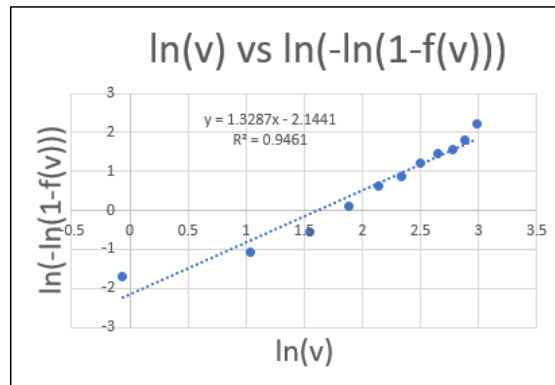
**Figura 29. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Agosto**



**Tabla 33.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Agosto**

$\ln(v)$	$\ln(-\ln(1-f(v)))$
-0.06134363	-1.7011061
1.037552155	-1.065765442
1.54826439	-0.567319605
1.884688027	0.102607803
2.135975455	0.636127953
2.336599972	0.870060074
2.503646621	1.229751715
2.646742012	1.461517915
2.771900986	1.561861725
2.883123329	1.790335881
2.983406624	2.220326806

**Figura 30.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Agosto**



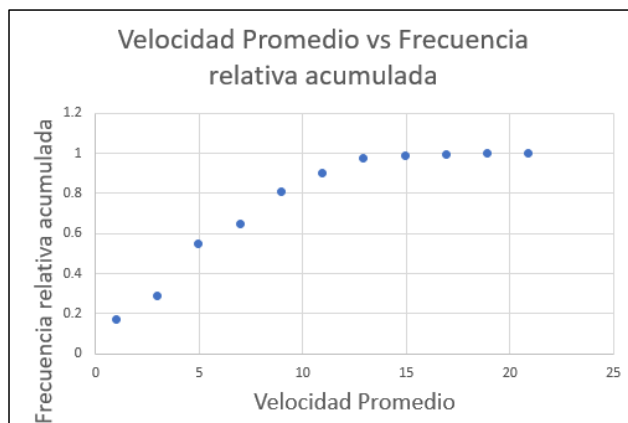
Con una función  $y = 1.3287x - 2.1441$  y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9461$  lo que significa que la función de la recta se ajusta a los datos.

Para el mes de Septiembre:

**Tabla 34. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Septiembre**

Velocidad promedio	Frecuencia relativa acumulada
0.995	0.1703
2.9859	0.2876
4.9759	0.5469
6.9659	0.6481
8.9559	0.8061
10.945	0.8987
12.935	0.974
14.925	0.9888
16.915	0.9962
18.905	0.9987
20.895	0.9999

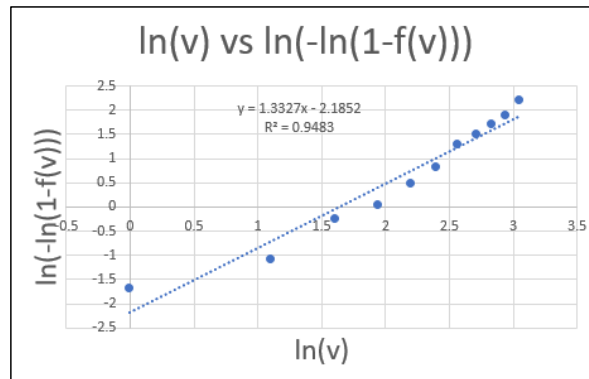
**Figura 31. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Septiembre**



**Tabla 35.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Septiembre**

$\ln(v)$	$\ln(-\ln(1-f(v)))$
-0.005012542	-1.678299957
1.093901209	-1.081413851
1.604606259	-0.23364547
1.941026816	0.043450442
2.192312533	0.494947867
2.392882731	0.828407208
2.559936816	1.294633668
2.703037659	1.502262751
2.828200802	1.717889404
2.939426437	1.893923534
3.039509896	2.220326806

**Figura 32.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Septiembre**



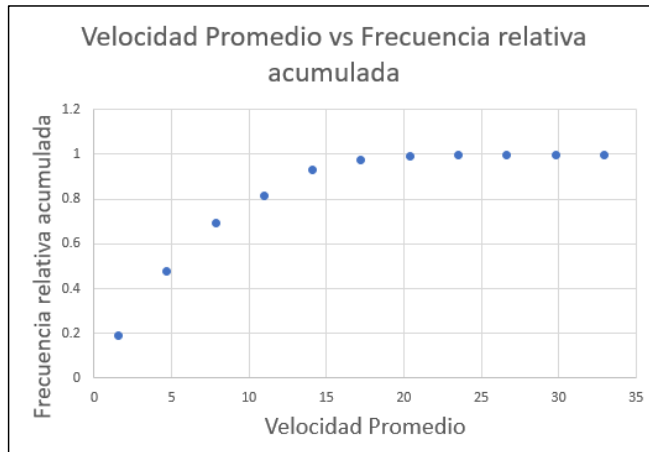
Con una función  $y = 1.3327x - 2.1852$  y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9483$  lo que significa que la función de la recta se ajusta a los datos.

Para el mes de Octubre:

**Tabla 36. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Octubre**

Velocidad promedio	Frecuencia relativa acumulada
1.568	0.1901
4.7043	0.4789
7.8403	0.6919
10.976	0.8158
14.112	0.9314
17.248	0.9747
20.384	0.9939
23.52	0.9975
26.656	0.9987
29.792	0.9987
32.928	0.9999

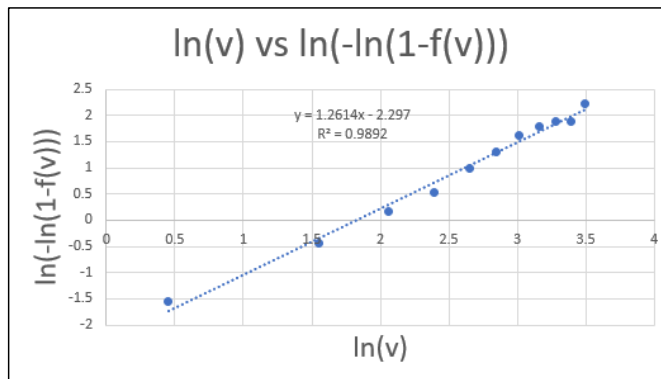
**Figura 33. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Octubre**



**Tabla 37.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Octubre**

$\ln(v)$	$\ln(-\ln(1-f(v)))$
0.449800922	-1.556634404
1.548476984	-0.427997082
2.059277099	0.163249905
2.395711071	0.525753539
2.647025499	0.985616306
2.847696195	1.302083844
3.014750279	1.629135928
3.157851123	1.790335881
3.283014266	1.893923534
3.394239901	1.893923534
3.49432336	2.220326806

**Figura 34.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Octubre**



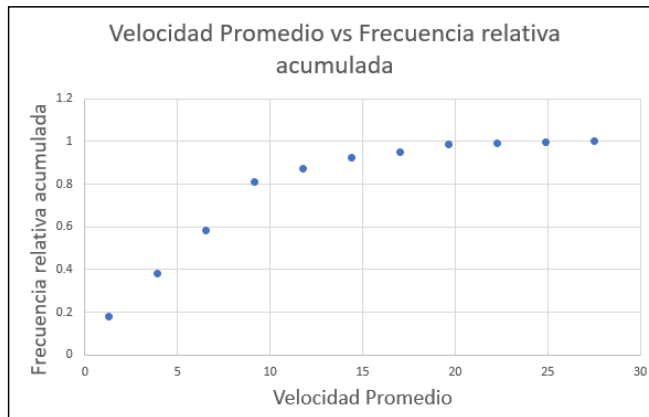
Con una función  $y = 1.2614x - 2.297$  y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9892$  lo que significa que la función de la recta se ajusta a los datos.

Para el mes de Noviembre:

**Tabla 38. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Noviembre**

Velocidad promedio	Frecuencia relativa acumulada
1.309	0.1814
3.9271	0.3827
6.5451	0.5827
9.1631	0.8092
11.781	0.8741
14.399	0.9231
17.017	0.9523
19.635	0.9867
22.253	0.992
24.871	0.996
27.49	0.9999

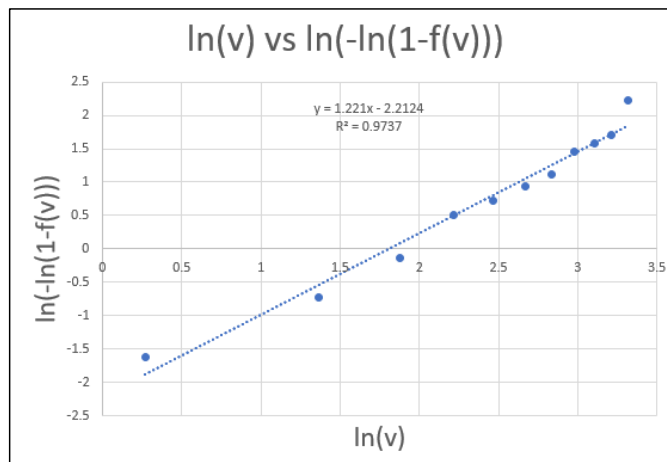
**Figura 35. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Noviembre**



**Tabla 39.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Noviembre**

$\ln(v)$	$\ln(-\ln(1-f(v)))$
0.269263487	-1.608639657
1.36790124	-0.728981323
1.878716678	-0.134732237
2.215184549	0.504724763
2.466488064	0.72864334
2.66715876	0.942055707
2.834212844	1.112785993
2.977313688	1.463253375
3.102476831	1.574497284
3.213702466	1.708642484
3.313822302	2.220326806

**Figura 36.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Noviembre**



Con una función  $y = 1.221x - 2.2124$  y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9737$  lo que significa que la función de la recta se ajusta a los datos.

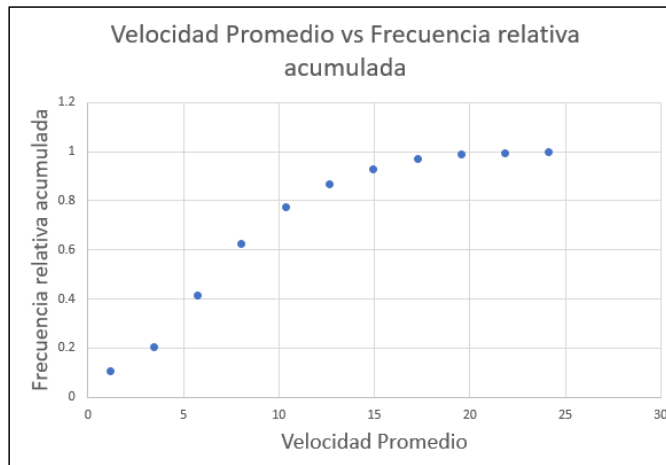


Para el mes de Diciembre:

**Tabla 40. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Diciembre**

Velocidad promedio	Frecuencia relativa acumulada
1.15	0.1063
3.45	0.2044
5.75	0.4148
8.05	0.6264
10.35	0.773
12.65	0.8687
14.95	0.929
17.25	0.968
19.55	0.9869
21.85	0.9929
24.15	0.9999

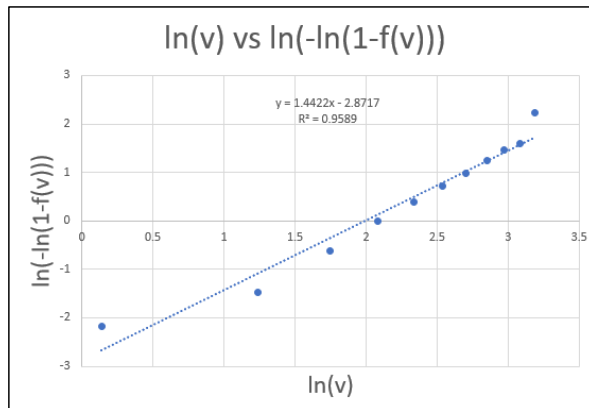
**Figura 37. Velocidad promedio vs Frecuencia Relativa Acumulada mes Diciembre**



**Tabla 41.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Diciembre**

$\ln(v)$	$\ln(-\ln(1-f(v)))$
0.139761942	-2.18582364
1.238374231	-1.47552464
1.749199855	-0.623991317
2.085672091	-0.015550715
2.33698652	0.393935741
2.537657215	0.708169034
2.7047113	0.972699572
2.847812143	1.236058327
2.972975286	1.466754608
3.084200922	1.598914838
3.18428438	2.220326806

**Figura 38.  $\ln(-\ln(1 - F(v)))$  Vs  $\ln(v)$  mes Diciembre**



Con una función  $y = 1.4422x - 2.8717$  y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9589$  lo que significa que la función de la recta se ajusta a los datos.

Para cada uno de los meses se aplican las ecuaciones (18) y (19) para obtener los valores de los parámetros de forma  $k$  y de escala  $c$ , en la tabla 42 se muestran los valores de dichos parámetros.

**Tabla 42. Parámetros de forma k escala c de los meses del año 2017**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
k	1.4315	1.395	1.5075	1.4016	1.503	1.3258	1.3703	1.3287	1.3327	1.2614	1.221	1.4422	1.37673
c	7.0778	8.18668	9.8718267	6.856225	6.88956	6.47877991	5.0362	5.02127	5.1535142	6.17799	6.12242	7.324274	6.68305

**4.3.1 Potencia del viento** Se utiliza las mediciones de presión y temperatura de cada uno de los meses se obtiene la tabla 43 la cual muestra la densidad del aire promedio de todos los meses del año.

**Tabla 43. Densidad promedio de los meses del año 2017**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
$\rho$	1.2735	1.26154	1.2732154	1.227487	1.21292	1.18718223	1.1795	1.18701	1.1958047	1.21278	1.257236	1.283927	1.22934

**4.3.2 Densidad de potencia eólica** Se utiliza los valores promedios expuestos en las tablas 42 y 43 se usa el factor de conversión  $1 \text{ mph} = 0.44704 \text{ m/s}$  con el fin de conocer la potencia en el aeropuerto Teterboro sin importar el aerogenerador que allí se instale, para ello se aplica la ecuación (38), de forma que

$$P_w = \frac{1}{2} * \rho * C^3 * \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (38)$$

$$P_w = \frac{1}{2} * 1.22934 * 2.9875^3 * \Gamma\left(1 + \frac{3}{1.3767}\right)$$

$$P_w = 38.8881 \frac{W}{m^2}$$

## 5. SELECCIÓN DE LA MÁQUINA EÓLICA

Para las condiciones variables de velocidad y dirección de viento registradas por la Estación meteorológica en el aeropuerto Teterboro, junto con la densidad de potencia, Altura de la de medición, la velocidad promedio y velocidad de conexión se consideró una máquina de eje vertical, al igual que la Altura al eje de rotación no supere los diez metros de Altura. Para ello se utiliza un buscador en línea llamado wind-turbine-models.com [27]. El cual permite filtrar por la potencia desea a generar por la máquina eólica de los diferentes fabricantes junto con sus especificaciones. La página web tiene una base de datos de 504 fabricantes de aerogeneradores y 62424 máquinas eólicas [27]. Allí se encontró los candidatos a los que se les aplica los criterios de selección teniendo en cuenta escoger la máquina eólica que satisfaga dichos criterios y produzca el mayor número de kW.

Teniendo presente que:

- La densidad de potencia es  $38.881 \frac{W}{m^2}$
- La altura del eje de rotación debe ser menor a 10 metros
- Velocidad de conexión menor a la velocidad de promedio de  $2.9875 \frac{m}{s}$

**Tabla 44. Aplicación de criterios a candidatos**

Aerogenerador	Densidad de Potencia	Altura del eje de rotación	Velocidad de conexión
Aerolite A-7			
Aeolos-V 10kW			
Aeolos-H 1kW			
Allgaier WE 10/G6			
Hummer H8. 16-10kW			
Aria Libellula 20			
Aventa AV-7			
Donier Darrius/Savonius 5.5 kW			
Polenko WPS 8			

Fuente [27]

El aerogenerador Aeolos-V 10kW es la máquina eólica seleccionada puesto que de los 3 candidatos que cumplen con los criterios está es la que produce mayor potencia y se muestra en la figura 39.

**Figura 39. Máquina eólica Aeolos-V 10 kW**



Fuente [26]

## 5.1 ESPECIFICACIONES

El Sistema de la maquina eólica Aeolos-V 10 kW cuenta con las siguientes especificaciones:

- Tipo de generador: tres fases de imán permanente

- Altura del rotor: 6 metros
- Ancho del rotor: 5 metros
- Peso de la turbina: 680 Kg
- Material de las palas: Aleación de aluminio
- Cantidad de palas: 3
- Temperatura de operación: -20 `C a 50 `C
- Tiempo de vida del diseño: 20 años

#### 5.1.1 Rendimiento

- Potencia nominal: 10 kW
- Potencia máxima de salida: 12 kW
- Velocidad de conexión: 2.5 m/s
- Velocidad nominal: 12 m/s
- Velocidad de supervivencia: 55 m/s
- Eficiencia del generador: 96%
- Nivel de sonido: < 38 dB
- Garantía: 5 años

Revoluciones por minuto máximas por las palas 150 RPM

Posibles variaciones:

Sistema de monitoreo remoto

Sistema de frenos hidráulicos automáticos

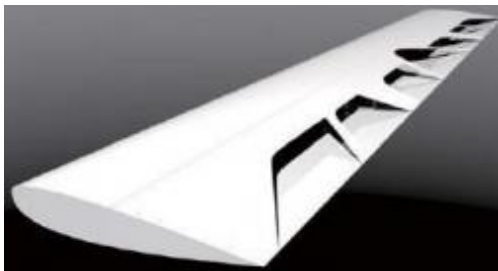
Voltajes de 48 V o 120 V para no interconectados a la red

Voltajes de 360 V para contactados a la red [26].

**5.1.2 Ventajas del aerogenerador** La máquina eólica Aeolos-V 10 kW cuenta con un triple Sistema de seguridad. Iniciando con el diseño aerodinámico de las palas lo cual permite una velocidad de rotación máxima de 150 rpm incluso cuando la velocidad del viento es de 30 o 40 m/s. Es más Segura y confiable que los

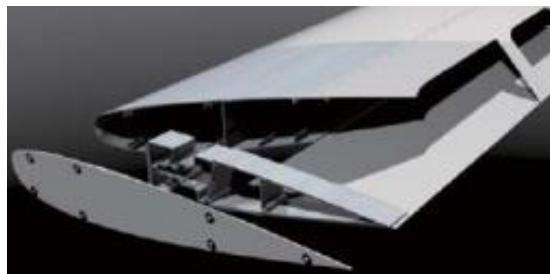
aerogeneradores tradicionales de eje vertical. Además, posee un controlador de descarga que consume el exceso de potencia de salida y controla el voltaje cuando el viento es fuerte. Asimismo posee un freno mecánico manual que detiene la máquina para labores de mantenimiento o cuando se acerca una tormenta muy fuerte, cabe mencionar que puede tener un Sistema de freno hidráulico automático lo que lo hace ideal para techos, islas, torres de telecomunicaciones donde no se requiere personal para revisar y monitorear, este Sistema puede tanto auto detenerse cuando la turbina esta sobre los límites de voltaje, velocidad del viento, temperatura en el generador o alguna otra falla, como para liberarse después de la emergencia anormal.

**Figura 40. Exterior de las palas del aerogenerador Aeolos-V 10 kW**



Fuente [26]

**Figura 41. Interior de las palas del aerogenerador Aeolos-V 10 kW**



Fuente [26]

**Figura 42. Aerogenerador Aeolos-V 10 kW en una azotea**



Fuente [26]

En cuestiones de eficiencia Aeolos-V 10 kW puede empezar a generar desde 2.5 m/s y puede suministrar a 3.5 m/s, esto es más eficiente que las turbinas verticales a 3.5 m/s o incluso 4.5 m/s.

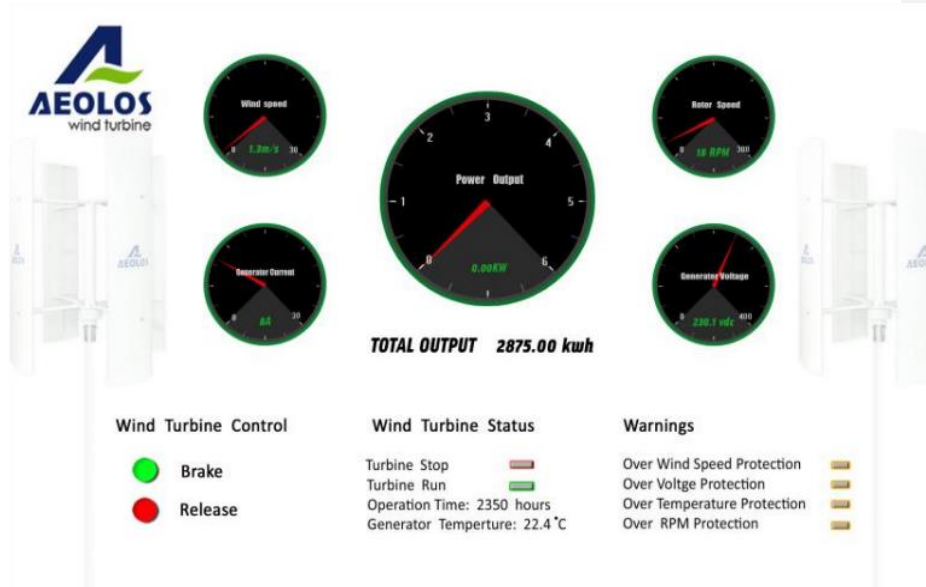
Según los estándares de la asociación americana de energía eólica el aerogenerador Aeolos-V 10 kW anualmente produce 7120 kWh a una velocidad de 5 metros por segundo, por otro lado, a 10 metros por segundo produce 60440 kWh.

Cuenta con un controlador de carga para incrementar la eficiencia de la carga a 94%

Con la ayuda de internet los usuarios pueden ver la operación de la maquina eólica, la velocidad y la potencia de salida con el Sistema de monitoreo remoto, con una interfaz como se muestra en la figura 44 [26].



Figura 43. Interfaz de monitoreo remoto del aerogenerador Aeolos -V 10 kW

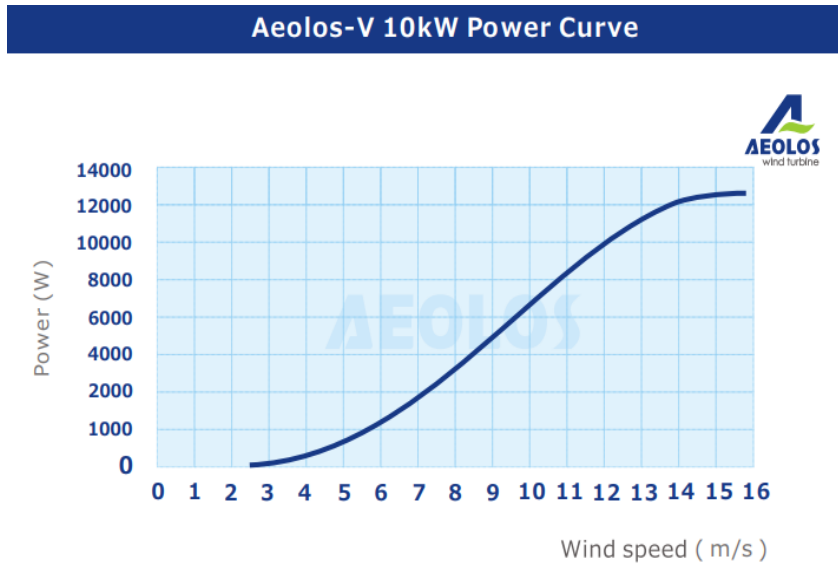


Fuente [26]

## 5.2 PRODUCCIÓN DE POTENCIA

El fabricante Aeolos proporciona la curva de potencia de su aerogenerador. Mostrada en la figura 44. Dicha grafica se utilizó para hallar el potencial eólico anual del aeropuerto Teterboro.

Figura 44. Curva de potencia



Fuente [26]

En la figura 45 se muestran los valores para diferentes velocidades de viento y su producción anual si se mantuviera constante las 8760 horas del año.

**Figura 45. Producción de potencia anual del aerogenerador Aeolos-V 10kW**

Aeolos-V 10kW Wind Turbine Annual EnergyOutput			
Wind Speed(m/s)	Annual Energy Output (kWh)	Wind Speed(m/s)	Annual Energy Output (kWh)
3 m/s	1051 kWh	9 m/s	43800 kWh
4 m/s	3504 kWh	10 m/s	60440 kWh
5 m/s	7120 kWh	11 m/s	71832 kWh
6 m/s	10512 kWh	12 m/s	87600 kWh
7 m/s	16644 kWh	13 m/s	98988 kWh
8 m/s	32412 kWh	14 m/s	105996 kWh

Fuente [26]

Teniendo en cuenta que los valores de la figura 45 son valores anuales los cuales cumplen con la siguiente ecuación y produce la tabla 44:

$$\text{Potencia producida en el año} = \text{Factor por producción por hora} * 8760$$

**Tabla 45. Factores de producción por hora**

Velocidad del viento [m/s]	Producción producida en el año [kWh]	Factor de producción por hora
3	1051	0.119977169
4	3504	0.4
5	7120	0.812785388
6	10512	1.2
7	16644	1.9
8	32412	3.7
9	43800	5
10	60440	6.899543379
11	71832	8.2
12	87600	10
13	98988	11.3
14	105996	12.1

Con los datos registrados hora por hora por la estación meteorológica, surge la siguiente tabla de frecuencias.

**Tabla 46. Tabla de frecuencias hora por hora del año 2017**

Velocidad del viento	Horas
0	1266
3.5	815
4.6	894
5.8	892
6.9	851
8.1	756
9.2	651
10.4	564
11.5	474
12.7	405
13.8	292
15	244
16.1	169
17.3	118
18.4	107
19.6	78
20.7	50
21.9	53
23	32
24.2	16
25.3	13
26.5	5
27.6	7
28.8	5
29.9	2
32.2	1

Se considera que la velocidad se mantiene constante durante la hora de la medición, de modo que la producción para el año 2017 con la maquina eólica Aeolos-V 10 kW se muestra en la tabla 46.

**Tabla 47. Producción de potencia del 2017**

Velocidad del viento [m/s]	horas	Factor de Producción por hora	Producción [kW]
0	1266	0	0
3.5	815	0.119977169	97.78139269
4.6	894	0.812785388	726.630137
5.8	892	1.2	1070.4
6.9	851	1.9	1616.9
8.1	756	3.7	2797.2
9.2	651	5	3255
10.4	564	6.899543379	3891.342466
11.5	474	10	4740
12.7	405	11.3	4576.5
13.8	292	12.1	3533.2
15	244	12.1	2952.4
16.1	169	12.1	2044.9
17.3	118	12.1	1427.8
18.4	107	12.1	1294.7
19.6	78	12.1	943.8
20.7	50	12.1	605
21.9	53	12.1	641.3
23	32	12.1	387.2
24.2	16	12.1	193.6
25.3	13	12.1	157.3
26.5	5	12.1	60.5
27.6	7	12.1	84.7
28.8	5	12.1	60.5
29.9	2	12.1	24.2
32.2	1	12.1	12.1
<b>Total</b>	<b>8760</b>		<b>37194.954</b>

Para el año 2017 se calculó un total de 37194.954 kW de potencia.

## 6. CONCLUSIONES

- Como resultado de la recolección de información sobre el uso, explotación e investigación de la energía eólica se evidencia que la función de distribución de probabilidad de Weibull es la más utilizada alrededor del mundo, puesto es utilizada en 9 de los 10 proyectos revisados, donde se implementa para hacer la representación de la velocidad del viento, el cual es un parámetro indispensable para el cálculo del potencial eólico.
- El departamento de defensa de los Estados Unidos de América cuenta con sistemas automáticos de observación de superficies, los cuales se rigen por estándares federales, es decir, son los mismos en todo el territorio nacional, que dada la aleatoriedad del viento dichos estándares son una clara ayuda para normalizar la toma de datos y a su vez darle calidad y confiabilidad a la medición.
- Para calcular el potencial eólico en el aeropuerto Teterboro en el estado de New Jersey, los datos y su procesamiento adecuados son primordiales para obtener el mejor resultado, debido a la migración de datos y al uso de la estadística descriptiva queda claro que para darle calidad y tener una visión más precisa y conjunta de los datos, estos deben pasar por un proceso de transformación y clasificación antes de ser utilizados para dicho cálculo.
- El método gráfico utilizado para hallar los parámetros de forma  $k$  y de escala  $c$  ayuda a predecir de una forma acertada la representación de la velocidad del viento como se puede notar el coeficiente de determinación  $R^2$  más bajo es el del mes de Junio con un valor de 0.9075 lo cual demuestra para todos los meses del año dicho coeficiente tomó valores cercanos a 1.

- Finalmente, la densidad de potencia eólica en el aeropuerto Teterboro con los parámetros de forma  $k = 1.3767$  y de escala  $c = 2.9875$  dan como resultado un total de  $38.8881 \frac{W}{m^2}$ .
- Debido a la variación de dirección y velocidad del viento encontradas en el aeropuerto Teterboro, es evidente que la mejor máquina eólica es una de eje vertical.
- Como se puede constatar según las especificaciones proporcionadas por el fabricante Aeolos, es ostensible que la máquina eólica Aeolos-V 10 kW de eje vertical, encontrada en una base de datos con más de 504 fabricantes, se ajusta al potencial disponible, a la altura de la medición, a la velocidad promedio, la velocidad de conexión y a la temperatura a la cual estará sometida.
- Dado que el fabricante Aeolos suministra la curva de potencia de su aerogenerador, se concreta que para las mediciones hora a hora del año 2017 con esta máquina eólica produciría 37194.954 kW de potencia.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] HERNÁNDEZ, Quetzalcoatl. ESPINOZA, Fracisco. SALDAÑA, Ricardo. RIVERA, Carlos. Evaluación del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el Estado de Veracruz, México. En: DYNA Febrero, 2012. vol. 79, no 171, p. 1-10.

[2] ROSSO, Ana. BLANCO, Francy. ARAQUE, Julian. KAFAROV, Viatcheslav. Potencial assessment of renewable energy sources in non-interconnected zones of Colombia, using geographic information system – ArcGIS: study of cases. En: AIDIC. 2017. vol. 57, p. 1567- 1572.

[3] ODO, F. AKUBUE, G. OFFIAH, S. UGWUOKE, P. Empirical models for predicting wind potencial for wind energy applications in rural locations of Nigeria. En: International journal of energy & environment. 2013. vol. 4, no 6, p. 1053- 1060.

[4] Fernández, Pedro. Energía Eólica. Santader, España.: Servicio Publicaciones E.T.S.I Industriales y T.Avda. de los Castros s/n, 1993. 7 p – 19p. ISBN 84-8102-019-2.

[5] Public Service Enterprise Group. Developing New Jersey's Green Energy Workforce. PSEG [en línea]. <[https://www.pseg.com/info/careers/pdf/green\\_jobs\\_white\\_paper\\_05\\_28\\_2008\\_v1.pdf](https://www.pseg.com/info/careers/pdf/green_jobs_white_paper_05_28_2008_v1.pdf)> [ citado en 24 de Julio de 2018]

[6] DIDANE, Djamal. ROSLY, Nurhayati. ZULKAFI, Mohd. SHAMSUDIN, Syariful. Evaluation of wind energy potencial as a power generation source in Chad. En: Hindawi. Mayo, 2017. vol. 2017. No 10, p 1-10.



[7] PEÑA, Alfredo. FLOORS, Rogier. SATHE, Ameya. GRYNING, Sven-Erik. WAGNER, Rozenn. COURTNEY, Michael. LARSÉN, Xiaoli. HAHMANN, Andrea. HASAGER, Charlotte. En: Ten Years of Boundary-Layer and Wind-Power Meteorology at Høvsøre, Denmark. En: Boundary-Layer Meteorology. 2016. vol. 158, no 1, P 1-26.

[9] REHMAN, Shafiqur. Ahmad, Aftab. EL-AMIN, Ibrahim. AL-HADHRAMI, Luai. Assessment of wind power, wind exponent, local air density and air turbulence intensity for an isolated site. En: Internacional Journal of sustainable Energy. Diciembre, 2009. vol. 28, no 4, p. 217-230.

[10] HULIO, Zahid. JIANG, Wei. REHMAN, S. Technical and economic assessment of wind power potencial of Nooriabad, Pakistan. En: Energy, sustainability and Society. Diciembre, 2017. vol. 7, no 35, p.1-14.

[11] WRIGHT, Marc. GRAB, Stefan. Wind speed characteristics and implications for wind power generation: Cape ragions, South Africa. En: South African Journal of Science. Julio, 2017. vol. 113, no 7/8, p. 35-42.

[12] ARAQUE, Julian. BLANCO, Francy. Estimación del potencial técnico energético de recursos renovables en zonas no interconectadas de Colombia, utilizando sistemas de información geográfica, SIG. Casos de estudio. Bucaramanga, Santander.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico-químicas. 2015. 36 p.

[13] GANESAN, Subramanyam. AHMED, Siraj. Assessment of wind energy potencial using topographical and meteorological data of a site in Central India (Bhopal). En: International Journal of Sustainable Energy. Septiembre, 2008. vol. 27, no 3, p. 131-142.

[14] National Weather Center. Automated Surface Observing Systems. [en línea]. <<https://www.weather.gov/asos/asostech>> [ citado en 24 de Julio de 2018]

[15] National Oceanic and Atmospheric Administration, Department of defense, Federal Aviation administration, United states Navy. Automated Surface Observing System (ASOS) User's Guide. [en línea]. <<https://www.weather.gov/media/asos/aum-toc.pdf>> [ citado en 24 de Julio de 2018]  
Disponible en Internet:

[16] National Oceanic and Atmospheric Administration. Federal Standard for siting meteorological sensors at airports. [en línea]. <[https://www.ofcm.gov/publications/siting/fcm-s4-1994\(Siting\).pdf](https://www.ofcm.gov/publications/siting/fcm-s4-1994(Siting).pdf)> [ citado en 24 de Julio de 2018]

[17] Federal Aviation Administration. Teterboro airport (KTEB). [en línea] <<https://www.airnav.com/airport/KTEB>> [ citado en 24 de Julio de 2018]

[18] weather underground. About our data, Forecasts. [en línea]. <<https://www.wunderground.com/about/data>> [ citado en 24 de Julio de 2018]

[19] SINGH, Shikha. BHATTI, T. KOTHARI, D. A Review of Wind-Resource-Assessment Technology. En: Journal of Energy Engineering. Abril, 2006. vol. 132, no 1, p. 8-14

[20] PowerData. Introducción a la migración de datos. [en línea]. <<https://landings.powerdata.es/guia-sobre-la-migracion-de-datos>> [ citado en 24 de Julio de 2018]

[21] Teterboro Airport. Airport Guide. [en línea]. < <http://www.panynj.gov/airports/teb-airport-guide.html>> [ citado en 24 de Julio de 2018]

[22] GORGAS, Javier. CARDIEL, Nicolás. ZAMORANO, Jaime. Estadística básica para estudiantes de ciencia. Madrid, España.: Javier Gorgas, Nicolás Cardial y Jaime Zamorano. 2011. ISBN 978-84-691-8981-8.

[23] BROWN, Angus. A step-by-step guide to non-linear regression analysis of experimental data using a Microsoft Excel spreadsheet. En : Computer methods and programs in biomedicine. 2001. vol 65, p. 191-200.

[24] MASTERS, Gilbert. Renerable and efficient electric power systems. Hoboken, New Jersey.: Jhon Wiley & Sons, Inc, 2004. 312 p – 315p. ISBN 0-471-28060-7.

[25] CARRILLO, Camilo. CIDRÁS, José. DIAZ-DORADO, Eloy. OBANDO-MONTAÑO, Andrés. An approach to determine the Weibull parameters for wind energy analysis: The case of Galicia (Spain). En : Energies. 2014. vol 7, p 2676-2700.

[26] Vertical Wind Turbine Brochure. Aeolos-V 10 kW [en línea]. < <http://energodyn.sk/wp-content/uploads/2015/09/Aeolos-V-10kw-Brochure-H-Model.pdf> > [ citado en 24 de Julio de 2018]

[27] Wind-Turbine-models. [en línea]. < <https://en.wind-turbine-models.com> > [ citado en 24 de Julio de 2018]