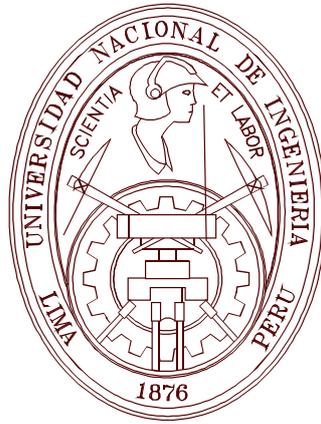


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE CIENCIAS
UNIDAD DE POSGRADO



TESINA PARA OPTAR EL TITULO DE SEGUNDA
ESPECIALIZACION EN ENERGIA SOLAR

"ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL RECURSO EOLICO
PARA CARACTERIZAR LA GENERACION DE ENERGIA CON
GENERADORES EOLICOS DE EJE HORIZONTAL EN LA CIUDAD
DE PIURA"

PRESENTADA POR
CESAR HUMBERTO ESTRADA CRISANTO

ASESOR:
Mg. ALFREDO OLIVEROS DONOHUE

LIMA - PERU

2015

AGRADECIMIENTO

A Dios todopoderoso, por darme salud para lograr mis objetivos y sabiduría para enfrentar situaciones difíciles.

A mis hijos Priscilla, César y Cástulo, por la fuerza y vitalidad que me irradian día a día y por ser la motivación principal para la culminación de esta tesis

A mis padres, por su amor y enseñanza que formó en mí las virtudes que me ayudan a vivir con felicidad.

A mi esposa Teo, por su apoyo constante y amor incondicional.

Al Ingeniero Rodolfo Rodríguez en representación del laboratorio de Física de la Udep por su apoyo incondicional en la información brindada.

INDICE GENERAL

Índice de Tablas.....	vii
Lista de Símbolos	x
Resumen.....	xi
Abstract	xii
Introducción	13
Capítulo1	15
Descripción, Justificación y Objetivos	15
1.1. Descripción del Problema	15
1.1.1.- Motivación y Justificación	16
1.2. Objetivos	18
1.2.1. Objetivo General	18
1.2.2. Objetivo Específico	18
1.2.3. Alcance del trabajo	18
Capítulo2	19
El Recurso Eólico	19
2.1 - El Recurso Eólico en el Perú.....	19
Tabla 2.1 – Principales concesiones otorgadas - generación de energía eólica en	20
el Peru [3].....	20
2.1.1.- Estadísticas de Operación del COES 2014 (Fuente informe anual del COES año 2014)	21
Cuadro 2.2.- Producción de energía con origen Eólico - 2014.....	21
2.2.- El Viento	22
2.2.1.- Medición y Tratamiento del Viento	22
2.2.2.- Anemómetros	23
2.2.3.- Dirección del viento y Ubicación del Cerro Chocan.	25
2.2.3.1.- Sector	27
2.2.3.2.- Rosa	28
2.2.3.3.- Rosa de Frecuencias	28
2.2.3.4.- Rosa de Velocidades	29
2.3.- Relación Potencia mecánica – Velocidad del viento	30
2.4.- Variación de la velocidad de viento con la altura	33
2.5. Distribución de Weibull	35
2.6.- Emplazamiento seleccionado en la Región Piura	43
Capítulo 3	45
Conversión Electromecánica de la Energía Eólica.....	45
3.1.-Tipos de Aerogeneradores	45
3.1.1 Aerogeneradores de Eje Horizontal	45
3.1.2 Aerogeneradores Convencionales de Eje Horizontal	46
3.2.-Descripción General y Componentes	48

3.2.1.- Rotor	48
3.2.2.- Eje Principal o de baja velocidad	51
3.2.3.- Caja Multiplicadora	52
3.2.4.- Generador Eléctrico	52
3.2.5.- Sistema de orientación	53
3.2.6.- Freno	53
3.2.7.- Bastidor y Góndola	54
3.2.8.- Torre	54
Capítulo 4	56
Análisis Estadístico – Resultados WAsP	56
4.1. Evaluación Cuantitativa y Cualitativa de la Energía Eólica en el Cerro Chocan - Paíta	56
4.2.- Emplazamiento: Delimitación y descripción	57
4.3.- Procesamiento de Datos Eólicos	60
4.3.1.-Distribución de Probabilidad de direcciones	61
4.3.2.- Distribución del Tiempo	62
4.3.3.- Distribución de la Frecuencia	62
4.3.4. Estimación de los parámetros de Weibull de datos dados	67
4.3.5. Distribución de probabilidad de velocidades – WasP	70
4.4.- Estimación de la Energía disponible – Potencial Eólico	72
4.4.1.- Clases de viento de los aerogeneradores	75
4.5.- El modelo WAsP	78
4.5.1.- La Huella Digital Climatológica del viento (<i>Wind climatological fingerprint</i>)	78
Capítulo 5	81
Resultados y Conclusiones	81
Recomendaciones y sugerencias	84
Bibliografía	85
Manuales	86
Anexos	86

Índice de Cuadros

Cuadro 2.1.- Producción Eléctrica con RER Por tipo de tecnología	21
Cuadro 2.2.- Producción Energía Eólica	21

Índice de Tablas

Tabla 2.1 – Principales concesiones otorgadas - generación de energía eólica en el Perú	20
Tabla 2.2. Escala de Beaufort para información empírica de velocidad del viento	23
Tabla 2.3.- ejemplo de sectores centrados y no centrados	27
Tabla 2.4. Variación del coeficiente de rugosidad (α) respecto al tipo de terreno	34
Tabla 2.5. Valores típicos de h_0	35
Tabla 4.1.- Instrumentos de medición instalados en el mástil de telefonía	58
Tabla 4.2 Instrumentos de medición instalados en el mástil NGR	60
Tabla 4.3. Datos de la frecuencia de la velocidad del viento para Cerro Chocan, 2014	63
Tabla 4.4. Datos de la frecuencia de velocidad del viento acumulado en Cerro Chocan	65
Tabla 4.5 Valores de k y c mensuales	67
Tabla 4.6 TDF de las velocidades de viento. Fuente WAsP	71
Tabla 4.7 Clases de viento para aerogeneradores en condiciones de viento estándar	73
Tabla 4.8 Tabla de Distribución de frecuencias de velocidades de viento 58m	75
Tabla 4.9.- Factor de forma y Factor de escala para la zona de estudio	80

Índice de Figuras

Figura 2.1: Sensor NRG 40C - Anemómetro de cazoleta.	25
Figura 2.2.- Plano de Localización del Cerro Chocan	26
Figura 2.3. Rosa de Frecuencias de 16 sectores	28
Figura 2.4. Rosa de Velocidades	29
Figura 2.5. Rosa de Energía	30
Figura 2.6.- Interacción del rotor con el flujo de aire	31
Figura 2.7.- La curva adimensional de frecuencia de la velocidad del viento de Weibull como función de la velocidad del viento adimensional $x = v/\bar{V}$ para diferentes valores del factor de forma k de Weibull	36
Figura 2.8 – Vista del cerro Chocan tomadas desde la carretera	43
Figura 2.9 – Vista de la ubicación geográfica del Cerro Chocan	44
Figura 3.1: Tipos de generadores y turbinas de eje horizontal a barlovento y sotavento	46
Figura 3.2: Componentes principales de aerogeneradores de eje horizontal.	47
Figura 3.3 Potencia nominal de un aerogenerador en función de su diámetro	51
Figura 3.4: Estructura de la Góndola	54
Figura 4.1.- Ubicación geográfica de los mástiles de medición de viento	57
Figura. 4.2. Mástil de medición, torre de telefonía	58
Figura 4.3 Mástil de medición, torre tubular NGR	59
Figura 4.4. Rosa de vientos a 58m de altura	61
Figura 4.5. Patrón diurno media de la velocidad del viento en el Cerro Chocan – 2014	62
Figura 4.6. Grafica de la frecuencia de la velocidad del viento para Cerro Chocan	64
Figura 4.7 a) Histograma de la distribución de la duración	66
Figura 4.7 b) distribución acumulativa en Cerro Chocan – 2014	66
Figura 4.8 Liberalización de la Distribución de Weibull para los vientos anuales.	68
Figura 4.9. Función de la distribución de probabilidad de Weibull – anual y mensuales	68
Figura 4.10. Función de la densidad de probabilidad de Weibull – anual y mensual	69
Figura 4.11. Variación de k y c a lo largo del año	69
Fig. 4.12. Distribución de probabilidades de velocidades de viento en WAsP	70
Figura 4.13. Ubicación de los aerogeneradores en el sector seis	72
Figura 4.14 Graficas de distribución de frecuencias en WAsP Weibull	74
Figura 4.15 – características aerogenerador VESTAS V90	76
Figura 4.16. Curva de potencia del aerogenerador Vestas V90	76

Figura 4.17. Curva de potencia del aerogenerador Vestas V100 – Fuente VESTAS	77
Figura 4.18. Coeficiente de potencia del aerogenerador Vestas V90	77
Figura 4.19 Huella Digital Climatologica a 58m – Fuente WAsP	79

Lista de Símbolos

m	=	masa de aire (Kg)
ρ	=	densidad del aire
C_p	=	Coficiente de potencia
λ	=	Razón de velocidad
θ	=	Angulo Azimut
Ω	=	Velocidad rotacional del rotor
β	=	Angulo de paso
v	=	Velocidad del viento ($\frac{m}{s}$)
k	=	Parámetro de escala
σ	=	Desviación estándar

Resumen

El presente trabajo consiste en analizar los principales factores que interviene en una óptima generación de electricidad con aerogeneradores de imanes permanentes y de eje horizontal.

El objetivo principal de este trabajo consiste en analizar la velocidad y dirección del viento a una altura de 58 metros cuyos datos se obtuvieron gracias al Laboratorio de Física de la Universidad de Piura (UDEP), el cual los ha proporcionado en tiempo real para el año 2014.

Es importante mencionar que para un riguroso análisis se puede modelar al recurso eólico (viento) según modelos matemáticos, probabilísticos y estocásticos y este trabajo menciona el modelo para poder simularlo en cualquier software de análisis matemático.

Los datos obtenidos se analizaron con el software WASP, el cual es líder en la industria eólica y que ha sido desarrollado por DTU (Universidad Técnica de Dinamarca) el cual presenta un reporte mostrando la posibilidad de generación de energía dado la velocidad, dirección y altura, incluyendo la rosa de los vientos.

Gracias al este pequeño aporte en la investigación es posible obtener un conocimiento general sobre el comportamiento dinámico del recurso eólico en este caso para la Región Piura.

El interés del modelo presentado reside en la representatividad del funcionamiento real y en su simplicidad lo que facilita la evaluación de los resultados finales y el aprovechamiento de la información para futuros trabajos en esta área.

Abstract

STUDY OF BEHAVIORAL OF AEOLIAN RESOURCE TO CHARACTERIZE THE ENERGY GENERATED WITH AEOLIAN GENERATORS OF HORIZONTAL AXLE IN THE REGION PIURA.

The main job consists in examining and analyzing factors interfering with in an optimal generation of electricity consisting aerogenerate of permanent magnets of horizontal axles.

This principal objective consists in examining the wind's speed to guide and obtain data of 58 meters of altitude

whose data were obtained thanks to the Laboratory of Physics of the University of Piura (UDEP), which has provided real-time by 2014.

It is important to mention that a rigorous analysis can be model to wind power resources according to mathematical, probabilistic models and stochastic this software is able to work any mathematical- analysis software.

The obtain data examined and analyzed with simulation software WASP, which is leader in the Aeolian industry that has been developed and for DTU (Dinamarca's Technical University) which shows a report the possibility of wind energy delivered the gear, due to speed and height, including the Compass Rose.

Thanks to this small input in this investigation a contribution is possible to obtain general knowledge in the behavioral of Aeolic resources for the city of Piura on the Aeolic resources and dynamic behavior in this case. This work evaluate the final results to take advantage of this information for future references.

Introducción

La energía eólica es una de las fuentes de energía que ha tenido un mayor crecimiento en los últimos años, presentando un crecimiento en forma exponencial lo cual se podría atribuir como una respuesta a la amenaza latente de escasez de recursos energéticos tradicionales, tales como hidrocarburos, combustibles fósiles, manantiales hídricos, entre otros, así como de su posible agotamiento en un periodo relativamente mediano de tiempo.

Actualmente en la República del Perú se ha estado realizando una serie de estudios con la finalidad de encontrar los posibles puntos potenciales para la explotación de este tipo de energía, logrando encontrar diversos puntos en el litoral peruano tales como Talara, Cupisnique y Marcona, los cuales ya están operando en la última década.

Con tales demostraciones se puede afirmar que ya se está generando energía eléctrica a partir de nuestros parques eólicos los cuales están interconectados al sistema eléctrico interconectado nacional (SEIN).

Por tanto en el presente trabajo se pretende evaluar el comportamiento del recurso eólico ubicado a cinco grados de Latitud Sur, tomados a alturas de 58m y a casi 200 metros sobre el nivel del mar.

Para analizar el comportamiento eólico se han realizado la toma de datos cada 10 minutos y de forma diaria es por esta razón que en este trabajo se ha realizado un estudio detallado de las características del recurso eólico en el Cerro Chocan que se encuentra ubicado a 18 Km de la ciudad de Paita en el Departamento de Piura.

El objetivo principal de este trabajo, es evaluar el comportamiento del recurso eólico caracterizando la potencia existente.

El estudio se ha realizado con los datos proporcionados por el Laboratorio de Física de la Universidad de Piura (UDEP) en el año 2014, y la base de datos meteorológicos de la UDEP (Universidad de Piura); con las cuales se determinan las tendencias mensuales del promedio de la velocidad del viento durante todo el año, la dirección predominante del viento en el que se hace la rosa de viento para la zona, las velocidades extrapoladas a diferentes alturas del suelo. [1]

Posteriormente se realizará un análisis cualitativo utilizando herramientas matemáticas como la distribución de Weibull para el recurso eólico, con el que se determinan las densidades de potencias mensuales y anuales a diferentes alturas.

Este trabajo de investigación comprende de una introducción y los capítulos siguientes:

- 1.- Capítulo 1: Descripción, Justificación y Objetivos.
- 2.- Capítulo 2: El Recurso Eólico
- 3.- Capítulo 3: Conversión Electromecánica de la Energía Eólica
- 4.- Capítulo 4: Análisis Estadístico – Resultados WAsP
- 5.- Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones.

Capítulo 1

Descripción, Justificación y Objetivos

1.1. Descripción del Problema

El Perú posee una matriz energética diversificada, es decir, cuenta con distintos recursos energéticos por explotar (gas natural petróleo, hidroeléctricas, energía solar, biomasa, entre otros). En la última década, el Estado ha implementado un plan cuyo objetivo es aprovechar algunas de estas fuentes de energía para impulsar nuestra economía, reducir la dependencia de recursos no renovables como el petróleo y cuidar más al medio ambiente. Un ejemplo exitoso de esta política es Camisea, el cual cambió considerablemente la matriz energética de nuestro país.

La energía hidroeléctrica es el único recurso renovable que verdaderamente se explota en el Perú. Somos el segundo país de la región con mayor número de hidroeléctricas en operación, las cuales producen el 58% de la energía eléctrica que se genera anualmente en nuestro país.

El Perú tiene características geográficas y climatológicas que le permiten aprovechar los siguientes recursos energéticos renovables:

Energía Eólica: El 2 de Mayo del 2014 se inauguró en el distrito de Marcona el primer parque eólico del Perú. Se estima que la cantidad de energía eólica que puede producir nuestro país equivale al 70% del consumo actual de electricidad. Los departamentos de Lima, Ica, Arequipa y Lambayeque tienen un gran potencial para producir este tipo de energía renovable.

Energía solar: Desde el 2012 las plantas “Panamericana Solar” y “Tacna solar” ubicadas en Moquegua y Tacna respectivamente, generan electricidad para los habitantes de estas dos regiones. Los expertos afirman que el Perú cuenta con condiciones favorables para desarrollar proyectos de energía solar, sobre todo al sur de nuestra cordillera donde este tipo de energía alcanza niveles que están entre los más altos del mundo.

Biomasa: En el 2011 la Central Térmica de Biomasa de Huaycoloro inició sus operaciones para aportar energía eléctrica al SEIN. Desde ese año, la planta convierte los más de 3 millones de kilos de basura, provenientes del Relleno Sanitario de Huaycoloro, en electricidad. Por otro lado, la empresa Caña Brava del Grupo Romero utiliza el bagazo de la caña de azúcar para generar la electricidad que utilizan sus plantas de producción de etanol.

La energía renovable proveniente del sol y del viento, es una alternativa que depende de su forma de aprovechamiento, que genera impactos ambientales significativamente inferiores a las fuentes convencionales de energía, pueden contribuir al suministro de la red nacional energética y sustentabilidad ambiental. La magnitud de dicha contribución y la viabilidad económica de su implantación, depende de las particularidades estas como el potencial explotable de los recursos, su localización geográfica y las características de los mercados energéticos. Por lo tanto los motivos por los que se realiza este trabajo es evaluar el potencial eólico en el Cerro Chocán, para viabilizar los proyectos aprovechando los recursos eólicos en esta localidad y sus alrededores.

1.1.1.- Motivación y Justificación

En Perú, el uso de la energía eólica, como fuente generadora de energía eléctrica, es mínimo; alcanza a penas el megavatio, según Project Tech4CDM, “*Wind energy in Peru*”, financiado por la Unión Europea bajo el programa Sixth Framework.

La región Piura presenta un elevado potencial eólico disponible en la costa de las provincias de Talara y Paita, con un valor de $4993 \text{ kWh/m}^2/\text{año}$ a una velocidad promedio de 8.5 m/s y de $642 \text{ kWh/m}^2/\text{año}$ a 4 m/s respectivamente, según el Ministerio de energía y minas. Por esto se evaluará el potencial eólico en un área seleccionada, caso en estudio “cerro Chocán” ubicado en la carretera Piura - Paita.

Las investigaciones en la sección energía que viene realizando la Universidad de Piura (UDEP), y la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) causaron un gran interés en el estudio de los mecanismos de conversión de la energía del viento en energía eléctrica (aerogeneradores).

Además, la necesidad de contar con nuevas fuentes de generación de energía que permitan abastecer el incremento de la demanda eléctrica en el norte del país, llevó a la búsqueda de herramientas que sean útiles en la evaluación del potencial eólico en la región Piura y así promover la instalación de grandes parques eólicos.

Se busca generar energía eléctrica no contaminante así como también el desarrollo económico y tecnológico de la región Piura. Por ello la necesidad de invertir en el Perú, explotando nuevas fuentes de energía, de manera que sea capaz de satisfacer sus propias demandas

energéticas, disminuyendo la dependencia energética de otros países, de los cambios climáticos (problema con las centrales hidroeléctricas) y de la continua alza de petróleo (problema con las centrales térmicas).

El avance de la tecnología es vital para un país, puesto que permite el desarrollo integral de cualquier nación, generando a su vez nuevas fuentes de conocimiento, que pueden ser explotadas para proporcionar un mejoramiento en la calidad de vida, dando así un crecimiento global.

Este trabajo de investigación representa un aporte valioso al desarrollo del método para analizar los datos estadísticos y probabilísticos del viento ya que en el País no se cuenta con experiencias actuales con relación a las fuentes de generación de energía eólica.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Estudiar el comportamiento del viento para caracterizar la generación de energía con generadores eólicos de eje horizontal en el Cerro Chocán – carretera Piura – Paita.

1.2.2. Objetivo Específico

- Evaluar los resultados de las mediciones obtenidas para hacer un análisis estadístico del comportamiento del viento con fines de generación de energía eléctrica.
- Predecir y estimar el recurso eólico del lugar para implementar parques eólicos.

1.2.3. Alcance del trabajo

Actualmente en el Perú se han realizado una serie de estudios con respecto a la factibilidad económica que presenta la instalación de parques eólicos en el territorio nacional y el impacto que podrían causar los mismos al medio ambiente, por tal razón la presente investigación, estará principalmente enfocada al estudio del comportamiento del viento que permita observar y medir en tiempo real los datos de dirección y velocidad de viento.

Y dentro de las principales metas que se desean alcanzar en esta investigación se encuentra:

- Considerar el estudio de los principales parámetros estadísticos del viento a una determinada altura utilizando ecuaciones que la definen.
- Este trabajo tiene ámbito local, pero apoyado con software de modelación estadística (WasP – Weibull) y aplicando la metodología propuesta es posible estudiar el comportamiento eólico en diferentes zonas del país.

Capítulo 2

El Recurso Eólico

2.1 .- El Recurso Eólico en el Perú

La costa peruana cuenta con un importante potencial eólico, llegándose a alcanzar velocidades de viento hasta 8 m/seg en Malabrigo, San Juan de Marcona y Paracas. Asimismo en la mayor parte de la costa se presentan valores anuales promedios de 6 m/seg.

En general donde el recurso eólico supera los 6 m/seg y una adecuada continuidad es factible analizarla en conveniencia de su uso para generar electricidad.

De manera que la primera acción para el estudio de las posibilidades de utilización de la energía eólica es la medición del recurso, no sólo en lo referente a la velocidad sino también, a la continuidad, de esa manera se obtiene la Energía producible por m^2 de superficie de captación y por año.

En el País se han ubicado 31 estaciones de medición en localizaciones en casi todos los departamentos, a través de los cuales se constata que las mejores condiciones se dan en aquellos de la Costa (litoral peruano).

Actualmente en el Perú existen varias Centrales eléctricas accionadas a Energía Eólica, Una pertenece a Electronorte Medio S.A. opera desde 1996, con un aerogenerador asincrónico trifásico de 250 Kw, en la localidad de Malabrigo (Departamento La Libertad) su eficiencia es del 36% y ha generado 620 MWh en el año 1999 lo cual implicaría un funcionamiento de aproximadamente 2480 horas por año.

La otra central con un aerogenerador a inducción de 450 kW está ubicado en San Juan de Marcona (Departamento de Ica) operada por el Municipio correspondiente.

Actualmente existen Parques Eólicos en mayor escala como Marcona de 32.0 MW, Cupisnique de 83.4 MW y el Parque Eólico Talara de 30.6 MW; éstos dos últimos de la empresa *Contour Global* aportando 114 MW de energía limpia al país, y en los próximos años viene la ampliación de éstas plantas [2].

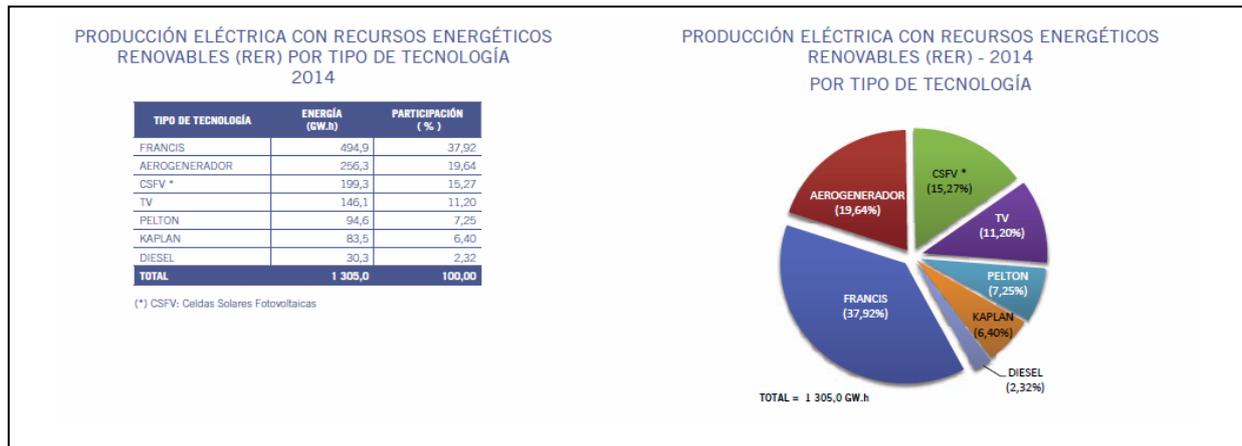
El siguiente cuadro (Tabla 2.1) muestra las concesiones otorgadas por el gobierno a las centrales eólicas en el Perú.

Nº	Central Eólica	Pot. Inst. (MW)	Ubicación
1	MALABRIGO	60,0	La Libertad
2	EL TUNAL	105,0	Piura
3	PARQUE TALARA	240,0	Piura
4	PARQUE ILO	240,0	Moquegua
5	LA BREA	170,0	Piura
6	PARQUE LAS LOMAS	240,0	Lima
7	PARQUE CUPISNIQUE	240,0	La Libertad
8	PARQUE CHIMBOTE	240,0	Ancash
9	PARQUE CASMA	240,0	Ancash
10	YAUCA	300,0	Arequipa
11	PARQUE YACILA-ISLILLA	80,0	Piura
12	PARQUE NEGRITOS-LA BREA	180,0	Piura
13	PARQUE LAMBAYEQUE	100,0	Lambayeque
14	PARQUE MANCORA	100,0	Tumbes y Piura
15	PARQUE NUEVO CHIMBOTE	180,0	Ancash
16	PARQUE ICLA	80,0	Moquegua y Tacna
17	PARQUE LOBITOS	150,0	Piura
18	PARQUE MIRAMAR DE SANTA MARÍA	80,0	Arequipa
19	PARQUE MAGDALENA DE CAO	240,0	La Libertad
20	PARQUE TACNA	150,0	Tacna
21	PARQUE TUMBES - ZORRITOS	150,0	Tumbes
22	PARQUE SAN ANDRÉS	240,0	Ica
23	PARQUE SAN JUAN	80,0	Ica y Arequipa
24	PARQUE SAN PEDRO DE LLOC	100,0	La Libertad
25	PARQUE VICE	80,0	Piura
26	PARQUE VICHAYAL	80,0	Piura
27	EL ALTO	200,0	Piura
28	ASCOPE	100,0	La Libertad
29	ILO 1	200,0	Moquegua y Tacna
30	LA PAMPA	100,0	La Libertad
31	MARCONA 1	100,0	Ica y Arequipa
32	TALARA	300,0	Piura
33	PARQUE LAGUNITOS	150,0	Piura
34	PARQUE PAMPA ALTA	240,0	Moquegua
TOTAL		5 535,0	

Tabla 2.1 – Principales concesiones otorgadas - generación de energía eólica en el Peru [3]

2.1.1.- Estadísticas de Operación del COES 2014 (Fuente informe anual del COES año 2014)

El Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES) en su informe del año 2014 ha presentado los siguientes resultados:



Cuadro 2.1.- Producción Eléctrica con RER Por tipo de tecnología.

En el cuadro 2.1. Se observa claramente que la producción de energía Eólica se sitúa con una participación del 19.64% con una producción de energía de 256.3 GW.h durante el año 2014.

PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE CENTRALES CON RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES DE ORIGEN EÓLICO 2014 - GW.h

EMPRESA	CENTRAL	NÚMERO DE AEROGENERADORES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
ENERGÍA EÓLICA	C.E. CUPISNIQUE	45								4,6	28,6	27,5	29,7	31,1	121,5
	C.E. TALARA	17								1,0	12,9	12,3	13,8	15,1	55,1
	Total		4,0	3,9	4,1	3,9	3,9	3,5	3,7	3,9	3,9	4,3	4,3	4,4	47,2
PE MARCONA	C.E. MARCONA	11				2,5	7,2	4,3	7,8	11,1	4,3	12,9	14,7	14,6	79,1
	Total					2,5	7,2	4,3	7,8	11,1	4,3	12,9	14,7	14,6	79,1
Total			0,0	0,0	0,0	2,5	7,2	4,3	7,8	16,7	45,9	52,7	58,1	60,9	256,3
TOTAL PRODUCCIÓN CON RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES (RER)			98,1	90,5	97,2	98,3	108,3	86,6	80,8	81,3	109,9	133,0	143,8	177,2	1 305,0

Cuadro 2.2.- Producción de energía con origen Eólico - 2014

En el cuadro 2.2. Tenemos a los parques eólicos con mayor producción y se sitúan al norte y en la costa del país: el de Cupisnique con 45 aerogeneradores, de Talara con 17 aerogeneradores, el de Marcona con 11 aerogeneradores.

2.2.- El Viento

El viento está constituido por corrientes de aire en movimiento debido al calentamiento desigual de la superficie terrestre, se puede decir que es una forma indirecta de la energía solar. El flujo no uniforme de la radiación solar incidente, hace que unas zonas se calienten más que otras y de esta forma se provocan movimientos convectivos de la masa atmosférica y junto con la rotación de la tierra crean los llamados patrones globales de circulación. El aire caliente asciende, arrastrando aire más frío proveniente de una región vecina. Al subir se enfría, por lo que aumenta su densidad, descendiendo para volver a repetir el ciclo.

2.2.1.- Medición y Tratamiento del Viento

El recurso eólico que es potencialmente aprovechable para la generación de electricidad, se suele encontrar concentrado en determinadas regiones o zonas relativamente pequeñas. Por lo tanto, el primer paso hacia su aprovechamiento, es su estudio. Para ello existen diferentes técnicas que van desde la información empírica, hasta las imágenes de satélite. La evaluación de la factibilidad técnico-económica de un proyecto eólico requiere un conocimiento detallado del comportamiento del viento y, para ello, es necesario llevar a cabo mediciones anemométricas en el sitio exacto donde se desea construir un parque eólico.

Esta información se recoge con base a visitas realizadas al lugar, donde las condiciones de topografía, de vegetación y la información de los habitantes de la región aportan valiosa información en la identificación de lugares con altos niveles de velocidad de viento. La información empírica puntual puede ser deducida, además, a partir de tablas como la escala de Beaufort que se presenta en la Tabla 2.2. En esta tabla sólo se indica las características de incidencia del viento en tierra, sin embargo existe una correspondencia con fenómenos sobre el mar, la cual no se incluye [4]

Número Beaufort	Velocidad de Viento m/s	Efectos observados en tierra
0	0 - 0.2	Calma, humo asciende verticalmente
1	0.3 - 1.5	El humo indica la dirección del viento, aspas de molinos no se mueven
2	1.6 - 3.3	Se siente el viento en la cara; se mueven las hojas de los árboles; aspas de molinos se empiezan a mover
3	3.4 - 5.4	Hojas y ramas pequeñas se mueven constantemente; banderas livianas se extienden
4	5.5 - 7.9	Polvo, hojas y papel en el piso se levanta; ramas se mueven
5	8.0 - 10.7	Pequeños árboles comienzan a bambolear
6	10.8 - 13.8	Ramas grandes de los árboles en movimiento, silbido emana de cuerdas
7	13.9 - 17.1	Todo el árbol se mueve; resistencia fuerte al Caminar contra el viento
8	17.2 - 20.7	Ramitas y ramas de los árboles se rompen; caminar es difícil
La escala de Beaufort va hasta 17 donde se indican velocidades de viento hasta de 60 m/s.		

Tabla 2.2. Escala de Beaufort para información empírica de velocidad del viento

2.2.2.- Anemómetros

Para la medición de la componente horizontal de la velocidad del viento se utilizan los anemómetros de molinete o cazoletas. Existen también captadores que permiten medir a la

vez la componente horizontal y la vertical del viento (anemómetros tridimensionales), aunque los más frecuentemente utilizados son los primeros. Los valores típicos para el umbral de arranque de los anemómetros oscilan entre 0.5 y 1.2 m/s. La dirección del viento se mide por medio de una veleta. Otros tipos de anemómetros incluyen ultrasonidos o anemómetros provistos de láser que detectan el desfase del sonido o la luz coherente reflejada por las moléculas de aire.

El instrumento proporciona una salida analógica (un tren de pulsos) proporcional a la velocidad de viento. La frecuencia de los pulsos indica la velocidad de viento. La ventaja de los anemómetros no mecánicos es que son menos sensibles a la formación de hielo en zonas de frío extremo. En la práctica los más utilizados son los de cazoleta (ver Figura 2.1)

Con el fin de que las observaciones hechas en una red de estaciones puedan ser comparables entre sí se ha convenido internacionalmente que el viento en superficie corresponde al medido a una altura normalizada de 10 m sobre el suelo, en terreno descubierto (la distancia entre el instrumento y cualquier obstáculo es mayor o igual a 10 veces la altura del obstáculo).

El anemómetro debe instalarse sobre un elemento que no altere las condiciones del entorno, generalmente sobre una torre con estructura que permita un flujo de iguales condiciones físicas a las apreciadas en el entorno. La mejor forma de medir la velocidad del viento en una futura localización de una turbina eólica es situar un anemómetro en el extremo superior de un mástil que tenga la misma altura que la altura esperada de la turbina que se va a utilizar. Esto evita la incertidumbre que conlleva el recalcular la velocidad del viento a una altura diferente. Colocando el anemómetro en la parte superior del mástil se minimizan las perturbaciones de las corrientes de aire creadas por el propio mástil. Si el anemómetro está situado en la parte lateral del mástil es fundamental enfocarlos en la dirección de viento dominante para minimizar la sombra de la torre. Para evitar la sombra de la torre, en lugar de utilizar torres de celosía, normalmente se utilizan postes cilíndricos delgados, tensados con vientos, en los que se colocan los mecanismos de medición del viento.



Figura 2.1: Sensor NRG 40C - Anemómetro de cazoleta.

2.2.3.- Dirección del viento y Ubicación del Cerro Chocan.

Por lo general, la dirección del viento se define como la orientación del vector del viento en la horizontal expresada en grados, contados a partir del norte geográfico, en el sentido de las manecillas del reloj. Para propósitos meteorológicos, la dirección del viento se define como la dirección desde la cual sopla el viento.

Políticamente el estudio se emplaza en la jurisdicción territorial de la región Piura, específicamente en la jurisdicción de los distritos de Paita y La Huaca, pertenecientes a la provincia de Paita, departamento de Piura. Geográficamente se emplaza en la cima de las colinas Chocan, Tunal y Blanco, cuya altura no supera los 200 metros sobre el nivel del mar.

El acceso al área del proyecto es a través de una trocha afirmada que parte de un desvío hacia el Sur a la altura del km 31,2 de la carretera asfaltada Piura - Paita. Dicha vía afirmada tiene una longitud de aproximadamente 6 km y permite un paso de camiones de regular tonelaje, que son los que llevan los materiales de mantenimiento y reparación a las torres de comunicación de las empresas de telefonía (Claro y Telefónica) que están ubicadas en la cima del Cerro Chocan. En la Figura 2.2 se observa el área y las vías de acceso correspondientes.

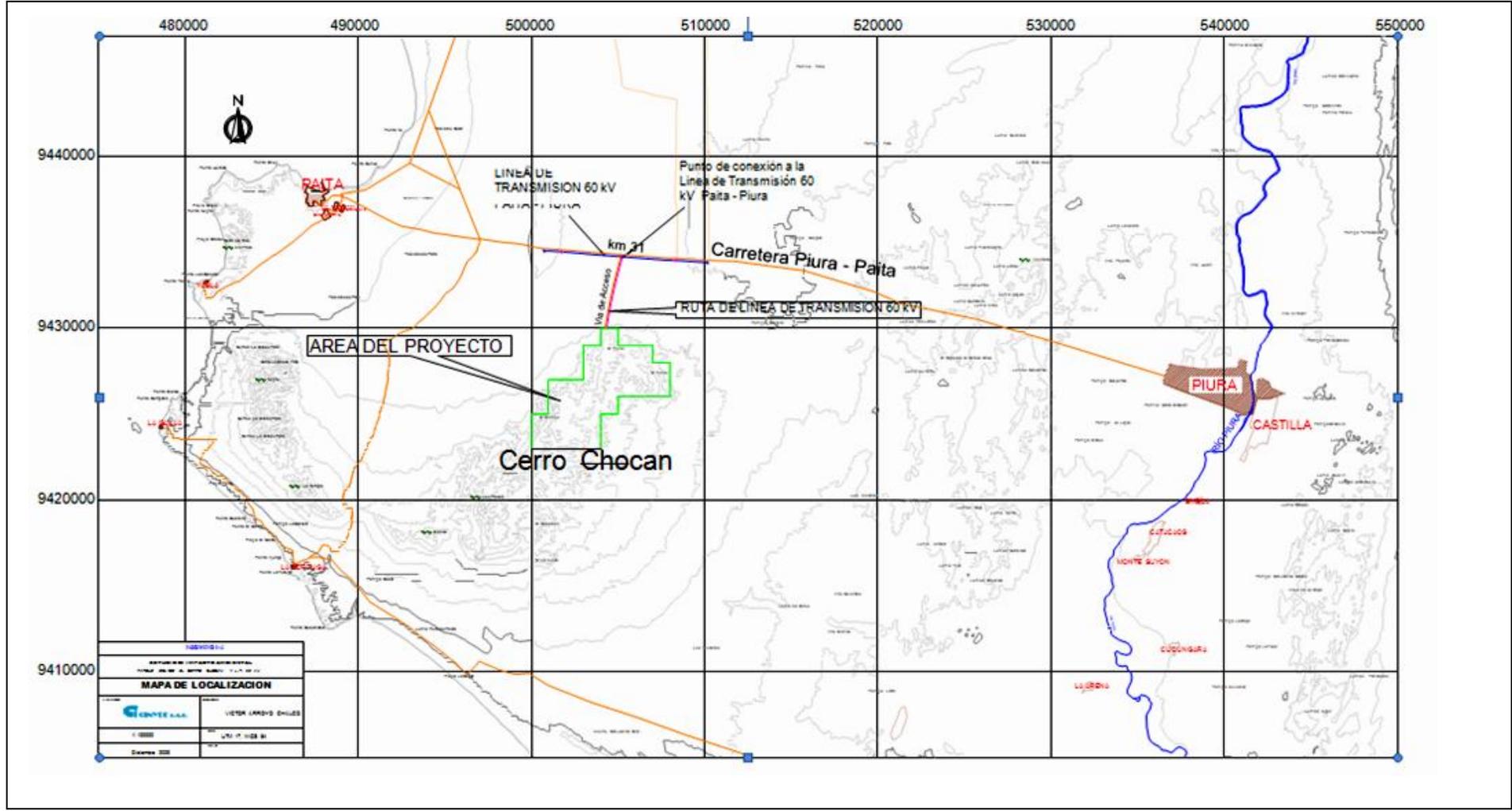


Figura 2.2.- Localización del Cerro Chocan

Las características direccionales del viento son de gran importancia, especialmente para la ubicación de los aerogeneradores. Estas se manifiestan principalmente a través de dos representaciones, la rosa de frecuencias y la rosa de velocidades.

Antes de comenzar con la descripción de las rosas, se definirán los siguientes conceptos:

2.2.3.1.- Sector

Es una porción del conjunto de 360° de direcciones. Generalmente, se establecen 12 sectores (de 30° cada uno) o bien 16 sectores (de 22.5° cada uno).

Los sectores se empiezan a numerar comenzando por el correspondiente a 0° (dirección norte). Pueden estar centrados (si 0° indica el valor central del sector 1) o no centrados (si 0° indica el valor inicial del sector 1).

12 sectores centrados		12 sectores no centrados	
1	[346°,15°]	1	[0°,29°]
2	[16°,45°]	2	[30°,59°]
3	[46°,75°]	3	[60°,89°]
4	[76°,105°]	4	[90°,119°]
5	[106°,135°]	5	[120°,149°]
6	[136°,165°]	6	[150°,179°]
7	[166°,195°]	7	[180°,209°]
8	[196°,225°]	8	[210°,239°]
9	[226°,255°]	9	[240°,269°]
10	[256°,285°]	10	[270°,299°]
11	[286°,315°]	11	[300°,329°]
12	[316°,345°]	12	[330°,359°]

Tabla 2.3.- ejemplo de sectores centrados y no centrados

En el caso de la rosa de 16 sectores, el reparto se realiza de forma análoga, pero con una anchura de $22,5^\circ$.

2.2.3.2.- Rosa

Es una representación gráfica en forma circular donde se representa por sectores de una determinada variable, ya sea frecuencia, velocidad, energía, perfil vertical, intensidad de turbulencia, etc.

2.2.3.3.- Rosa de Frecuencias

Esta gráfica representa la frecuencia de aparición de cada sector. Es decir, representa el porcentaje de tiempo en el que el viento proviene de un determinado sector.

En la figura 2.3 se puede ver que el emplazamiento tiene dos direcciones predominantes, NNO y SSE. El sector predominante es NNO con un porcentaje de aparición próximo al 20%. Por otro lado, se puede ver como en las direcciones E-O la frecuencia de aparición es prácticamente nula.

Esta rosa proporciona una información muy valiosa para el diseño del parque eólico.

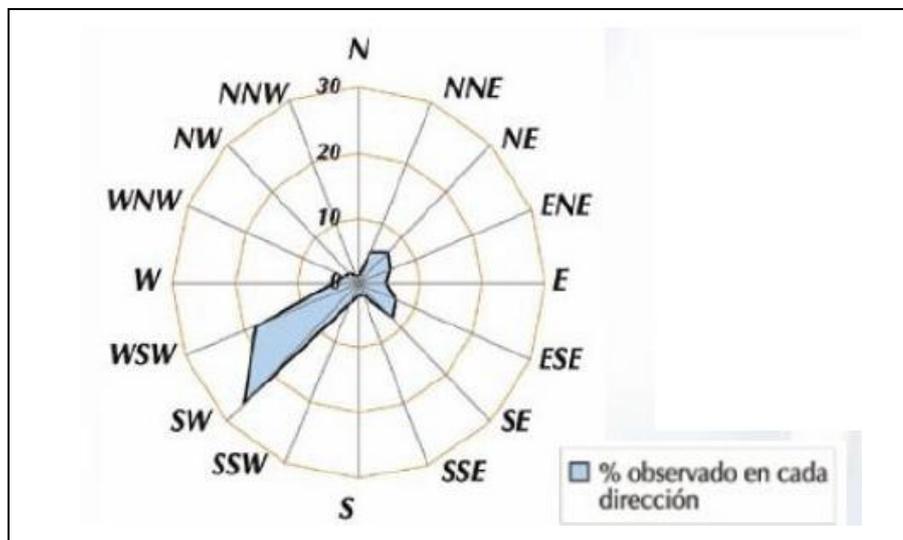


Figura 2.3. Rosa de Frecuencias de 16 sectores

2.2.3.4.- Rosa de Velocidades

Representa para cada sector el valor promedio de todas las velocidades pertenecientes al mismo.

En la figura 2.4 se puede ver como el sector con una mayor velocidad media es el sector S, con 10m/s.

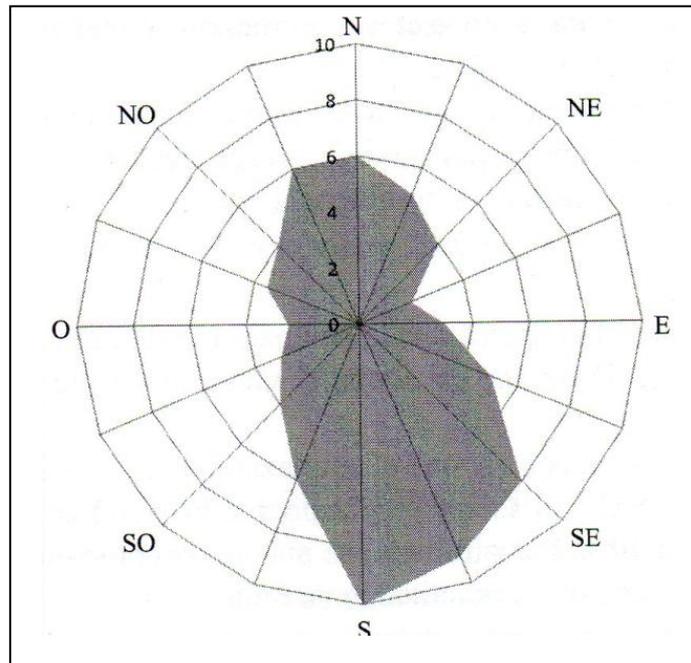


Figura 2.4. Rosa de Velocidades

Tal y como se ha visto en la gráfica anterior, los sectores con mayor frecuencia no tienen que tener la mayor velocidad media. En este emplazamiento, el sector con mayor frecuencia es el NNW con una frecuencia de aparición de un 20%, y el sector S es al que le corresponde la mayor velocidad, 10 m/s.

Así, pues mediante el uso de las dos gráficas, se dispondrá de información acerca de las direcciones en las que el viento tiene mayor potencial eólico o de las direcciones más frecuentes.

La Rosa de Energía es una mezcla de ambas rosas, ya que depende de la velocidad media de dicho sector y del tiempo que se da esa velocidad media. En el caso de emplazamiento, la rosa de energía, representada como el porcentaje de energía por sectores es la siguiente:

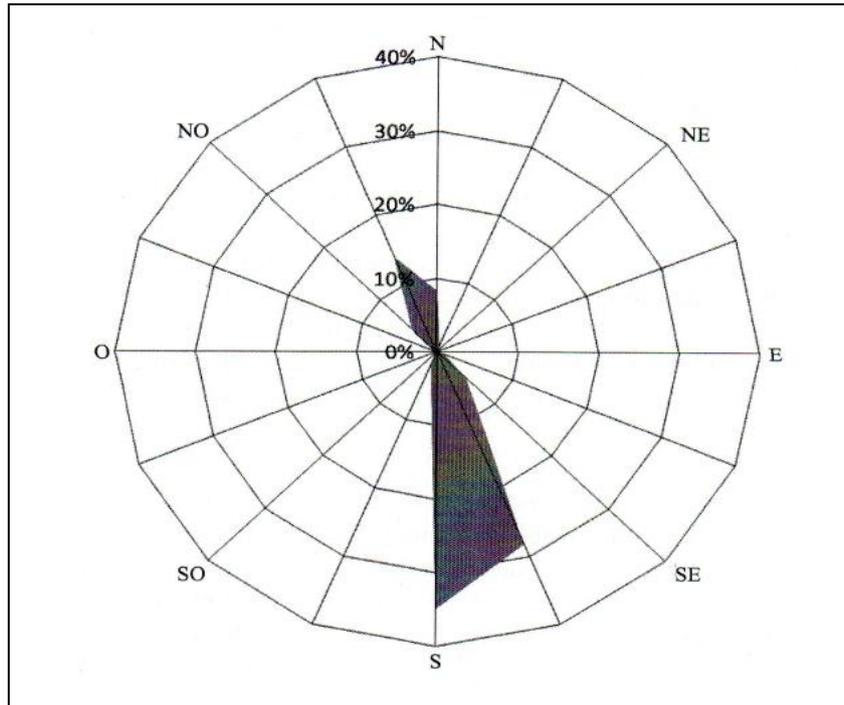


Figura 2.5. Rosa de Energía

Para estimar la rosa de energía anual promedio del emplazamiento, se ha estimado, en primer lugar, el número de horas en cada uno de los sectores. Para ello, multiplicaremos la frecuencia por el número de horas/año (8760 horas), obteniendo, de esta forma, el número de horas por cada sector. Posteriormente, se estima la “energía por sector” como el número de horas año en dicho sector por el cuadrado de la velocidad (se descarta el resto de factores ya que permanecen constantes en todos los sectores), y se relativiza en cada sector con respecto al total, en este caso para SSE tiene un porcentaje de energía del 28% y S el 35%.

2.3.- Relación Potencia mecánica – Velocidad del viento

La energía del viento o energía eólica, no es otra cosa más que la energía cinética que posee una masa de aire que se encuentra en movimiento [5]. La energía cinética (E_c) de un cuerpo de masa m cualquiera, que se mueve con una velocidad v , responde a la ecuación 2.1:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad 2.1)$$

Esta es la forma más general que existe para expresar la energía cinética. En este caso en particular, la masa m corresponde a una masa de aire, y la velocidad v corresponde a la velocidad del viento (velocidad de esa masa de aire). Esta expresión sin embargo no ayuda mucho, se necesitan expresiones que no dependan de la masa del aire y que al mismo tiempo relacionen la energía y la potencia eléctrica sólo con la velocidad del viento y en lo posible con alguna característica propia de los aerogeneradores. En efecto, se verá que la cantidad de energía transferida al rotor de un aerogenerador por el viento depende de la densidad del aire ρ , del área barrida por las aspas del rotor, A , y de la velocidad del viento v .

Si el volumen del aire que se mueve es V , y tiene una densidad ρ , su masa queda determinada por la ecuación 2.2

$$m = V\rho \quad (2.2)$$

Ahora, expresando la ecuación de la energía en función de la masa y la velocidad, se obtiene la expresión 2.3 para la energía cinética.

$$E_c = \frac{1}{2}V\rho v^2 \quad (2.3)$$

Por otro lado, la cantidad de aire que llega al rotor de un aerogenerador en un tiempo t dependerá de: el área de barrido del rotor a y de la velocidad del viento v , como en la figura 2.6

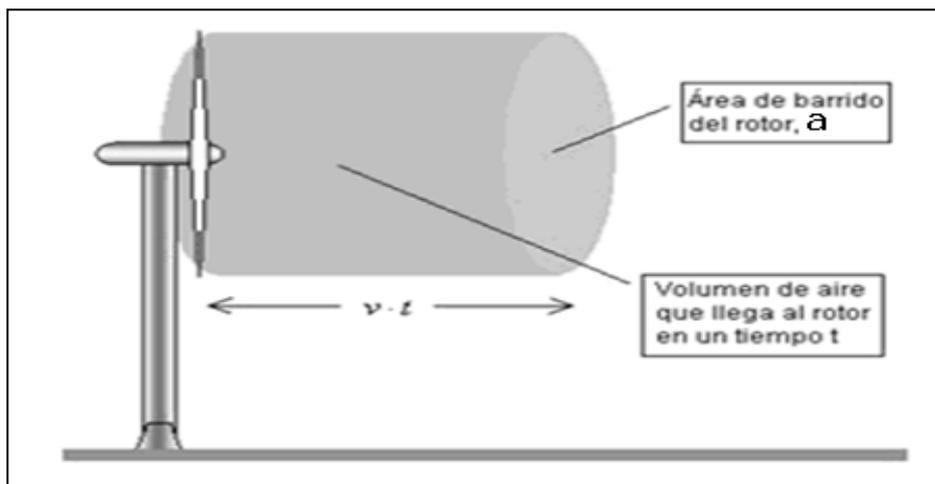


Figura 2.6.- Interacción del rotor con el flujo de aire

Entonces el volumen de aire que llega al rotor estará dado por:

$$V = avt \quad (2.4)$$

Insertando la ecuación 2.4 en la ecuación 2.3, se obtiene finalmente las expresiones 2.5 y 2.6 para la energía cinética y potencial respectivamente que aporta el aire a las aspas del rotor en un tiempo t.

$$E_c = \frac{1}{2} \rho A t v^3 \quad (2.5)$$

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2.6)$$

Como se puede apreciar, la potencia desarrollada por un aerogenerador depende del cubo de la velocidad del viento, lo que hace que pequeñas variaciones en la velocidad provoquen grandes variaciones en la potencia capturada por las palas del rotor y por ende en la potencia eléctrica generada, esta es una de las principales causas del fracaso de muchos proyectos basados en energía eólica, la estimación incorrecta del verdadero potencial eólico de la zona o simplemente la no disponibilidad de registros de mediciones.

Volviendo a la expresión 2.6, no toda esta potencia se transfiere al generador eléctrico. Hasta ahora, se ha hablado de la energía disponible en el viento, pero la capacidad de un aerogenerador cualquiera para extraer esta potencia disponible en el viento depende de varios factores entre ellos su eficiencia mecánica. De esta manera para extraer la potencia de un aerogenerador, se habla de un coeficiente adimensional característico de cada aerogenerador, que se conoce como coeficiente de potencia, dado por la ecuación:

$$C_p = \frac{P_M}{P_V} = \frac{\text{Potencia mecánica}}{\text{Potencia del viento}} \quad (2.7)$$

Luego,

$$P_M = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p \quad (2.8)$$

Debido a que debe cumplirse la ecuación de conservación de la masa en el flujo de aire (condición de continuidad), no se puede extraer toda la potencia eólica disponible en el viento. La cantidad de potencia eólica aprovechable depende, además de la potencia eólica disponible (velocidad del viento) y de las características de funcionamiento de la máquina.

Esta potencia aprovechable solo hace referencia a la potencia mecánica en el eje del rotor, y no a la eléctrica generada tras pasar la potencia por el multiplicador y generador.

Se ha obtenido de forma teórica el máximo valor que puede alcanzar este coeficiente de potencia, se le denomina límite de Betz y es 0,5926. Este concepto proviene de la ley de Betz y dice que sólo puede convertirse menos del 16/27 (el 59 %) de la energía cinética en energía mecánica usando un aerogenerador. Esta ley fue formulada por primera vez por el físico alemán Albert Betz en 1919. Su libro *Wind-Energie*, publicado en 1926, proporcionaba buena parte del conocimiento que en ese momento se tenía sobre energía eólica y aerogeneradores. Es sorprendente que se pueda hacer una afirmación general tan tajante que se pueda aplicar a cualquier aerogenerador de eje horizontal. [6]

2.4.- Variación de la velocidad de viento con la altura

La velocidad del viento también varía con la altura respecto al suelo y con ello la energía disponible, es por eso que se requiere una ecuación que prediga la velocidad del viento a una altura determinada en función de la velocidad conocida a una altura de referencia.

Para una turbina eólica se necesita saber la velocidad del viento a la altura de eje del rotor, dada por lo general por el tamaño de la torre, la expresión más común es la ecuación 2.9.

$$v = v_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^\alpha \quad (2.9)$$

Donde h es la altura a la cual se desea conocer la velocidad v , y v_0 es la velocidad conocida a la altura de referencia h_0 también conocida. El exponente varía con la altura, hora del día, estación del año, naturaleza del terreno, velocidad del viento y temperatura. Esta ley también se conoce con el nombre de ley exponencial o ley de potencia, tomando como altura de referencia 10 metros. La tabla 2.4 muestra la variación del coeficiente α con el tipo del terreno.

Tipo de Terreno	Coefficiente de rugosidad α
Lugares llanos con hielo o hierba	0,08 a 0,12
Lugares llanos (mar, costa)	0,14
Terrenos poco accidentados	0,13 a 0,16
Zonas rusticas	0,2
Terrenos accidentados o bosques	0,2 a 0,26
Terrenos muy accidentados y grandes ciudades	0,25 a 0,4

Tabla 2.4. Variación del coeficiente de rugosidad (α) respecto al tipo de terreno

En el presente trabajo específicamente para El Cerro Chocan, se presenta un coeficiente de rugosidad que estaría entre 0,2 y 0,25; utilizando un coeficiente de rugosidad de 0,2; **(Fuente: RetScreen International [7])**.

Otro modelo, alternativo al anterior, es el llamado modelo logarítmico. Este modelo asume que la velocidad del viento es proporcional al logaritmo de la altura respecto al suelo, el modelo queda descrito por la ecuación 2.10:

$$\frac{v(h_{gen})}{v(h_{anem})} = \frac{\ln \frac{h_{gen}}{h_0}}{\ln \frac{h_{anem}}{h_0}} \quad (2.10)$$

Donde h_{gen} es la altura del eje del aerogenerador, h_{anem} es la altura a la cual se realizaron las mediciones, o altura del anemómetro, h_0 es la longitud de rugosidad, mientras que $v(h_{gen})$ y $v(h_{anem})$ son las velocidades de viento a la altura del eje de la turbina y a la altura del anemómetro respectivamente. Tal como en el primer modelo planteado, existen valores típicos para h_0 dependiendo del tipo de terreno tal como se muestra en la tabla 2.5 Estos modelos se utilizarán en el momento que sea necesario.

Tipo de terreno	Longitud de Rugosidad [m] h_0
Muy liso, hielo o barro	0,00001
Mar abierto tranquilo	0,0002
Superficie de nieve	0,003
Césped	0,008
Pasto rugoso	0,0010
Campo baldío	0,03
Cultivos	0,05
Poco arboles	0,10
Muchos árboles y algunas construcciones	0,25
Bosques y selvas	0,5
Suburbios	1,5
Centro de la ciudad, construcciones altas	3,0

Tabla 2.5. Valores típicos de h_0

2.5. Distribución de Weibull

Para poder caracterizar el comportamiento aleatorio del viento se recurre a herramientas estadísticas, como, por ejemplo, la distribución de frecuencias por intervalos de velocidad.

En una distribución de frecuencias, se presentan histogramas de las frecuencias relativas de la velocidad de viento basadas en pequeños intervalos de velocidad de viento, denominados bins. La distribución de frecuencias por bins de velocidad se ajusta a una distribución de probabilidad de Weibull.

La frecuencia relativa es proporcional a las medidas de velocidad de viento en cada bin. Puede verse como una estimación de la probabilidad de que una lectura de velocidad de viento se obtenga en cada bin.

Se ha estimado que la distribución de frecuencias que más se ajusta a la distribución de velocidades de viento es la distribución de Weibull. Donde la función de densidad de probabilidad de Weibull para la velocidad de viento (v) esta dada por la ecuación 2.11:

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-(v/c)^k} \quad k > 0, v > 0, c > 0 \quad (2.11)$$

Esta es una distribución de dos parámetros, donde c y k son los parámetros de escala y de forma respectivamente.

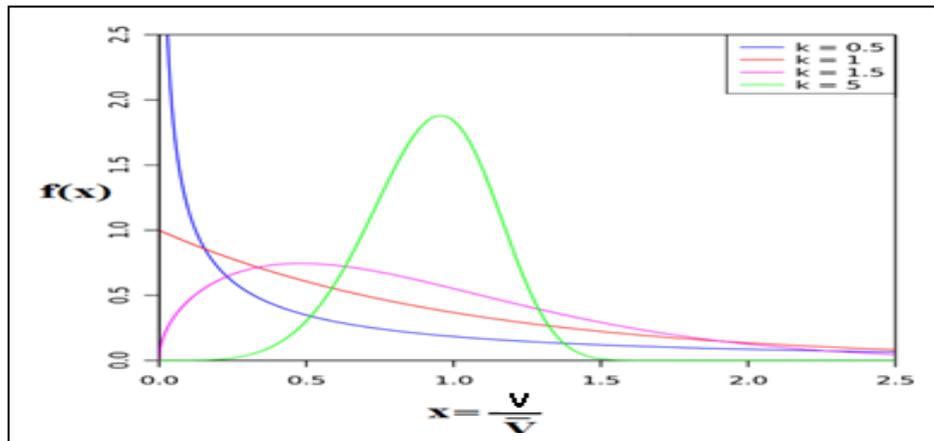


Figura 2.7.- La curva adimensional de frecuencia de la velocidad del viento de Weibull como función de la velocidad del viento adimensional $x = v/\bar{v}$ para diferentes valores del factor de forma k de Weibull.

Existen varios métodos para determinar el valor de los parámetros c y k , un método simple por ejemplo es cuando la velocidad media (\bar{v}) y la desviación estándar (σ) de la velocidad del viento se conocen, entonces, una buena aproximación para encontrar el valor de k es la de la ecuación 2.12.

$$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{v}}\right)^{-1,086} \quad 1 \leq k \leq 10 \quad (2.12)$$

Donde σ corresponde a la desviación estándar y se obtiene de la varianza (σ^2) de acuerdo a la ecuación 2.13

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2 \quad (2.13)$$

Una vez calculado k se puede encontrar el valor de c según la ecuación 2.14

$$c = \frac{\bar{v}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (2.14)$$

Donde \bar{v} es la velocidad media, y Γ es la función gamma tal como se muestra en las ecuaciones 2.15 y 2.16:

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (2.15)$$

$$\Gamma(y) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{y-1} dx \quad \text{con } y \geq 0 \quad (2.16)$$

Este es un método práctico sobre todo cuando se tiene una serie de velocidades horarias para un año completo. La ventaja de trabajar de esta manera es que se pueden utilizar las características propias de la función de densidad de probabilidad aplicadas a la velocidad del viento. Así es como se obtienen los siguientes resultados de importancia a la hora de hacer cálculos.

La velocidad del viento media se puede escribir según la ecuación:

$$\bar{v} = \int_0^{\infty} v f(v) dv \quad (2.17)$$

Si f es la función de densidad de probabilidad de Weibull, se puede insertar la ecuación 2.11 en la ecuación 2.17 para obtener la expresión:

$$\bar{v} = \int_0^{\infty} v \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-(v/c)^k} dv \quad (2.18)$$

Haciendo el cambio de variables: $x = \left(\frac{v}{c}\right)^k$ la velocidad media se puede escribir como se muestra en la ecuación 2.19

$$\bar{v} = c \int_0^{\infty} x^{1/k} e^{-x} dx \quad (2.19)$$

Si $y = 1 + \frac{1}{k}$ se puede usar la función gamma de la ecuación 2.16, de esta manera, se obtiene finalmente la ecuación 2.20 para la velocidad media en función sólo de los parámetros de Weibull.

$$\bar{v} = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (2.20)$$

Las tablas de función gamma publicadas sólo se dan para valores de y entre 1 y 2. Si y está fuera de este rango se puede usar la fórmula recursiva 2.21, mientras que si y es un entero se hace uso de la ecuación 2.22.

$$\Gamma(y + 1) = y\Gamma(y), \quad 1 < y < 2 \quad (2.21)$$

$$\Gamma(y + 1) = y, \quad y = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.22)$$

Por otro lado, la función de distribución de Weibull está dada por la ecuación:

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (2.23)$$

Entre los resultados que se pueden obtener de la función de distribución figuran por ejemplo la varianza, que se puede calcular según las ecuaciones:

$$\sigma = c^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right] \quad (2.24)$$

$$\sigma^2 = \frac{\bar{v}^2 \Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right)} - 1 \quad (2.25)$$

Otro de los resultados, y uno de los más importantes y útiles es el siguiente, según la ecuación 2.26, la probabilidad de que la velocidad del viento sea igual o superior a una velocidad de viento conocida v_a es:

$$P(v \geq v_a) = \int_{v_a}^{\infty} f(v)dv = e^{-(v_a/c)^k} \quad (2.26)$$

La importancia de este resultado radica en que de esta manera y dadas las características de operación de un aerogenerador determinado se puede calcular las horas de operación del mismo en cierto período de tiempo, como por ejemplo un año. La probabilidad de que la velocidad del viento esté dentro de un intervalo de 1 m/seg , centrado en la velocidad de viento v_a , está dada por las ecuaciones:

$$P(v_a - 0,5 \leq v \leq v_a + 0,5) = \int_{v_a-0,5}^{v_a+0,5} f(v)dv \quad (2.27a)$$

$$= e^{-\left(\frac{v_a-0,5}{c}\right)^k} - e^{-\left(\frac{v_a+0,5}{c}\right)^k} \quad (2.27b)$$

$$f(v_a)\Delta v = f(v_a)(2.27c)$$

En lo que respecta a la potencia promedio en el viento, se tiene que:

$$\bar{P}_W = \frac{1}{2} \rho A \int_0^{\infty} v^3 f(v)dv \quad (2.28)$$

Nuevamente, si f es la función de densidad de probabilidad de Weibull, la potencia promedio queda dada por la ecuación 2.29.

$$\bar{P}_W = \frac{\rho A \bar{V}^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{K}\right)}{2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{K}\right)\right]^3} \quad (2.29)$$

Esta expresión también es de mucha importancia ya que permite calcular la densidad de potencia al dividir \bar{P}_W por el área de barrido A obteniéndose la ecuación.

$$\text{Densidad de Potencia} = \frac{\bar{P}_W}{A} = \frac{\rho \bar{V}^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{K}\right)}{2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{K}\right)\right]^3} \quad (2.30)$$

Todas las expresiones anteriores constituyen la base para el análisis cualitativo del capítulo 4, en el cual se aplican estas ecuaciones.

La fuerza impulsora básica del aire en movimiento es su diferencia de presión entre dos regiones. Esta presión del aire está descrita por varias leyes físicas. Una de estas es la ley de Boyle, la cual establece que el producto de presión y volumen de un gas a una temperatura constante debe ser una constante, respondiendo a la ecuación 2.31.

$$P_1V_1 = P_2V_2 = cte \quad (2.31)$$

Otra es la ley de Charles, la cual establece que para una presión constante, el volumen de un gas varía directamente con la temperatura absoluta según la ecuación 2.32.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (2.32)$$

En un gráfico que relacione el volumen versus temperatura, se verificaría que para un volumen 0 le corresponderían 273°C, o 0°K. Las leyes de Charles y Boyle se pueden combinar en la ecuación de estado de los gases ideales, ecuación 2.33.

$$PV = nRT \quad (2.33)$$

En esta ecuación, R es la constante universal de gas, T es la temperatura en grados Kelvin, V es el volumen del gas en m^3 , n es el número de kilomoles de gas, y P es la presión en pascales (N/m^2). En condiciones estándares, 0 °C y 1 atmósfera (101,325 KPa), un kilomol de gas ocupa 22,414 m^3 y la constante universal de gas es:

$$R = 8314,5 \frac{J}{Kmol.K}$$

Donde J representa un Joule o un Newton metro de energía. La presión de un kilomol a 0°C es entonces:

$$P = \frac{\left(8314,5 \frac{J}{Kmol.K}\right) (273,15K)}{22,414 m^3} = 101,325[KPa] \quad (2.34)$$

La densidad del aire ρ de un gas es la masa m de 1 kilomol dividida por el volumen V del kilomol, dado por la ecuación:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.35)$$

El volumen de un kilomol varía con la presión y temperatura tal como en la ecuación 2.33, al insertar la ecuación 2.33 en la 2.35 se obtiene la expresión para la densidad del aire:

$$\rho = \frac{mP}{RT} = 3,484 \frac{P \text{ Kg}}{T \text{ m}^3} \quad (2.36)$$

Donde P está en kPa , y T en grados K .

Como se aprecia en la ecuación 2.36, la densidad del aire es función tanto de la presión atmosférica como de la temperatura, y estas dos variables son a su vez dependientes de la altura. Por una parte, la presión disminuye a medida que la altura aumenta, haciendo que la densidad del aire ρ disminuya (manteniendo temperatura constante). Asimismo, la temperatura también disminuye con la altura haciendo que la densidad del aire aumente (manteniendo presión constante). Sin embargo, en la práctica ambas variables, presión y temperatura, están variando al mismo tiempo respecto a la altura, pero el efecto sobre la densidad del aire es mínimo y es más notorio su cambio respecto a la variación de la presión que por temperatura obteniéndose una leve disminución de la densidad del aire respecto a la altura.

Por otro lado para cuantificar el efecto de la variación de la densidad del aire respecto a la altura, en este estudio se procederá de la misma forma como lo hace HOMER, según su manual.

De acuerdo con la ley de los gases ideales, la densidad del aire está definida como:

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (2.37)$$

Como se había visto, ρ es la presión del aire (kg/m^3); P es la presión (Pa); R la constante de los gases para el aire ($287 J/kgK$); T temperatura (K). La variable que vamos a calcular es el ratio de densidad de aire, que es la densidad real del aire en nuestro emplazamiento dividida por la densidad de aire en condiciones estándar, $15^\circ C$ y al nivel del mar. Usando la ley de los gases universales se puede expresar de la siguiente manera:

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{P}{P_0} \left(\frac{T_0}{T} \right) \quad (2.38)$$

Donde: P_0 es la presión en condiciones estándar ($101,325 Pa$); T_0 es la temperatura en condiciones estándar ($288.16 K$). La altitud afecta tanto a la presión como a la temperatura. Para altitudes inferiores de $10000 m$ se puede hacer la aproximación de que la temperatura decrece linealmente con la altura según la siguiente ecuación:

$$T = T_0 - Bh \quad (2.39)$$

Donde: B es una constante ($0.0065 K/m$) y h es la altura (m).

Asumiendo esta simplificación, se puede considerar también que la presión depende de la altitud de la siguiente forma:

$$P = \left(1 - \frac{Bh}{T_0} \right)^{g/RB} \quad (2.40)$$

Siendo g la aceleración de la gravedad ($9.81 m/s^2$).

Sustituyendo estas ecuaciones para P y T en la ecuación que definía el ratio de densidad del aire, se llega a la siguiente ecuación para calcular el ratio de densidad de aire:

$$\rho = \rho_0 \left(1 - \frac{hB}{T_0} \right)^{g/RB} \left(\frac{T_0}{T_0 - hB} \right) \quad (2.41)$$

La ventaja de esta ecuación es que sólo h , la altitud, es una variable. Por lo tanto, con las aproximaciones realizadas se puede concluir que el ratio de densidad de aire es únicamente función de la altitud del terreno, h .

2.6.- Emplazamiento seleccionado en la Región Piura

El emplazamiento escogido para la instalación de los sensores es el cerro Chocán, ubicado en la provincia de Paita, departamento de Piura y se muestra en la Figura 2.8 y Figura 2.9



Figura 2.8 – Vista del cerro Chocan tomadas desde la carretera [8]



Figura 2.9 – Vista de la ubicación geográfica del Cerro Chocan [9]

Capítulo 3

Conversión Electromecánica de la Energía Eólica

El presente capítulo tiene como finalidad proporcionar ciertos conocimientos básicos con respecto a la energía eólica y los métodos utilizados para realizar su conversión electromecánica, dando especial énfasis en la utilización de generadores asincrónicos con velocidad variable, que corresponden a la propuesta realizada en este trabajo.

3.1.-Tipos de Aerogeneradores

Por lo general las turbinas de viento o aerogeneradores se clasifican en dos grandes bloques, según sea el eje horizontal o vertical. Dentro del primer grupo podemos distinguir ejes paralelos a la dirección del viento (como los aerogeneradores convencionales molinos) y perpendiculares a dicha dirección. Y a su vez, entre los paralelos, caben dos alternativas según el rotor sea dispuesto en la parte anterior del eje (posición a barlovento), o en el posterior (posición a sotavento), se debe entender que el origen lo define el sentido del viento (ver figura 3.1). Los de eje vertical se clasifican en rotores por resistencia o por sustentación. En el primer grupo la fuerza motriz utilizada tiene la dirección del viento y en el segundo es perpendicular a la misma. En la figura se muestra un cuadro con la clasificación de las turbinas de viento

El presente trabajo está centrado en el estudio de los generadores de eje horizontal

3.1.1 Aerogeneradores de Eje Horizontal

Estas máquinas están constituidas por un rotor, que transmite un movimiento rotacional y un torque que acciona un generador eléctrico. El número de palas es normalmente dos o tres. Las ventajas que ofrecen las turbinas de eje horizontal frente a los de eje vertical son:

1. El rendimiento (coeficiente de potencia) es mayor que el rendimiento de los de eje vertical.
2. La velocidad de rotación es más elevada debido a que se requieren cajas de engranaje multiplicadoras
3. Las maquinas son más ligeras, soportan esfuerzos menores y son más fáciles de conectar a la red eléctrica [10]

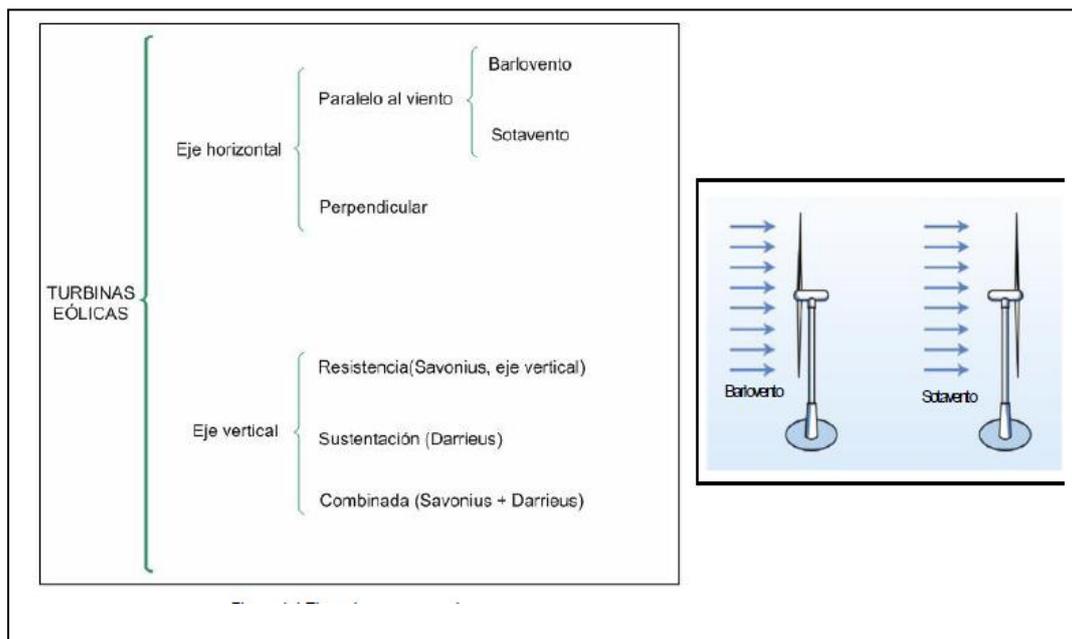


Figura 3.1: Tipos de generadores y turbinas de eje horizontal a barlovento y sotavento

3.1.2 Aerogeneradores Convencionales de Eje Horizontal

El aerogenerador de uso más extendido es la de eje horizontal con dos o tres palas, cuyas secciones rectas son perfiles aerodinámicos. Este tipo de máquinas tiene ventajas muy importantes en relación con otros ya que se pueden usar directamente todos los desarrollos tecnológicos y los resultados de investigación en la industria aeronáutica y turbo maquinaria.

Tecnología de los aerogeneradores actuales:

El sector eólico ha evolucionado rápidamente en los últimos años, los aerogeneradores modernos son más eficientes y tienen mayor capacidad (hasta 3MW de potencia). Además el precio del Kilowatt-hora tiene un costo de 3 a 5 centavos de dólar frente a los 15 a 30 centavos de dólar de la energía solar o a los 3 a 8 centavos de dólar de la energía nuclear [11]

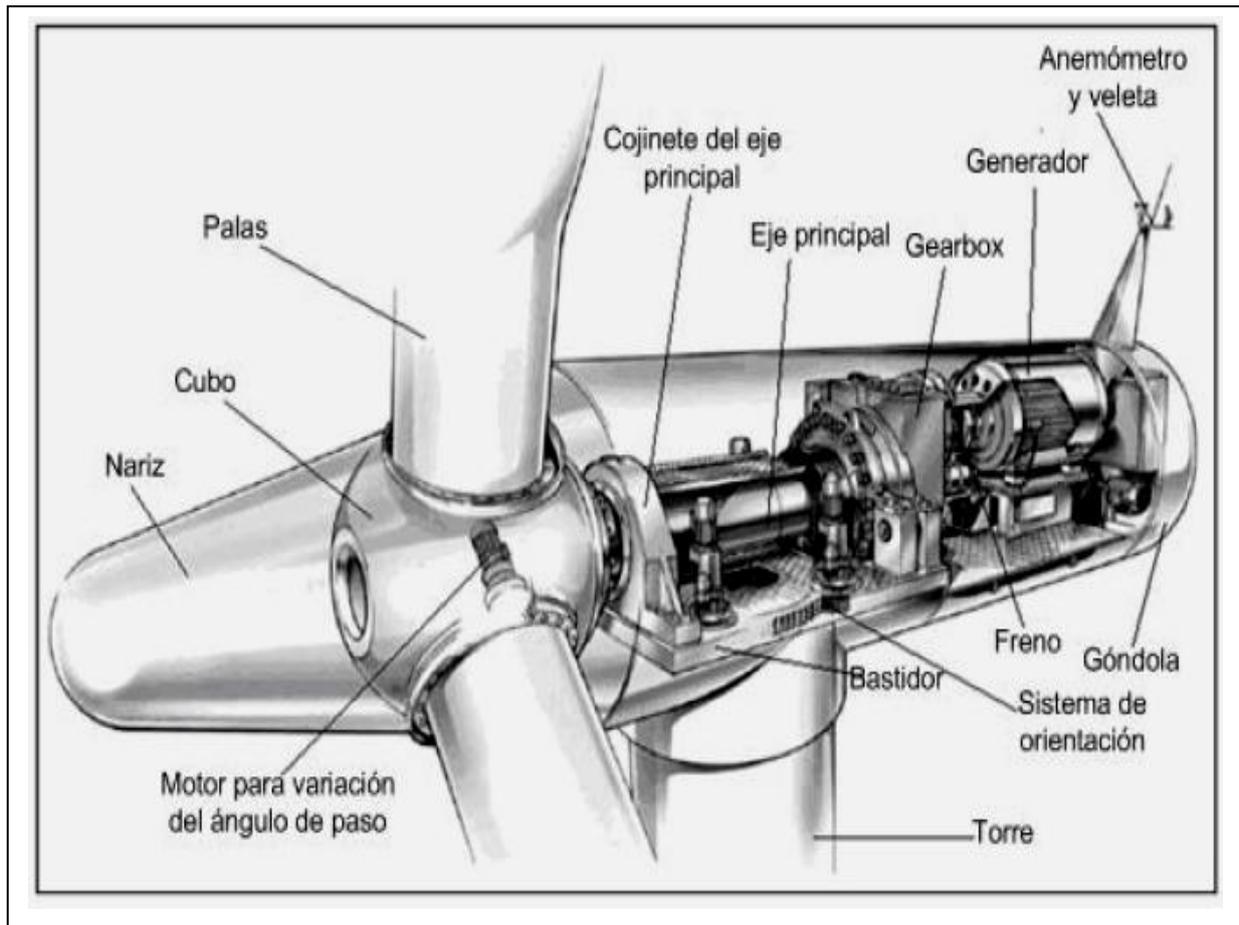


Figura 3.2: Componentes principales de aerogeneradores de eje horizontal.
 (FUENTE: ACKERMANN, Thomas. An overview of wind energy status 2002)

Vale la pena anotar que cada fabricante construye sus turbinas con configuraciones propias, sin embargo es posible clasificar las turbinas según diversos criterios. Desde el punto de vista del control, la mayoría de los aerogeneradores instalados en el mundo son de velocidad fija (el generador debe operar a velocidad constante para un óptimo desempeño). Entre estos, aproximadamente la mitad limitan la potencia por entrada en pérdida (diseño aerodinámico) y la otra mitad emplean un control activo para variación del ángulo de paso de las palas.

Las turbinas de viento de eje horizontal pueden clasificarse en turbinas de velocidad fija y turbinas de velocidad variable. Las turbinas de velocidad fija utilizan generadores de inducción que trabajan en un rango de velocidad angular limitada y generalmente se conectan directamente a la red por lo que la velocidad angular del rotor no depende de la velocidad del

viento sino de la frecuencia de la red eléctrica a la que está conectada, cuando el generador de la turbina no ha superado la velocidad de sincronismo, el generador trabaja como motor produciendo una pérdida.

En las turbinas de velocidad variable el generador puede operar a diferentes velocidades gracias a los avances en la electrónica, generalmente son generadores de inducción doblemente alimentados que varían el deslizamiento del generador para poder operar en un rango amplio de velocidades. Este tipo de turbinas son más eficientes (a velocidades de viento bajas) que las de velocidad fija ya que la velocidad angular del generador y la potencia producida dependen de la velocidad del viento incidente.

3.2.-Descripción General y Componentes

Un esquema de la turbina se muestra en la figura 3.2, las palas del rotor, son los elementos fundamentales que reciben la energía del viento y la convierten en energía mecánica de rotación, mediante la acción de las fuerzas aerodinámicas, la cual se transmite al eje principal que se encuentra alojado dentro de la **góndola**, donde está también el generador eléctrico, la caja multiplicadora y los mecanismos de control. La góndola reposa sobre un bastidor que gira, con el fin de orientar la turbina, de manera que su eje principal sea paralelo al viento. El bastidor está sobre la torre, que a su vez está unida al suelo mediante un sistema de cimentación.

A continuación se describirán brevemente los componentes fundamentales de las turbinas eólicas de eje horizontal.

3.2.1.- Rotor

Las partes básicas que constituyen el rotor son las palas o aspas, el cubo y la nariz. Su función es convertir la energía cinética del viento en la energía mecánica que se utiliza para impulsar el generador eléctrico. El parámetro fundamental que caracteriza el comportamiento del rotor

es el coeficiente de potencia definido como la relación entre la potencia mecánica que se desarrolla en su eje y la potencia eólica disponible en su área de barrido.

El coeficiente de potencia está directamente relacionado con la geometría del perfil y un factor denominado velocidad específica, definida como la relación entre la velocidad lineal en la punta de la pala y la velocidad del viento. Alfred Betz calculó un valor máximo teórico del 59,26% para este parámetro, sin embargo, la teoría que condujo a este resultado desprecia factores de pérdida tales como: la fricción, rotación de la estela detrás del rotor y pérdidas en la cercanía de la punta de las palas. En la práctica, estos factores reducen el valor máximo del coeficiente de potencia a valores cercanos al 50%. Esto significa que un rotor aerodinámico de eje horizontal, en el mejor de los casos de diseño y operación, sólo puede extraer cerca del 50% de la potencia del viento disponible en su área de barrido.

La fuerza del viento ocasiona que el rotor aerodinámico de una turbina de eje horizontal gire a una cierta velocidad angular.

Las palas son el elemento más importante de un aerogenerador a través del cual se capta la energía. Deben tener las siguientes características:

- maximizar la energía obtenida mediante un diseño aerodinámico apropiado
- ser capaces, mediante un sistema de control adecuado, de limitar la potencia máxima a la de operación de la turbina eólica
- evitar fenómenos de resonancia y amplificación excesiva de la carga dinámica
- resistir las cargas extremas; resistir las cargas por fatiga de acuerdo con las previsiones de vida de la máquina
- evitar deflexiones excesivas

Las palas son como vigas empotradas en el cubo que están sometidas a un gran momento flector en su base, debido fundamentalmente a la componente de la fuerza del viento. Se debe prestar atención al diseño aerodinámico, con el que se determina la forma exterior de la pala (tipo de perfiles, tamaño) y al diseño estructural de la pala. El concepto básico del diseño y fabricación de la pala debe ser el de crear una superficie exterior de acuerdo con los requerimientos aerodinámicos y que al mismo tiempo sea robusta, ligera y barata.

Actualmente se fabrican de materiales compuestos, que tienen una alta resistencia y rigidez en relación con su peso, son resistentes a la corrosión y de fabricación relativamente fácil. Los materiales compuestos incluyen al menos dos materiales distintos, generalmente fibras depositadas en una matriz que les sirve de soporte o base. La fibra más usada suele ser la de vidrio, aunque también las hay de carbono pero son pocas usadas debido a su elevado costo. Las matrices suelen ser de resinas epóxicas o poliésteres [10]

La figura 3.3 ilustra la potencia nominal de un aerogenerador en función de su diámetro para las turbinas que se encuentran actualmente en el mercado. En realidad existen pequeñas diferencias respecto a lo que se muestra en dicha figura, debido a diferencias entre las velocidades nominales de diseño, es decir, la velocidad del viento a la cual el aerogenerador alcanza su potencia nominal.

El cubo es la parte de la turbina que sirve de base para las palas, es solidario con el eje principal y este a su vez se conecta con la caja multiplicadora. A través del cubo se transmite el torque. Soporta las cargas aerodinámicas y el peso de las palas y las transmite a la góndola y finalmente a la torre. Esto hace que su cálculo estructural sea relativamente complejo.

Pueden presentarse dos tipos de cubo: Rígido, para aerogeneradores de tres palas, que consiste en una estructura metálica hueca que generalmente se construye en fundición de acero nodular. En este caso, se diseña con una geometría que permita un acoplamiento firme de las palas. En su parte central interior está habilitado para acoplarse rígidamente con el eje principal del aerogenerador; basculante, para aerogeneradores de dos palas, el cual permite que las palas se puedan mover, ligeramente, en una dirección perpendicular al plano del rotor. Generalmente, los cubos basculantes se diseñan para que permitan un desplazamiento angular de $2,5^\circ$ respecto al plano normal del eje de rotación, esto ayuda a reducir las cargas dinámicas.

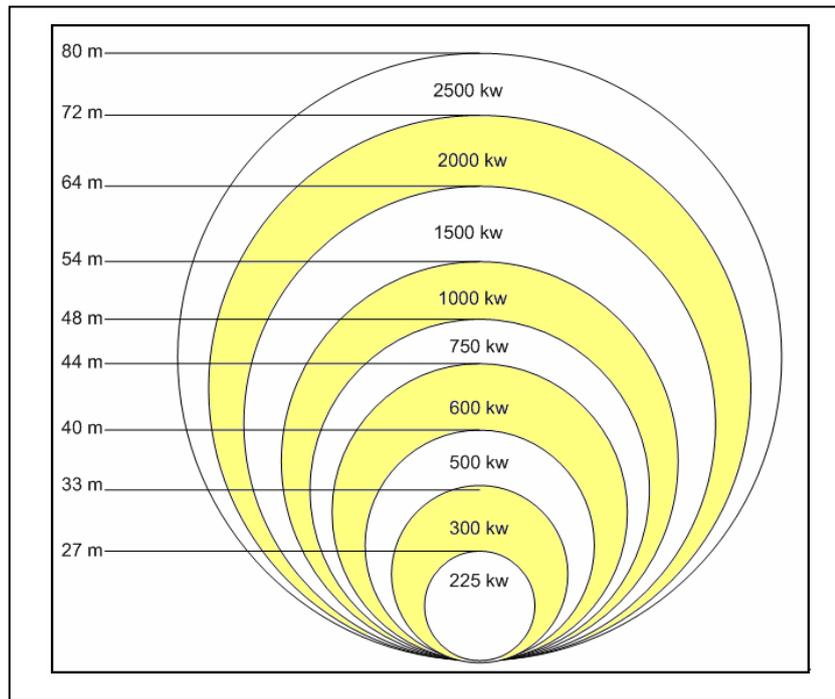


Figura 3.3 Potencia nominal de un aerogenerador en función de su diámetro

La nariz del rotor es una cubierta frontal en forma de cono que sirve para desviar el viento hacia la góndola y mejorar la ventilación en el interior, eliminar turbulencia indeseable en el centro del rotor y mejora el aspecto estético.

3.2.2.- Eje Principal o de baja velocidad

A través de él se transmite el torque y además soporta el peso de las palas. A su vez está soportado por cojinetes que transmiten las cargas a la góndola; existen diversas opciones para la colocación de los cojinetes así como para la conexión a la caja de engranajes. En ocasiones, alguno de los cojinetes suele estar integrado en la caja de engranajes. A veces, la conexión a la caja se suele hacer usando un acople que permite un cierto deslizamiento y amortigua las vibraciones.

3.2.3.- Caja Multiplicadora

Generalmente el rotor de una turbina gira en un rango de velocidad angular desde 15 hasta 50 rpm y el generador generalmente debe operar entre 1000 y 1800 rpm, entonces se debe buscar un dispositivo que conecte el rotor con generador y además aumente su velocidad angular. Entonces, su finalidad es aumentar la velocidad de giro para poder conectar la turbina a la red eléctrica. Es una de las partes más pesada y problemática de las turbinas de viento. Generalmente suelen ser suministrada por un fabricante distinto al de la turbina. Es el elemento de la turbina que requiere mayor mantenimiento. Las cajas multiplicadoras pueden ser de ejes paralelos o planetarios. En la selección o diseño de una caja de engranes para aerogeneradores se busca que tenga una relación óptima entre su capacidad de carga, su tamaño y su peso. Asimismo, deben operar con alta eficiencia y emitir poco ruido.

Por su función, las cajas de engranes deben ser confiables y fáciles de mantener. Usualmente, la lubricación en la caja de engranes de un aerogenerador se realiza por salpicadura y solamente se proveen medios para mantener la temperatura del lubricante dentro de los valores recomendados.

Durante mucho tiempo se utilizaron cajas de engranes del tipo ejes paralelos. Ahora hay una tendencia a utilizar cajas del tipo planetario porque son más compactas, pesan menos, emiten menos ruido y tienen una eficiencia mayor.

En las turbinas de velocidad variable ya no es necesario utilizar una caja de engranajes, ya que este tipo de turbinas tiene un generador que opera a bajas revoluciones debido a su alto número de polos y a arreglos electrónicos.

3.2.4.- Generador Eléctrico

Los generadores eléctricos más utilizados para la configuración de sistemas eólicos han sido los generadores asíncronos, aunque están empezando a usarse los síncronos. Generalmente, los generadores asíncronos son motores de inducción que se utilizan en forma inversa haciéndolos girar a una velocidad mayor que su velocidad de sincronismo.

También conocido como generador asíncrono o de inducción. Está formado por una máquina encargada de transformar la energía mecánica de rotación en energía eléctrica. Se compone de

un rotor, que es la parte móvil y en cargada de generar un campo magnético variable al girar las palas, y un estator que se trata de la parte fija sobre la que se genera la corriente eléctrica inducida.

Los generadores para turbinas de velocidad variable utilizan una serie de dispositivos electrónicos que le permiten variar su deslizamiento y así poder operar en un amplio rango de velocidades angulares, no dependen de la frecuencia de la red al no estar directamente conectados a ella lo que le permite tener mayor eficiencia a velocidades bajas de viento.

3.2.5.- Sistema de orientación

El objetivo fundamental del sistema de orientación es mantener el rotor en un plano perpendicular a la dirección del viento, con el fin de extraer de él la máxima energía. La mayoría de los aerogeneradores en el mercado actual son del tipo a barlovento y utilizan servomecanismos para mantener el plano del rotor en posición perpendicular a la dirección del viento. Estos dispositivos constituyen el elemento unión entre la torre y la góndola del aerogenerador.

Básicamente se construyen a partir de un cojinete y una corona dentada de dimensiones considerables. La corona está acoplada a piñones montados sobre dos o más servomotores (eléctricos o hidráulicos).

3.2.6.- Freno

Las turbinas de viento suelen llevar por razones de seguridad algún freno mecánico. Los frenos pueden ser de disco o zapata y generalmente son accionados hidráulicamente. Su localización depende del fabricante. Si se coloca en el eje de baja velocidad el par que debe ejercer es grande. Si se coloca en el eje de alta velocidad el par de frenado sería menor, pero se transmitiría a las palas a través de la caja de engranajes, y podría dañar los dientes de los engranajes; además, si la caja de cambios falla dicho par de frenado no se transmitiría, y las palas no se frenarían.

3.2.7.- Bastidor y Góndola

El bastidor principal es una estructura metálica donde se monta el tren de potencia, el generador eléctrico, las mordazas del freno y, dependiendo de la turbina, las unidades hidráulicas. Este componente recibe las cargas del rotor a través del tren de potencia y las transmite a la torre. Usualmente, el bastidor principal está construido a partir de perfiles estructurales de acero soldados y placas de fibra de vidrio. Este elemento es el principal receptor de las fuerzas generadas durante el frenado, ya que sobre él se montan los elementos de fricción que actúan sobre el disco del freno (las mordazas). Su dimensión y peso depende de las cargas que debe soportar. Sobre este bastidor va colocada una cubierta general, góndola, cuyo propósito es proteger a los componentes del sistema contra los efectos del medio ambiente. Ver Figura 3.4

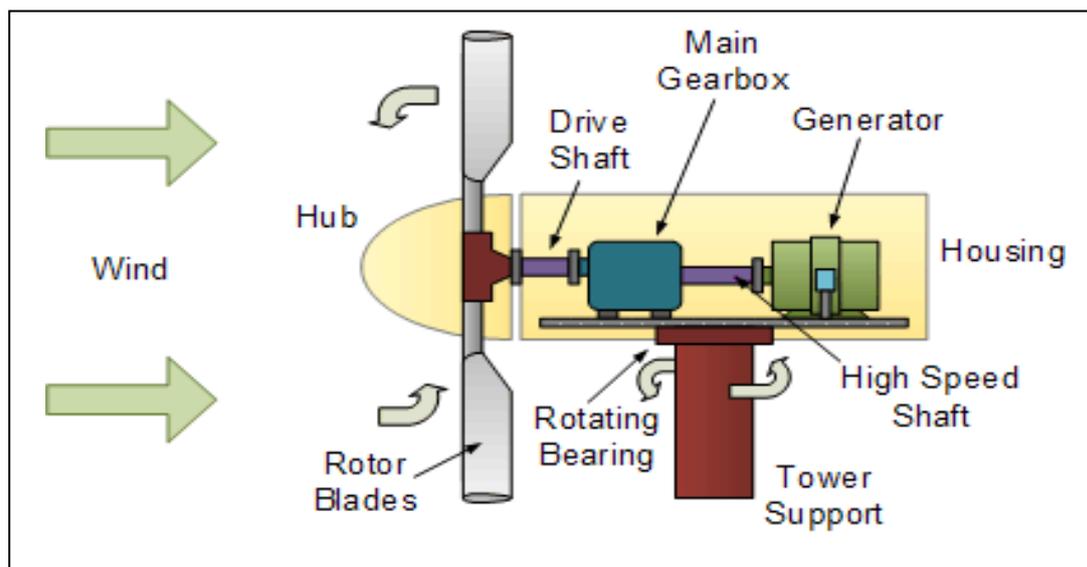


Figura 3.4: Estructura de la Góndola

3.2.8.- Torre

Se fabrican generalmente en acero con sección circular y, dependiendo del tamaño, se pueden presentar con forma cilíndrica, troncocónica o una mezcla de ambas. Proporcionan el medio de protección e instalación para equipos de control y sistemas eléctricos en piso. Al mismo tiempo, se pueden integrar en ella medios muy seguros para que el personal de mantenimiento suba a la góndola. En cuanto a su aspecto estético es agradable y moderno. Su instalación es

fácil y rápida al tiempo que requieren poco mantenimiento. Sin embargo, tienen un costo relativamente alto, su fabricación requiere maquinaria especializada, y su transporte es más difícil y costoso. Anteriormente las torres se construían en celosía pero este tipo ya no se utiliza para las turbinas de gran potencia.

Capítulo 4

Análisis Estadístico – Resultados WAsP

4.1. Evaluación Cuantitativa y Cualitativa de la Energía Eólica en el Cerro Chocan - Paita

En este análisis del recurso eólico se utilizó algunas herramientas que ofrece el programa WAsP, como el editor de aerogeneradores (*wasp turbine editor*) y el procesador de datos de viento *Observed Wind Climate Wizard (OWC wizard)*. Esta herramienta, el procesador de datos de viento (*wasp Wizard*), es la que nos permite encontrar el potencial eólico del Cerro Chocan, permite cargar los valores de velocidad y dirección de viento en un formato de hoja de cálculo separado por comas *.csv. Una vez procesados los datos se obtiene como respuesta en un reporte final, el valor del recurso disponible en el lugar así como los parámetros de la distribución de Weibull para aproximar el comportamiento de la velocidad del viento en esta localidad.

Utilizar el programa WAsP en su total magnitud implica tener una licencia completa de uso, particularmente se cuenta únicamente con la versión de demostración. De contar con la versión completa se podría ingresar mapas digitalizados de un lugar determinado, ingresarla información de velocidad y dirección del viento, ya procesadas por el Wizard, así como los aerogeneradores analizados por el editor de aerogeneradores. Con esta información es posible dimensionar directamente un parque eólico, obtener la energía extraíble en el mes de mínimo viento o estudiar el comportamiento de una única turbina eólica en un lugar determinado, en este caso en Cerro Chocán.

4.2.- Emplazamiento: Delimitación y descripción

La obtención de datos del emplazamiento se llevó a cabo con la instalación de dos mástiles de medición. Ambos cuentan con instrumentos de medición de la velocidad y dirección del viento de la marca "*NGR System*". El primero fue instalado en setiembre de 2007, y el segundo se instaló en enero de 2010, Figura 4.1 [12]



Figura 4.1.- Ubicación geográfica de los mástiles de medición de viento [9]

El primer mástil de medición que se consideró fue una torre de telefonía ubicada en el cerro Chocán, (Figura 4.1), sus coordenadas geográficas son las siguientes:

Latitud Sur : 5° 9'39.96"
Longitud Oeste : 80°57'43.41"
Altitud (m.s.n.m) : 202m

En la torre mencionada se instalaron los instrumentos de medición que se indican en la Tabla 4.1.

Canal de Data logger	Tipo de Sensor	Altura	Azimuth del sensor
1	40C Anem.	58m	270°
2	40C Anem.	49m	270°
3	40C Anem.	58m	90°
4	40C Anem.	49m	90°
5	40C Anem.	24m	270°
7	200PVane	58m	180°
8	200PVane	49m	180°
9	110STemp.	3m	-
10	Voltajei-Pack	3m	-

Tabla 4.1.- Instrumentos de medición instalados en el mástil de telefonía [8]

El segundo mástil de medición es una torre tubular, la cual se puede observar en la Figura 4.3, además cumple con todas las normas de medición de velocidad y dirección del viento, se encuentra ubicada a 3 km del primer mástil, sus coordenadas geográficas son las siguientes:

Latitud Sur : 05°11'26.46"
 Longitud Oeste : 80°57'59.7
 Altitud : 212 m



Fig. 4.2. Mástil de medición, torre de telefonía [8]

Para nuestro estudio se realizó el análisis de viento a una altura de 58 metros y 49 metros, a una altura de 202 metros sobre el nivel del mar, es decir datos adquiridos en el mástil de telefonía, tanto en velocidad de viento como en dirección del viento.



Fig. 4.3 Mástil de medición, torre tubular NGR [8]

Canal del Datalogger	Tipo de sensor	Altura	Azimuth del sensor
1	40C Anem.	60m	270°
2	40C Anem.	60m	90°
3	40C Anem.	50m	270°
13	40C Anem.	50m	90°
14	40C Anem.	32m	270°
15	40C Anem.	32m	90°
7	200PVane	58m	180°
8	200PVane	48m	180°
9	110STemp.	3m	-

Tabla 4.2 Instrumentos de medición instalados en el mástil NGR [8]

4.3.- Procesamiento de Datos Eólicos

Para determinar la cantidad de energía eólica aprovechable, en un determinado emplazamiento, comprende la medición de la velocidad del recurso del viento durante un largo período así como de los datos del relieve del terreno.

Actualmente existen sistemas y programas diseñados para manipular, filtrar, calibrar y correlacionar dichos datos para generar el régimen de viento en el emplazamiento bajo la forma de una tabla de distribución de probabilidad de velocidades y direcciones del viento.

Por la variabilidad del viento, los valores medios horarios deben corresponder a medias de medidas de varios años, a fin de que tengan un adecuado grado de aproximación a las condiciones de comportamiento que pueden esperarse. Se recomienda usar series que, si no pueden alcanzar periodos de 25 a 30 años como mínimo, comprendan promedios de 5 a 10 años [13]. En este trabajo de tesis se utilizó el promedio de un año (por motivos de disposición de los datos) y es importante resaltar que a mayor número de años, los resultados estadísticos serán más fiables.

4.3.1.-Distribución de Probabilidad de direcciones

La distribución de las direcciones del viento es importante para la ubicación de los aerogeneradores en terrenos no uniformes o formando varios conjuntos de ellos, además para conocer la variabilidad direccional del régimen de vientos al que debe responder el sistema de orientación de la máquina.

La representación más común es la rosa de vientos, es útil para expresar el porcentaje de tiempo en el que el viento tiene una determinada dirección. En la Figura 4.4 se muestra la rosa de vientos del mástil de medición ubicado en el cerro Chocán.

De la gráfica se deduce que en el sector 6 (150°)SSE se encuentra un 40% de los datos de las velocidades medidas durante un año. Este sector coincide con la dirección de los vientos alisios. Además, se puede observar que el rango de las velocidades con mayor ocurrencia en este sector se encuentra entre 6 y 12 m/s.

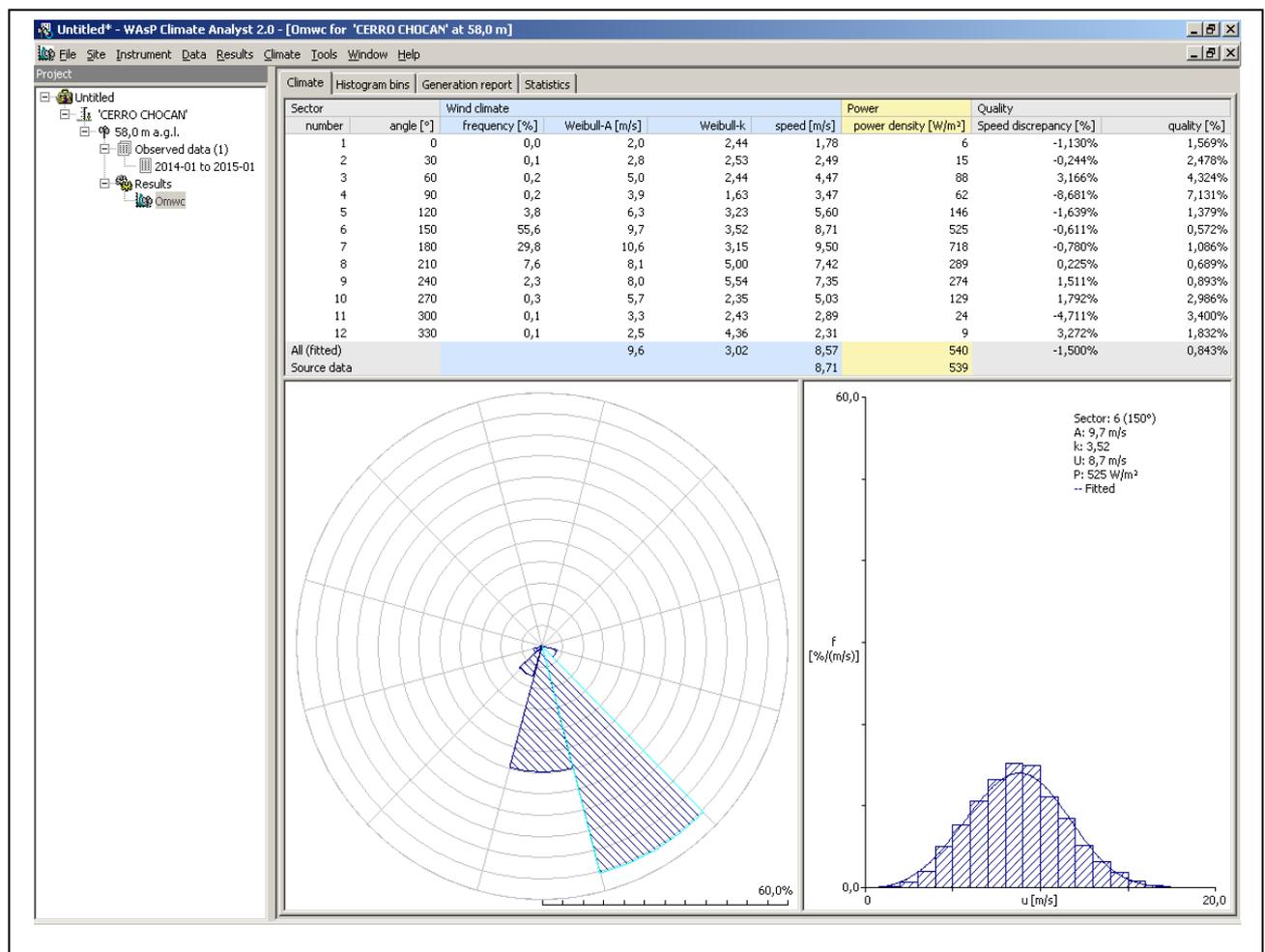


Figura 4.4. Rosa de vientos y densidad de potencia a 58m de altura

4.3.2.- Distribución del Tiempo

Graficar los promedios mensuales para cada hora del día muestra las fluctuaciones diurnas de la velocidad del viento en ese año particular (figura 4.5), en la misma figura también se muestra el promedio anual.

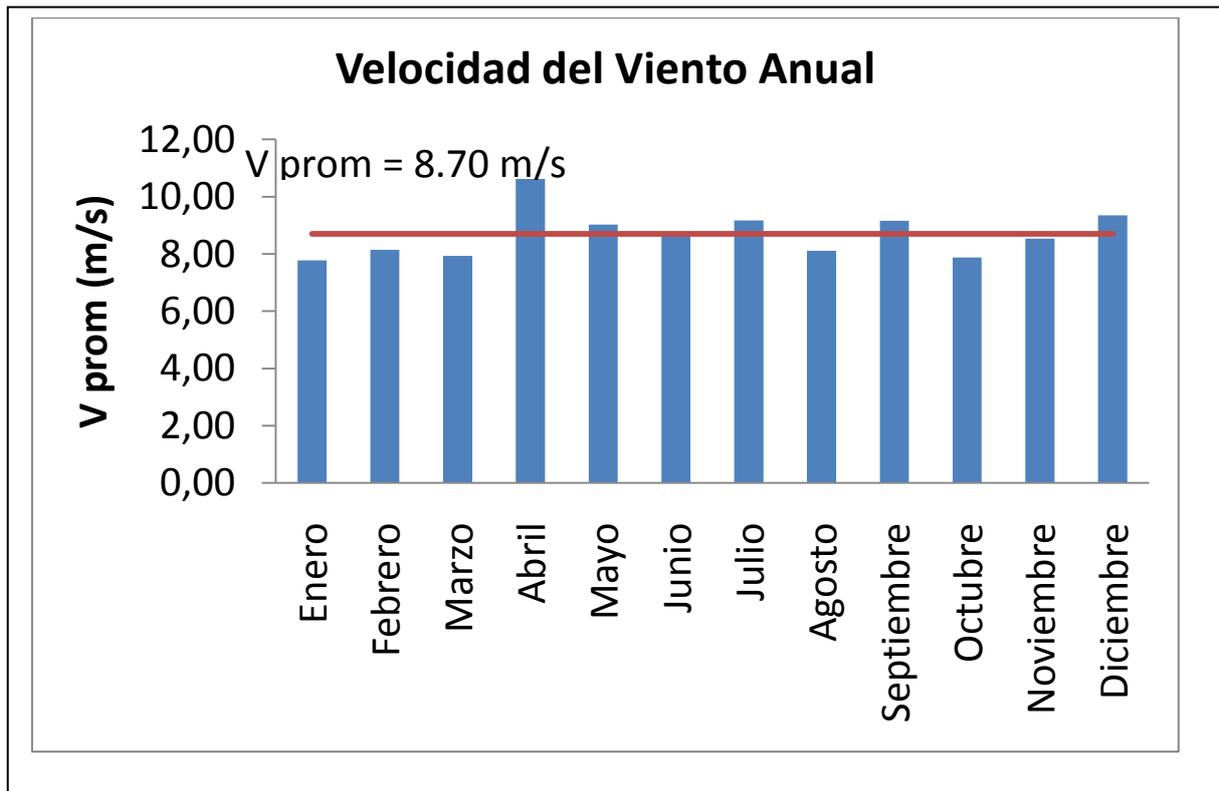


Figura 4.5. Patrón diurno media de la velocidad del viento en el Cerro Chocan – 2014

4.3.3.- Distribución de la Frecuencia

Además de la distribución de la velocidad del viento durante un día o un año, es importante saber el número de horas por mes o año durante los cuales se produjeron las velocidades del viento dados, es decir, la distribución de frecuencias de la velocidad del viento. Para llegar a esta distribución de frecuencias en primer lugar debemos dividir el dominio de la velocidad del viento en un número de intervalos, la mayoría de anchura igual a 1 m/s.

Luego, comenzando en el primer intervalo de, por ejemplo 0-1 m/s, el número de horas se cuenta en el período en cuestión en el que la velocidad del viento estuvo en ese intervalo. Cuando el número de horas en cada intervalo se grafica en función de la velocidad del viento, la distribución de frecuencia surge como un histograma (ver figura 4.6.)

Intervalo m/s	Frecuencia Horas/mes
0 - 1	0
1 - 2	0
2 - 3	0
3 - 4	0
4 - 5	6
5 - 6	13
6 - 7	30
7 - 8	39
8 - 9	88
9 - 10	52
10 - 11	24
11 - 12	24
12 - 13	10
13 - 14	2
14 - 15	0
15-16	0
16-17	0
17-18	0
18-19	0
19-20	0
Total	288

Tabla 4.3. Datos de la frecuencia de la velocidad del viento para Cerro Chocan, 2014

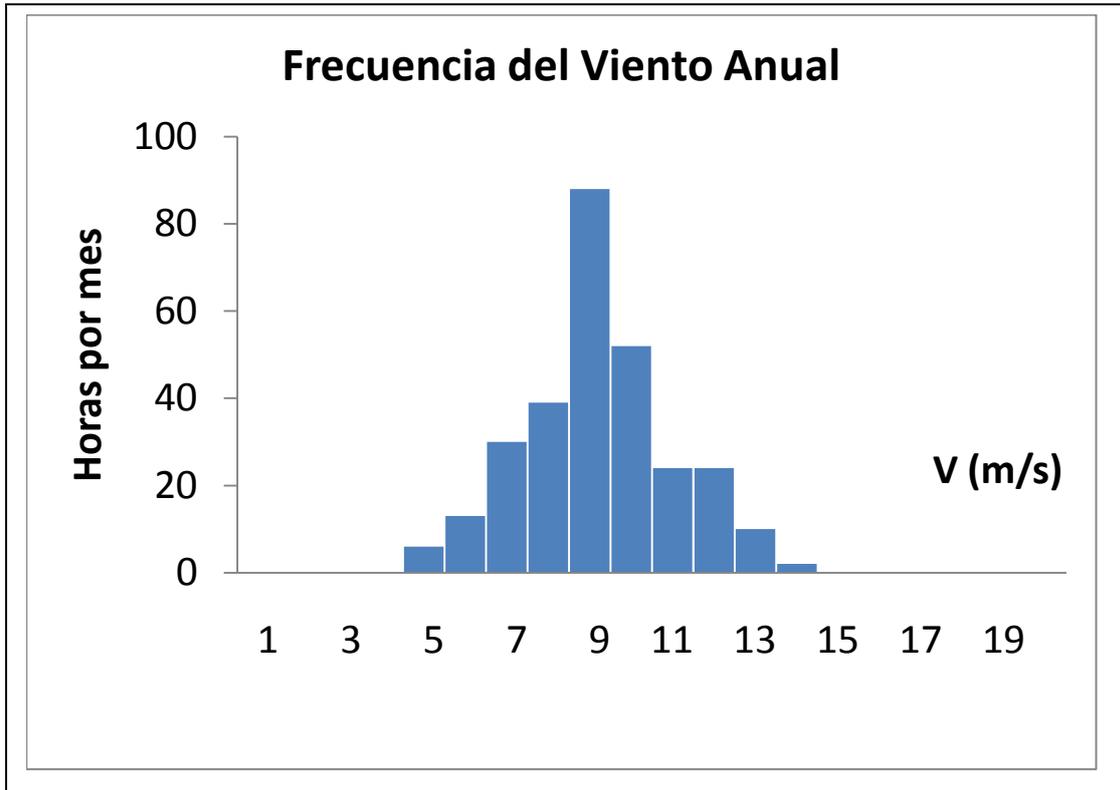


Figura 4.6. Grafica de la frecuencia de la velocidad del viento para Cerro Chocan

La distribución de frecuencias se utiliza para calcular la salida de energía de un molino de viento, multiplicando el número de horas en cada intervalo por la potencia de salida que suministra el molino de viento a ese intervalo de velocidad de viento.

A menudo es importante conocer el número de horas que funcionará un molino de viento, o la fracción de tiempo que un molino de viento producirá más de una potencia dada.

En este caso, es necesario añadir el número de horas en todos los intervalos por encima de la velocidad del viento dada. El resultado es la distribución de la duración que se encuentra fácilmente mediante la adición del número de horas de cada intervalo a la suma de todas las horas de los intervalos más altos. Así que lo mejor es comenzar con los intervalos más altos, con cero horas de la velocidad del viento por encima del límite superior del intervalo y, posteriormente, añadir el número de horas del siguiente intervalo inferior, etc. Esto se hace en la tabla 4.4 con los datos de la tabla 4.3.

Intervalo m/s	Frecuencia Horas/mes	Duración V>V' Horas	Acumulado V<V'	
			Horas	%
0 - 1	0	288	0	0,00
1 - 2	0	288	0	0,00
2 - 3	0	288	0	0,00
3 - 4	0	288	0	0,00
4 - 5	6	282	6	2,08
5 - 6	13	269	19	6,60
6 - 7	30	239	49	17,01
7 - 8	39	200	88	30,56
8 - 9	88	112	176	61,11
9 - 10	52	60	228	79,17
10 - 11	24	36	252	87,50
11 - 12	24	12	276	95,83
12 - 13	10	2	286	99,31
13 - 14	2	0	288	100,00
14 - 15	0	0	288	100,00
15-16	0	0	288	100,00
16-17	0	0	288	100,00
17-18	0	0	288	100,00
18-19	0	0	288	100,00
19-20	0	0	288	100,00
Total	288			

Tabla 4.4. Datos de la frecuencia de velocidad del viento acumulado en Cerro Chocán

Los valores de duración son comúnmente representados con la velocidad del viento en el eje y, como se muestra en la figura 4.7 (a). Aquí la longitud de cada columna horizontal indica la duración del tiempo que la velocidad del viento era más alta que el límite superior del intervalo de velocidad del viento. Si el histograma es aproximado por una curva suave a través de los valores en el centro de cada intervalo da entonces como resultado unas curvas. Mediante el estudio de la forma de esta curva de duración se obtiene una idea sobre el tipo de

régimen de vientos. Cuanto más horizontal es la curva de duración, es decir, cuanto más tiempo persiste una velocidad específica de viento, es más constante el régimen del viento. A más pronunciada la curva de duración, más irregular es el régimen de viento.

En algunos casos se prefiere graficar el tiempo durante el cual la velocidad del viento era más pequeña que una determinada velocidad del viento, y cuando esto se grafica frente a la velocidad del viento, resulta una distribución acumulativa (figura 4.7 (b)).

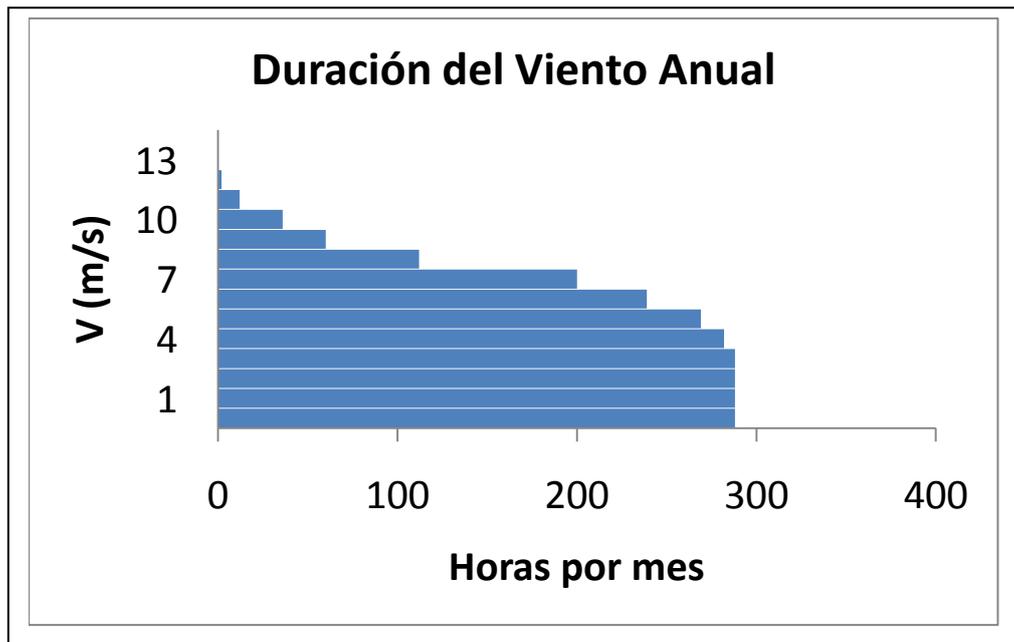


Figura 4.7 a) Histograma de la distribución de la duración

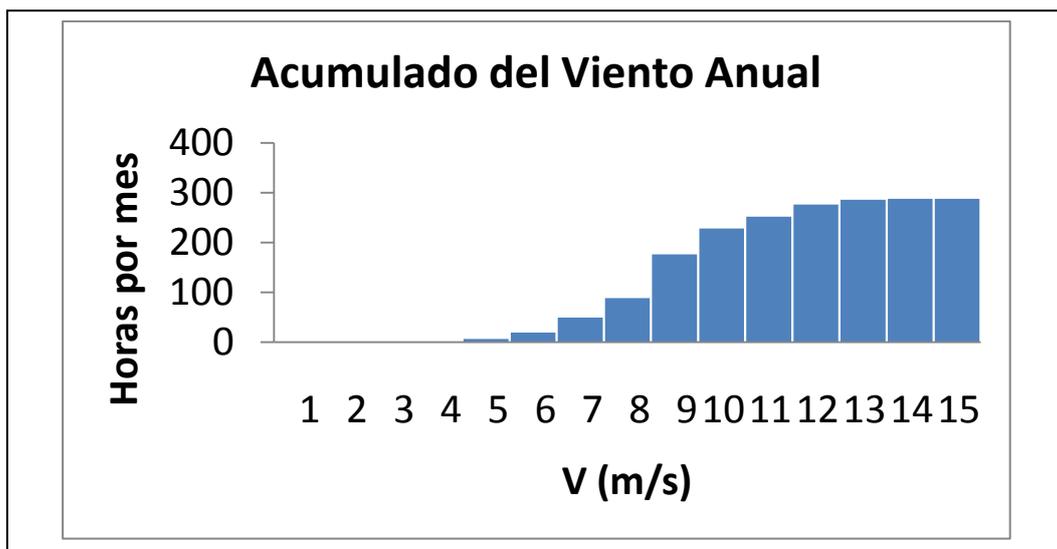


Figura 4.7 b) distribución acumulativa en Cerro Chocan – 2014

4.3.4. Estimación de los parámetros de Weibull de datos dados

La distribución Weibull muestra su utilidad cuando se utilizan los datos de viento de una estación de referencia para predecir el régimen de viento en los alrededores de esa estación. La idea es que las velocidades de los vientos promedio sólo anuales o mensuales son suficientes para predecir la distribución de frecuencias completa del año o del mes. Esta sección trata con métodos para extraer los parámetros k y c de la función Weibull.

MESES	Vprom	k	c	Intersección
Enero	7,8	3,0171	8,552864723	-6,4755
Febrero	8,2	3,5537	8,937217269	-7,7834
Marzo	7,9	3,3106	8,820403357	-7,2074
Abril	10,6	4,8407	11,59142334	-11,861
Mayo	9,0	4,3394	10,11160647	-10,04
Junio	8,7	3,9345	9,934587609	-9,0337
Julio	9,2	4,0946	10,31032783	-9,5533
Agosto	8,1	3,8626	9,176698777	-8,5621
Septiembre	9,2	4,2894	10,55155882	-10,107
Octubre	7,9	3,7808	9,129788516	-8,3614
Noviembre	8,5	3,9015	10,13538023	-9,036
Diciembre	4,2	4,2304	10,27907862	-9,8573
Anual	8,3	5,6976	9,55357273	-12,859

Tabla 4.5 Valores de k y c mensuales

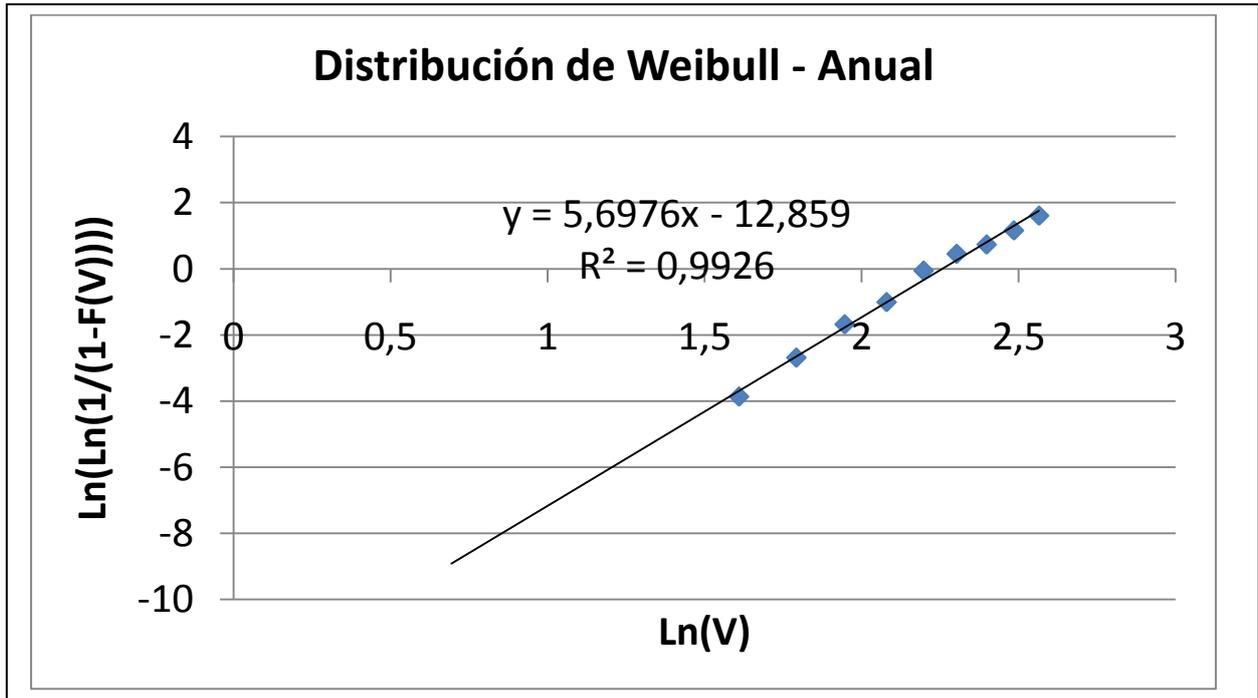


Figura 4.8 Liberalización de la Distribución de Weibull para los vientos anuales.

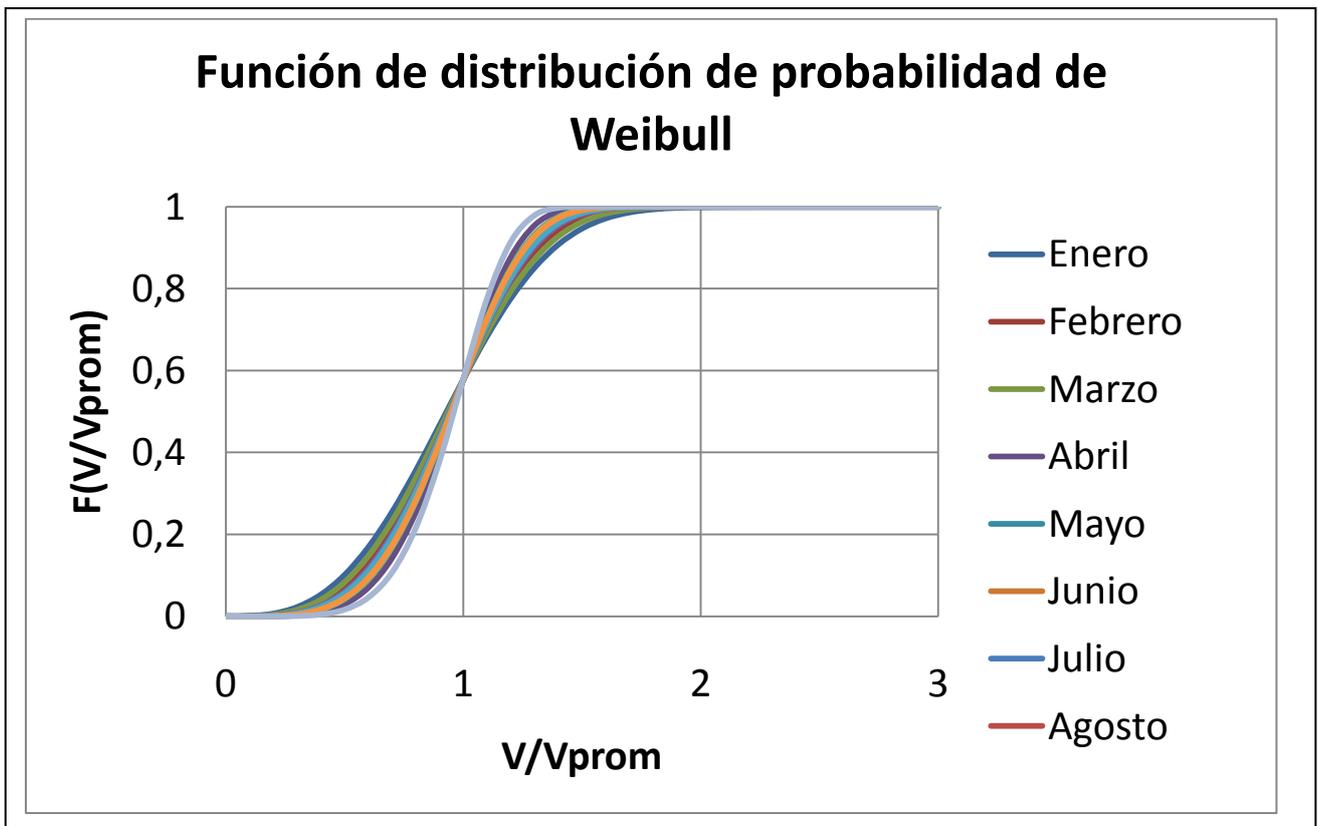


Figura 4.9. Función de la distribución de probabilidad de Weibull – anual y mensuales

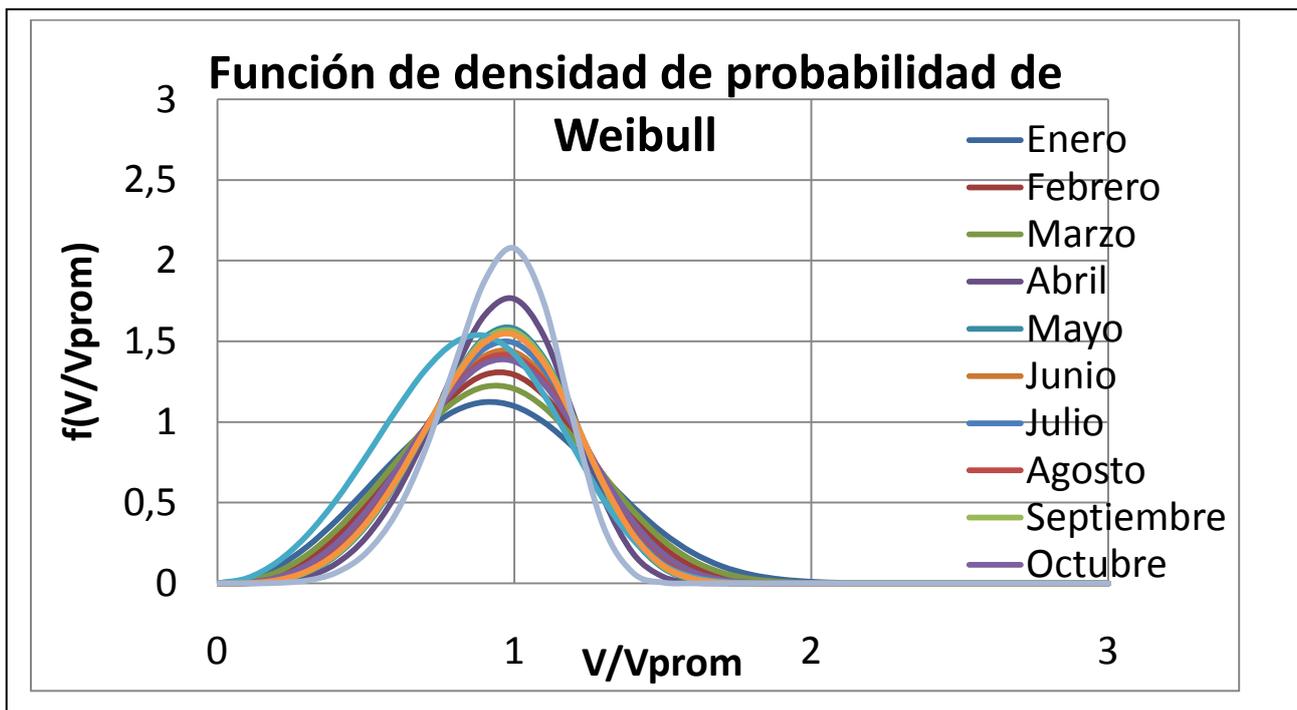


Figura 4.10. Función de la densidad de probabilidad de Weibull – anual y mensual

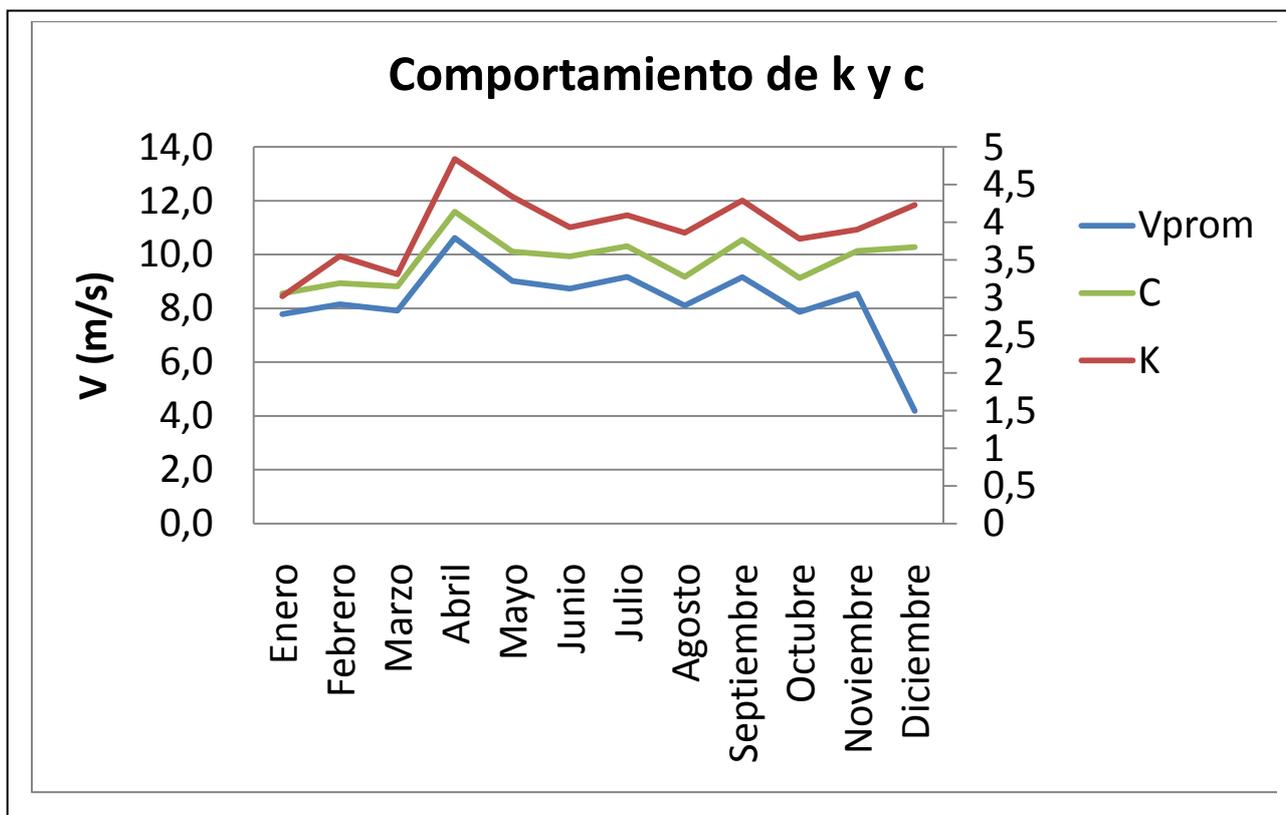


Figura 4.11. Variación de k y c a lo largo del año

4.3.5. Distribución de probabilidad de velocidades – WasP

La distribución de las velocidades de viento $p(v)$ es importante para la estimación del potencial eólico disponible P_d , además de otros parámetros energéticos de interés. Es por esto, que además de representar discretamente las frecuencias de los datos experimentales, se busca hallar una curva que se ajuste a las mismas, esta es la llamada Distribución de Weibull.

En el WAsP se ilustra la distribución de probabilidades de velocidades del viento, cuyo factor de escala $A = 9.6 \text{ m/s}$ y cuyo factor de forma $k = 3.02$ (por ser mayor que 2.5 presenta un mejor ajuste y menos dispersión de los datos del valor medio), la velocidad media $U = 8.6 \text{ m/s}$ y la densidad de potencia $\left(\frac{P_d}{A} = 540 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right)$

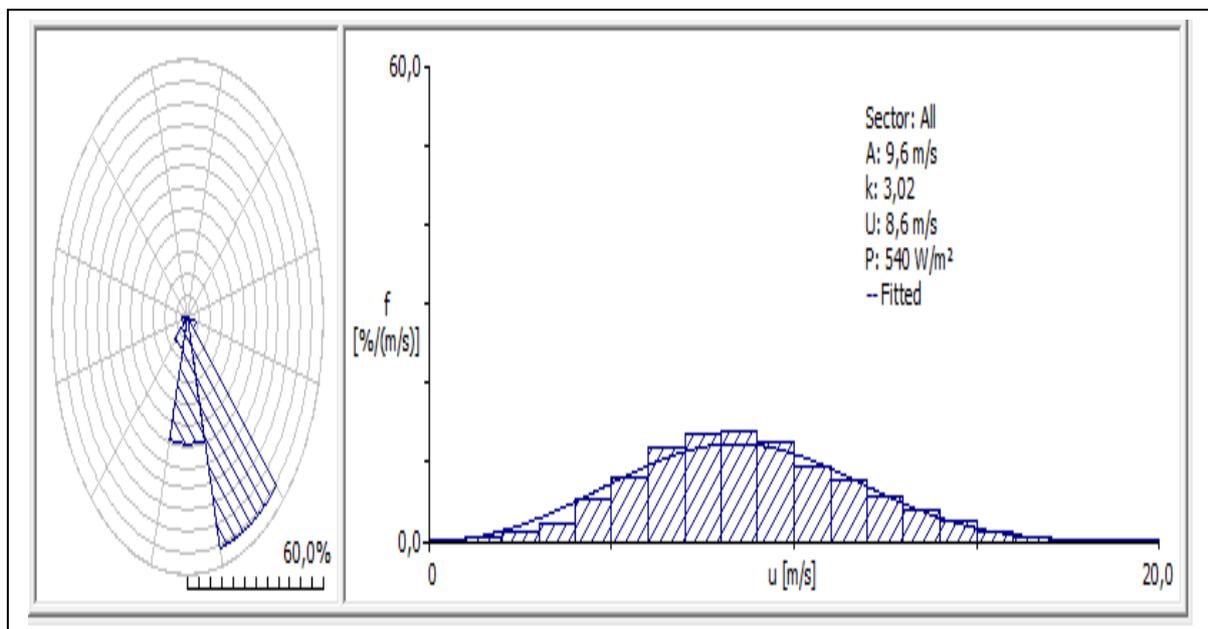


Fig. 4.12. Distribución de probabilidades de velocidades de viento en WAsP

De la gráfica se deduce que a un valor de 5 m/s le corresponde una frecuencia relativa (La frecuencia relativa, es el cociente entre la frecuencia absoluta y el tamaño de la muestra N), entendiéndose por frecuencia absoluta, el promedio de una suma predeterminada de la muestra estudiada. Esta frecuencia relativa (f) de 8.1%, significa que esta velocidad se presentó el 8.1% del tiempo total de la muestra, en nuestro caso 1 año. La tabla de distribución de velocidades promedio anual, afirma que el viento tuvo una velocidad de 5m/s durante 13 horas por mes.

Sector		Wind climate				Power	Quality	
number	angle [°]	frequency [%]	Weibull-A [m/s]	Weibull-k	speed [m/s]	power [W/m ²]	delta-U [%]	quality [%]
1	0	0,0	2,0	2,44	1,78	6	-1,130%	1,569%
2	30	0,1	2,8	2,53	2,49	15	-0,244%	2,478%
3	60	0,2	5,0	2,44	4,47	88	3,166%	4,324%
4	90	0,2	3,9	1,63	3,47	62	-8,681%	7,131%
5	120	3,8	6,3	3,23	5,60	146	-1,639%	1,379%
6	150	55,6	9,7	3,52	8,71	525	-0,611%	0,572%
7	180	29,8	10,6	3,15	9,50	718	-0,780%	1,086%
8	210	7,6	8,1	5,00	7,42	289	0,225%	0,689%
9	240	2,3	8,0	5,54	7,35	274	1,511%	0,893%
10	270	0,3	5,7	2,35	5,03	129	1,792%	2,986%
11	300	0,1	3,3	2,43	2,89	24	-4,711%	3,400%
12	330	0,1	2,5	4,36	2,31	9	3,272%	1,832%
All (fitted)			9,6	3,02	8,57	540	-1,500%	0,843%
Source data					8,71	539		

Tabla 4.6 TDF de las velocidades de viento. Fuente WASP

En la Tabla 4.6, se resumen las mediciones y la distribución de la velocidad del viento encada sector y el total, conocido como archivo *.TAB. La diferencia relativa entre la velocidad media del viento (Delta-U) es calculada a partir del ajuste de Weibull y la velocidad media del viento del histograma.

Es importante definir el sector con mayor velocidad de ocurrencia y mayor velocidad media debido a que de este sector dependerá la ubicación de los aerogeneradores. Se determina un sector promedio entre estos dos sectores, el sector de 160°, ya que los valores de velocidades medias son mayores en el sector 180° pero existen mayores probabilidades de ocurrencia de velocidades altas en el sector de 150°, es decir el sector seis. Figura 4.13

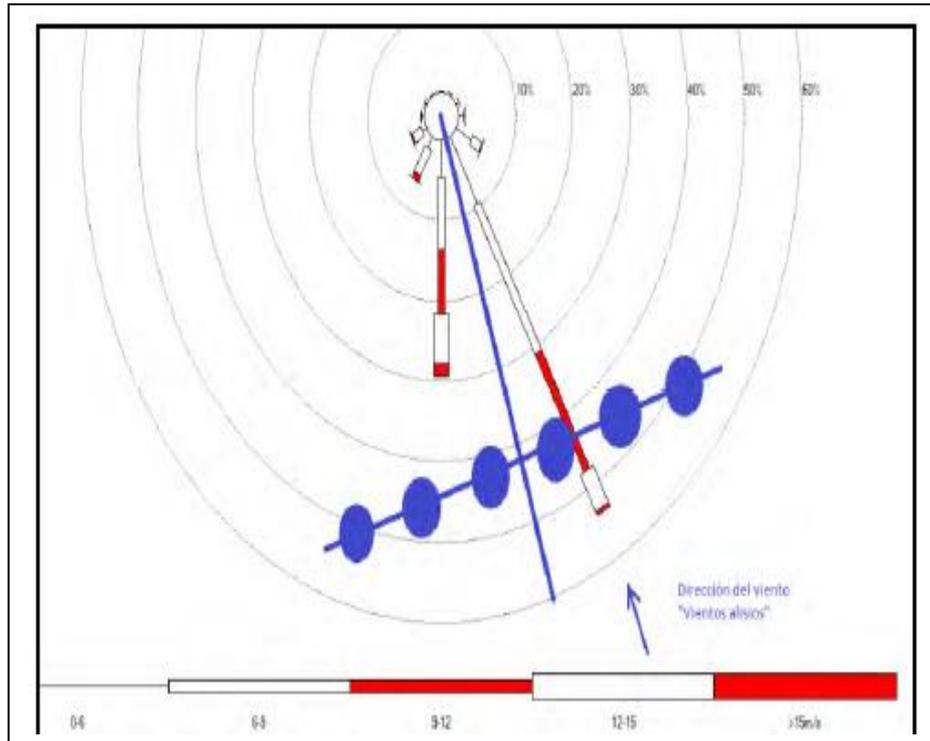


Figura 4.13. Ubicación de los aerogeneradores en el sector seis

4.4.- Estimación de la Energía disponible – Potencial Eólico

Para el cálculo de la potencia eólica disponible en el emplazamiento se utilizó la distribución de probabilidades de velocidades de viento en el mástil de medición, usando el software WAsP Weibull.

Intervalo de clase velocidad (m/s)	Centro de clase	Frecuencia relativa (%)
$0 \leq v \leq 1,5$	1	0,003
$1,5 \leq v \leq 2,5$	2	0,013
$2,5 \leq v \leq 3,5$	3	0,029
$3,5 \leq v \leq 4,5$	4	0,050
$4,5 \leq v \leq 5,5$	5	0,074
$5,5 \leq v \leq 6,5$	6	0,096
$6,5 \leq v \leq 7,5$	7	0,114
$7,5 \leq v \leq 8,5$	8	0,122
$8,5 \leq v \leq 9,5$	9	0,121
$9,5 \leq v \leq 10,5$	10	0,109
$10,5 \leq v \leq 11,5$	11	0,090
$11,5 \leq v \leq 12,5$	12	0,068
$12,5 \leq v \leq 13,5$	13	0,048
$13,5 \leq v \leq 14,5$	14	0,030
$14,5 \leq v \leq 15,5$	15	0,016
$15,5 \leq v \leq 16,5$	16	0,008
$16,5 \leq v \leq 17,5$	17	0,004
$17,5 \leq v \leq 18,5$	18	0,002
$18,5 \leq v \leq 19,5$	19	0,001
$19,5 \leq v \leq 20,5$	20	0,001
TOTAL		1

Tabla 4.7.- Tabla de Distribución de frecuencias de velocidades de viento 58m

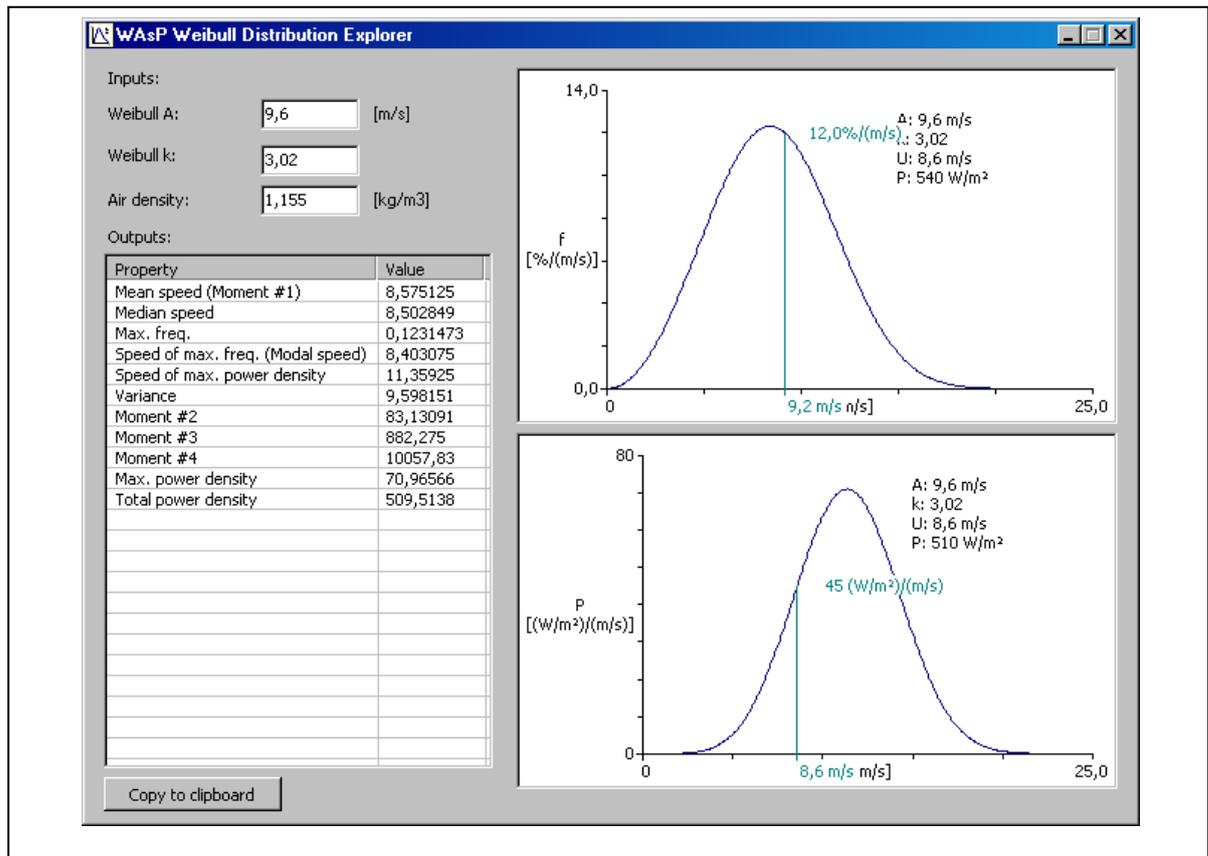


Figura 4.14 Graficas de distribución de frecuencias en WAsP Weibull

El potencial eólico disponible en el cerro Chocán representa la potencia media eólica por unidad de superficie para un determinado periodo de tiempo en 1 año, supuesta una densidad del aire constante ($\rho = 1,155 \text{ Kg/m}^3$). Con los datos del primer mástil se obtuvo que la Potencia eólica disponible es de $540 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$ y con una potencia disponible anual de $4.73 \left[\frac{\text{Mwh}}{\text{m}^2} \right]$.

4.4.1.- Clases de viento de los aerogeneradores

Las clases de aerogenerador están principalmente definidas por la velocidad del viento media anual (medida a la altura del buje), la velocidad de las ráfagas extremas que podrían ocurrir una vez cada 50 años y la cantidad de turbulencia que hay en el emplazamiento.

Por otra parte, las tres clases de viento para los aerogeneradores (Tabla 4.7), están definidas por un estándar de la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) 61400 y corresponden a viento alto, medio y bajo [14].

Clases de vientos de los aerogeneradores	IECI viento alto	IECII viento medio	IECIII viento bajo
Velocidad anual promedio	10m/s	8.5m/s	7.5m/s
Velocidad de ráfagas extremas que ocurren una	70m/s	59.5m/s	52.5m/s
Clases de turbulencia	A18%	A18%	A18%
	B16%	B16%	B16%

Tabla 4.8.- Clases de viento para aerogeneradores en condiciones de viento estándar (Fuente: Garrad Hassan, WindFarmer 4.2, Theory manual. Wind farm design software)

Con la Tabla 4.7 se determinó que la velocidad media del viento en el emplazamiento se encuentra entre 8 y 9 m/s a la altura de 80 y 95 m, con lo cual se concluye que la clase de viento para el aerogenerador en el emplazamiento es IEC II.

En resumen, el V90 – 1.8 MW es ideal para emplazamientos IEC II, mientras que el V90 – 2.0 MW es más adecuado para los emplazamientos IEC III y el V90 – 3.0 MW tiene mejor funcionamiento para los emplazamientos IEC I.

En la Figura 4.15, se ilustra las características técnicas del aerogenerador de eje horizontal (tripala) de potencia nominal 1.8 MW (velocidad de arranque 4 m/s, velocidad nominal 12m/s y velocidad de parada 25 m/s).

Power regulation	pitch regulated with variable speed		Main dimensions	
Operating data	IEC IIA	IEC IIIA	Blade	
Rated power	1,800 kW	2,000 kW	Length	44 m
Cut-in wind speed	4 m/s		Max. chord	3.5 m
Rated wind speed	12 m/s		Weight	6,700 kg
Cut-out wind speed	25 m/s		Nacelle	
Frequency	50 Hz/60 Hz		Height for transport	4 m
Operating temperature	standard range -20°C to 40°C		Height installed (including CoolerTop™)	5.4 m
	low temperature option -30°C to 40°C		Length	10.4 m
			Width	3.4 m
			Weight	70 metric tonnes

Figura 4.15 – características aerogenerador VESTAS V90

La curva de potencia seleccionada es de un aerogenerador con regulación activa ("*pitch regulation*"), regulación frecuente en aerogeneradores de gran potencia, los cuales trabajan en generadores asíncronos de velocidad variable. Se caracteriza porque se mantiene sensiblemente constante en todo el rango de velocidades comprendido entre la velocidad nominal y la de desconexión. Esta se muestra en la figura 4.16.(línea color lila)

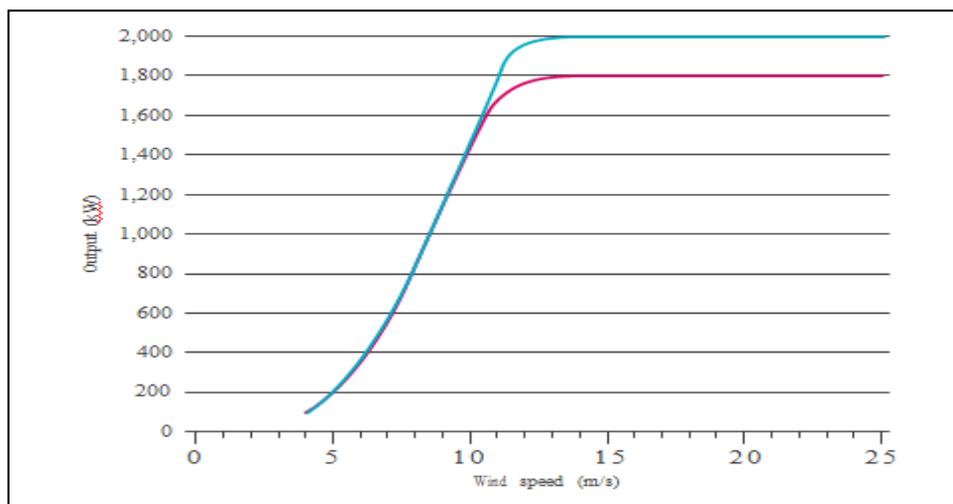


Figura 4.16. Curva de potencia del aerogenerador Vestas V90

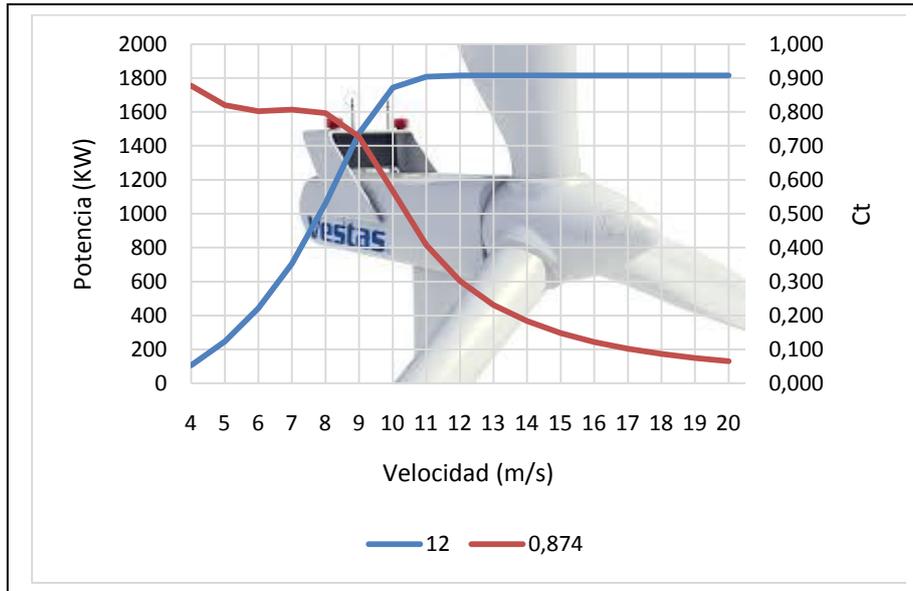


Figura 4.17. Curva de potencia del aerogenerador Vestas V100 – Fuente VESTAS

En la Figura 4.17 se ilustra el coeficiente de empuje del aerogenerador V100-1.8 MW, se observa que el máximo valor del coeficiente de empuje es de 0.87 en el arranque a 4m/s y luego se mantiene casi constante en 0.8 en el rango de velocidades medias de viento entre 5 y 9 m/s, es decir que la fuerza de empuje es mayor a estas velocidades, con lo cual la potencia en el rotor también es mayor.

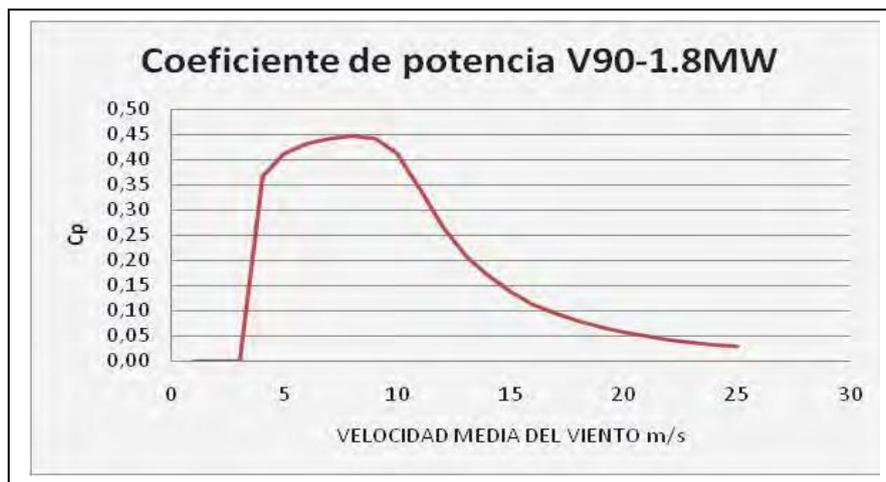


Figura 4.18. Coeficiente de potencia del aerogenerador Vestas V90

En la Figura 4.18, se ilustra el coeficiente de potencia del aerogenerador V90-1.8 MW, el máximo valor del coeficiente de potencia es de 0.45, es decir que como máximo el rotor aprovecha sólo el 45% de la potencia disponible en el aire, y esto ocurre en el rango de velocidades medias de viento entre 6 y 9 m/s.

4.5.- El modelo WASP

El modelo WASP (*Wind Atlas Analysis and Application Program*) desarrollado por el *Risø National Laboratory* de Dinamarca, y que fue utilizado en la elaboración del Atlas Eólico Europeo.

WASP utiliza un perfil logarítmico de variación de la velocidad del viento con la altura y establece un equilibrio entre las fuerzas de presión, de Coriolis y de fricción que lleva a la denominada ley de arrastre geostrófico que relaciona las velocidades geostrófica y de fricción. Conocidas las características de rugosidad y orografía del punto de medida y con el valor de dirección y velocidad del viento V medido a una determinada altura h , WASP calcula la velocidad de arrastre V^* y, a partir de esta, la velocidad geostrófica V_g y su dirección.

El modelo supone que el viento geostrófico es el mismo en todos los puntos de la zona objeto de estudio por lo que para determinar la velocidad y dirección del viento la altura deseada en otro punto distinto al de medida se realiza el proceso inverso considerando las características topográficas y de rugosidad del nuevo punto.

4.5.1.- La Huella Digital Climatológica del viento (*Wind climatological fingerprint*)

La llamada huella digital viento climatológica se introdujo por primera vez en el Atlas Eólico Europeo (Troen & Petersen, 1989). El propósito de estas presentaciones gráficas de los datos de viento se dan al final de cada sección y su fin es dar una visión compacta e informativa de los datos de viento utilizados para el lugar de estudio, se muestra un ejemplo en la Fig 4.18. La primera línea indica el nombre de la estación meteorológica y el período durante el cual se recogieron los datos.

Esto es seguido por la altura sobre el nivel del suelo, donde se tomaron las mediciones, el valor medio, la desviación estándar y el valor medio del cubo de las velocidades del viento medidas. La presentación gráfica consiste en cinco gráficos, se describen a continuación.

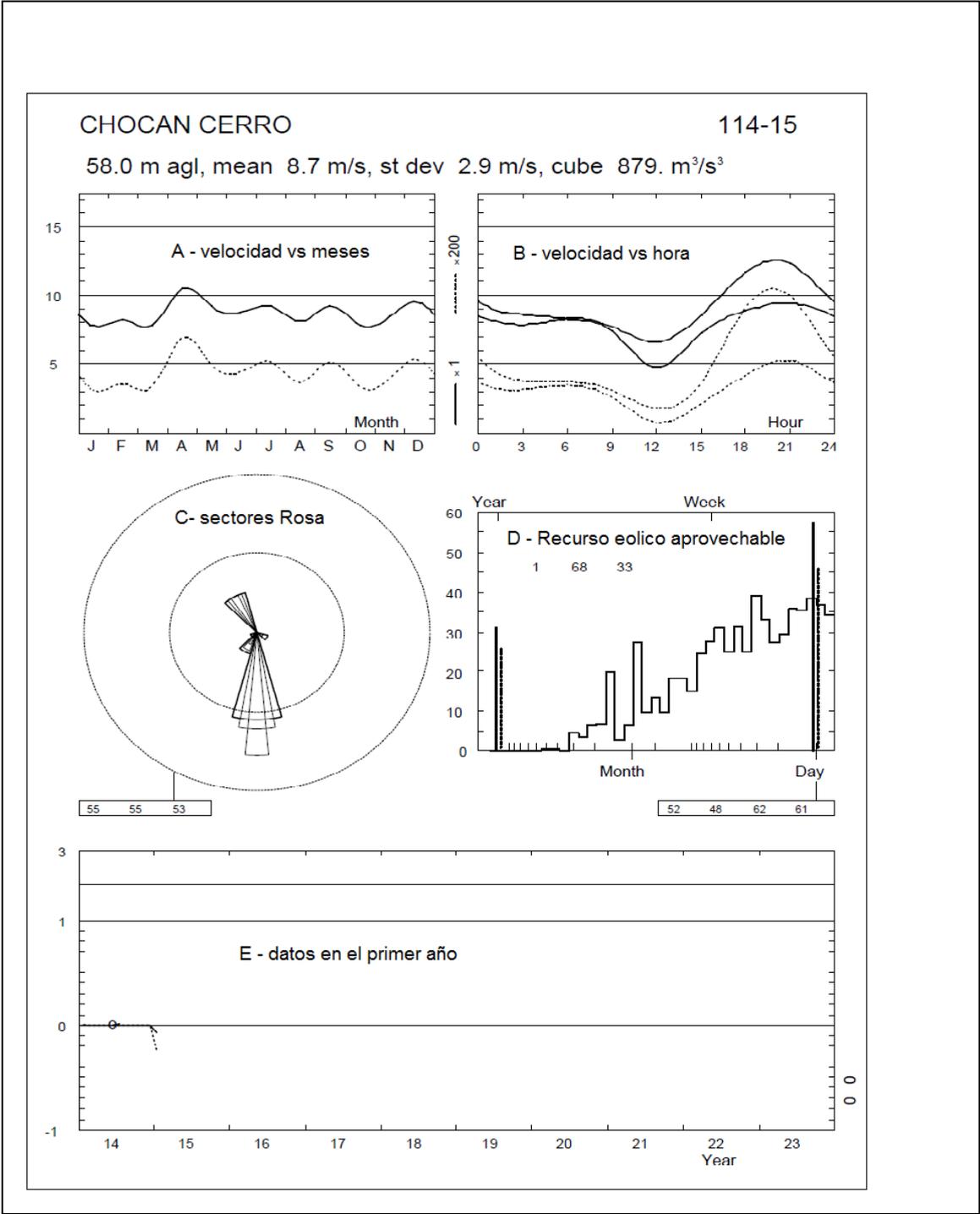


Figura 4.19 Huella Digital Climatologica a 58m – Fuente WASP

4.6.- Potencial Eólico de la zona de Estudio

Utilizando los valores del factor de forma k y el factor de escala c, obtenidos y presentados en la Tabla. 4.9, se determinó el potencial eólico.

Estación - emplazamiento	Factor de forma k	Factor de escala A=c (m/s)
Cerro Chocan	3,02	9,6

Tabla 4.9.- Factor de forma y Factor de escala para la zona de estudio

El factor de escala A=c (m/s) indica un error de la velocidad promedio del lugar de estudio, y el factor de forma k es un índice de dispersión de los datos y la frecuencia con la que se presenta la velocidad promedio (Anderson, 2013). Se determina la velocidad promedio del viento en el lugar de estudio que es 8,6 m/s (según WASP).

Utilizando la ecuación general de Potencia, se determina el potencial eólico (Fajardo-díaz,2010).

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 r^2 \pi$$

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

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

El valor z es el valor de la altura en msnm, es 202 m, y T es la temperatura promedio en °C, que es de 25 °C, donde se obtiene:

$$\rho = 1.155 \frac{Kg}{m^3}$$

De las características técnicas del generador VESTAS

$$Potencial\ eolico = \frac{1}{2} * 1.155 \frac{Kg}{m^3} * \left(8,6 \frac{m}{s} \right)^3 * (44m)^2 * \pi$$

$$Potencial\ eolico = 2.15MW$$

Capítulo 5

Resultados y Conclusiones

El utilizar herramientas de modelación del flujo de viento (software WAsP) en un emplazamiento seleccionado, permite realizar la evaluación del potencial eólico considerando parámetros que simulan el ambiente casi real de trabajo de los aerogeneradores y obtener resultados más confiables para llevar a cabo su instalación.

Se logró comprobar que el emplazamiento seleccionado tiene un alto potencial eólico, el cual debe de ser utilizado para la generación de energía eléctrica, beneficiando principalmente a la Región Norte del Perú y al País en general.

El análisis de la variabilidad del viento es de gran importancia debido a que la potencia varía con el cubo de la velocidad del viento, por lo tanto un error del 6 % en el pronóstico del viento conlleva un error del orden del 19 % en la potencia producida.

Es muy importante tener en cuenta el factor de carga o factor de capacidad de la planta, ya que este valor es una medida del aprovechamiento de la energía disponible en el emplazamiento. Si bien, al aumentar la altura del buje del aerogenerador se consigue aumentar la velocidad media del viento y como consecuencia aumentar la producción de energía anual, no siempre se optará por utilizar una torre de mayor altura a no ser que la diferencia del factor de carga sea del 10 %.

La Región Piura cuenta con un alto potencial eólico disponible, el cuál debe de ser utilizado para la generación de energía eléctrica, permitiendo que muchas zonas rurales tengan acceso a la energía eléctrica.

El incremento de la demanda eléctrica debido al crecimiento económico en la Región Piura, podrá ser cubierto por grandes parques eólicos como sistemas de generación de electricidad.

El desarrollo de parques eólicos en la Región Piura contribuirá significativamente al desarrollo del País y tendrá un alcance mundial al contribuir con la producción de energía de manera responsable con el medio ambiente para los próximos años.

El sistema interconectado nacional deberá mejorar su capacidad y prestaciones con la construcción de líneas de 500kV, cuya capacidad de conducción es casi diez veces mayor que las tradicionales líneas de 220kV, reduciendo notablemente la pérdida de energía y, por ende su costo de transporte.

La metodología utilizada en el presente trabajo permite evaluar el recurso eólico disponible para cualquier zona en estudio.

- Las simulaciones realizadas muestran que es posible generar electricidad a partir del viento para el departamento de Piura en mediana y gran escala, inclusive para aerogeneradores pequeños de 5 a 20 kW.
- El sector con mayor distribución de frecuencias es el sector 9 (en la dirección Sur 180°) con 22.7%, el cual representa una velocidad de 2.4 m/s y una densidad de potencia de 11W/m². Esto quiere decir que existe 11 W por cada m² de sección de superficie de barrido del rotor pudiendo variar la longitud de las palas para incrementar la potencia del área de barrido
- La velocidad promedio es de 8.7 m/s y una densidad de potencia promedio de 540 W/m².
- La velocidad de medición no tiene grandes variaciones con respecto a la distribución de Weibull y el factor k.

Con respecto a la Huella digital climatológica (Figura 4.19) tenemos los siguientes resultados y conclusiones

- La densidad de potencia es $540W/m^2$ con una desviación estándar de $2.9m/s$ y una velocidad promedio anual de $8.7 m/s$. Esto quiere decir que durante el año, la velocidad v estará entre $5.8m/s \leq v \leq 11.6m/s$.
- De acuerdo a la gráfica B muestra que existe un buen recurso eólico y constante por 7 horas continuas a $8.7 m/s$ y luego baja y en horas de la tarde el aprovechamiento es menor en relación a lo que se tiene en la madrugada, al mediodía baja hasta los $4.8m/s$ y luego comienza a subir en horas de la tarde y en la noche hasta alcanzar un máximo de casi $10m/s$. Por esta razón no se recomienda usar aerogeneradores de más de $100m$ de diámetro (Se podría usar un VESTAS V80 de $1.5MW$ o de $1.2MW$, comparando con el parque eólico de Talara el cual tiene un viento constante por casi más de 15 horas al día y además usa aerogeneradores de más dimensiones con respecto al propuesto.
- Con respecto al emplazamiento, la dirección del viento (Rosa de vientos) se observa en la gráfica C, el cual muestra que de los doce sectores, el sector predominante es el sector SUR con una probabilidad del 55%, por lo que los generadores deben estar ubicados de tal manera que los alabes estén mirando en dirección opuesta es decir al norte. La dirección nor - oeste su proporción es pequeña.
- Aproximadamente el 34% están en valores que llegan al 68% de recursos aprovechables, quiere decir que el capacity factor que podrá alcanzar de 33 a 34 % es cual es un valor muy bueno para el parque eólico. Para efectos de comparación, Talara está con un capacity factor del 60% al año; Cupisnique tiene un capacity factor de 52%.
En el 4to mes (abril) tengo el 68% de capacity factor quiere decir que el 68% de las horas del mes de abril tendré viento para producir electricidad. En el mes de Junio se tiene el 33%. En el mes de Diciembre casi 30% a menos. En resumen tres meses son muy buenos. En cuanto a días, de los 365 días tendré entre 48 a 62 días con capacity factor encima del 40%.
- en la última grafica muestra las variaciones porcentuales de viento de una año respecto a otro. Cada espacio es de 0.2 % de error de \pm de 0.2 a 0,3 de variación anual con datos de más años (antes y después de la operación)

Recomendaciones y Sugerencias

- Es necesario contar con un registro de datos de las velocidades y direcciones del viento con el mayor número de años posible, no menor a 5 años. Así como también es necesario representar la variabilidad del viento de manera clara y ordenada haciendo uso de: tablas de distribución de frecuencias de la velocidad del viento, rosa de vientos y mapas del recurso del viento; facilitando la interpretación de los datos que permita determinar la ubicación adecuada de los aerogeneradores tal que se logre obtener el mejor aprovechamiento de la energía disponible en el viento.
- Se propone utilizar el Software de comportamiento eólico WAsP y Weibull como herramienta de modelamiento y simulación en el diseño de parques eólicos a nivel de Segunda Especialización y Maestría en Energías Renovables a todas la Universidades que imparten esta área de formación.
- Se recomienda implementar un programa de capacitación y transferencia tecnológica entre la Universidad Nacional de Ingeniería y las empresas generadoras de electricidad Eólica y Solar que ya están trabajando en nuestro país, con el fin de tener el soporte tecnológico para resolver nuestros problemas a nivel nacional para bienestar de la matriz energética en cuanto a energías renovables.
- Se presenta este trabajo con fines de investigación y uso adecuado de los datos para impartirlos en los cursos de Energía Eólica a nivel de Segunda especialidad y/o Maestría.
- Para compartir este trabajo se presenta en formato digital los datos *.txt dentro de la carpeta WINDATA así como se deja los instaladores de los programas WAsP, Weibull , los cálculos y graficas realizadas en Excel.

Bibliografía

- [1] Roberty Luis A. “Factibilidad Técnica y Económica de Generadores eólicos como Fuente Alternativa de Energía”, Ier Congreso Iberoamericano Estudiantes de Ingeniería Eléctrica, I CIBELEC, Mérida 2004.
- [2] Informe anual 2014 presentado por el ministerio de Energía y Minas del Perú.
- [3] Pagina web de SICOES:
<http://sicoes.coes.org.pe/apppublico/FichaTecnica/FichaTecnica>
- [4] ROADSTRUM, William. Ingeniería eléctrica para todos los ingenieros. 1999
- [5] Carta G. J., Calero, P. R. “Centrales de Energías Renovables, Generación eléctrica con energías renovables”, Pearson Educación, Madrid, (2009).
- [6] Evaluación de los recursos Eólico y Solar en la ciudad de Juliaca de la Región de Puno – Tesina UNI 2015 por José Quiñonez Choquecota.
- [7] RetScreen International – Pagina web: http://www.retscreen.net/ang/d_t_info.php
- [8] Fuente: Cortesia de laboratorio de fisica UDEP
- [9] Fuente: Google Earth
- [10] DELGADO, José P. La energía eólica en la región autónoma de Murcia 2000. 91 p.
- [11] MUKUND, Patel. Wind and solar power system
- [12] EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO PARA UN EMPLAZAMIENTO SELECCIONADO EN LA REGIÓN PIURA UTILIZANDO GH WIND FARMAER – Tesis Facultad de Ingeniería UDEP Israel Dioses Apón, Piura, mayo de 2013
- [13] Villarubia, Miguel (2004). Energía eólica. 1º ed. España: Ediciones Ceac
- [14] Garrad Hassan, Wind Farmer 4.2, Theory manual. Wind farm design software.
- [15] WIND POWER TECHNOLOGY by JOSHUA EARNEST

Manuales Mapas y Anexos

MAPA DE UBICACIÓN DE PROYECTOS ENERGIA EOLICA



Principales Proyectos evaluados para generación eléctrica (algunos están en etapa de toma de datos y otros en expansión)



Figura 1: Fotografía del sensor del anemómetro UNI



Figura 2 – Estación CER UNP - PIURA

Velocidad del Viento (m/s) - ENERO

Día	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
1	8.4833	8.9	7.4	7.7	9.5	10.0	10.3	9.6	8.2	6.6	4.7	4.3	5.7	6.4	6.9	6.6	7.6	9.9	12.4	12.5	12.6	11.5	9.9	8.4
2	8.1	8.6	8.0	7.1	9.1	8.0	9.9	10.1	10.8	10.0	7.4	6.5	7.9	7.6	8.2	8.5	9.0	8.9	7.6	7.4	10.7	10.0	11.3	11.1
3	9.8	9.9	9.3	6.2	7.6	9.4	5.5	6.3	9.8	9.1	7.4	5.8	6.5	6.0	6.0	5.9	6.5	8.1	11.0	12.3	12.1	11.2	10.5	9.3
4	9.0	9.7	10.4	10.2	9.9	9.4	9.0	10.2	10.3	8.3	6.5	5.8	5.1	6.0	7.2	7.7	8.8	10.0	9.3	9.4	10.4	9.3	7.5	7.3
5	7.7	7.6	6.5	8.0	9.8	7.9	6.9	5.8	5.8	7.2	7.0	6.3	5.7	5.2	6.7	7.5	8.3	9.0	9.2	10.0	6.0	6.4	7.3	3.9
6	4.3	4.6	3.7	3.2	3.4	4.4	4.4	5.3	4.0	4.7	5.1	3.8	3.8	5.3	6.9	7.9	8.0	9.3	9.7	11.1	10.3	9.5	8.4	7.6
7	5.5	6.7	7.8	6.5	5.6	4.5	2.5	1.4	1.5	2.2	1.8	2.6	2.3	3.8	5.4	4.8	4.1	3.7	3.5	2.4	0.9	1.5	3.4	4.2
8	2.6	3.2	5.4	5.3	5.4	6.0	6.5	5.2	4.8	3.8	3.2	2.6	2.0	3.8	5.4	7.3	6.7	6.5	7.3	6.8	9.9	8.3	7.0	7.3
9	8.1	9.7	10.3	9.9	9.0	6.9	6.0	5.8	5.2	4.7	4.0	3.8	4.1	5.1	6.7	7.4	7.3	7.5	6.5	6.6	4.8	4.7	4.9	3.8
10	4.8	3.7	3.4	5.6	5.1	5.0	6.4	7.6	6.4	5.5	5.2	4.7	4.2	4.4	4.8	6.2	6.4	7.9	9.5	8.9	7.3	6.8	7.8	9.0
11	10.6	10.2	10.5	9.6	9.3	8.6	8.9	9.6	10.5	9.7	7.0	5.7	5.4	5.3	6.1	8.0	7.9	7.5	6.4	6.6	9.3	9.3	10.0	9.2
12	9.5	8.1	8.4	6.0	5.4	7.4	9.4	8.7	7.7	7.1	5.7	4.8	5.3	5.3	6.7	7.6	8.0	8.7	8.3	6.0	7.4	7.5	7.5	7.0
13	7.8	8.2	8.3	8.8	8.9	9.5	10.3	10.6	9.4	7.3	5.5	4.1	4.4	4.7	5.8	6.8	7.5	8.0	7.7	6.5	7.9	6.7	6.6	6.6
14	7.3	7.5	6.9	7.4	8.3	8.3	7.9	7.1	5.9	4.9	3.3	3.7	4.8	4.9	7.2	8.2	9.5	10.1	8.4	5.2	4.3	5.6	6.1	3.4
15	4.4	5.2	7.2	3.2	5.5	6.9	5.2	7.5	7.1	6.5	5.2	4.7	4.1	4.3	4.9	6.5	7.8	7.6	8.1	5.8	5.7	6.2	6.0	7.0
16	6.9	2.7	3.4	3.6	3.4	4.6	4.3	2.7	3.7	4.2	3.3	3.3	3.7	4.9	5.0	6.0	5.5	6.4	7.1	7.2	7.7	7.8	8.3	9.1
17	8.1	9.1	9.4	8.9	10.1	10.1	9.4	9.4	9.3	8.6	7.9	6.9	5.3	4.5	5.0	5.9	6.9	8.3	11.5	12.8	12.2	11.5	11.2	10.1
18	9.8	5.1	5.2	4.9	8.0	10.4	7.3	5.0	6.1	7.5	7.4	6.4	6.4	5.8	6.2	7.1	7.8	10.2	13.9	13.3	12.5	12.6	10.0	11.2
19	11.3	4.8	4.8	4.4	4.8	4.1	3.9	3.7	4.4	6.6	7.1	5.7	5.8	5.8	6.7	9.0	9.6	9.7	9.9	8.7	11.1	10.5	9.0	7.6
20	5.3	2.6	2.5	2.6	2.7	2.6	2.8	3.9	5.5	6.1	4.7	3.1	2.2	4.1	6.3	6.6	7.2	9.5	11.4	11.1	11.3	11.2	11.0	10.0
21	9.9	9.0	8.5	8.1	7.4	8.2	7.3	7.7	7.9	5.8	4.0	3.4	2.7	3.3	6.3	7.3	6.5	6.6	7.2	9.8	11.5	10.6	9.5	8.8
22	8.7	7.8	7.8	7.2	7.4	7.6	6.9	7.8	7.0	6.1	4.1	3.1	1.9	3.1	5.1	6.5	6.2	5.6	6.3	10.5	9.9	9.7	9.6	9.1
23	8.3	8.0	7.70	8.1	8.8	7.9	9.0	9.3	8.5	7.6	7.1	5.6	3.4	4.1	4.3	5.1	5.2	5.1	8.2	11.0	11.6	11.3	10.9	8.8
24	8.9	9.5	9.5	9.3	6.2	6.7	9.0	8.1	5.9	3.9	4.8	4.6	4.0	3.8	5.8	7.0	6.6	7.8	8.4	11.2	12.7	10.7	11.3	11.2
25	11.0	12.9	13.3	14.7	14.8	12.9	12.4	10.4	8.9	7.1	6.7	6.5	8.0	8.7	8.1	8.4	8.5	8.7	8.9	9.1	10.3	9.6	9.9	9.4
26	9.0	8.1	8.4	9.6	9.0	8.2	8.5	9.5	9.1	7.7	5.2	2.8	2.1	2.9	6.6	8.5	8.3	7.6	6.1	6.3	7.3	7.3	7.4	8.5
27	8.8	8.7	8.4	8.5	7.7	7.2	7.6	8.9	7.8	7.7	6.0	3.9	5.3	5.3	5.1	6.4	6.5	6.1	6.4	6.7	6.4	6.2	6.0	8.0
28	8.8	8.5	10.0	10.3	10.3	9.7	9.0	9.2	10.2	7.8	6.1	6.2	5.9	7.0	8.2	8.2	9.3	8.9	7.9	6.0	5.9	5.9	6.1	6.2
29	6.1	6.3	8.0	9.2	9.5	10.2	10.7	10.0	8.5	7.2	5.6	4.1	3.9	3.2	5.5	6.0	5.1	4.3	4.8	4.7	7.6	7.5	7.8	7.8
30	7.3	7.4	6.8	6.3	6.2	6.8	6.9	6.4	4.7	3.4	1.9	1.9	3.5	5.1	5.5	7.0	6.9	6.5	5.1	5.6	7.6	8.2	9.0	8.8
31	8.5	8.4	9.0	9.0	8.4	7.8	7.2	6.8	5.6	5.4	5.1	4.8	4.7	5.4	6.1	6.3	7.5	9.1	10.4	11.1	10.8	9.6	9.7	8.3
Velocidad media por hora	7.9	7.4	7.6	7.4	7.6	7.6	7.5	7.4	7.1	6.5	5.3	4.5	4.5	5.0	6.1	7.0	7.3	7.8	8.3	8.5	8.9	8.5	8.4	8.0

Velocidad del Viento (m/s) - FEBRERO

Día	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
1	8.0	9.1	9.4	10.2	10.9	10.9	10.2	10.0	10.5	9.4	10.2	9.7	9.2	10.0	11.1	13.0	12.9	12.3	10.9	9.6	11.1	12.7	13.8	13.4
2	13.2	13.0	14.1	14.6	12.3	7.4	5.0	6.8	8.0	8.6	8.7	7.7	6.6	7.0	7.6	8.3	8.6	9.4	8.3	8.9	9.9	9.7	8.3	9.1
3	8.9	8.9	9.1	8.9	9.3	9.1	8.1	6.8	8.1	6.7	3.8	2.6	2.8	3.6	6.5	6.9	7.4	7.0	5.4	5.5	7.0	6.9	7.8	7.9
4	7.3	6.9	7.2	7.6	6.7	7.7	6.8	6.6	6.5	5.8	4.0	1.8	2.2	2.9	8.1	7.8	6.7	6.8	5.3	6.1	8.2	8.8	8.3	8.3
5	8.1	8.3	9.2	9.6	9.5	9.7	9.6	9.4	7.3	6.5	5.1	3.3	2.9	3.2	6.5	7.5	7.0	6.1	5.2	6.7	8.9	10.0	10.8	10.8
6	10.5	10.4	9.3	8.7	6.6	7.0	9.5	10.9	9.4	9.0	7.3	5.0	5.1	6.6	7.4	7.9	8.6	8.8	9.3	9.5	6.5	9.3	10.3	9.9
7	8.6	7.1	8.7	10.1	8.7	6.7	5.0	6.8	6.5	6.9	5.4	5.1	5.3	5.3	6.1	7.3	7.3	7.0	7.7	11.1	12.8	11.1	7.7	7.9
8	9.2	8.2	8.1	7.6	9.6	10.3	8.5	9.5	9.1	8.9	7.2	5.9	4.9	7.2	7.1	7.9	8.1	8.9	8.5	9.5	10.3	10.2	10.0	9.2
9	8.9	8.2	7.7	7.7	9.0	9.9	8.9	9.8	9.0	7.0	5.5	4.7	4.8	5.3	5.8	6.3	6.8	7.4	8.2	5.7	6.5	8.1	8.3	9.8
10	8.8	10.3	10.0	9.6	10.2	11.1	11.1	10.6	10.2	9.6	8.0	6.1	6.2	5.8	6.9	6.8	7.5	8.5	10.2	11.2	11.4	8.3	7.3	9.2
11	10.5	10.8	9.7	8.4	11.2	11.4	12.0	11.7	8.4	9.2	7.4	6.5	7.2	8.0	8.3	8.3	8.5	11.1	12.7	13.4	13.0	11.1	10.4	9.5
12	8.5	8.3	7.6	6.4	7.2	9.2	9.9	10.1	10.0	8.8	6.9	6.0	5.3	6.3	8.7	8.4	8.8	9.8	11.7	12.8	12.5	11.5	10.8	10.8
13	9.6	9.4	9.5	8.1	8.3	8.4	8.5	8.8	8.7	7.5	6.7	5.6	4.2	4.4	6.6	6.8	7.2	7.4	9.1	10.6	9.8	10.0	9.7	9.4
14	8.9	8.1	7.5	7.8	8.5	10.0	10.7	10.7	9.0	7.1	5.3	4.9	4.4	4.9	5.8	6.1	6.1	7.0	7.6	9.6	9.1	9.6	8.9	8.1
15	7.5	8.7	8.5	8.5	8.7	9.6	9.6	9.3	9.4	8.9	6.3	3.8	3.4	3.1	5.5	6.8	6.7	5.7	6.0	6.9	9.3	9.2	9.1	8.6
16	7.7	7.6	6.7	6.2	5.8	5.5	6.7	6.6	6.5	6.4	4.3	2.8	2.9	4.1	5.3	5.7	5.8	5.5	7.8	10.0	9.5	10.3	10.5	11.2
17	11.0	10.7	10.9	10.5	10.0	9.1	8.2	6.6	9.2	8.8	6.9	4.7	4.0	4.4	5.2	6.6	7.0	6.6	10.0	11.4	11.6	10.6	10.8	11.3
18	11.4	7.7	5.4	9.8	10.8	11.4	10.4	10.5	10.7	9.8	8.1	7.3	6.3	4.8	4.5	4.4	5.6	5.4	6.8	10.1	11.5	8.2	10.0	10.4
19	10.7	11.4	10.2	10.1	10.3	11.1	11.5	10.5	8.6	6.3	4.3	3.2	4.0	6.1	6.8	6.5	6.2	5.5	6.9	9.4	9.8	10.9	10.7	10.1
20	8.8	8.4	7.9	7.7	7.8	7.8	6.4	6.3	6.5	6.0	4.3	4.1	3.0	2.9	3.5	4.0	3.2	4.2	6.6	6.3	7.2	9.0	9.3	8.8
21	8.2	8.2	7.5	6.6	6.7	6.7	7.1	6.3	5.8	4.5	4.6	3.6	3.3	3.5	3.2	4.1	5.6	5.0	6.4	11.0	11.0	10.7	9.9	9.8
22	8.9	7.1	7.8	8.9	9.0	9.0	9.1	9.6	8.8	7.8	6.3	4.6	4.9	5.2	5.5	7.3	8.3	9.4	13.1	13.1	12.3	10.7	9.8	9.3
23	9.0	8.3	6.4	5.4	7.8	7.8	9.1	8.4	8.1	6.5	4.3	3.8	2.9	3.9	5.5	6.4	8.0	7.9	6.1	4.0	3.2	3.0	3.4	4.9
24	5.9	5.7	5.4	4.5	5.3	5.8	6.1	6.1	5.7	4.7	4.8	2.8	2.2	3.0	5.7	7.2	6.5	7.3	6.6	5.8	6.5	5.8	7.3	7.2
25	7.3	6.2	4.2	3.1	4.0	3.6	3.2	4.3	2.0	2.6	2.4	2.0	2.0	2.8	5.0	4.7	4.6	4.5	4.2	7.5	9.2	9.8	9.3	8.4
26	7.6	6.6	6.4	2.1	2.5	4.2	6.0	5.6	6.0	5.3	3.4	2.5	3.0	6.7	7.5	9.2	8.9	7.8	6.3	5.6	8.2	6.9	7.1	7.0
27	7.5	6.9	6.7	7.3	8.4	8.6	7.7	8.6	6.6	5.0	3.5	3.2	3.9	4.7	5.3	7.2	8.2	6.9	6.1	5.4	3.4	3.2	3.7	5.1
28	4.8	6.0	6.6	6.3	7.5	7.2	6.9	5.6	4.5	2.8	2.1	2.2	4.3	6.8	7.1	6.6	6.5	7.0	5.3	6.2	8.6	8.3	7.1	6.6
Velocidad media por hora	8.8	8.4	8.1	7.9	8.3	8.4	8.3	8.3	7.8	7.0	5.6	4.5	4.3	5.1	6.4	7.0	7.2	7.4	7.8	8.7	9.2	9.1	8.9	9.0

Velocidad del Viento (m/s) - MARZO

Día	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
1	6.6	5.8	5.2	4.6	4.7	3.8	3.5	3.5	4.1	3.9	3.2	2.3	1.5	4.4	5.4	7.1	6.8	7.4	5.3	4.7	6.6	6.6	7.0	6.7
2	7.5	8.1	7.8	7.6	7.7	7.4	7.2	6.9	5.5	5.2	5.1	3.9	3.9	4.4	6.2	7.7	7.9	8.0	7.5	8.7	7.7	6.6	6.3	5.1
3	5.2	5.6	7.2	8.8	9.6	10.0	9.0	8.6	6.8	5.0	4.4	4.1	4.1	6.3	7.1	7.5	8.3	8.4	7.4	8.6	9.6	10.8	11.0	10.1
4	9.6	9.5	10.6	10.2	10.2	10.9	9.3	8.3	8.2	7.1	4.8	3.8	4.0	5.1	5.5	5.6	5.7	5.2	5.1	5.7	6.0	7.7	7.3	7.0
5	5.6	6.0	6.3	7.0	6.3	6.6	6.8	6.2	4.7	4.1	2.2	2.8	4.2	6.0	7.2	7.3	7.9	8.5	7.2	6.4	5.1	6.6	5.7	6.0
6	6.2	6.2	6.2	6.4	6.5	5.8	4.5	3.6	4.7	3.7	1.9	2.0	3.5	6.3	6.0	6.6	7.4	6.7	5.8	7.2	7.6	7.7	8.8	8.9
7	8.9	9.0	8.9	9.0	10.0	10.5	6.5	4.1	4.3	4.0	2.9	2.7	3.3	4.7	5.6	8.0	8.7	6.8	6.8	5.6	5.6	8.9	5.1	6.2
8	5.5	4.8	5.2	4.8	5.3	6.3	7.0	8.1	8.1	6.4	4.2	3.0	4.5	3.8	5.3	5.8	5.6	4.6	6.1	6.9	6.0	5.7	5.9	4.8
9	5.6	7.4	7.4	6.8	5.6	4.6	4.3	4.6	4.7	4.4	2.8	2.6	2.1	6.5	5.3	6.3	6.7	7.1	6.1	5.2	5.9	5.7	5.6	4.8
10	3.9	2.8	3.4	4.4	5.0	4.5	4.8	4.3	3.8	3.2	2.2	1.9	3.1	6.3	7.3	7.8	7.8	7.6	7.1	7.5	8.8	7.1	7.2	6.2
11	6.8	8.1	8.7	8.5	6.9	5.8	5.6	4.5	4.3	4.8	5.1	4.3	5.0	5.5	5.6	6.7	7.0	8.0	7.8	8.0	5.5	7.1	8.9	7.8
12	7.5	9.0	10.3	9.0	9.0	7.7	7.4	6.6	5.8	5.7	5.0	4.6	3.8	4.5	5.1	5.0	4.5	7.0	10.1	10.3	11.8	9.9	10.1	10.4
13	9.4	9.3	9.4	10.1	9.6	8.6	8.1	8.7	7.2	6.5	5.5	4.5	3.7	4.2	5.9	5.4	5.2	5.9	7.8	9.4	9.3	10.1	8.3	7.5
14	7.8	7.4	8.7	10.2	9.5	9.4	9.1	8.7	8.2	7.3	5.2	4.0	3.3	5.2	6.5	7.9	8.4	8.6	9.5	11.9	10.5	12.3	12.2	12.8
15	12.0	11.1	10.8	11.2	11.8	12.3	12.2	6.1	9.6	7.9	6.3	4.8	4.7	4.6	4.8	5.8	5.7	6.6	6.4	6.1	8.4	7.7	8.9	9.0
16	8.9	9.2	10.1	10.1	9.9	10.3	9.7	8.6	8.4	7.6	6.0	4.8	4.8	5.2	5.5	6.1	7.5	7.7	8.8	9.8	9.7	7.7	8.2	8.0
17	8.4	7.8	7.0	5.9	7.0	7.2	7.5	7.3	6.4	4.5	4.6	4.6	4.3	6.2	6.6	7.5	10.8	10.9	10.6	11.1	11.4	11.6	13.0	13.5
18	13.5	13.2	11.2	10.6	9.9	10.0	9.2	9.6	9.6	10.1	8.6	5.9	5.2	4.9	5.2	5.4	5.4	5.2	7.0	8.2	8.2	7.8	8.0	8.0
19	8.6	8.5	8.9	9.4	9.9	10.4	10.8	10.6	9.4	8.8	7.2	5.6	6.5	6.1	5.8	6.4	7.9	12.2	12.2	11.1	9.6	11.0	10.1	10.4
20	10.0	9.7	9.7	8.6	8.8	10.2	10.7	9.5	7.6	5.5	4.4	2.6	4.0	5.2	5.8	6.1	6.3	10.1	11.8	11.9	10.3	9.2	9.6	8.0
21	7.7	7.3	6.3	5.6	6.6	7.5	9.6	10.9	10.2	7.9	5.2	2.6	2.6	4.1	4.3	6.1	6.0	5.7	5.9	4.9	3.8	4.2	4.4	4.5
22	4.7	3.9	4.9	4.0	4.8	6.7	7.6	7.9	6.6	4.8	4.3	4.0	3.3	3.7	5.9	7.3	8.0	13.0	13.5	14.0	12.6	10.8	8.8	6.7
23	8.8	10.9	11.6	12.4	12.4	13.1	13.3	13.0	12.3	11.0	8.6	5.9	4.3	3.5	4.0	5.6	6.1	7.1	9.0	9.5	9.0	9.8	11.1	10.9
24	10.7	9.9	9.4	9.1	8.9	7.9	7.3	6.7	7.4	7.5	5.9	4.5	5.6	7.0	8.3	6.4	5.1	5.7	6.7	5.0	3.3	6.3	6.4	6.7
25	5.6	4.3	3.6	4.0	4.6	4.8	5.1	5.6	5.7	5.4	4.0	3.4	4.2	4.8	5.7	9.6	10.9	11.6	12.9	12.7	10.8	9.8	8.6	8.4
26	8.8	7.4	6.5	7.4	8.1	6.5	4.9	4.8	4.0	2.9	3.0	1.6	3.4	5.8	6.1	5.7	4.9	4.5	3.6	3.7	7.3	7.7	8.1	8.6
27	9.1	8.7	8.3	8.9	10.7	11.4	11.4	11.1	10.1	8.7	6.0	4.7	4.6	5.9	7.3	7.8	9.3	10.5	10.8	7.8	10.9	8.7	7.0	7.9
28	10.3	10.6	11.1	11.2	12.9	13.2	14.1	12.9	11.9	10.8	8.8	7.1	8.1	10.9	12.8	13.5	14.7	14.6	14.7	13.6	14.0	13.7	13.2	11.6
29	11.5	10.8	9.8	11.4	11.3	11.8	13.3	13.3	12.8	10.7	8.4	5.5	5.5	7.2	8.6	8.8	7.0	6.3	7.4	9.9	9.9	10.2	9.9	10.4
30	9.3	8.8	9.2	9.2	9.1	10.0	10.8	9.3	6.9	5.7	5.8	3.5	2.3	1.9	7.4	7.2	7.6	6.6	6.2	6.3	7.2	5.9	6.8	7.6
31	7.6	6.9	6.1	6.5	7.5	9.2	11.3	11.6	8.2	4.8	3.9	2.9	2.5	4.9	6.6	7.2	6.7	7.1	8.5	11.0	10.0	11.6	11.0	11.3
Velocidad media por hora	8.1	8.0	8.1	8.1	8.4	8.5	8.4	7.9	7.3	6.3	5.0	3.9	4.1	5.3	6.3	7.0	7.3	7.9	8.2	8.5	8.5	8.6	8.5	8.24

Velocidad del Viento (m/s) - ABRIL

Día	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
1	12.37	11.8	11.78	11.47	12.38	12.77	13.37	12.72	9.63	7.55	6.27	5.7	6.78	8.25	8.8	9.18	9.95	12.57	14.03	15.78	13.2	9.62	8.22	7.83
2	7.05	7.32	8.68	9.75	9.25	7.12	6.9	7.48	8.78	8.95	7.98	5.7	5.65	6.75	7.72	10.22	11.58	12.23	13.48	14.03	14	12.95	12.32	12.58
3	12.22	12.25	12.12	11.05	10.95	12.35	14.18	12.77	12.13	11.05	10	8.43	8.97	9.12	9.73	10.97	13.42	15.5	15.03	13.87	11.63	11.97	12.42	12.47
4	12.67	13.07	12.63	12.65	13.37	14.33	13.6	11.85	11.1	9.08	7.77	5.9	6.13	6.5	7.57	8.92	11.13	11.52	13.07	13.4	14.07	13.85	13.58	13.53
5	14	14.13	13.73	14.7	15.35	14.78	14.22	13.52	12.37	11.77	9.87	8.5	7.67	8.72	10.15	10.65	12.3	12.97	14.33	15.1	14.8	14.22	14	14.33
6	14.2	14.83	15.03	14.8	14.95	15	13.43	12.27	11.18	11.03	10.08	9.6	9.73	10.02	11.17	11.63	12.52	14.05	14.48	14.67	14.2	14.28	13.63	13.8
7	13.43	12.98	13.27	12.08	10.92	11.82	11.47	11.23	11.02	9.55	8.62	7.68	7.65	9.12	10.7	11.68	13.12	14.33	15.17	14.65	14.08	14.28	13.3	12.68
8	12.2	12.33	13.3	14.17	13.33	12.42	12.6	11.77	10.07	8.9	6.6	5.13	5.28	6.42	7.27	8.12	10.72	13.2	13.98	14.58	14.03	13.58	13.25	14.57
9	14.42	14.17	13.83	13.48	13.03	12.53	12.18	11.38	8.72	7.47	6.62	6.1	5.63	7	7.55	7.62	9.4	11.9	12.98	14.47	15	15.08	15.13	15.23
10	14.62	14.77	15.65	14.28	13.88	12.73	11.7	11.03	11.12	10.72	9.43	8.62	9.45	11.18	11.13	11.93	12.67	13.2	14.7	15.4	13.85	14.52	15.35	16.13
11	16.32	16.48	15.62	14.15	14.02	14.07	13.67	13.18	11.65	12.62	11.6	9.73	9.48	9.65	10.92	11.92	12.8	13.95	14.83	15.62	14.28	14.03	13.15	13.3
12	11.9	11.47	10.83	10.75	11.12	10.83	11.43	10.78	11.45	11.47	9.22	7.05	7.13	7.57	8.42	9.13	10.65	12.33	13.92	14.37	14.45	14.42	14.48	13.85
13	12.67	13.12	12.85	13.93	13.88	14.58	14.75	13.82	12.2	9.17	8.23	7.65	7.4	8.37	9.95	10.95	12.28	13.5	13.65	13.97	13.6	13.28	12.85	13.27
14	12.87	12.6	11.7	12.32	13.77	13.92	14	12.57	10.93	10.48	8.42	6.85	6.67	6.88	8.07	9.45	9.63	11	12.1	11.6	12.27	12.55	11.75	11.15
15	10.47	9.48	9.8	11.25	12.42	12.1	11.9	11.53	10.32	8.58	6.7	4.78	3.75	4.93	5.57	7.2	8.63	10.43	11.13	11.17	11.73	11.3	11.42	11.72
16	10.82	10.5	10	10.68	11.43	11.22	12.6	11.78	10.22	8.03	5.82	4.23	4.07	4.98	6.3	6.43	6.47	6.25	9.3	10.68	11.47	12.08	12.85	13.32
17	13.75	12.92	13.45	13.92	14.08	13.98	13.05	12.67	11.7	10.92	8.98	7.17	7.12	7.35	7.7	8.4	9.58	11.85	9.72	9.75	9.18	8.85	10.12	11.38
18	11.92	13.57	13.17	12.05	13.33	13.78	14.47	14.22	12.25	10.5	9.38	8.8	8.22	8.9	9.32	8.4	7.15	9.02	11.1	12.87	12.22	12.07	11.52	10.37
19	9.78	9.05	8.58	8.82	8.3	7.83	7.62	7.88	7.07	6.57	5.12	4.43	5.9	5.43	6.42	6.83	7.98	10.15	10.13	10.02	10.52	9.42	8.57	9.23
20	8.78	8.63	9.28	8.88	9.95	11.02	11.45	9.6	8.95	7.75	4.65	2.98	3.83	4.78	5.78	6.37	6.05	5.73	6.17	8.4	10.03	9.37	9.45	8.98
21	8.55	8.63	9.35	9.57	10.28	10.18	11.13	10.27	9	8	6.2	4.68	5.42	5.4	6.78	7.75	8.67	11.73	11.42	11.35	11.3	9.3	8.85	9.38
22	9.33	10.23	10.73	11.25	11.65	11.93	12.5	11.97	10.55	9.57	7.52	5.47	5.23	7.08	8.2	8.12	10.13	12.65	12.98	13.8	13.7	11.12	8.83	11
23	9.75	7.12	8.23	8.3	9.75	11.48	12.15	8.33	7.9	7.55	6.77	7.17	6.6	7	7.57	8.18	8.98	11.68	11.5	8.23	9.1	7.42	7	6.35
24	7.37	9.58	11.07	9.88	9.52	10.03	10.07	9.63	9.15	8.78	7.33	7.25	6.77	7.22	8.6	8.87	9.47	9.85	12.35	13.08	12.05	9.4	9.72	10.23
25	11.68	9.53	7.38	8.35	8.93	11.77	11.85	12.43	12.55	11.08	8.85	8.1	7.6	7	7.33	7.63	9	8.92	8.75	10.6	11.18	10.52	10.23	8.92
26	7.78	7.4	7.45	8.67	8.9	9.55	9.72	9.58	10.05	10.2	8.87	6.63	5.58	5.95	7.25	8.65	10.18	11.93	14.07	14.35	13.42	11.07	7.17	8.37
27	7.9	8.83	9.57	9.35	9.55	10.62	12	10.83	9.43	9.77	9.63	9.13	8.45	7.78	9.2	11.52	12.55	13.85	15.87	13.93	8.83	9.97	9.72	8
28	6.03	5.47	7.58	7.82	9.75	9.03	8.28	8.53	7.8	5.8	6.3	6.7	6.48	7.35	9.1	9.88	10.12	12.07	12.08	12.47	11.4	10.25	9.03	7.92
29	9.33	9.55	10.05	10.52	10.45	11.53	10.7	9.97	10.12	9.08	8.93	7.87	6.77	7.37	9.02	11.28	13.93	14.83	15.33	14.45	14.72	14.17	14.3	13.22
30	13.4	12.12	10.77	9.45	9.5	12.78	14.07	14.02	13.87	11.52	9.45	9.47	8.98	10.47	11.8	12.87	13.9	14.55	15.05	16.1	16.4	15.08	14.37	11.25
Velocidad media por hora	11.3	11.1	11.2	11.3	11.6	11.9	12.0	11.3	10.4	9.5	8.0	6.9	6.8	7.5	8.5	9.4	10.5	11.9	12.8	13.1	12.7	12.0	11.6	11.5

Velocidad del Viento (m/s) - MAYO

Día	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
1	7.7	6.0	3.9	3.9	4.5	3.7	5.1	6.6	7.5	7.1	5.7	4.2	4.1	4.7	6.0	8.8	11.6	11.7	12.3	11.9	10.4	11.0	11.0	10.9
2	10.3	9.5	6.9	8.7	10.1	11.3	11.2	10.3	10.3	9.5	7.5	6.5	6.2	6.2	7.4	7.6	7.9	7.9	8.4	9.4	8.5	9.2	8.7	9.2
3	8.9	7.5	7.0	8.9	10.0	11.2	12.4	12.0	11.1	11.8	10.8	7.2	4.9	4.4	4.9	7.6	11.1	12.1	13.4	13.3	12.3	12.2	12.7	9.6
4	8.0	8.7	9.4	9.6	10.0	8.0	6.9	7.4	6.1	7.1	9.0	7.9	6.2	5.1	6.8	9.6	10.2	13.4	14.1	13.8	13.8	11.5	10.1	9.4
5	11.7	11.1	10.2	9.1	11.4	11.7	11.3	11.2	10.4	9.1	7.5	6.2	7.0	7.5	8.5	10.9	13.1	14.4	14.5	13.2	11.2	9.9	9.3	10.0
6	9.7	9.4	9.2	9.4	8.8	9.2	8.7	8.8	8.4	8.2	7.3	5.2	4.5	5.6	7.3	7.6	7.6	8.8	12.6	13.1	12.3	11.1	12.1	11.2
7	10.2	9.0	7.7	7.5	7.8	8.7	8.5	7.1	8.6	8.7	7.5	7.8	8.1	8.0	8.3	8.6	11.7	12.5	13.2	13.1	13.3	12.4	10.9	9.5
8	8.7	8.3	7.9	8.4	7.8	7.8	7.9	9.9	9.2	8.4	7.4	5.8	4.6	3.5	4.5	6.1	7.2	7.0	11.7	12.8	12.5	12.0	10.8	10.3
9	9.6	8.9	7.7	7.7	8.2	7.9	8.4	8.5	7.8	7.3	6.0	5.0	4.3	5.0	6.1	8.5	10.2	12.3	13.8	14.4	13.6	13.0	10.8	9.4
10	8.9	8.1	6.6	7.3	7.4	7.6	5.2	6.6	6.8	6.9	5.9	4.5	4.0	4.8	6.1	6.4	9.0	10.5	8.7	10.0	10.8	8.6	7.1	5.4
11	4.6	4.0	3.7	3.8	4.0	4.8	6.0	6.7	6.9	5.9	4.0	3.3	5.2	6.3	7.7	8.5	10.2	9.7	7.4	6.7	7.5	8.4	8.3	7.9
12	7.7	6.5	7.8	8.8	9.2	8.7	8.3	8.8	9.0	7.8	5.6	3.6	4.9	6.0	8.5	10.7	14.0	16.3	15.2	14.7	15.3	15.5	15.3	15.2
13	15.3	15.0	15.5	15.2	14.9	13.8	11.8	11.6	9.6	9.0	8.5	8.8	8.7	8.7	8.7	8.7	9.1	8.2	8.2	8.5	7.3	6.0	6.4	4.7
14	5.2	4.5	5.2	5.7	5.7	5.6	7.3	6.3	4.4	4.6	5.8	6.1	5.9	7.9	7.8	7.6	8.1	8.1	10.1	11.0	10.9	10.5	10.0	10.4
15	11.3	11.2	11.1	10.3	9.4	8.4	8.1	7.7	8.6	7.2	5.4	4.5	4.8	6.8	8.7	11.2	13.4	13.8	13.4	13.2	10.8	8.5	7.9	7.8
16	7.0	6.9	7.5	8.5	7.1	5.3	4.8	5.3	6.6	7.7	7.7	8.1	7.3	6.8	6.6	7.1	8.0	10.5	12.1	11.6	10.8	11.2	11.1	11.1
17	10.3	9.7	9.7	9.6	9.2	9.3	9.6	9.3	9.4	9.5	9.2	7.5	7.3	7.5	9.5	9.8	9.6	10.4	11.6	12.5	12.1	10.8	9.7	10.5
18	11.8	10.9	8.5	8.0	8.8	8.6	6.8	7.2	9.5	9.6	8.8	8.6	6.9	7.4	8.0	8.2	10.5	12.2	14.1	13.8	13.1	13.2	11.5	7.4
19	9.9	6.0	4.2	5.3	5.4	5.8	6.1	9.5	9.1	8.3	6.5	4.8	4.7	5.8	6.8	8.0	9.4	10.9	12.6	12.1	10.8	8.9	10.2	10.9
20	11.3	10.8	10.7	10.1	9.7	8.5	6.4	6.3	6.4	4.6	4.2	4.9	4.9	4.9	5.5	6.3	6.3	6.1	6.4	7.7	8.5	7.3	5.5	5.8
21	5.8	5.6	5.4	7.4	8.5	8.2	8.2	7.9	7.1	7.3	6.9	6.4	5.0	4.4	4.3	3.7	3.6	4.3	5.4	8.5	12.3	13.6	14.3	14.4
22	13.4	12.3	9.1	8.9	7.9	6.7	6.4	7.9	9.3	9.7	10.1	8.4	6.2	4.5	5.4	7.2	8.3	9.5	8.9	7.8	7.7	8.7	11.4	11.6
23	11.7	10.9	9.9	6.2	5.1	6.5	6.9	7.8	6.5	6.0	6.4	6.1	5.9	6.8	8.0	9.8	10.7	12.9	13.1	12.6	13.2	14.0	14.0	13.1
24	10.0	10.7	10.0	8.5	8.5	7.9	7.1	6.6	7.0	7.2	6.9	7.7	8.5	10.0	11.2	11.4	11.0	10.7	11.0	11.5	12.3	12.1	11.6	10.7
25	10.3	9.9	11.5	9.7	8.3	9.7	9.9	8.9	8.4	7.6	6.4	5.9	6.9	6.8	7.4	9.6	10.8	12.0	11.0	11.0	10.2	9.2	8.9	8.9
26	9.2	10.1	10.8	10.9	11.3	10.2	8.6	6.8	7.0	6.5	5.8	4.7	5.6	5.8	6.2	6.9	7.1	6.8	6.6	7.1	8.3	7.9	9.3	9.4
27	9.1	8.7	8.6	7.9	7.8	8.1	8.9	8.0	6.3	4.7	3.8	3.4	3.0	5.2	6.3	6.2	6.0	6.9	8.4	7.9	6.9	5.2	6.8	4.7
28	4.4	5.5	5.2	5.3	6.2	6.4	7.1	6.8	6.0	6.8	6.7	7.4	6.7	6.8	6.6	6.6	6.0	5.9	6.3	8.0	10.4	10.7	11.3	11.4
29	10.6	9.1	8.3	8.0	7.7	7.7	9.0	8.7	7.1	5.4	5.1	5.3	5.5	5.1	5.0	6.0	7.8	10.9	10.9	9.8	11.6	12.6	13.1	11.9
30	11.3	11.4	10.2	10.2	9.4	9.6	10.4	10.3	9.3	9.0	9.2	9.3	10.4	11.0	10.4	10.5	11.7	12.6	13.2	14.2	14.2	12.4	13.0	13.5
31	11.6	9.8	9.7	10.2	10.8	10.3	10.0	10.2	10.7	11.0	8.3	6.2	4.8	4.8	5.3	6.5	7.5	7.0	7.5	9.8	10.2	9.5	9.1	7.7
Velocidad media por hora	9.5	8.9	8.3	8.3	8.4	8.3	8.2	8.3	8.1	7.7	7.0	6.2	5.9	6.3	7.1	8.1	9.3	10.2	10.8	11.1	11.1	10.5	10.4	9.8

Velocidad del Viento (m/s) - JUNIO

Día	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
1	6.7	7.2	7.5	8.1	10.3	9.7	9.3	8.9	7.7	6.7	6.2	5.0	4.7	4.0	5.2	5.1	6.7	8.8	10.2	11.2	10.3	9.2	10.3	9.5
2	8.2	7.8	8.1	8.4	6.6	5.5	5.0	5.9	7.1	7.2	6.1	5.8	6.3	7.1	6.8	6.7	6.9	7.1	9.2	12.1	12.0	9.5	8.6	7.6
3	6.0	5.7	6.0	5.8	6.6	6.1	6.8	5.4	5.5	6.4	5.9	6.1	5.7	5.5	5.6	6.6	7.5	8.1	8.1	11.8	11.7	10.1	4.8	5.5
4	6.6	7.0	8.0	8.5	6.2	5.9	7.4	7.4	8.1	7.1	6.6	5.9	6.4	6.0	6.7	6.0	6.0	8.1	9.5	10.8	11.4	11.2	10.6	10.6
5	11.4	11.0	9.9	10.2	11.2	10.8	10.4	9.8	8.3	6.7	6.7	7.0	7.3	8.1	8.4	9.9	10.7	11.2	11.9	12.8	13.7	12.9	11.9	12.1
6	11.9	11.0	11.4	10.4	10.2	10.5	12.1	11.1	11.1	10.6	10.2	10.5	9.5	8.2	8.9	9.6	9.1	9.4	10.0	10.7	11.1	11.5	12.2	12.4
7	12.7	12.6	12.3	12.8	12.2	10.7	11.0	11.0	9.9	9.3	8.0	7.5	6.7	6.8	7.6	9.9	12.5	13.7	14.3	13.7	13.6	11.8	10.8	10.4
8	8.3	6.6	5.9	7.4	8.9	8.7	6.9	7.7	9.1	8.9	7.0	4.9	5.2	6.4	7.9	9.2	10.5	11.6	12.9	13.6	13.8	13.5	13.1	13.0
9	13.3	13.0	13.3	13.6	13.6	13.1	12.3	12.4	11.3	10.8	8.5	6.9	5.7	4.7	6.8	8.0	10.8	12.7	14.2	14.6	12.0	9.9	11.1	10.0
10	7.9	7.5	8.7	10.8	11.4	9.6	7.7	7.3	6.2	5.3	4.0	4.5	3.8	4.1	5.4	7.2	9.7	9.7	9.7	11.0	10.3	8.4	8.2	7.1
11	6.1	7.4	7.2	7.0	5.7	6.4	6.1	6.5	6.2	6.1	6.8	6.4	5.7	6.1	6.4	8.7	9.7	11.6	11.2	9.6	6.6	5.2	4.0	4.8
12	5.9	9.6	10.7	9.2	9.4	8.8	7.1	7.1	6.9	8.0	8.0	7.2	6.9	6.5	7.5	8.8	8.6	10.8	12.6	12.4	11.8	12.1	12.5	12.2
13	12.1	11.5	10.5	9.7	8.0	9.0	9.6	9.2	9.2	9.0	9.2	7.9	7.8	9.2	8.2	9.9	12.4	12.7	12.9	12.4	11.1	10.4	10.2	9.8
14	8.2	7.7	7.7	7.8	8.5	8.4	8.1	7.9	7.8	6.5	5.9	4.8	4.6	4.6	4.5	6.1	7.9	8.8	9.1	11.2	9.3	6.6	8.3	6.5
15	7.5	6.8	6.5	7.0	8.6	11.6	11.6	11.6	10.5	9.3	8.9	7.0	6.1	6.8	5.7	6.3	8.0	10.6	13.5	11.9	10.5	9.4	7.6	7.4
16	7.8	5.6	4.1	4.3	4.8	5.4	5.5	6.1	6.6	4.9	2.9	1.7	2.3	4.2	5.8	4.8	5.7	5.6	6.1	5.1	5.8	7.7	6.5	5.8
17	5.8	6.3	6.4	4.7	4.2	5.0	5.2	5.5	6.1	5.3	3.7	2.9	2.5	4.1	6.4	6.6	7.2	7.8	7.7	8.0	7.5	7.5	6.8	6.6
18	7.6	7.6	7.6	6.0	5.5	6.4	6.8	6.3	6.6	6.6	5.8	4.0	2.4	2.6	4.7	5.9	6.4	4.9	4.5	5.8	6.9	5.8	5.9	6.0
19	5.9	7.3	8.3	8.1	7.7	7.8	7.5	6.6	6.1	5.3	3.9	3.3	4.2	5.2	6.1	6.8	7.4	9.7	12.9	13.0	12.9	11.4	9.7	9.0
20	8.9	8.0	7.1	6.6	7.6	6.7	5.8	5.1	5.1	4.5	5.0	4.8	5.3	5.7	6.4	7.3	8.9	12.2	13.5	13.2	12.6	11.8	10.7	10.2
21	10.1	10.6	10.5	10.0	10.2	11.1	10.6	6.7	5.9	5.3	4.6	4.8	5.9	6.7	7.6	8.2	8.4	9.8	12.7	13.2	11.1	9.7	8.8	8.8
22	6.0	8.3	9.6	7.9	10.4	8.6	7.8	9.5	8.9	7.3	6.0	4.6	4.3	4.7	4.9	6.0	7.2	8.6	8.7	10.7	5.5	6.1	5.3	6.7
23	6.5	7.5	5.2	5.7	6.5	6.8	7.6	7.4	6.8	5.5	4.7	4.6	4.6	4.6	5.6	6.9	6.9	7.5	9.0	10.1	8.5	6.4	5.7	5.6
24	4.9	5.1	8.1	6.8	6.6	8.1	9.7	9.9	9.3	8.1	7.0	5.4	5.8	5.3	4.8	5.4	5.7	6.4	7.7	7.4	5.6	5.8	7.3	6.9
25	7.9	7.6	7.8	7.9	7.3	6.5	5.7	5.3	7.0	6.6	5.2	4.3	3.1	4.9	5.4	7.6	8.0	10.3	12.2	12.9	12.4	11.7	12.0	11.9
26	12.7	12.8	12.6	12.6	13.5	13.6	14.0	12.6	11.9	12.0	10.0	8.9	7.6	7.9	8.5	10.3	11.9	15.0	16.0	15.2	15.5	15.8	15.7	15.3
27	12.3	10.5	11.5	12.7	12.8	11.1	10.8	10.2	9.8	10.2	8.7	5.9	4.7	4.9	6.8	8.8	10.7	12.3	13.0	12.7	11.9	10.6	10.2	8.7
28	8.8	7.9	6.9	6.8	7.6	7.6	7.1	6.3	6.0	6.6	5.7	4.8	3.4	5.7	5.5	5.5	6.6	8.4	11.5	11.9	11.5	10.9	9.9	9.9
29	9.0	8.9	7.2	6.7	7.4	8.2	9.7	9.0	10.1	9.9	8.6	8.3	8.6	9.3	9.8	11.2	12.0	14.0	13.8	15.3	15.9	16.3	15.5	6.5
30	6.5	7.4	6.9	6.6	7.7	8.0	9.0	10.5	9.5	9.5	8.3	6.9	7.4	8.3	8.5	7.7	8.0	9.4	12.5	11.7	11.2	8.6	7.0	6.4
Velocidad media por hora	8.4	8.5	8.4	8.3	8.6	8.5	8.5	8.2	8.0	7.5	6.6	5.7	5.5	5.9	6.6	7.6	8.6	9.9	11.0	11.5	10.8	9.9	9.4	8.8

Velocidad del Viento (m/s) - JULIO

Día	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
1	6.65	6.88	6.47	5.90	7.58	7.25	6.93	6.82	7.07	6.53	6.28	5.82	5.67	6.25	6.97	8.25	10.22	11.03	11.87	14.23	14.37	14.73	13.18	11.62
2	9.75	8.27	7.70	6.68	6.72	7.42	8.85	8.70	6.95	6.03	6.33	6.30	5.80	5.28	6.07	8.78	10.83	12.37	13.33	13.05	12.27	12.57	12.63	12.55
3	11.86	12.38	11.46	11.37	10.36	9.05	11.08	11.68	10.65	10.26	7.75	6.80	7.67	7.22	6.86	8.71	11.63	11.33	10.46	10.78	11.63	11.44	10.93	9.62
4	7.65	7.53	9.03	9.59	9.13	10.87	12.02	11.92	12.15	12.62	10.58	8.76	8.24	8.54	7.68	7.83	9.37	9.85	13.03	14.95	15.67	15.48	15.25	14.93
5	14.38	13.45	12.83	12.93	13.52	13.52	13.33	12.74	14.89	12.97	11.54	9.76	9.28	10.34	11.68	13.34	14.51	14.79	14.65	14.16	13.69	13.35	13.22	11.47
6	10.32	9.08	8.70	10.78	11.92	11.72	10.58	10.66	11.75	10.74	8.88	7.94	6.85	8.73	9.41	10.18	11.33	13.45	14.16	13.72	12.43	9.68	8.90	8.98
7	9.34	10.43	8.43	8.56	9.36	9.67	9.02	8.65	8.51	9.53	7.54	6.73	5.85	6.53	7.15	8.57	7.84	9.21	12.41	13.16	12.78	12.94	11.63	12.63
8	12.11	7.56	7.78	12.16	12.86	13.92	14.53	13.24	11.37	9.69	7.65	5.92	4.86	5.51	6.46	7.42	10.12	12.24	14.57	14.18	13.58	5.05	5.70	6.63
9	6.58	7.35	9.43	9.10	8.50	9.10	8.35	9.20	8.47	6.46	6.20	6.73	7.32	7.03	7.18	7.78	7.97	10.78	11.43	12.12	12.70	12.73	11.03	9.37
10	8.52	8.08	8.30	8.73	9.52	9.48	9.27	8.95	8.80	8.28	5.77	4.47	3.30	3.67	5.80	7.78	10.20	12.52	13.80	13.83	12.57	10.67	9.67	8.45
11	7.68	7.33	6.77	7.70	7.17	6.03	5.93	5.85	6.32	5.73	5.00	4.97	3.85	5.57	7.75	10.18	11.05	12.12	13.43	12.30	12.53	9.77	7.02	7.55
12	8.33	10.35	9.02	8.22	7.33	6.88	6.65	6.85	5.98	6.63	5.98	5.82	5.93	5.87	6.03	7.18	9.33	11.68	14.05	14.83	13.97	13.50	12.50	12.35
13	12.95	13.48	13.87	12.50	8.43	8.85	10.08	9.35	7.87	6.48	5.43	4.35	4.10	5.23	5.60	5.52	5.35	6.68	7.63	9.08	10.22	8.52	7.12	4.90
14	5.23	6.15	5.95	4.93	4.72	4.45	4.50	4.65	4.28	4.28	4.07	4.72	5.37	5.03	6.48	8.87	10.58	11.65	13.07	14.30	13.28	12.18	10.60	10.98
15	10.50	11.10	10.02	9.50	9.18	8.93	7.68	6.48	5.32	5.17	5.13	5.13	4.95	4.77	5.62	5.90	7.02	7.90	11.90	14.38	14.32	14.38	12.25	10.85
16	11.40	11.65	10.38	6.57	8.85	7.62	9.67	8.53	9.18	8.67	7.42	7.30	6.95	6.93	8.60	10.72	13.02	14.48	14.52	14.60	11.92	10.47	8.85	8.33
17	8.78	8.37	8.07	6.47	7.50	8.50	8.07	8.40	8.00	6.33	5.12	4.38	4.45	6.67	8.03	8.70	8.38	7.27	9.48	10.30	9.15	8.02	6.23	6.50
18	7.47	7.63	7.53	7.15	6.40	6.15	5.67	5.28	6.15	6.60	5.43	5.35	5.95	6.73	6.37	6.20	6.55	9.35	11.65	12.32	11.65	10.75	10.60	9.47
19	9.12	10.00	10.37	9.70	6.78	4.93	5.10	7.47	6.07	6.45	6.05	5.63	6.38	6.55	7.73	8.27	8.82	8.95	10.32	10.57	10.42	9.26	6.03	4.17
20	5.03	4.13	5.08	6.07	5.85	5.93	5.18	5.88	6.77	5.50	5.18	4.17	3.80	4.02	4.62	5.93	5.90	5.22	6.18	6.50	10.17	10.85	9.63	8.25
21	6.22	6.80	7.07	5.55	6.05	6.30	6.48	6.62	6.55	7.03	7.93	8.00	7.68	8.70	8.13	7.60	5.70	4.73	6.68	10.77	11.68	12.13	12.70	11.98
22	11.92	11.15	10.03	8.42	6.50	6.87	6.38	6.37	7.27	8.77	8.83	8.48	8.70	9.08	11.65	14.20	14.85	15.33	15.07	14.78	13.88	15.20	14.45	13.10
23	11.13	9.02	6.90	5.00	5.33	5.77	8.05	7.73	8.03	7.75	8.68	9.78	10.00	11.73	11.68	12.35	13.35	13.08	12.82	13.98	15.62	13.17	13.47	13.52
24	12.98	12.12	10.85	8.80	7.97	6.40	5.25	4.95	5.20	4.87	5.57	5.48	6.65	8.60	10.00	10.87	11.48	12.28	14.08	13.87	12.42	10.40	10.55	9.38
25	8.13	8.02	7.83	6.98	10.07	9.67	10.32	9.97	8.62	7.70	6.37	5.78	6.47	7.33	10.30	10.13	13.73	14.45	13.07	11.03	11.38	12.00	10.18	5.90
26	8.03	10.48	10.25	10.08	10.92	10.12	9.22	8.68	7.30	5.23	5.20	5.30	6.37	7.13	7.27	7.92	8.17	7.60	11.83	13.93	13.60	12.30	10.42	8.57
27	6.38	6.28	8.18	6.23	6.10	6.37	7.38	6.02	4.98	5.05	5.87	9.65	10.00	7.98	6.67	5.73	5.00	5.00	8.93	11.03	10.72	9.38	7.77	6.95
28	9.25	9.28	8.60	9.82	9.65	6.40	4.63	5.02	4.98	5.17	5.67	6.77	6.73	7.97	9.40	10.10	9.17	9.40	11.42	11.05	9.78	9.37	8.12	8.02
29	7.77	6.33	6.67	7.32	7.73	7.03	6.15	5.63	5.15	5.33	6.77	8.70	8.38	7.37	7.35	7.07	9.13	10.55	12.13	12.35	12.05	12.60	13.30	14.18
30	13.87	13.88	10.23	7.63	7.12	5.90	7.55	8.63	7.73	6.47	5.30	5.27	6.42	7.70	9.52	11.48	12.73	13.73	13.77	12.38	9.78	9.23	7.53	5.60
31	4.70	4.98	6.40	6.60	6.37	4.97	5.23	5.78	5.48	4.95	4.22	3.82	3.92	5.87	7.42	7.50	7.70	6.27	8.12	13.52	12.80	10.60	8.62	7.80
Velocidad media por hora	9.2	9.0	8.7	8.3	8.2	7.9	8.0	8.0	7.7	7.2	6.6	6.4	6.4	7.0	7.8	8.7	9.7	10.5	11.9	12.6	12.4	11.4	10.3	9.5

Velocidad del Viento (m/s) - AGOSTO

Día	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
1	8.17	7.68	5.77	4.78	4.92	5.20	5.30	4.67	3.25	4.48	4.83	6.57	5.88	6.02	5.95	5.52	6.25	6.83	8.08	8.08	6.85	7.62	7.47	6.48
2	8.23	8.52	5.58	5.72	8.30	7.60	10.37	9.65	8.43	7.20	5.53	4.47	5.35	6.52	5.87	6.20	6.03	7.20	7.73	11.30	11.15	8.62	7.60	6.82
3	6.52	6.53	6.65	6.92	7.18	7.20	6.37	4.90	4.32	4.08	4.18	4.60	4.12	5.70	4.93	5.10	5.02	4.98	5.27	5.57	8.72	7.28	6.35	4.98
4	4.67	4.23	3.53	5.25	6.20	6.12	4.45	3.50	2.42	2.32	2.85	2.57	2.93	4.10	4.38	5.55	6.35	6.30	5.70	3.88	2.52	6.13	7.57	6.62
5	8.15	9.23	10.77	12.35	12.93	12.62	12.23	12.06	10.95	8.83	9.22	7.72	6.93	6.88	7.38	8.05	6.93	7.72	8.52	9.80	11.25	13.13	13.35	13.57
6	12.65	8.60	7.70	10.40	9.50	8.67	7.75	8.45	9.00	11.97	12.72	13.10	12.78	12.32	12.27	13.48	13.95	12.43	12.00	8.47	8.03	8.40	6.50	6.55
7	7.07	7.15	6.63	7.48	7.17	7.33	7.75	7.60	6.78	5.63	5.02	5.10	6.07	7.87	8.83	10.37	11.43	12.97	12.85	13.27	12.57	11.23	11.75	12.58
8	12.15	11.65	11.77	12.53	12.28	9.82	7.92	6.68	5.37	4.58	4.05	5.50	7.42	8.43	9.57	10.87	11.68	12.30	13.00	11.58	11.30	10.17	8.87	9.90
9	9.28	7.85	5.87	4.87	4.85	5.75	4.88	5.85	8.03	7.30	5.68	5.50	6.47	6.95	8.23	8.67	9.35	11.10	10.97	10.78	10.75	9.72	9.63	8.82
10	6.13	6.25	7.02	7.37	7.60	8.87	9.30	10.72	9.88	8.75	7.72	6.77	5.83	6.05	6.67	6.73	7.95	8.88	14.18	13.72	15.30	11.02	7.40	6.38
11	5.17	5.92	7.00	9.62	10.85	8.93	6.48	10.47	11.08	10.35	8.28	6.22	6.32	6.55	7.22	7.37	6.78	8.02	12.50	12.10	8.63	7.05	8.38	7.72
12	8.10	6.15	6.10	5.42	5.60	6.22	6.93	8.35	8.85	7.97	7.82	7.45	8.05	8.98	9.92	9.23	11.10	11.62	12.42	10.78	10.65	10.50	9.12	12.32
13	7.63	6.38	6.18	8.00	6.37	8.03	7.93	8.67	7.03	5.38	5.48	5.42	5.18	4.20	4.48	4.83	6.38	7.23	9.88	12.12	10.57	8.12	6.77	8.20
14	9.27	8.55	7.77	6.87	5.63	5.72	6.35	6.00	5.80	5.48	5.40	5.65	6.07	6.22	6.43	7.32	8.05	12.35	13.87	13.87	9.05	5.00	5.52	4.87
15	4.95	4.37	4.37	4.30	4.30	4.80	4.90	4.12	4.20	4.23	3.85	4.62	4.45	4.98	5.37	6.62	7.87	8.85	10.50	11.55	10.93	9.18	9.57	9.32
16	9.75	9.98	9.97	9.60	9.38	9.13	8.70	9.13	8.75	6.98	4.40	4.32	4.92	5.62	7.52	9.20	10.25	11.60	13.05	12.88	11.62	9.98	6.40	5.98
17	6.60	7.92	6.75	4.20	4.47	3.42	3.15	3.08	3.10	3.50	3.32	4.33	5.08	6.00	5.92	6.17	5.68	5.80	6.02	6.12	7.17	5.90	6.03	4.85
18	2.57	1.32	3.25	4.50	4.35	4.75	5.02	4.75	5.18	4.82	5.18	5.12	5.78	7.33	8.37	9.58	10.53	11.80	12.55	11.90	11.08	9.55	10.18	10.78
19	6.68	5.82	4.43	7.65	10.80	11.82	11.20	9.98	9.07	7.95	6.53	6.73	6.58	6.45	6.92	6.50	8.47	10.25	10.60	12.27	12.20	11.08	7.00	4.23
20	4.23	2.95	2.78	3.10	3.50	3.87	3.60	3.88	4.00	5.10	5.68	5.45	5.60	5.92	7.50	8.23	9.90	12.53	13.35	11.50	10.65	10.73	9.43	4.27
21	4.02	4.18	5.45	5.22	6.25	7.03	7.12	7.60	6.42	5.78	5.60	6.37	6.90	7.27	7.92	8.48	10.00	11.62	12.18	10.97	10.68	11.00	11.20	11.10
22	10.87	11.68	10.72	10.23	10.58	9.42	8.92	8.12	8.18	8.90	8.97	8.20	7.65	7.30	8.10	7.87	6.92	8.00	10.67	12.92	11.22	9.07	8.98	8.20
23	8.70	7.62	7.98	7.87	7.32	8.22	8.98	7.85	6.73	6.33	6.22	6.82	7.22	7.45	7.97	8.68	7.72	8.80	10.10	10.10	10.58	10.85	10.90	11.63
24	12.97	13.73	12.15	11.77	11.42	11.08	10.90	9.32	8.67	7.42	5.77	5.55	6.10	6.68	9.30	11.83	13.40	13.02	13.33	13.20	12.22	11.52	12.18	11.65
25	11.67	11.32	12.25	11.08	10.72	11.10	10.68	10.15	9.37	7.08	5.95	5.20	5.17	5.67	6.00	8.32	10.80	12.32	13.72	12.67	12.22	10.03	7.92	7.37
26	7.78	7.05	6.73	8.47	8.05	10.33	10.73	9.15	8.13	6.18	4.73	5.00	5.22	6.00	8.98	8.57	7.77	9.38	11.38	12.68	11.67	9.70	8.17	7.68
27	7.13	6.30	5.83	7.78	7.60	6.65	8.60	7.08	6.22	6.00	5.47	4.55	4.22	4.35	5.17	6.67	5.68	6.75	8.15	8.55	7.38	6.18	4.33	6.25
28	8.33	8.40	7.98	7.07	5.50	4.97	5.03	4.07	3.80	4.38	3.48	4.77	4.83	4.92	5.55	5.90	5.45	5.65	6.15	7.75	6.47	5.57	8.28	8.75
29	8.92	9.10	6.75	7.83	8.45	8.22	8.88	8.15	6.67	5.07	4.05	4.03	4.73	5.17	6.60	6.05	8.62	10.55	11.30	12.27	11.75	8.47	7.27	9.73
30	7.85	6.23	5.28	6.32	9.23	8.07	5.35	4.87	4.40	3.95	3.37	3.00	3.57	4.48	6.48	7.32	5.73	6.22	9.32	15.42	14.58	10.28	7.43	6.68
31	6.12	6.28	5.38	4.30	4.27	3.80	3.95	4.55	5.68	5.40	5.35	4.72	4.62	6.28	6.73	8.43	8.35	9.50	11.00	11.90	12.32	12.30	11.30	11.32
Velocidad media por hora	7.8	7.4	7.0	7.4	7.6	7.6	7.4	7.2	6.8	6.2	5.7	5.7	5.9	6.4	7.2	7.9	8.4	9.4	10.7	11.0	10.4	9.2	8.5	8.2

Velocidad del Viento (m/s) - SEPTIEMBRE

Día	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
1	11.983	9.4167	9.1667	9.9167	9.5	6.9667	6.4667	6.2167	5.6	4.2833	3.9	4.4333	5.5333	6.6	7.3333	7.5167	7.1333	7.1167	7.35	9.7167	8.5667	8.9833	8.0333	7.5641
2	8.65	9.4	10.4	10.017	9.9333	10.05	10.3	9.1833	7.65	7.0667	5.6167	3.9833	5.4833	5.6167	6.3667	6.7	5.5	5.9833	5.8167	5.8333	7.5667	8.25	7.6167	6.8
3	6.7167	6.9333	5.9667	6.7167	6.2833	5.1	4.45	4.8333	4.4667	4.0833	4.0333	4.95	5.85	7.1	9.6	10.783	8.4167	10.783	11.733	13.883	14.667	15.1	12.583	9.9
4	10.333	10.967	9.4833	9.0333	9.1167	9.6	8.5833	8.3167	6.5333	5.55	5.6333	5.6167	5.9	6.9833	7.4333	8.8167	8.2667	8.9833	13.9	14.983	11.017	10.017	8.1	7.2333
5	5.4	4.9167	5.25	5.05	5.4167	5.6667	5.5667	5.6	6.0333	6.0833	5.8833	7.6333	8.3167	11.417	12.517	12.85	13.483	15.033	16.467	16.3	15.667	13.9	10.95	8.15
6	9.4667	8.3667	9.1833	7.3833	8.5833	8.4	7.9833	7.6833	7.1	6.7833	6.4333	5.5	5.5833	7.0333	9.6167	11.35	12.033	12.033	11.817	11.683	11.733	9.6333	10.583	10.233
7	10.467	10.567	10.333	10.1	10.883	11.183	11.067	10.45	10.083	9.0333	6.7833	6.1167	6.95	8.5167	10.117	10.517	11.767	13.35	13.083	10.417	8.3167	6.8333	5.5	4.7833
8	5.4833	4.8	4.1	4.0833	3.6	3.3333	3.9167	3.75	3.9333	4.1167	4.8167	6.2667	7.95	9.3333	8.9	8.4833	8.8333	9.05	9.8833	9	9.3333	8.3167	7.9333	6.8667
9	6.75	5.85	6.1	7.7333	8.4	9.65	9.0833	9.25	9.0833	8.6	7.2	7.5167	6.1	7.9167	10.583	11.2	11.7	11.55	10.983	11.283	9.7	9.1667	7.5333	8.3
10	8.6333	10.317	10.633	10.633	10.133	9.55	9.3667	10.217	10.517	10.55	7.95	5.3833	5.85	6.1833	6.9167	9.4833	12.3	13.1	13	12.067	11.033	10.45	9.0667	9.6667
11	10.317	11.433	10.85	9.6833	8.6667	8.0833	8.8167	7.7667	6.9667	4.5833	1.9667	2.6	4.4167	5.2833	5.9	6.85	7.8667	6.5833	5.4333	5.3833	6.8333	6.2	5.65	7.2
12	6.7333	6.1833	6.1	5.3	5.7333	5.8	6.8833	7.0667	6.6	6.25	6.2167	5.6667	6.1	5.8667	5.9667	5.8	6.5333	7.25	8.5167	10.65	12.133	7.4167	6.4167	11.1
13	13.8	15.1	14	10.75	12.033	12.183	12.517	11.8	12.767	12.3	10.217	8.3167	7.85	8.2667	8.25	8.8167	11.567	12.067	13.75	17.15	13.067	9.3833	7.3167	7.1333
14	6.3	6.6167	7.15	7.85	7.4	7.05	7.1833	7.5	8.4167	7.55	6.6167	9.8	9.6333	9.4833	9.9	12.467	15.467	14.033	10.15	6.6833	6.6167	6.2	6.2167	6.0167
15	7.2333	7.65	9.05	9.95	9.9333	9.3333	7.7333	7.05	7.7333	7.0167	5.2667	4.7833	4.9833	5.15	5.8667	7.5667	8.35	9.8333	11.2	11.267	9.95	9.4833	9.0667	7.9833
16	7.85	7.6833	6.8167	6.85	7.8	8.4	9.4167	8.3333	7.3333	7.8333	7.8167	6.2333	6.3167	5.9	6.5	6.1167	7.6667	10.867	11.983	11.017	10.567	9.7167	10.1	10.233
17	10.7	10.7	10.433	9.1833	8.4667	6.0333	4.9	4.9167	4.95	5.85	6.4667	6.45	6.0333	5.2833	6.3333	6.0333	6.3333	6.1667	8.15	11.35	11.933	11.3	11.533	11.25
18	12.15	12.267	11.85	9.1167	6.9333	6.95	8.1167	8.3167	11.417	11.583	11.033	10.3	8.4833	7.4667	7.7333	9.7667	13.367	14.033	13.617	14.783	10.683	9.4833	10.367	13.183
19	13.55	9.2333	6.7167	6.9	6.5	7.2333	8.2	7.3167	6.7667	6.4667	7.2333	6.8833	7.0833	7.5333	9.3	12.05	14.817	15.75	15.95	16.367	15.05	13.5	11.933	11.383
20	9.2	10.583	10.667	10.383	9.3	9.1667	7.1667	7.6	6.7833	5.75	4.9667	5.0333	6.3333	6.65	7.3167	7.6833	8.6333	10.183	10.55	8.2167	8.2	8.9167	9.2833	10.133
21	10.183	8.9833	8.95	9.1	9.6833	10.083	9.5333	7.7333	5.9333	5.5833	5.6333	5.2833	5.6333	5.25	5.0667	6.4333	7.4	8.9	9	10.2	9.8167	10.233	10.767	9.7
22	8.4333	8.35	7.6333	8	8.6	7.8333	6.65	7.7	6.7167	6.0333	5.8667	6.0167	5.95	6.55	5.7	7.6	9.3667	11.65	13.667	13.833	12.183	10.883	11.517	11.217
23	12.383	13.683	14.95	15.717	15.483	14.283	13.55	13.983	13.117	13.533	11.367	8.3333	9.2667	9.5833	11.783	13.783	15.033	13.15	10.017	10.383	8.3167	6.4	6.2333	7
24	6.45	5.5333	6.0667	6.2833	6.7167	7.45	7.8	8.6167	7.9833	7	6.4	8.3167	10.1	12.933	15.333	15.65	15.583	15.2	15.65	15.85	14.55	13.933	12.967	14.05
25	14.85	13.317	12.25	12.633	11.767	11.817	12.217	11.383	10.317	8.9333	7.6333	6.1833	6.4333	7.5833	9.3	12.567	13.433	14.883	15.517	15.583	14.383	13.633	13.133	13.45
26	14.133	14.267	13.217	12.033	10.5	10.583	11.5	10.133	8.85	7.3167	6.6833	6.3333	5.3333	5.75	6.4667	7.25	8.85	9.7333	10.433	10.933	8.0333	8.9667	8.7833	7.8833
27	7.0833	5.9667	5.8333	6.2167	6.3833	6.75	7.55	8.35	8.0167	7.6167	6.3167	5.4333	5.05	5.3333	7.1	8.75	8.9667	9.8333	9.3833	5.1833	4.7167	5.2	5.4667	6.8
28	7.3	7.2167	7.2167	6.9	7.95	8.6667	8.6167	7.35	7.35	5.9667	4.3333	4.15	4.9833	5.2333	7.4667	9	10.267	15.183	15.567	15.867	13.683	11.683	12.067	9.8
29	7.4167	6.8	8.2167	9.1333	8.4167	7.8	9.5667	9.1	6.7833	4.8167	4.0333	3.85	4.6167	5.4167	7.65	8.55	8.8	10.433	10.233	10.55	9.6333	8.3167	7.7833	7.0667
30	7.6667	7.85	7.05	6.55	6.05	5.8833	5.1	5.1833	6.1667	6.0167	5.3667	4.9333	4.8	5.05	7.55	7.8667	5.9	6.4333	8.4	12.333	9.7167	8.7	5.8333	5.5833
Velocidad media por hora	9.3	9.0	8.9	8.6	8.5	8.4	8.3	8.1	7.7	7.1	6.3	6.1	6.4	7.1	8.2	9.3	10.1	11.0	11.4	11.6	10.6	9.7	9.0	8.9

Velocidad del Viento (m/s) - OCTUBRE

Día	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
1	6.7	7.1	7.2	5.9	7.4	6.8	5.9	8.5	8.5	7.0	4.6	4.3	5.6	6.1	7.9	6.4	7.4	10.5	14.2	14.3	13.0	9.5	10.2	10.1
2	10.2	10.9	11.5	8.7	9.5	11.3	11.2	10.4	8.5	7.1	6.3	5.4	6.1	6.1	6.1	5.9	6.3	5.3	8.9	8.9	6.3	5.7	6.8	7.6
3	9.2	9.4	9.7	7.9	6.7	6.0	5.0	4.6	4.1	4.0	4.1	4.0	3.7	4.4	6.9	10.2	7.3	6.1	10.0	12.1	12.7	11.0	10.4	10.0
4	10.2	11.5	11.1	10.9	9.0	9.0	7.9	6.6	6.2	5.1	4.6	5.5	5.4	5.8	7.7	7.5	7.7	12.5	12.7	12.1	11.4	11.4	12.0	13.1
5	12.5	12.3	9.3	8.5	10.4	12.5	11.0	9.9	9.2	6.9	4.4	4.9	5.7	7.5	10.3	12.1	13.8	14.4	14.7	13.6	12.0	12.1	11.8	10.0
6	8.9	6.1	6.8	10.1	10.3	9.6	9.1	8.9	8.3	6.5	5.4	6.0	6.0	6.4	9.3	12.1	14.2	14.9	15.6	15.3	11.8	9.0	9.1	9.7
7	8.8	6.7	8.5	7.0	7.9	10.0	8.8	8.6	9.2	8.2	7.3	7.5	7.9	8.5	11.2	12.3	12.8	12.7	13.2	12.5	11.8	10.6	9.6	8.9
8	8.5	9.0	9.1	8.8	8.8	9.7	9.2	9.3	8.3	6.9	6.9	6.6	7.3	6.5	6.2	8.4	9.2	10.7	11.8	11.6	11.2	10.3	11.1	11.1
9	11.3	11.8	11.2	10.4	9.7	10.9	9.3	9.2	8.5	6.0	3.4	3.0	2.3	6.2	5.5	4.8	6.2	7.6	10.4	10.7	9.7	8.8	8.0	8.5
10	8.1	6.7	6.9	7.2	6.9	6.3	5.7	4.9	5.9	5.8	4.4	4.9	7.0	8.5	9.7	10.0	11.9	14.6	15.1	14.5	12.6	9.8	11.1	10.7
11	10.7	10.8	10.7	8.2	8.9	8.7	6.5	5.9	4.3	4.8	6.7	7.2	8.5	10.7	10.7	12.9	13.5	14.0	14.7	14.1	11.7	7.7	8.8	8.2
12	7.3	9.5	8.9	8.5	8.3	10.9	9.7	9.2	8.1	6.5	4.5	3.9	3.8	4.3	6.0	7.9	9.7	10.8	11.6	12.2	10.7	10.5	8.1	5.5
13	4.7	4.3	3.9	2.7	2.7	2.7	2.6	3.6	4.2	4.7	5.5	6.3	6.1	6.2	5.8	6.6	7.0	10.1	12.5	13.3	12.0	11.3	10.7	9.9
14	9.0	8.4	8.8	9.2	9.2	9.0	8.2	6.2	4.8	3.6	3.2	3.8	6.3	6.6	7.0	6.4	6.0	5.9	6.7	6.9	9.0	7.4	7.8	7.7
15	6.3	6.6	6.7	5.7	5.2	5.5	7.1	8.9	7.1	4.7	3.6	2.1	2.7	4.9	5.5	6.4	6.7	6.8	4.6	4.2	4.1	5.1	5.7	5.9
16	6.5	7.1	6.9	6.1	6.0	4.2	4.8	5.2	4.8	3.5	3.0	4.6	5.1	5.0	4.8	5.0	5.0	6.3	6.0	4.0	4.0	8.0	8.1	7.9
17	8.0	9.4	9.2	9.3	9.1	9.2	9.5	10.1	9.7	10.7	8.2	6.3	5.3	5.5	7.0	6.9	8.5	9.2	7.0	5.2	4.1	2.1	2.3	5.1
18	7.0	5.7	5.6	7.1	10.5	8.5	7.7	7.6	5.8	6.5	6.9	6.6	6.9	7.1	6.9	7.2	7.1	7.3	10.7	11.2	10.8	8.6	7.2	6.8
19	5.4	4.4	4.8	4.6	5.3	5.0	5.9	6.0	5.3	5.3	5.8	5.3	5.9	6.6	7.5	8.5	7.4	8.4	9.9	9.9	5.7	8.3	11.8	10.1
20	6.6	7.8	6.2	5.2	5.4	5.9	6.7	5.7	4.5	3.2	1.8	4.2	7.2	6.6	7.2	8.0	9.9	12.1	12.4	11.9	10.3	7.8	7.0	6.8
21	7.3	5.9	7.1	6.5	5.9	5.3	6.9	6.0	6.0	5.4	5.2	5.5	6.0	6.0	5.9	7.0	8.1	7.4	7.8	6.2	6.3	6.3	5.4	4.1
22	3.3	3.2	3.9	4.2	4.1	3.7	3.8	4.7	5.0	4.7	4.8	3.9	4.8	5.5	5.0	5.7	6.1	5.4	5.6	3.6	3.5	3.8	3.5	4.0
23	4.2	6.0	6.7	8.2	6.0	6.9	6.1	5.9	4.9	4.2	4.6	5.4	5.6	5.1	6.0	6.7	7.6	8.4	10.1	11.6	9.8	8.0	6.8	5.8
24	6.4	6.1	6.1	6.3	6.5	6.1	6.3	5.6	5.9	4.9	4.4	4.4	4.4	4.9	5.5	6.0	5.5	5.2	4.2	6.3	6.2	7.2	7.4	6.1
25	5.7	4.9	5.7	6.5	7.8	8.4	7.5	8.4	8.5	8.4	8.1	7.1	8.0	8.7	9.3	8.8	8.3	9.1	9.8	8.4	6.9	8.1	8.5	7.2
26	6.5	9.1	10.0	9.8	9.8	9.7	9.1	9.1	8.9	7.5	5.8	5.0	4.4	4.9	5.7	6.4	6.0	6.0	5.2	5.7	4.9	4.3	3.2	4.0
27	6.2	6.4	5.8	5.6	5.4	5.6	5.2	4.7	3.6	3.1	3.6	3.1	2.3	5.6	5.6	6.5	5.9	7.5	7.7	6.0	7.5	8.0	7.3	7.7
28	7.5	7.9	7.7	5.3	4.4	5.3	7.5	9.2	9.8	8.6	7.9	7.2	7.5	7.4	7.9	8.4	9.2	9.8	10.1	9.5	7.0	7.0	7.3	8.1
29	9.6	7.2	6.8	8.1	7.8	6.6	5.8	5.5	5.3	4.6	4.5	5.1	5.5	6.1	6.7	7.4	8.9	12.2	12.4	12.7	10.8	8.4	7.1	5.6
30	5.0	5.0	4.1	3.8	3.8	4.4	4.8	6.6	5.5	4.9	4.9	5.9	6.7	6.7	7.1	7.8	8.9	8.7	9.6	10.1	10.0	9.4	8.5	8.5
31	8.8	8.5	7.8	7.2	7.4	9.7	7.9	8.7	7.3	6.3	5.6	5.6	6.3	6.4	5.9	8.2	10.0	12.3	12.5	12.8	10.4	7.0	4.7	7.1
Velocidad media por hora	7.6	7.6	7.6	7.2	7.3	7.5	7.2	7.2	6.6	5.8	5.2	5.2	5.7	6.3	7.1	7.9	8.4	9.4	10.2	10.0	9.0	8.1	8.0	7.8

Velocidad del Viento (m/s) - NOVIEMBRE

Día	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
1	7.88	8.28	7.32	7.50	7.18	6.62	6.87	6.00	5.83	4.88	3.82	4.37	5.13	6.30	7.05	6.30	6.22	5.72	5.73	6.35	8.05	7.60	7.63	7.93
2	8.85	9.85	10.17	9.55	8.85	8.70	7.80	6.98	6.82	5.70	4.68	4.52	5.72	6.05	6.77	7.55	6.88	7.08	6.88	6.15	6.63	5.83	5.37	5.92
3	5.12	5.33	6.27	7.50	5.55	6.12	5.88	7.93	9.48	9.78	9.33	7.42	7.27	7.72	9.47	13.00	13.22	14.15	14.58	13.82	13.35	9.78	9.93	6.80
4	6.85	5.73	5.68	8.53	11.40	11.60	11.23	9.87	8.70	6.80	7.77	7.93	7.80	9.18	10.05	9.08	7.97	9.93	10.75	11.20	10.28	8.73	8.07	7.72
5	7.85	8.38	9.32	9.18	9.35	8.80	9.62	10.40	11.00	9.65	8.75	8.92	8.42	6.67	6.58	7.42	8.00	8.57	9.05	10.23	9.87	8.40	7.50	6.75
6	6.95	7.20	7.07	8.03	8.02	8.28	8.08	7.10	6.57	5.97	5.73	5.25	5.88	6.33	8.43	10.67	11.20	12.10	13.38	13.02	13.12	11.97	10.50	7.85
7	6.90	9.03	9.32	10.73	10.52	10.45	11.25	11.93	11.35	8.62	7.62	6.98	6.87	6.13	7.28	8.23	9.50	9.00	11.50	11.65	8.30	7.62	7.27	9.43
8	8.77	9.28	7.28	8.72	7.50	8.83	8.30	8.18	9.38	9.32	6.77	5.67	5.65	6.18	8.42	10.00	10.00	8.12	9.60	11.15	9.10	9.28	10.22	8.72
9	4.23	3.95	4.43	5.68	6.10	7.55	7.35	7.13	6.82	6.40	7.17	6.82	7.08	6.65	8.17	9.38	10.47	12.08	11.62	5.33	6.78	7.70	6.72	5.80
10	2.70	3.17	3.85	7.43	7.65	8.50	3.77	3.50	3.68	4.32	4.07	4.00	4.48	5.67	5.87	6.75	6.08	6.60	6.95	5.87	5.90	6.77	5.92	4.97
11	5.15	6.63	7.05	5.82	5.60	4.52	4.07	4.38	3.23	2.15	1.97	3.23	6.08	6.85	6.67	7.10	6.45	5.62	5.60	6.40	7.05	6.53	6.72	7.00
12	6.63	7.75	7.70	6.53	5.60	4.87	5.65	7.10	6.75	4.65	2.32	2.43	3.85	5.63	7.05	5.88	5.93	5.23	4.87	7.27	9.57	9.40	8.72	8.52
13	7.82	7.87	7.62	6.90	8.23	8.67	8.45	8.37	6.95	4.72	3.75	3.33	4.13	6.12	5.30	6.83	7.45	6.53	6.48	8.02	8.65	9.32	9.72	9.20
14	9.97	9.62	9.87	7.67	6.12	5.03	4.93	4.97	5.97	6.05	5.67	5.08	5.70	5.70	7.45	8.65	11.43	12.88	14.58	15.97	16.45	16.47	8.67	7.28
15	7.92	9.67	9.28	10.88	9.65	9.22	7.55	8.63	9.50	9.37	9.15	9.48	9.55	10.70	12.88	12.85	11.90	11.10	10.15	11.62	10.22	6.90	5.93	7.75
16	8.18	8.35	8.20	7.80	7.77	6.60	6.87	7.00	6.65	6.55	6.28	6.18	6.68	7.23	7.60	7.22	6.80	7.50	10.18	10.85	11.22	10.38	10.03	9.00
17	8.05	8.02	7.45	6.07	5.15	4.70	5.20	5.90	4.32	3.88	4.78	5.70	5.38	5.82	6.65	7.68	8.13	7.93	8.18	9.72	10.12	8.95	8.93	9.18
18	8.23	7.97	8.22	6.80	7.50	8.70	8.73	8.48	8.65	6.23	4.97	4.78	4.83	6.18	6.23	5.40	5.32	5.32	5.42	8.23	7.88	5.87	6.18	6.25
19	6.77	6.73	7.30	7.80	8.42	9.98	10.10	9.17	8.95	8.70	7.50	6.42	5.63	5.02	5.63	6.62	6.83	7.13	8.20	8.45	5.50	5.55	6.68	6.20
20	5.62	4.70	3.78	5.40	6.45	6.32	7.33	8.85	9.72	7.07	6.07	6.60	6.42	7.75	9.13	10.62	12.30	12.62	14.32	14.62	15.50	11.20	10.27	9.48
21	12.42	11.08	7.88	8.30	7.93	5.98	5.45	4.35	3.70	4.23	4.95	5.78	5.77	5.67	7.02	7.07	7.10	7.70	8.28	12.00	10.52	10.18	9.73	9.03
22	7.88	7.97	7.40	7.05	6.03	6.00	6.47	6.87	6.42	4.53	4.05	4.15	5.97	6.38	7.10	7.23	6.93	6.35	5.40	5.20	5.93	5.38	7.07	7.97
23	8.77	8.80	7.10	7.00	6.78	7.75	10.10	9.63	8.77	8.20	6.50	5.30	4.92	5.85	7.18	8.60	9.30	10.88	13.82	12.87	10.67	8.52	7.97	8.57
24	10.42	11.42	12.15	10.78	7.95	7.95	6.28	6.25	7.00	7.30	6.30	6.00	5.38	4.68	4.93	5.98	6.18	6.18	5.95	5.43	6.70	7.27	6.10	7.93
25	8.20	7.70	8.60	8.57	7.57	7.43	7.85	9.13	9.60	8.75	7.73	6.73	6.07	7.33	8.42	8.53	9.10	10.83	10.03	12.27	9.42	8.12	8.45	8.07
26	8.43	8.32	8.15	8.90	9.53	9.58	9.28	8.55	8.60	6.60	4.63	4.33	5.25	6.12	6.28	6.52	6.80	6.20	6.38	7.25	9.05	7.80	7.63	8.53
27	8.98	8.98	8.27	7.85	7.90	9.48	11.08	11.95	10.83	8.75	7.20	6.92	8.37	8.70	8.90	11.33	15.05	17.50	18.25	19.00	18.18	14.70	13.62	13.48
28	14.58	13.65	14.58	13.28	10.87	11.17	9.18	9.80	8.97	6.65	4.95	5.47	5.92	7.20	8.23	8.42	8.73	9.28	8.80	9.78	9.52	7.47	6.00	6.17
29	6.83	5.87	6.00	5.75	5.35	5.68	5.97	6.18	6.83	6.65	6.68	7.50	8.07	7.65	8.25	9.87	11.78	13.92	15.47	15.10	14.78	13.02	13.22	12.03
30	11.73	10.92	10.10	8.92	10.23	11.37	11.20	10.45	9.73	8.68	6.30	5.75	6.08	6.03	6.92	8.25	11.92	12.15	12.45	12.90	11.58	11.27	11.65	12.02
Velocidad media por hora	8.0	8.1	7.9	8.0	7.8	7.9	7.7	7.8	7.7	6.7	5.9	5.8	6.1	6.6	7.5	8.3	8.8	9.2	9.8	10.3	10.0	8.9	8.4	8.2

Velocidad del Viento (m/s) - DICIEMBRE

Día	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
1	12.08	12.80	11.10	11.55	10.35	11.32	13.28	13.05	11.32	8.90	6.72	6.60	7.10	7.00	9.65	11.75	12.38	13.55	14.25	13.72	11.58	10.50	11.05	11.37
2	11.97	11.13	12.30	12.23	10.42	10.67	12.18	12.25	11.35	8.57	6.77	8.03	9.37	10.68	11.20	10.13	8.25	12.05	12.55	9.58	10.22	9.50	8.28	8.80
3	8.62	8.52	8.48	7.97	8.03	6.82	6.93	7.83	7.42	5.65	5.43	6.85	6.78	6.38	6.62	7.60	8.82	10.57	11.87	11.35	9.62	7.80	6.58	6.37
4	6.28	5.27	4.95	4.12	5.05	4.55	4.17	4.97	5.20	5.72	7.13	6.17	6.95	7.73	8.80	7.75	7.72	7.05	7.22	7.13	6.68	6.02	4.35	4.33
5	2.95	5.77	5.30	7.48	8.82	8.37	8.05	6.73	6.70	5.58	4.37	3.33	3.10	4.35	3.90	4.52	5.08	6.88	12.97	13.70	13.47	13.93	14.38	13.80
6	13.15	12.35	11.60	11.67	9.42	10.10	10.97	8.25	6.82	4.60	4.45	5.73	7.00	8.37	9.55	9.83	11.00	13.37	12.75	10.60	7.68	3.15	5.65	9.30
7	8.20	8.15	8.68	9.42	6.82	7.98	8.12	7.32	6.87	5.90	5.53	7.60	7.90	7.02	6.17	6.42	5.85	6.07	7.45	10.03	10.28	10.78	11.17	10.95
8	10.35	9.43	9.42	9.05	8.78	8.63	8.25	8.38	9.27	8.17	5.87	5.40	5.52	7.17	7.95	8.15	8.60	7.83	6.82	7.78	8.03	9.20	9.33	8.48
9	8.23	7.80	8.08	7.75	7.50	7.70	7.65	8.15	8.48	7.62	5.82	5.50	5.77	5.77	6.17	6.77	7.22	6.82	6.80	8.50	8.05	8.42	8.88	9.90
10	10.15	10.27	10.47	9.48	9.53	9.40	9.57	8.67	8.80	8.55	6.62	5.90	5.80	6.08	7.32	7.08	7.03	7.72	12.17	13.47	11.88	8.45	6.57	6.48
11	7.70	7.18	7.32	8.47	10.35	11.97	11.82	10.93	9.57	9.55	7.78	6.97	7.88	8.47	9.43	8.05	8.82	13.38	14.73	14.98	14.93	9.80	12.73	15.00
12	12.63	7.95	6.37	7.20	6.87	6.27	5.75	6.85	6.77	7.35	7.65	6.93	7.05	8.07	8.85	9.78	13.80	13.82	11.48	9.18	10.15	9.18	10.47	8.23
13	7.67	6.22	7.05	4.98	4.72	5.53	4.88	5.40	5.90	5.52	5.72	6.65	6.07	6.12	6.22	5.70	5.60	6.60	6.85	6.82	6.68	6.98	8.02	5.92
14	3.98	3.98	2.63	5.03	6.97	6.33	5.48	5.88	6.03	3.98	2.57	2.00	3.02	5.35	7.03	7.43	8.42	7.65	8.35	9.92	11.48	10.07	9.63	8.48
15	8.83	8.43	8.20	7.52	8.08	7.97	8.53	9.13	9.55	8.52	6.53	7.08	7.27	6.88	6.87	8.02	8.65	8.78	8.60	10.17	10.00	11.00	10.67	11.03
16	11.18	9.40	10.23	10.55	11.08	11.27	11.82	10.68	10.45	8.92	7.22	6.27	6.00	6.08	6.03	6.27	6.97	6.35	8.33	8.62	8.83	9.28	8.85	8.65
17	8.45	8.15	9.42	10.63	11.48	11.07	10.58	9.38	9.45	9.45	9.02	8.08	8.62	8.33	8.57	9.88	11.38	12.38	12.50	13.78	14.75	14.18	12.88	11.58
18	12.28	12.07	12.65	12.65	12.58	11.68	11.33	9.33	9.73	9.33	7.27	6.82	7.62	8.07	8.18	8.02	8.52	9.20	10.30	12.18	10.50	10.25	10.33	8.82
19	5.47	6.48	10.28	8.82	10.93	9.97	9.38	9.53	9.25	7.23	5.82	5.08	5.85	5.88	7.12	8.72	9.02	9.70	10.78	13.28	12.48	11.18	10.42	10.00
20	9.17	6.00	7.68	11.37	11.58	9.92	9.27	10.97	11.15	8.73	6.55	5.13	5.38	6.37	7.55	8.13	9.83	12.92	13.32	13.28	12.15	11.75	11.13	11.42
21	10.87	11.32	11.30	12.30	12.43	11.92	10.23	10.18	11.10	9.28	7.50	6.22	6.32	7.08	8.47	8.77	9.67	11.78	12.42	11.68	11.97	12.28	12.47	11.37
22	11.67	11.10	10.80	11.03	11.05	11.55	10.80	10.98	11.08	10.93	10.07	9.02	8.62	9.58	10.32	13.73	15.17	14.55	14.05	14.72	13.10	10.30	9.53	9.50
23	8.95	7.17	8.25	9.15	9.20	10.72	9.40	9.65	10.25	9.42	8.27	8.83	8.83	9.78	11.12	15.43	14.38	10.80	11.52	10.75	9.95	8.90	7.67	4.88
24	5.10	5.88	8.57	6.68	10.25	11.18	11.32	11.17	10.73	9.30	7.37	6.90	6.32	7.78	10.62	11.95	13.00	12.13	12.05	11.60	10.90	10.45	8.75	8.95
25	8.27	8.55	8.20	8.53	8.90	8.63	9.43	9.53	7.97	7.65	5.47	5.07	6.12	5.10	6.60	7.32	7.90	10.22	11.33	11.22	11.08	11.28	12.53	12.72
26	11.53	10.72	11.02	12.17	13.07	13.10	11.92	11.87	11.65	10.87	9.30	6.78	6.72	7.03	7.28	8.47	12.88	14.47	16.12	17.43	16.87	14.93	9.08	6.65
27	6.77	6.48	4.40	4.15	5.40	5.72	6.72	6.95	9.92	9.45	8.98	7.02	6.83	6.67	6.05	6.50	7.45	7.97	9.03	12.22	12.90	10.85	10.15	9.68
28	8.33	6.85	6.20	6.70	7.22	8.22	8.45	8.20	7.48	6.52	4.98	3.72	3.93	4.13	5.90	5.40	5.42	8.37	12.15	12.07	11.72	10.53	10.10	9.45
29	8.67	7.38	7.62	7.20	6.80	8.08	9.80	9.50	8.22	7.78	7.03	5.95	5.60	6.78	9.10	10.70	13.70	14.17	15.05	15.47	14.88	13.97	13.42	13.47
30	13.52	11.97	8.72	8.45	10.57	9.18	8.63	12.00	11.78	10.73	8.18	6.17	6.57	6.38	9.67	9.52	11.33	14.30	15.83	15.90	14.03	12.48	11.05	9.12
31	6.32	6.37	6.48	4.70	5.82	8.72	11.68	11.23	9.72	8.18	5.60	3.60	3.12	5.02	6.15	4.80	4.25	4.42	6.37	7.28	6.40	9.28	9.93	10.22
Velocidad media por hora	9.0	8.4	8.5	8.7	9.0	9.2	9.2	9.2	9.0	8.0	6.7	6.2	6.4	7.0	7.9	8.5	9.3	10.2	11.2	11.6	11.1	10.2	9.9	9.5