



PROVINCIA DE SANTA CRUZ

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

DESARROLLO DE PROYECTOS DE GENERACIÓN
ELÉCTRICA A PARTIR DE FUENTES RENOVABLES:
ENERGÍA EÓLICA EN LA PROVINCIA DE SANTA CRUZ

1ª ETAPA DE MEDICIONES

INFORME FINAL

JUNIO 2019



AUTORIDADES CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

Secretario General

Ing. Juan José Ciácerá

Coordinadora Región Patagónica

Lic. Paula Inés Astiz

AUTORIDADES PROVINCIALES PROVINCIA DE SANTA CRUZ

Sra. Gobernadora

Dra. Alicia Margarita Kirchner

Sr. Vice Gobernador

Dr. Pablo González

Representante titular ante el CFI

Ministro de la Producción Comercio e Industria

Sr. Leonardo Darío Álvarez

Representante alterno ante el CFI

Subdirector de Casa de Santa Cruz

C.P. Andrés La Blunda

RESPONSABLES PROYECTO

Responsable de Contraparte Provincia de Santa Cruz

Instituto de Energía de la Provincia de Santa Cruz

Lic. Lorena Leonett

Responsable Operativo de la Contraparte Provincia de Santa Cruz

Min. de la Producción, Comercio e Industria- Delegación Casa Santa Cruz

Sr. Darío Maturana

Coordinador del Proyecto

Ing. Gustavo Agis

Coordinadores de la Contraparte CFI

Ing. Roberto Raúl Pucheta

Ing. Guillermo Federico Della Croce Velázquez



PROYECTO:

**“DESARROLLO DE PROYECTOS DE GENERACIÓN A PARTIR DE FUENTES
RENOVABLES: ENERGÍA EÓLICA EN LA PROVINCIA DE SANTA CRUZ”**

INFORME FINAL – JUNIO 2019

TECNOVEX S.R.L.

Coordinador General

Ing. Gustavo Agis

Colaboradores:

Ing. Gerardo Rodríguez

Ing. Ramiro Da Silva Pontet

Ing. Eduardo José Falero Valentín

Ing. Sergio Orlando Monachelli

Auxiliares operativos:

Fabio Borges Latorre

Oscar Caballero Felloza

Patricia Correa

EXTRACTO

Las leyes 26.190 y 27.191 de fomento a las energías renovables, establecen como objetivo el incremento de la generación a través de fuentes renovables en la matriz energética hasta un 20% en el 2025.

Para conseguir dichos objetivos, se estimulan las inversiones en la materia por medio de diversos incentivos fiscales. Por otra parte, se crea el FODER, un fondo fiduciario específico del sector para proveer garantías de pago de los PPA y otorgar financiamiento a los proyectos.

En este contexto y con la finalidad de dar cumplimiento a las metas mencionadas anteriormente, se lanzó el programa RenovAr, consistente en una serie de licitaciones que regula y fija los precios de la compra para el conjunto de la demanda, a la vez que se reglamentó el Mercado a Término, estableciendo las condiciones para la firma de contratos entre grandes usuarios de energía eléctrica, comercializadores y generadores.

El nuevo marco regulatorio abre un panorama propicio para el desarrollo de proyectos de energías renovables en la Provincia de Santa Cruz, una de las zonas de mayor potencial eólico en el planeta.

Se propone entonces como metodología de trabajo, la búsqueda de diversas zonas de interés para la instalación de torres de medición anemométrica, de manera de conocer en detalle las características del potencial de la provincia a través de campañas de medición con metodologías e instrumental homologados según los estándares internacionales, con el objetivo de construir una base de datos fiable, indispensable para la elaboración de proyectos de inversión.

En los sucesivos informes de Avance y Parciales, se fue reflejando la evolución de la búsqueda de sitios; instalación de la Estación de Medición, operación de la misma; recopilación, procesamiento y análisis de datos. Toda esta información se compila en este Informe Final en el que se realizó una extensa evaluación de las múltiples variables registradas a la fecha, algunas de las cuales se destacan a continuación:

- Velocidades de viento promedio de 10,4 m/s;
- Distribución de frecuencia óptima;
- Baja turbulencia promedio,

Como consecuencia de lo anterior, se puede concluir que resulta factible el desarrollo de un proyecto en el sitio, siendo necesaria la continuidad en las mediciones.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN Y RESUMEN A LA FECHA	7
1.1. Caracterización y detalle del sitio.....	10
1.1.1. <i>Ubicación</i>	10
1.1.2. <i>Infraestructura eléctrica disponible</i>	11
1.1.3. <i>Infraestructura vial disponible</i>	12
1.1.4. <i>Caracterización orográfica - topografía</i>	13
1.1.5. <i>Rugosidad</i>	15
1.1.6. <i>Ubicación de la torre de medición</i>	16
1.1.7. <i>Modelos mesoescalares de recurso eólico</i>	17
1.1.8. <i>Distribución de frecuencias por dirección (Rosa de vientos)</i>	18
1.1.9. <i>Histogramas de velocidad</i>	19
1.1.10. <i>Perfil vertical</i>	20
1.1.11. <i>Variación interanual</i>	21
2. ESTACIÓN DE MEDICIÓN.....	22
2.1. Detalle de los instrumentos a instalar e ingeniería del mástil.....	22
2.2. Proceso de fabricación.....	23
2.2.1. <i>Fabricación de tramos</i>	23
2.2.2. <i>Balizamiento diurno</i>	25
2.2.3. <i>Balizamiento nocturno</i>	26
2.2.4. <i>Fundaciones</i>	27
2.2.5. <i>Accesorios de anclajes</i>	28
2.2.6. <i>Accesorios del mástil</i>	29
2.3. Informe de instalación	30
3. CAPACITACIÓN AL PERSONAL PROVINCIAL.....	31
4. ANÁLISIS DE LOS DATOS REGISTRADOS	32
4.1. Estación Meteorológica Río Gallegos	32
4.2. Tratamiento y Validación de Datos	32
4.3. Principales parámetros	34
4.5. Distribución de frecuencias por dirección (Rosa de vientos).....	37
4.6. Perfil vertical	39
4.7. Variación diaria	40



4.8. Variación interanual	41
4.9. Intensidad de turbulencia	42
4.10. Densidad de potencia	43
4.11. Temperatura	44
4.12. Densidad del aire.....	46



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Zonas de potencial para instalación de un parque eólico.	9
Tabla 2. Coordenadas del Predio.	11
Tabla 3. Infraestructura eléctrica disponible.	12
Tabla 4. Rugosidad.	15
Tabla 5. Ubicación de la torre de medición.	17
Tabla 6. Rosa de vientos.	19
Tabla 7. Histogramas de velocidad.	20
Tabla 8. Perfil vertical.	21
Tabla 9. Listado de instrumentos y materiales del mástil de medición.	22
Tabla 10. Ubicación de la Estación Meteorológica.	32
Tabla 11. Periodo de datos registrados.	32
Tabla 12. Parámetros de instrumentos en la Estación.	34
Tabla 13. Mean of Monthly Means.	36
Tabla 14. Histogramas de velocidad.	36
Tabla 15. Perfil vertical.	39
Tabla 16. Perfil vertical.	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Potencial eólico en la provincia de Santa Cruz.	7
Figura 2. Infraestructura eléctrica de alta tensión.....	8
Figura 3. Mapa de elevación y potencial eólico de la provincia de Santa Cruz.	8
Figura 4. Ubicación del predio.	10
Figura 5. Infraestructura eléctrica en cercanías al predio.....	11
Figura 6. ET Río Gallegos.	12
Figura 7. Infraestructura vial disponible.	13
Figura 8. Modelo topográfico 3D.	13
Figura 9. Mapa de elevación.	14
Figura 10. Mapa de pendientes.	14
Figura 11. Mapa de rugosidad.....	15
Figura 12. Ubicación de la torre de medición.	16
Figura 13. Ubicación de la torre de medición.	17
Figura 14. Rosa de vientos.....	19
Figura 15. Histogramas de velocidad.	19
Figura 16. Perfil vertical.	20
Figura 17. Variación interanual.....	21
Figura 18. Fabricación de tramos.	24
Figura 19. Fabricación de tramos.	24
Figura 20. Banco matrizado.....	25
Figura 21. Acopio de tramos pintados.	26
Figura 22. Soportes para el balizamiento nocturno.	26
Figura 23. Anclajes internos/externos premoldeados.	27
Figura 24. Base centro premoldeada, con perno central.....	27
Figura 25. Tillas galvanizadas	28
Figura 26. Grilletes galvanizados para sujetar las riendas al montante del mástil....	28
Figura 27. Soporte de chapa galvanizada para panel solar.	29
Figura 28. Soporte de chapa galvanizada para cable de vida.	29
Figura 29. Estructura metálica para plataforma anti vandálica.	30
Figura 30. Visita al sitio de instalación de la estación meteorológica.	31
Figura 31. Datos de velocidad de viento.	33
Figura 32. Datos de dirección de viento.	33
Figura 33. Histogramas de velocidad.	37
Figura 34. Frecuencia vs. Veleta 1	38



Figura 35. Velocidad promedio vs. Veleta 1	38
Figura 36. Energía vs.Veleta 1	39
Figura 37. Perfil vertical.	40
Figura 38. Perfil vertical.	40
Figura 39. Variación diaria.....	41
Figura 40. Variación anual.....	41
Figura 41. Intensidad de turbulencia.	42
Figura 42. Intensidad de turbulencia.	42
Figura 43. Intensidad de turbulencia.	43
Figura 44. MoMM of Wind Power Density (W/m ²) vs. Height.....	43
Figura 45. Variación mensual de la temperatura	44
Figura 46. Temperatura (°C) vs. Altura.....	45
Figura 47. Variación diaria de la temperatura.....	45
Figura 48. Frecuencia de temperaturas.....	46



ANEXOS

Anexo 01 – Ingeniería de la estación anemométrica

Anexo 02 – Memoria de cálculo del mástil

Anexo 03 – Memoria de cálculo de las fundaciones

Anexo 04 – Especificaciones técnicas de los instrumentos

Anexo 05 – Certificados de calibración de los instrumentos

Anexo 06 – Informe de instalación

Anexo 07 – Reportes

Anexo 08 – Capacitación

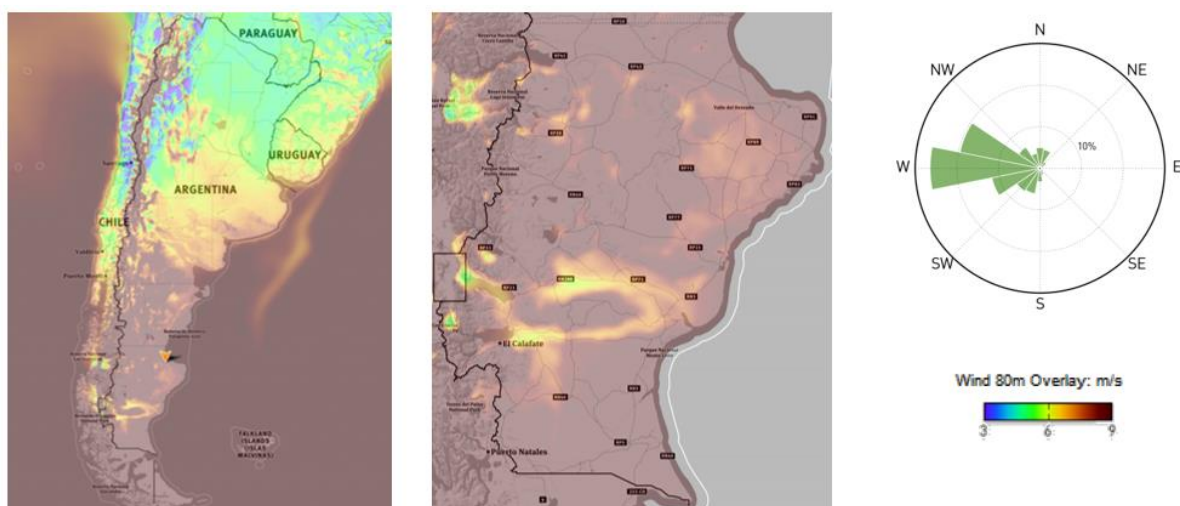
1. INTRODUCCIÓN

La Patagonia argentina es una de las regiones de mayor potencial eólico del planeta, gracias a la dirección, constancia y velocidad del viento, con factores de capacidad superiores al 60%.

Diversos estudios indican que el viento patagónico es el de mejor calidad en todo el mundo como recurso continental. Vastas zonas en la Patagonia media y sur cuentan con velocidades promedio que superan los 9 m/s y hasta 12 m/s.

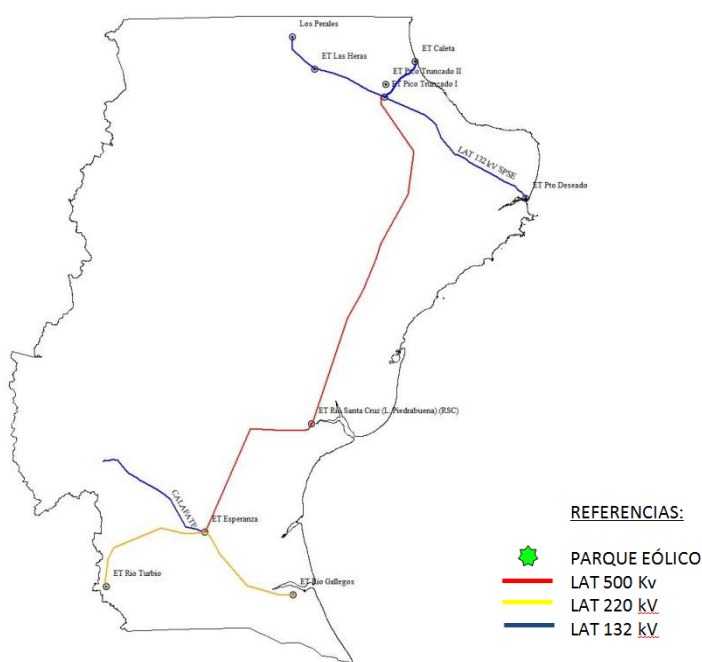
En el marco del presente convenio de cooperación técnica, se propuso la búsqueda de sitios propicios en el territorio provincial para llevar adelante una campaña de medición del recurso eólico y, una vez analizadas las diversas variables y seleccionado el sitio, se instaló una estación meteorológica en cercanías a la ciudad de Río Gallegos, de forma de poder registrar y procesar los datos de viento.

En primera instancia y para tener una primera aproximación al caso, se analizó de forma general el potencial en la totalidad de la provincia. Las velocidades promedio del viento en la mayor parte de la región en estudio, superan ampliamente los 9 m/s a 80 metros de altura.



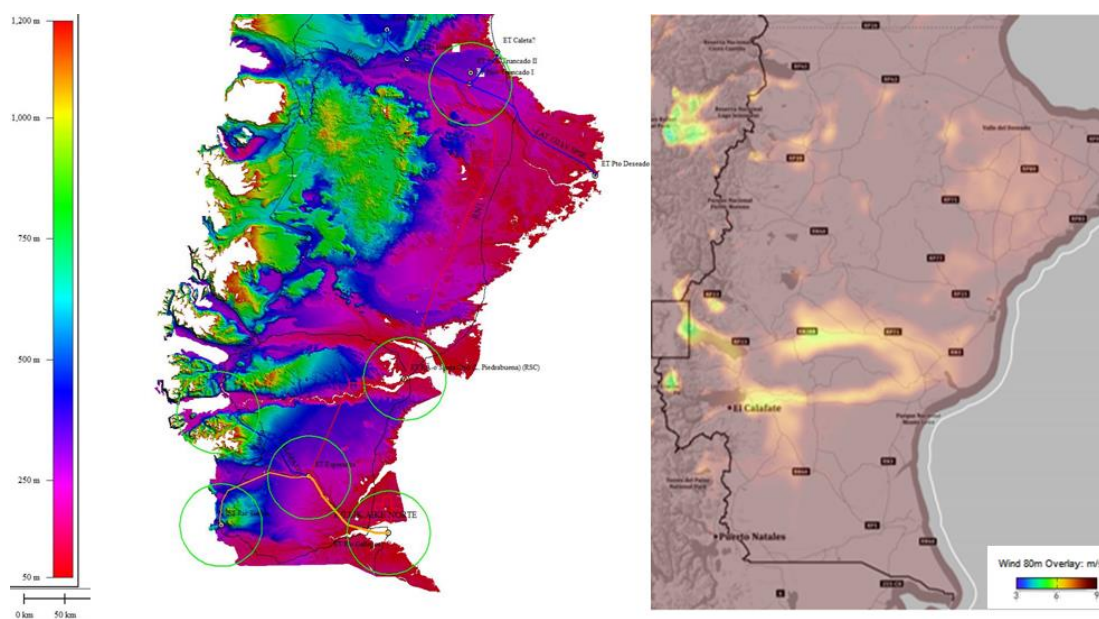
*Figura 1. Potencial eólico en la provincia de Santa Cruz.
Fuente: Elaboración propia.*

A continuación, se estudió la infraestructura eléctrica existente y proyectada. Este es un punto clave y el que presenta una de las limitaciones más importantes; sin infraestructura de transmisión sobre la cual inyectar la energía generada, no es factible ningún desarrollo de este tipo.



*Figura 2. Infraestructura eléctrica de alta tensión. Detalle tensiones y proyectos existentes.
Fuente: Elaboración propia.*

Seguidamente, se hizo foco sobre la topografía de los posibles emplazamientos. Es importante que el terreno sea de topografía simple (de relieve plano) evitando así un flujo de viento turbulento, que atenta contra la producción del parque y vida útil de los aerogeneradores.



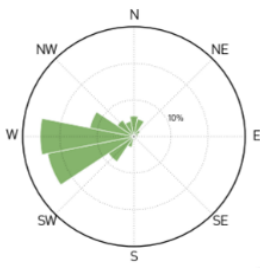
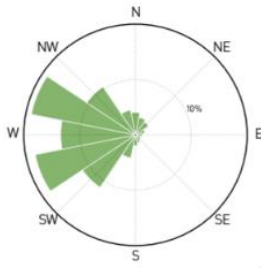
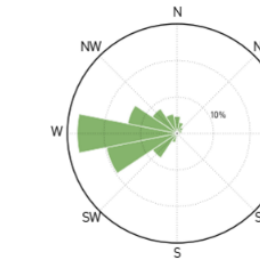
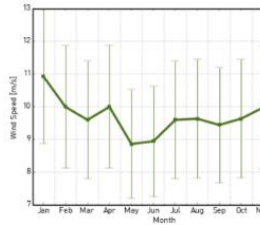
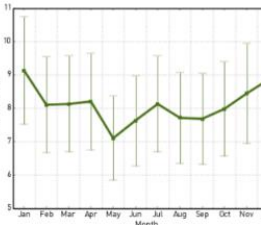
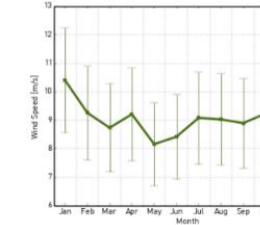
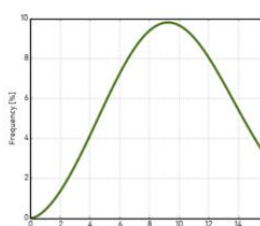
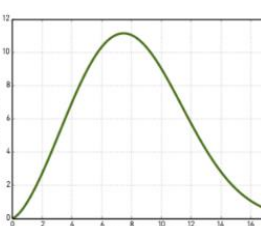
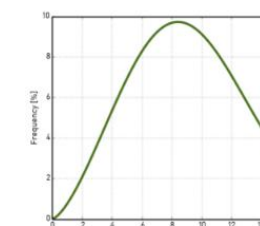
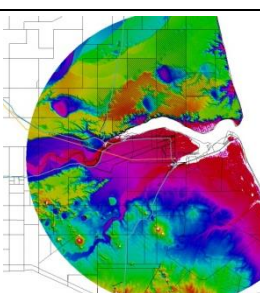
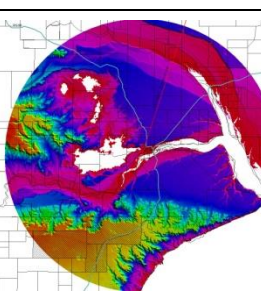
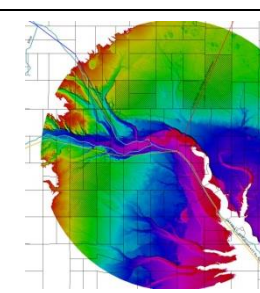
*Figura 3. Mapa de elevación y potencial eólico de la provincia de Santa Cruz.
Fuente: Elaboración propia.*

Otras variables que se consideraron para la preselección, fueron los aspectos socio-ambientales, cercanía a puertos, a centros poblados y buena accesibilidad.

Como consecuencia de los estudios realizados, se concluyó que serían 3 (tres) las zonas de mayor interés para realizar la campaña de medición del potencial eólico y, posteriormente, la instalación de una central de generación:

Tabla 1. Zonas de potencial para instalación de un parque eólico.

Fuente: elaboración propia.

RESUMEN DE ZONAS DE POTENCIAL			
Lugar	Río Gallegos	Comandante Luis Piedra Buena	Esperanza
Infraestructura eléctrica:	ET Río Gallegos, 220/33/13,2 kV, 100/100/33 MVA	ET Río Santa Cruz, 500/132 kV, 150 MVA	ET Esperanza, 500/220/33 kV, 220/132/33 kV, 300/300/100 MVA, 100/100/33 MVA
Acceso:	RN 3 y RP 58.	RN 3, RN 228 y RP 17.	RN 40, RP 2 y RP 5.
Velocidad media anual:	9.8 ± 1.5 m/s a 80 m.	8.1 ± 1.1 m/s a 80 m.	9.3 ± 1.3 m/s a 80 m.
Dirección predominante del viento:			
Velocidad media anual mensual:			
Distribución de Weibull			
Elevación:			

Una vez que se obtuvo una visión clara de los sitios propicios para desarrollar el proyecto teniendo en cuenta las condiciones de borde enumeradas anteriormente, se decidió avanzar con la zona de Río Gallegos. En las inmediaciones de la misma se encuentra la ET Río Gallegos (220/33/13,2 kV) y la LAT de 220 kV que une dicha ET con la ET Esperanza (500/220/33 kV). Además, la zona elegida tiene como ventaja el hecho de estar cerca de la ciudad capital de la provincia, con la posibilidad de la generación de puestos de trabajo de calidad en cercanías a la misma.

Por último, otra ventaja es que el potencial parque eólico no cuenta con competencia directa en la zona, ya que no existen otros proyectos de este tipo –en ejecución, construcción o ejecutados- en las cercanías.

1.1. Caracterización y detalle del sitio

1.1.1. Ubicación

El sitio evaluado para la instalación de la torre de medición consiste en un predio privado, actualmente dedicado a la actividad ganadera, conformando un polígono de 2515 Ha. El predio está ubicado al Noroeste de la ciudad de Río Gallegos, aproximadamente a 26 km del centro de la ciudad. El predio posee una vía de acceso principal, sobre la Ruta Nacional N° 3 (RN 3), la que servirá de acceso principal para la instalación de la torre de medición.



Figura 4. Ubicación del predio.

Fuente: Google Earth / Elaboración propia.

Conforme a la información consultada en bases de datos públicas de catastro, el predio disponible para el estudio, denominado “GUER AIKE”, se ubica dentro de los siguientes vértices:

Tabla 2. Coordenadas del Predio.

Fuente: elaboración propia, coordenadas WGS84, UTM Zona 19S.

Vértice	UTM X	UTM Y
1	457387.00	4288613.00
2	459409.00	4288599.00
3	459378.00	4283577.00
4	463870.00	4283538.00
5	456244.00	4280389.00

1.1.2. Infraestructura eléctrica disponible

El predio analizado está ubicado a 6 km de la Línea de Alta Tensión (LAT) de 220 kV que une la ET Esperanza propiedad de TRANSENER y la ET Río Gallegos (220/33/13,2 kV – 100/100/33 MVA).

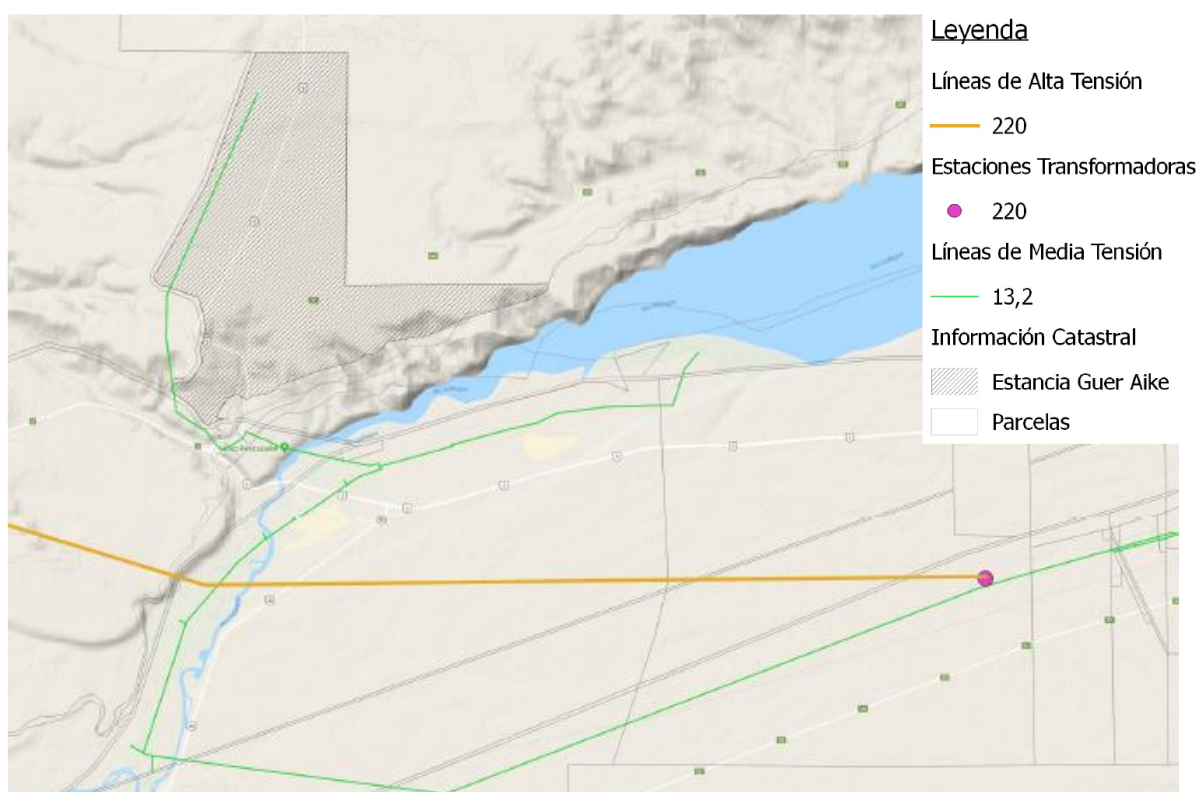


Figura 5. Infraestructura eléctrica en cercanías al predio.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla a continuación se indican los la infraestructura eléctrica disponible cercana a la Estancia Guer Aike:

Tabla 3. Infraestructura eléctrica disponible.

Fuente: elaboración propia, con datos del Plan Federal de Transporte Eléctrico I, <http://www.cfee.gov.ar>, CAMMESA.

Punto de conexión (nombre)	Punto de conexión (tipo)	Tensión (kV)
LAT Esperanza – Río Gallegos	Línea de Alta Tensión (LAT)	220 kV
ET Río Gallegos	Estación Transformadora	220/33/13,2 kV
LMT Río Gallegos	Línea de Media Tensión (LMT)	13,2 kV

A 25 km del predio, se encuentra la ET Río Gallegos. La misma puede observarse en la siguiente foto aérea.

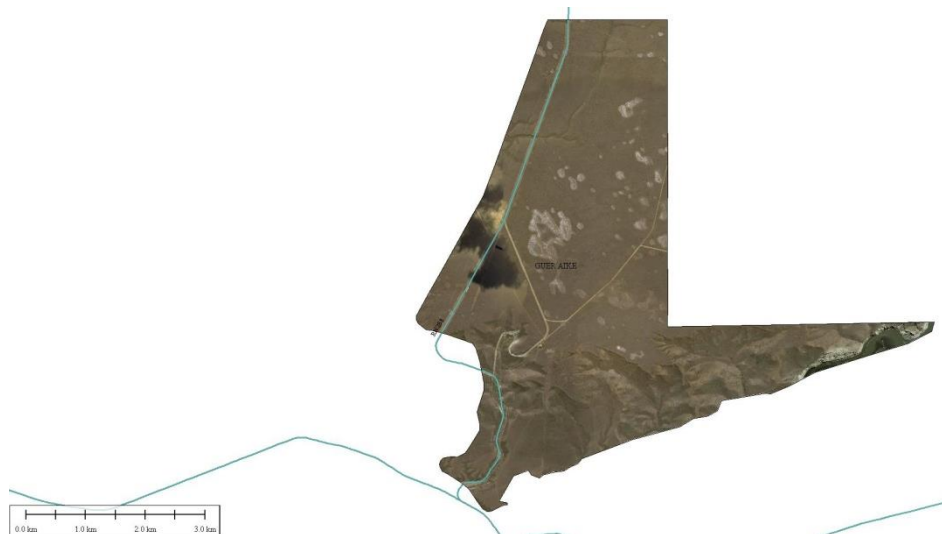


Figura 6. ET Río Gallegos.

Fuente: elaboración propia en base a Google Earth.

1.1.3. Infraestructura vial disponible

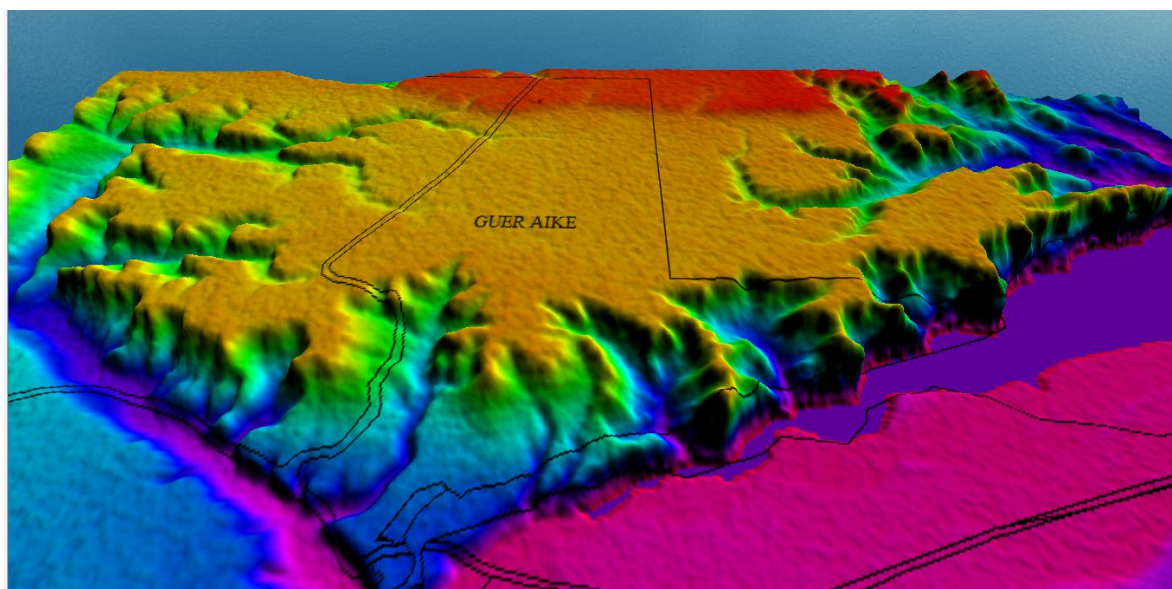
El sitio seleccionado se encuentra próximo a la localidad de Río Gallegos. Desde la localidad anteriormente mencionada, el transporte al predio se realiza principalmente por la RN 3, atravesando el predio de norte a sur como se puede ver en la siguiente imagen. Asimismo, el predio posee caminos consolidados que permiten acceder a los extremos este y oeste del mismo.



*Figura 7. Infraestructura vial disponible.
Fuente: Elaboración propia.*

1.1.4. Caracterización orográfica - topografía

La topografía del predio ha sido evaluada a partir de los datos topográficos satelitales descargados de la base de Shuttle Radar Topography Mission Versión 3. Dicha base de datos es la alternativa con mayor resolución actualmente disponible, a partir de mediciones realizadas con intervalos de 1 segundo de grado, lo que se traduce en una resolución horizontal aproximada de 30 metros. El error vertical absoluto máximo de este modelo es de 16 metros.



*Figura 8. Modelo topográfico 3D.
Fuente: Elaboración propia.*

La figura a continuación presenta las elevaciones de la zona analizada.

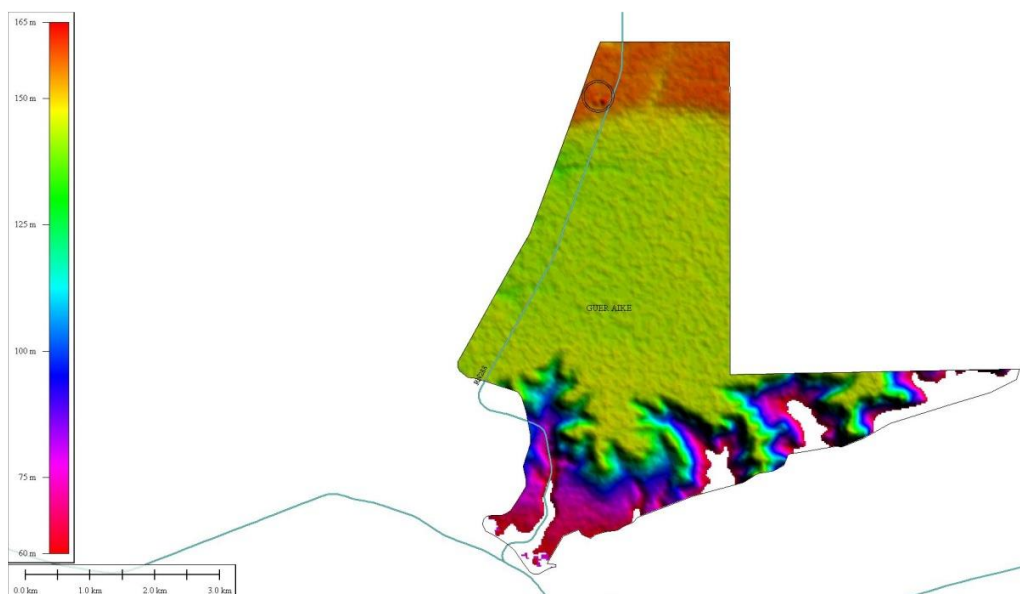


Figura 9. Mapa de elevación.
Fuente: Elaboración propia.

A partir del análisis de la información topográfica, se observa que el predio se ubica a una altura sobre el nivel del mar entre los 60 y los 165 m.s.n.sm. El terreno se presenta mayormente plano, observándose una pendiente dominante en dirección norte-sur.

Las pendientes del emplazamiento y su entorno son relevantes para el proyecto, tanto para permitir el acceso como para identificar zonas con mayor potencial. Se observa que sobre la mayor extensión del terreno las pendientes son muy reducidas. Las pendientes máximas del sitio en estudio se encuentran en el extremo sur, estimándose en 12%. La siguiente figura presenta las pendientes de la zona.



Figura 10. Mapa de pendientes.
Fuente: Elaboración propia.

1.1.5. Rugosidad

La cobertura superficial del terreno en la zona bajo análisis es uno de los factores determinantes del recurso eólico disponible. La rugosidad es una de las causas principales del gradiente vertical de velocidad del viento. A mayores niveles de rugosidad, es superior el incremento de la velocidad al aumentar la altura respecto del nivel del suelo.

Se realizó la caracterización de la rugosidad del sitio utilizando la clasificación de Davenport (Davenport, 1960). La determinación de la rugosidad se realizó en base a la fotointerpretación de imágenes satelitales, contrastada con fotografías georreferenciadas, así como la base de datos de Google Street View.

Se muestra a continuación el mapa de rugosidad con una resolución de 1 km elaborado por la DTU (Danmarks Tekniske Universitet).

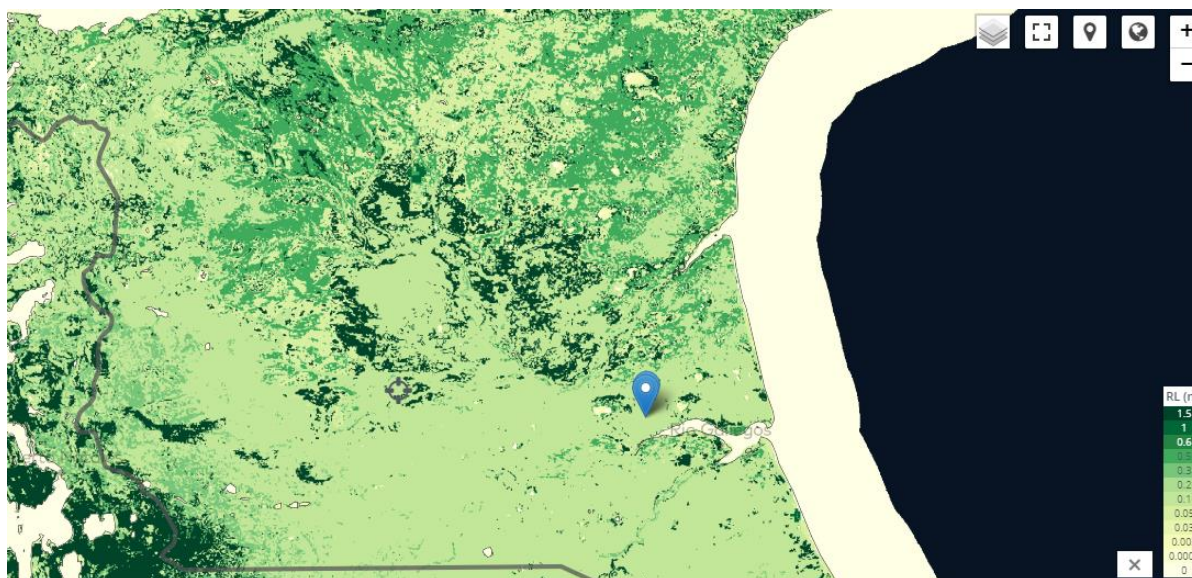


Figura 11. Mapa de rugosidad.

Fuente: DTU Global Wind Atlas.

<https://globalwindatlas.info/area/Argentina/Santa%20Cruz>.

Los principales valores de rugosidad identificados dentro de un radio de 20 km alrededor del predio se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 4. Rugosidad.

Fuente: Danish Wind Industry Association,

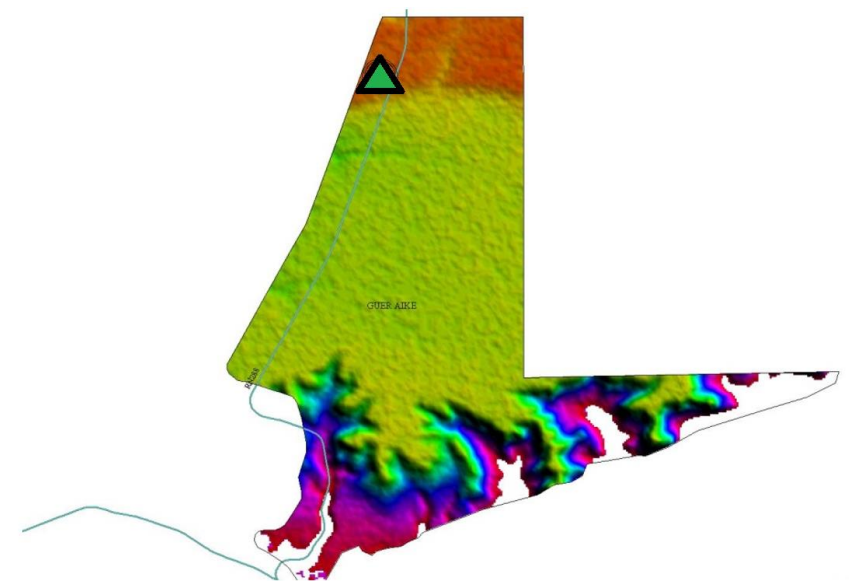
http://www.windpower.org/en/knowledge/windpower_wiki.html

Clase de rugosidad	Longitud de rugosidad (m)	Índice de energía (%)	Tipo de paisaje
0	0,0002	100	Superficie del agua

0,5	0,0024	73	Terreno completamente abierto con una superficie lisa, p.ej., pistas de hormigón en los aeropuertos, césped cortado, etc.
1	0,03	52	Área agrícola abierta sin cercados ni setos y con edificios muy dispersos. Sólo colinas suavemente redondeadas
1,5	0,055	45	Terreno agrícola con algunas casas y setos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 1250 m.
2	0,1	39	Terreno agrícola con algunas casas y setos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 500 m.
2,5	0,2	31	Terreno agrícola con muchas casas, arbustos y plantas, o setos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 250 m.
3	0,4	24	Pueblos, ciudades pequeñas, terreno agrícola, con muchos o altos setos resguardantes, bosques y terreno accidentado y muy desigual
3,5	0,8	18	Ciudades más grandes con edificios altos
4	1,6	13	Ciudades muy grandes con edificios altos y rascacielos

1.1.6. Ubicación de la torre de medición

A partir de los criterios anteriormente mencionados, se eligió el área noroeste del predio, ya que cuenta con excelente exposición al viento, topografía plana y pendientes suaves y muy buena accesibilidad.



*Figura 12. Ubicación de la torre de medición.
Fuente: Elaboración propia.*

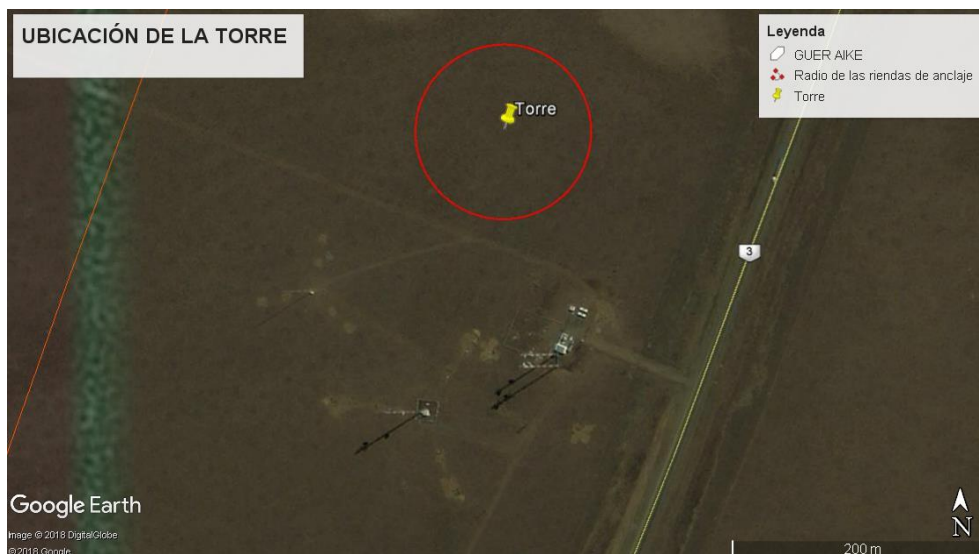


Figura 13. Ubicación de la torre de medición.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra la ubicación de la mencionada estación o torre meteorológica (EM) instalada en el predio.

Tabla 5. Ubicación de la torre de medición.

Fuente: Elaboración propia.

Torre	Coordenadas (WGS84)		Altura del terreno [m.s.n.m.]
	S	W	
EM Rio Gallegos	51°33' 28.9"	69°36' 51.2"	157

1.1.7. Modelos mesoescalares de recurso eólico

Previo a la instalación de la estación meteorológica, se realizó una primera evaluación del recurso eólico en base a modelos atmosféricos mesoescalares de fuentes reconocidas en la industria.

Estos modelos consisten en mapas elaborados a partir de mediciones meteorológicas globales que, procesadas con algoritmos específicos, buscan mejorar su representatividad a nivel microescalar.

La mayor parte de estos modelos incluyen estimaciones de datos descriptivos del recurso eólico como:

- Velocidades de viento a diferentes alturas
- Distribución de frecuencias por dirección (Rosa de vientos)
- Parámetros de la distribución de Weibull ajustada al sitio
- Densidad del aire
- Rugosidad del terreno

Es importante destacar que, debido al nivel de incertidumbre asociado a estos modelos, la información provista por los mismos sólo debe utilizarse a modo referencial, haciéndose indispensable la medición del recurso in situ.

Se presentan a continuación las fuentes consultadas y las velocidades medias de viento según las mismas, siendo éste el principal parámetro a evaluar en relación al potencial eólico del sitio.

3TIER - Vaisala

El modelo elaborado por la firma Vaisala (3Tier) indica la velocidad media a 80 m de altura con una resolución de 200 m.

Este mapa indica una velocidad media de 9,8 m/s a 80 m de altura en el predio de implantación del proyecto

Wind Navigator – AWS Truepower

El modelo elaborado por la firma AWS TRUEPOWER (Wind Navigator) indica la velocidad media a 100 m de altura con una resolución de 200 m. Para un punto ubicado en el interior del predio, Wind Navigator indica una velocidad media aproximada de 9,5 m/s.

DTU Global Wind Atlas

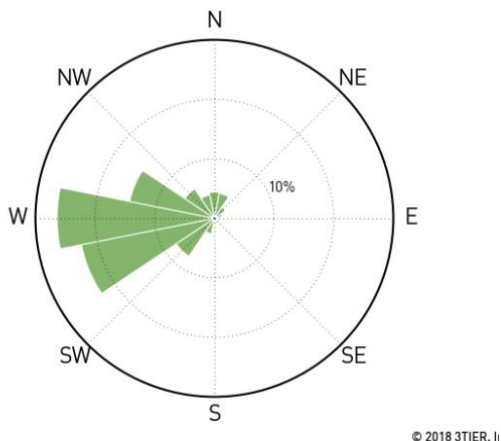
El mapa elaborado por la DTU (Danmarks Tekniske Universitet) brinda las velocidades medias estimadas a 100 metros sobre el nivel del suelo.

Este modelo cuenta con una resolución de 1 km. Este mapa indica una velocidad media de 9,75 m/s en el mismo punto evaluado en los mapas anteriores.

Adicionalmente se estimó el valor medio de densidad del aire en el sitio en 1,247 Kg/m³.

1.1.8. Distribución de frecuencias por dirección (Rosa de vientos)

Para profundizar en la evaluación del potencial eólico del sitio, se realizó un análisis de la distribución de frecuencias por dirección.



*Figura 14. Rosa de vientos.
Fuente: 3TIER – Vaisala.*

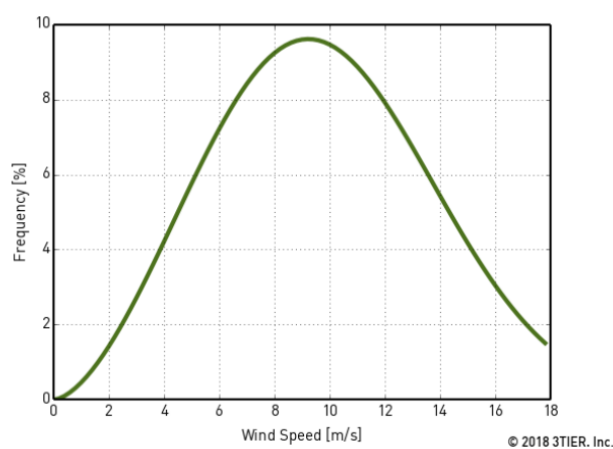
Los datos aportados por el modelo elaborado por la firma Vaisala (3Tier) son los siguientes:

*Tabla 6. Rosa de vientos.
Fuente: 3TIER - Vaisala*

Altura	Variable	Valor medio
80	Dirección predominante	270°

1.1.9. Histogramas de velocidad

Uno de los parámetros fundamentales para la caracterización y evaluación del recurso eólico es la distribución de frecuencias de velocidad (Curva de Weibull). Se presenta a continuación el histograma de velocidad obtenido del modelo elaborado por 3Tier, de Vaisala:



*Figura 15. Histogramas de velocidad.
Fuente: 3TIER – Vaisala.*

Los datos aportados por el modelo elaborado por la firma 3Tier son los siguientes:

Tabla 7. Histogramas de velocidad.

Fuente: 3TIER - Vaisala

Altura	Variable	Valor medio
80	Weibull A	11,03
80	Weibull k	2,65

1.1.10. Perfil vertical

La variación de la magnitud de la velocidad del viento con la altura es fundamental para seleccionar la altura óptima de los aerogeneradores y verificar, para cada una de ellas, la aptitud del modelo de generador seleccionado frente a las cargas mecánicas producidas por el viento.

Existen diferentes modelos matemáticos para describir la variación del viento con la altura, siendo el modelo exponencial el más aplicado:

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{Z_1}{Z_2}\right)^\alpha$$

Dónde:

- V_1 : Velocidad a altura 1
- V_2 : Velocidad a altura 2
- Z_1 : Altura 1
- Z_2 : Altura 2
- α : Exponente alpha de perfil exponencial

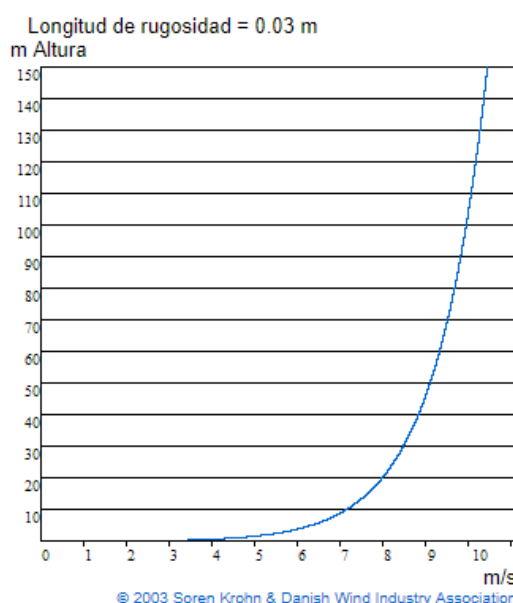


Figura 16. Perfil vertical.

Fuente: Danish Wind Industry Association,

http://www.windpower.org/en/knowledge/windpower_wiki.html

Los datos aportados por el modelo elaborado por la firma Vaisala (3Tier) son los siguientes:

Tabla 8. Perfil vertical.

Fuente: 3TIER - Vaisala

Altura	Variable	Valor medio
80	Velocidad media	9,8
50	Velocidad media	9,1
20	Velocidad media	7,7

A través del ajuste del modelo exponencial, es posible determinar el exponente alpha (α : 0,12).

1.1.11. Variación interanual

A continuación, se presenta el análisis los perfiles de velocidades medias mensuales. En lo que respecta a la variación intermensual, se observa un comportamiento variable del recurso, con un importante aumento en los meses de primavera y verano.

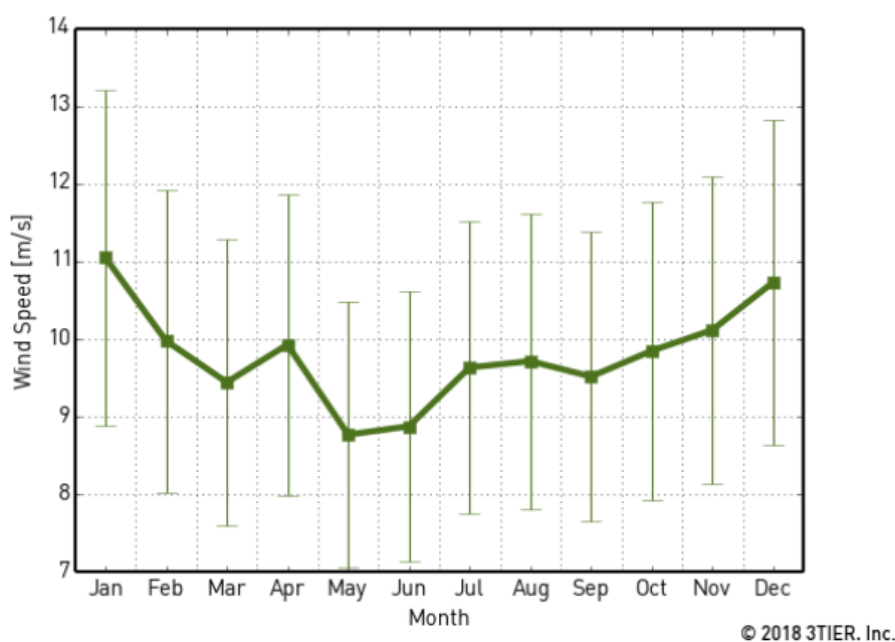


Figura 17. Variación interanual.

Fuente: 3TIER – Vaisala.

Complementariamente, es necesario disponer de mediciones de velocidad a diferentes alturas en el sitio a fines de evaluar la estabilidad atmosférica y la turbulencia ambiente a lo largo del día.

2. ESTACIÓN DE MEDICIÓN

El 22 de septiembre de 2018 se finalizó el montaje, instalación y puesta en marcha de la estación meteorológica en la estancia Güer Aike y se comenzó con el registro de los datos.

A continuación, se describen los elementos salientes de la estación.

2.1. Detalle de los instrumentos a instalar e ingeniería del mástil

La estación de medición consta de una estructura reticulada, de 45 cm de lado y 85 m de altura, con una serie de riendas y soportería para el instrumental de medición.

En el **Anexo 01** se puede encontrar la ingeniería de la torre.

El suministro eléctrico se realiza a través de módulos solares, que proveen de energía a los instrumentos, el data logger (registrador) y las balizas. La instalación de éstas últimas se realiza acorde a los requerimientos de la Administración Nacional de Aviación Civil.

Por último, cuenta con cables específicos que conectan los instrumentos al sistema de alimentación eléctrico en los casos en los que corresponde y al data logger, así como un sistema de puesta a tierra para toda la estructura, riendas y equipos.

La tabla a continuación indica el detalle de los principales instrumentos que se instalarán.

Tabla 9. Listado de instrumentos y materiales del mástil de medición.

Fuente: elaboración propia.

Cant.	Nombre	Marca	Modelo
4	Anemómetros	Thies Clima	First Class Advanced II S11101H
2	Veletas	Thies Clima	First Class TMR - S21110H
1	Data logger	Ammonit	Meteo 40-M
1	Modem 3G	MC Technologies	PHS8-P M76400
1	Antena onmidireccional	MC Technologies	GSM/UTMS
2	Termohigrómetro	Ammonit	KPC1.S/6-ME S52100
5	Balizas	Cogall	Maxx360
1	Barómetro	Ammonit	AB-60 (S31100)

1	Paneles fotovoltaicos	Solartec	KS50T
1			KS100T-24V
4	Protectores sobretensión	Leutron	DP3x1-24V/24V-Tr
5			DP2x1-24V/24V-Tr
3	Batería ciclo profundo	Deka Solar	8G27-DEKA 88Ah
228 m	Cables	Marlew	EC-0403
270 m			EC-0303
1	Gabinete	Gabexel	GE 7060 70x65x26cm
1			GE 4545 45x45x26cm

El **Anexo 04** contiene las especificaciones técnicas de los instrumentos indicados en la tabla anterior.

Para obtener mediciones precisas y de calidad, es condición indispensable que los anemómetros se encuentren calibrados. En el **Anexo 05** se pueden ver los certificados de calibración de los anemómetros que se instalarán en el mástil.

2.2. Proceso de fabricación

La estructura del mástil está compuesta básicamente por dos partes:

- la estructura metálica reticulada del mástil con sus riendas
- las fundaciones.

2.2.1. Fabricación de tramos

El mástil es una estructura metálica reticulada de sección triangular. La estructura está dividida en tramos de 6 metros de longitud para permitir el manipuleo y facilitar el montaje.

Los tramos están compuestos por montantes en caño de hierro con diagonales de hierro redondo soldados de diámetros y espesores acorde a lo indicado en la Memoria de Cálculo de Estructuras (ver **Anexo 02**).



Figura 18. Fabricación de tramos.

Fuente: Elaboración propia.

Los tramos se realizan en taller propio sobre bancos matrizados para lograr exactitud en la ejecución de los mismos. Todos los tramos y componentes metálicos del mástil son galvanizados en caliente por técnica de inmersión para evitar la corrosión.



Figura 19. Fabricación de tramos.

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 20. Banco matrizado.
Fuente: Elaboración propia.*

2.2.2. Balizamiento diurno

Para cumplir los requisitos de la Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC), especificados en las Normas De Señalamiento Diurno E Iluminación De Objetos - ANEXO II, se realiza el pintado de la estructura con pintura apta para intemperie de color blanco y naranja internacional en franjas alternadas (http://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/infraestructura_y_aerod/aerodromos/f-110-02-anexo-ii-requisitos-de-se-alamiento.pdf).



Figura 21. Acopio de tramos pintados.
Fuente: Elaboración propia.

2.2.3. Balizamiento nocturno

En la parte superior de la estructura y a mitad de su altura, se colocará un artefacto de iluminación color rojo aeronáutico en cada arista de la torre. El soporte de fijación de dicho artefacto se muestra a continuación.



Figura 22. Soportes para el balizamiento nocturno.
Fuente: Elaboración propia.

2.2.4. Fundaciones

Las fundaciones son fabricadas en Hormigón Armado premoldeado. Su producción se realiza de forma independiente de la obra, reduciendo los tiempos de ejecución de obra que puede ocasionar el mal tiempo y garantizando la calidad. Las dimensiones de las mismas surgen de lo indicado en la Memoria de Cálculo de Fundaciones (ver **Anexo 03**).



*Figura 23. Anclajes internos/externos premoldeados.
Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 24. Base centro premoldeada, con perno central
para vinculación con la estructura del mástil.
Fuente: Elaboración propia.*

2.2.5. Accesorios de anclajes

Su propósito es vincular los anclajes premoldeados con las riendas.



*Figura 25. Tillas galvanizadas y fijación para soportes laterales con tornillo prisionero.
Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 26. Grilletes galvanizados para sujetar las riendas al montante del mástil.
Fuente: Elaboración propia.*

2.2.6. Accesorios del mástil



*Figura 27. Soporte de chapa galvanizada para panel solar.
Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 28. Soporte de chapa galvanizada para cable de vida.
Fuente: Elaboración propia.*



Figura 29. Estructura metálica para plataforma anti vandálica.

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Informe de instalación

En el **Anexo 06** se encuentra el informe de instalación de la estación meteorológica, con toda la información relevante respecto al montaje de la misma, junto con los instrumentos.

3. CAPACITACIÓN AL PERSONAL PROVINCIAL

El día 20 de septiembre de 2018, se realizó una visita a la estancia Güer Aike, donde se ejecutaban las etapas finales de los trabajos de montaje e instalación del mástil anemométrico. Contó con la presencia del Ministro de Producción, Comercio e Industria de la Provincia, Leonardo Álvarez y el presidente del Instituto de Energía, Matías Kalmus.

Por otra parte, se llevó adelante en la sede del Instituto de Energía de Santa Cruz, en la ciudad de Río Gallegos, la capacitación al personal provincial. Se realizó una clase interactiva en la que se impartieron conceptos básicos sobre el data logger instalado en la estación y el tratamiento de los datos registrados.

Asistieron, por el Instituto de Energía: Gustavo Martínez, Patricia Maya, Martín González, José Luis Espinoza, Estefanía Santibañez, Osvaldo Pisani y la coordinadora del proyecto, Licenciada Lorena Leonett.

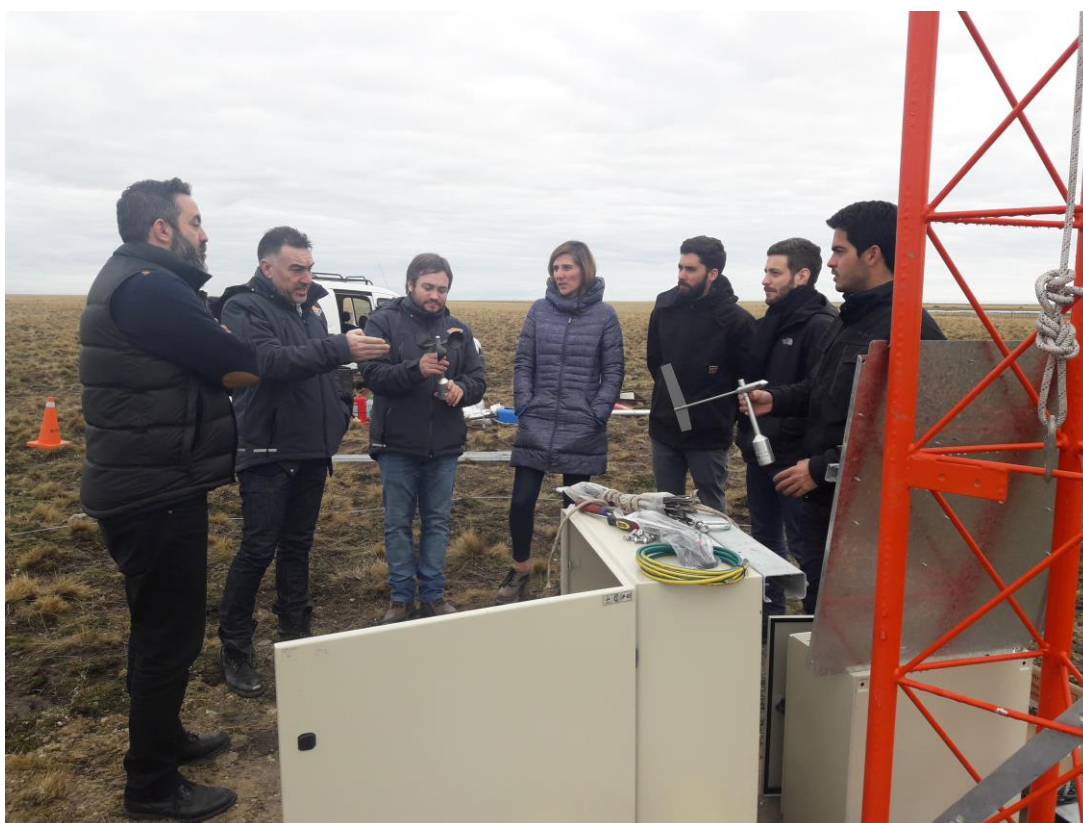


Figura 30. Visita al sitio de instalación de la estación meteorológica.

En el **Anexo 08** se adjunta la presentación que se proyectó junto con la capacitación, mientras que en el **Anexo 04**, como se indicó antes, están las especificaciones técnicas de los instrumentos y el data logger. En soporte digital se entrega el manual del data logger.

4. ANÁLISIS DE LOS DATOS REGISTRADOS

4.1. Estación Meteorológica Río Gallegos

La estación meteorológica instalada en el sitio, como se indicó anteriormente, consta de una torre de material reticulado de 85m de altura, dotada de instrumentos para medición de recurso eólico.

Se presenta en la siguiente tabla la ubicación y el detalle de la misma.

*Tabla 10. Ubicación de la **Estación Meteorológica**.*

Fuente: Elaboración propia

Estación Meteorológica	Ubicación (WGS84)		Elevación
	S	W	
<i>Rio Gallegos</i>	<i>51°33' 28.870"</i>	<i>69°36' 51.200"</i>	<i>157 msnm</i>

Las mediciones se iniciaron el 22/09/2018, y al momento del presente informe se contabilizaron registros hasta el 28/10/2018. No se registran cambios de instrumentos.

Tabla 11. Periodo de datos registrados.

Fuente: Elaboración propia

Estación Meteorológica	Período de registros utilizados		Duración
	Desde	Hasta	
<i>Rio Gallegos</i>	<i>22/09/2018</i>	<i>31/05/2019</i>	<i>251 días</i>

** Nota: el registro de datos continúa de forma ininterrumpida. La tabla de arriba indica los datos hasta la fecha de realización de este Informe Final.*

4.2. Tratamiento y Validación de Datos

Se han validado y revisado en su conjunto las medidas de viento tomadas para comprobar su integridad y nivel de coherencia en la estación meteorológica del proyecto. Los principales temas abordados en el proceso de validación incluyen fallos en los equipos, eliminación de datos erróneos, verificación de datos faltantes e incongruencias en los registros.

El procesamiento de datos incluye una revisión minuciosa de los valores de recurso eólico observados para cada uno de los sensores a lo largo de todo el período de registros, descartando aquellos datos/períodos donde por algún motivo (congelamiento/rotura de instrumentos/rayos/otros) los registros presentan faltantes, desvíos, valores erróneos, etc.

El uso de múltiples observaciones provenientes de registros posicionados a diferentes alturas reduce típicamente la incertidumbre de las mediciones y mejora los indicadores del proyecto.

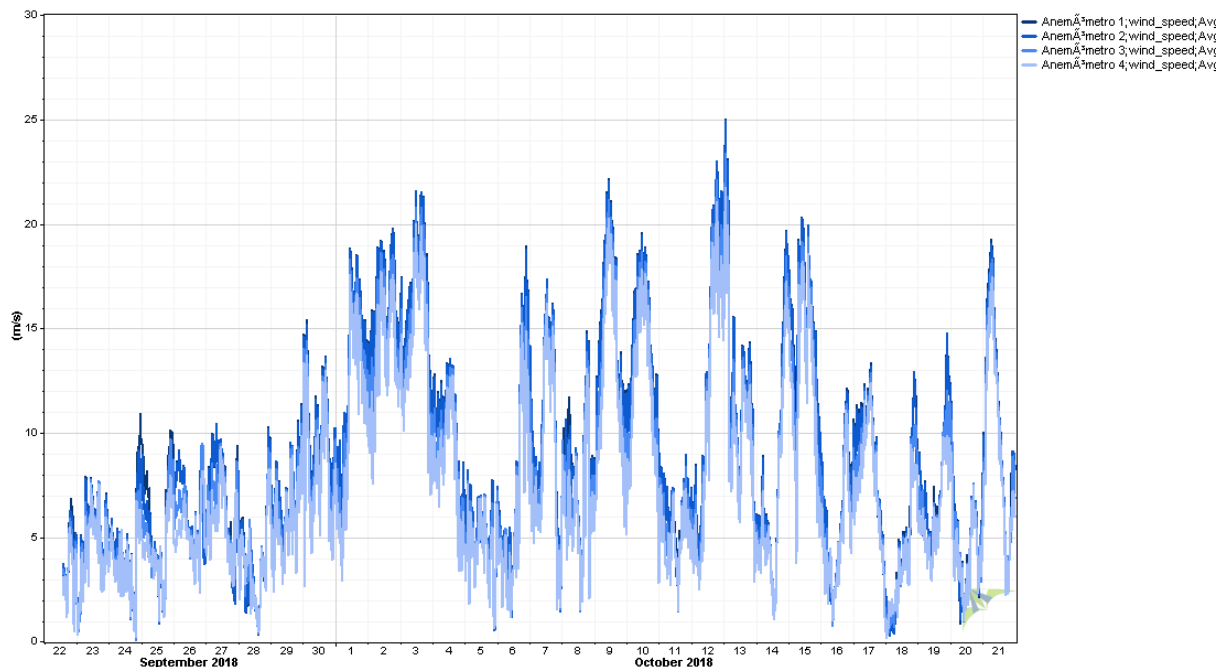


Figura 31. Datos de velocidad de viento.

Fuente: Elaboración propia.

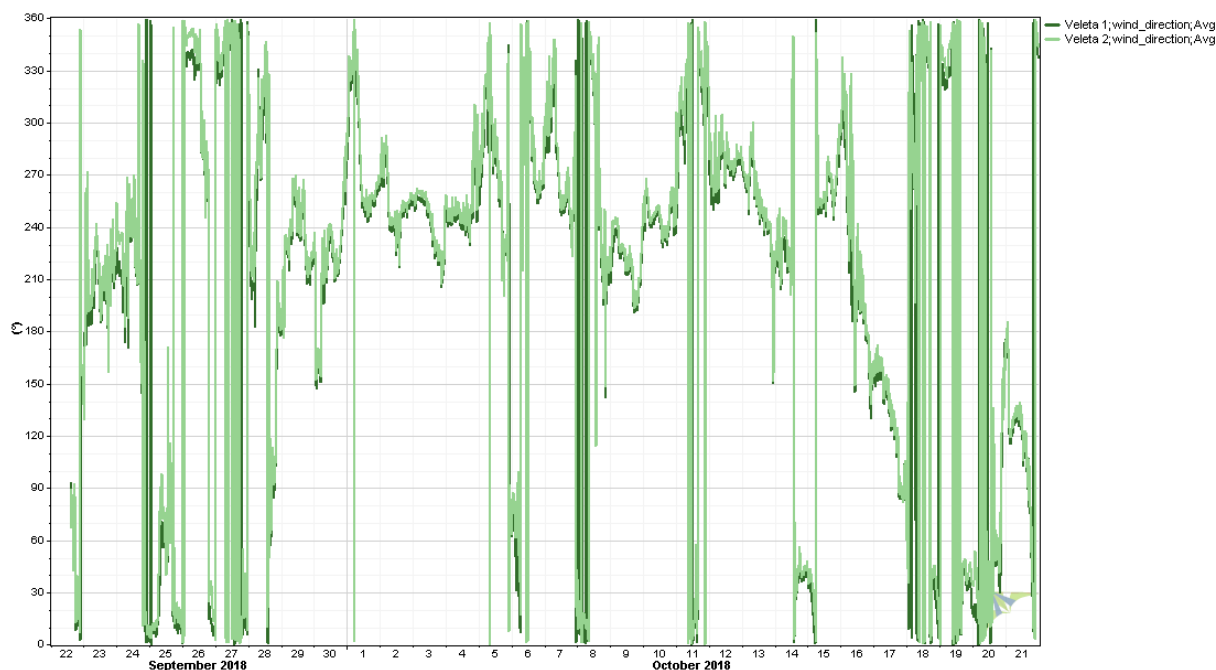


Figura 32. Datos de dirección de viento.

Fuente: Elaboración propia.



4.3. Principales parámetros

Se presenta a continuación un resumen de los principales parámetros de la estación meteorológica Río Gallegos.

(Tabla 12. Parámetros de instrumentos en la Estación.

Fuente: Elaboración propia)

#	Label	Units	Height	Possible Data Points	Valid Data Points	DRR (%)	Mean	MoMM	Median	Min	Max	Std. Dev
1	Anemómetro 1; wind_speed; Avg	m/s	85 m	36,076	36,058	99.95	10.429	10.429	9.926	0.127	29.710	4.912
2	Anemómetro 2; wind_speed; Avg	m/s	83.5 m	36,076	36,058	99.95	10.350	10.350	9.815	0.036	29.728	4.901
3	Anemómetro 3; wind_speed; Avg	m/s	50 m	36,076	36,058	99.95	9.540	9.540	8.810	0.063	28.390	4.654
4	Anemómetro 4; wind_speed; Avg	m/s	30 m	36,076	36,056	99.95	8.800	8.800	7.953	0.000	27.109	4.464
5	Veleta 1; wind_direction; Avg	°	83.5 m	36,076	36,056	99.94	270.70	235.30	252.2	0.0	360.0	56.7
6	Veleta 2; wind_direction; Avg	°	50 m	36,076	36,058	99.94	276.50	236.40	255.9	0.0	360.0	57.7
7	Temp - Hum 1; humidity; Avg	%		36,076	36,054	99.94	59.40	59.40	58.9	14.8	99.4	17.0
8	Temp - Hum 2; humidity; Avg	%	10 m	36,076	36,054	99.94	61.08	61.08	61.21	14.11	98.65	18.79
9	Temp - Hum 1; temperature; Avg	°C	80 m	36,076	36,052	99.93	9.72	9.72	9.51	-3.02	31.47	4.71
10	Temp - Hum 2; temperature; Avg	°C	10 m	36,076	36,052	99.93	8.78	8.78	8.53	-5.94	32.16	5.19
11	Barómetro; air_pressure; Avg	hPa	80 m	36,076	36,052	99.93	972.0	972.0	972.5	933.3	1,004.4	10.6
12	Air Density	kg/m3		36,076	36,058	100.00	1.194	1.194	1.195	1.099	1.276	0.023

(*) El promedio de la velocidad de viento utilizado es el MoMM (Mean of Monthly Means), y fue calculado sobre la base de la totalidad de datos disponibles luego del procesamiento y limpieza.

Los valores de “mean of monthly means” corresponden al promedio de los 12 promedios mensuales. Se obtiene un promedio de velocidad para cada mes, y luego se promedian todos los meses que son iguales: si en las mediciones hay tres valores correspondientes al mes de enero, se promedian los tres promedios de enero para conformar un único promedio global correspondiente a los meses de enero; y de esta manera se obtienen 12 promedios (uno por mes). Finalmente se obtiene el promedio del sitio como el promedio de estos 12 valores. Esto permite eliminar el sesgo causado por la estacionalidad o la heterogeneidad en la disponibilidad de datos para diferentes meses.

Tabla 13. Mean of Monthly Means.

Fuente: Elaboración propia

Estación Meteorológica	MoMM		
	85m (m/s)	83,5m (m/s)	50m (m/s)
Río Gallegos	10.429	10.350	9.540

Con un tiempo de medición de 8,2 meses, la velocidad media de velocidad de viento a 85m es de 10.429 m/s.

4.4. Análisis de la distribución de frecuencias de la velocidad

Uno de los parámetros fundamentales para la caracterización y evaluación del recurso eólico es la distribución de frecuencias de velocidad. Se presenta a continuación el histograma de velocidad obtenido

Tabla 14. Histogramas de velocidad.

Fuente: Elaboración propia

Algoritmo	Weibull k	Weibull A	Mean	Proportion Above 10.429 m/s	Power Density (W/m ²)	R ²	Elapsed Time (ms)
Maximum likelihood	2.251	11.778	10.432	0.467	1,191.1	0.9900	187
Least squares	2.246	11.772	10.427	0.467	1,191.6	0.9902	0
WAsP	2.233	11.743	10.400	0.464	1,188.4	0.9907	0
Openwind	2.255	11.775	10.429	0.464	1,188.4	0.9898	16
Actual data	(36,058 time steps)		10.429	0.464	1,188.4		

La función de Weibull es una curva analítica utilizada en la industria, que describe la distribución de frecuencias de la velocidad del viento o el número de mediciones en rangos específicos de velocidad, y que cuenta con dos parámetros ajustables los cuales permiten un grado de ajuste razonable a la mayoría de las distribuciones reales. El parámetro escalar C está relacionado con la media de la velocidad del viento mientras que el parámetro k controla la amplitud de la distribución.

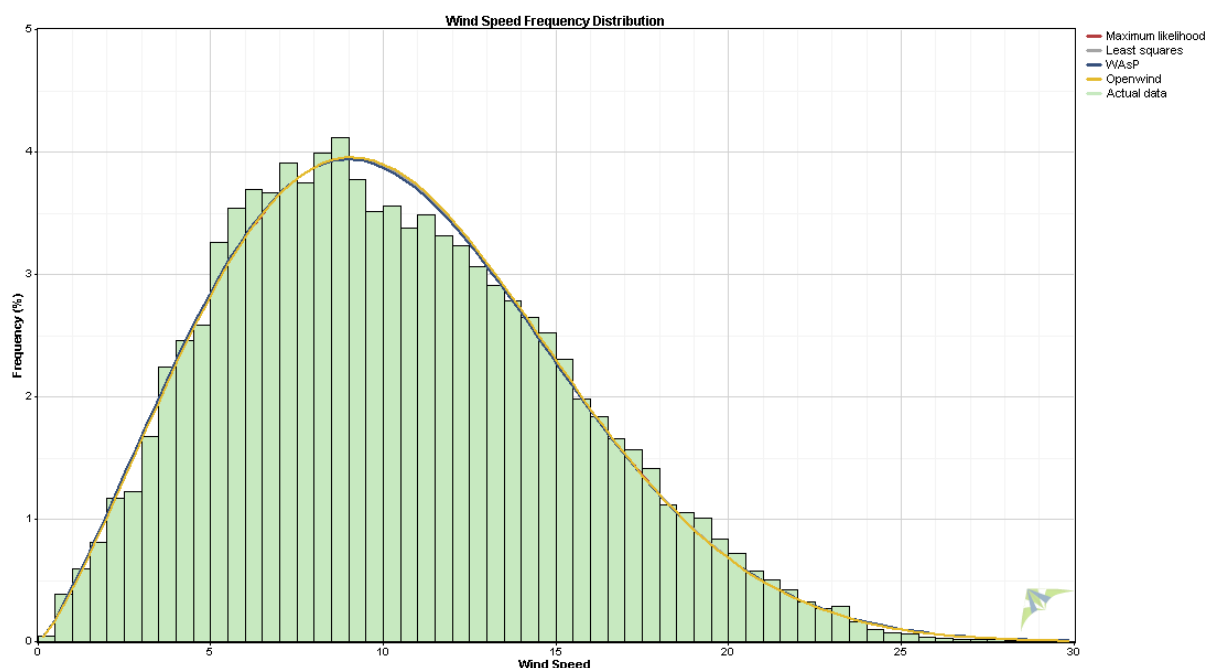


Figura 33. Histogramas de velocidad.

Fuente: Elaboración propia

4.5. Distribución de frecuencias por dirección (Rosa de vientos)

La distribución direccional del recurso eólico es un factor clave para diseñar un parque eólico, ya que permite diseñar la disposición de los aerogeneradores de manera que se minimice el efecto de apantallamiento entre ellos (también llamado "efecto de estela o sombra" o "wake effect").

Para profundizar en la evaluación del potencial eólico del sitio, se realizó un análisis de la distribución de frecuencias por dirección.

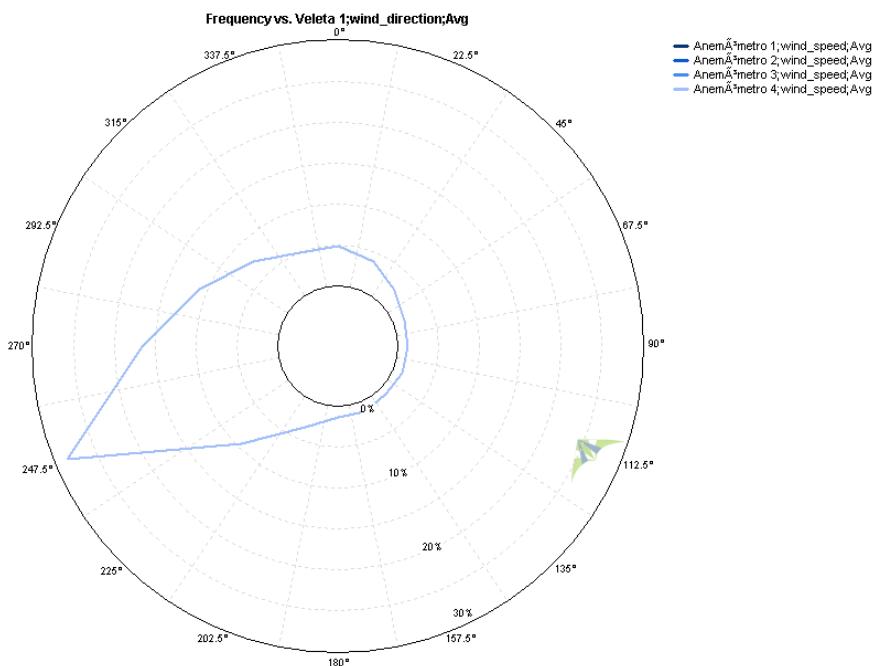


Figura 34. Frecuencia vs. Veleta 1
Fuente: Elaboración propia

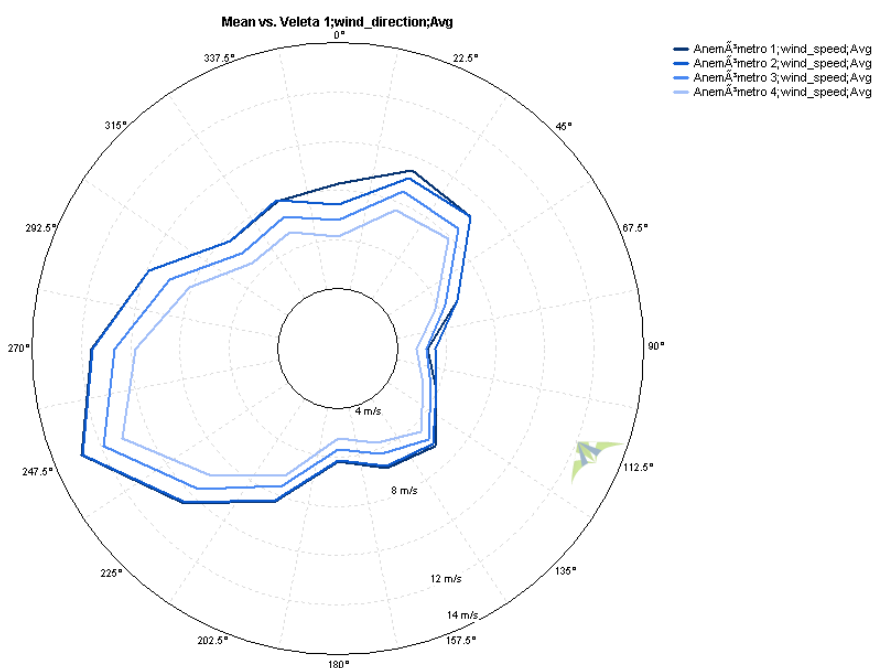


Figura 35. Velocidad promedio vs. Veleta 1
Fuente: Elaboración propia

Como resultado de la combinación de los dos gráficos anteriores se obtiene la proporción de energía para cada dirección, comúnmente llamada rosa de energía,

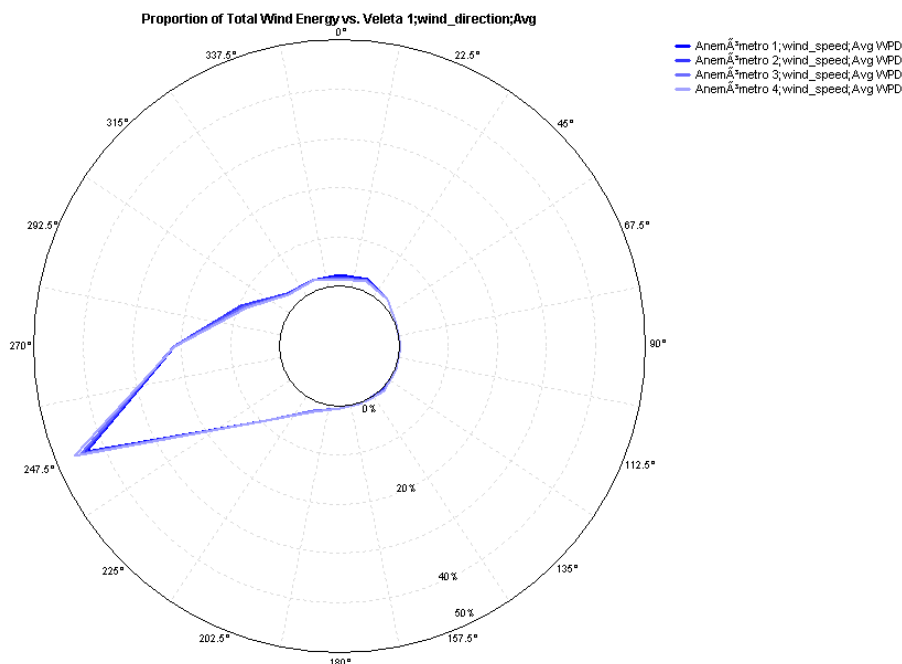


Figura 36. Energía vs. Veleta 1

Fuente: Elaboración propia

4.6. Perfil vertical

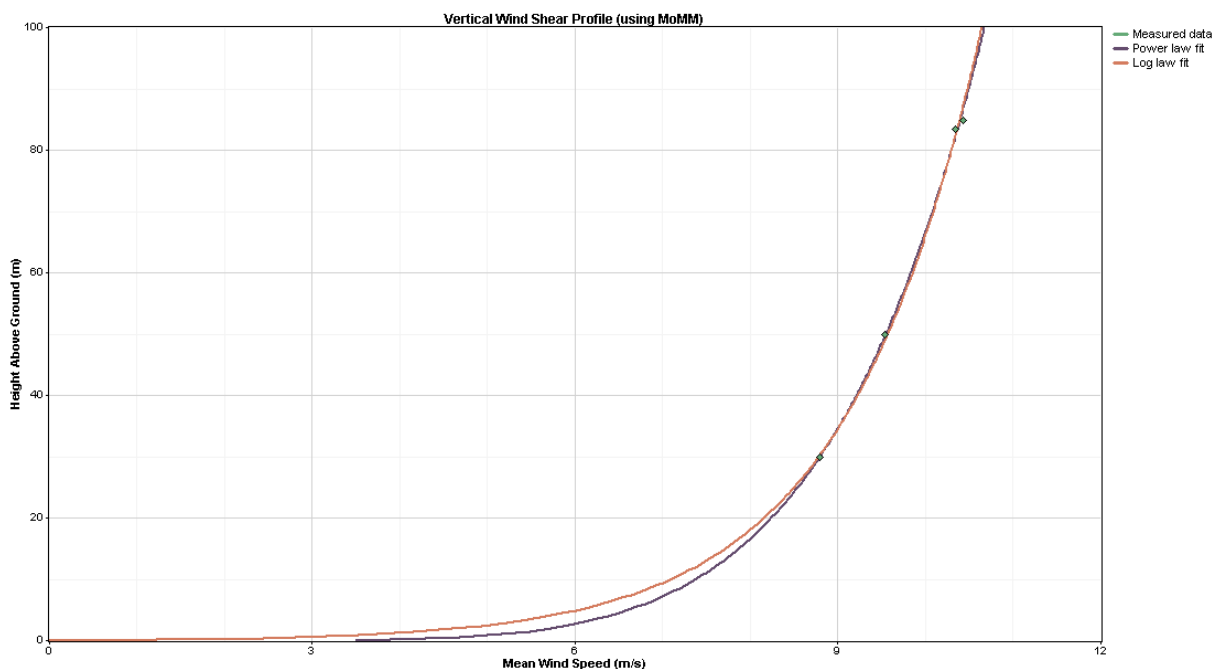
La variación de la magnitud de la velocidad del viento con la altura es fundamental para seleccionar la altura óptima de los aerogeneradores y verificar, para cada una de ellas, la aptitud del modelo de generador seleccionado frente a las cargas mecánicas producidas por el viento.

Existen diferentes modelos matemáticos para describir la variación del viento con la altura, siendo el modelo exponencial el más aplicado. La curva violeta muestra la estimación de acuerdo a la ley potencial, que es la que se ha utilizado en este estudio ya que es la que mejor ajuste muestra, y la curva roja muestra la estimación de acuerdo a otro método, denominado “ley logarítmica”.

Tabla 15. Perfil vertical.

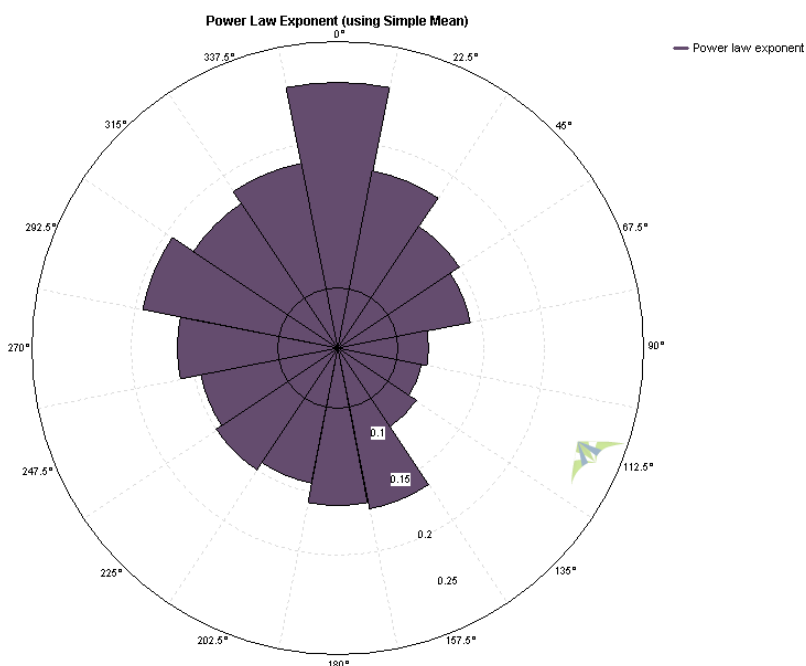
Fuente: Elaboración propia

Modelo	Variable	Valor
Power law fit	α : Exponente alpha de perfil exponencial	0,161
Log law fit	Z_0 (m)	0,103



*Figura 37. Perfil vertical.
Fuente: Elaboración propia*

El siguiente gráfico muestra el perfil vertical para este sitio en función de la dirección del viento.



*Figura 38. Perfil vertical.
Fuente: Elaboración propia*

4.7. Variación diaria

En lo que respecta a la variación de la velocidad del viento durante el día, se observa un comportamiento variable del recurso, con un aumento durante la tarde.

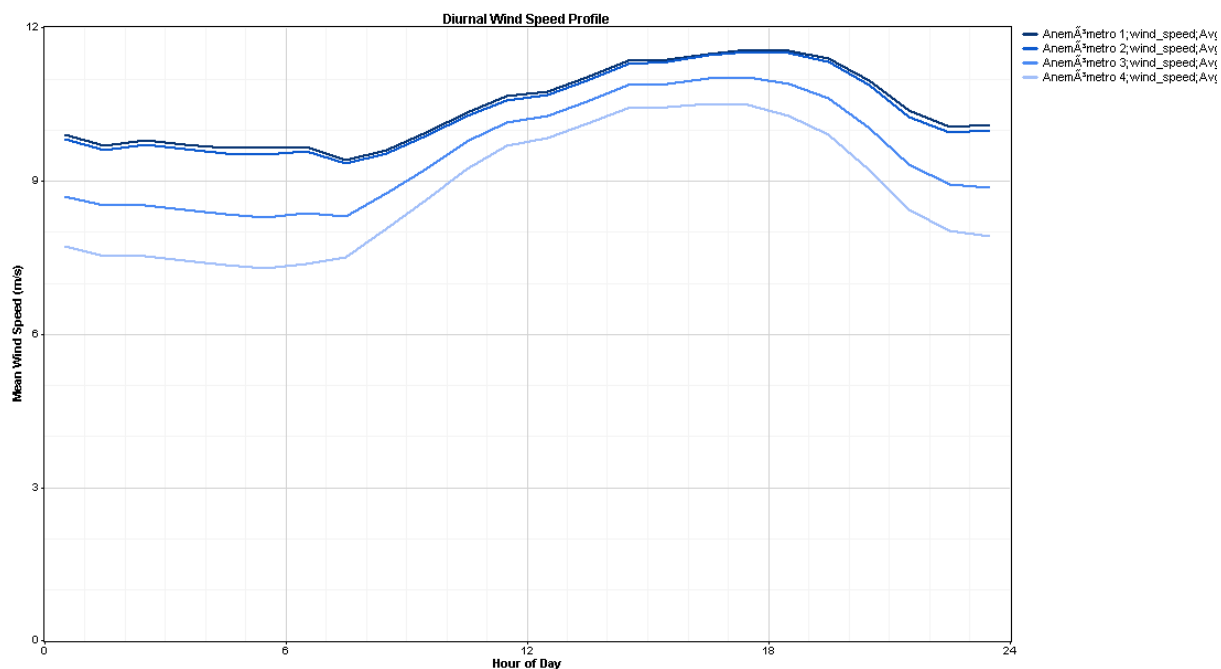


Figura 39. Variación diaria.

Fuente: Elaboración propia.

4.8. Variación interanual

Se puede observar a continuación la variación interanual de la velocidad del viento es para los 8 meses relevados.

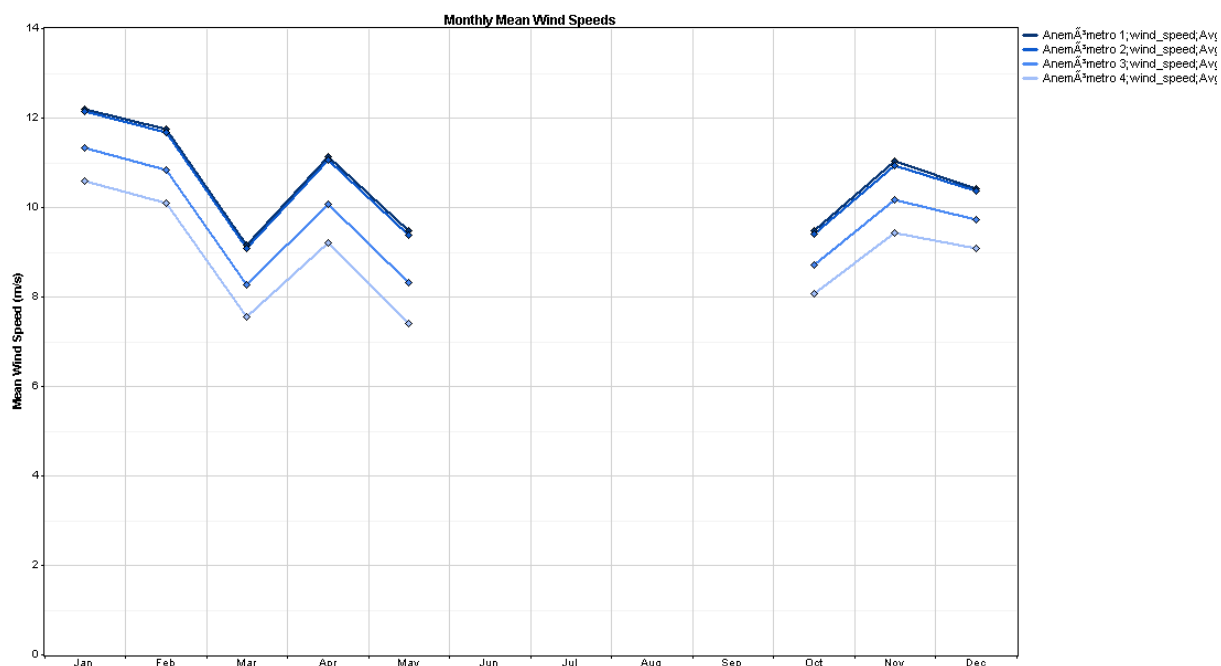


Figura 40. Variación anual.

Fuente: Elaboración propia.

4.9. Intensidad de turbulencia

La intensidad de turbulencia mide las fluctuaciones en el viento registradas por el anemómetro en cada intervalo 10-minutal como una fracción de la velocidad total. La intensidad de turbulencia (IT) representativa a 15 m/s es 0,12 mientras que la IT media a 15 m/s es 0,10 determinando una categoría C según norma IEC 61.400 (3 ed 2005).

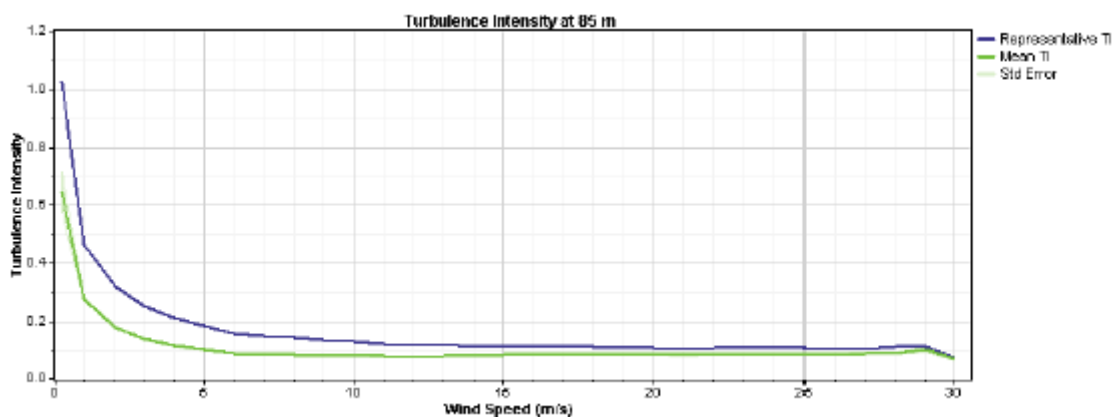


Figura 41. Intensidad de turbulencia.

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente gráfico muestra la intensidad de turbulencia para este sitio en función de la dirección del viento.

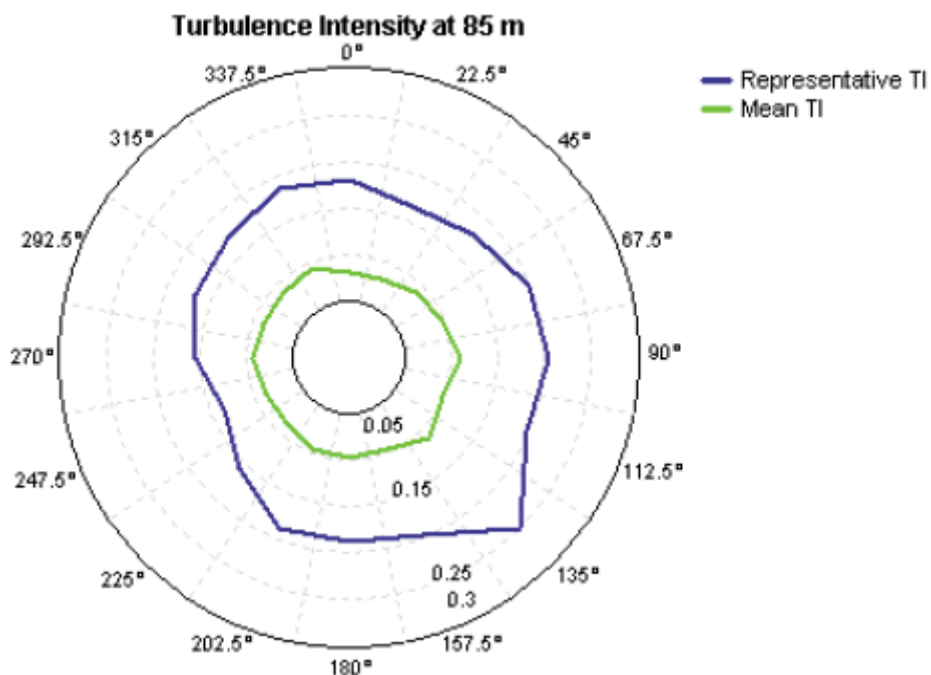


Figura 42. Intensidad de turbulencia.

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente se describe la variación de la turbulencia durante el día. Puede observarse el siguiente gráfico que la intensidad de turbulencia para este sitio aumenta durante la tarde.

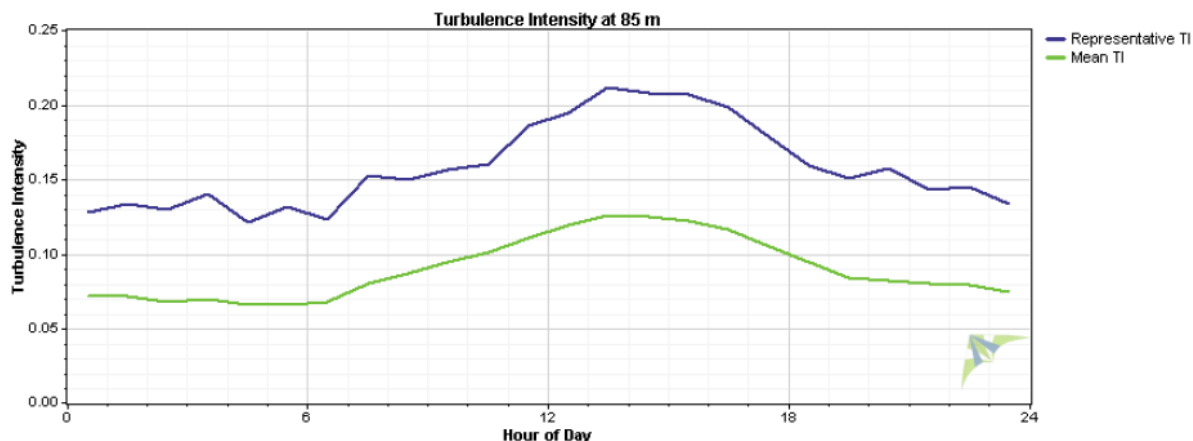


Figura 43. Intensidad de turbulencia.
Fuente: Elaboración propia.

4.10. Densidad de potencia

La densidad de potencia es un parámetro que mide la energía del viento por metro cuadrado. La misma sirve para estimar cuan bueno es un sitio para la instalación de un parque eólico.

Dicho parámetro aumenta en función de la altura en estrecha relación con el perfil vertical del sitio.

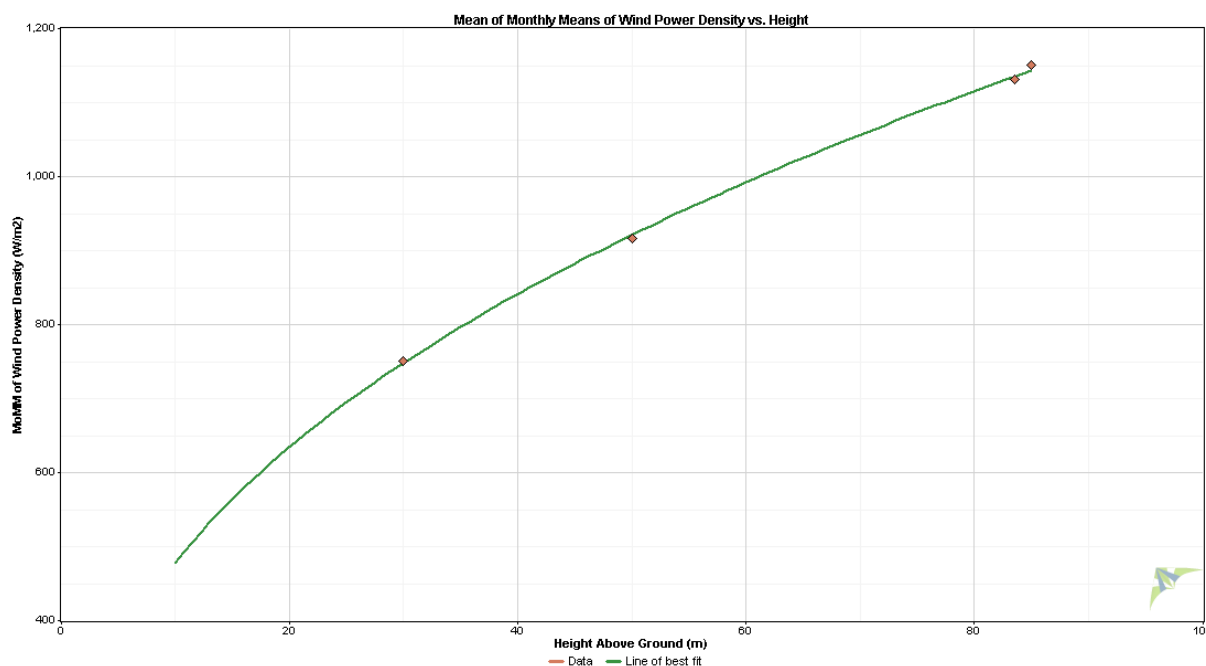


Figura 44. MoMM of Wind Power Density (W/m^2) vs. Height
Fuente: Elaboración propia.

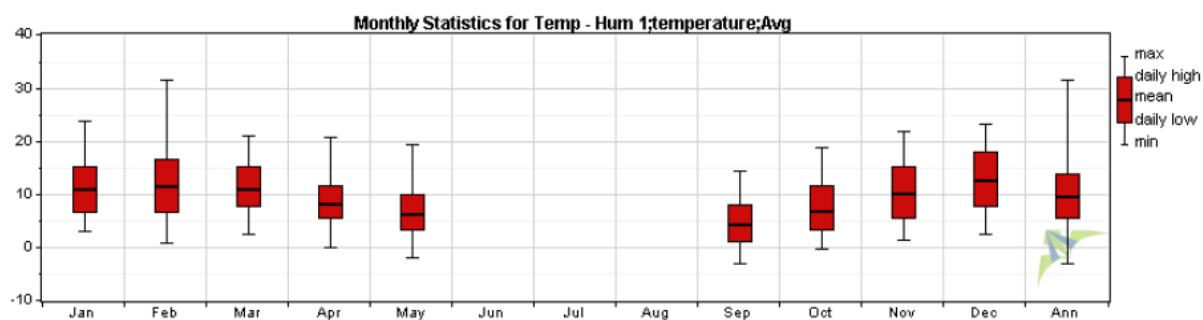
A continuación, se presentan los datos obtenidos en una tabla:

*Tabla 16. Perfil vertical.
Fuente: Elaboración propia*

Height (m)	MoMM of Wind Power Density (W/m ²)
85,0	1,151
83,5	1,132
50,0	917
30,0	751

4.11. Temperatura

Se realizó un análisis de la temperatura registrada en el mástil meteorológico, por lo que se pudo calcular el promedio mensual, las variaciones en función de la altura, hora del día y frecuencias específicas para el sitio.



*Figura 45. Variación mensual de la temperatura
Fuente: Elaboración propia.*

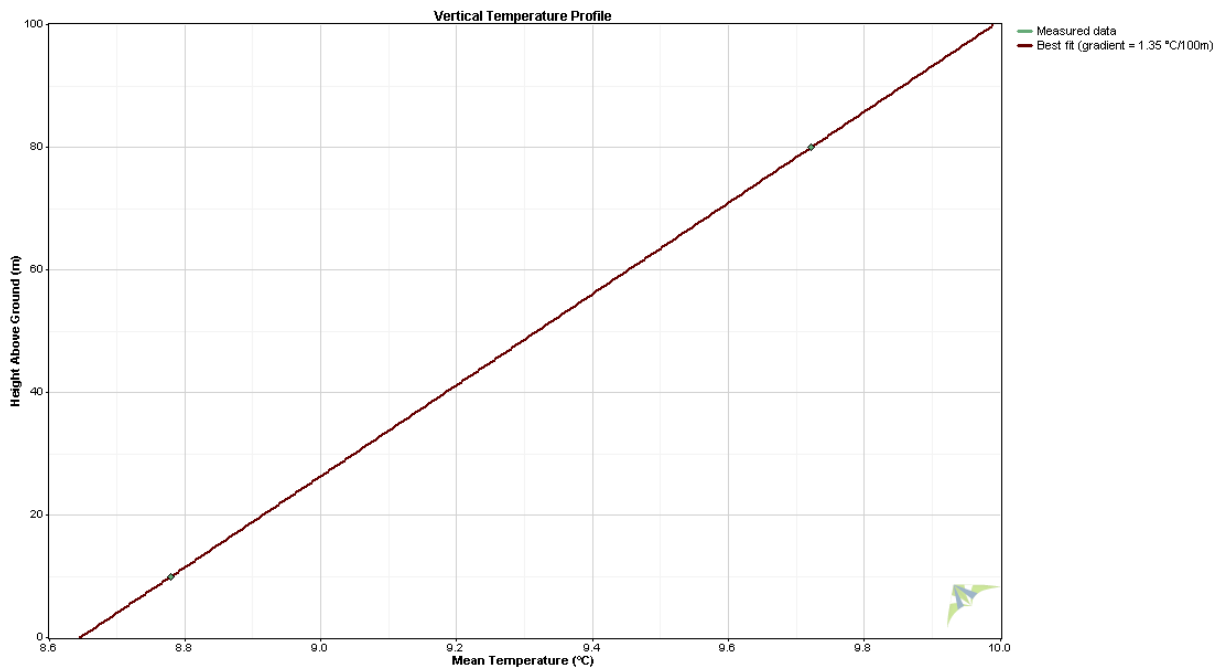


Figura 46. Temperatura (°C) vs. Altura

Fuente: Elaboración propia.

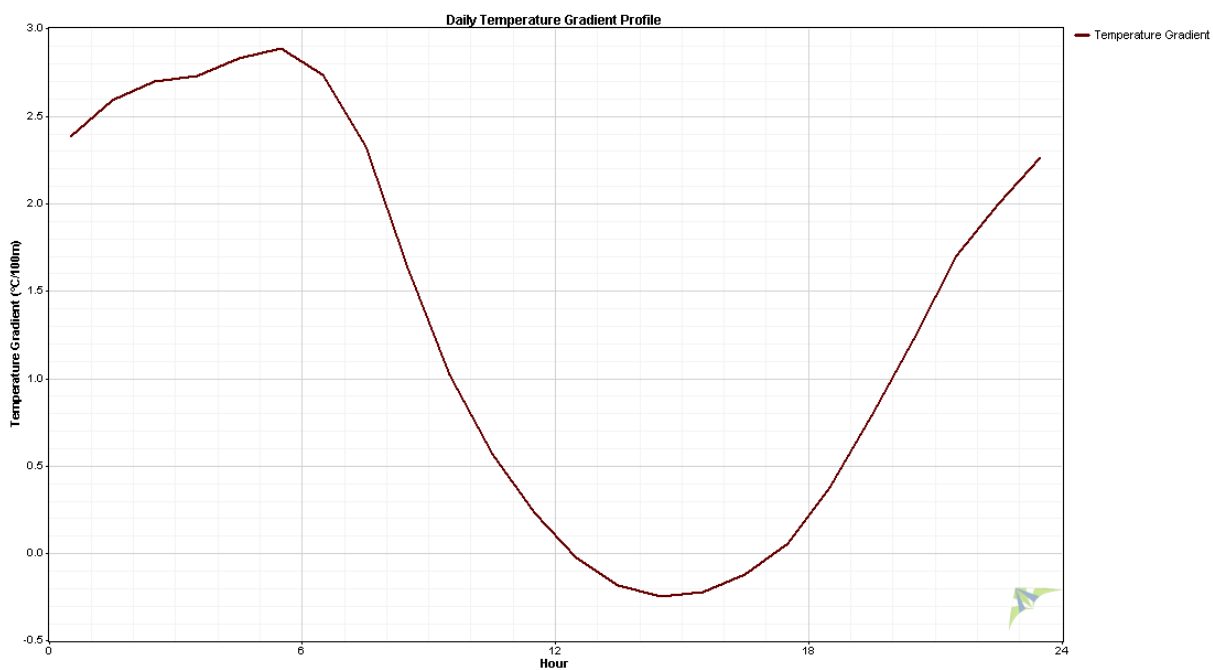


Figura 47. Variación diaria de la temperatura

Fuente: Elaboración propia.

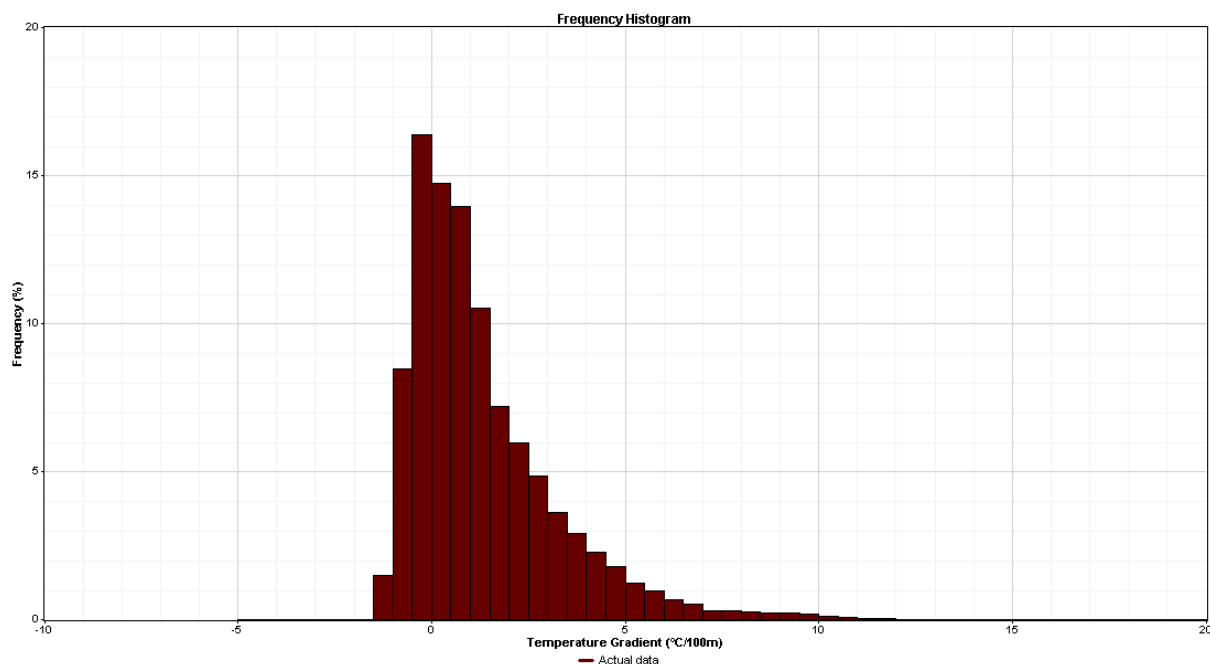


Figura 48. Frecuencia de temperaturas

Fuente: Elaboración propia.

4.12. Densidad del aire

El mástil meteorológico posee sensores de presión, temperatura y barómetro, por lo que se pudo obtener valores de densidad de aire específicos para el sitio, obteniendo un valor promedio de 1.194 kg/m³, aplicando el ajuste según recomendaciones de la IEC 61.400-12-1 (2005). La presión promedio registrada es de 972 hPa.