

**UNIVERSIDAD FASTA
FACULTAD DE INGENIERIA
NOVIEMBRE 2014**

PROYECTO FINAL

INGENIERIA AMBIENTAL

**“INVESTIGACION Y ESTUDIO AMBIENTAL, ECONOMICO Y SOCIAL, DE LA
MICROAEROGENERACION EN SIERRA DE LOS PADRES”**

ALUMNOS: IGNACIO PERTINI – JOSE DENEGRI

DIRECTOR: ING. EDUARDO HADAD

COORDIRECTOR: ARQ. LEOPOLDO DIAZ CANO

**MAR DEL PLATA
BUENOS AIRES
ARGENTINA**

"Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad"

Albert Einstein

"Para el optimista, el vaso está medio lleno.

Para el pesimista, el vaso está medio vacío.

Para el ingeniero, el vaso es el doble de grande de lo que debería ser"

Anónimo

Agradecimientos

Agradecemos a nuestras familias por brindarnos su cariño y por habernos apoyado durante nuestra carrera, sin ellos no hubiese sido posible atravesar los obstáculos presentados en todo este tiempo. Compartimos junto a ellos la dicha de culminar nuestro Proyecto Final.

Agradecemos a nuestro Director Ing. Eduardo Hadad y Codirector Arq. Leopoldo Díaz, quienes depositaron toda su confianza en nuestras aptitudes y nos brindaron el sustento incondicional y necesario para llevar a cabo el presente estudio.

A las profesoras de la cátedra de Proyecto Final por orientarnos en la ejecución de este proyecto y a todos los profesores que nos formaron y acompañaron para llegar a esta instancia.

A la Universidad, a aquellos que la componen y la hacen funcionar, por habernos instruido e inculcado los valores que la representan. Por habernos dado la oportunidad de transitar por la vida universitaria en un contexto de aprendizaje, esfuerzo, amistad y compromiso con el progreso académico de los alumnos.

Agradecemos a todos aquellos que han colaborado con este trabajo, en especial a Miguel por su desinteresada y amistosa asistencia y a Yanina por su aliento.

Resumen

La energía eólica es un recurso renovable, natural, no contaminante y poco aprovechado hasta el momento, que se origina a partir de una fuente de energía superior como lo es el Sol. Esta fuente emite radiación a la Tierra interactuando con la superficie de nuestro planeta en diferentes formas, lo que dará lugar a una diferencia de estados físicos que culminan en la formación de lo que denominamos viento.

Para plantear el diseño e instalación de un sistema de microgeneración eólica en un establecimiento, es necesario establecer la demanda promedio de energía y conocer la disponibilidad del recurso viento, mediante la recopilación y procesamiento de datos confiables. Con ello se puede realizar el “Cálculo de Balance Energético”, cuyos resultados permiten dimensionar el sistema de aerogeneración y predecir por cuánto tiempo es posible sostener la provisión de energía en un establecimiento.

En este trabajo se busca calcular el balance energético mediante la implementación de metodologías determinadas; a los efectos de prever la factibilidad de instalar un aerogenerador de baja potencia en la zona de Sierra de los Padres, en el Partido de General Pueyrredón, Prov. de Buenos Aires, Argentina y evaluar las implicancias económicas y ambientales derivadas.

Para la obtención de datos se instaló una estación meteorológica en el sitio de estudio deseado. Además se utilizaron datos provenientes de otras fuentes considerando en todos los casos, la importancia de contar con información confiable.

Las conclusiones demostraron que durante los 6 meses de toma de muestra en la zona de estudio, el recurso eólico presentó una densidad de energía anual de 942,36 kWh/m². Esto hace factible el aprovechamiento del recurso eólico a pequeña escala. Sin embargo ninguno de los aerogeneradores evaluados para el balance energético cubrió 100% de la demanda teórica. Aquel con mejor cobertura de las necesidades energéticas fue el aerogenerador IVS4500, con un 83,6%. Se demostró además que se podría evitar la emisión de entre 25 y 102 tCO₂ a la atmósfera y que no existen fenómenos de apantallamiento u otros impactos negativos de significancia. Para abastecer a un establecimiento sin acceso a la red eléctrica, la instalación del aerogenerador seleccionado presentó una Tasa Interna de Retorno en dólares del 18%.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	IV
LISTADO DE FIGURAS	VII
LISTADO DE TABLAS	VIII
CAPITULO I	1
I.1. INTRODUCCIÓN	1
I.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	3
I.2.1. <i>Objetivo General</i>	3
I.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	3
I.3. ANTECEDENTES	4
CAPITULO II	7
II.1 LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN ARGENTINA	7
II.1.1. <i>Matriz energética Nacional y emisiones de CO₂</i>	8
II.1.2. <i>Factor de emisión de la Red Argentina de Energía Eléctrica</i>	10
II.1.3. <i>Incidencia del Recurso en la generación eléctrica</i>	11
II.2. LA ENERGÍA EÓLICA	13
II.2.1. <i>Origen de los vientos</i>	13
II.2.2. <i>Circulación de los vientos globales</i>	13
II.2.3. <i>La energía del viento</i>	15
II.2.4. <i>Usos e historia</i>	22
II.2.5. <i>Aerogeneradores</i>	23
II.2.6. <i>Energía eólica en Argentina</i>	24
II.2.7. <i>Microgeneración y Net Metering</i>	28
II.3. LA HUELLA ECOLÓGICA	30
II.3.1. <i>Huella de Carbono</i>	31
II.4. DESCRIPCIÓN AMBIENTAL DE LA ZONA EN ESTUDIO	32
II.4.1. <i>Características del predio a estudiar</i>	33
CAPITULO III	41
III.1 METODOLOGÍA DE MUESTREO	41
III.1.1. <i>Equipamiento</i>	41
III.1.2. <i>Ubicación de la estación</i>	42
III.1.3. <i>Parámetros registrados</i>	44

III.1.4. Frecuencia de muestreo	44
III.1.5. Relevamiento	45
III.2. METODOLOGÍA DE EXTRAPOLACIÓN DE DATOS	45
III.2.1. Elección del punto de extrapolación de datos.....	46
III.3. METODOLOGÍA DE CÁLCULO POTENCIAL EÓLICO Y PRODUCCIÓN ENERGÉTICA.....	51
III.3.1. Estimación de la potencia contenida en el viento.....	52
III.3.2. Energía anual producida.....	53
III.4. METODOLOGÍA DE CÁLCULO BALANCE ENERGÉTICO.....	54
III.5. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS ECONÓMICO.....	56
III.5.1. Análisis primario	56
III.5.2. Análisis secundario.....	57
III.6. METODOLOGÍA ESTIMACIÓN IMPLICANCIAS AMBIENTALES	58
III.6.1. Emisiones evitadas por la Vivienda en estudio	61
III.6.2. Emisiones evitadas por una Vivienda sin acceso a la red eléctrica	62
CAPITULO IV.....	63
IV.1 RESULTADOS MUESTREO.....	63
IV.2. RESULTADOS EXTRAPOLACIÓN DE DATOS.....	68
IV.3. RESULTADOS DE CÁLCULO POTENCIAL EÓLICO Y PRODUCCIÓN ENERGÉTICA.....	69
IV.3.1. Velocidad media	69
IV.3.2. Ficha técnica IVS 4500	71
IV.3.3. COSTA 1 Doméstico.....	73
IV.4. RESULTADO DE CÁLCULO BALANCE ENERGÉTICO.....	75
IV.4.1. Curva de potencia IVS - 4500	75
IV.4.2. Curva de potencia COSTA 1 Doméstico.....	75
IV.4.3. Balance energético: Vivienda en estudio	76
IV.4.4. Balance Energético: Vivienda sin acceso a la red eléctrica	77
IV.5. RESULTADO ANÁLISIS ECONÓMICO.....	78
IV.5.1. Análisis económico para la Vivienda en estudio	78
IV.5.2. Análisis económico para la Vivienda sin acceso a la red eléctrica	79
IV.6. RESULTADOS IMPLICANCIAS AMBIENTALES	83
IV.6.1. Emisiones evitadas de la Vivienda en estudio.....	83
IV.6.2. Emisiones evitadas de la Vivienda sin acceso a la red eléctrica.....	84
IV.6.3. Generación de ruidos en la etapa de operación y apantallamiento	84
IV.6.4. Presencia de la estructura en el área.....	85
CAPITULO V.....	86
V.1 FACTIBILIDAD, DISCUSIÓN, CONCLUSIONES	86

V.1. IMPLICANCIAS ECONÓMICAS Y AMBIENTALES.....	87
ANEXOS.....	89
ANEXO A –CÁLCULOS EXTRAPOLACIÓN	89
ANEXO B -CÁLCULO POTENCIAL EÓLICO Y PRODUCCIÓN ENERGÉTICA.....	91
ANEXO C – CÁLCULO BALANCE ENERGÉTICO.....	93
BIBLIOGRAFÍA.....	94

Listado de Figuras

<i>Figura 1. Matriz energética argentina.</i>	9
<i>Figura 2. Demanda de energía eléctrica por sectores.</i>	10
<i>Figura 3. Emisiones dióxido de carbono del SADI (2012-2014).</i>	11
<i>Figura 4. Esquema de la circulación general atmosférica sobre la superficie terrestre.</i>	14
<i>Figura 5. Paquete de aire moviéndose con velocidad v.</i>	16
<i>Figura 6. Variación de la potencia eólica específica en función de la velocidad del viento.</i>	18
<i>Figura 7. Variación de la potencia eólica específica en función del área barrida.</i>	18
<i>Figura 8. Principio de la aerodinámica.</i>	19
<i>Figura 9. Efecto de una turbina en la velocidad del viento.</i>	21
<i>Figura 10. Esquema de funcionamiento de la microgeneración eólica y Net Metering.</i>	29
<i>Figura 11. Mapa de vientos de la provincia de Buenos Aires.</i>	32
<i>Figura 12. Zona de estudio.</i>	33
<i>Figura 13. Terreno del establecimiento a estudiar donde se aprecian los usos aledaños.</i>	35
<i>Figura 14. En dirección S línea de eucaliptus, a una distancia de 25 metros.</i>	36
<i>Figura 15. En dirección NO dos ejemplares de Pinos, a una distancia de 60 metros.</i>	37
<i>Figura 16. En dirección NE cinco ejemplares de Pinos, a una distancia de 75 metros.</i>	37
<i>Figura 17. En dirección O una cortina forestal a unos 350 metros.</i>	38
<i>Figura 18. Cara NE de “La Matera”.</i>	39
<i>Figura 19. Cara Sudeste de “La Matera”.</i>	40
<i>Figura 20. Estación meteorológica y display.</i>	42
<i>Figura 21. Terreno a ser estudiado. Elaboración propia utilizando Google Earth®</i>	42
<i>Figura 22. Instalación Estación meteorológica.</i>	43
<i>Figura 23. Vivienda con estación meteorológica.</i>	44
<i>Figura 24. Cinturón de interferencias. Elaboración propia utilizando Google Earth®</i>	46
<i>Figura 25. Posición a extrapolar.</i>	47
<i>Figura 26. Turbulencia ocasionada por una interferencia.</i>	47

<i>Figura 27. Cinturón de turbulencia en sitio a extrapolar.</i>	48
<i>Figura 28. Cinturón de rugosidades en sitio a extrapolar..</i>	49
<i>Figura 29. Cálculo del balance energético. Elaboración propia.</i>	55
<i>Figura 30. Límites en el estudio de las implicancias ambientales.</i>	59
<i>Figura 31. Alcance del ACV</i>	60
<i>Figura 32. Energía por fase del ciclo de vida</i>	61
<i>Figura 33. Distribución de frecuencias de viento.</i>	64
<i>Figura 34. Rosa de vientos obtenida incluyendo 6 clases de viento.</i>	64
<i>Figura 35. Rosa de vientos obtenida incluyendo 2 clases de velocidades de viento.</i>	65
<i>Figura 36. Rosa de vientos obtenida incluyendo en la frecuencia los vientos calmos.</i>	66
<i>Figura 37. Rosa de vientos del SIGE para las coordenadas del lugar.</i>	67
<i>Figura 38. Datos recolectados con el software Easyweather</i>	67
<i>Figura 39. Distribución de frecuencias de u con datos extrapolados.</i>	69
<i>Figura 40. Gráfico de Densidad de Energía Anual.</i>	70
<i>Figura 41. Curva de potencia Aerogenerador IVS 4500.</i>	71
<i>Figura 42. Energía anual producida, calculada utilizando el aerogenerador IVS 4500.</i>	72
<i>Figura 43. Curva de potencia aerogenerador COSTA 1 Doméstico.</i>	73
<i>Figura 44. Energía anual producida, calculada utilizando el aerogenerador Costa1 Doméstico.</i>	74
<i>Figura 45. Curva de aproximación funcional para IVS 4500. Método mínimos cuadrados</i>	75
<i>Figura 46. Curva de aproximación funcional para Costa 1. Método mínimos cuadrados</i>	75
<i>Figura 47. Distribución de consumo diario.</i>	76
<i>Figura 48. Carga disponible en el banco de baterías propuesto.</i>	77
<i>Figura 49. Distribución de consumo diario.</i>	77
<i>Figura 50. Precio del combustible en dólares.</i>	80
<i>Figura 51. Representación del Período de Repago.</i>	82
<i>Figura 52. Presencia de un aerogenerador de pequeña escala</i>	85
<i>Figura 53. Tabla de cálculo utilizada para la extrapolación.</i>	89
<i>Figura 54. Tabla de cálculo utilizada para la extrapolación.</i>	89
<i>Figura 55. Tabla de cálculo utilizada para la extrapolación.</i>	90
<i>Figura 56. Tabla de cálculo utilizada para la extrapolación.</i>	90
<i>Figura 57. Tabla de cálculos balance energético.</i>	93

Listado de tablas

<i>Tabla 1. Potencia instalada en MW.....</i>	9
<i>Tabla 3. Variación de la potencia eólica específica en función de la velocidad del viento.</i>	17

<i>Tabla 4. Variación de la potencia eólica específica en función del área barrida.</i>	18
<i>Tabla 5 Fuente: Servicio Meteorológico Nacional 1981 -1990</i>	34
<i>Tabla 6. Valores del SIG eólico para las coordenadas de la Estación meteorológica</i>	34
<i>Tabla 7. Datos utilizados para extrapolación de interferencias.</i>	50
<i>Tabla 8. Detalle Tabla de extrapolación</i>	50
<i>Tabla 9. Detalle Tabla de extrapolación</i>	50
<i>Tabla 10. Tabla de extrapolación de rugosidad utilizando como base los 30ft (6 metros) de altura</i>	51
<i>Tabla 11. Tabla de extrapolación por altura.</i>	51
<i>Tabla 12. Distribución de frecuencias de velocidad.</i>	63
<i>Tabla 13. Distribución de frecuencias de u con datos extrapolados.</i>	68
<i>Tabla 14. Diferencia entre las velocidad media calculada.</i>	69
<i>Tabla 15. Tabla de cálculo realizada para obtener la DEA total.</i>	70
<i>Tabla 16. Intervalos temporarios, energía desarrollada y Cp calculado para el IVS 4500.</i>	72
<i>Tabla 17. Intervalos temporarios, energía desarrollada y Cp calculado para el Costa 1 Doméstico.</i>	74
<i>Tabla 18. Resultado Balance Energético para la vivienda en estudio.</i>	76
<i>Tabla 19. Resultado Balance Energético para la vivienda sin acceso a la red eléctrica.</i>	78
<i>Tabla 20. Análisis económico primario para la vivienda en estudio.</i>	78
<i>Tabla 21. Análisis económico primario para la vivienda sin acceso a la red eléctrica.</i>	79
<i>Tabla 22. Aumento del precio del combustible en Argentina. Elaboración propia.</i>	80
<i>Tabla 23. Flujos del proyecto de inversión.</i>	81
<i>Tabla 24. Valores del ACV para el aerogenerador IVS4500.</i>	83
<i>Tabla 25. Tabla de datos sin extrapolar.</i>	91
<i>Tabla 26. Tabla datos extrapolados</i>	91

CAPITULO I

I.1. Introducción

La creciente crisis energética actual en Argentina, los problemas de desplazamiento de la población rural y el deterioro ambiental a causa de la contaminación requieren la implementación de nuevas tecnologías y la optimización en el uso de los recursos para lograr un desarrollo sostenible. Para ello es fundamental la realización de estudios que, manteniendo el arraigo de la población rural, permitan desarrollar técnicas que maximicen la eficiencia en cuanto al uso de recursos y minimicen el impacto ambiental.

Este trabajo busca en primer lugar, evaluar la posibilidad de dotar de fuentes de energía renovable a viviendas rurales. Si bien, en algunos casos cuentan con acceso a energía eléctrica de red, existe un interesante potencial eólico digno de ser aprovechado, con la posibilidad de entregar el exceso de lo producido a una red eléctrica domiciliaria y promover la utilización de energías limpias.

En segundo lugar, busca dar soluciones a sectores aislados energéticamente, donde la distribución poblacional hace inviable el abastecimiento eléctrico, impidiendo el desarrollo de estos sectores en materia de educación, seguridad y producción. En la zona del sudeste bonaerense existe una importante cantidad de estos establecimientos, dedicados tanto a actividades productivas, como educativas y de servicios públicos (escuelas, puestos de gendarmería, policías, dispensarios médicos).

La autonomía energética de estos establecimientos significaría una gran ventaja, permitiendo una mejora en el aspecto económico, en la calidad de vida de las personas y una contribución al medio ambiente. El uso de la energía eólica, ya conocida en los típicos molinos de campo, ahora utilizada para producir energía eléctrica, podría invitar a nuevos productores y establecimientos de servicio a instalarse fuera de las ciudades permitiendo un desarrollo con un impacto menor sobre las áreas urbanas y un impacto positivo sobre las áreas rurales.

Habiendo consultado el Sistema de Información Geográfico Eólico (SIGE), Mapa Nacional, desarrollado por el Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, se concluye que el sudeste de la Provincia de Buenos Aires es una zona de vientos que presenta una “densidad de energía anual” (DEA)¹ interesante, que haría factible el uso del recurso eólico. Cabe aclarar que si bien el SIGE permite realizar cálculos de generación eléctrica, este proyecto prevé un análisis más detallado a una altura sobre el nivel del suelo en la cual existen interferencias² significativas. Estas interferencias no son tenidas en cuenta por dicho sistema. Por esta razón el mismo no fue utilizado considerando que entregaría resultados erróneos.

La presente investigación comprende una etapa de evaluación teórica y empírica de la producción eoloelectrica en un establecimiento conectado a la red eléctrica ubicado en una zona rural de Sierra de los Padres.

El predio cuenta con una vivienda construida con un Sistema no tradicional denominado BalloonFrame, lo que significa excelentes resultados desde el punto de vista del confort climático y la sostenibilidad de la construcción. Además sus propietarios prevén la instalación de un aerogenerador de baja potencia dentro del establecimiento.

Este concepto de generación a pequeña escala además, aporta el beneficio de evitar las pérdidas ocasionadas por el transporte de energía eléctrica y las dificultades de mantenimiento de la red, desarrollando un modelo más eficiente donde el productor y el consumidor se conjugan en un mismo elemento. Además, la interconexión con la red facilitaría atender cambios bruscos e interferencias.

Existe un debate sobre el impacto que generan estas estructuras en el ambiente, controversia que pone en duda el real beneficio aportado por los aerogeneradores de baja potencia. Es por ello que se estudiarán las implicancias ambientales y económicas generadas, con el fin evaluar los beneficios y perjuicios

¹Cantidad total de energía portada por el viento, por m² y por año, a las distintas velocidades medidas en un determinado punto.

²Obstáculos del viento tales como edificios, árboles, formaciones rocosas, etc. pueden disminuir la velocidad del viento de forma significativa y a menudo crean turbulencias en torno a ellos.

provocados por la instalación, utilización y mantenimiento de un generador eólico en el predio de Sierra de los Padres.

I.2. Objetivos del proyecto

I.2.1. Objetivo General

Evaluar la factibilidad de instalación de un aerogenerador de baja potencia en un establecimiento rural en la zona de Sierra de los Padres, Buenos Aires, Argentina. Y realizar un análisis económico y ambiental.

I.2.2. Objetivos Específicos

- ✓ Comprender y aplicar la metodología de toma de muestra, procesamiento y extrapolación de datos de viento.
- ✓ Estudiar el potencial eólico del predio utilizando metodologías adecuadas.
- ✓ Evaluar y elegir un aerogenerador de baja potencia considerando las necesidades y potencialidades energéticas del establecimiento.
- ✓ Realizar un análisis económico. Comparar con otras alternativas de equipos e instalaciones para generación eléctrica.
- ✓ Calcular la cantidad de emisiones generadas y evitadas a partir de la instalación del aerogenerador.
- ✓ Reflexionar acerca de opciones tecnológicas y avances legislativos.

I.3. Antecedentes

Se realizó una búsqueda de estudios y/o proyectos relacionados con la producción energética a partir de aerogeneradores de pequeña escala. Los resultados obtenidos fueron muy diversos, no obstante existe un común denominador en la opinión de todos aquellos que se interesan por este tipo de energía. Se puede afirmar que es una buena alternativa que está siendo utilizada en mayor cantidad año tras año, y seguramente siga creciendo. Para la gran mayoría de los autores citados a continuación, el aprovechamiento de los recursos renovables y en este caso en particular la energía eólica, representa una considerable solución a la crisis energética.

Sin lugar a dudas, a nivel global, los puntos de vista y las tecnologías utilizadas pueden variar notablemente. En ciertos lugares se plantea la microgeneración como una oportunidad para zonas urbanas, mientras que en otros se ve como una opción inviable, destinando estos sistemas únicamente a zonas rurales. Por otro lado la generación mediante sistemas híbridos, en donde la producción eléctrica se obtiene conjugando la energía solar y la eólica, es quizás hoy la opción más acertada.

“La necesidad de incorporar de una manera decidida las energías renovables en el abanico de opciones energéticas disponibles viene plenamente justificada por la urgente necesidad de conjugar los elementos claves de la política energética: la garantía de suministro energético y la disminución del impacto ambiental de los procesos de generación de energía” (Sánchez Sudón, Ferreiro Viña, Anta Fernandez, Puente-Salve, Legaz Poignon, & Gozález Giménez, 2008).

Un proyecto en México, destinado a zonas rurales con escaso suministro de agua potable y energía eléctrica, plantea el desarrollo de energía eólica que ayude a satisfacer dichas necesidades en esas poblaciones, aplicando la generación de energía eléctrica, bombeo de agua y desalinización de agua de mar (Cottier, 2012).

Leonardo-Energy confeccionó un excelente Manual Práctico de evaluación de una instalación de energía eólica a pequeña escala donde aclara: “Además de ser ecológicos, los sistemas de energía eólica pueden hacer bajar su factura de electricidad, ayudarle a evitar los altos costes que supone tener que extender las líneas

de energía de la compañía eléctrica a lugares remotos y darle cobertura ante cortes de corriente. El mismo está destinado a proporcionar soluciones para sistemas que van desde los 500W a 50kw” (Hulshorst, 2012).

Éste último brinda una guía sobre energía eólica realmente práctica la cual puede ser interpretada por personas que poseen mínimos conocimientos al respecto, detalla perfectamente en qué casos es conveniente hacer uso de este recurso como así también las cuestiones a tener en cuenta a la hora de seleccionar un equipo, determinar su ubicación y la realización de un estudio de factibilidad económica en relación al recurso eólico.

Se realizó lectura del Análisis de Ciclo de Vida (de ahora en más ACV) realizado para el aerogenerador IVS 4500 fabricado por INVAP Ingeniería S.A., confeccionado por el Ing. Ignacio Sagardoy, el cual es de gran utilidad para sacar conclusiones sobre las implicancias ambientales. El trabajo tiene por objetivo identificar todos los procesos y materiales y las respectivas energías utilizadas en la fabricación, instalación y mantenimiento del aerogenerador. “Con el auge que han experimentado durante las últimas décadas las energías alternativas en general, y la eólica en particular, han surgido diversos debates acerca de sus beneficios y los impactos ambientales que se generan con su uso”. “La construcción y utilización de aerogeneradores para la producción eléctrica traen aparejados, como prácticamente toda actividad humana lo hace, impactos negativos sobre el medio ambiente. Estos últimos deben ser identificados y estudiados para ser eliminados o minimizados” (Sagardoy, 2012).

En Mar del Plata un proyecto de OSSE plantea la instalación de un parque eólico para su autoabastecimiento a partir de estudiar la factibilidad de sustento a partir de energías limpias (Mérida, 2011)

En cuanto a los estudios previos es necesario tener criterio a la hora de pensar en la complejidad. Por ejemplo, es fundamental ajustar las metodologías de muestreo al presupuesto de cada uno y a la magnitud del proyecto (potencia aproximada a instalar), no tiene sentido invertir más capital en la torre de muestreo que en el mismo aerogenerador.

A pesar de la búsqueda realizada sobre proyectos similares (Burton, 2001) (Johnson, 2006) (Ammonit, 2000) (González Velasco, 2009) (Hulshorst, 2012)

(Rodríguez, 2003) (Wegley, 1980) (Johnson, 2006), no se encontró información sobre metodologías a seguir. Existen trabajos que, quizás por tratarse de equipos de elevada potencia, emplean métodos complejos y/o utilizan programas de procesamientos de datos de elevado costo.

CAPITULO II

II.1 La energía eléctrica en Argentina

En Argentina, la localización de las fuentes de energía, excepto la termoeléctrica, no coincide con las áreas de mayor consumo energético. Es decir, que hay distanciamiento espacial entre las fuentes de producción (como las centrales hidroeléctricas de la Patagonia) y el área de mayor consumo ubicada en la margen derecha de los ríos Paraná y de la Plata, desde la ciudad de Santa Fe hasta el Gran La Plata, por ser la zona de mayor densidad de población del país y tener predominio de las actividades económicas secundarias y terciarias que consumen elevado porcentaje de electricidad (Informe estadístico del sector energético, Secretaría de Energía de la Nación, 2012). Esta situación origina flujos interregionales de energía que inciden en su costo por las obras de infraestructura que se necesitan. Además parte de ella se pierde en el traslado y deja el área productora en condiciones desventajosas. Esto tiene consecuencias directas en diversos sectores productivos, dado que el mayor costo se traslada a los precios de los productos haciéndoles perder competitividad internacional. También crecen las emisiones a la atmósfera por presentar una baja eficiencia energética y el impacto ambiental por las grandes obras que se llevan a cabo.

Para mejorar la conexión entre las zonas de producción de energía y las áreas de mayor consumo, se organizó en nuestro país el Sistema Argentino de Interconexión (SADI) que distribuye casi la totalidad de la energía eléctrica producida en el país (más del 90% de la energía generada por todas las centrales térmicas, nucleares e hidráulicas). El SADI está compuesto por las centrales generadoras y las empresas de distribución y transmisión, unidas por una red eléctrica integrada que abastece de energía eléctrica a la mayor parte del país. El sistema de transmisión opera a través de una gran red de interconexión que está compuesto por líneas de 500, 230 y 132 kilovoltios con un diseño radial polarizado en el frente fluvial, por ser la zona de mayor consumo.

Existen sistemas que podrían mejorar la eficiencia del SADI mediante la aplicación de nuevas tecnologías que promueven la generación con recursos renovables a pequeña escala como lo es el “Net Metering”³. Este sistema permite al usuario inyectar energía a la red obteniendo beneficios económicos y de confiabilidad. Se considera una gran herramienta de distribución y comercialización energética que ya se utiliza en otros países, y sin lugar a dudas es un incentivo a la generación aislada e instalación de aerogeneradores de baja potencia. Si bien esta modalidad todavía presenta algunas dificultades, es un hecho que logra estimular la generación mediante recursos renovables a pequeña escala. Se puede convertir en una opción económicamente viable y ambientalmente beneficiosa, incluso para aquellos usuarios que ya se encuentran conectados a la red eléctrica, donde se hace difícil competir con los bajos precios ofrecidos por las compañías distribuidoras de energía.

II.1.1. Matriz energética Nacional y emisiones de CO₂

Los equipos instalados en el SADI se pueden separar en tres grandes grupos, de acuerdo al recurso natural y a la tecnología que utilizan: Térmico fósil (TER), Nuclear (NU) o Hidráulico (HID). Los térmicos a combustible fósil, a su vez, se pueden subdividir en cuatro clases, de acuerdo al tipo de ciclo térmico que utilizan para aprovechar la energía: Turbina de Vapor (TV), Turbina de Gas (TG), Ciclo Combinado (CC), y Motores Diesel (DI). Existen en el país otras tecnologías de generación, las cuales se están conectando al SADI progresivamente, como la Eólica (EOL) y la Fotovoltaica (FT). Sin embargo, ésta última aún tiene baja incidencia en cuanto a la capacidad instalada.

La siguiente tabla muestra la capacidad instalada por regiones y tecnologías en el MEM⁴.

³ *Medición Neta de electricidad.*

⁴ *MEM: Mercado Eléctrico Mayorista.*

Tabla 1. Potencia instalada en MW. (CNEA, 2014).

Area	TV	TG	CC	DI	TER	NUC	FT	EOL	HID	TOTAL
CENTRO	200	510,8	547,3	71,8	1329,9	648			917,6	2895,5
COM		207,9	1282,5	73,3	1563,7				4680,7	6244,4
CUYO	120	89,6	374,2		583,8		8,2		1070,7	1662,7
GB-LI-BA	3820,2	2045,5	5984	423,6	12273,3	362		0,3	945	13580,6
NEA		59		242,3	301,3				2745	3046,3
NOA	301	1001	829,2	262,6	2393,8			25,2	217,2	2636,2
PATAG		160	188,1		348,1			139,3	518,8	1006,2
Generación móvil				330	330					330
SIN	4441,2	4073,8	9205,3	1403,6	19123,9	1010	8,2	164,8	11095	31401,9
Porcentaje					60,90	3,22	0,03	0,52	35,33	

Cabe aclarar que la capacidad eólica consignada en la tabla precedente, no representa la totalidad de la potencia existente en el país, sino sólo la que entrega energía al SADI, mientras que el resto de la generación eólica (aproximadamente 28 MW), descuenta demanda en cooperativas regionales, del total de sus compras efectuadas al MEM.

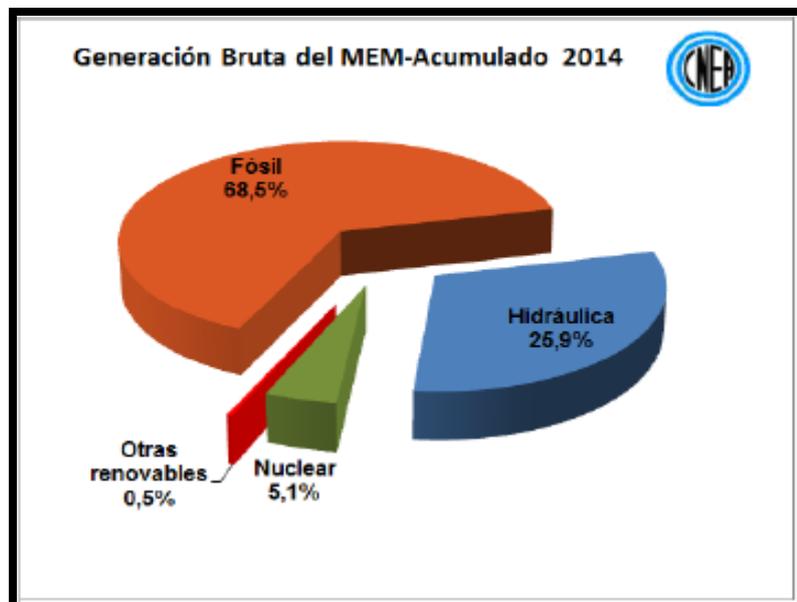


Figura 1. Matriz energética argentina. (CNEA, 2014).

La generación de “otras renovables”, que surge de las gráficas precedentes, comprende la generación eólica y fotovoltaica incorporada en el SADI hasta el momento. Cabe destacar que el mayor porcentaje del valor corresponde a la generación eólica. El sector residencial es el que posee mayor demanda de energía (Figura 2), por lo que es importante contar con proyectos para abastecerlo.

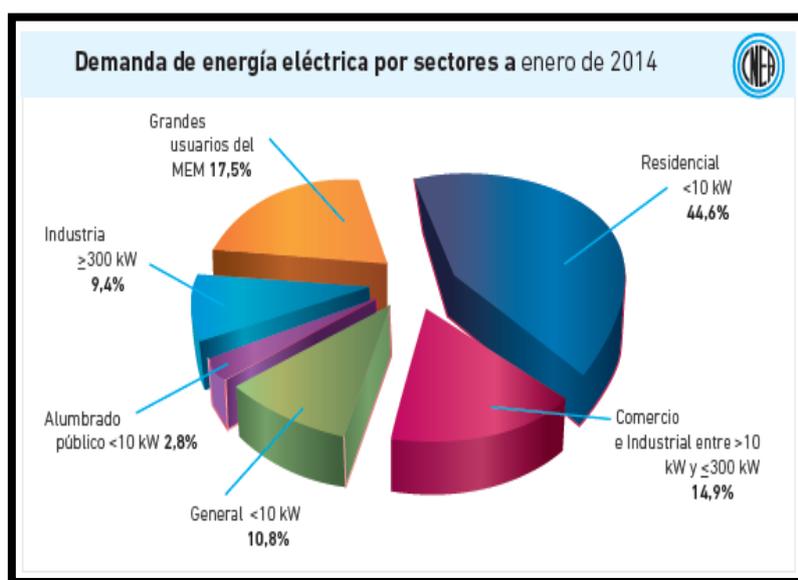


Figura 2. Demanda de energía eléctrica por sectores. (CNEA, 2014).

II.1.2. Factor de emisión de la Red Argentina de Energía Eléctrica

Como ya se sabe la generación eléctrica emite gases de efecto invernadero, que son cuantificados y expresados como masa de CO₂ emitida a la atmósfera. Para la presentación de proyectos del sector eléctrico limpios se puede requerir la utilización del factor de emisiones de la red, esto es la cantidad de emisiones de CO₂ que resulta de la producción de una unidad de energía eléctrica.

Con el propósito de fomentar el desarrollo de proyectos de Desarrollo Limpio conectados a la Red, la Secretaría de Energía y la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, han realizado los cálculos correspondientes a la red argentina⁵.

Los cálculos de este factor se han realizado siguiendo la herramienta metodológica para calcular el factor de emisión para un sistema eléctrico aprobada por

⁵ Cálculo del factor de emisiones de CO₂ de la red Argentina de energía eléctrica

la Junta Ejecutiva del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL), utilizando la herramienta: “Tool to calculate the emission factor for an electricity system. Version03.0.0”⁶. El valor resultante del estudio citado que se utilizará en este estudio es de 0,532 tCO₂⁷/MWh.

A continuación se muestran los valores totales de emisiones de CO₂ en la generación eléctrica del SADI de los últimos 2 años. La cantidad de electricidad distribuida por la red está relacionada directamente con la temperatura, puede observarse que en los períodos de primavera y otoño se presentan los niveles más bajos y en verano e invierno, los más altos.

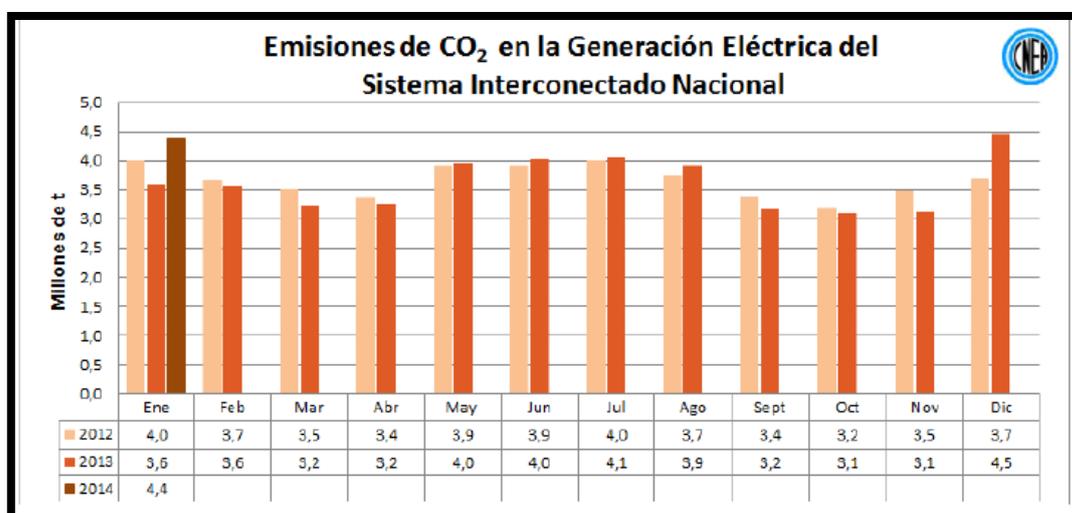


Figura 3. Emisiones dióxido de carbono del SADI (2012-2014). (CNEA, 2014).

II.1.3. Incidencia del Recurso en la generación eléctrica.

La producción energética depende en gran medida del recurso y otros factores económicos, políticos y ambientales. Las variaciones de estos factores inciden en la disponibilidad eléctrica, su precio y calidad. Ejemplificando esta situación se pueden abordar algunas situaciones:

La demanda de energía del MEM en enero del 2014 registró un valor 7,8% superior a aquel obtenido en el mismo mes del año anterior y se registraron cortes de electricidad en algunos puntos del país. La temperatura media registrada del mes fue

⁶ Naciones Unidas. Convención Marco sobre el Cambio Climático.

⁷ Toneladas de dióxido de carbono por MWh generado

de 25,9°C⁸, en lo que fue un enero más caluroso que el del año 2013, de 25,1°C. Cabe agregar que el valor medio histórico para este mes es de 24,5°C. Esta tendencia al aumento de la temperatura media busca reflejar la incidencia que tiene sobre la oferta y la demanda del recurso energético (como puede notarse en la Figura 3). Si bien no es un análisis lo suficientemente complejo como para sacar conclusiones a priori, ya que habría que tener en cuenta otros factores tales como crecimiento poblacional, cantidad de usuarios conectados, cambios o crecimientos en la industria, etc., es sabido que la utilización de combustibles fósiles en la producción energética, además de consumir divisas y fuentes no renovables, contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero, lo que resulta en un aumento de la temperatura media del planeta y ésta a su vez deriva en un mayor consumo energético, constituyendo un proceso cíclico con consecuencias negativas perpetuas.

Otra situación ejemplificadora de la dependencia de la producción energética sobre factores ambientales es la variación del caudal de los ríos por consecuencias hidrológicas. Argentina depende en gran medida de la generación hidráulica, que es la más importante después de la generada mediante recursos fósiles, por lo tanto si los ríos fluyen con mayor o menor caudal se registrará una incidencia directa sobre la generación eléctrica, y seguramente, de ser una variación importante, se vea reflejado en el precio final que pagan los consumidores por esa energía y se deba quemar una mayor cantidad de combustibles fósiles.

Es así como demuestra la fuerte relación que presenta la generación eléctrica con frecuentes sucesos impredecibles. Los hidrocarburos y elementos radiactivos, fuentes no renovables, aportan contaminantes a la atmósfera, biosfera e hidrosfera, y pueden variar su precio sin previo aviso. Pero también sabemos que las energías renovables están sujetas a cambios potencialmente influyentes: nunca se sabe en qué momento un río puede disminuir su caudal, o en casos más extremos, disminuir la radiación solar incidente o el viento deje de soplar, todo lo cual limita su aplicabilidad.

De esta manera, se hace hincapié en la importancia de tener una matriz energética diversa, de forma tal de poseer flexibilidad frente a cambios en los costos,

⁸Para la República Argentina. Datos del Servicio Meteorológico Nacional.

en la disponibilidad de los recursos utilizados o variaciones de factores ambientales, con motivo de mantener la estabilidad y posibilitar el desarrollo de distintos sectores con el menor impacto ambiental posible tanto a nivel zonal, regional o nacional. La correcta gestión energética es fundamental desde cualquier punto de vista, desde la atracción de nuevos inversores y la competitividad en el mercado a lo largo del tiempo hasta la sostenibilidad del mundo donde vivimos.

II.2. La Energía eólica

II.2.1. Origen de los vientos

Los vientos son movimientos del aire, o corrientes convectivas, que se originan por el calentamiento diferencial producido en distintos puntos geográficos que reciben cantidades diferentes de radiación solar. En los lugares en que alcanzan mayores temperaturas, debido a que reciben mayor cantidad de radiación, el aire en contacto con la tierra o el mar se calienta más, y, en consecuencia, se expande, su densidad disminuye y se eleva dejando un vacío que es ocupado por masas de aire frío. Este aire frío proviene de zonas que reciben menor cantidad de radiación solar y alcanzan menores temperaturas, por lo que el aire en contacto con ellas se expande menos y, al tener mayor densidad, se traslada por las capas bajas de la atmósfera hasta ocupar el lugar dejado libre por el aire caliente que asciende. En este sentido puede afirmarse que la energía eólica es energía solar que se almacena en la atmósfera en forma de calor distribuido de modo no homogéneo, lo que pone en marcha las corrientes convectivas antes aludidas. Por lo tanto puede considerarse que la energía eólica es energía solar indirecta. (González Velasco, 2009)

II.2.2. Circulación de los vientos globales

La potencia de la radiación solar fuera de la atmósfera se evalúa en 1367 W/m^2 . En las zonas ecuatoriales, esta energía por metro cuadrado y por segundo que llega en forma de radiación atraviesa un espesor de aire correspondiente al espesor de la

atmósfera, porque allí los rayos solares inciden perpendicularmente). Esto da lugar a calentamientos mayores de las masas de aire en zonas ecuatoriales que en zonas polares. Como se mencionó anteriormente, se produce un transporte de materia como consecuencia del calentamiento diferencial de un fluido en un campo gravitatorio, el cual se denomina transporte convectivo, y al aire en movimiento se lo denomina viento.

De forma general, en el Ecuador el aire tiende a subir, y en los polos a bajar, y este movimiento también está influido por la rotación de la Tierra (aceleración de Coriolis), por la proporción entre tierra firme y mares, por la localización de los continentes y por la presencia de accidentes geográficos, como cadenas montañosas, etc. Todos estos factores dan lugar a unas trayectorias globales de circulación de los vientos, que se representan en la Figura 4.

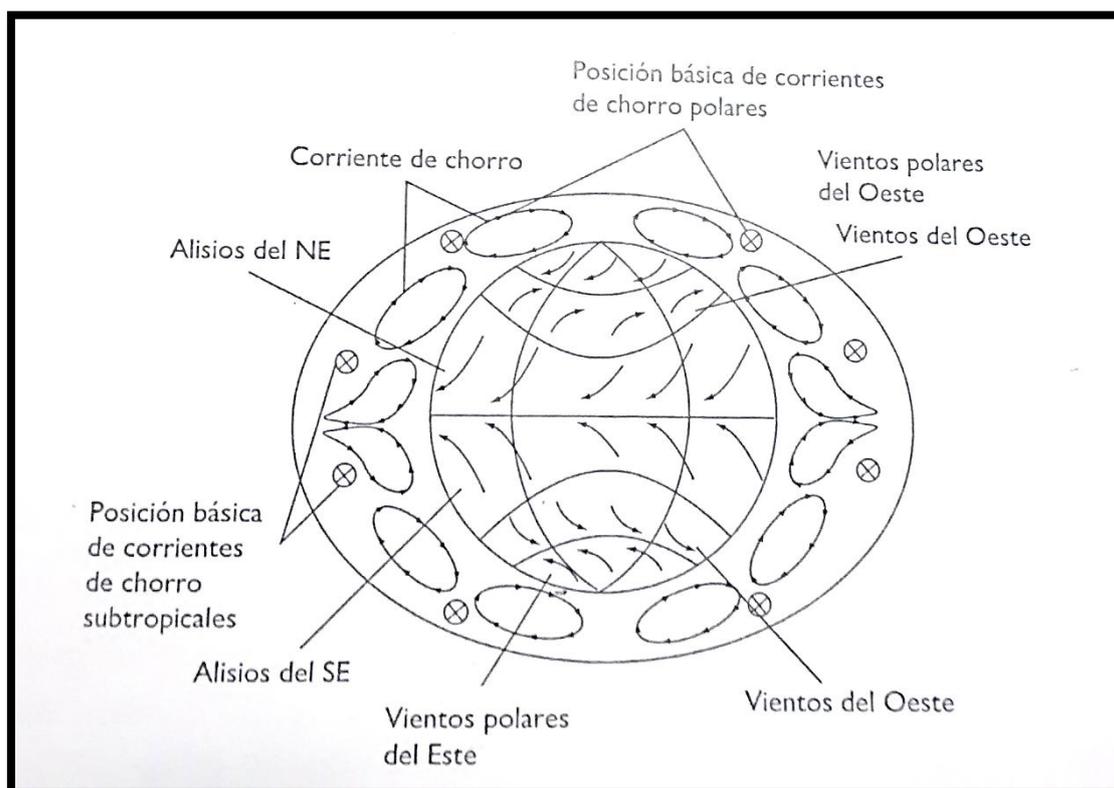


Figura 4. Esquema de la circulación general atmosférica sobre la superficie terrestre. (González Velasco, 2009).

Esta circulación general de vientos sufre cambios a lo largo de las estaciones del año, debido a que la distribución del calor solar cambia durante el transcurso del año.

Esta característica es importante a la hora de estudiar la disponibilidad de vientos, es decir que debe tenerse en cuenta que las velocidades de viento no son constantes y por lo tanto existe diferente producción energética a lo largo del año.

Al sistema global de circulación de vientos se le superponen los vientos locales, como son las brisas marinas y los vientos entre montañas y valles. Las primeras se generan en la costa, y se deben a las diferencias entre las capacidades caloríficas del agua y las masas sólidas de tierra firme. El agua tiene mayor capacidad calorífica que la tierra. Esto significa que una misma cantidad de calor eleva menos la temperatura de una masa de agua que la de la misma masa de tierra. Durante el día, la tierra alcanza mayor temperatura que el agua. Esta mayor temperatura hace que la masa de aire que se encuentra sobre la tierra eleve más su temperatura, se expanda, disminuya su densidad y ascienda dejando un vacío que es ocupado por la misma masa de aire más fría, y por lo tanto más densa, que se encuentra en contacto con el agua. Así, durante el día el viento sopla del mar a la tierra.

Al cesar la radiación solar durante la noche, tanto el mar como la tierra se enfrían, pero tanto más rápidamente cuanto menor es su capacidad calorífica. Por lo tanto, al cabo de un tiempo la tierra estará más fría que el mar. El aire que está en contacto con el agua estará más caliente que el que lo está con la tierra, y se expandirá y elevará más, dejando lugar a un vacío que será ocupado por el aire más denso (más frío) procedente de la tierra. El viento en zonas costeras (brisas) sopla de tierra a mar durante la noche. (González Velasco, 2009)

II.2.3. La energía del viento

El sol es quién genera el movimiento de las masas de aire que se denominan viento. Es así que el aire contenido en la atmósfera se mueve de zonas de alta presión hacia zonas de baja presión. Una vez en movimiento, las componentes finales del vector de velocidad y dirección del viento dependerán de otros factores como la fuerza

de Coriolis, la rugosidad, la topografía, fenómenos microclimáticos, que desviarán la dirección del viento “originalmente” perpendicular a las isobaras⁹.

La energía presente en el viento proviene de su movimiento y se expresa como energía cinética según la ecuación:

$$E = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} (\rho A x) v^2 \quad (1)$$

Donde m es la masa de aire, v la velocidad del viento, ρ la densidad del aire, A la sección de área transversal perpendicular al avance del aire y x el espesor de la sección.

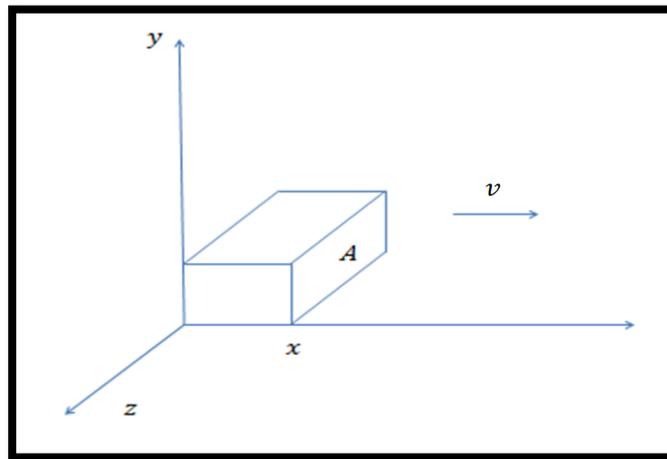


Figura 5. Paquete de aire moviéndose con velocidad v . (Johnson, 2006).

La Figura 5 expresa un bloque de aire desplazándose a velocidad v , la energía cinética aumenta uniformemente con x ya que la masa (el viento) crece uniformemente.

El poder en el viento P_w , es la derivada temporal de la energía cinética:

$$P_w = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} \rho A v^2 \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2)$$

⁹Líneas de igual presión a una altura determinada.

Esto puede ser visto como la potencia que se está suministrando en el origen, que causa el aumento de la energía, según la ecuación 1. Una turbina eólica extraerá energía por el lado x , la ecuación 2 representa el poder total que contiene para ser extraído (Johnson, 2006).

Las variaciones de densidad no traen aparejados grandes cambios en el recurso eólico, con valores cercanos a $1,3 \text{ kg/m}^3$ a 0°C y 0 msnm y $0,73 \text{ kg/m}^3$ a 20°C y 4.000 msnm . Ahora bien, para el **sitio de estudio**, ubicado a unos 120 metros sobre el nivel del mar se estimó una densidad del aire de $1,226 \text{ kg/m}^3$, por lo que la expresión para la potencia se escribe:

$$P_w(W) = 0,613 A(m^2)v^3(m/s) \quad (3)$$

Note que la energía extraíble varía linealmente con el área de barrido de las aspas del generador (cuadráticamente con el radio del rotor) y cúbicamente con la velocidad. El siguiente cuadro representa los valores de potencia a causa de cambios en las distintas variables. A partir de ello se deduce la importancia de seleccionar un sector con buen recurso eólico en lugar de agrandar el equipo, ya que los resultados serían menos favorables y obviamente más costosos.

Tabla 2. Variación de la potencia eólica específica en función de la velocidad del viento.

Variación de la potencia eólica específica	
Velocidad del viento en m/s	Potencia específica (W/m^2)
2	5
3	17
4	40
5	78
6	135
7	214
8	319
9	455
10	624
11	831
12	1078

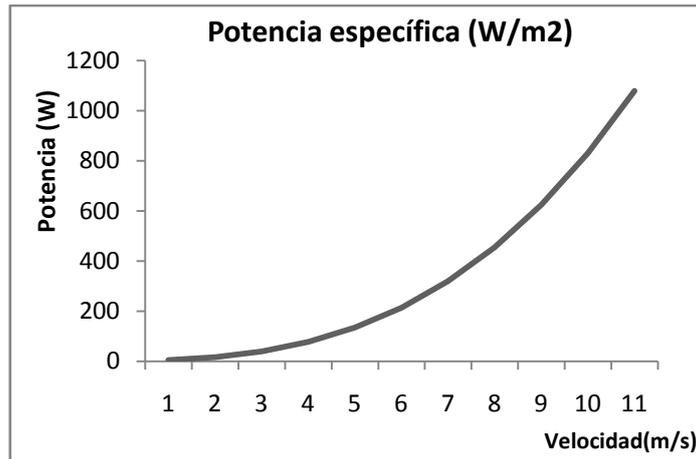


Figura 6. Variación de la potencia eólica específica en función de la velocidad del viento.

Tabla 3. Variación de la potencia eólica específica en función del área barrida.

VARIACION DE LA POTENCIA EÓLICA CON EL AREA BARRIDA	
Área barrida (m ²)	Potencia (W/m ²) con viento de 4 m/s
1	40
2	80
3	120
4	160
5	200
6	240
7	280
8	319
9	359
10	399

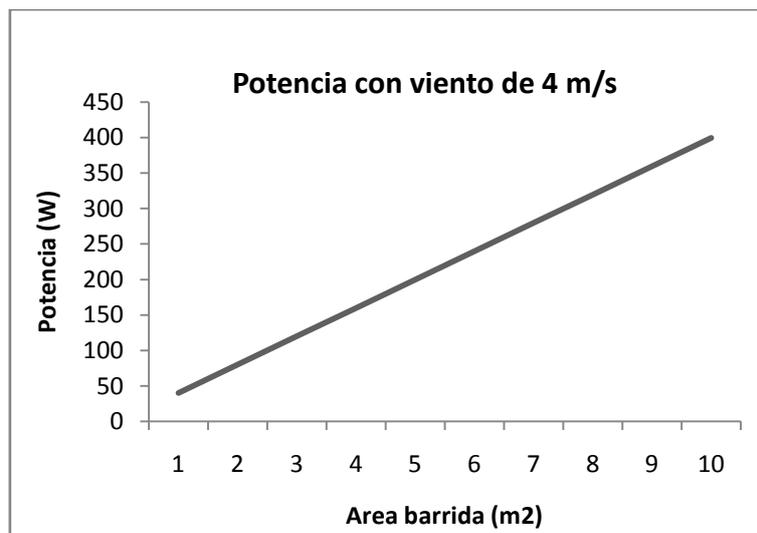


Figura 7. Variación de la potencia eólica específica en función del área barrida.

Sin embargo, no toda esta energía es aprovechable. La presencia física de una turbina de eje horizontal en una gran masa de aire que la atraviesa modifica la velocidad y presión del viento según la Figura 8. Esto da como resultado un límite en la energía que se puede extraer del viento, llamado límite de Betz. A continuación se describe cómo se llega al valor del 59,25%, el cual representa el mayor porcentaje de extracción de energía de un fluido.

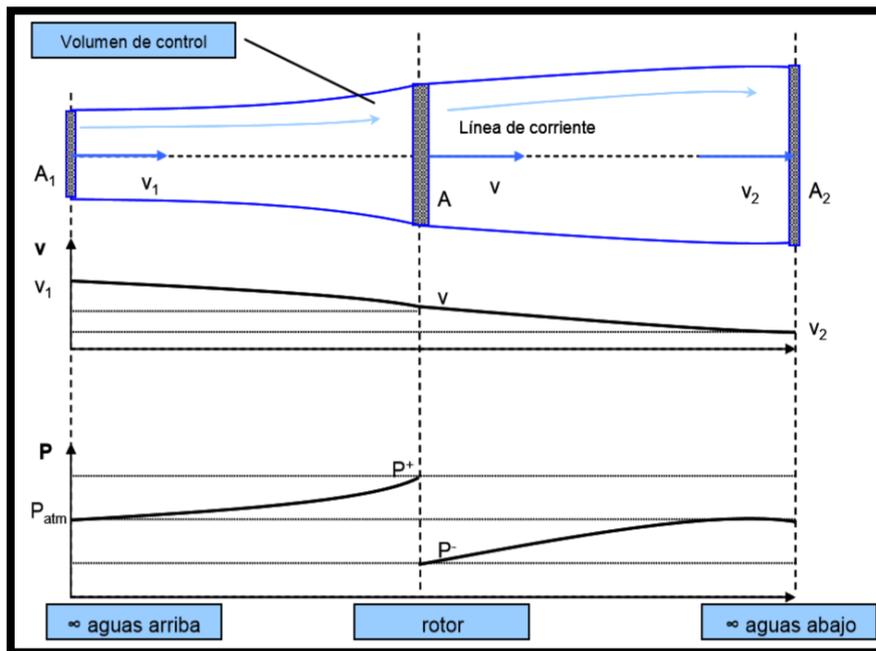


Figura 8. Principio de la aerodinámica. (Ragheb, 2011).

Podemos observar que nuestro volumen de control está limitado por una superficie A_1 situada en el infinito aguas abajo, por una superficie A_2 situada en el infinito aguas arriba y por la envolvente que cierra el tubo de corriente. Dicho tubo de corriente pasa por un plano intermedio donde se sitúa el rotor, representado por el área A . Se representa también la velocidad a lo largo del volumen de control, que va variando, ya que el fluido va perdiendo energía durante su trayecto, y esto se manifiesta como una pérdida de su energía cinética.

Por último se observa la variación de la presión desde una presión atmosférica en el infinito aguas abajo, aumentando hasta un valor P^+ que alcanza en la cara anterior al rotor, debido a una compresión en dicha zona, por el obstáculo que el rotor supone para la corriente de aire. En la superficie A del esquema, se produce un cambio

brusco de presión, como consecuencia de la energía que intercambia el fluido con el rotor. Pasamos de una presión P^+ a una presión P^- . Finalmente, el fluido aumenta su presión hasta alcanzar de nuevo la presión del ambiente en el infinito aguas arriba. Tomando las ecuaciones que describen el proceso tenemos:

- Potencia eólica disponible:

$$P_d = \frac{1}{2} \rho \cdot v^3 \cdot A \cdot C_p \quad [4]$$

- Ecuación de continuidad:

$$A_1 \cdot v_1 = A \cdot v = A_2 \cdot v_2 \quad [5]$$

- Ecuación de la cantidad de movimiento:

$$\dot{m} = \rho Av$$

- Fuerza del fluido en el disco:

$$|F| = m\Delta v = \rho Av \cdot (v_1 - v_2) \quad [6]$$

$$|F| = (P^+ - P^-) \cdot A \quad [7]$$

- Ecuaciones de Bernoulli:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P^+ + \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$P^- + \frac{1}{2} \rho v^2 = P_1 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$P^+ + P^- = \frac{1}{2} \rho (v_1^2 - v_2^2) \quad [8]$$

Combinando las ecuaciones anteriores obtenemos:

- Con [7] y [8]:

$$|F| = \frac{1}{2} \rho (v_1^2 - v_2^2) \cdot A \quad [9]$$

- Con [6] y [9]:

$$v = \frac{1}{2} \cdot (v_1 + v_2) \quad [10]$$

De aquí se deduce que la velocidad del viento en el plano del rotor es la semisuma de la velocidad incidente en el infinito aguas arriba y aguas abajo.

Como la potencia absorbida por el rotor es $W = F \cdot v$, obtenemos con [9] y [10]:

$$W = \rho A \cdot \frac{1}{2} \cdot (v_1 + v_2) \cdot \frac{1}{2} (v_1 - v_2) \quad [11]$$

La potencia absorbida viene determinada por la ecuación 8, y observamos que dada una velocidad de viento determinada v_1 , que no podremos modificar, ya que depende de la meteorología; tendremos que escoger un diseño del aerogenerador, de forma que el valor obtenido de v_2 , maximice el gasto másico a través del disco, pero que también minimice la pérdida de energía cinética a lo largo de la estela. Es decir, ¿qué valor de v_2 nos hace máxima la potencia absorbida por el rotor?

Si definimos: $k = \frac{v_2}{v_1}$, tenemos que la potencia absorbida por el rotor es:

$$W = \frac{1}{4} \rho A \cdot v_1^3 \cdot (1 + k) \cdot (1 - k^2) \quad (12)$$

Calculando el máximo mediante $\frac{dW}{dk} = 0$, obtenemos: $v_2 = \frac{1}{3} v_1$

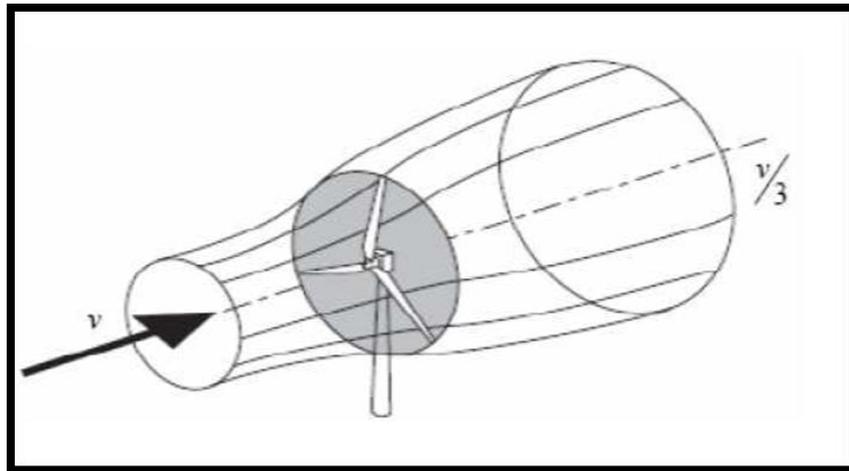


Figura 9. Efecto de una turbina en la velocidad del viento. (Burton, 2001)

Luego,
$$W = \frac{1}{2} \rho A \cdot v_1^3 \cdot (1 + k) \cdot (1 - k^2) = \frac{8}{27} \rho A v_1^3$$

Por último recordando la definición del coeficiente de potencia de un aerogenerador, obtenemos para el caso límite de máxima potencia absorbida en el rotor: el límite de Betz:

$$C_{p,max} = \frac{W_{max}}{\frac{1}{2}\rho A \cdot v_1^3} = \frac{\frac{8}{27}\rho A v_1^3}{\frac{1}{2}\rho A \cdot v_1^3} = \frac{16}{27}$$

Queda demostrado que la máxima potencia, proveniente del viento, que puede captar el rotor de un aerogenerador ideal es del 59.25%.

II.2.4. Usos e historia

Los diseños modernos de turbinas eólicas comenzaron a aparecer aproximadamente entre los años 1930 y 1955, pero su desarrollo recibió un impulso considerable debido a la crisis del petróleo de 1973. En la actualidad, los sistemas más modernos utilizan procedimientos de control electrónico y muchos de los trabajos de desarrollo en ingeniería van dirigidos a dotar a los aerogeneradores de estructuras suficientemente sólidas como para soportar las ráfagas de viento más intensas, que pueden alcanzar una velocidad de 5 a 10 veces la velocidad media del viento. Si se tiene en cuenta que la potencia es proporcional al cubo de la velocidad del viento, las tensiones que soportan las estructuras podrían ser de entre 125 y 1000 veces superiores a las normales. Debido a ello pueden producirse daños por fatiga de los materiales, especialmente en las paletas, que pueden rotar unos cien millones de ciclos en un tiempo de vida de 20 años.

La industria asociada al desarrollo de la energía eólica crece de año en año, en parte por el apoyo que recibe de instituciones estatales y regionales mediante subvenciones¹⁰.

Para llegar al momento actual, en que se fabrican turbinas eólicas capaces de producir hasta 7,5 MW, se ha tenido que pasar por numerosas etapas, a lo largo de unos 5 mil años, en que la humanidad ha hecho uso de la energía del viento.

¹⁰En países que fomentan el uso de energías renovables.

Se conoce que la energía del viento fue utilizada inicialmente por la navegación a vela. También existen indicios de que ya se utilizaban molinos de viento hace unos cuatro mil años, para moler granos, pulverizar especias y pigmentos, para fabricar papel y para aserrar madera.

Los primeros molinos de viento aparecieron en Persia. Eran de eje vertical, compuestos por cuatro paletas de forma rectangular encerradas en una caja que dejaba entrar el viento por una abertura. (González Velasco, 2009)

II.2.5. Aerogeneradores

Los aerogeneradores se clasifican de acuerdo con diversos criterios (González Velasco, 2009):

- **Según la posición del eje de rotación.** Si el eje de rotación del aerogenerador está dispuesto paralelamente a la dirección del viento se le denomina *aerogenerador de eje horizontal*. Por el contrario, cuando el eje de rotación es perpendicular a la corriente de aire se está ante un *aerogenerador de eje vertical*.
- **Según la fuerza que origina la rotación.** En este caso se dividen en *aerogeneradores de sustentación* y *aerogeneradores de arrastre*. En los últimos no existe ninguna parte componente que se mueva más rápidamente que el viento, mientras que en los primeros puede haber secciones de la paleta que alcanzan velocidades mucho mayores que la del viento.
- **Según la solidez.** La solidez se define como la relación entre el área que ocupan las paletas y el área total barrida por las mismas al girar. Por lo tanto, los aerogeneradores de una, dos o tres paletas son de *baja solidez*, mientras que los molinos multipaleta que se utilizan en muchos lugares para el bombeo de agua son de *solidez elevada*.

Debido a la diversidad de los equipos en el mercado, se decidió acotar las opciones recurriendo a equipos de fabricación nacional, con el objetivo de apoyar la industria local.

Desde el año 2010, el INTI¹¹ lleva a cabo un programa de fortalecimiento de aerogeneradores de baja potencia. Dicha iniciativa tiene por finalidad apoyar a la industria nacional en distintos aspectos, abarcando ensayos de curvas de potencia, diseño de partes y equipos, comunicación del producto y sectorial, conocimiento del mercado y otros aspectos productivos. En un encuentro organizado en abril de 2011, se validó el procedimiento que se implementaría en el laboratorio de ensayo. Desde el comienzo de las actividades del programa, el INTI ha relevado la actividad de 18 fabricantes que se encuentran listados en el padrón. Por último, el programa lleva adelante un monitoreo de la evolución productiva y comercial del sector.

Los resultados de los ensayos exponen la curva de potencia del equipo en cuestión, como así también información técnica del mismo, como ser potencia nominal declarada, diámetro del rotor, altura del eje, etc. Realizando un análisis superficial de los resultados expuestos se puede seleccionar *a priori* qué equipos merecen ser evaluados frente a las condiciones presentadas en el sitio a ser ubicado.

Hasta el momento, sólo se habían completado los ensayos de las curvas de potencia de cuatro equipos.

FABRICANTE	EQUIPO
EOLUX Giacobone	EOLUX 1200
ALP Group	COSTA 1 Doméstico
STCHARGER	STCHARGER 600
INVAP Ingeniería	IVS 4500

En la sección de resultados de cálculo del potencial eólico y producción energética se procederá a la selección y comparación de los equipos a utilizar en los cálculos.

II.2.6. Energía eólica en Argentina

Argentina es un país con larga tradición eólica. Se estima que la llanura pampeana cuenta aún hoy con la mayor concentración de molinos de campo de todo

¹¹ Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

el mundo, con más de 400.000 equipos en existencia. Si bien las primeras máquinas de viento equipadas para generar electricidad aparecieron a comienzos del siglo pasado, la novedad de su tecnología y sus mayores costos relativos resultaron barreras insalvables para su difusión en una época dominada por los combustibles fósiles. Como ya se mencionó, fue el principio del fin de la era del “petróleo barato” en 1973, lo que marcó el renacer del viento como fuente energética viable. Actualmente el alto grado de desarrollo alcanzado por los aerogeneradores modernos permite al viento aportar un porcentaje relevante de la generación eléctrica en muchos países. El primer parque eólico comercial argentino se instaló en Comodoro Rivadavia, provincia de Chubut, en 1994 (500 kW).

Las perspectivas del país en materia de energía eólica son francamente alentadoras. Se estima que el potencial eólico patagónico al sur del paralelo 42 encierra una energía decenas de veces mayor al contenido en toda la producción anual argentina de petróleo. Más aún, no solo el extremo sur argentino posee condiciones, existen asimismo numerosas regiones aptas en las provincias de Río Negro y Neuquén, en varias zonas serranas y costeras de la provincia de Buenos Aires, y en muchos otros sitios puntuales de todo el país. (Energías Renovables, 2008).

Legislación

La Ley 26190¹² establece el “Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica “. Esta ley declara de interés nacional la generación de energía eléctrica a partir del uso de fuentes de energía renovables con destino a la prestación de servicio público como así también la investigación para el desarrollo tecnológico y fabricación de equipos con esa finalidad. Ha sido recientemente reglamentada mediante el Decreto N° 562/2009.

Establece como objetivo del presente régimen, lograr la contribución de las fuentes de energía renovables hasta alcanzar el OCHO POR CIENTO (8%) del consumo

¹² Sancionada el 6 de Diciembre de 2006. Promulgada de Hecho el 27 de Diciembre de 2006.

de energía eléctrica nacional en el plazo de DIEZ (10) años a partir de la puesta en vigencia del presente régimen.

Los beneficios que establece la Ley son un régimen de inversión por un periodo de 10 años y una remuneración adicional respecto del precio de mercado de la energía según las distintas fuentes por un periodo de 15 años.

Esta Ley actualiza la remuneración establecida por la Ley N° 25.019, incrementando el gravamen destinado a conformar el Fondo Fiduciario de Energías Renovables, que será administrado y asignado por el Consejo Federal de la Energía Eléctrica y se destinará a:

Remunerar en hasta uno coma cinco centavos por kilovatio hora (0,015\$/kWh) efectivamente generados por sistemas eólicos instalados y a instalarse, que vuelquen su energía en los mercados mayoristas o estén destinados a la prestación de servicios públicos.

Sin embargo el problema principal asociado con un sistema de precio fijo es que no se presta fácilmente a ajustes – ni al alza ni a la baja – para reflejar los cambios en los costes de producción de las tecnologías renovables (European Renewable Energy Council, 2007). La experiencia muestra que el progreso notable de la utilización de la energía eólica se da en aquellos países en los que se paga al generador no menos de US\$ 0,09 por kWh eoloeléctrico. Aún más, ninguno de los países que proveían niveles de remuneración menores a US\$ 0.07/kWh presenciaron un significativo despliegue rentable. (Fernández, 2010)

Implementación

La energía eléctrica generada a partir de este tipo de equipamiento se destina, por supuesto, a satisfacer necesidades de trabajo y confort requeridas por el hombre. De las distintas posibilidades de disponibilidad de esta energía generada, se mencionarán tres casos que, al menos en nuestro país, conforman situaciones generalizadas y bien caracterizadas (Secretaría de Energía de la Nación, 2011):

- Vastas zonas del país tienen población y establecimientos rurales y de servicios dispersos tales como estancias, escuelas, puestos de gendarmería,

policías dispensarios médicos, etc. Normalmente estos establecimientos no tienen acceso a una provisión energética segura y confiable. Mediante máquinas de pequeña potencia (generalmente menos de 10 Kw) se puede proveer, si la calidad del recurso eólico es adecuada, de energía para mejorar las condiciones de vida posibilitando el acceso a iluminación, comunicación social y de seguridad (televisión, radio, etc.) y eventualmente la utilización de algunas pequeñas herramientas eléctricas.

- Otro aspecto se centra en la existencia de un importante número de pequeñas localidades donde ya se cuenta con un servicio eléctrico de origen térmico, en general accionado a gas oíl, el que en muchos casos por razones de insuficiencia logística, elevado costo y protección del equipo se utiliza solamente unas pocas horas al día. Impidiendo de esta manera el eventual establecimiento de pequeñas industrias derivadas de la actividad local, y retrasando también las posibilidades de mejor condición de vida de la población involucrada. Si las circunstancias lo permiten, acoplando máquina eólicas de una capacidad acorde con la de los equipos existentes, se puede mejorar la calidad del servicio aumentando su confiabilidad y prestación, con el agregado de poder lograr una disminución en el consumo de combustible.

- Por último, en regiones con recurso eólico adecuado, si se cuenta con una red de transmisión de alta tensión, es posible establecer verdaderas “centrales” eléctricas conformada por un número variable pero en general importante de turbinas de elevada potencia (250 kW en adelante). La energía generada en estas instalaciones, denominadas granjas o parques eólicos, ingresa directamente a la red.

Programa de Promoción

Argentina posee un elevado porcentaje de electrificación (95%), pero una proporción importante de su población rural (30%) carece de servicio eléctrico.

El Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER) financiado por el Gobierno Nacional y que lleva adelante la Secretaría de Energía de la Nación,

tiene como objetivo principal el abastecimiento de electricidad a un significativo número de personas que viven en hogares rurales, y a aproximadamente 6.000 servicios públicos de todo tipo (escuelas, salas de emergencia médica, destacamentos policiales, etc.) que se encuentran fuera del alcance de los centros de distribución de energía.

El PERMER es un proyecto de alto contenido social, cuyos objetivos son atender al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades rurales dispersas, contribuyendo al alivio a la pobreza en las mismas.

La implementación de mini centrales hidroeléctricas en el sentido de la corriente, turbinas eólicas, centrales diesel o centrales híbridas operadas por medios diesel/eólico o diesel/solar o solar/eólico en pequeñas comunidades así como la instalación de sistemas fotovoltaicos y/o eólicos individuales brindará al poblador rural además del servicio eléctrico, la posibilidad de desarrollar pequeños emprendimientos productivos. Sin embargo no se registran proyectos implementados en la Provincia de Buenos Aires. (Secretaría de Energía de la Nación, 2011)

II.2.7. Microgeneración y Net Metering

Net Metering o Medición Neta es una herramienta regulatoria que permite a las empresas o domicilios que invierten en generación eléctrica local y conectada a la red, obtener una mayor tasa de retorno a sus inversiones. Siendo especialmente útil para aquellas tecnologías que producen energía renovable e intermitente como son solar fotovoltaica y energía eólica. En términos sencillos, la medición neta permite a los clientes generar su propia electricidad, “depositando” en la red los excedentes y “retirla” desde la red cuando los requerimientos sean mayores que la producción. (Botero, 2008).

Bajo este mecanismo se emplea una métrica para determinar la energía que se entrega a la red, mediante flujos de entrada o salida de electricidad, este tipo de operaciones puede ser realizado utilizando contadores “bi-direccionales” simples. (Bell, 2003).

Esta metodología que regularmente es usada para pequeños sistemas de generadores eléctricos, con una capacidad aproximada a 25 kW y regularmente se

utiliza en sistemas fotovoltaicos, eólicos, hidroeléctricos y de celdas de combustible cuenta dentro de sus más importantes ventajas que elimina la necesidad de utilizar sistemas de almacenamiento de energía, reduce el costo del sistema del cliente, permite que el dispositivo almacene el exceso de generación eléctrica y permite hacer un seguimiento tanto de la electricidad almacenada como de la que provee el dispositivo. (Pacific Power, 2004)

Este mecanismo ha probado ser eficiente en el desarrollo de infraestructura para generar electricidad renovable en Europa, Japón, y los Estados Unidos. En países como Argentina y Brasil se está empezando a probar dicha política.

Como herramienta para fomentar la energía renovable, es posible solamente en los casos de aquellos que ya tienen acceso a la red eléctrica y es especialmente útil para aquellas tecnologías que producen energía renovable e intermitente como son: solar fotovoltaica y la energía eólica, pero se puede usar también con cualquier tecnología. (Bell, 2003).

En la República Argentina todavía no se cuenta con un marco regulatorio que permita interactuar con la red con potencias menores a 1MW (1 MegaWatt) como lo indica la "Ley 26.190 de Promoción para la producción de electricidad proveniente de energías renovables"

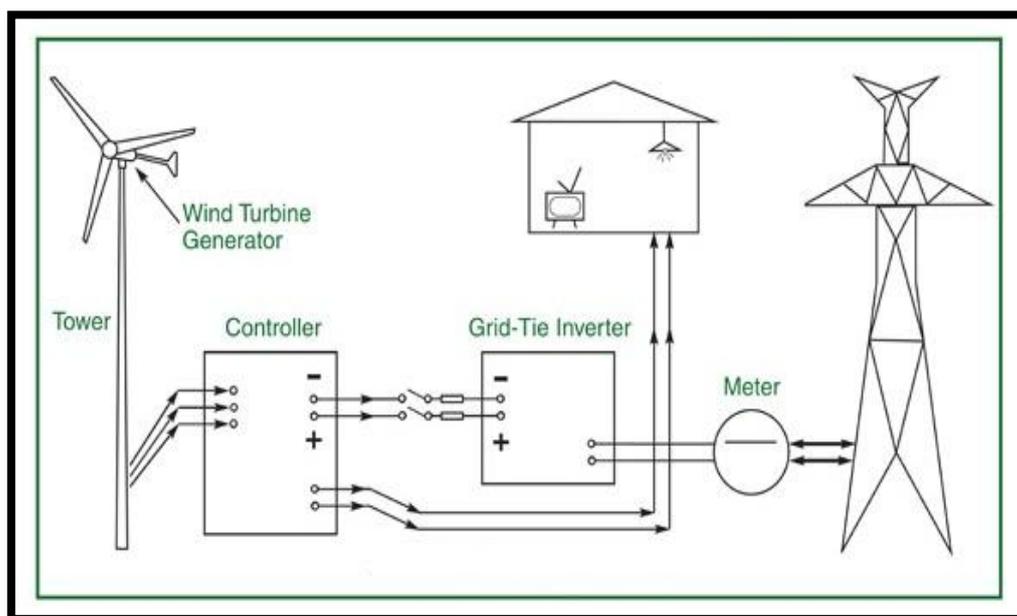


Figura 10. Esquema de funcionamiento de la microgeneración eólica y Net Metering. (windenergy7.com, 2008)

Si tenemos en cuenta que el promedio de consumo eléctrico hogareño en Argentina ronda los 5,4 kWh por día (en otros países esta cifra puede ascender a 10 kWh por día), se calcula un promedio anual de vientos en superficie para estimar el tamaño y qué tipo de aerogenerador se necesita.

En un futuro próximo, el gobierno argentino y los entes reguladores de energía formarán el marco regulatorio necesario para inyectar a la red eléctrica y con seguridad, los usuarios podrán sumarse al loable proceso de contribuir a la matriz energética nacional. El recurso eólico y solar que tiene nuestro país es abundante y su aprovechamiento depende fundamentalmente del conocimiento, la concientización y el compromiso de cada ciudadano con el cuidado del medio ambiente.

II.3. La Huella ecológica

Este término abarca todos aquellos requerimientos que el ser humano u organización deja como resultado de sus actividades, número que varía fuertemente entre diferentes países con diversos niveles de consumo y desarrollo.

La huella ecológica correspondiente a una población determinada se define como “la superficie de tierra productiva y agua (ecosistemas acuáticos) necesaria para producir los recursos que la sociedad consume, y asimilar los residuos que produce, dondequiera que se encuentren dicha tierra y dicha agua”. (Rees & Wackernagel, 1996)

“Al medir la huella ecológica de una población- un individuo, una ciudad, un negocio, una nación, o toda la humanidad - podemos determinar nuestra presión sobre el planeta, que nos ayuda a manejar nuestros activos ecológicos más sabiamente y tomar medidas personales y colectivas para apoyar un mundo donde la humanidad vive de la dentro de los límites de la tierra”. (footprint, 2013)

Gran parte de la huella ecológica, pero no toda, está representada por la más conocida huella de carbono.

II.3.1. Huella de Carbono

Naturalmente toda actividad deja reflejado un pasivo ambiental, unas de las leyes de la naturaleza relacionas con los residuos sólidos afirma “Yo soy, yo produzco residuos”, lo mismo sucede con la energía eléctrica utilizada y el CO₂ emitido a la atmosfera. Con el simple hecho de vivir en lo que actualmente conocemos como sociedad, y realizar actividades tales como escuchar radio, usar el horno o incluso encender una lamparita estamos contribuyendo a generar lo que conocemos como huella del carbono.

Este término busca reflejar el caudal de CO₂ emitido a la atmósfera a causa de una actividad o grupo de actividades, incluso un individuo puede calcular su huella de carbono, describiendo las actividades que realiza a diario. Es en este momento donde entran en juego numerosas cuestiones relacionadas con el estilo de vida, no es lo mismo un país desarrollado, con un elevado nivel de consumo y derroche constante, que un país menos desarrollado donde, por ejemplo, los ciudadanos cocinan sus propios alimentos, sin tener que ser transportados, precocidos y/o recalentados y utilizan materias primas locales, incluso pequeñas huertas particulares, gallineros u otros similares de donde obtienen alimentos. Lógicamente aquellos individuos que aún viven en formas aisladas, como puede ser el caso de algunas comunidades nativas, quienes por elección subsisten en base a la caza, la pesca, el cultivo y la recolección tienen grados de emisiones de CO₂ y generación de residuos insignificantes en comparación a quienes habitan una urbe.

Esa cantidad de CO₂ emitida a la atmósfera, medida en tCO₂ será la unidad empleada en este proyecto para determinar uno de los factores relacionados a las implicancias ambientales.

Sin embargo es necesario explicar que cuando se trata de producción energética, los países más desarrollados consumen más energía y en el pasado fueron los directos responsables de la sobrecarga de CO₂. No obstante, se encuentran más avanzados tecnológicamente y, en muchos casos, con un mayor nivel de concientización a la hora de aprovechar las energías renovables. Es difícil cuantificar qué tiene mayor influencia y excede los objetivos de este trabajo, pero igualmente se cree firmemente en el aprovechamiento de este tipo de energías que nos brinda la

tierra en forma ilimitada, fundamentales para la continuidad del desarrollo en sociedad de manera sostenible. Cabe aclarar que consideramos a los recursos renovables como ilimitados sin hacer referencia a tiempos geológicos, es decir sin considerar factores como puede ser la disminución de la energía emitida por el Sol.

La importancia de cuantificar el concepto de huella de carbono es que funciona como una herramienta para evitar entrar en lo que se llama un sobregiro ecológico. Situación que se da cuando se están utilizando recursos en un grado superior al cual la tierra es capaz de regenerar. Este sobregiro lleva a un agotamiento del capital natural que sostiene la vida sobre la Tierra, y a una acumulación de desechos. A nivel global, el déficit ecológico y el sobregiro son lo mismo, ya que no existe una importación neta de recursos al planeta. El sobregiro local ocurre cuando un ecosistema local es explotado más rápidamente de lo que puede regenerarse.

II.4. Descripción ambiental de la zona en estudio

Antes de comenzar este trabajo se conocieron las características de la zona sabiendo que era necesario realizar estudios en el sector. Podemos notar en la Figura 11 como el sudeste de la provincia de Buenos Aires presenta rangos de velocidad media del viento que hacen factible la instalación de aerogeneradores.

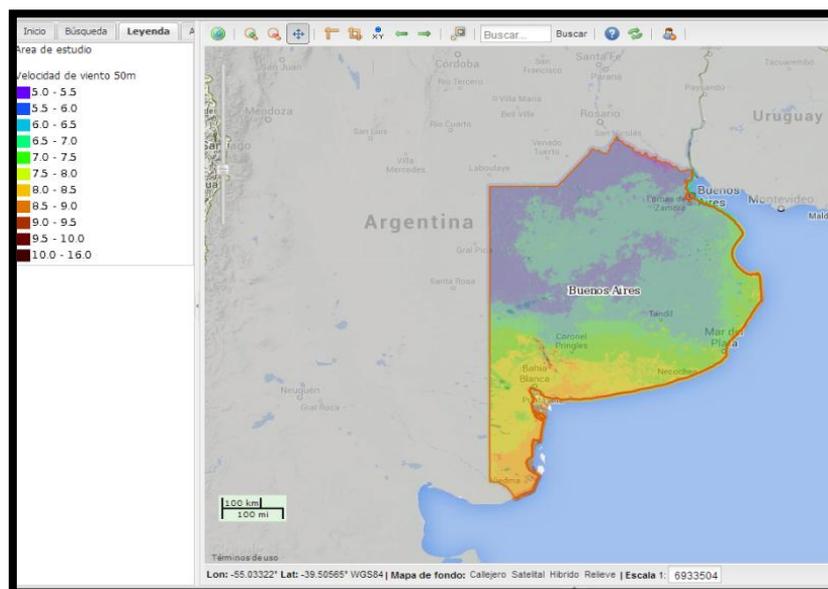


Figura 11. Mapa de vientos de la provincia de Buenos Aires. (MEEBA, 2014)

II.4.1. Características del predio a estudiar

a) Ubicación

El predio bajo estudio se encuentra al pie de la localidad de Sierra de los Padres, sección rural denominada establecimiento “La Peregrina”, a unos 2000 metros al norte del centro poblado marplatense, en las coordenadas 37°55'33.17" latitud Sur; 57°47'14.39" longitud Oeste, provincia de Buenos Aires, Argentina.

El lote 77 mide 102,14m en su frente sudoeste por 187,50m de fondo, es decir que posee una superficie total de 19151,25m². Se encuentra en la denominación catastral circunscripción 3, parcela 204-A partida número 116049, que corresponde a un área rural según el código de ordenamiento territorial del partido de General Pueyrredón.

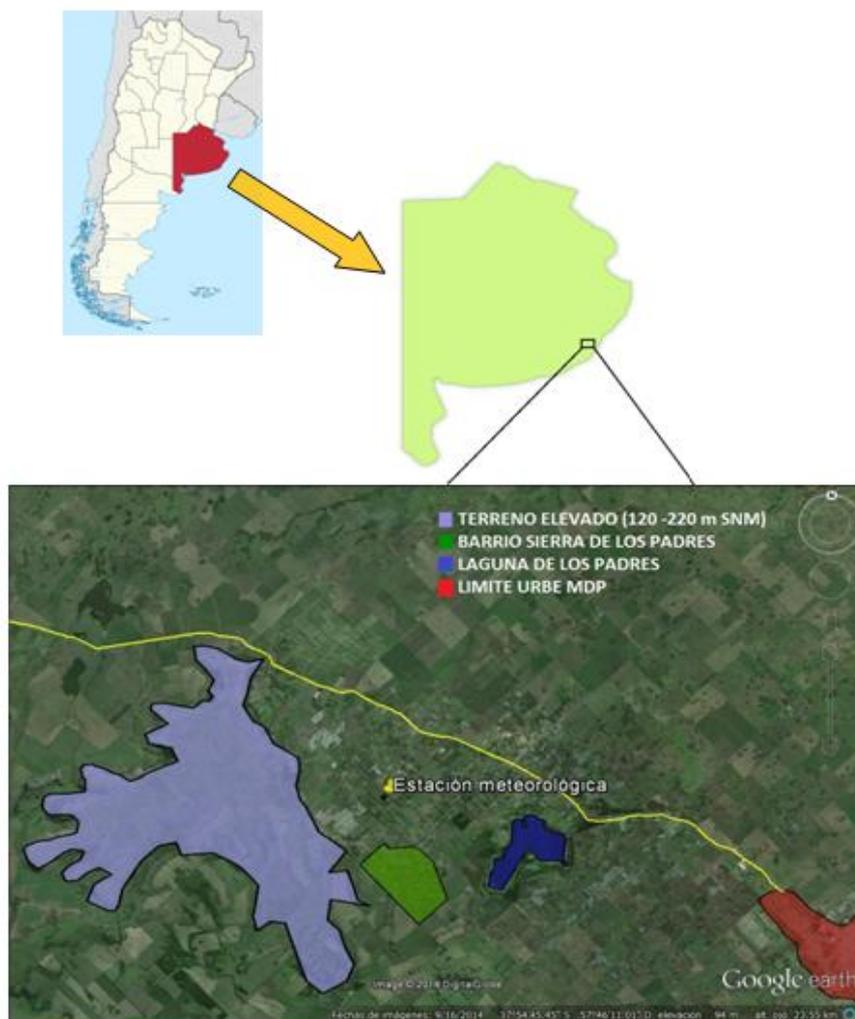


Figura 12. Zona de estudio. Elaboración propia utilizando Google Earth®.

b) Recurso eólico

Para una evaluación en una primera instancia se obtuvieron los valores de velocidad, frecuencia y dirección de viento del Servicio Meteorológico Nacional (Tabla 5) y del SIGE (Tabla 6). A partir de éstos es que se concluyó que existe una potencialidad para el aprovechamiento del recurso.

Tabla 4 Fuente: Servicio Meteorológico Nacional 1981 -1990

Dirección	Frecuencia (%)	Velocidad Media (km/h)
Norte	18,0	19
Noreste	7,6	20
Este	12,0	21
Sudeste	4,1	20
Sur	12,9	19
Sudoeste	5,9	18
Oeste	17,0	18
Noroeste	11,4	20
Calmas	11,1	--

Los valores del SIGE, a diferencia del Servicio Meteorológico Nacional que extrae los valores de la estación presente en el aeropuerto MDQ, son extrapolados a partir de información de distintos lugares y fuentes mediante una metodología específica para disponer una grilla (tipo ráster) en la cual cada unidad posee sus propios datos calculados.

Tabla 5. Valores del SIG eólico para las coordenadas de la Estación meteorológica. (SIG EOLICO, 2006).



Datos de Ubicación seleccionada

Latitud : -37° 55' 33"
 Y = 5742618
 Weibull A: 6.05

Longitud : -57° 47' 14"
 X = 1486977
 Weibull k: 1.95

ASNM: 85 m
 Vel. Media: 5.38

Densidad de Pot: 190.14
 Densidad del Aire: 1.216 Kg/m³

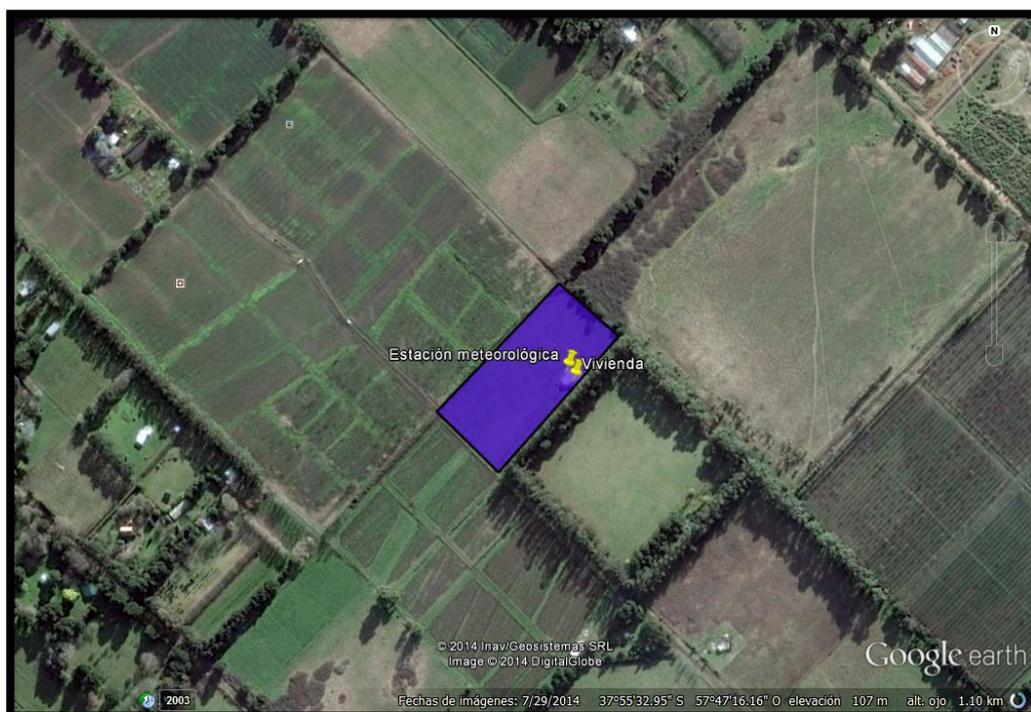
Temp Media: 14.3 °C

Altura Medición: 10m
 Marca y Modelo:

#	SECTORES	Ángulo (°)	Clima de Viento				Potencia	
			Freq (%)	W.A (m/s)	Weibull-k	Vel. Media (m/s)	Den Potenc (W/m2)	Energía
1	0	17.1	6.44	1.93	5.71	224.39		
2	30	13	6.28	1.92	5.57	209.31		
3	60	0	0.00	0.00	0.00	0.00		
4	90	0	0.00	0.00	0.00	0.00		
5	120	8.1	5.81	1.94	5.15	163.81		
6	150	3.7	5.89	1.94	5.22	170.67		
7	180	14.6	6.36	1.93	5.64	216.13		
8	210	17.7	6.05	1.95	5.36	183.90		
9	240	0	0.00	0.00	0.00	0.00		
10	270	10.9	5.81	1.95	5.15	162.87		
11	300	14	5.89	2.00	5.22	165.11		
12	330	0	0.00	0.00	0.00	0.00		
Todos			6.05	1.95	5.38	190.14		

c) Uso del suelo y servicios

La propiedad donde se realizaron las mediciones posee un uso residencial. Todos los predios linderos, excepto el que se ubica al norte, practican actividades agrícolas diversas y existen proyectos de emprendimientos turísticos. Estos cuentan con agua de pozo y no poseen conexión al servicio de gas. El servicio eléctrico de red llega a algunos de los establecimientos siendo el predio en estudio uno de los que tienen provisión de la empresa EDEA.



**Figura 13. Terreno del establecimiento a estudiar donde se aprecian los usos aledaños.
Elaboración propia utilizando Google Earth®**

d) Geomorfología, suelo e interferencias

El suelo se encuentra cubierto con reygrass, cebadilla y trébol entre otros. El terreno se encuentra en una cuesta suave, originada como muchas otras en la cercanía, por la deposición de sedimento en el basamento rocoso correspondiente a la cadena de Tandilia.

Esta descripción del suelo corresponde a un coeficiente de rugosidad determinado, el cual permite calcular y estimar velocidades de viento a distintas alturas.

Existen interferencias que pueden generar cambios en la velocidad o tipo de flujo del viento, las mismas serán estudiadas en detalle para conocer la turbulencia¹³ generada, a grandes rasgos las más significativas son:

- ✓ En dirección S línea de eucaliptus, a una distancia de 25 m.
- ✓ En dirección NO dos ejemplares de Pinos, a una distancia de 60 m.
- ✓ En dirección NNE cinco ejemplares de Pinos, a una distancia de 75 m.
- ✓ En dirección O una cortina forestal a unos 350 m.



Figura 14. En dirección S línea de eucaliptus, a una distancia de 25 metros.

¹³ Las turbulencias disminuyen la posibilidad de utilizar la energía del viento de forma efectiva en un aerogenerador. También provocan mayores roturas y desgastes en la turbina eólica

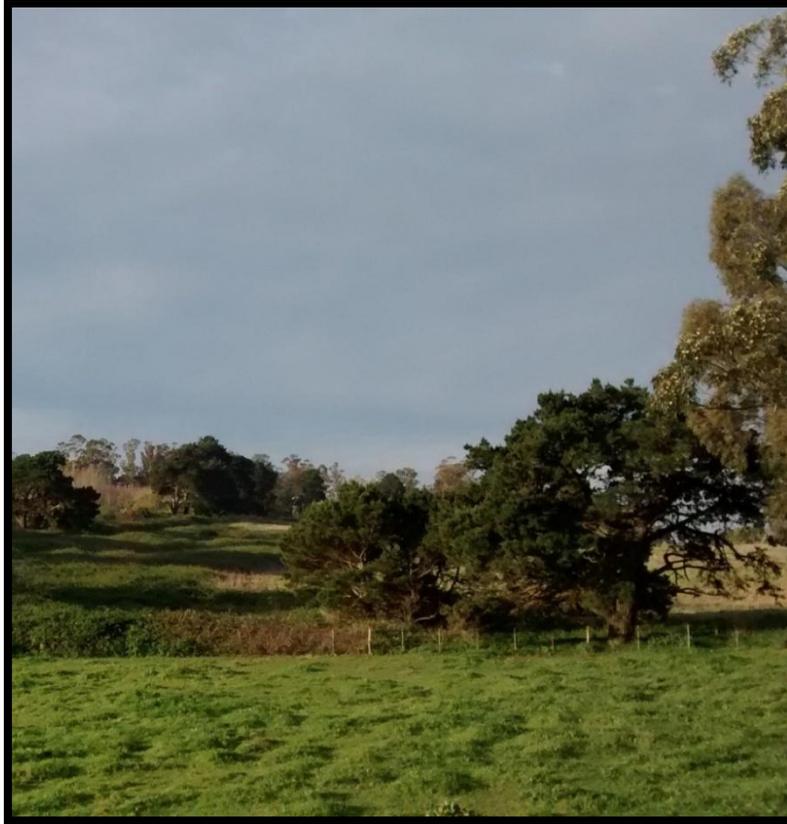


Figura 15. En dirección NO dos ejemplares de Pinos, a una distancia de 60 metros.



Figura 16. En dirección NE cinco ejemplares de Pinos, a una distancia de 75 metros.

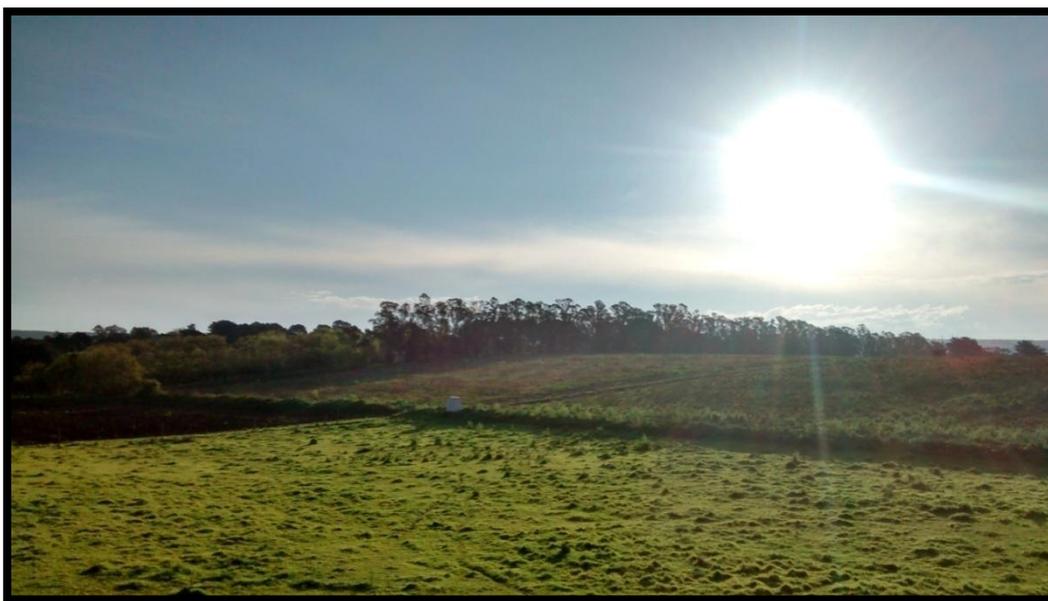


Figura 17. En dirección O una cortina forestal a unos 350 metros.

e) Fauna

Se pueden encontrar animales como cotorras, liebres, lechuzas, caranchos, chimangos, entre otras aves, que anidan y se alimentan en el predio. En el establecimiento se cuidan caballos que se esparcen por una zona delimitada por un cerco eléctrico alimentándose dentro del mismo. Es raro el paso de algún otro animal terrestre de gran porte por el predio, ya que el mismo está rodeado por establecimientos agrícolas en actividad y posee un cerco perimetral.

f) Servicio eléctrico

Desde Julio del 2013 la vivienda cuenta con energía eléctrica de red. La empresa prestadora de servicio eléctrico EDEA realizó 600 metros de extensión de la red necesaria para realizar la conexión. Luego fue necesario extender la línea 170 metros hasta donde se encuentra la vivienda.

g) Vivienda en estudio

La construcción lleva el nombre de “La Matera”, tomado del tradicional concepto de ese tipo de espacios de la Pampa argentina como lugar de encuentro de la gente de campo. El proyecto en cuestión se articula a partir de un espacio que incluye el indispensable fogón/parrilla, al que se agregan sanitario, un depósito y una terraza semi-cubierta. Forma parte de una totalidad que comprenderá una vivienda y anexos.

La premisa de la estructura es el diseño sostenible, tratando de respetar el lugar (zona rural), integrándose al mismo, cuidando el suelo y el agua. Es voluntad de sus propietarios recurrir a energías alternativas para cubrir las necesidades de habitabilidad.

Desde este enfoque, se priorizaron las características del predio para ubicarla vivienda de manera que quedara orientada para aprovechar la radiación solar y, a su vez, proteger las construcciones de los vientos desfavorables de la zona con una vecina barrera de añosos eucaliptos.



Figura 18. Cara NE de "La Matera".

La energía necesaria para habitabilidad y confort provendría de fuentes eólicas, solar y -en menor proporción- por combustión de madera y desechos vegetales. El agua caliente se obtiene de un termotanque solar.

Para los efluentes cloacales se optó por un sistema que no contaminara el suelo y que, a la vez, fuese una solución simple: se trata de un equipo de tratamiento con cámara aeróbica y anaeróbica que solo evacúa agua tratada para riego.

La Matera consta de una planta muy simple, en forma de T, con la mayor superficie cerrada de forma rectangular y pocas aberturas orientadas al sur; la fachada noroeste se abre para recibir el sol y en su parte media se expande con una terraza

semi-cubierta a la que se accede a través de una rampa y una escalera desde el terreno natural. El amplio espacio interior incluye un rincón de fuegos, con el mencionado un fogón-parrilla y una cocina económica a leña.



Figura 19.Cara Sudeste de “La Matera”.

Esto, sumado a las ventajas constructivas, hace pensar que la vivienda y anexos, podrán obtener excelentes resultados tanto en el aspecto costos/beneficios, como en el rendimiento energético y de habitabilidad.

La Matera tiene entre sus características principales ser un proyecto concebido y materializado íntegramente por profesionales, empresas y proveedores de Mar del Plata. (Diaz Cano, 2013)

CAPITULO III

III.1 Metodología de muestreo

La determinación del potencial eólico de un sitio para la generación de energía eléctrica mediante aerogeneradores, el cálculo de la energía anual producida (EAP) y el costo de la energía generada, son muy sensibles al valor de la velocidad del viento medida. Esto hace necesario adoptar una buena práctica en la selección del anemómetro, en su calibración y el montaje en campo, para reducir las incertezas y sus consecuencias. (Mattio, 2009)

Considerando que, cómo se detalló anteriormente, el cálculo del potencial eólico depende del cubo de la velocidad del viento (v^3), la introducción de desviaciones del valor real en los datos registrados se magnifica. En el planeamiento de parques eólicos o granjas de producción estas desviaciones pueden significar la viabilidad o no del proyecto, ya que podrían derivar en el descenso de la producción y así incurrir en un período de repago muy largo o una tasa de devolución más pequeña.

En el caso de la microgeneración, estas desviaciones, si bien introducirán un error en el cálculo del potencial eólico real, las consecuencias son menores ya que se consideran valores de escala doméstica o de baja producción. Se podría traducir en un servicio de menor calidad al proyectado, lo cual puede solucionarse si se encuentra conectado a la red eléctrica o posee algún otro tipo de generador eléctrico como por ejemplo un sistema solar fotovoltaico o un grupo electrógeno.

III.1.1. Equipamiento

Se utilizó una estación meteorológica marca Sinometer modelo WS1080 (Figura 20). La cual posee un anemómetro de copas, veleta, pluviómetro, sensor de temperatura y presión.



Figura 20. Estación meteorológica y display.

III.1.2. Ubicación de la estación

La estación meteorológica fue ubicada en las siguientes coordenadas: 37°55'33.17" latitud Sur; 57°47'14.39" longitud Oeste, correspondientes a la denominación catastral circunscripción 3, parcela 204-A partida número 116049 (Figura 21). Predio ubicado en la localidad de Sierra de los Padres del Partido de General Pueyrredón, Provincia de Buenos Aires, Argentina, considerada como una zona rural con un nivel del suelo de 108 msnm.



Figura 21. Terreno a ser estudiado. Elaboración propia utilizando Google Earth®

El anemómetro se instaló a 6 metros sobre el nivel del suelo, en el vértice NNO del techo de la construcción existente el cual fue considerado como el más propicio para la toma de datos, buscando evitarse efectos que perjudiquen las mediciones. Se fijó la misma a plomo y con 3 tensores para evitar vibraciones, las cuales insertarían desviaciones en los datos obtenidos (Figura 22).

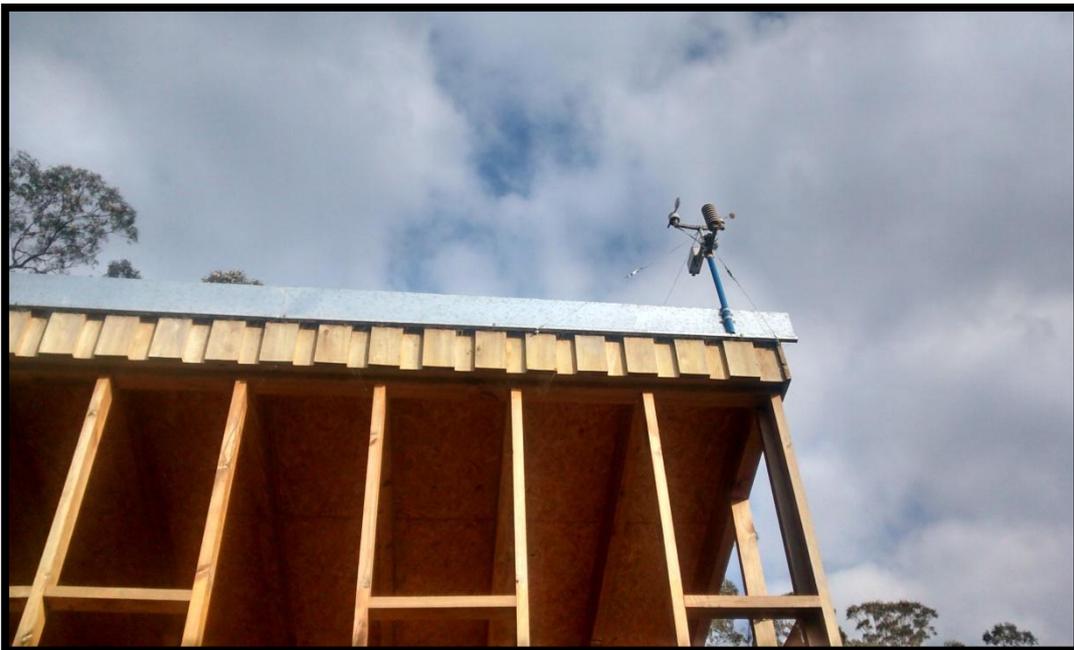


Figura 22. Instalación Estación meteorológica.



Figura 23. Vivienda con estación meteorológica.

III.1.3. Parámetros registrados

- ✓ Velocidad de viento (Promedio cada 10 minutos, en m/s).
- ✓ Dirección de viento (Promedio cada 10 minutos, indicando una de las 16 direcciones: N,NNE,NE,NEE,E,SEE,SE,SSE,S,SSW,SW,SWW,W,NWW,NW,NNW)

También fueron registrados los siguientes parámetros, los cuales no han sido utilizados en esta etapa del proyecto, pero serán de gran aporte para evaluar la autosuficiencia del establecimiento.

- ✓ Humedad relativa (instantánea, en porcentaje).
- ✓ Presión atmosférica (instantánea, en hPa).
- ✓ Temperatura interior y exterior (instantánea, en °C).
- ✓ Precipitación (total en 10 minutos, en mm).

III.1.4. Frecuencia de muestreo

La frecuencia de toma de muestra de datos fue elegida para ser incorporada en la metodología de cálculo del potencial eólico. Se obtuvo un dato cada 10 minutos de cada parámetro. Los registros fueron almacenados por una central inalámbrica ubicada en el interior de la casa a unos 10 metros de distancia de la estación meteorológica. Los mismos son transmitidos por ondas radiales emitidas por un transmisor conectado

a los dispositivos de medición. Las mediciones fueron tomadas en el período comprendido entre el 13 de febrero de 2014 y el 30 de septiembre del mismo año.

III.1.5. Relevamiento

Se utilizó el software Easyweather®, como sistema de monitoreo para leer, desplegar y recopilar data meteorológica proveniente de los sensores de la estación.

La memoria del equipo es capaz de almacenar 4080 datos, por lo que se concurrió al lugar a fin de realizar el backup de los valores obtenidos cada 15 días por un período de 8 meses. Conjuntamente se efectúa la verificación del estado de mantenimiento de la estación y se realiza un chequeo de los datos en cada visita, buscando aquellos que alerten de alguna dificultad o suceso que pueda introducir desviaciones en el procesamiento posterior.

A fin de efectuar los cálculos pertinentes al estudio realizado, los datos de velocidad del viento fueron agrupados en intervalos: de 0 a 1 m/s, 1 a 2 m/s, 2 a 3 m/s, etc., según la metodología Method of bins (Akins, 1978). Luego son representados en un gráfico que expresa la cantidad de horas en las que el viento sopló dentro de cada intervalo, obteniendo así la Distribución de Velocidades del Viento.

Se procede luego a construirla rosa de vientos correspondiente con el objetivo de analizar los datos obtenidos y sacar conclusiones en cuanto a la factibilidad y las interferencias. Se utiliza el software WRPLOT® de Lakes Environmental©, previamente ajustando los datos para traducirlos al formato SAMSON (.sam) y poder ser procesados por el software.

III.2. Metodología de extrapolación de datos

Debido a las interferencias, el sitio donde se instala el anemómetro no es considerado el sector más propicio para la ubicación de un aerogenerador. Es importante aclarar que, aun conociendo estas desventajas, se procede a registrar los datos de esta manera debido a que no se cuenta con una torre en donde ubicar la estación meteorológica por el momento. Es así que el extremo noroeste del techo de

la casa es supuesto como el mejor lugar para la toma de datos teniendo en cuenta los recursos (sobre todo económicos) disponibles.

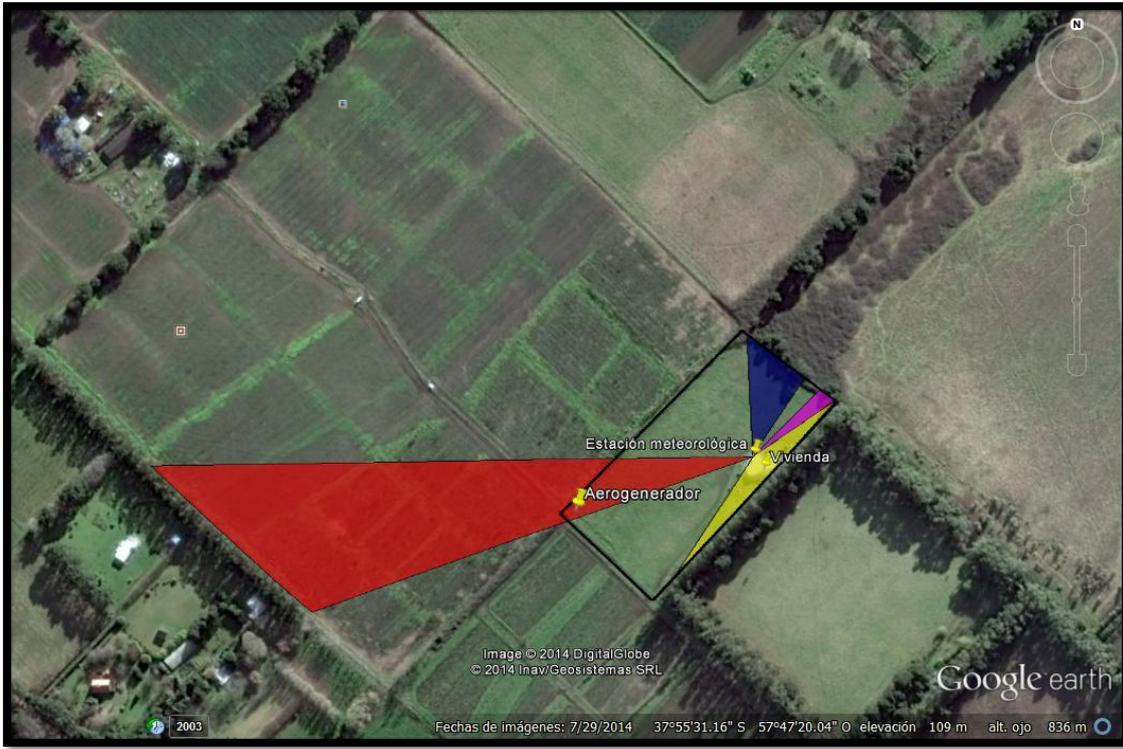


Figura 24. Cinturón de interferencias. Elaboración propia utilizando Google Earth®

III.2.1. Elección del punto de extrapolación de datos

Una vez concluida la recolección de muestras, se procede a la extrapolación de las mismas. En primer lugar se observa la superficie disponible dentro del terreno y se analiza cómo se disminuirían las interferencias trasladando el sitio de estudio.

Es así que se comienza alejándose de la cortina de eucaliptus presente en dirección SEE de la vivienda, buscando reducir el ángulo provocado por dicha interrupción (la cuál es la más significativa), representada en la Figura 24 con color amarillo. En segundo lugar, se busca seguir con la disminución del ángulo provocado por la cortina de eucaliptus y, al mismo tiempo, evitar las interferencias en direcciones NNE (azul) y NEE (rosa), las cuales son menos influyentes en la modificación de los parámetros de velocidad del viento.

Se concluye que el sector más propicio para la extrapolación de datos es el sitio ubicado en el vértice SOO del terreno. Teniendo en cuenta la necesidad de instalar

tensores para la instalación de una torre, se aleja el sitio del límite con los terrenos lindantes una distancia de 6 metros (Figura 25).



Figura 25. Posición a extrapolar. El marcador “Aerogenerador” indica el sitio donde se extrapolarán los datos. Elaboración propia utilizando Google Earth®

Cabe aclarar que debido a la metodología de extrapolación utilizada, los vientos calmos, o sea aquellos que tengan valores igual 0 m/s no sufrirán variación alguna.

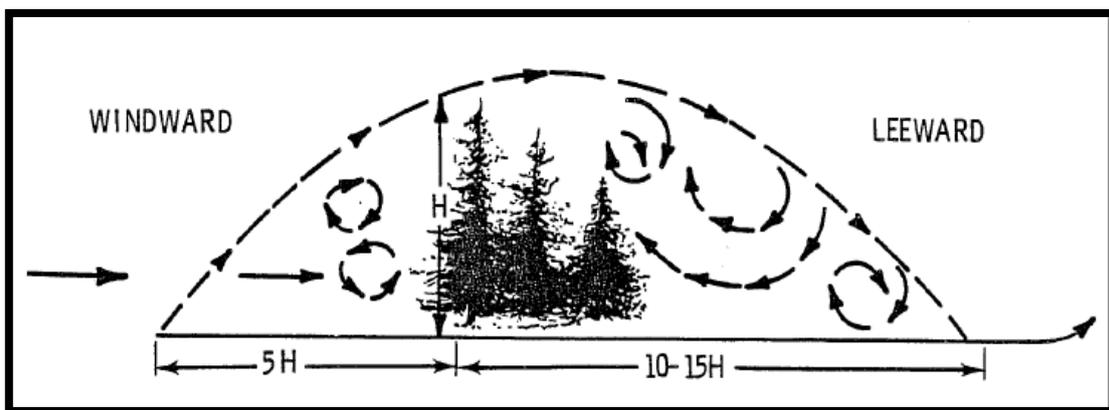


Figura 26. Turbulencia ocasionada por una interferencia. (Wegley, 1980).

La extrapolación al sitio final consta de 3 pasos:

- Primero se modificarán los valores de forma de eliminar las interrupciones mostradas en la Figura 24 ocasionadas por la presencia forestal, es decir, se supone un terreno plano sin interferencias. En este paso los valores de velocidad del viento aumentan o se mantienen iguales, dependiendo su dirección.
- En segundo lugar, se trabajan los datos para obtener resultados representativos que coincidan con el sitio en donde se prevé la instalación del aerogenerador dentro de los límites del terreno. Son tenidas en cuenta las interferencias mostradas en la Figura 27. En este paso los datos sufren una disminución o se mantienen estables según corresponda.

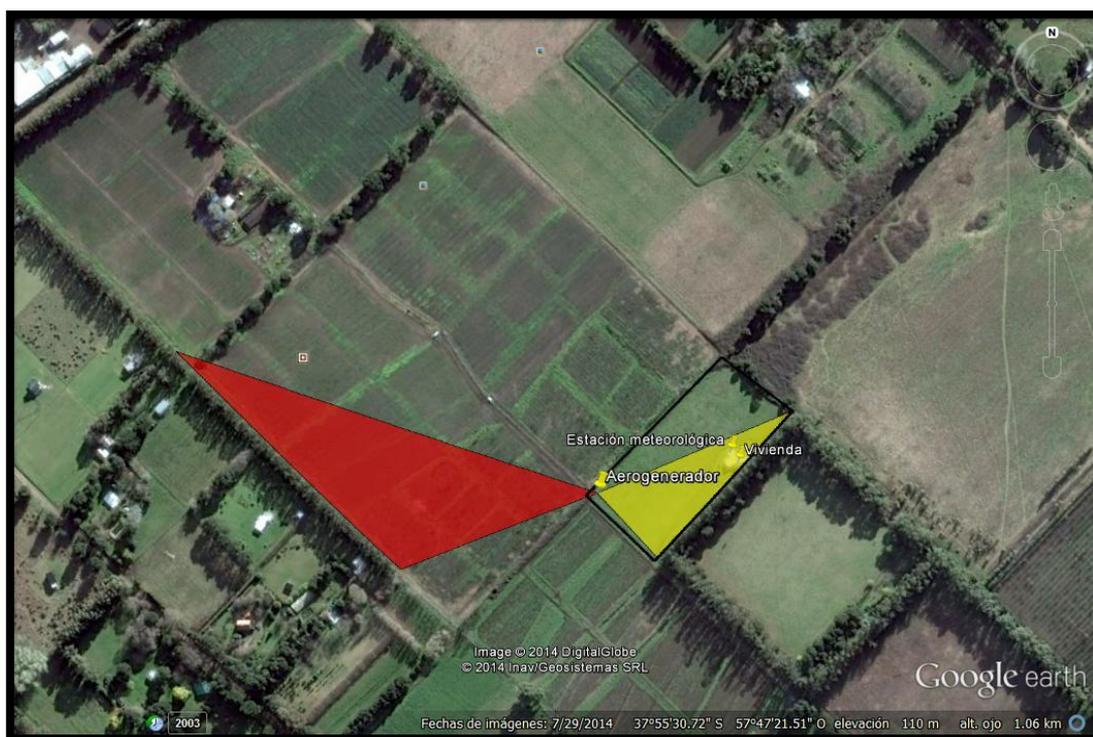


Figura 27. Cinturón de turbulencia en sitio a extrapolar. Elaboración propia utilizando Google Earth®.

- Por último, ya que se venía trabajando a la altura en cual fueron medidos los datos, se realiza una extrapolación de los datos a igual nivel al que se encuentra el eje de los aerogeneradores a estudiar. En este caso todos los

valores de la velocidad del viento van a sufrir un aumento variable, dependiendo de la rugosidad del suelo (Figura 28), ya que la altura de torre es de 10 metros, mientras que el sensor estaba ubicado a 6 metros sobre el nivel del suelo.

La Rugosidad del suelo varía según la ecuación $v = v_{ref} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) / \ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)$, siendo v la velocidad del viento a una altura z sobre el nivel del suelo, v_{ref} la velocidad de referencia, es decir, una velocidad de viento ya conocida a una altura z_{ref} , z es la altura sobre el nivel del suelo para la velocidad deseada y z_0 la longitud de rugosidad en la dirección de viento actual. El valor de z_0 depende del tipo de terreno circundante al aerogenerador. De esta manera se procedió a establecer los valores de rugosidad del sitio.

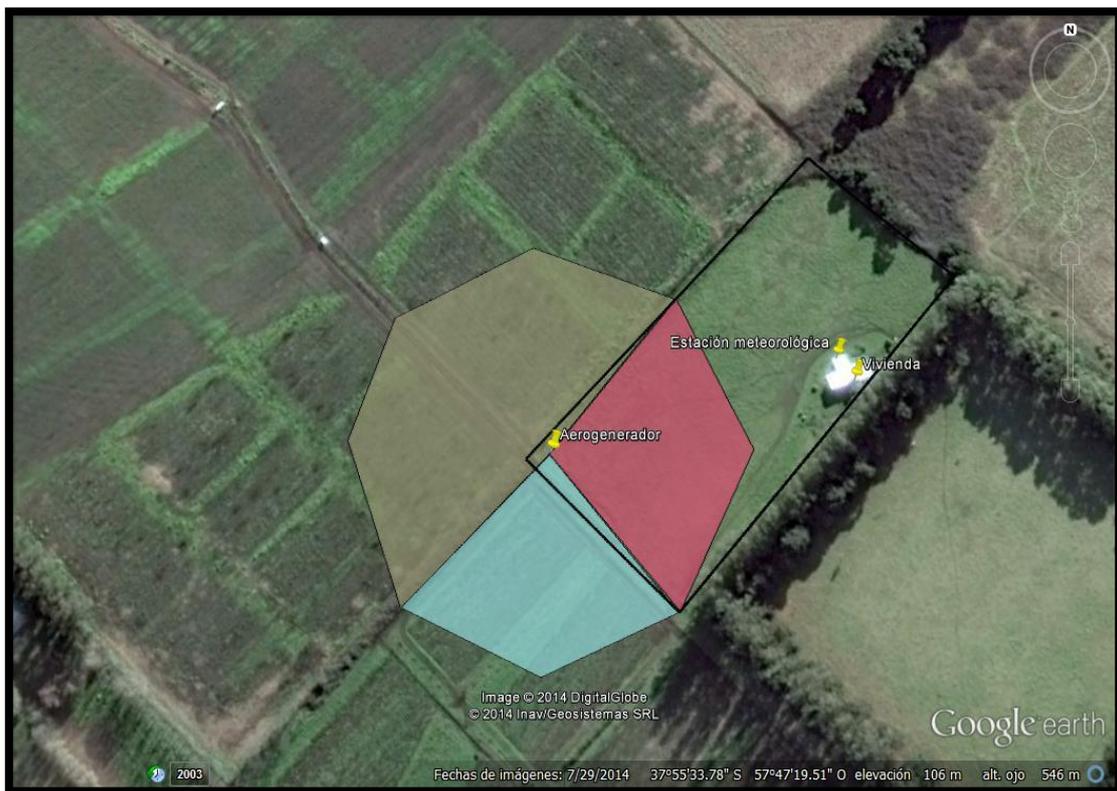


Figura 28. Cinturón de rugosidades en sitio a extrapolar. Elaboración propia utilizando Google Earth®.

Para el primer y segundo paso se utiliza la siguiente información:

Tabla 6. Datos utilizados para extrapolación de interferencias. (Wegley, 1980).

Porosity ^(a) (Open Area ÷ Total Area)	Downwind Distances (In Terms of Shelterbelt Heights)								
	5H			10H			20H		
	Percent Speed Decrease	Percent Power Decrease	Percent Turbulence Increase	Percent Speed Decrease	Percent Power Decrease	Percent Turbulence Increase	Percent Speed Decrease	Percent Power Decrease	Percent Turbulence Increase
0% (no space between trees)	40	78	18	15	39	18	3	9	15
20% (with loose foliage such as pine or broadleaf trees)	80	99	9	40	78	—	12	32	—
40% (with dense foliage such as Colorado Spruce)	70	97	34	55	90	—	20	49	—
Top of Turbulent Zone ^(b) (in terms of shelterbelt height)	2.5			3.0			3.5		

(a) Determine the porosity category of the shelterbelt by estimating the percentage of open area and by associating the foliage with the sample tree type.
 (b) Though the top of the turbulent zone continues to grow in height downwind, the intensity of the turbulence decreases.

Se construye una planilla en Excel® en la cual se multiplica cada valor de velocidad del viento que se vio afectada por una interferencia, por un coeficiente, dependiendo de la dirección de la cual proviene, como se ve en la Tabla7 se tiene en cuenta la densidad de la vegetación y la distancia (*H*) al anemómetro.

Tabla de extrapolación utilizada en el primer paso:

Tabla 7. Detalle Tabla de extrapolación

Situación	Coeficiente	Direcciones afectadas
<i>H</i>	Porosidad (%)	
20	20	247,5° ; 270°
10	20	0° ; 22,5° ; 45°
5	20	$\sqrt{v} \times 4$ 67,5° ; 90° ; 112,5° ; 135° ; 157,5° ; 180° ; 202,5°

Para el segundo paso, en el cual se consideran las interferencias en el nuevo lugar de emplazamiento, se construyó la siguiente Tabla de extrapolación:

Tabla 8. Detalle Tabla de extrapolación

Situación	Coeficiente	Direcciones afectadas
<i>H</i>	Porosidad (%)	
5	20	112,5° ; 135°
5 – 10	20	90°
10	20	247,5°
10 - 20	20	270°

Al realizar el tercer paso se utiliza la siguiente información para establecer los valores de rugosidad del suelo:

Tabla 9. Tabla de extrapolación de rugosidad utilizando como base los 30ft (6 metros) de altura. (Wegley, 1980).

Roughness Characteristic	Height Above Ground, ft									
	20	40	60	80	100	120	140	160 ^(b)	180 ^(b)	200 ^(b)
Smooth surface ocean, sand	0.96	1.03	1.07	1.10	1.12	1.14	1.16	1.17	1.18	1.19
Low grass or fallow ground	0.93	1.05	1.12	1.17	1.21	1.24	1.27	1.29	1.31	1.33
High grass or low row crops	0.92	1.06	1.14	1.20	1.25	1.28	1.32	1.34	1.37	1.39
Tall row crops or low woods	0.91	1.06	1.15	1.21	1.26	1.30	1.33	1.36	1.39	1.41
High woods with many trees	0.86	1.10	1.24	1.34	1.41	1.48	1.53	1.58	1.62	1.65
Suburbs, small towns	0.78	1.16	1.38	1.54	1.67	1.77	1.85	1.93	1.99	2.05

(a) The table was developed using logarithmic wind profiles.
 (b) These three columns should be used with caution because extrapolation to levels more than 100 ft above or below the base height may not be completely reliable.

La siguiente Tabla, utilizada en el tercer paso, resume los cálculos a efectuar para lograr la extrapolación por diferencia de altura:

Tabla 10. Tabla de extrapolación por altura.

Situación		Coefficiente de corrección	Direcciones afectadas
Altura	Rugosidad		
20	2	1,0752	45° ; 67,5° ; 90° ; 112,5° ; 135°
20	3	1,0869	157,5° ; 180° ; 202,5° ; 225°
20	4	1,0989	247,5° ; 270° ; 292,5° ; 315° ; 337° ; 0° ; 22,5°

III.3. Metodología de cálculo potencial eólico y producción energética.

A la hora de procesar los datos obtenidos se tuvo en cuenta que el recurso eólico presenta una variabilidad que hace prácticamente imposible su predicción. Por este motivo, se debe evaluar la cantidad de flujo energético disponible en el lugar de la instalación durante un tiempo lo suficientemente prolongado como para realizar

cálculos acertados respecto a la inversión necesaria, los balances energéticos y ambientales.

En principio se calcula la velocidad media del viento para la distribución de los mismos, obtenida con los datos sin extrapolar. Luego se calcula con los datos extrapolados, de manera de registrarla diferencia obtenida, y los beneficios encontrados luego de la extrapolación.

$$\bar{v} = \frac{\sum x_i \cdot f_i}{n}$$

Donde \bar{v} es la velocidad media del viento, x_i es el valor de la velocidad a la mitad de cada intervalo, f_i es la frecuencia de cada intervalo de velocidad del viento, n es el número total de datos muestreados.

El potencial eólico y la Energía Anual Producida no pueden ser calculados utilizando sólo la media del viento en la zona de estudio y el número de horas año, dado que se estaría introduciendo un error significativo debido a que la potencia contenida en el viento es una función del cubo de la velocidad y cambios significativos de ésta no son representados por un valor medio, lo que conduce a grandes variaciones en el valor calculado. Por lo tanto se procede a utilizar el "Method of Bins".

III.3.1. Estimación de la potencia contenida en el viento

Para la confección de los cálculos a realizar se diagraman tablas ad-hoc. La distribución de las horas año (HA) se obtiene multiplicando la frecuencia relativa (n_i) de cada velocidad de viento por el número de horas que tiene un año.

$$HA = n_i \times 8760$$

Para el siguiente paso, se hace uso de la ecuación planteada cuando se trató la energía del viento:

$$P_w(W) = 0,613 A(m^2)v^3(m/s)$$

Se pasa el A del otro lado de la ecuación y dividen ambos miembros por 1000, de esta manera se obtiene la Densidad de potencia (DP) en kW/m²:

$$DP \left(\frac{kW}{m^2} \right) = 6,13 \times 10^{-4} v^3 (m/s)$$

Esta densidad de potencia, multiplicada por las *HA* en las que sopla el viento a cada velocidad, permite obtener la Densidad de energía Anual (*DEA*) atribuible a cada velocidad del viento y representarla en un diagrama de barras. La suma de todos esos valores dará como resultado la *DEA* para un año, expresada en kWh/m².año.

De esta potencia que lleva el viento, una turbina ideal aprovecharía solamente el $16/27=0.59$ (o el 59%), que es el denominado límite de Betz, valor que fue demostrado en el capítulo anterior. Las turbinas más eficientes aprovechan el 45% de la potencia disponible en el viento.

Si bien las proyecciones a futuro se suelen calcular con una aproximación a la función de distribución de probabilidad de Weibull, la presencia de interferencias puede desviar la estimación y el presente estudio conforma un documento de la capacidad de producción energética que existió durante el período de toma de datos.

III.3.2. Energía anual producida

Como ya se mencionó la producción de electricidad por una turbina eólica es una función de la velocidad del viento al cubo durante un intervalo de velocidades. Cada turbina eólica se caracteriza por su curva potencia-velocidad del viento. A partir de esta curva se puede determinar cuánta energía puede producir una turbina particular situada en cualquier lugar del que se conozca la distribución de velocidades del viento. También se representan la velocidad de arranque, la velocidad nominal¹⁴ y la velocidad de desconexión¹⁵.

En esta etapa se va a calcular la Energía anual producida (*EAP*) para cada rango de velocidad del viento, la misma se obtiene de la siguiente manera:

$$EAP_{x_i} = HA \times P \times 0.95$$

Donde:

HA: Horas anuales

¹⁴ Velocidad a la que el aerogenerador desarrolla su máxima potencia.

¹⁵ Velocidad a la que el aerogenerador frena su marcha por cuestiones de seguridad.

P : es el valor obtenido a partir de la curva de potencia del aerogenerador utilizado.

x : es el valor de la velocidad del viento.

Se multiplica por un coeficiente de disponibilidad igual a 0,95, el cual representa la cantidad de tiempo que el equipo va a estar disponible para generar energía, teniendo en cuenta tareas de mantenimiento, posibles desperfectos, etc.

La suma de todos los valores de EAP resultará en la cantidad total de energía producida por el aerogenerador en kWh/m².año, este número será utilizado para comparar qué equipo es conveniente instalar; como así también será utilizado para cálculos de balance energético, análisis económico e implicancias ambientales.

III.4. Metodología de cálculo balance energético

Con el objetivo de evaluar la disponibilidad energética de un establecimiento a lo largo del período considerado, se realiza una aproximación funcional de las curvas de potencia de los equipos seleccionados con el software Derive 6®, utilizando el método de mínimos cuadrados, por poseer éste un rango de error aceptable para el presente trabajo, siendo que estamos trabajando con valores pequeños de energía producida (no sería de igual modo con el cálculo de un parque eólico), todo esto a partir de las tablas de potencia que proporciona el INTI.

A continuación se diseña una tabla en Excel® con el viento registrado en cada intervalo de muestreo (10 minutos), el valor calculado a partir de las ecuaciones de aproximación para cada intervalo y el gasto de la vivienda en cada horario específico del día cada 10 minutos, calculando la diferencia obtenemos como resultado la energía que se almacena o se consume del banco de baterías propuesto (5400wh).

	A	B	C	D	E
1	Horas	VELOCIDAD VIENTO extrapolada	Energía [wh]	Gasto establecimiento [wh]	Acumulada
2	26/03/2014 02:33	0,0	0,0	16,7	5400
3	26/03/2014 02:43	0,0	0,0	16,7	5383,33334
4	26/03/2014 02:53	0,0	0,0	16,7	5366,66668
5	26/03/2014 03:03	0,0	0,0	16,7	5350,00002
6	26/03/2014 03:13	0,0	0,0	16,7	5333,33336
7	26/03/2014 03:23	0,0	0,0	16,7	5316,6667
8	26/03/2014 03:33	0,0	0,0	16,7	5300,00004
9	26/03/2014 03:43	0,0	0,0	16,7	5283,33338
10	26/03/2014 03:53	0,0	0,0	16,7	5266,66672
11	26/03/2014 04:03	0,0	0,0	16,7	5250,00006
12	26/03/2014 04:13	0,0	0,0	16,7	5233,3334
13	26/03/2014 04:23	0,0	0,0	16,7	5216,66674
14	26/03/2014 04:33	0,0	0,0	16,7	5200,00008
15	26/03/2014 04:43	0,0	0,0	16,7	5183,33342
16	26/03/2014 04:53	0,0	0,0	16,7	5166,66676
17	26/03/2014 05:03	0,0	0,0	16,7	5150,0001
18	26/03/2014 05:13	0,0	0,0	16,7	5133,33344
19	26/03/2014 05:23	0,0	0,0	16,7	5116,66678
20	26/03/2014 05:33	0,0	0,0	16,7	5100,00012
21	26/03/2014 05:43	0,0	0,0	16,7	5083,33346
22	26/03/2014 05:53	0,0	0,0	16,7	5066,6668

Figura 29. Cálculo del balance energético. Elaboración propia.

La energía generada se calcula a partir de las ecuaciones de aproximación obtenidas, siendo la variable independiente la velocidad del viento y multiplicando el resultado por 1/6 por ser cada tramo de 10 minutos como podemos observar en la Figura 29.

El gasto energético se evalúa dependiendo de la situación con respecto al acceso a la red, es así que se abordarán dos situaciones:

- La situación de la vivienda en estudio: se relevan y consideran los aparatos eléctricos, sus tiempos de uso y su potencia para establecer un consumo diario detallado fraccionándolo en espacios de 10 minutos. Totalizando 4,65kWh diarios.
- Una situación de vivienda o establecimiento sin acceso a la red eléctrica: generalmente se trata de pequeños productores o puestos de servicio con un consumo energético diferente, heterogéneo, totalizando 5,4kWh diarios.

De la diferencia obtenida entre la energía generada y el gasto, resulta la carga o desgaste del banco de baterías. Así se recorren los meses evaluados con el afán de observar los momentos en los que no hay energía utilizable y aquellos en los que se está desperdiciando energía a causa de estar el banco lleno. Ésta última podría ser compartida en una red Net Metering si existiera.

III.5. Metodología de análisis económico

El siguiente procedimiento será empleado para evaluar tanto la vivienda en estudio, como aquella que se encontrara sin acceso a la red eléctrica.

Debe aclararse que además del análisis económico directo, con la generación distribuida de origen renovable hay involucradas mejoras que facilitan el desarrollo de actividades humanas económicamente rentables.

III.5.1. Análisis primario

Para calcular el éxito económico de la instalación del aerogenerador según los resultados obtenidos en este trabajo se procede de la siguiente manera:

Se estima cual sería el costo de la energía generada por el equipo en toda su vida útil. Para ello se divide el gasto de comprar, instalar y mantener el aerogenerador por el total de kWh producidos en su vida útil, entregando un costo de la energía en \$/kWh. Cifra que luego será comparada con el precio abonado por los propietarios a la compañía prestadora del servicio de energía eléctrica.

COSTO DE LA ENERGÍA ENTREGADA POR EL SERVICIO	1,06	\$/kWh
----------------------------------------------------------	-------------	---------------

La misma se obtiene del resumen de cuenta de la vivienda, empleando el mes de mayor consumo.

En el caso de la vivienda sin acceso a la red eléctrica, se compara el precio del kWh del aerogenerador frente al precio del kWh de un grupo electrógeno estándar.

COSTO DE ENERGÍA ENTREGADA POR EL GRUPO ELECTROGENO	11,29	\$/kWh
----------------------------------------------------------------	--------------	---------------

La misma se obtiene de multiplicar el rendimiento de un equipo estándar (0,9lt/kWh) por el precio del combustible a Agosto de 2014 (\$12,54).

Si bien existen equipos o grupos electrógenos con mejor rendimiento que 0,9lt/kWh de energía eléctrica generada, utilizamos ese valor considerando los aditivos que se utilizan en estos equipos, las emisiones por su fabricación y mantenimiento (transporte de combustible).

De resultar ventajosa alguna de las alternativas evaluadas, se procederá a realizar un análisis más detallado al que se denomina análisis secundario.

III.5.2. Análisis secundario

Se considera el análisis secundario cuando, evidenciado el beneficio de una alternativa, ésta se convierte en una inversión. La inversión se refiere al empleo de un capital en algún tipo de actividad o negocio, con el objetivo de incrementarlo. Dicho de otra manera, consiste en renunciar a un consumo actual y cierto, a cambio de obtener unos beneficios futuros y distribuidos en el tiempo (Massé, 1963). Existen diferentes métodos para valorar el atractivo de un proyecto de inversión, entre los que se van a estudiar los siguientes para nuestro caso:

1. Valor Actual Neto (*VAN*)
2. Tasa Interna de Retorno (*TIR*)
3. Tiempo de Repago (*Payback*)

VAN de la inversión

El VAN mide el valor actual de los desembolsos y de los ingresos, actualizándolos al momento inicial y aplicando un tipo de descuento en función del riesgo que conlleva el proyecto. Si el VAN obtenido es positivo, el proyecto es interesante de realizar, por el contrario si el VAN es negativo se deberá descartar el proyecto.

TIR de la inversión

Este método consiste en calcular la tasa de descuento que hace 0 el VAN¹⁶.

¹⁶ Igualar el VAN a 0 se utiliza como herramienta para comparar las tasas de interés.

Un proyecto es interesante cuando su tasa TIR es superior al tipo de descuento exigido para proyectos con ése nivel de riesgo.

Payback

Mide el número de años en que se tarda en recuperar el importe invertido. Se trata de calcular en qué momento los ingresos percibidos cubren los gastos realizados.

III.6. Metodología estimación implicancias ambientales

A los términos del presente trabajo, se consideraron las implicancias ambientales como los beneficios y/o perjuicios sobre el medio, directos o indirectos, que acontecen a partir de la instalación del aerogenerador según los cálculos y observaciones realizadas.

Se tendrán en cuenta las siguientes acciones:

- Emisiones de gases de efecto invernadero generadas considerando el ACV del equipo y el factor de emisión de la red eléctrica en Argentina.
- Emisiones de gases de efecto invernadero evitadas considerando:
 - a. factor de emisión de la red eléctrica en Argentina.
 - b. factor de emisión de la nafta consumida en Argentina.
- Generación de ruidos en la etapa de operación.
- Presencia de la estructura en el área.

Al hablar de implicancias ambientales se hace referencia a todos aquellos elementos, procesos o sistemas que dejan o son capaces de dejar un pasivo en nuestro ambiente. Para esto es necesario plantear límites al estudio, como así también definir una unidad con la cual cuantificar aquellas implicancias, la cual será en tCO₂ emitidas al ambiente.

Se debe aclarar que en principio estaba pensado realizar una Evaluación de Impacto Ambiental del generador, regulada por la legislación provincial, ley 11.723 y su

Decreto Reglamentario 538/99, el cual reflejara los impactos en el flujo de actividades mediante una matriz. Luego, al avanzar en el proyecto, se llegó a la conclusión que la instalación de la estructura no estaría alcanzada por la ley citada ni por ordenanzas municipales y no posee una magnitud tal como para realizar un estudio de esa talla, es así que se decidió utilizar este término de implicancias ambientales.

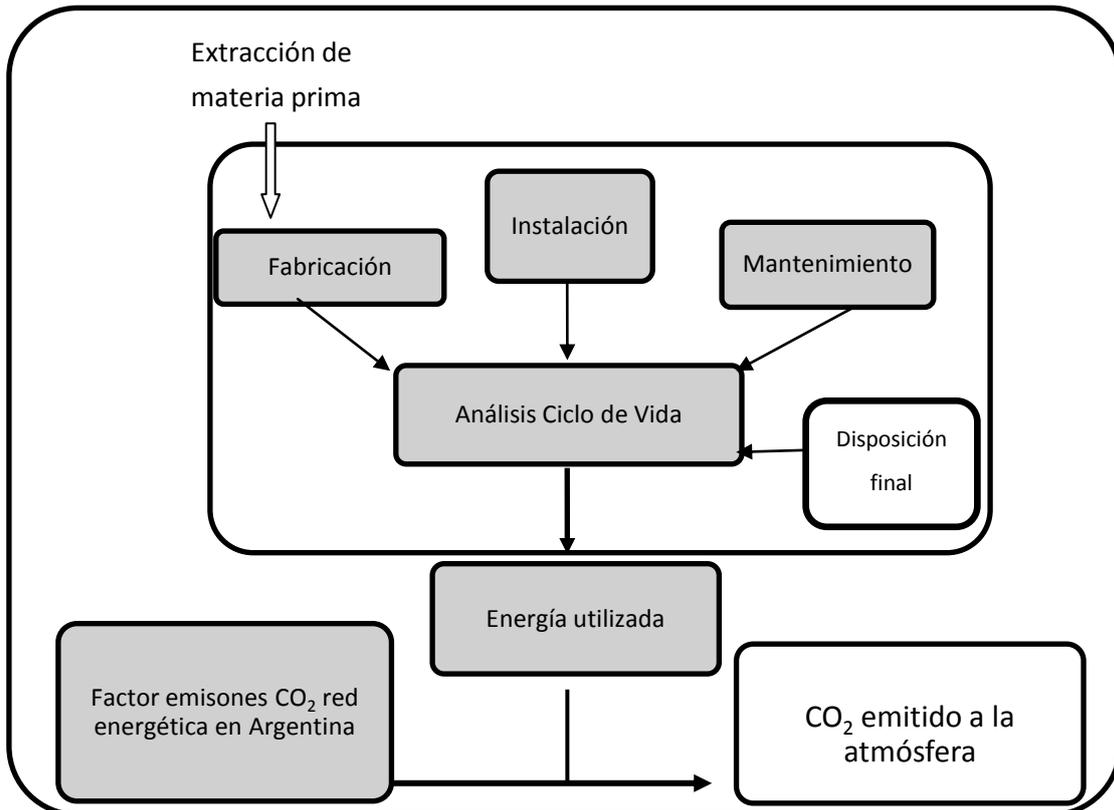


Figura 30. Límites en el estudio de las implicancias ambientales. Elaboración propia.

Se decidió tomar datos de un ACV realizado para uno de los aerogeneradores en estudio, el IVS-4500. Este estudio entrega como resultado la energía necesaria para la fabricación, instalación y mantenimiento del equipamiento necesario, la cual se representa en unidad de energía (MJ).

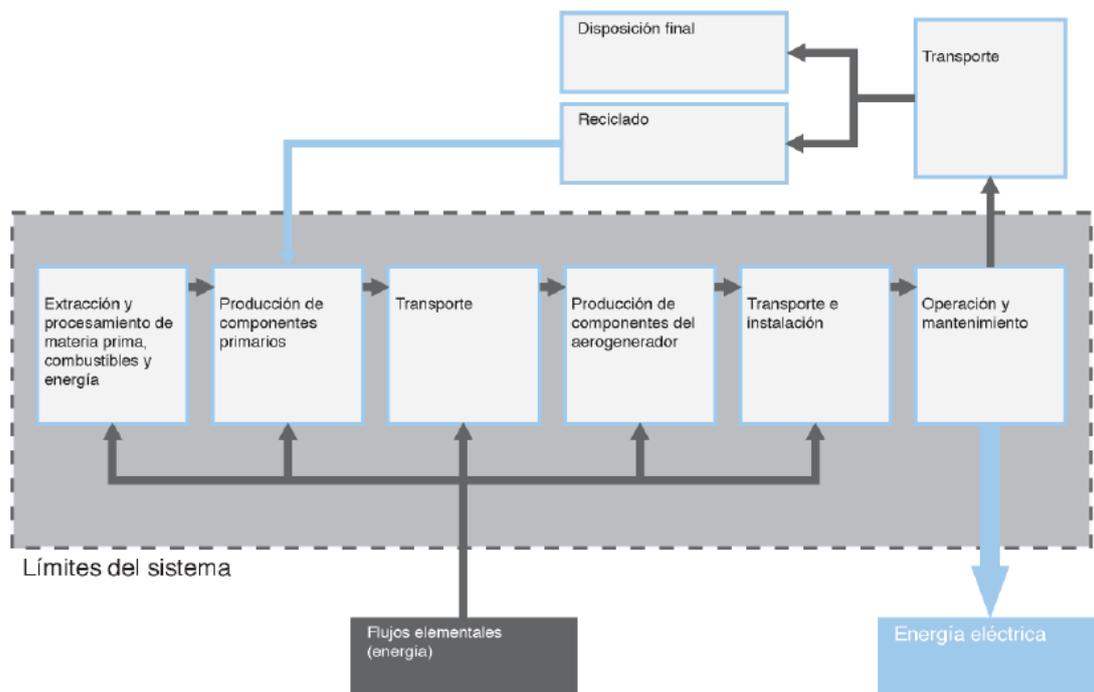


Figura 31. Alcance del ACV (Sagardoy, 2012).

Este ACV involucra únicamente un aspecto ambiental de la fabricación del aerogenerador, en este caso en particular, el aspecto energético. Entre los aspectos que se evalúan puede encontrarse la estimación de la energía consumida para la fabricación de los materiales que componen el equipo; la estimación de la energía consumida en el transporte de las partes hasta la fábrica ubicada en la ciudad de Neuquén; la estimación de la energía utilizada en el proceso de fabricación; y la estimación de la energía consumida en la instalación y mantenimiento del aerogenerador.

El balance de energía incluyendo la fase final del producto, es decir luego que el aerogenerador haya cumplido con su vida útil, es tratado en forma parcial. Esto se debe en parte a que aún no existen equipos que hayan llegado a esa instancia y, a su vez, INVAP SE¹⁷ no cuenta por el momento con un protocolo establecido para la desinstalación y desmantelamiento de los aerogeneradores que fabrica. (Sagardoy, 2012).

¹⁷ Investigaciones Aplicadas Sociedad del Estado.

Como sucede con el ACV utilizado, la disposición final del equipamiento no es considerado en este análisis ya que todos los elementos pueden ser reutilizados y/o reciclados. De todas formas, se está trabajando en metodologías de manejo de residuos, en tanto se prevé una gran cantidad de desechos proveniente de estos equipos en los próximos años para lo cual es fundamental estar preparados.

A partir del ACV se obtiene la energía total que se requiere a lo largo de la vida útil del sistema en estudio.

Fase del Ciclo de Vida	Energía	Unidad	Porcentaje
Fabricación	28.454,28	MJ	42,99
Instalación	4.472,66	MJ	6,76
Mantenimiento	33.261,87	MJ	50,25
Total	66.188,81	MJ	100

Figura 32. Energía por fase del ciclo de vida. (Sagardoy, 2012).

III.6.1. Emisiones evitadas por la Vivienda en estudio

La red eléctrica Argentina, según su matriz energética, posee un factor de emisión de de 0,532 tCO₂ (Informe de la Secretaría de Energía de la Nación, 2012). El mismo es resultado de la implementación de un procedimiento que entrega como resultado tCO₂ emitidas por MWh de energía entregada a la red.

Los cálculos de este factor se han realizado siguiendo la metodología ACM0002¹⁸. Para comparar las emisiones de gases de efecto invernadero provocadas por la utilización del aerogenerador y las de una vivienda con acceso a la red se utilizará este dato como punto de partida.

Factor de emisión red eléctrica Argentina	0,532	t CO₂/MWH
------------------------------------------------------	--------------	-----------------------------

Fuente: Secretaría de Energía de la Nación.

¹⁸ Metodología consolidada de línea base y monitoreo para generación y suministro de energía a una red a partir de fuentes renovables.

III.6.2. Emisiones evitadas por una Vivienda sin acceso a la red eléctrica

Debido a que la instalación del aerogenerador es comparada con la posibilidad de comprar y utilizar un equipo electrógeno abastecido por nafta, es necesario utilizar el factor de emisión del combustible para ser evaluado en tCO₂ emitidas.

Factor de emisión	2,37	KgCO₂ /lt.
--------------------------	-------------	------------------------------

Fuente: Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable (2008).

CAPITULO IV

IV.1 Resultados muestreo

Se obtuvieron 29522 registros en el período comprendido entre el 13 de Febrero de 2014 y el 29 de Septiembre de 2014. Debido a un problema con el datalogger, los datos anteriores al 26 de Marzo de 2014 se presentaban de forma intermitente y a intervalos no deseados, por lo cual se eligieron todos los registros a partir del 26 de Marzo de 2014 a las 02:33 am de ese día. Se totalizaron 26893 observaciones a utilizarse en los cálculos. La decisión de descartar estos datos fue fundada en la necesidad de procesar aquellos que poseen mayor representatividad.

A partir de la información recabada se confecciona la Tabla 11 y la Figura 33.

Tabla 11. Distribución de frecuencias de velocidad.

Intervalo	v (m/s)	f_i
0	0 a 1	9524
1	1 a 2	4478
2	2 a 3	4321
3	3 a 4	3484
4	4 a 5	2314
5	5 a 6	1277
6	6 a 7	701
7	7 a 8	382
8	8 a 9	229
9	9 a 10	80
10	10 a 11	52
11	11 a 12	20
12	12 a 13	12
13	13 a 14	5
14	14 a 15	6
15	15 a 16	1
16	>16	5
		26891,00

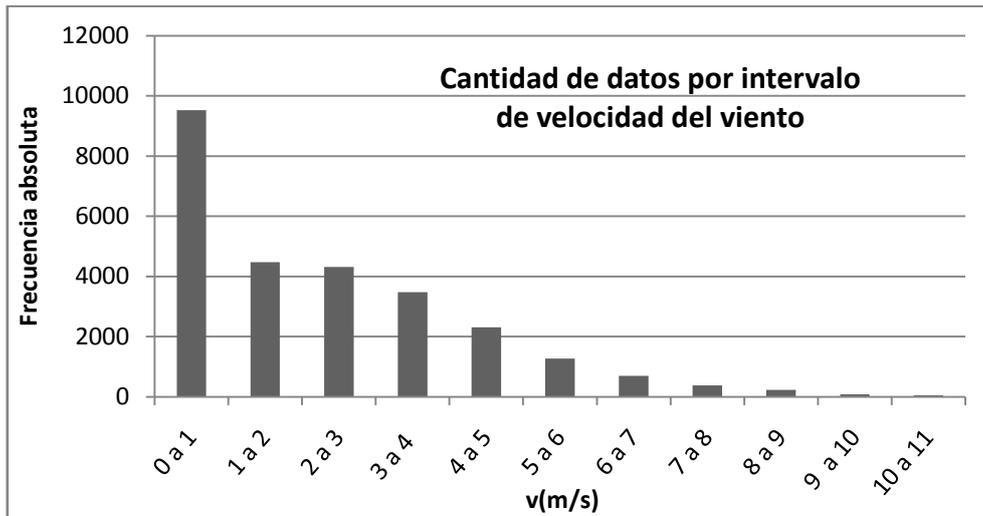


Figura 33. Distribución de frecuencias de viento.

Se esquematizó la rosa de viento utilizando el software WRPLOT® de Lakes Environmental utilizando los datos obtenidos y ajustándolos para traducirlos al formato SAMSON (.sam). Se redujeron a 8 orientaciones del viento y 6 intervalos de velocidades.

A continuación se muestra la rosa de vientos obtenida:

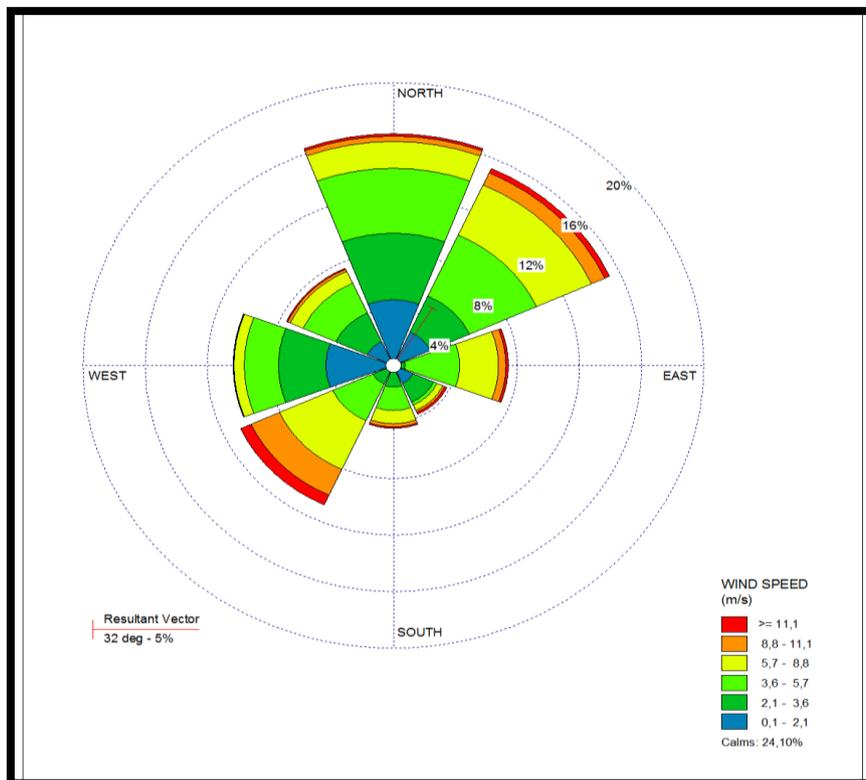


Figura 34. Rosa de vientos obtenida incluyendo 6 clases de viento. Elaboración propia.

Luego se procedió a incluir la dirección de los vientos que presentaban como output 0 m/s (calmas) y a dividir solo en dos intervalos: aquellos en los que no hay producción energética (<2,9m/s) y en los que hay producción eoloeléctrica (>2,9m/s).

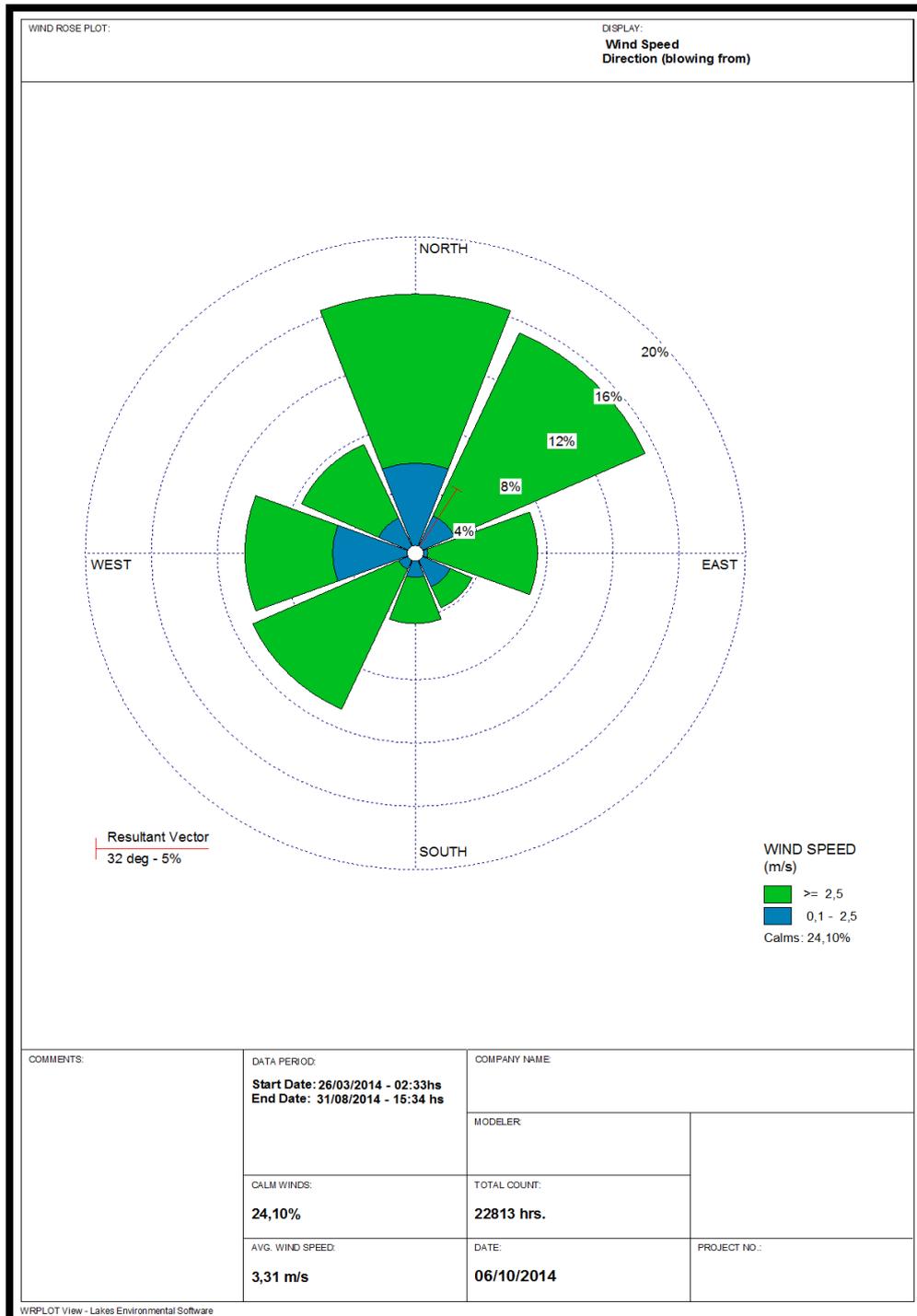


Figura 35. Rosa de vientos obtenida incluyendo 2 clases de velocidades de viento. Elaboración propia.

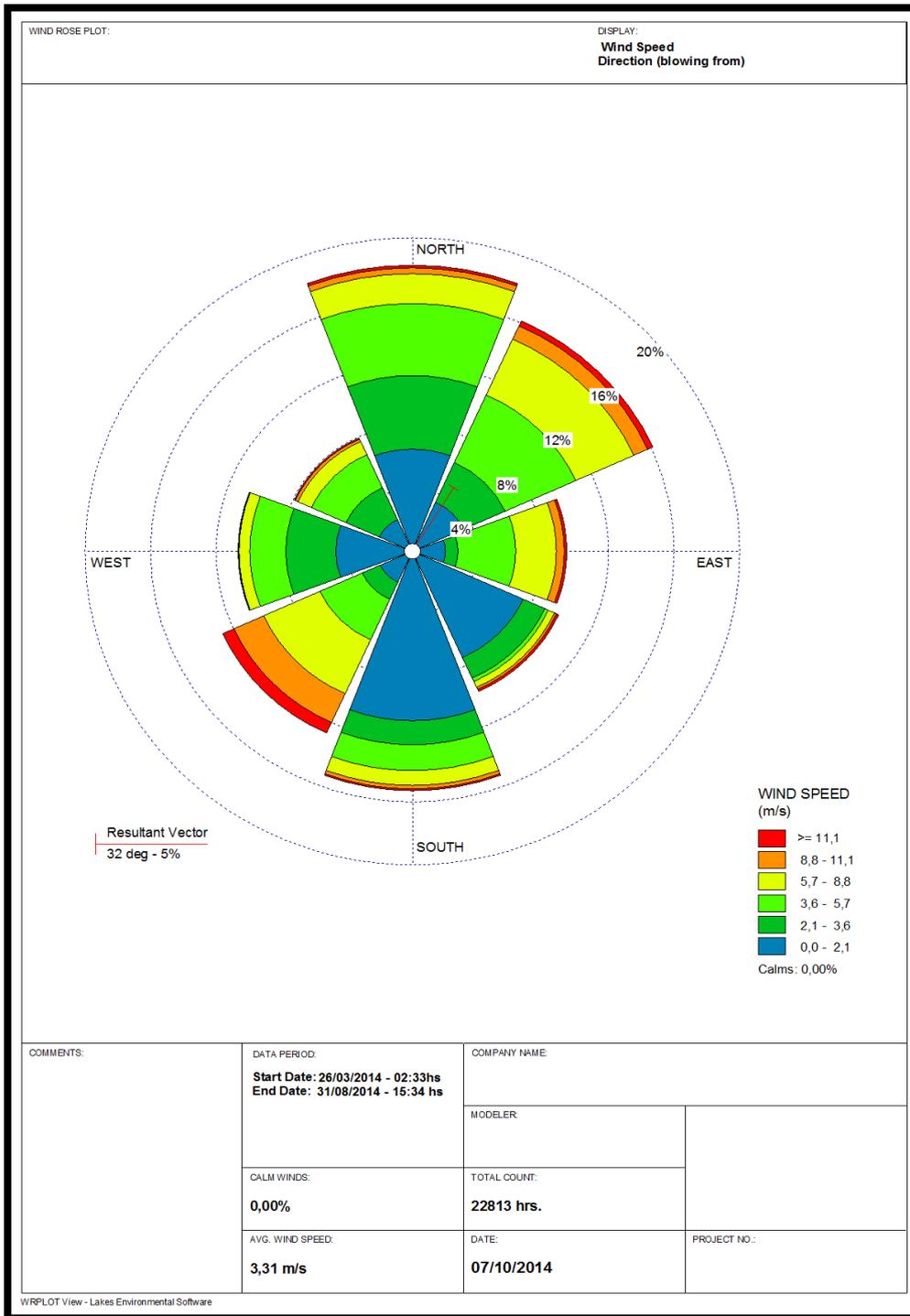


Figura 36. Rosa de vientos obtenida incluyendo en la frecuencia los vientos calmos. Elaboración propia.

A continuación se muestra la Rosa de Vientos obtenida del SIGE para las coordenadas de la estación meteorológica instalada, con el fin de comparar los resultados obtenidos.

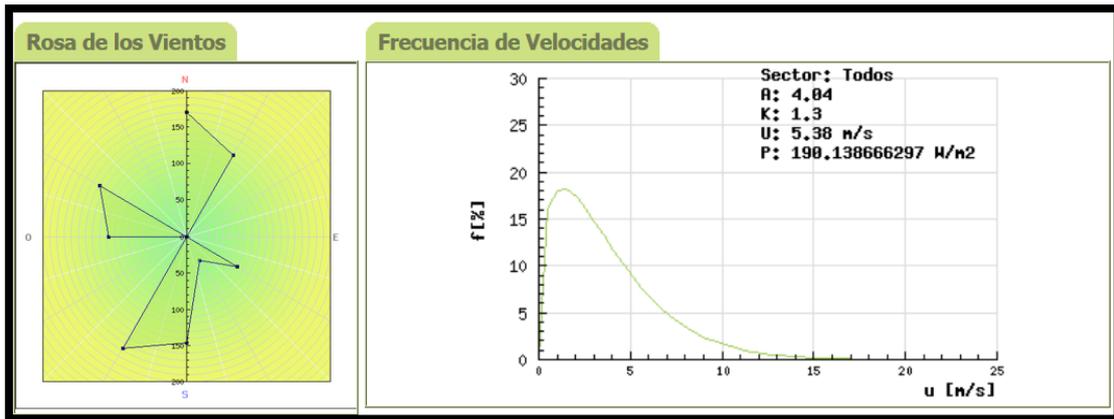


Figura 37. Rosa de vientos del SIGE para las coordenadas del lugar. (SIG EOLICO, 2006)

La rosa de vientos obtenida brinda información:

- Puede notarse la influencia de las interferencias.
- Fue comparada con la presentada por el SIGE entregando resultados similares, lo cual permite observar que son buenas representaciones de la realidad.

Por lo tanto se concluye avanzar en el procesamiento de datos.

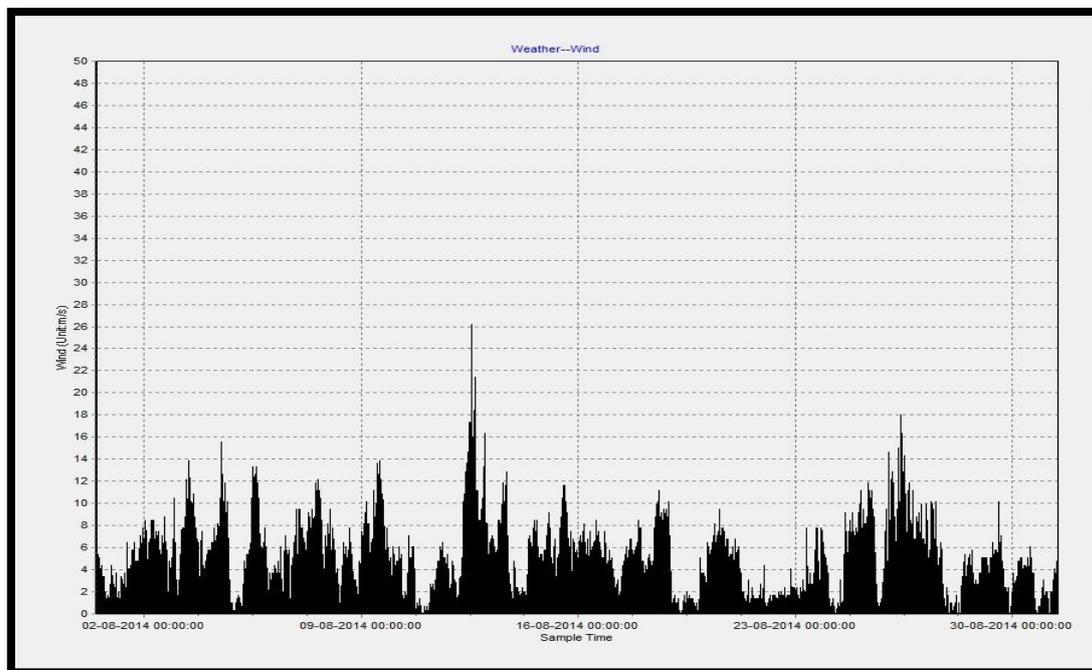


Figura 38. Datos recolectados con el software Easyweather

IV.2. Resultados extrapolación de datos

De los resultados obtenidos se confeccionó la Tabla 13. La misma resume los datos obtenidos en intervalos o "bins" de 1 m/s cada uno.

Tabla 12. Distribución de frecuencias de u con datos extrapolados.

Intervalo	v (m/s)	f_i
0	0 a 1	7170
1	1 a 2	2771
2	2 a 3	3474
3	3 a 4	3160
4	4 a 5	2971
5	5 a 6	2097
6	6 a 7	1622
7	7 a 8	1062
8	8 a 9	927
9	9 a 10	715
10	10 a 11	377
11	11 a 12	243
12	12 a 13	132
13	13 a 14	43
14	14 a 15	34
15	15 a 16	32
16	16 a 17	16
17	17 a 18	6
18	18 a 19	17
19	19 a 20	8
20	20 a 21	3
21	>21	12
		26892,00

La tabla anterior se resume en la Figura 39, donde se puede apreciar la aproximación a una función de distribución de Weibull.

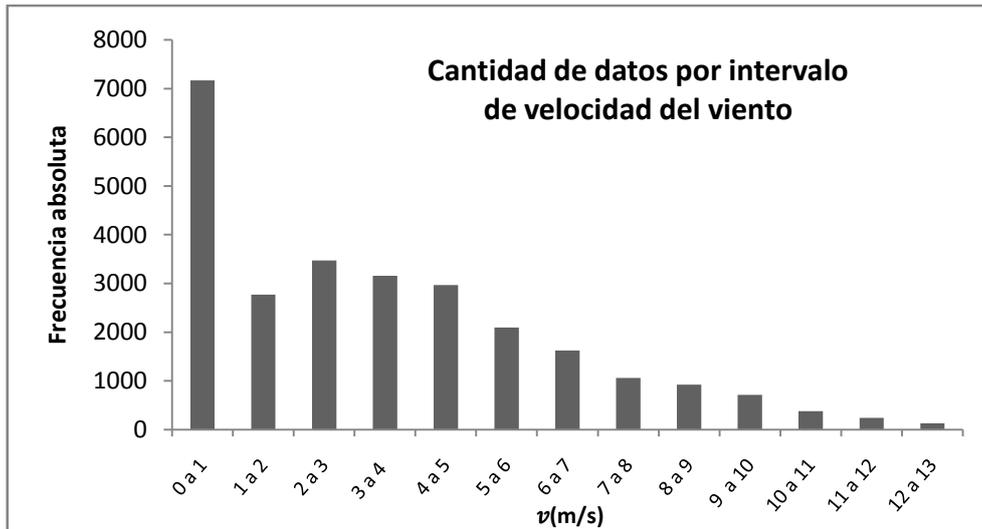


Figura 39. Distribución de frecuencias de u con datos extrapolados.

Puede notarse la diferencia existente entre la distribución presentada en este apartado y la que fue resultado de la toma de datos (Figura 33), evidentemente hay un cambio sustancial en la cantidad de datos a cada velocidad de viento, lo cual refleja un mayor potencial eólico disponible.

IV.3. Resultados de cálculo potencial eólico y producción energética.

IV.3.1. Velocidad media

Tabla 13. Diferencia entre las velocidad media calculada.

	Velocidad media (m/s)
Datos sin extrapolar	2.35
Datos extrapolados	3.60

Se procedió con la confección de una tabla, en la cual se calculó la Potencia del Viento (PV), Horas Anuales (HA) y la Densidad de Energía Anual (DEA) según se explicó en la metodología.

Tabla 14. Tabla de cálculo realizada para obtener la DEA total.

Intervalo	v	x_i	v^3	PV	HA	DEA
	m/s	m/s		kW/m ²	hs	kWh/año.m ²
0	0 a 1	0,5	0,13	0,0	2335,61	0,18
1	1 a 2	1,5	3,38	0,0	902,65	1,87
2	2 a 3	2,5	15,63	0,0	1131,65	10,87
3	3 a 4	3,5	42,88	0,0	1029,36	27,14
4	4 a 5	4,5	91,13	0,1	967,80	54,24
5	5 a 6	5,5	166,38	0,1	683,09	69,89
6	6 a 7	6,5	274,63	0,2	528,36	89,24
7	7 a 8	7,5	421,88	0,3	345,94	89,76
8	8 a 9	8,5	614,13	0,4	301,97	114,05
9	9 a 10	9,5	857,38	0,5	232,91	122,81
10	10 a 11	10,5	1157,63	0,7	122,81	87,43
11	11 a 12	11,5	1520,88	0,9	79,16	74,04
12	12 a 13	12,5	1953,13	1,2	43,00	51,65
13	13 a 14	13,5	2460,38	1,5	14,01	21,19
14	14 a 15	14,5	3048,63	1,9	11,08	20,77
15	15 a 16	15,5	3723,88	2,3	10,42	23,87
16	16 a 17	16,5	4492,13	2,8	5,21	14,40
17	17 a 18	17,5	5359,38	3,3	1,95	6,44
18	18 a 19	18,5	6331,63	3,9	5,54	21,56
19	19 a 20	19,5	7414,88	4,6	2,61	11,88
20	20 a 21	20,5	8615,13	5,3	0,98	5,18
21	>21	21,5	9938,38	6,1	3,91	23,89
				8760,00	942,36	

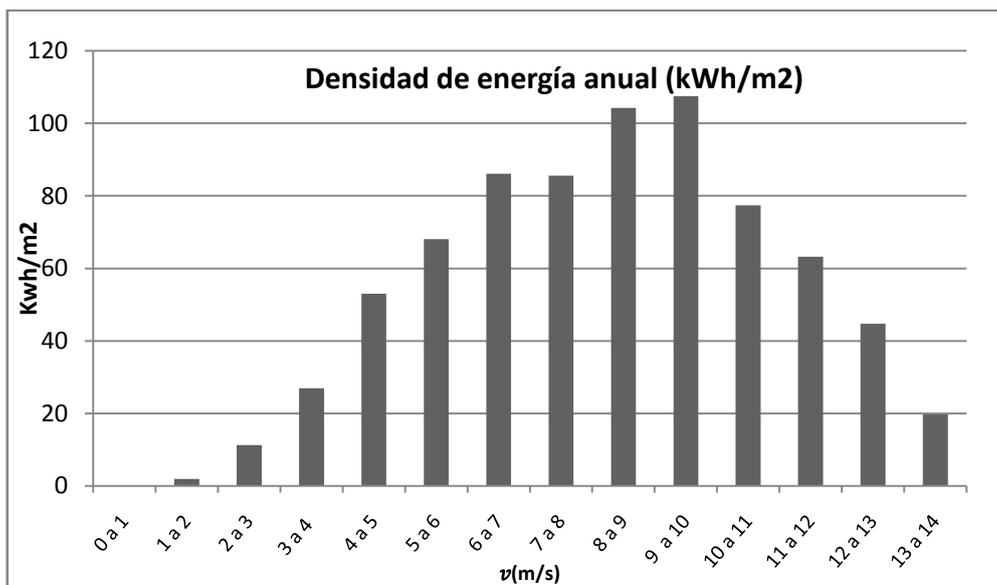


Figura 40. Gráfico de Densidad de Energía Anual.

En base a los resultados obtenidos (una Densidad de Energía Anual de 942 kWh/año.m²) se analizaron los ensayos de los equipos nombrados en la sección II.2.5a fin de seleccionar los aerogeneradores con los que se realizarán los cálculos correspondientes. Se eligieron dos equipos, el IVS 4500 y el COSTA 1 Doméstico.

IV.3.2. Ficha técnica IVS 4500

FICHA TECNICA IVS4500 - RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYO- INTI	
Emisión informe	27/12/2013
Potencia nominal declarada	4500W
Diámetro del rotor	4,5m
Altura del eje	9,5m
Inicio del ensayo a nivel de tensión medio	16/8/2013
Fin del ensayo a nivel de tensión medio	18/9/2013
Nivel de tensión medio	50,4 V
Cantidad de horas recolectadas	532
Mayor Bin completo	20,75 m/s
Densidad del aire promedio durante la prueba	1,1564 kg/m ³

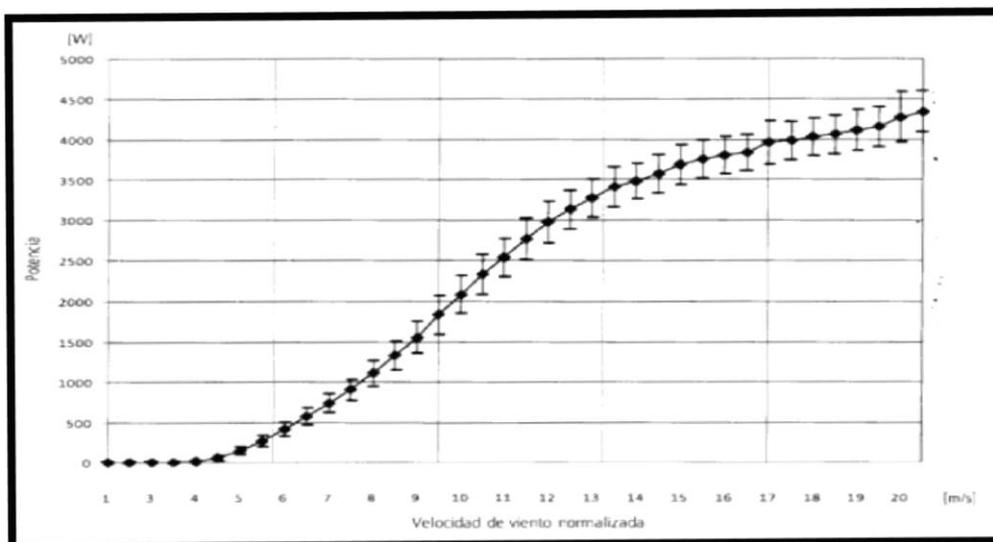


Figura 41. Curva de potencia Aerogenerador IVS 4500. Fuente: INTI.

Tabla 15. Intervalos temporarios, energía desarrollada y Cp calculado para el IVS4500.

Intervalo	v	x_i	HA	P	EAP	DEA	C_p
	m/s	m/s	hs/año	kW	kWh/año	kWh/año.m ²	
0	0 a 1	0,5	2335,61	0,0000	0,00	0,18	0,00000
1	1 a 2	1,5	902,65	0,0000	0,00	1,87	0,00000
2	2 a 3	2,5	1131,65	0,0000	0,01	10,87	0,00012
3	3 a 4	3,5	1029,36	0,0012	1,19	27,14	0,00514
4	4 a 5	4,5	967,80	0,0537	49,41	54,24	0,10656
5	5 a 6	5,5	683,09	0,2708	175,76	69,89	0,29415
6	6 a 7	6,5	528,36	0,5770	289,64	89,24	0,37968
7	7 a 8	7,5	345,94	0,9086	298,61	89,76	0,38917
8	8 a 9	8,5	301,97	1,3337	382,60	114,05	0,39243
9	9 a 10	9,5	232,91	1,8392	406,94	122,81	0,38762
10	10 a 11	10,5	122,81	2,3363	272,57	87,43	0,36468
11	11 a 12	11,5	79,16	2,7746	208,65	74,04	0,32965
12	12 a 13	12,5	43,00	3,1386	128,21	51,65	0,29037
13	13 a 14	13,5	14,01	3,4140	45,43	21,19	0,25073
14	14 a 15	14,5	11,08	3,5763	37,63	20,77	0,21197
15	15 a 16	15,5	10,42	3,7647	37,28	23,87	0,18268
16	16 a 17	16,5	5,21	3,8392	19,01	14,40	0,15443
17	17 a 18	17,5	1,95	3,9930	7,41	6,44	0,13463
18	18 a 19	18,5	5,54	4,0692	21,41	21,56	0,11613
19	19 a 20	19,5	2,61	4,1694	10,32	11,88	0,10161
20	20 a 21	20,5	0,98	4,4348	4,12	5,18	0,09302
					2396,20	918,47	0,24541

A partir de la tabla de distribución de velocidades y la curva de potencia del Aerogenerador se calculó una producción anual de 2396 kWh. Nótese que los vientos que más aportan son aquellos entre 9 y 10 m/s, sin ser estos los de mayor frecuencia.

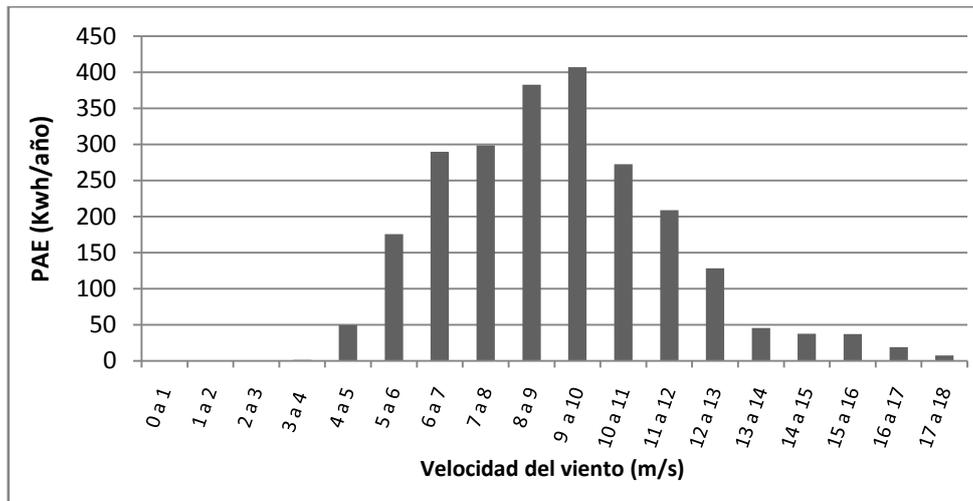


Figura 42. Energía anual producida, calculada utilizando el aerogenerador IVS4500.

IV.3.3. COSTA 1 Doméstico

FICHA TECNICA COSTA 1- RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYO- INTI	
Emisión informe	22/11/2013
Potencia nominal declarada	1100W
Diámetro del rotor	3,3m
Altura del eje	9,5m
Inicio del ensayo a nivel de tensión medio	27/6/2013
Fin del ensayo a nivel de tensión medio	24/7/2013
Nivel de tensión medio	50,4 V
Cantidad de horas recolectadas	308
Mayor Bin completo	21,75 m/s
Densidad del aire promedio durante la prueba	1,1625 kg/m ³

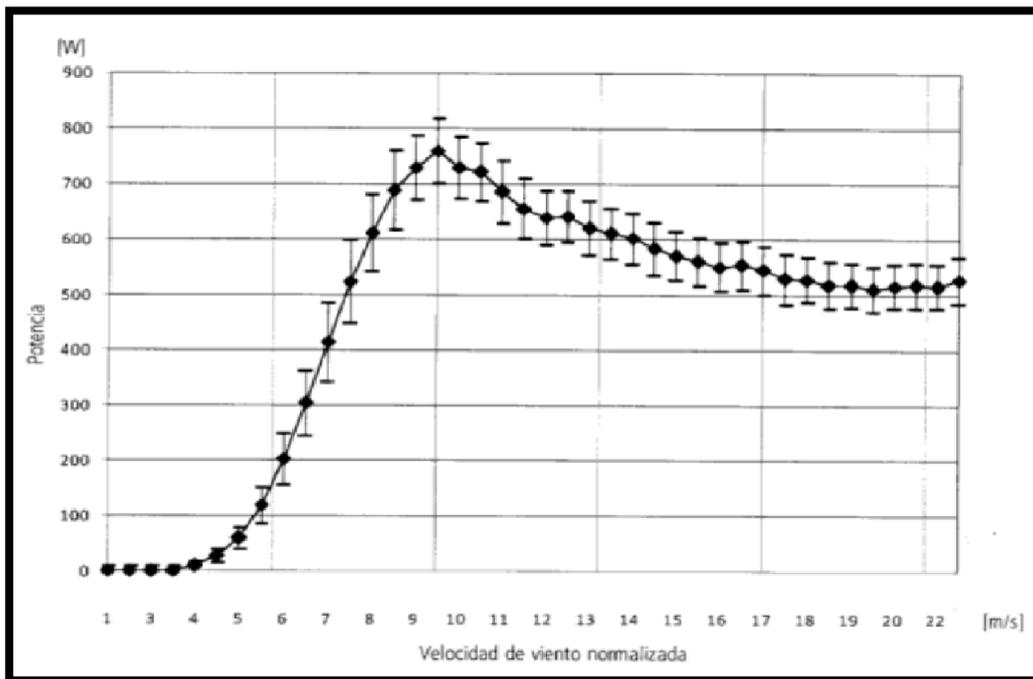


Figura 43. Curva de potencia aerogenerador COSTA 1 Doméstico. Fuente: INTI

Para el Costa1 la cantidad de energía anual producida calculada fue de 857 kWh, que representa sólo el 36% de lo que generaría el IVS-4500.

Tabla 16. Intervalos temporarios, energía desarrollada y Cp calculado para el Costa 1 Doméstico.

Intervalo	v	x_i	HA	P	EAP	DEA	C_p
	m/s	m/s	hs/año	Kw	kWh/año	kWh/año.m2	
0	0 a 1	0,5	2335,61	0,00000	0,00	0,18	0,00000
1	1 a 2	1,5	902,65	0,00001	0,01	1,87	0,00054
2	2 a 3	2,5	1131,65	0,00003	0,03	10,87	0,00035
3	3 a 4	3,5	1029,36	0,00068	0,66	27,14	0,00287
4	4 a 5	4,5	967,80	0,02700	24,82	54,24	0,05354
5	5 a 6	5,5	683,09	0,11880	77,09	69,89	0,12903
6	6 a 7	6,5	528,36	0,20273	101,76	89,24	0,13339
7	7 a 8	7,5	345,94	0,30389	99,87	89,76	0,13016
8	8 a 9	8,5	301,97	0,68872	197,57	114,05	0,20265
9	9 a 10	9,5	232,91	0,75950	168,05	122,81	0,16007
10	10 a 11	10,5	122,81	0,72232	84,27	87,43	0,11275
11	11 a 12	11,5	79,16	0,65561	49,30	74,04	0,07789
12	12 a 13	12,5	43,00	0,64149	26,20	51,65	0,05935
13	13 a 14	13,5	14,01	0,61109	8,13	21,19	0,04488
14	14 a 15	14,5	11,08	0,58378	6,14	20,77	0,03460
15	15 a 16	15,5	10,42	0,56109	5,56	23,87	0,02723
16	16 a 17	16,5	5,21	0,55418	2,74	14,40	0,02229
17	17 a 18	17,5	1,95	0,52905	0,98	6,44	0,01784
18	18 a 19	18,5	5,54	0,51929	2,73	21,56	0,01482
19	19 a 20	19,5	2,61	0,51080	1,26	11,88	0,01245
20	20 a 21	20,5	0,98	0,51773	0,48	5,18	0,01086
					857,69	918,47	0,08519

En este caso el intervalo que mayor energía aporta es el de 8 a 9 m/s.

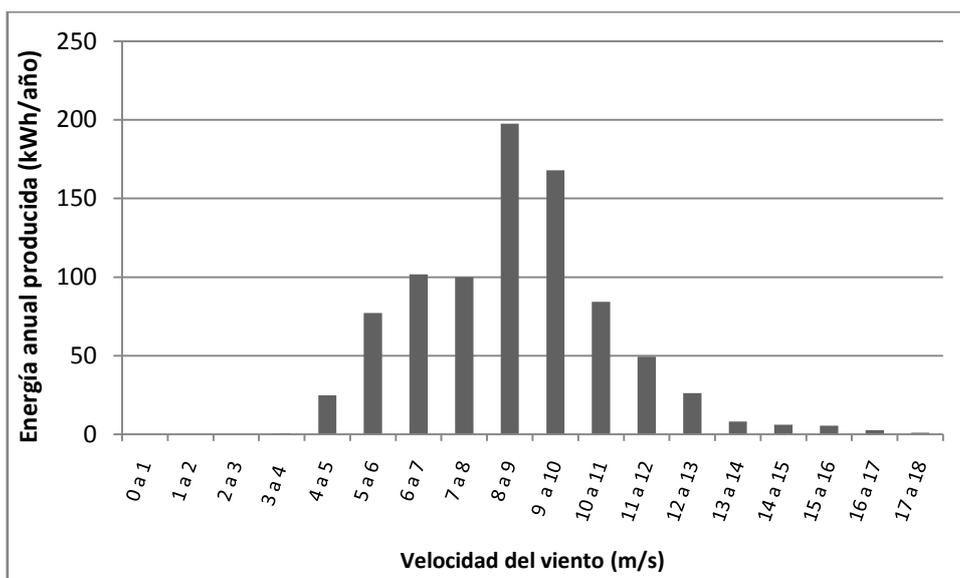


Figura 44. Energía anual producida, calculada utilizando el aerogenerador Costa1 Doméstico.

IV.4. Resultado de cálculo balance energético

Las aproximaciones funcionales, realizadas en Derive 6® de las curvas de potencia para los distintos aerogeneradores, fueron:

IV.4.1. Curva de potencia IVS - 4500

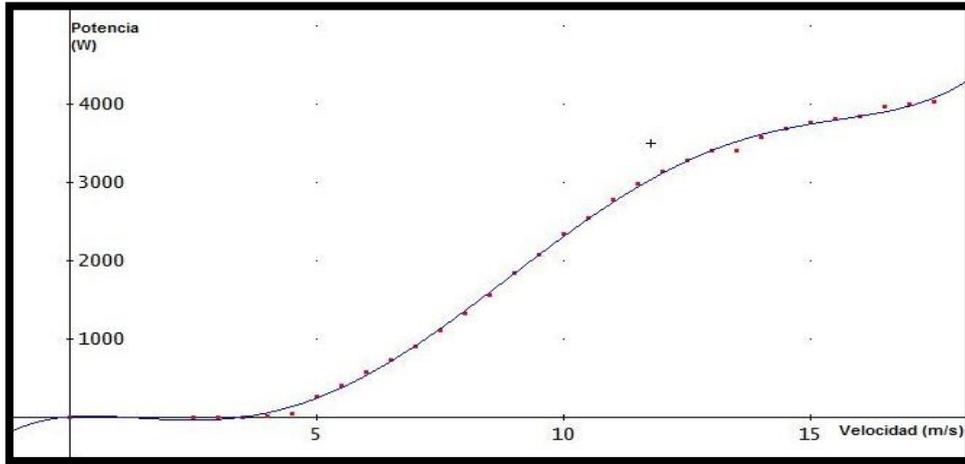


Figura 45. Curva de aproximación funcional para IVS 4500. Método mínimos cuadrados en Derive 6®. Elaboración propia.

Ecuación de aproximación IVS - 4500:

$$E_{IVS4500} = 0.0351x^5 - 1.5150x^4 + 20.2472x^3 - 67.8181x^2 + 47.9482x + 7.5390$$

$$\forall x > 3,5$$

IV.4.2. Curva de potencia COSTA 1 Doméstico

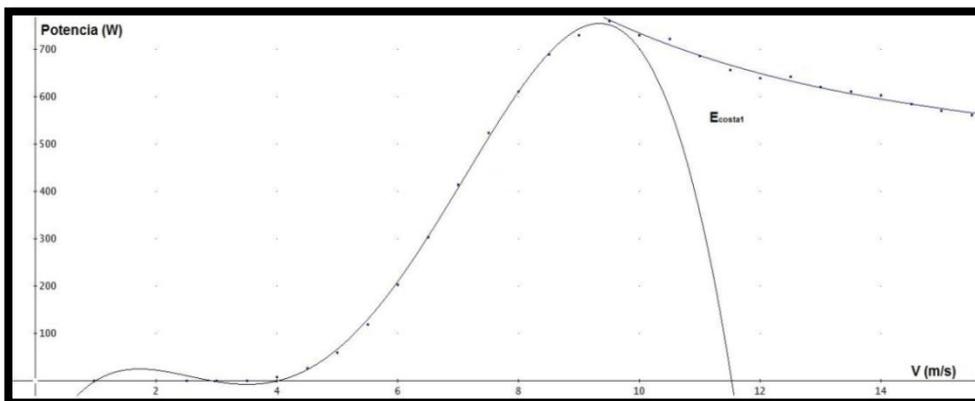


Figura 46. Curva de aproximación funcional para Costa 1. Método mínimos cuadrados en Derive 6®. Elaboración Propia

Ecuación de aproximación COSTA 1 Doméstico:

$$E_{COSTA1} = 0.0087x^5 - 1.4605x^4 + 26.0779x^3 - 144.0858x^2 + 293.7480x - 174.1953$$

para $4,5 \leq x \leq 9,5$

$$E_{COSTA1} = -0.2995x^3 + 14.6539x^2 - 255.9436x + 2127.9225$$

para $x > 9,5$

IV.4.3. Balance energético: Vivienda en estudio

El gasto real de la vivienda situada en el predio fue de 4,7 kWh diarios promedio, distribuidos según el Figura 47. Se relevó la potencia instalada en la residencia y los tiempos de uso de los artefactos. La vivienda cuenta con instalaciones lumínicas, lavavajilla, lavarropas, radio, PC, horno eléctrico, horno de pan, celular, bomba sumergible y herramientas eléctricas.

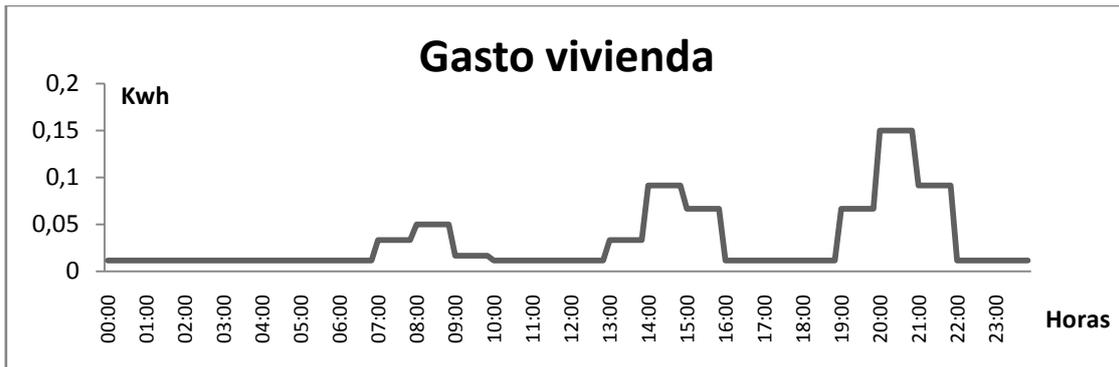


Figura 47. Distribución de consumo diario. Elaboración propia.

Utilizando las curvas de aproximación se calculó el balance energético considerando un banco de baterías de 5400 Wh de energía utilizable. A continuación se detalla la cantidad de tiempo en que hay disponibilidad energética, el porcentaje del tiempo sin batería, y el porcentaje del tiempo que se quema la energía en una resistencia (carga completa) para cada uno de los aerogeneradores.

Tabla 17. Resultado Balance Energético para la vivienda en estudio.

	IVS4500	COSTA1
Porcentaje del tiempo con energía disponible	83,6 %	60,06 %
Porcentaje del tiempo sin energía disponible	16,4 %	39,94 %
Porcentaje del tiempo con carga completa	15,74 %	1,87 %

La gran variabilidad de los vientos demostró grandes períodos de calmas y otros de exceso de producción energética como podemos apreciar en el siguiente gráfico, correspondiente al estado de la batería utilizando el IVS 4500.

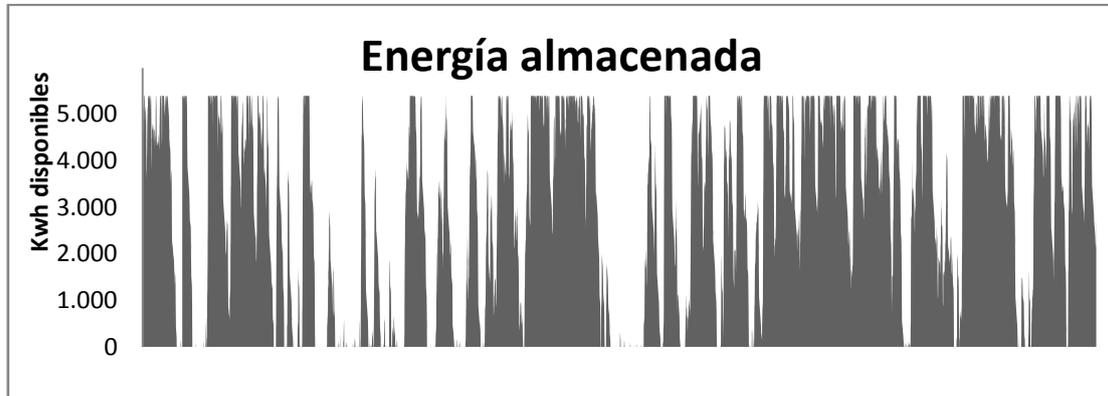


Figura 48. Carga disponible en el banco de baterías propuesto. Elaboración propia.

Debe consignarse que a futuro las baterías actuales podrán ser reemplazadas por celdas de hidrógeno u otro tipo de mecanismo de almacenamiento de bajo impacto ambiental.

IV.4.4. Balance Energético: Vivienda sin acceso a la red eléctrica

El consumo eléctrico considerado para un establecimiento rural sin acceso a la red fue de 5,87 kWh diarios, distribuidos según el siguiente gráfico:

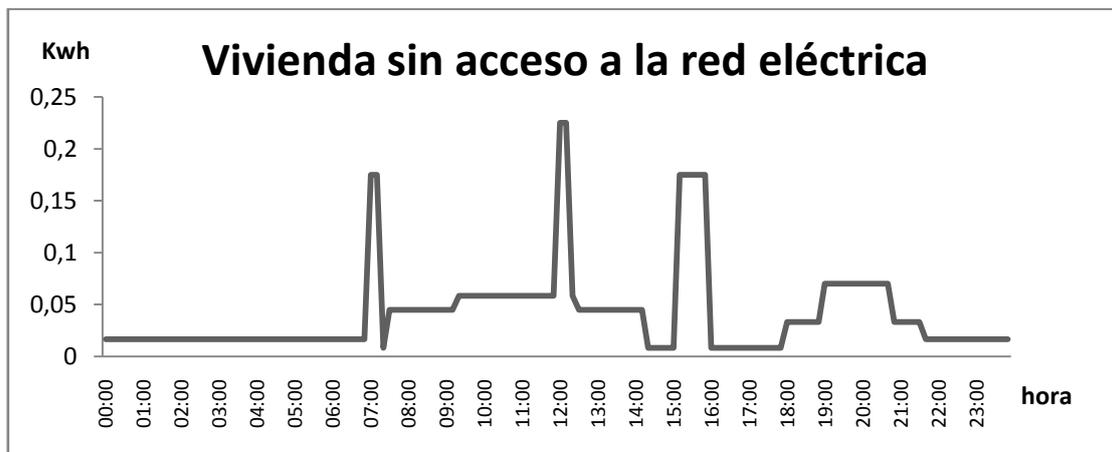


Figura 49. Distribución de consumo diario. Elaboración propia.

Utilizando las curvas de aproximación, se calculó el balance energético para una vivienda sin acceso a la red, para la cual se estimó un consumo mayor de energía (5,87 kWh diarios). Considerando un banco de baterías de 5400Wh de energía utilizable, el resultado se resume en la siguiente tabla:

Tabla 18. Resultado Balance Energético para la vivienda sin acceso a la red eléctrica.

	IVS4500	COSTA1
Porcentaje del tiempo con energía disponible	77,01 %	47,78 %
Porcentaje del tiempo sin energía disponible	22,99 %	52,22 %
Porcentaje del tiempo con carga completa	12,98 %	0,56 %

A partir de los resultados obtenidos, se procede a evaluar las implicancias económicas y ambientales seleccionando el aerogenerador IVS 4500. En ambos casos de estudio es el que presentó el balance energético más adecuado a las necesidades energéticas.

IV.5. Resultado análisis económico

IV.5.1. Análisis económico para la Vivienda en estudio

Análisis primario

Dato a comparar en análisis económico primario:

COSTO DE LA ENERGÍA ENTREGADA POR EL SERVICIO	1,06	\$/kWh
----------------------------------------------------------	-------------	---------------

No obstante cuando las actividades humanas requieren de mayor potencia que la provista por el cable existente, este valor puede variar.

Tabla 19. Análisis económico primario para la vivienda en estudio.

Fuente	Energía anual	Vida útil	Energía total	Costo total	Costo energía
	kWh	años	kWh	\$	\$/kWh
Datos propios	2396,2	20	47924,0	210000	4,38

Efectuada la comparación se puede ver que el precio por kWh calculado, considerando 20 años de vida útil del equipo, representa el cuádruple de aquel ofrecido por la red. Es por esto que no se procede a efectuar un análisis secundario más detallado de comparación.

IV.5.2. Análisis económico para la Vivienda sin acceso a la red eléctrica

Análisis primario

Dato a comparar en análisis económico primario:

COSTO DE ENERGÍA ENTREGADA POR EL GRUPO ELECTROGENO	11,29	\$/kWh
----------------------------------------------------------------	--------------	---------------

Tabla 20. Análisis económico primario para la vivienda sin acceso a la red eléctrica.

Fuente	Energía anual	Vida útil	Energía total	Costo total	Costo energía
	kWh	años	kWh	\$	\$/kWh
Datos propios	2396,2	20	47924,0	210000	4,38

Considerando el elevado costo del kWh entregado por el grupo electrógeno, se cree apropiado realizar un análisis más detallado de la alternativa.

Análisis secundario

Para calcular los flujos de caja se necesitan conocer los ingresos (en este caso el dinero ahorrado por prescindir del gasto en combustible de un grupo electrógeno) y los gastos (en este caso la inversión inicial y el mantenimiento anual).

Tabla 21. Aumento del precio del combustible en Argentina. Elaboración propia.

Período	Precio surtidor	Precio dólar	Precio nafta en dólares
2010/01	3,65	3,835	0,95
2010/07	4,03	3,94	1,02
2011/01	4,20	4,008	1,05
2011/07	4,84	4,145	1,17
2012/01	5,33	4,337	1,23
2012/07	6,32	4,585	1,38
2013/01	6,93	4,985	1,39
2013/12	8,87	6,525	1,36
Aumento de la nafta en dólares(%) en 4 años			
42,75			
Aumento de la nafta en dólares(%) cada año			
10,69			

Posteriormente, los flujos fueron calculados considerando la Energía Anual Producida (*EAP*) obtenida a partir de los datos extrapolados y el dinero ahorrado por prescindir del gasto en combustible de un grupo electrógeno. Se incluyó en el análisis económico una suba en el precio del litro de combustible que busca plasmar la variación anual del precio del mismo en dólares en Argentina, para lo cual fueron utilizadas las bases de datos de la Secretaría de Energía de la Nación y el Banco Central.

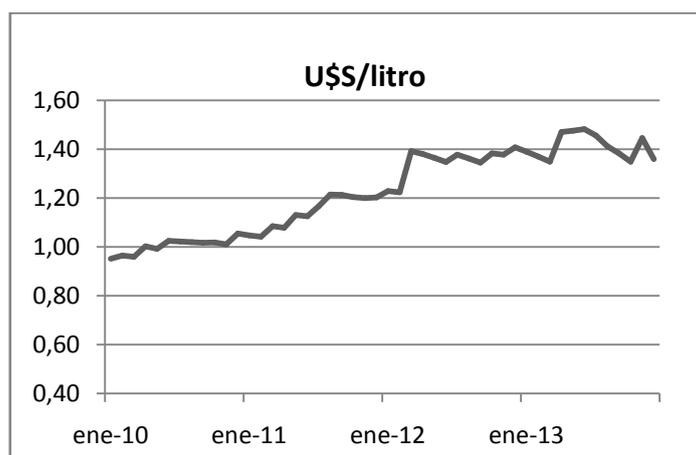


Figura 50. Precio del combustible en dólares. Elaboración propia.

VAN de la inversión

Tabla 22. Flujos del proyecto de inversión.

Periodo (año)	Flujos (U\$S)	Periodo (año)	Flujos (U\$S)
0	-22727	11	5858
1	3094	12	6178
2	2970	13	6497
3	3292	14	6817
4	3613	15	7136
5	3934	16	7455
6	4256	17	7773
7	4576	18	8092
8	4897	19	8410
9	5217	20	8728
10	5538		

Utilizando un descuento del 8% (anual en dólares) se obtiene el valor del VAN como suma de los flujos de caja (ingresos – costes) actualizados mediante un interés compuesto.

$$VAN = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t}$$

$B_t - C_t$ representa los flujos de caja en cada periodo t.

T es el número de períodos considerado y

r es el tipo de interés.

Luego,

$$VAN = \sum_{t=0}^{20} \frac{EAP_t \cdot \text{precio } kwh_t - \text{mantenimiento}_t}{(1 + r)^t}$$

Entonces considerando un consumo del grupo electrógeno de 0,9lt/kWh se obtiene la ecuación,

$$VAN = \sum_{t=1}^{20} \frac{2396 \text{ kwh} \cdot 0,9 \cdot \text{precio } nafta_t - \text{mantenimiento}_t}{(1 + 0,08)^t} - U\$22727 =$$

$$VAN = U\$S 48.578$$

Cabe destacar que el cálculo del VAN para el precio del kWh de la red arrojaría un valor negativo, ya que en el área del establecimiento y según su categoría, el precio del kWh es de U\$S0,13 como se muestra a continuación:

$$\frac{\$210,76 \text{ (Valor factura)} + \$93,15 \text{ (subsidio)}}{286 \text{ kwh}} = \frac{\$303,91}{286 \text{ kwh}} = 1,06 \frac{\$}{\text{kwh}} = 0,13 \frac{U\$S}{\text{kwh}}$$

TIR de la inversión

En este caso se tiene una TIR del **18,05%**, superior al tipo de descuento aplicado (del 8%). Los cálculos fueron realizados mediante función de Excel®.

$$TIR = 18,05\%$$

Payback

Para este proyecto el período de repago es de **6,34 años**.

$$\text{Repago} = 6,34 \text{ años}$$

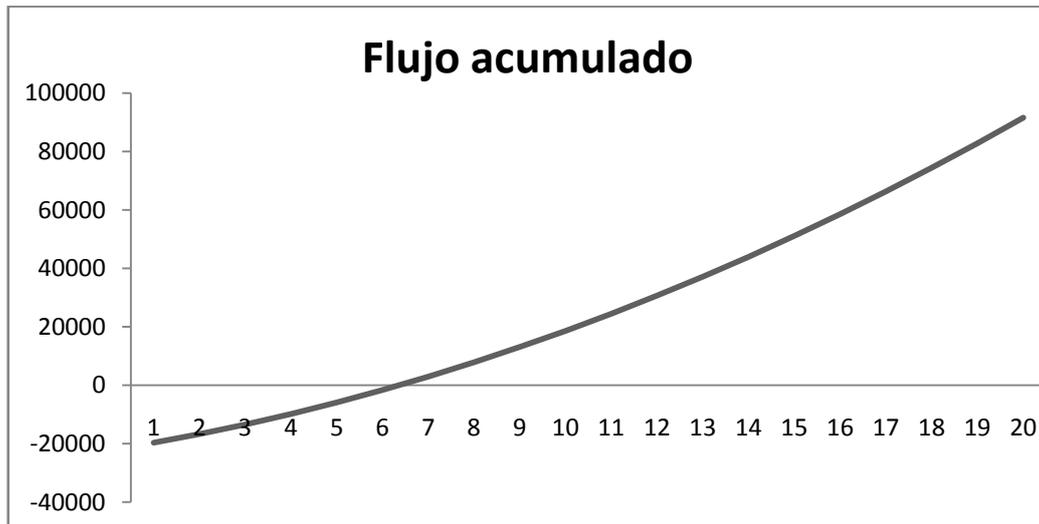


Figura 51. Representación del Período de Repago.

IV.6. Resultados Implicancias Ambientales

La cantidad de CO₂ emitido por el aerogenerador se calcula utilizando su ACV. Luego este resultado es usado para comparar con las emisiones generadas en los dos casos de estudio.

Tabla 23. Valores del ACV para el aerogenerador IVS4500. (Sagardoy, 2012).

Fase	Energía requerida (MJ)
Fabricación	28.454,28
Instalación	4.472,66
Mantenimiento	33.261,87
TOTAL	66.188,81

El factor de emisión en el año 2012 para la red de energía eléctrica en Argentina según cálculo realizado mediante metodología ACM0002 entregó el valor de **0,532 tCO₂/MWh**.

Factor de emisión red eléctrica Argentina	0,532	t CO₂/MWh
------------------------------------------------------	--------------	-----------------------------

Por lo tanto, el total de emisiones para el ACV del equipo que se calcula a partir de la cantidad de energía necesaria en su ciclo de vida, es igual a **9,78 tCO₂**.

EMISION ACV AEROGENERADOR
9,78 tCO₂

IV.6.1. Emisiones evitadas de la Vivienda en estudio

En contrapartida a las emisiones que genera la construcción, instalación y mantenimiento de un equipo de generación eólica, existe un caudal de gases de efecto invernadero que dejan de ser emitidos al ambiente a causa de su utilización, al evitar el consumo de energía de la red. Como ya se describió en la metodología esa cantidad se

calcula multiplicando el factor de emisión de la red por la cantidad de energía que entrega el aerogenerador en su vida útil.

Factor de emisión red eléctrica Argentina	0,532	t CO₂/MWh
--------------------------------------------------	--------------	-----------------------------

Energía entregada por el aerogenerador en toda su vida útil (20 años):

Fase	Energía entregada (kWh)
Utilización (20 años)	43716,76

Por lo tanto al utilizar la energía de red se emitirían **25,5 tCO₂**

EMISIONES UTILIZANDO ENERGIA DE RED
25,5 tCO₂

IV.6.2. Emisiones evitadas de la Vivienda sin acceso a la red eléctrica

Para obtener la misma cantidad de energía mediante la utilización de un equipo de generación eléctrica a nafta es necesario consumir 43128lt.

El factor de emisión de la nafta:

Factor de emisión nafta	2,37	KgCO₂ /lt.
--------------------------------	-------------	------------------------------

Por lo tanto, obtenemos un total de **102.21 tCO₂** que se emitirían al ambiente utilizando el grupo electrógeno.

EMISIONES UTILIZANDO GRUPO ELECTROGENO NAFTERO
102,2 tCO₂

IV.6.3. Generación de ruidos en la etapa de operación y apantallamiento

No se presentan ruidos significativos en la etapa de operación del equipo. La lejanía a otros establecimientos y la escasa presencia de fauna que pueda ser afectada, sumada a los bajos decibeles que estos equipos producen por ser pequeños, minimizan el impacto que la estructura puede tener. Los niveles medidos en

aerogeneradores de este tipo (baja potencia) son fácilmente asimilables al ruido que provocan los árboles al ser afectados por el viento. Se han realizado mediciones en equipos de la misma talla para comprobarlo, sin obtener valores superiores a 55 dB(A).

El apantallamiento, fenómeno provocado por la sombra del equipo y las irrupciones intermitentes de la luz del sol, es de nula incidencia. Por el pequeño diámetro de las aspas y según fue estudiado el cono de sombra de la estructura, no se alcanza ningún establecimiento o zona habitada.

IV.6.4. Presencia de la estructura en el área

La estructura que se requiere para la instalación del aerogenerador no se considera como un elemento que provoque grandes cambios en el paisaje. Es claro que es una característica muy subjetiva donde cada uno tiene sus conceptos y opiniones. Para verlo de una forma más objetiva, como se describió en este proyecto, la zona que habitamos posee la mayor densidad de molinos de campo del mundo, que si bien tiene utilidades distintas al sistema planteado en este proyecto, la población se encuentra familiarizada con este tipo de estructuras. Por lo tanto, se concluye que dicha estructura no genera controversias desde el punto de vista paisajístico.



Figura 52. Presencia de un aerogenerador de pequeña escala. (Aguirre, 2014)

CAPITULOV

V.1 Factibilidad, discusión, conclusiones

El proceso de evaluación del recurso eólico para la producción energética es una tarea compleja. El acceso a la información para llevar a cabo esta evaluación suele ser difícil y de complicada interpretación. La obtención de datos de manera propia constituye una herramienta vital para esta tarea, al igual que la precisión que éstos tengan. La instalación de estaciones meteorológicas para la obtención de datos es viable, siempre y cuando se consideren las pautas para minimizar el error y evitar conclusiones erróneas. Los datos recaudados en el presente trabajo conforman una buena representación de la realidad; y aunque se han presentado dificultades por el posicionamiento del equipo, las mismas fueron consideradas buscando la mejor aproximación posible.

Se utilizaron 26893 datos correspondientes a 6 meses de toma de muestra sin vacíos.

La instalación de estaciones meteorológicas debe realizarse de manera planificada e incorporando experiencias.

Si bien existen numerosos programas de procesamiento de datos, se optó por la utilización de metodologías detalladas que permiten un análisis más minucioso de la situación, empleando la data para arribar a conclusiones específicas y comprender la matemática y los procesos dinámicos que ocurren en el área de estudio.

La densidad de energía anual del establecimiento en estudio fue maximizado. El análisis se ubicó en el sitio donde existen menor cantidad de interferencias que puedan afectar la velocidad del viento. A 10 metros de altura, el mismo resultó ser positivo desde el punto de vista energético, entregando el equivalente a $942,36 \text{ kWh/m}^2$, y se concluye que el recurso eólico porta una cantidad de energía lo suficientemente atractiva como para este tipo de proyectos.

A partir de las necesidades del establecimiento, el IVS 4500 posee las mejores prestaciones para el presente estudio. El mismo produciría cantidad de energía suficiente para que, mediante un banco de baterías, se pudiese abastecer el establecimiento el 86% del tiempo en el período considerado.

V.1. Implicancias económicas y ambientales

Para la vivienda en estudio:

El análisis de implicancias ambientales presentó resultados altamente positivos. El ACV del equipo emite solo el 38,3% de tCO₂ que se emitirían consumiendo del tendido eléctrico una cantidad de energía equivalente a la entregada por el equipo en su etapa de funcionamiento. Cabe aclarar que en el cálculo del factor de emisión de la red se incluyen las emisiones generadas por la construcción del sistema de energía eléctrica.

No obstante, desde el punto de vista económico, se obtuvieron resultados negativos frente a la posibilidad de utilizar la red eléctrica y el servicio brindado por EDEA. Podría ser más rentable si se implementara Net Metering para “vender” el exceso de energía. Se determina que es una herramienta clave para incentivar la generación a pequeña escala en sectores que no se encuentran aislados.

Para vivienda aislada energéticamente:

En este tipo de vivienda, considerando la *DEA* del establecimiento, la utilización del aerogenerador IVS 4500 presenta grandes beneficios, tanto desde el punto de vista económico como ambiental.

El ACV del equipo emite solo el 9,56% de tCO₂ que se emitirían en la utilización del grupo electrógeno estándar para obtener la misma cantidad de energía que en la etapa de funcionamiento del aerogenerador.

Económicamente se evaluó frente a la compra y utilización de un grupo electrógeno obteniendo buenos resultados

VAN	48.578	U\$S	✓
TIR	18.05	%	✓
Payback	6.34	años	✓

En el lugar propuesto de instalación el equipo no produciría ruidos molestos o apantallamiento. El impacto visual es muy comparable con el de los molinos de viento tradicionales ya implantados extensamente en la provincia.

Finalmente, no se consideran probables obstrucciones o inconvenientes con el entorno natural que puedan causar un impacto ambiental por estar la zona fuertemente afectada por la actividad agrícola y el pequeño tamaño de la estructura.

ANEXOS

Anexo A –Cálculos extrapolación

A continuación se presenta extractos de las planillas de cálculo utilizadas para realizar la extrapolación.

	A	B	C	E	F	G	J	K	N	O	R	S	T
1	FECHA/HORA	VELOCIDAD VIENTO	DIRECCIÓN	GRADOS OK	EXTRAPOLACION 1	COEFICIENTE	EXTRAPOLACION 2	COEFICIENTE	EXTRAPOLACION 3	COEFICIENTE			
2	26/03/2014 02:33	0	S	157,5	0	1,136	0	0,2	0	1,0752			
3	26/03/2014 02:43	0	N	337,5	0	1,666	0	0,4	0	1,0869			
4	26/03/2014 02:53	0	S	157,5	0	4	0	0,6	0	1,0989			
5	26/03/2014 03:03	0	S	157,5	0		0	0,8	0				
6	26/03/2014 03:13	0	S	157,5	0		0		0				

Figura 53. Tabla de cálculo utilizada para la extrapolación.

	A	B	C	E	F	G	J	K	N	O	R	S	T
1	FECHA/HORA	VELOCIDAD VIENTO	DIRECCIÓN	GRADOS OK	EXTRAPOLACION 1	COEFICIENTE	EXTRAPOLACION 2	COEFICIENTE	EXTRAPOLACION 3	COEFICIENTE			
35	26/03/2014 08:03	0	S	157,5	0		0		0				
36	26/03/2014 08:13	0	E	67,5	0		0		0				
37	26/03/2014 08:23	0	SW	202,5	0		0		0				
38	26/03/2014 08:33	0,3	E	67,5	2,19089023		2,19089023		2,355645175				
39	26/03/2014 08:43	0,3	NW	292,5	0,3		0,3		0,32967				
40	26/03/2014 08:53	0,3	NNE	0	0,4998		0,4998		0,54923022				
41	26/03/2014 09:03	0	E	67,5	0		0		0				
42	26/03/2014 09:13	0,3	NE	22,5	0,4998		0,4998		0,54923022				
43	26/03/2014 09:23	2,7	NE	22,5	4,4982		4,4982		4,94307198				
44	26/03/2014 09:33	2,7	SE	112,5	6,57267069		8,64		9,289728				
45	26/03/2014 09:43	2,7	NE	22,5	4,4982		4,4982		4,94307198				
46	26/03/2014 09:53	1,7	E	67,5	5,215361924		5,215361924		5,607557141				
47	26/03/2014 10:03	2	SE	112,5	5,656854249		6,4		6,88128				
48	26/03/2014 10:13	2,4	NEE	45	3,9904		3,9904		4,29907968				

Figura 54. Tabla de cálculo utilizada para la extrapolación.

DATOS extrapolación - Microsoft Excel

Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista

Vista previa de salto de página Regla Barra de fórmulas
 Diseño de página Vistas personalizadas Líneas de cuadrícula Títulos
 Pantalla completa Barra de mensajes Mostrar u ocultar

J35 =SI(E35=90;F35*F35*\$K\$3;SI(E35=112,5;F35*F35*\$K\$2;SI(E35=135;F35*F35*\$K\$2;SI(E35=247,5;F35*F35*\$K\$4;SI(E35=270;F35*F35*\$K\$5;F35))))

	A	B	C	E	F	G	J	K	N	O	R	S	T
1	FECHA/HORA	VELOCIDAD VIENTO	DIRECCIÓN	GRADOS OK	EXTRAPOLACION 1	COEFICIENTE	EXTRAPOLACION 2	COEFICIENTE	EXTRAPOLACION 3	COEFICIENTE			
35	26/03/2014 08:03	0	S	157,5	0		0		0				
36	26/03/2014 08:13	0	E	67,5	0		0		0				
37	26/03/2014 08:23	0	SW	202,5	0		0		0				
38	26/03/2014 08:33	0,3	E	67,5	2,19089023		2,19089023		2,355645175				
39	26/03/2014 08:43	0,3	NW	292,5	0,3		0,3		0,32967				
40	26/03/2014 08:53	0,3	NNE	0	0,4998		0,4998		0,54923022				
41	26/03/2014 09:03	0	E	67,5	0		0		0				
42	26/03/2014 09:13	0,3	NE	22,5	0,4998		0,4998		0,54923022				
43	26/03/2014 09:23	2,7	NE	22,5	4,4982		4,4982		4,94307198				
44	26/03/2014 09:33	2,7	SE	112,5	6,57267069		8,64		9,289728				

Figura 55. Tabla de cálculo utilizada para la extrapolación.

DATOS extrapolación - Microsoft Excel

Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista

Vista previa de salto de página Regla Barra de fórmulas
 Diseño de página Vistas personalizadas Líneas de cuadrícula Títulos
 Pantalla completa Barra de mensajes Mostrar u ocultar

N35 =SI(E35=0;J35*\$O\$4;SI(E35=22,5;J35*\$O\$4;SI(E35=45;J35*\$O\$2;SI(E35=67,5;J35*\$O\$2;SI(E35=90;J35*\$O\$2;SI(E35=112,5;J35*\$O\$2;SI(E35=135;J35*\$O\$2;SI(E35=157,5;J35*\$O\$3;SI(E35=180;J35*\$O\$3;SI(E35=202,5;J35*\$O\$3;SI(E35=225;J35*\$O\$3;SI(E35=247,5;J35*\$O\$4;SI(E35=270;J35*\$O\$4;SI(E35=292,5;J35*\$O\$4;SI(E35=315;J35*\$O\$4;J35*\$O\$4))))))))))))))

	A	B	C	E	F	G	J	K	N	O	R	S	T
1	FECHA/HORA	VELOCIDAD VIENTO	DIRECCIÓN	GRADOS OK	EXTRAPOLACION 1	COEFICIENTE	EXTRAPOLACION 2	COEFICIENTE	EXTRAPOLACION 3	COEFICIENTE			
35	26/03/2014 08:03	0	S	157,5	0		0		0				
36	26/03/2014 08:13	0	E	67,5	0		0		0				
37	26/03/2014 08:23	0	SW	202,5	0		0		0				
38	26/03/2014 08:33	0,3	E	67,5	2,19089023		2,19089023		2,355645175				
39	26/03/2014 08:43	0,3	NW	292,5	0,3		0,3		0,32967				
40	26/03/2014 08:53	0,3	NNE	0	0,4998		0,4998		0,54923022				
41	26/03/2014 09:03	0	E	67,5	0		0		0				
42	26/03/2014 09:13	0,3	NE	22,5	0,4998		0,4998		0,54923022				
43	26/03/2014 09:23	2,7	NE	22,5	4,4982		4,4982		4,94307198				
44	26/03/2014 09:33	2,7	SE	112,5	6,57267069		8,64		9,289728				

Figura 56. Tabla de cálculo utilizada para la extrapolación.

Anexo B -Cálculo potencial eólico y producción energética.

Tabla 24. Tabla de datos sin extrapolar.

Intervalo	$v(m/s)$	x_i	f_i	$x_i \cdot f_i$
0	0 a 1	0,5	9524	4762,0
1	1 a 2	1,5	4478	6717,0
2	2 a 3	2,5	4321	10802,5
3	3 a 4	3,5	3484	12194,0
4	4 a 5	4,5	2314	10413,0
5	5 a 6	5,5	1277	7023,5
6	6 a 7	6,5	701	4556,5
7	7 a 8	7,5	382	2865,0
8	8 a 9	8,5	229	1946,5
9	9 a 10	9,5	80	760,0
10	10 a 11	10,5	52	546,0
11	11 a 12	11,5	20	230,0
12	12 a 13	12,5	12	150,0
13	13 a 14	13,5	5	67,5
14	14 a 15	14,5	6	87,0
15	15 a 16	15,5	1	15,5
16	>16	16,5	5	82,5
			26891,00	63218,50

$$v = \frac{\sum x_i \cdot f_i}{n} \quad \rightarrow \quad v = \frac{63218}{26891} \left(\frac{m}{s} \right) \quad \rightarrow \quad v = 2.35 \frac{m}{s}$$

Tabla 25. Tabla datos extrapolados

Intervalo	$v(m/s)$	x_i	f_i	$x_i \cdot f_i$
0	0 a 1	0,5	7170	3585,0
1	1 a 2	1,5	2771	4156,5
2	2 a 3	2,5	3474	8685,0
3	3 a 4	3,5	3160	11060,0
4	4 a 5	4,5	2971	13369,5
5	5 a 6	5,5	2097	11533,5
6	6 a 7	6,5	1622	10543,0
7	7 a 8	7,5	1062	7965,0
8	8 a 9	8,5	927	7879,5
9	9 a 10	9,5	715	6792,5
10	10 a 11	10,5	377	3958,5
11	11 a 12	11,5	243	2794,5
12	12 a 13	12,5	132	1650,0
13	13 a 14	13,5	43	580,5
14	14 a 15	14,5	34	493,0
15	15 a 16	15,5	32	496,0
16	16 a 17	16,5	16	264,0
17	17 a 18	17,5	6	105,0
18	18 a 19	18,5	17	314,5
19	19 a 20	19,5	8	156,0
20	20 a 21	20,5	3	61,5
21	>21	21,5	12	258,0
			26892,00	96701,00

$$v = \frac{\sum x_i \cdot f_i}{n} \rightarrow v = \frac{96701}{26892} \left(\frac{m}{s}\right) \rightarrow v = 3.60 \frac{m}{s}$$

Anexo C – Cálculo balance energético

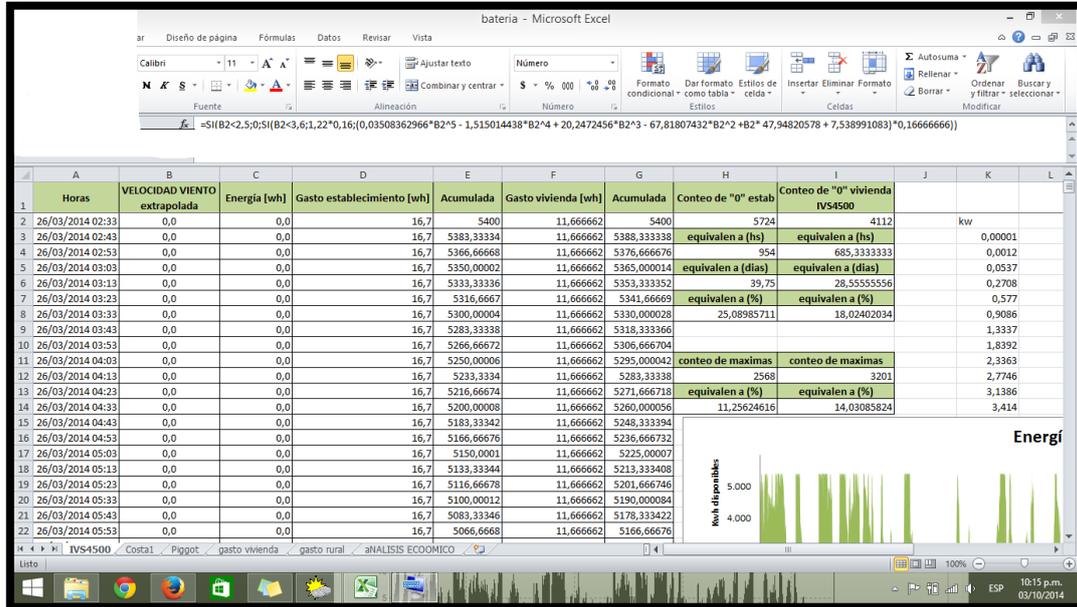


Figura 57. Tabla de cálculos balance energético.

BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, R. (12 de 7 de 2014). *rionegro.com.ar*. Recuperado el 2014, de http://www.rionegro.com.ar/diario/las-energias-verdes-se-hacen-un-lugar-3075632-10948-notas_energia.aspx

Akins, R. (1978). *Performance evaluation of wind energy conversion systems, using the Method of Bins – current status*. Albuquerque: Sandia Laboratory.

Ammonit. (2000). *Medición de viento para realizar un correcto pronóstico energético*. Berlín.

Bell, J. (2003). *El rol potencial de la medición neta en el fomento del uso de la electricidad renovable en las Américas*. La Habana, Cuba: XIX Conferencia Latinoamericana de electrificación rural.

Botero, S. (2008). Análisis del instrumento regulatorio Medición neta y su potencial aplicación al caso colombiano. *Redalyc*, 53-65.

Burton, T. (2001). *Wind Energy Handbook*. Inglaterra: John Wiley and sons.

CNEA. (2014). *Síntesis del Mercado Eléctrico Mayorista*. Argentina: s.e.

Cottier, J. (30 de Octubre de 2012). <http://es.scribd.com/>. Recuperado el Marzo de 2014, de <http://es.scribd.com/doc/111516972/aplicaciones-de-la-energia-eolica-de-pequena-escala-en-comunidades-rurales-de-Mexico>

Díaz Cano, L. (2013). La madera, estructura y piel de una obra sustentable en Sierra de los Padres.

Energías Renovables. (2008). Recuperado el 12 de Marzo de 2014, de Secretaría de Energía: http://www.inti.gob.ar/e-renova/erTO/pdf/libro_energia_eolica.pdf

(2007). *European Renewable Energy Council*. Bruselas: s.e.

Fernández, C. (2010). *ENERGIAS RENOVABLES EN ARGENTINA: EL CASO DE LA ENERGÍA EÓLICA Y SUS AVANCES EN MATERIA REGULATORIA*. Buenos Aires: s.e.

Footprint, T. E. (2013). <http://myfootprint.org/>. Recuperado el 2014, de <http://myfootprint.org/>

González Velasco, J. (2009). *Energías renovables*. Barcelona: Reverté.

Hulshorst, W. (2012). *Manual práctico energía eólica*. Leonardo Energy.

- Johnson, G. (2006). *Wind Energy Systems*. USA: Kansas State University.
- Massé, P. (1963). *La elección de las inversiones*. Barcelona: Sagitario.
- Mattio, F. (2009). *Recomendación para mediciones de velocidad y dirección de viento con fines de generación eléctrica*. Argentina: Secretaría de Energía.
- MEEBA. (2014). *Mapa eólico provincia de Buenos Aires*. Recuperado el 2014, de <http://www.mapaeolicobsas.org.ar/>
- Pacific Power. (2004). *Net Metering*.
- Ragheb, M. (2011). *Wind Turbines Theory - The Betz Equation and Optimal Rotor Tip Speed Ratio*. USA.
- Rees, W., & Wackernagel, M. (1996). *Our Ecological Footprint. Reducing Human Impact on the Earth*. Canadá: s.e.
- Rodríguez, J. (2003). *Sistemas eólicos de producción de energía eólica*. Sevilla: Rueda.
- Sagardoy, I. (2012). *Análisis de Ciclo de vida aerogenerador IVS 4500*. Buenos Aires: UCA.
- Sánchez Sudón, F., Ferreiro Viña, A., Anta Fernandez, J., Puente-Salve, F., Legaz Poignon, R., & Gozález Giménez, A. (2008). *La energía de hoy y mañana*. Madrid: s.e.
- Secretaría de Energía de la Nación. (2011). Recuperado el 24 de Abril de 2014, de Utilización de la Energía eléctrica: energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=1904
- SIG EOLICO. (2006). Recuperado el 2014, de Sistema de información Geográfico Mapa Eólico Nacional: <http://sigeolico.minplan.gob.ar/frameset.php>
- Wegley, H. (1980). *A Siting handbook for small wind energy conversion systems*. Springfield, USA: Batelle.
- windenergy7.com*. (2008). Recuperado el 2014, de <http://windenergy7.com/turbines/tag/net-metering/>