

## **RECURSO EÓLICO EN LAS COLORADAS, PROVINCIA DEL NEUQUÉN**

N. E. Acosta<sup>1</sup>, C. Palese, J. L. Lassig  
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue  
Buenos Aires 1400, C.P. 8300, Neuquén, Argentina, Tel. 0299-4490322  
nicoacosta\_22@hotmail.com; claudia.palese@fain.uncoma.edu.ar; jorge.lassig@fain.uncoma.edu.ar

*Recibido 08/08/16, aceptado 07/10/16*

**RESUMEN:** El objetivo de este trabajo es cuantificar el potencial eólico en la localidad de Las Coloradas y evaluar la posibilidad de instalar aerogeneradores. Los resultados se utilizarán para configurar el subsistema eólico del sistema híbrido eólico-diesel que se quiere instalar. Se utilizaron programas específicos para analizar el viento a escala regional y local. El estudio se plantea en varias etapas dada la imposibilidad de contar con datos medidos del lugar. Para valorar la producción energética se utilizaron aerogeneradores de baja potencia. Las velocidades medias anuales se estimaron a 30 metros y valores superiores a 5 m/s se detectaron en algunos lugares. Las direcciones más energéticas fueron del oeste. Dada la ubicación norte-sur de las turbinas eólicas se logró una alta eficiencia (> 99,6 %) en cada una. El factor de capacidad bruto fue bueno (28 %), indicando la viabilidad de una instalación de este tipo.

**Palabras clave:** recurso eólico, energía eólica producida, Las Coloradas, Neuquén.

### **INTRODUCCION**

En la estructura del Ente Provincial de Energía del Neuquén (EPEN) quedan sólo dos localidades aisladas del Sistema Interconectado Nacional (SIN), del Sistema Eléctrico Provincial (SEP) y abastecidas con centrales conformadas con generadores diesel. Una de éstas, Las Coloradas, es un Municipio de 3ª categoría con una población de 950 habitantes. La demanda eléctrica varía entre 290 kW en invierno y de 200 kW en verano (Sector de Energías Alternativas del EPEN, 2015, comunicación personal). El consumo de combustible es de 681.484 litros al año.

A fines de 2013 se instaló un sistema híbrido eólico-diesel en Chorriaca (Neuquén) que logra atender las necesidades eléctricas de su población las 24 horas del día. Lamentablemente, no se cuenta con datos de la producción de los AEGs ni del ahorro de combustible del sistema híbrido eólico-diesel de dicha localidad. El EPEN sugirió analizar la posibilidad de repetir la experiencia en Las Coloradas, puesto que el sistema híbrido eólico-diesel permite disminuir el consumo de combustible, las emisiones contaminantes de CO<sub>2</sub>. Además del beneficio económico se diversifica la matriz energética y se incrementa la garantía de suministro.

La valoración del recurso eólico se realiza a través de la confección de un atlas de viento que constituye un estudio de las características eólicas del lugar de interés. Contiene la descripción de las particularidades geofísicas de la zona, de las estaciones de medición del viento, un detallado análisis estadístico de la velocidad y dirección del viento y mapas de la velocidad media y la densidad de potencia eólica.

Para estimar la producción de energía eólica de un aerogenerador en un sitio dado es necesario conocer tanto la curva de potencia del aerogenerador como la función de densidad de probabilidad de la velocidad del viento a la altura del rotor (Troen y Petersen, 1989).

---

<sup>1</sup> Becario. “Becas Estímulo a las Vocaciones Científicas” del Consejo Interuniversitario Nacional (CIN).

También son necesarias otras características del aerogenerador como diámetro y altura del rotor y la curva del coeficiente de empuje. Estos datos son provistos por los fabricantes.

En un parque eólico con varios aerogeneradores hay una reducción de la producción de energía en cada uno causada por la interferencia entre máquinas vecinas, estas reducciones se llaman pérdidas por estela. La producción neta de energía considerando estas pérdidas se calcula en forma total u omnidireccional como también para cada uno de los sectores de dirección del viento.

El objetivo de este trabajo es cuantificar el potencial eólico en Las Coloradas ubicada en la Patagonia norte, a orillas del río Catán Lil y evaluar la posibilidad de instalar AEGs como etapa previa para modelizar el subsistema eólico de un sistema híbrido eólico-diesel aislado.

## METODOLOGÍA

### *Lugar de estudio*

Las Coloradas está ubicada al sudeste de la provincia del Neuquén a 320 km de la ciudad de Neuquén. Como no hay datos de viento medidos en el lugar se recurre a la construcción de mapas eólicos en escala regional. Si bien la región seleccionada ya había sido mapeada (Pedro y otros, 2006) con una resolución espacial horizontal de 1200 m, en este trabajo se mejora la resolución a 130 m para obtener una representación más precisa de las características del terreno y en consecuencia su efecto sobre el recurso eólico.

Una vez obtenido el mapa eólico regional, con los datos del viento estimados en la posición de Las Coloradas se establece un subdominio en el que se calcula la producción media anual de energía eléctrica de AEGs.

### *Mapeo eólico regional*

En este trabajo se emplea el programa ArgentinaMap, cerrado para el usuario, que es una actualización del software comercial WindMap™ desarrollado por Brower (1998). Es un sistema de información geográfica al que se le ha incorporado un modelo de flujo de aire dentro de la capa límite atmosférica. Es del tipo diagnóstico y representa en forma tridimensional la orografía, la rugosidad superficial y el viento. Describe la circulación en las capas bajas de la atmósfera que está conducida por el flujo de escala sinóptica. En Palese y Lassig (2013) se describen las características principales. El modelo satisface la ecuación de conservación de la masa (1) cuya expresión bajo condiciones estacionarias y fluido incompresible es:

$$\nabla \cdot V = 0 \quad (1)$$

El vector velocidad,  $V$ , tiene componentes  $u(x,y,z)$ ,  $v(x,y,z)$ ,  $w(x,y,z)$  en las direcciones Oeste a Este, Sur a Norte y hacia arriba, respectivamente.

En el dominio regional se incluye Las Coloradas y las estaciones de medición de vientos que se encuentran en cercanías de la misma, que son Junín de los Andes y paraje Villa Puente Picún Leufú. En la figura 1 (izq.) se observa la posición en la provincia del dominio regional y en la figura 1 (der.) la topografía de la zona. La topografía se obtuvo de la base de datos Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) del United State Geological Survey (USGS). Estos datos tienen 94 m (3 segundos de arco) de resolución espacial horizontal, 20 m de error en ambas direcciones horizontales y 16 m de error en la vertical. Las elevaciones varían entre 514 m y 2370 m que corresponden al Valle del Arroyo Santo Tomás y a la Sierra del Chachil, respectivamente. El mapa de topografía fue rectificado a la resolución espacial horizontal de 130 m.

Se utilizó una metodología indirecta para producir el mapa digital de la longitud de rugosidad ( $z_0$ ) media anual basada en datos satelitales del sensor ETM+/Landsat7 del 30/12/2000, 07/02/2001 y 08/12/2001 a las 11:30 hs. Las escenas fueron seleccionadas debido a la disponibilidad y ausencia de nubes. La definición del esquema de clasificación se basó en la necesidad de identificar en la imagen los 6 tipos de cobertura del suelo que se indican en la tabla 1. La imagen satelital se procesó mediante

una clasificación no supervisada de las bandas 3 (rojo: 630 – 690 nm), 4 (infrarrojo cercano: 780 – 900 nm) y 5 (infrarrojo de onda corta: 1550 – 1750 nm). Esta metodología tiende a identificar las clases espectrales presentes en la imagen basándose en la habilidad del sensor en detectar las firmas espectrales de los distintos tipos de cobertura y usos del suelo. Se utilizó un clasificador tipo cluster analysis, una clasificación amplia con 2,5 % de saturación, se eliminaron las clases menos significativas. Las clases espectrales se reclasificaron a los valores de  $z_0$  obtenidos de tablas (Spera, 1999; Stull, 1986). El mapa de rugosidad fue rectificado a la resolución espacial horizontal de 130 m. En la figura 2 se muestra el mapa digital en el que se aprecia que el mayor porcentaje de la superficie tiene baja rugosidad.

Descripción	Agua	Suelo desnudo	Escasa vegetación	Vegetación herbácea	Poblaciones	Árboles
$z_0$ (m)	0,0005	0,005	0,01	0,055	0,4	1,0

Tabla 1: Rugosidad superficial ( $z_0$ ) asignada a cada tipo de cobertura del suelo.

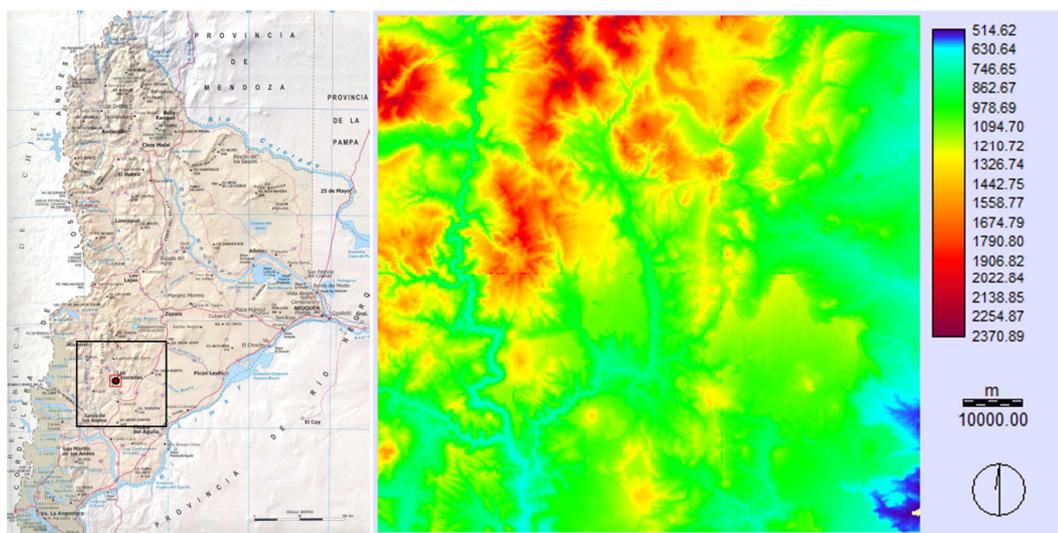


Figura 1: (izq.) Territorio provincial en el que se indica el dominio regional con un borde negro y el subdominio local con un borde rojo. (der.) Mapa digital de elevación, en m.

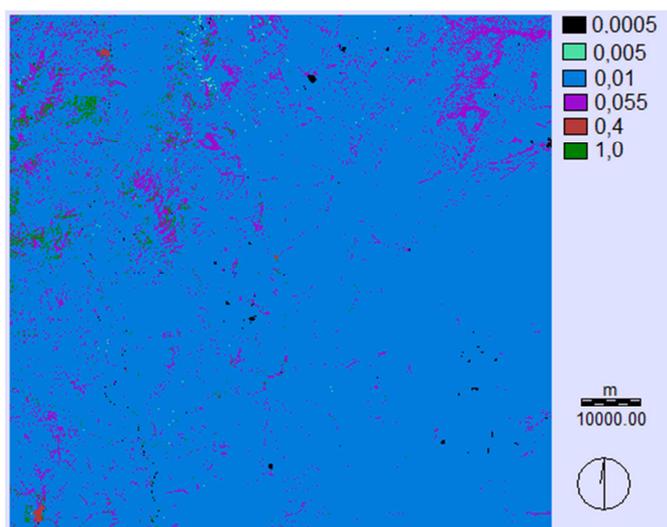


Figura 2: Mapa de la longitud de rugosidad aerodinámica superficial,  $z_0$ , en m del dominio regional.

La inicialización del modelo se efectuó con datos medidos de velocidad y dirección del viento a los que se los sometió a un estricto proceso de control de calidad, donde se analizaron para los períodos disponibles factores como registros válidos, registros perdidos, valores de velocidad y dirección dentro del rango climático esperado para la región de estudio. La base de datos de Junín de los Andes (JdIA) tiene datos medidos a 26 m sobre el nivel del suelo (sns) con una tasa de datos válidos del 83,88 %;

Villa Puente Picún Leufú Cerro (VPPL - C) tiene mediciones a 18 m sns con 92,73 % de datos válidos; y Villa Puente Picún Leufú Escuela (VPPL - E) con mediciones a 10 m sns tiene 94,25 % de datos válidos. La tabla 2 resume los valores medidos en las localidades.

	VPPL - E	VPPL - C	JdIA
Período	01-01-99 al 12/10/00	01-01-99 al 12/05/00	25/01/06 a 25/01/07
Altura de medición (m)	10	18	26
Velocidad media (m/s)	3,311	3,611	7,647
Weibull k	1,123	0,928	1,386
Weibull c (m/s)	3,457	3,496	8,364
Densidad de potencia media (W/m <sup>2</sup> )	112	141	690
Calmas (%)	0,23	1,11	2,83
Datos disponibles (%)	94,25	92,73	83,88

Tabla 2. Valores obtenidos de las estaciones de medición.

La velocidad y la dirección del viento de la atmósfera superior, viento geostrófico, se descargaron del sistema Global Data Assimilation System (GDAS/NOAA) y son derivados de un modelo atmosférico estimados cada 6 horas entre los años 2000 y 2004. Corresponden a las alturas de 1.488 m, 3.090 m y 5.730 m, son de una posición central y constantes para todo el dominio.

Las alturas de la capa de superficie (*zcs*) y de la capa límite atmosférica (*zcla*) fueron estimadas en forma local para la posición central del dominio y constantes a lo largo de este. El tope de la *zcla* se obtuvo directamente del sistema GDAS/NOAA. Se utilizó un período de 1 año con datos estimados cada 6 horas. La altura media anual resultó ser de 610 m. Del análisis de la distribución de frecuencias se observa que la extensión vertical es menor o igual a 1.500 m en el 90 % del período. Debido a que la altura de la *zcs* se define como el 10 % del espesor total, se utiliza el valor 150 m.

Los efectos de la velocidad del viento, de la rugosidad superficial y del flujo de calor combinados producen las características de la turbulencia cerca del suelo. La turbulencia atmosférica está descrita mediante las clases de estabilidad atmosférica a través de la longitud de estabilidad de Monin–Obukhov, *L*. En este trabajo *L* se obtuvo en forma indirecta (Moreira y Tirabassi, 2004) y resultó ser 324 m indicando que la estabilidad del tipo neutral es la de mayor frecuencia.

El programa utiliza una rosa de los vientos de *referencia* para todas las series de datos correspondientes tanto a mediciones de superficie como de altura y se utilizó VPPL - E. La densidad del aire se ajusta con la elevación considerando la distribución vertical de la temperatura de una atmósfera estándar. El campo inicial del viento surge de un promedio ponderado de los datos de superficie con una función del tipo de la inversa de un radio de influencia al cuadrado ( $1/r^2$ ). Este radio se fijó en 500 m (Potts et al., 2001). El número máximo de iteraciones se fijó en 10.000 y el residuo con el que finaliza el proceso iterativo se fijó en  $10^{-5} \text{ seg}^{-1}$ . En cada iteración el modelo ajusta el campo de viento de tal forma que la velocidad en cada estación tenga una diferencia de hasta 5 % (tolerancia) con respecto a los datos de superficie medidos. Se solicitó al programa que calcule el campo de viento final a 10 m, 20 m y 30 m sns.

Una vez obtenidos los resultados de la ejecución de ArgentinaMap se realizó un análisis del ajuste logrado por el modelo. Para ello se calcularon errores relativos y el coeficiente de determinación lineal,  $R^2$ , en forma direccional.

#### *Recurso eólico en Las Coloradas*

Para la estimación de la energía producida se utiliza Wind Atlas Analysis and Application Program que permite estimar la generación de cada turbina eólica en las diferentes direcciones. Es una herramienta de software que interpola en la horizontal y en la vertical las estadísticas del viento. Contiene varios modelos para describir el flujo del viento sobre los diferentes terrenos y obstáculos que se presentan en cercanía o en el sitio de emplazamiento de las máquinas. Cuando hay un cambio

de rugosidad en el terreno, utiliza un modelo que permite determinar el perfil del viento por encima de la capa límite antes y después de que el cambio la perturbe. Consta de cinco módulos: análisis de datos de viento; generación del atlas de viento; estimación del recurso eólico en el parque y sus alrededores; estimación de la energía producida por turbina; y estimación de la producción total del parque. Con los datos del coeficiente de empuje,  $C_t$ , determina la producción neta del conjunto considerando el efecto estela que producen turbinas entre sí en función de las direcciones del viento.

El subdominio (figura 1 (izq.)) comprende en la posición central a Las Coloradas y 9 km alrededor de la localidad. Sobre la base de los mapas desarrollados para el dominio regional se construyó en forma unificada el mapa digital geofísico del subdominio. La malla que abarca el subdominio con la que se calcula el recurso eólico se fijó en 351 nodos en  $x$  por 351 nodos en  $y$  que corresponden a un área de 17550 m x 17550 m. La resolución espacial horizontal es de 50m. El criterio de selección de esta resolución tuvo en cuenta que dentro de cada celda formada no puede haber más de una máquina.

En una primera aproximación al diseño del sistema híbrido se incorporaron 4 AEGs de 50 kW de potencia nominal, que corresponden al 100 % de la potencia instalada del generador diesel, siguiendo el ejemplo que está en funcionamiento en Chorriaca. A las turbinas se las colocó alineadas enfrentando la dirección del viento más frecuente y separadas más de 6 veces el diámetro del rotor para evitar las interferencias entre máquinas en las diferentes direcciones como se observa en la figura 3.

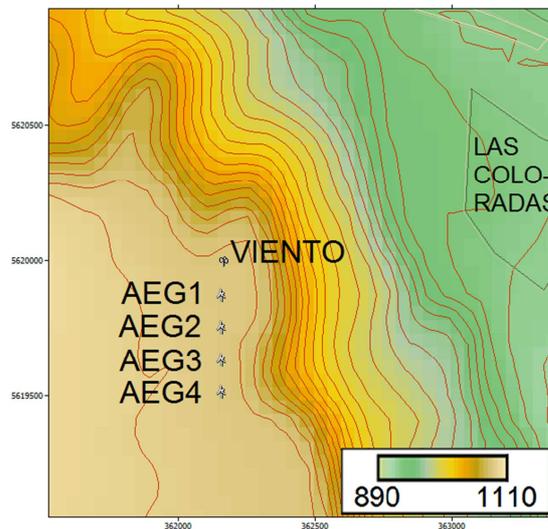


Figura 3: Mapa digital de elevación (sombreado en colores) con curvas de nivel cada 10 m (líneas rojas) y cambios de rugosidad superficial (líneas grises).

#### Estimación de la producción de los aerogeneradores

La potencia de una turbina,  $P$ , se puede determinar mediante la curva de potencia ( $P(v)$ ) del AEG entregada por el fabricante y la función de densidad de probabilidad ( $f(v)$ ) de la velocidad del viento a la altura del rotor con la siguiente expresión:

$$P = \int_0^{\infty} f(v) P(v) dv \quad (2)$$

La energía total se obtiene como la sumatoria de la energía de los doce sectores en que se discretizó la dirección del viento, calculada mediante la siguiente expresión:

$$E_{AEG} = \sum_{i=1}^{12} \int_{V_a}^{V_c} f_i(v, c, k) P_{AEG}(v) T_{periodo} dv \quad (3)$$

donde,  $E_{AEG}$  es la energía generada por el aerogenerador [Wh],  $V_a$  y  $V_c$  son las velocidades de arranque y de corte de los AEGs, respectivamente;  $f_i(v, c, k)$  es la función de densidad de probabilidad, a la altura del rotor, de la  $i$ -ésima dirección;  $P_{AEG}$  es la potencia entregada por el generador para cada velocidad de viento [W] o curva de potencia; y  $T_{periodo}$  son la cantidad de horas de viento en el periodo [h].

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

### Mapeo eólico regional

Los resultados del mapa eólico regional se han obtenido calibrando los parámetros de entrada en sucesivas ejecuciones hasta lograr una coherencia entre los datos medidos en JdlA, VPPL-E y VPPL-C y sus estimaciones. En la figura 4 (izq.) se observa que en VPPL – C el máximo error cometido es de 5 % en la dirección de 180°, en VPPL – E es 14 % 330° y 12 % en VdlA. Estos errores se producen en direcciones de muy baja frecuencia de ocurrencia. La figura 4 (der.) muestra el grado de ajuste entre las velocidades medidas y las calculadas. El coeficiente de determinación,  $R^2$ , supera en los tres casos 0,98.

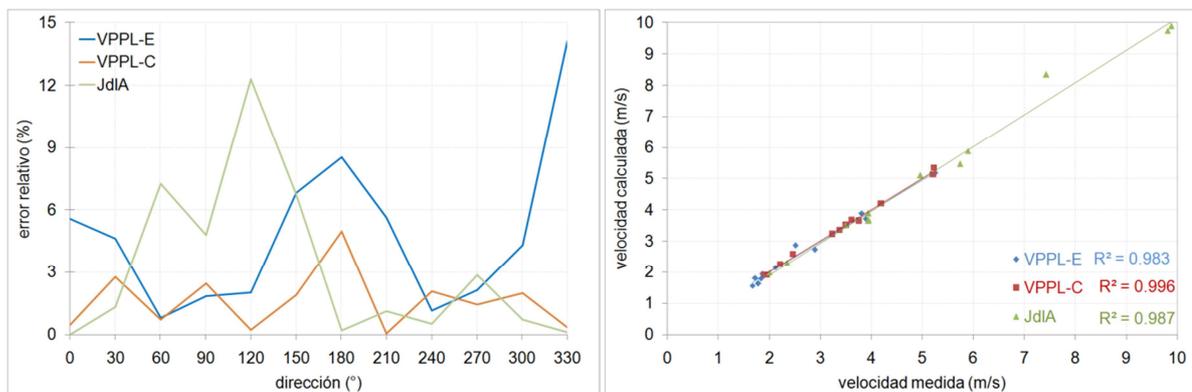


Figura 4: (izq.) Distribución direccional del error relativo porcentual cometido por el modelo. (der.) Ajuste lineal entre las velocidades medidas y calculadas de las 3 estaciones meteorológicas. Cada punto corresponde a la velocidad media según cada uno de los 12 sectores ( $c/30^\circ$ ) en que se discretizó la dirección del viento.

### Mapeo eólico local

Una vez obtenido el mapa eólico regional se estiman las características principales del viento en Las Coloradas que se muestran en la figura 4. Se observa en la distribución de frecuencias de la dirección del viento (figura 5 (izq.)) que los vientos provienen especialmente de los  $240^\circ$  y  $270^\circ$  suman casi el 50 % de las frecuencias. Es muy baja la ocurrencia de vientos de los sectores Norte y Sur. En la distribución de frecuencia de la velocidad (figura 5 (der.)) se observa que hay alta ocurrencia de velocidades menores o iguales a 4 m/s (53 %). Vientos mayores a 20 m/s se produjeron 1,6 % de las veces. La velocidad media anual a 10 m sns es 5,1 m/s, la densidad de potencia  $390 \text{ W/m}^2$ , los factores de la distribución de Weibull de escala y de forma son 1,08 y 5,2 m/s, respectivamente.

En la tabla 3 se presentan los valores direccionales en los que se observa que la dirección más frecuente ( $270^\circ$ ) también tiene la mayor velocidad media (6,39 m/s).

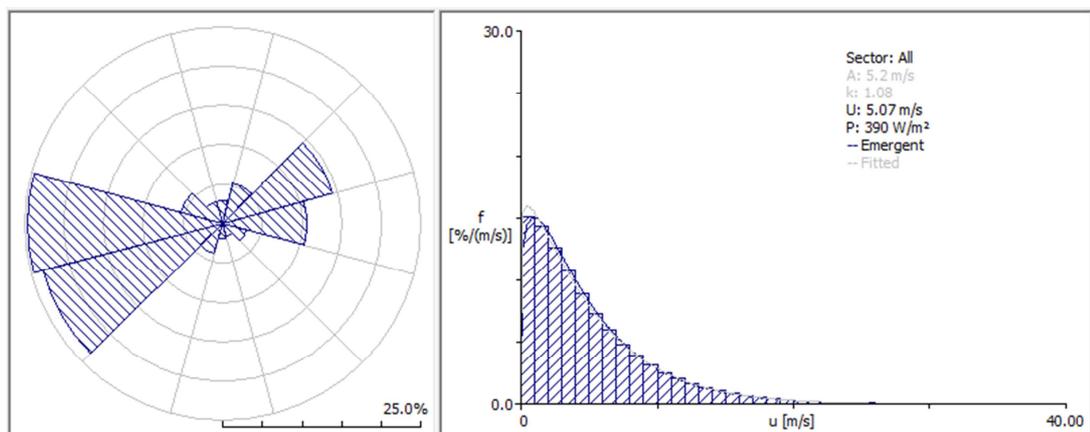


Figura 5: Estimaciones en la posición de Las Coloradas, a 10 m sns, (izq.) de la distribución de las direcciones del viento y (der.) distribución de la velocidad del viento general.

Sectores	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dirección [°]	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
f [%]	2,9	5,3	14,3	10,5	3,0	1,7	1,9	4,0	23,3	24,6	5,4	2,9
v [m/s]	4,01	4,02	3,68	3,96	2,58	2,78	2,90	3,77	6,12	6,39	5,69	5,24
k	1,15	1,14	1,22	1,21	1,25	1,23	1,18	1,11	1,08	1,32	1,17	1,12
c [m/s]	4,2	4,2	3,9	4,2	2,8	3,0	3,1	3,9	6,3	6,9	6,0	5,5

Tabla 3. Frecuencias relativas, velocidad media y parámetros de distribución de Weibull en la posición de Las Coloradas estimados a 10 m de altura. En celeste se resaltan los mínimos y en rosa los máximos.

La figura 6 muestra los campos medios anuales a 30 m de altura snm en el subdominio local de la velocidad, la densidad de potencia y de los parámetros de escala,  $c$ , y de forma,  $k$ , de la función de densidad de probabilidad de Weibull.

El valle del río Catan-Lil, donde se ubica Las Coloradas, y las zonas bajas tienen velocidades inferiores a 2,5 m/s. En las zonas más altas las velocidades superan 3,7 m/s. Como se observa en la figura 6 (b) los máximos ocurren en áreas de gran pendiente donde las velocidades superan 5,0 m/s. El grupo de los 4 AEGs se ubicaron a 1100 m snm y a menos de 1 km del centro de la localidad en el borde de una barda donde la pendiente es más suave y el viento supera 5,0 m/s.

La densidad de potencia (figura 6 (a)) a 30 m snm en la posición de los AEGs varía entre 450 y 480  $W/m^2$ . El factor de escala (figura 6 (c)) es de 5,9 m/s y el factor de forma (figura 6 (d)) es 1,12. Las posiciones de los máximos y mínimos de cada variable están fuertemente relacionados con la topografía del lugar.

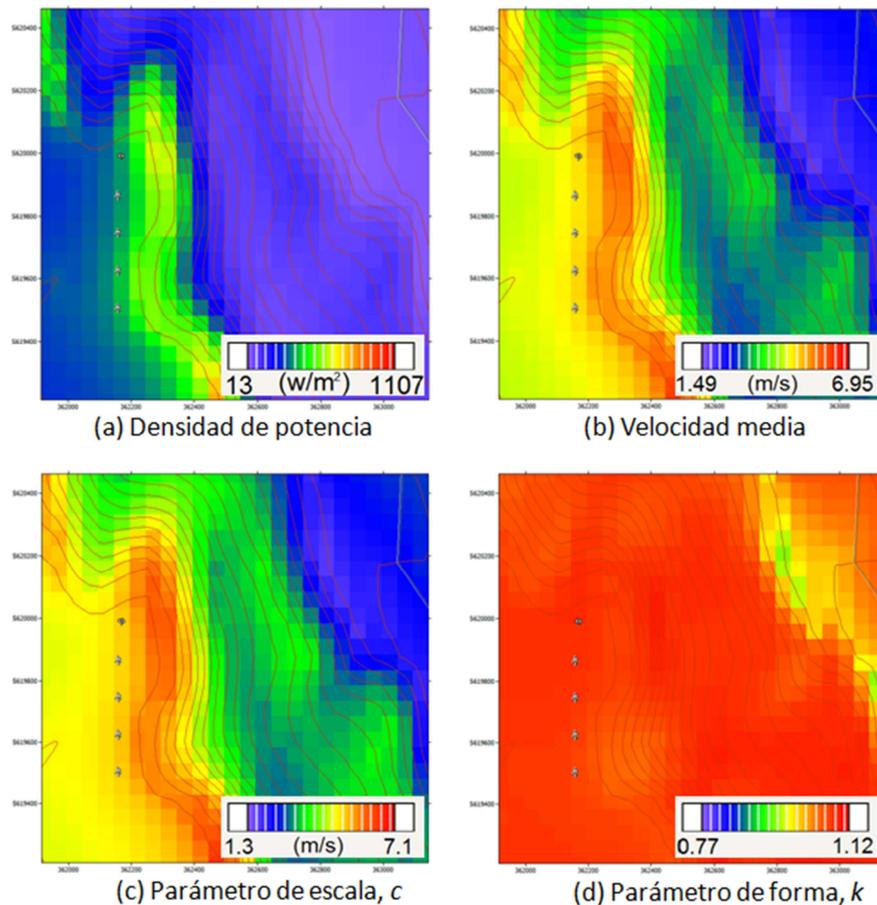


Figura 6: Campos medios anuales a 30 m de altura en una ampliación del subdominio local donde están ubicados los AEGs. Líneas rojas: topografía cada 10 m; líneas grises: rugosidad superficial.

### Estimación de la producción de los aerogeneradores

A modo de ejemplo y con la finalidad de estimar la producción de las 4 turbinas se utiliza una máquina de marca AEOLUS H-50kW que tiene un diámetro del rotor de 18 m, la altura del rotor es 30 m, la velocidad de arranque es 3 m/s y la velocidad de corte 20 m/s.

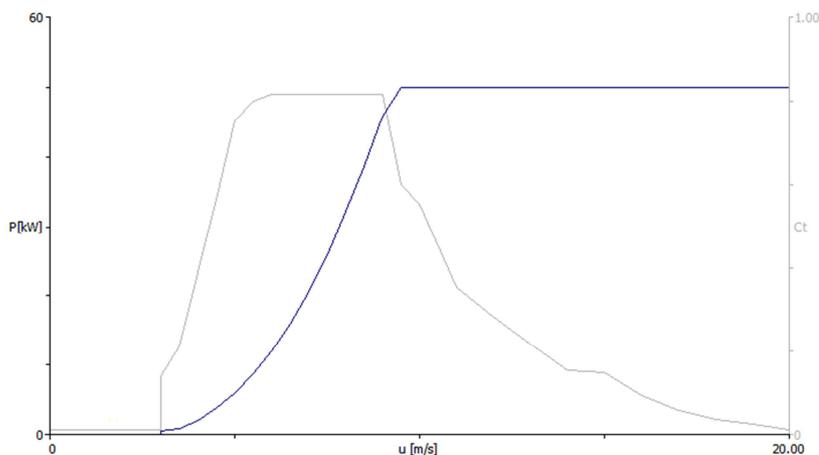


Figura 7: Curva de potencia y coeficiente de empuje,  $C_t$ , en función de la velocidad del viento.  
Fuente: Aeolos Wind Energy, Ltd.

La figura 7 muestra las curvas de potencia y del coeficiente de empuje,  $C_t$ , en función de la velocidad del viento. Estas curvas fueron provistas por el fabricante y se obtuvieron de ensayos hechos para una densidad del aire de  $1,225 \text{ kg/m}^3$ , según el informe que las acompaña y no se pueden corregir para otra densidad del aire.

Turbina	Energía producida Bruta [MWh]	Energía producida Neta [MWh]	Eficiencia [%]
<b>AEG1</b>	121,436	121,274	99,87
<b>AEG2</b>	121,784	121,323	99,62
<b>AEG3</b>	123,016	122,552	99,62
<b>AEG4</b>	121,715	121,356	99,71
<b>Total</b>	<b>487,950</b>	<b>486,505</b>	<b>99,70</b>

Tabla 4. Resumen de las energías bruta y neta producidas por los AEGs y su eficiencia.

Dirección [°]	AEG 1	AEG 2	AEG 3	AEG 4	Total todos los AEGs
<b>0</b>	2,591	1,997	1,782	1,926	8,296
<b>30</b>	4,828	4,475	4,512	4,917	18,732
<b>60</b>	10,627	10,593	11,602	12,342	45,163
<b>90</b>	9,575	10,192	10,200	9,150	39,116
<b>120</b>	1,364	1,379	1,237	1,045	5,025
<b>150</b>	0,622	0,577	0,473	0,413	2,085
<b>180</b>	0,703	0,611	0,557	0,703	2,574
<b>210</b>	4,234	3,923	3,888	4,180	16,224
<b>240</b>	32,019	31,468	33,096	35,568	132,151
<b>270</b>	41,655	43,230	43,327	40,181	168,393
<b>300</b>	9,326	9,338	8,690	7,953	35,306
<b>330</b>	3,731	3,540	3,189	2,980	13,440
<b>Total todas las direcciones</b>	<b>121,274</b>	<b>121,323</b>	<b>122,552</b>	<b>121,356</b>	<b>486,505</b>
<b>Fc bruto</b>					<b>0,28</b>

Tabla 5. Detalle direccional de la producción neta de energía (MWh) de cada uno de los 4 AEGs.

En la tabla 4 se presenta un resumen de la estimación de la energía producida por cada turbina eólica

en forma bruta y neta y la eficiencia de cada una debido a las pérdidas por estela. Para su cálculo se tuvo en cuenta la densidad del aire local de  $1,0953 \text{ kg/m}^3$ . En la tabla 5 se incorpora el detalle de la energía neta estimada por dirección del viento. Se observa que hay poca diferencia entre los AEGs en cada una de las direcciones. La máxima producción de energía proviene de los vientos del oeste que proporciona el 35 % de la energía anual. Si se agrupan los vientos de  $240^\circ$  y  $270^\circ$  totalizan el 62 % del total. Por otra parte, los vientos del este y noreste, de  $30^\circ$  a  $90^\circ$ , aportan el 21 % de la energía. Las direcciones  $150^\circ$  y  $180^\circ$  contribuyen con menos del 1 %.

El factor de capacidad bruto,  $F_c$ , que es el cociente entre la energía neta generada por las turbinas y la que se podría haber extraído con las mismas funcionando de manera continua a potencia nominal, es 0,28.

## CONCLUSIONES

Este trabajo constó de tres etapas: en la primera se elaboró un mapa eólico regional, a partir de datos medidos en Junín de los Andes, Villa Puente Picún Leufú Escuela y Villa Puente Picún Leufú Cerro, distantes 60 km de Las Coloradas. Esta etapa tuvo la finalidad de tener estimaciones de las características de la velocidad y dirección del viento, en distintas alturas, en Las Coloradas que es un sitio donde no hay ningún tipo de mediciones. Se eligió esta metodología porque la región presenta características de terreno complejo. Los resultados se consideran de adecuada calidad dado que el error general cometido es inferior al 5 % y el coeficiente de determinación mostró un ajuste lineal entre las velocidades medias efectivamente medidas y las calculadas. Las características del viento en el sitio se ajustan a lo esperado, los vientos más frecuentes y más intensos son los Oestes. La escasa ocurrencia de vientos del norte se debe a las características del terreno que presenta una barda en esa dirección, esta constituye una barrera a los vientos.

En la segunda etapa se elaboró el mapeo eólico local a 30 m de altura. Se observó, como era de esperar, una adecuada concordancia entre los aspectos geofísicos del terreno y la velocidad media. En las zonas bajas hay velocidades inferiores a 2,5 m/s, mientras que en las altas se superan 3,7 m/s. Los máximos, con velocidades mayores a 5,0 m/s, se producen en áreas de gran pendiente.

Finalmente, la tercera etapa consistió diseñar el parque eólico de 4 pequeños AEGs, ubicados próximos a la localidad, hacia el oeste, en un sitio bien expuesto a los vientos, que en ese lugar y a 30 m de altura superan 5,0 m/s, según los modelos utilizados. Por la forma de disposición de las máquinas a los vientos predominantes hay poca diferencia de la producción de energía entre ellos. Las direcciones más energéticas,  $240^\circ$  y  $270^\circ$ , constituyen el 62 % del total de la producción. Dada la forma topográfica del sitio los vientos provenientes desde  $30^\circ$  hasta  $90^\circ$ , aportan el 21 % de la energía.

Como la instalación de un subsistema eólico en Las Coloradas no tiene por objetivo la explotación del mismo a escala comercial, el factor de capacidad bruto hallado de 28 % indica la viabilidad de una planta de este tipo. La Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (CAMMESA) considera factores de capacidad buenos aquellos que se encuentran entre el 24 % y 30 % en grandes parques eólicos cuya finalidad es solamente su explotación comercial.

Los resultados encontrados muestran que el subsistema eólico podría incrementar la garantía de suministro de energía eléctrica a la población de Las Coloradas, especialmente cuando hay problemas en el abastecimiento de combustible para la central de generadores diesel existentes.

## REFERENCIAS

- Brower, M.C., (1999). Validation of the WindMap model and development of MesoMap. Actas Windpower 1999, American Wind Energy Association, Washington DC.
- Moreira, D. y Tirabassi, T. (2004). Modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera: um instrumento técnico para a gestão ambiental. Ambiente & Sociedade, 7, 2, 159-171.
- Palese, C. y Lassig, J.L. (2013). Determinación de vientos para la instalación de una antena parabólica de 35 m de diámetro, a partir de un programa de modelos de flujos de aire y datos de sensores

- remotos. *Mecánica Computacional*, 32, 529-547.
- Pedro G., Palese C., Lassig J. y Mattio H. (2006). Mapa eólico de la Provincia del Neuquén, *Revista HIDRORED Red Latinoamericana de Micro Hidroenergía*, 2, 03-11.
- Potts J.R., Pierson S.W., Maticen P.P., Harnel J.R. y Babau V.C. (2001). Wind energy resource assessment of western and central Massachusetts. *Actas American Institute of Aeronautics and Astronautics*, AIAA-2001-0060, 11pág.
- Spera, D.A. (editor) (1994). *Wind Turbine Technology*, ASME Press, New York, 393 pág.
- Stull, R. (1988). *An introduction on boundary-layer meteorology*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 666 pág.
- Troen, I. y E.L. Petersen (1989). *European Wind Atlas*. Risø National Laboratory, Roskilde. 656 p.

**ABSTRACT:** The aim of this study is to quantify the wind potential in Las Coloradas and to evaluate the possibility of installing wind turbines. The results will be used to configure the wind subsystem, which is a preliminary step to the design of the wind-diesel power system that is expected to install. Specific programs were used to analyze the wind at regional and local scales. The study was developed in various stages due to lack of measured data at the site. Low-power wind turbines were employed to evaluate the energy production. Annual average wind speeds were estimated at 30 meters and values above 5 m/s were detected at some places. The most energetic directions were the west ones. After having given a location north-south to the wind turbines, it was achieved high efficiency (> 99.6 %) in each of them. The capacity factor resulted good (28 %), which indicates that a facility of this type is feasible.

**Keywords:** wind resource, wind energy produced, Las Coloradas, Neuquén.