

## **ESTUDIO DE LOS VIENTOS DE LA PROVINCIA DE SAN LUIS PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA EÓLICO DE LA PROVINCIA Y LA FACTIBILIDAD DE LA INSTALACIÓN DE PARQUES EÓLICOS**

J.Follari (\*), D.Nazario(\*\*), R. Guaycochea; L.Odicino(\*), G.Hidalgo(\*\*), V. Estefanini (\*\*), G. Gomina(\*\*).  
(\*Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales (FCFMN), Universidad Nacional de San Luis (UNSL)  
Ejército de los Andes 950 - D5700HHW - San Luis - Argentina - TE +54 (2652) 423370 int 102.

email: [follari@unsl.edu.ar](mailto:follari@unsl.edu.ar) - [vnazario@fices.unsl.edu.ar](mailto:vnazario@fices.unsl.edu.ar)

(\*\*) Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico Sociales (FICES) – Universidad Nacional de San Luis (UNSL)  
Ruta 55 S/n (extremo norte) – CP:5730 – Villa Mercedes, San Luis - Argentina - TE +54 (2657) 434545 int 170.

**RESUMEN:** El presente trabajo presenta un estudio de la evaluación del recurso eólico en la provincia de San Luis, para la elaboración del mapa eólico. Se utilizan distintas herramientas de software para llevar a cabo el presente trabajo, así como datos de mediciones realizados en distintos puntos de la Provincia.

**Palabras clave:** Energía, mediciones de viento, mapa eólico, parque eólico, software.

### **INTRODUCCION**

La necesidad actual de energía debido al agotamiento de los combustibles fósiles, al aumento de la demanda energética, así como el cuidado del medio ambiente, nos impulsa cada día mas a la sustitución de los combustibles clásicos, por aquellos que no afecten el medio ambiente y que sean renovables.

La provincia de San Luis, hace una par de años está comprometida con el cuidado del medio ambiente y en la apertura a sustituir los combustibles fósiles por aquellos que nos permitan reducir la contaminación ambiental, ya que cuenta con un importante parque industrial el cual ha incrementado la demanda energética de una manera importante. La misma ha hecho inversiones en tendidos de líneas y construcción de sub estaciones transformadoras, lo que abre un panorama propicio para la instalación de energías alternativas.

La provincia cuenta con una población aproximada de 420.000 personas (de acuerdo al censo 2007 de la Dirección Provincial de Estadísticas y Censos de la Provincia de San Luis), lo cual para una superficie de 76.748 km<sup>2</sup>, con una densidad poblacional aproximada de 5.4 Hab/km<sup>2</sup>, representa un consumo eléctrico de 0.8% de la energía total consumida en el país (fuente: CAMMESA, Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico).

El presente trabajo tiene por objetivo el estudio de los vientos de la provincia de San Luis, para determinar el potencial eólico de la misma, y la posterior elaboración del mapa de vientos, punto inicial para estudiar la factibilidad de la instalación de una granja eólica.

Este trabajo representa el resultado de dos años de mediciones dentro del marco del grupo de investigación de la Universidad nacional de San Luis denominado “**Mapa Eólico de la Provincia de San Luis**”.

### **RELEVAMIENTO DEL RECURSO**

#### *a) Localización e instalación de los equipos de medición.*

Como punto inicial para la elaboración del mapa, se tomaron mediciones de campo en diferentes puntos de la provincia de San Luis, con un supuesto potencial para la generación de energía eólica, para lo que se utilizaron instrumentos homologados. Dichos puntos se pueden ver en la figura N°1.

En esta etapa se consideraron tres puntos estratégicos para efectuar las mediciones, de manera que se pudieran complementar con información de registros históricos existentes en la provincia, como lo son los provenientes de, estación meteorología de la V Brigada Aérea (Villa Reynolds), ubicada en las proximidades de la ciudad de Villa Mercedes y Aeropuerto de la Ciudad de San Luis.

Los puntos de medición, donde se instalaron las torres de medición, se pueden ver en la tabla N°1: El montaje de las torres se realizo entre julio y agosto del 2008, en un esfuerzo conjunto entre una empresa local SER BEEF y la Universidad Nacional de San Luis (figura N°2). Estas torres y equipamientos de medición son de propiedad de la empresa y en convenio con la Universidad Nacional de San Luis se compartieron los datos obtenidos.

LUGAR	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
PASO DE LAS CARRETAS	33° 23' 50,64" S	65° 54' 40,16" O	755 msn
ruta 7, KM 809	33° 21' 51,49" S	66° 33' 55,52" O	466 msn
SAN BERNARDO	33° 28' 21,69" S	66° 31' 24,35" O	453 msn

Tabla 1 Localización de instrumental de mediciones

Las estaciones constan de conjuntos NRG-Now XD con un Data Logger Global Water GL 500, con dos sensores anemométricos calibrados NRG Max#40, 2 medidores de dirección NRG #200P, ubicados a 28 m y 50 m de altura aproximadamente, montado sobre torre de acero reticulado de 10", bases, anclajes y sistema de izaje más una baliza reglamentaria a LED con suministro de 220 V, y como se menciono anteriormente los mismos cuentan con la homologación correspondiente. Los datos de las mediciones fueron recogidos periódicamente en conjunto con la empresa SER BEEF con la finalidad de ser procesados posteriormente, por el equipo de investigación.



Figura 1: Mapa con los puntos de medición y referencia, usados en la toma de datos.

a) Acondicionamiento de las mediciones de intensidad y dirección de viento.

Los datos correspondientes a las mediciones efectuadas por cada una tres estaciones totalizan una cantidad de 700.000 (una cada minuto) y los datos históricos correspondientes al aeropuerto de la ciudad de San Luis (33,16 de latitud sur y 66,21 de longitud oeste) corresponden al periodo 1 de enero del 95 hasta el 31 de diciembre del 2004, lo que representan 84.000 (una por hora) mediciones.

La información histórica obtenida de la estación meteorológica de Villa Reynolds (33,44 de latitud sur y 65,23 de longitud oeste) fueron 84.619 (una por hora) mediciones desde el 31 de diciembre del 1995 al 2004.

Los datos de las mediciones almacenadas en el data logger, se obtuvieron en formato Excel (extensión .xls), y se transformaron en archivos "dat" utilizando software "Surfer" de la empresa Golden Software a los efectos de evitar errores e inconsistencias en el proceso posterior de tratamiento, al utilizar el programa "WindoGrapher" ( figura N°3).



Figura 2: Instalación en la torre de anemómetro, medidor de dirección y data logger.

a) *Procesamiento de datos, metodología procedimental.*

El primer paso para el procesamiento de los datos es ingresar los valores obtenidos de los data logger, y procesados con el programa “Surfer” ,para darle formato correcto a los mismos, como por ejemplo los formatos de las fechas entre otros. Una vez procesados se genera un archivo de extensión (.dat), el cual contiene toda la información de las fechas, dirección e intensidad de los vientos. Posterior se procede al filtrando de probables errores, removiéndolos y reemplazándolos con datos generados estadísticamente mediante el análisis de los existentes y reprocesándolos para generar el atlas de vientos.

La opción “Configure Data Set” (figura N°4) permite observar las asignaciones que el software realiza en cuanto a los colores que saldrán las graficas y otras opciones, como así también los valores máximos y mínimos observados para cada canal. Esta pantalla es sumamente útil para detectar errores en las mediciones y tomar medidas correctivas antes de iniciar el procesamiento.

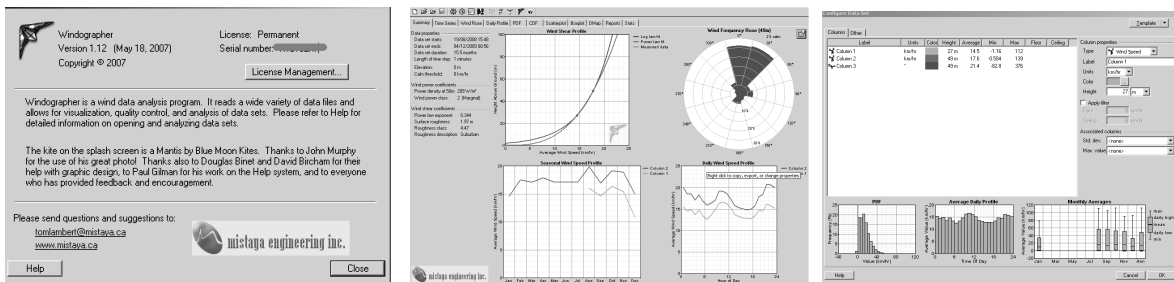


Figura 3: Vistas del software utilizado en el tratamiento de datos “Windographer”.

Las series de tiempo de los distintos sensores pueden graficarse en forma completa, como medias diarias, mensuales o anuales de acuerdo al requerimiento del usuario. En este caso, se muestran los promedios de viento registrados por los sensores A y B a 27 m y 49 m respectivamente.

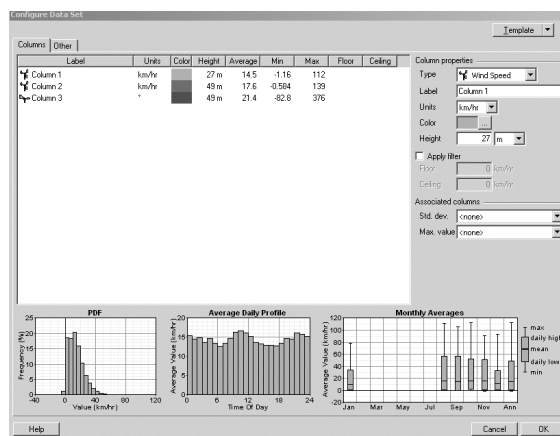


Figura 4: Configuración de los datos “Windographer”.

Los datos pueden analizarse estadísticamente utilizando diversas herramientas incluidas en el “Windographer” como el PDF (función de distribución de probabilidad) de una columna de datos. Se muestra la frecuencia con la cual la variante cae dentro del ámbito de 0 a 10 km/h es del 19 %, y de 10 a 15 km/h es el 21,5% del tiempo.

La etiqueta CDF exhibe la función acumulativa de distribución de uno o más columnas de datos. La función acumulativa de distribución representa la probabilidad que una variante resulte menor o igual para un valor en particular. En nuestro caso muestra que la velocidad del viento debajo de 20 km/h se produce cerca de 61% del tiempo, y debajo de 40 km/h cerca del 95% del tiempo. A su vez se calcula el Weibull. Las columnas 1 y 2, se refieren a los dos anemómetros, montados en la misma torre, como se ve en (figura N°5).

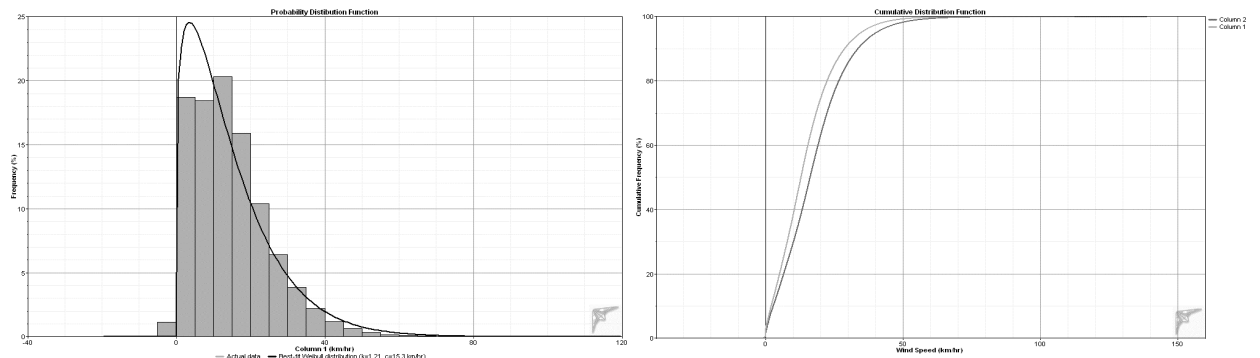


Figura 5: Configuración de los datos “Windographer”.

## RESULTADOS DE LAS MEDICIONES

### a) Resultado de la medición en Paso de las Carretas

Los datos tomados en la localidad de Paso de las Carretas (33° 23'50,64” Latitud sur, 65° 54'40,16” Longitud oeste), donde se puede observar en, figura N°6, un resumen estadístico de la velocidad de viento en función de la altura, rosa de los vientos, velocidad de viento en función de los meses del año, y velocidad de viento en función de la hora del día.

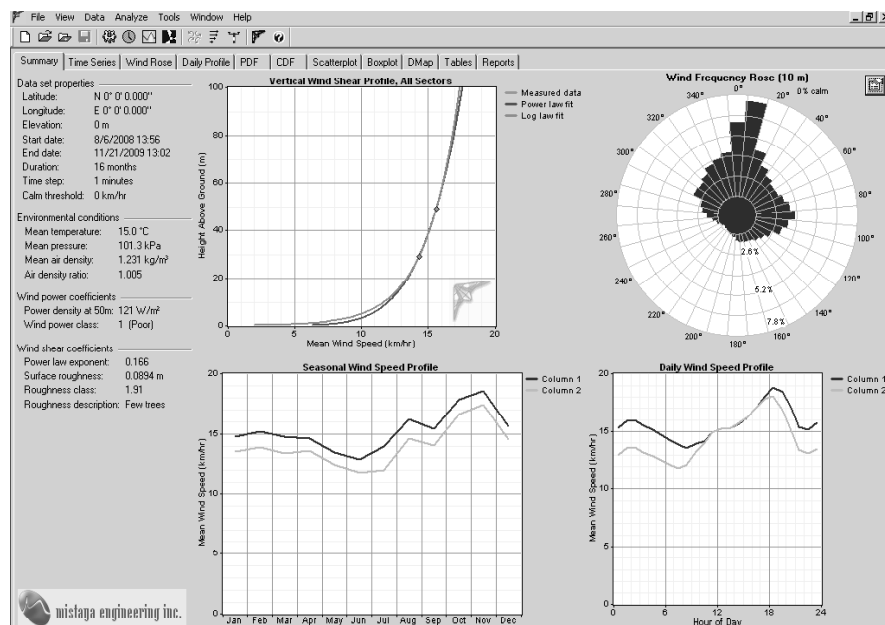
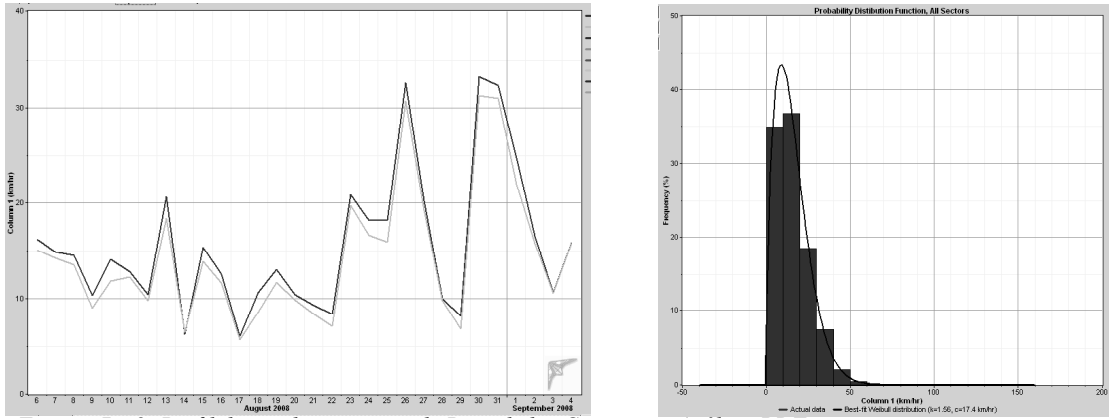


Figura 6: Sumario de los resultados de Paso de las Carretas, generado por “Windographer”.

En el perfil promedio diario no se observan grandes desviaciones sino los incrementos previsible con la altura y los meses de verano de vientos más intensos (figura N°7). El análisis de PDF (función de distribución de probabilidad) de una columna de datos. Se muestra la frecuencia con la cual la variante cae dentro del ámbito de 0 para 10 km./h para el 35%, y de 10 a 20 km./h el 37% del tiempo (figura N°8)..



Figuras 7 y 8: Perfil diario de vientos en de Paso de las Carretas y Análisis PDF.

b) Resultados medición Ruta 7.

En base a los datos tomados en la Ruta Nacional N°7 (33° 21'51.49" Latitud sur, 66° 33'55.52" Longitud oeste), y su posterior proceso con "Windographer", se puede observar, (Figura N°9), un resumen estadístico de la velocidad de viento en función de la altura, rosa de los vientos, velocidad de viento en función de los meses del año, y velocidad de viento en función de la hora del día.

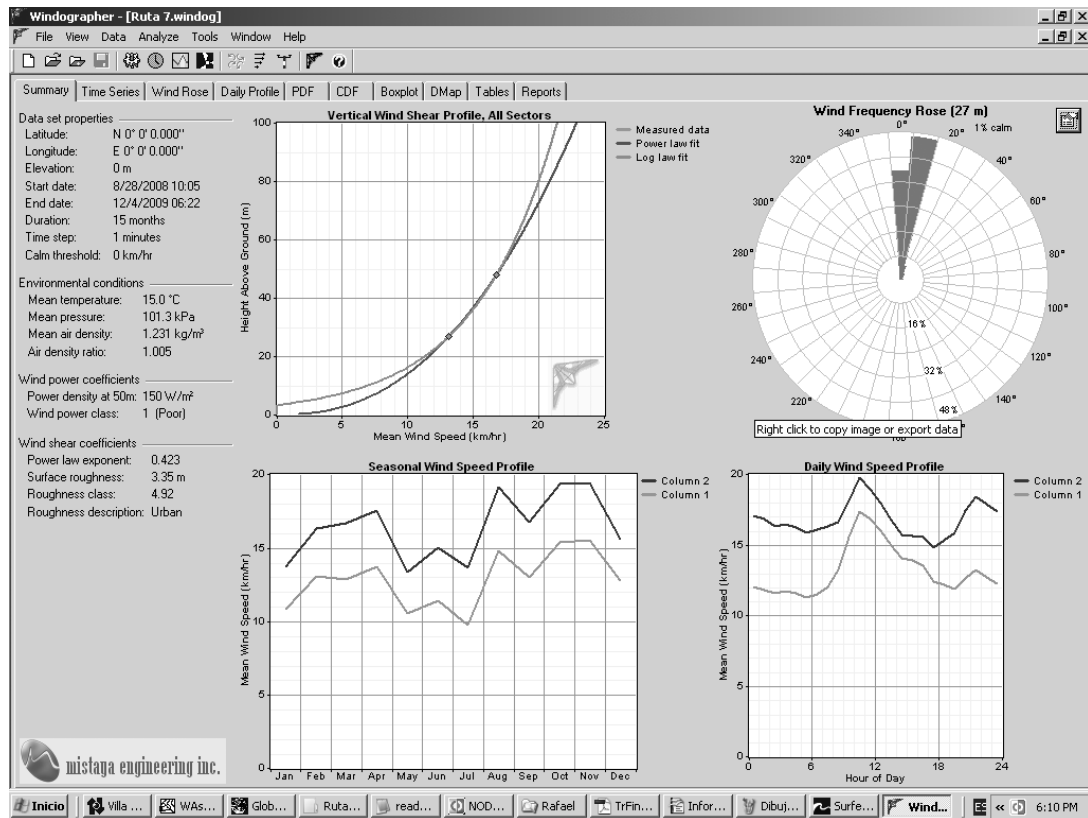


Figura 9: Sumario de los resultados de Ruta Nacional N°7, generado por "Windographer".

El perfil promedio diario muestra el aumento de la velocidad con respecto a la altura y las variaciones por estación (Figura N°10). El análisis del PDF (función de distribución de probabilidad) nos muestra probabilidades de 42% para vientos por debajo de los 10 km/h y de 47% por debajo de los 20 km/h. (Figura N°11).

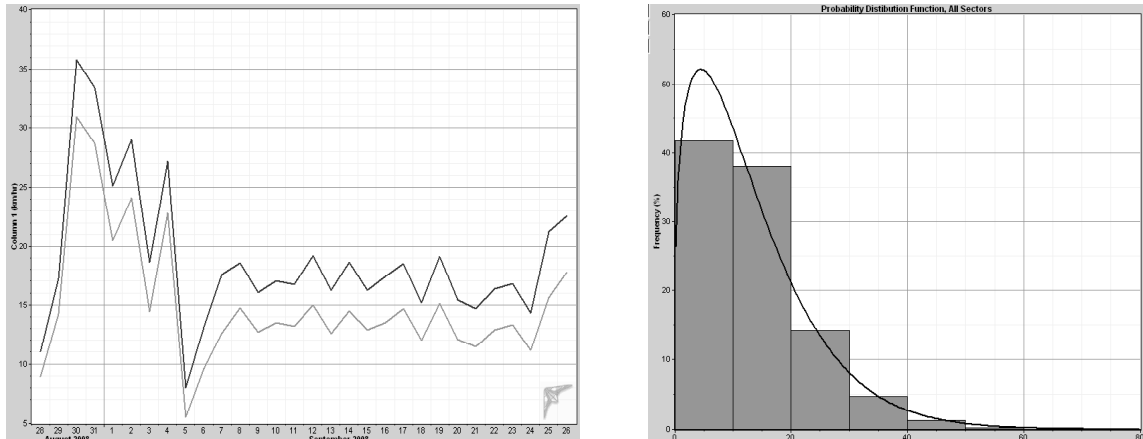


Figura 10 y 11: Perfil diario de vientos en Ruta Nacional N°7. y Análisis del PDF.

c) Resultados de la medición San Bernardo.

En base a los datos tomados en la localidad de San Bernardo (33° 28'21,69" Latitud sur, 66° 31'24,35" Longitud oeste ) y el tratamiento en "Windographer", como se ve en la (figura N°12), un resumen estadístico, como los expresados en puntos anteriores.

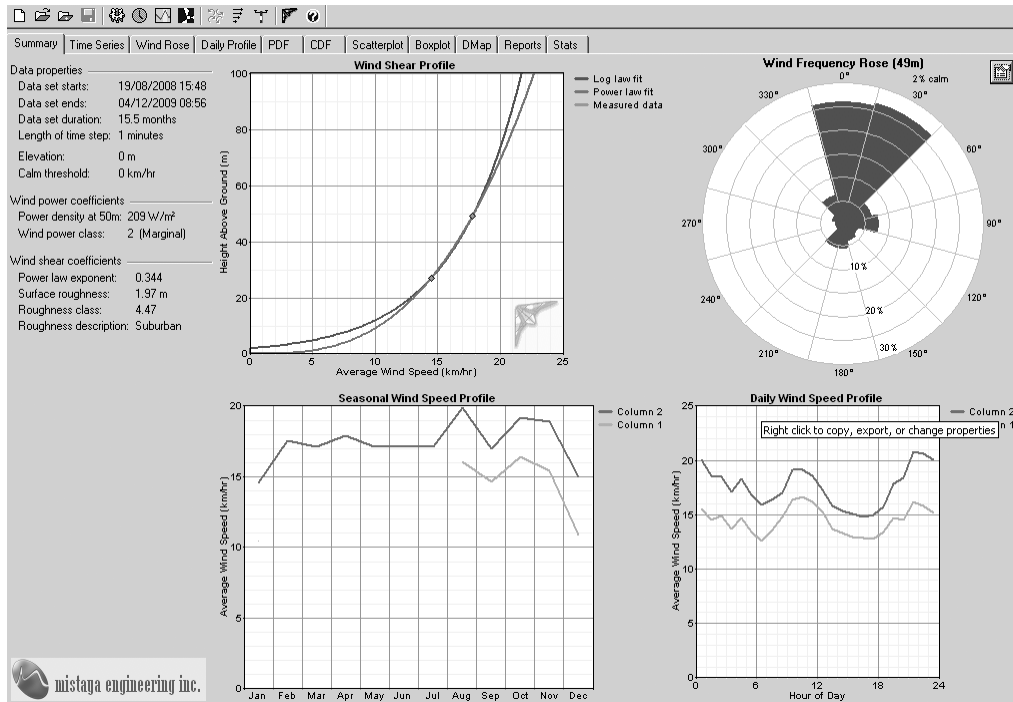


Figura 12: Sumario de los resultados de San Bernardo, generado por "Windographer".

En la (figura N°13) pueden observarse las medias diarias para los dos sensores de viento a las distintas alturas, no se observan grandes desviaciones sino los incrementos previsible con la altura y los meses de verano de vientos más intensos. En el análisis de función de distribución de probabilidad (PDF), como se puede ver en la (figura N°14) Se muestra la frecuencia con la cual la variante cae dentro del ámbito de 0 para 10 km/h para el 24,5 %, y de 10 a 20 km/h el 10% del tiempo.

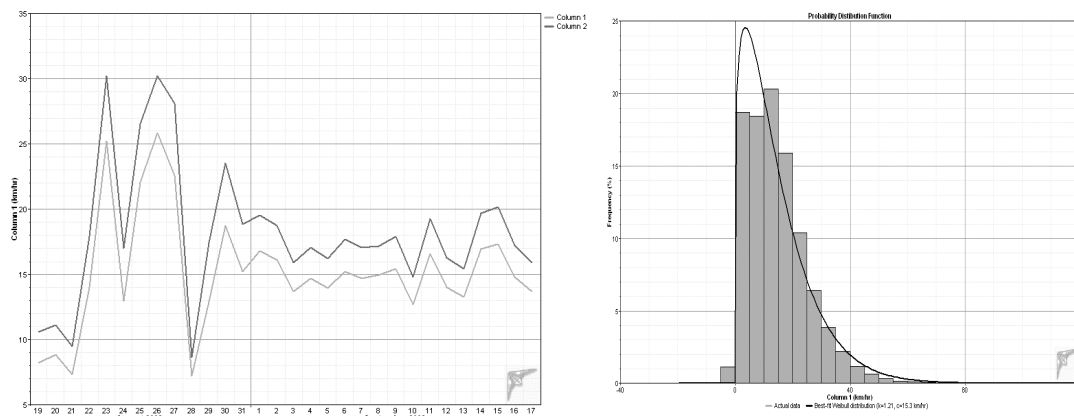


Figura 13 y 14: Perfil diario de vientos en San Bernardo. Análisis del PDF.

## CONCLUSIONES

La variación de la velocidad del viento con la altura se corresponde con lo esperado como así también las estimaciones de la rugosidad, para todas las estaciones estudiadas.

Los resultados de las mediciones correspondientes a la estación San Luis y Villa Reynolds (SL) no se indican pues se estudiaron en el trabajo presentado en ASADES 2008 (R. Guaycochea et Al, 2008).

El software utilizado arroja resultados coherentes lo que lo hace confiable.

Los valores de velocidad de viento en las estaciones de San Luis y Villa Mercedes (SL) coinciden dentro de los errores experimentales con los valores históricos medidos por el Servicio Meteorológico Nacional.

Dentro e las estaciones medidas, en las zonas serranas, existen valores de velocidad media anual de viento que están por encima de los 7 m/s. Esto implica que son zonas de interés para posteriores estudios de posibles granjas eólicas.

## REFERENCIAS

J. Follari; R. Guaycochea; D. Nazario; L. Odicino (2008) Análisis de Energía Eólica y de Rango Reescalado para el “El Amago” en la Provincia de San Luis. Averma. Vol 12., ISSN 0329-5184.

R. Guaycoches; D. Bianchi; D. Nazario Pedernera; V. Stefanini; F. Casentini; j. Follari; L. Odicino Comparación de Datos entre estaciones de Medición Eólica y el Mapa Eólico Argentino. Averma . Vol 12 ISSN 0329-5184.

**ABSTRACT** This work presents a study of wind resource assessment in the Province of San Luis, for the development of wind map. Using different software tools to carry out this work as well as measurement data made at different points in the Province.

**Keywords** Energy, Wind Measurements, Wind Map, Wind Farm, Software.