

“CUANTIFICACION DEL RECURSO EÓLICO EN LOS VARELA DPTO. AMBATO, CATAMARCA; Período: Abril/94-Marzo/95”⁽¹⁾

Recibido 28/Abr/97

Sequi J. R.*; Marchioli J. C.**; Herrera R.***; Rodriguez C.****; Fernandez A.*****;
Pereyra A.*****.

* Prof. Asociado. Cátedra Maquinaria Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias.

** Prof. Titular. Cátedra Física. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas.

*** Prof. Adjunto. Cátedra Física. Facultad de Ciencias de la Salud.

**** Jefe de Trabajos Prácticos. Cátedra Física I. Facultad de Ciencias Agrarias y CIITTEC.

***** Jefe de Trabajos Prácticos. Cátedra Física. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas.

***** Técnico de Apoyo. CIITTEC.

Unidad Ejecutora: Cátedra de Maquinaria Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Catamarca. Av. Belgrano y M. Quiroga. C.P.: 4700. San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca. Te.: (0833) 35955/35807/35808, Fax: 0054-0833-30504. Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología (CIITTEC). Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Catamarca. República 838. C.P.: 4700. San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca. Te: 0833-37585

Palabras Claves: Eólico, Los Varela, Ambato, Catamarca.

Key Word: Eolic, Los Varela, Ambato, Catamarca.

RESUMEN

La carencia de energía en Catamarca, obliga a buscar en las fuentes alternativas la posibilidad de satisfacer el consumo energético mínimos de los campesinos.

La escasa utilización de la energía eólica, se debe fundamentalmente a la falta de información respecto de su disponibilidad y distribución en la región.

Este trabajo describe el comportamiento del viento en Los Varela, primera localidad seleccionada para cuantificar el recurso en el valle central del Río Los Puestos (Dpto. Ambato). Los valores estadísticos y las conclusiones surgen de las mediciones realizadas en el período: Abril/94 hasta Marzo/95 inclusive. La velocidad del viento fue registrada y acumulada dando origen a una tabla de distribución con su respectivo histograma de frecuencia. Se analizan los principales estadísticos de posición y de dispersión, la dirección y las curvas características de: a) Velocidades clasificadas; b) Calmas clasificadas; c) Histograma de distribución de energía. Los valores de energía no son muy relevantes para grandes aprovechamientos, pero interesantes para eólicas lentas en pequeños aprovechamientos.

SUMMARY

The lack of energy in Catamarca made it necessary to seek alternative sources in order to satisfy the minimum consumption of the farmer's family.

The limited use of eolic energy is fundamentally due to the lack of knowledge of its availability and distribution in the region.

This work gives information about the wind's behavior in Los Varela, the first location selected for establish the wind's quantity in the central valley of Los Puestos River in Ambato. Statistics and conclusions are drawn from the measuring in the period: April/94 to March/95 included. The wind's speed was recoded to make a distribution table with the corresponding frequency histogram. The main statistics of central tendency and dispersion, wind direction and the characteristics curves of: a) Classified speeds; b) Classified calms; c) Histogram of energy distribution, were also analysed. The values of energy are not very important for large exploitation, but interesting for slow eolic machine in little exploitation.

(1): Financiado por la Universidad Nacional de Catamarca a través de la Secretaría de Ciencia y Tecnología (SEDECYT) y por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Provincia de Catamarca (SECYTCA)

INTRODUCCION

Por norma general, el extenso medio rural argentino presenta manifiestas carencias energéticas, muy especialmente en donde las actividades agropecuarias no juegan un rol importante como marco económico nacional o regional. A medida que nos alejamos de la pampa húmeda, salvo regiones bien delimitadas que conforman valles o bolsones fértiles, explotaciones mineras o polos industriales específicos, el resto presenta un escaso o nulo desarrollo energético.

La Provincia de Catamarca no escapa a esta norma, manifestando incluso una acentuación en la escasez de energía debida a una suma de factores adversos, que obligan a buscar nuevas formas de aprovechamiento a partir de fuentes alternativas no convencionales. En primer lugar no es una Provincia con capacidad para generar electricidad por medios hidráulicos, simplemente porque el agua es el recurso escaso en una región principalmente árida. De allí que prácticamente toda la energía eléctrica consumida proviene del sistema interconectado nacional. Solo existen unas pocas usinas térmicas localizadas en regiones alejadas de los centros de distribución de alta y media tensión y cuyo costo de funcionamiento encarece el producto más allá de las posibilidades de ingreso de los usuarios, obligando a políticas de subsidio y a sistemas de generación reducida.

Más del 75 % del territorio es montañoso, razón ésta que dificulta técnicamente el tendido de redes y aumenta considerablemente los costos de la inversión. La baja densidad poblacional, producto de grandes extensiones con escaso potencial económico y una ancestral ausencia de políticas de desarrollo, marginan toda aspiración de planes energéticos rurales, más cuando las políticas nacionales y provinciales vigentes convienen en transferir estos sistemas al sector privado.

Sin embargo, un rápido relevamiento de las necesidades energéticas de las familias campesinas, nos demuestra, que sus requerimientos son mínimos comparados con los consumos habituales de una familia tipo de ciudad. Y ellos pueden ser satisfechos por sistemas de generación eléctrica basados en tecnologías que aprovechan las fuentes naturales (eólica, solar, etc) y que, día a día, van adquiriendo mayor auge, incluso en países con excelente desarrollo energético.

Para una comunidad aislada o simplemente alejada de los centros urbanos, el hecho de poder contar con equipos de comunicación para casos de emergencia, o el simple hecho de disponer de iluminación, radio, televisión, pequeños refrigeradores para uso principalmente sanitarios, son medios que no siempre son valorados como reales expresiones del avance social y el mejoramiento de la calidad de vida en el ámbito rural. A partir de algunos de estos medios, se pueden propiciar programas de educación a distancia, programas de capacitación, entrenamiento y de asesoramiento técnico para pequeños productores, programas sanitarios, campañas de vacunación y tantas otras acciones que constituyen el diario vivir del hombre de ciudad.

Los sistemas de aprovechamiento solar para generación eléctrica, como el fotovoltaico, se están difundiendo masivamente en todo el ámbito provincial, particularmente para iluminación de escuelas y establecimientos sanitarios y para bombeo de agua. En cambio, el aprovechamiento del viento como fuente de energía, a pesar de ser utilizado por el hombre desde los tiempos más remotos, no está difundido, principalmente, por un desconocimiento generalizado del verdadero potencial que presenta tal recurso en toda la región catamarqueña.

La moderna tecnología desarrollada en materia de turbinas eólicas, tanto para pequeñas potencias como para medianos y

grandes aprovechamientos, además del conocido molino americano que brinda servicios en grandes extensiones de nuestras pampas, obligan a pensar con seriedad en la materia con vistas a sus posibilidades futuras.

Para ello es prioritario comenzar estudiando el recurso disponible: su potencial, su distribución geográfica, su distribución mensual, anual y su variación estacional, los períodos de calma, etc. Esta necesidad adquiere una mayor significación si tenemos en cuenta la pronunciada orografía de nuestro territorio, que genera un complicado sistema de "corredores" de viento que es necesario detectar, para luego evaluar sus características.

Cabe destacar que no existe información sobre el recurso eólico referida a la región del valle central de la Subcuenca del Río Los Puestos, razón por la cual los resultados y conclusiones de este trabajo no podrán ser comparadas con trabajos anteriores de otros autores.

La principal estación registradora de viento fue instalada en Los Varela, localidad enclavada en el centro-norte del valle central de la Subcuenca del Río Los Puestos, en el Departamento Ambato, Provincia de Catamarca, el cual se extiende entre los paralelos $27^{\circ} 54'$ y $28^{\circ} 03'$ de Latitud Sur y los meridianos $65^{\circ} 45'$ y $65^{\circ} 55'$ de Longitud Oeste. Se trata de un valle intermontano longitudinal, con orientación norte-sur, delimitado por las cumbres de la Sierra de Humaya al Oeste; las cumbres de Balcozna-Lampazo al Este y la divisoria que se constituye en los Altos de Singuil por el Norte (Báez, G. et al; 1993).

Según la cartografía planialtimétrica de la región (Leiva Mendez, D. et al; 1993), las alturas sobre el nivel del mar de los cordones montañosos varían entre 1.040 m hacia su límite Sur y los 2.278 m al Noroeste sobre la Sierra de Humaya.

Específicamente la estación se localizó en Los Varela, situada en las coordena-

nadas: $27^{\circ} 56'54''$ Latitud Sur y $65^{\circ} 52'06''$ Longitud Oeste. Una segunda estación se instaló posteriormente en la localidad de Colpes, a 15 Km al Sur de la primera y en las coordenadas: $28^{\circ} 03'48''$ Latitud Sur y $65^{\circ} 49'00''$ Longitud Oeste, a fin de contar con referencias de velocidad para evaluar el comportamiento y grado de uniformidad del viento en otro punto del valle.

Es Objetivo de este trabajo cuantificar la disponibilidad de viento y precisar sus principales características, a lo largo de un año de mediciones continuas y sistemáticas, en la localidad de Los Varela, ubicada en un punto estratégico del valle central de la Subcuenca del Río Los Puestos, en el Departamento Ambato, Provincia de Catamarca.

MATERIALES Y METODOS

La estación registradora utilizada en Los Varela es una Estación de medición de velocidad y dirección de viento modelo EVD-1B, marca BAPT, con microprocesador de 8 bytes, 2 Kbytes de memoria RAM y 8 Kbytes en EPROM para firmware. Trabaja con una tensión de alimentación de 6 voltios C.C. mostrando un consumo aproximado de 2 mA. Tiene una capacidad de almacenamiento de 90 días, pudiendo mantener la información almacenada por un período adicional de 90 días.

El sensor de dirección de viento es un modelo SD-1. El sensor de velocidad es un modelo SV-1, de tres copelas troncocónicas, de 50 mm de diámetro, con vértice semiesférico y ± 0.2 m/seg o 2 % de exactitud. Puede medir en un rango de 0 a 60 m/seg, con un umbral de funcionamiento menor a 0,4 m/seg y un radio de giro de 97 mm.

La estación que se instaló primeramente en Colpes, fue un modelo EV-1M, marca BAPT, de características similares al anterior pero sin sensor de dirección de

viento. El sensor de velocidad es un modelo SV-1 del tipo descrito anteriormente. Posteriormente esta estación fue reemplazada por una idéntica a la de Los Varela con sensor de dirección de viento incluido.

Los sensores se ubicaron a 10 metros de altura desde el nivel de piso, montados en una torre de hierro construida para tal propósito y sobre la cual también se montó, aislada convenientemente dentro de una caja metálica, la estación registradora.

En cada localización se cuidó que el terreno aledaño estuviera lo suficientemente despejado para evitar interferencias en las corrientes de aire.

Los valores registrados y almacenados en la memoria respectiva de cada estación se recolectaron aproximadamente cada 90 días, utilizando una computadora tipo LAPTOP, marca TOSHIBA T 1000 LE, para luego ser transferidos a una PC, IBM compatible, para ser procesados de acuerdo con los programas informáticos seleccionados para el trabajo.

Los pulsos emitidos por el anemómetro son contabilizados en un contador autónomo que presenta internamente la unidad registradora y cada minuto los transforma en velocidad de viento (en metros por segundo), con un decimal de aproximación. Este valor obtenido se transfiere a un display y se almacena en un registro. Al cabo de una hora, el procesador calcula el promedio ponderado con los valores promedios de cálculo y el valor obtenido se cuantifica en una determinada "clase diaria", que se almacena en el registro correspondiente al día y hora en curso.

Se obtiene así una matriz de 24 valores de velocidad de viento, que corresponden respectivamente a cada una de las 24 horas del día, lo que permite luego proceder a cualquier análisis estadístico de los datos.

A partir de esta información se confeccionaron las respectivas tablas de fre-

cuencia de velocidad de viento para cada uno de los meses comprendidos en el estudio y la tabla resumen anual, agrupando los datos en rangos de 1 m/seg de amplitud. Para los meses mas representativos, en cuanto a máxima y mínima disponibilidad de viento, como así también para la evaluación anual, se determinaron los estadísticos de posición mas importantes: media, mediana y modo y los valores característicos de dispersión: Varianza y Desviación estándar. Las operaciones estadísticas fueron realizadas directamente utilizando un diseño en planilla electrónica con QPRO 2.0. Posteriormente el análisis de varianza fue realizado utilizando el paquete estadístico de SPSS.

Con esta información se procedió a trazar, para los períodos referenciados, las respectivas curvas o histogramas de frecuencia y las curvas características (Le Gourrieres Desire. pag: 21-28; 1983) de:

- a) **Velocidades clasificadas:** que permite precisar la fracción de tiempo mensual o anual en que el viento supera una velocidad dada.
- b) **Calmas clasificadas:** que nos permite visualizar el número de períodos en los cuales la velocidad se mantuvo por debajo de 3 m/seg. y 5 m/seg. respectivamente.
- c) **Histograma de distribución de energía** para el período considerado (Kwh/m^2).

RESULTADOS Y DISCUSION.

Por tratarse de un Departamento con regiones diferenciadas que constituyen principalmente tres Subcuencas principales, se hizo necesario definir un "corredor" un tanto representativo dentro de una de las mencionadas Subcuencas, entre aquellos que mostraran buenas perspectivas de utilización. Todo esto obligado por la falta de equipos registradores en cantidad sufi-

ciente para tomar simultáneamente en consideración y análisis un espectro mas amplio. En trabajos posteriores se estudiarán otros puntos interesantes de las restantes subcuencas.

El equipo de trabajo recorrió en casi toda su extensión el Departamento, haciendo mediciones de velocidad de viento con anemómetros manuales y recopilando información a partir de la población rural en referencia a los lugares que, por simple observación, significaran áreas con vientos importantes.

Analizando esta información se pudo diferenciar entre las regiones de altura, prácticamente despobladas, que podrían disponer de viento en cantidad suficiente para la instalación de granjas eólicas y los valles y bolsones, con mayor asentamiento poblacional, donde el recurso puede usarse mas concretamente a nivel de fincas, ya sea para generar electricidad o bien para bombeo de agua con molinos.

Por la prioridad que tiene el desarrollo económico del valle de la subcuenca del Río Los Puestos y por estar ejecutándose un proyecto de envergadura dentro del área, relacionado con el Manejo Integral de los Recursos Naturales para frenar los graves efectos erosivos que están llevando a la colmatación del Dique Pirquitas, se decidió medir, en una primera etapa, las características del viento a lo largo de este corredor.

Se tomó la velocidad de viento como variable de estudio, pues a partir de ella se puede calcular la energía disponible, parámetro este de fundamental importancia al momento de decidir la posibilidad de aprovechamiento efectivo. En primer lugar se evalúa las características que presentó el viento durante el período comprendido entre el 01/04/94 hasta el 31/03/95 inclusive, a partir de los valores de velocidad obtenidos en la Estación de Los Varela. Estos valores fueron registrados cada

hora y durante todo el período considerado (8.496 horas), salvo los días perdidos en los meses de Septiembre y Diciembre.

La estación de Los Varela, luego de un período de ajuste y prueba, comenzó a operar efectivamente a partir del 1° de Abril de 1994. Salvo pequeños inconvenientes que se presentaron en los meses de Septiembre y Diciembre, donde, por un error en la reprogramación, se perdieron los datos correspondientes a 8 días y 3 días de registro respectivamente, el resto del período anual considerado se desarrolló con total normalidad.

La estación de Colpes, en cambio, tuvo diferentes fallas a lo largo de todo el período. Los datos comenzaron a registrarse a partir del 1° de Julio de 1994 debiendo interrumpirse al comienzo de Septiembre. Luego de reparada y reinstalada siguió con problemas hasta que se decidió instalar una Estación nueva, igual a la que opera en Los Varela.

Los datos se ordenaron por cada mes en particular y en forma "ascendente", partiendo desde cero hasta el valor máximo registrado, pues en la condición que se obtienen de la memoria EPROM de la estación registradora es difícil realizar cualquier estudio. A fin de favorecer el tratamiento estadístico, los valores ordenados debieron agruparse en intervalos de clase, adoptándose un rango de una amplitud de 1 m/seg para facilitar el análisis.

Los valores totales para cada rango del período anual corresponde a la suma de los valores mensuales registrados para ese rango.

La Tabla N° 1 muestra la suma total de veces que se presentaron, a lo largo de todo el año de estudio, valores de velocidad comprendidos dentro del correspondiente rango (Frecuencia Absoluta) y el valor proporcional de tal frecuencia con respecto al total de valores registrados (Frecuencia relativa).

Tabla N° 1: Distribución Anual de Frecuencia de Viento Localidad: Los Varela. Período: Abril/94-Marzo/95.

Rango	Frecuencia	F. Relativa	F. Acumul.	F.R. Acumul.	M. de Clase	Media	Varianza
0,00-0,99	800	0,09	800	0,09	0,5	400,00	5519,42
1,00-1,99	941	0,11	1741	0,20	1,5	1411,50	2489,87
2,00-2,99	2473	0,29	4214	0,50	2,5	6182,50	971,12
3,00-3,99	2056	0,24	6270	0,74	3,5	7196,00	286,59
4,00-4,99	1211	0,14	7481	0,88	4,5	5449,50	2284,06
5,00-5,99	734	0,09	8215	0,97	5,5	4037,00	4134,48
6,00-6,99	224	0,03	8439	0,99	6,5	1456,00	2549,01
7,00-7,99	53	0,01	8492	1,00	7,5	397,50	1013,69
8,00-8,99	4	0,00	8496	1,00	8,5	34,00	115,49
	8496	1,00				3,13	2,28

Media = 3,13 m/seg.
Modo = 3,01 m/seg.

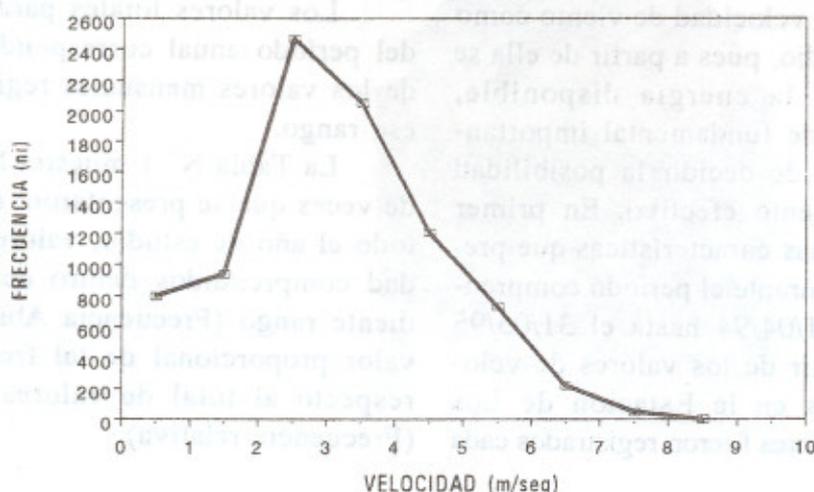
Mediana = 4,01 m/seg.
Desv. Est = 1,51 m/seg.

Del análisis de los datos surge que los valores de velocidad de viento mas frecuentes son los comprendidos en el rango de 2 a 2,99 m/seg (2.473), lo que representa un 29 % respecto del total de datos registrados. Igualmente significativo resultó la cantidad de veces que se observaron velocidades comprendidas en el rango de 3 a 3,99 m/seg (2.056), es decir un 24 % sobre el total. Por encima de los 5 m/seg no se registran frecuencias importantes (13 %).

Este agrupamiento mayoritario de los valores de velocidad dentro del intervalo que va desde los 2 m/seg a los 5 m/seg queda también reflejado en el valor que arroja la media aritmética (3,13 m/seg) y el valor modal (3,01 m/seg) que representa el valor mas frecuente de la serie de datos registrados durante todo el período considerado.

El Gráfico N° 1 muestra el Histograma de Distribución de Frecuencia de velo-

Gráfico N° 1: Distribución Anual de Frecuencia. Los Varela. Abril 1994-Marzo 1995



cidas y el correspondiente Polígono de Frecuencias Absolutas resultante de la unión de los puntos medios de cada intervalo (Marca de Clase). Es fácil deducir del mismo que el 67 % de los datos se agrupan dentro del rango de velocidades comprendido entre los 2 m/seg y los 5 m/seg. Correlacionando el Gráfico N° 1 con la Tabla N° 1 podemos ver también que el 20 % de los valores registrados están por debajo de los 2 m/seg, valor éste considerado "no aprovechable".

También puede observarse que existe uniformidad en la velocidad, por la poca dispersión que muestran los valores respecto de la media. Una Varianza de 2,28 m/seg y por consiguiente una Desv. Estándar de 1,51 m/seg a lo largo de todo el año no es nada importante.

En razón de que las máquinas eólicas por lo general comienzan a funcionar por encima de los 2 m/seg (eólicas lentas), es importante conocer la cantidad de horas anuales que presentan una velocidad superior a este valor. Esto se puede visualizar en el Gráfico N° 2 donde se muestra la Curva Anual de Velocidades Clasificadas.

Como cada valor de velocidad registrado corresponde al promedio horario, la suma de registros es equivalente al número de horas del período. En nuestro caso

se consideran las 8.472 horas efectivamente registradas, sobre un total de 8.760 horas del año. De estas, 6.755 horas (aprox. un 80 %), registraron vientos con velocidades aptas (mas de 2 m/seg) para el funcionamiento de una máquina lenta. Solamente 1.741 horas, equivalentes a 72 días y medio, la máquina no hubiera funcionado. Esto siempre hay que relacionarlo con los períodos de calma puesto que no hay una continuidad en la cantidad de horas con velocidades por debajo del valor referenciado.

Igualmente surge que muy pocas horas (1.015) registran velocidades de viento por encima de los 5 m/seg, velocidad considerada límite inferior para el arranque de las denominadas máquinas eólicas rápidas.

Cuando la velocidad se hace inferior al valor mínimo de arranque de una turbina, se ingresa en un "período de calma", dentro del cual no se puede generar energía o bombear agua según sea el aprovechamiento. Determinar la cantidad de "períodos de calma" que se presentan en el mes o durante el año y diferenciado en "horas de duración", para una determinada velocidad seleccionada, es muy importante para diseñar los sistemas de acumulación energética.

Gráfico N° 2: Curva Anual de Velocidades Clasificadas. Los Varela. Abril/94-Marzo/95

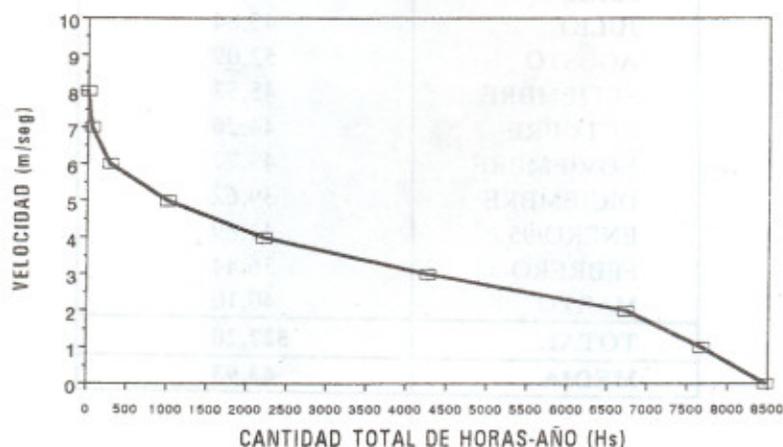
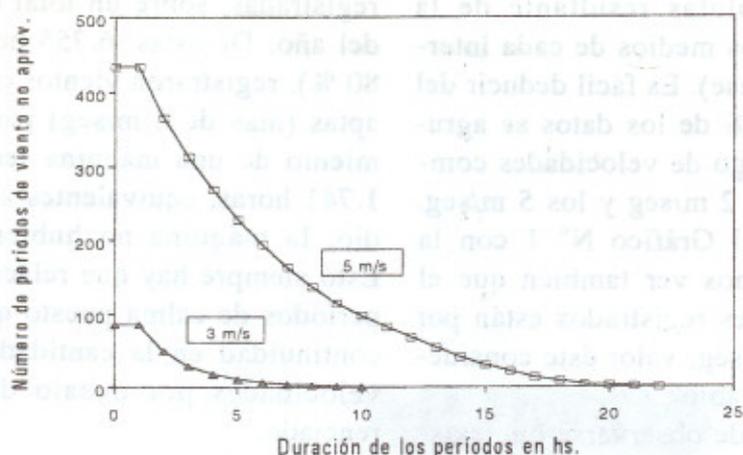


Gráfico N° 3: Calmas Clasificadas. Los Varela, Dpto. Ambato. Marzo/95



El Gráfico N° 3 muestra las curvas correspondientes a los períodos de calma para un límite inferior de velocidad de 3 m/seg y de 5 m/seg, para el mes de Marzo/95, por ser el mes donde se registraron los valores mas bajos de ocurrencia de viento en todo el año.

La suma total de energía anual disponible es de 527,20 Kwh/m², valor éste muy pobre desde el punto de vista de sus posibilidades de aprovechamiento en emprendimientos de importancia.

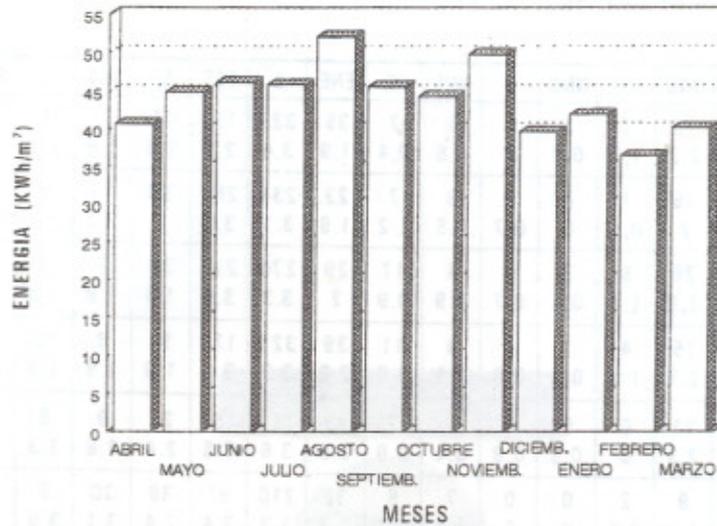
Para los meses de Septiembre y Diciembre que sufrieron el inconveniente de perder parte de sus registros, los totales se ajustaron en función de su media mensual. El Gráfico N° 4 muestra la distribución de energía, pudiéndose observar la uniformidad de los valores para todo el período.

Como se dijo anteriormente, la estación automática ubicada en Los Varela dispone de un sensor para registrar la dirección del viento en forma simultánea con la velocidad.

Tabla N° 2: Valores de Energía disponible para cada mes del Período Anual en Estudio

MESES	ENERGIA (Kwh/m ²)
ABRIL/94	40,63
MAYO	44,86
JUNIO	46,17
JULIO	45,84
AGOSTO	52,09
SETIEMBRE	45,53
OCTUBRE	44,26
NOVIEMBRE	49,77
DICIEMBRE	39,62
ENERO/95	41,89
FEBRERO	36,44
MARZO	40,10
TOTAL	527,20
MEDIA	43,93

Gráfico N° 4: Distribución Mensual de la Energía.



Cada 22,5° se ha fijado una dirección razón por la cual se pueden registrar 16 distintas direcciones, a saber: Norte (N), Nor-noreste (NNE), Noreste (NE), Este-Noreste (ENE), Este (E), Este-Sureste (ESE), Sudeste (SE), Sur-Sudeste (SSE), Sur(S), Sur-Sudoeste (SSO), Sudoeste (SO), Oeste-Sudoeste (OSO), Oeste (O), Oeste-Noroeste (ONO), Noroeste (NO), Norte-Noroeste (NNO).

La Tabla N° 3 muestra, para cada mes del período en estudio, la cantidad de ocurrencias en que se registró una dirección en particular y la velocidad promedio que tuvo el viento en esa dirección. También muestra los totales registrados para el período, el análisis porcentual de ocurrencias y los valores de velocidad promedio anual en relación con cada dirección.

Desde Abril hasta Octubre inclusive, hay un marcado predominio de vientos del cuadrante Este-Este Sud Este (E-ESE). En promedio, aproximadamente un 66 % de los registros de dirección están concentrados en estas direcciones. Sin embargo, se nota un descenso paulatino de estos porcentajes a medida que transcurren los meses, partiendo de un 74 % en Abril hasta llegar al 50 % en Octubre. Salvo en Mayo

y Junio, donde los valores de ocurrencia se equiparan, en el resto, los registros de ocurrencia del Este son mas del doble que los del ESE.

En el mismo período, de acuerdo con el número de ocurrencias, le siguen en importancia los vientos provenientes del Oeste, con variaciones hacia el ONO y OSO. Sin embargo los registros no superan, en promedio, el 11 % sobre el total. Es de notar que las velocidades promedios mas altas se registran también en estas direcciones (Este y Oeste), siendo en varios meses superiores las velocidades del viento proveniente del Oeste (Tabla N° 3 y Gráfico N° 5).

En el mes de Noviembre, hay una rotación del viento mas hacia el sector Noreste, concentrando entre el Norte y el Este (N; NNE; NE; ENE y E) el 78 % de los registros. En este mes se registran también los valores de velocidad promedio más elevados y siempre en relación al Sur: 4,9 m/s (SSE); 3,4 m/seg (S); 3,9 m/seg (SO).

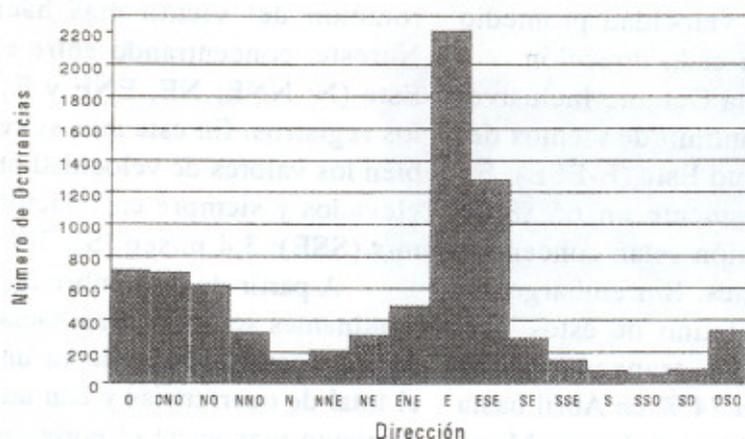
A partir de Diciembre los vientos predominantes se concentran hacia el oeste-noroeste, aproximadamente en un 65 % sobre el total de ocurrencias y con un leve desplazamiento mas hacia el norte en Marzo.

Tabla N° 3: Ocurrencias y Velocidades promedio según la Dirección del Viento.

Período: Abril/94-Marzo/95. Los Varela

Mes	Dirección	O	ONO	NO	NNO	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	Total
ABRIL	ocurrencia	64	10	3	2	1	6	7	35	336	174	19	11	4	2	2	12	688
	vel. prom.	3,7	2,2	1,2	0,7	0	0,6	0,4	1,9	3,4	2,9	1,5	1,6	1,7	1	0,3	2,2	
MAYO	ocurrencia	71	15	1	0	2	3	7	23	234	267	38	13	5	5	9	25	718
	vel. prom.	3	2	0,5	0	0,7	0,5	1,2	1,9	3,1	3,3	2	2,3	1,3	0,8	0,9	1,6	
JUNIO	ocurrencia	51	26	8	3	2	4	17	29	276	215	38	9	7	2	4	11	702
	vel. prom.	3,3	2,9	1,7	0,6	0,7	0,9	0,9	2	3,3	3,5	1,5	1,8	1,3	1,4	1	2,4	
JULIO	ocurrencia	95	15	4	1	4	4	11	39	321	119	16	8	10	3	5	41	696
	vel. prom.	3,8	2,7	1,9	0,2	0,8	2,1	0,9	2,2	3,3	3,4	1,9	1,8	1,3	0,5	0,9	2,5	
AGOSTO	ocurrencia	58	11	0	5	4	4	7	39	344	152	21	9	6	10	3	17	690
	vel. prom.	3,9	2,3	0	0,3	0,8	0,4	0,9	2,5	3,6	3,6	2,4	1,8	1,3	1,1	2,2	2,3	
SEPTIEM.	ocurrencia	34	9	2	0	0	7	8	32	210	97	39	30	3	4	9	17	501
	vel. prom.	3,3	1,3	0,8	0	0	1,4	1,1	2,4	3,3	3,4	2,4	3,1	3,9	1	1,1	1,5	
OCTUBRE	ocurrencia	57	14	1	5	4	8	26	88	258	97	25	29	10	6	15	62	705
	vel. prom.	3,3	2	0,7	0,9	1,3	1,2	2	2,6	3,3	3,2	1,9	1,2	2,1	2	1,2	2,9	
NOVIEMB.	ocurrencia	4	3	14	11	28	70	147	165	141	21	12	12	23	19	15	19	704
	vel. prom.	1,2	0,6	2,4	2,5	2,7	2,9	3,1	3,4	3,3	2	2,2	4,9	3,4	2,3	3,9	2,8	
DICIEMB.	ocurrencia	56	170	96	38	29	59	59	9	29	27	20	9	5	9	7	16	638
	vel. prom.	2,4	3,1	3,1	2,2	2,9	2,7	2,9	1,9	4	3,5	2,2	2,8	1,3	1,8	1	1,5	
ENERO/95	ocurrencia	168	196	83	15	16	9	5	22	30	25	8	7	4	6	18	95	707
	vel. prom.	3,1	3,2	2,3	1,4	1,8	0,9	0,8	2,5	3,8	2,1	1	1,4	0,9	0,8	1,6	3,1	
FEBRERO	ocurrencia	43	160	185	59	30	20	6	8	26	47	15	11	8	4	6	16	644
	vel. prom.	2,5	2,9	3	2,4	1,7	1,4	2,2	2,4	2,7	3,9	2	1,4	2,1	0,9	1,2	2,1	
MARZO	ocurrencia	17	77	228	189	31	22	13	7	9	45	43	9	4	1	1	9	705
	vel. prom.	1,2	2,4	3	3,2	1,7	1,8	2,1	1,9	1,9	3,4	2,8	1,5	1	0	0,2	0,8	
Total	Ocurrencia	718	706	625	328	151	216	313	496	2214	1286	294	157	89	71	94	340	8098
Porcent.	Ocurrencia	8,87	8,72	7,72	4,05	1,86	2,67	3,87	6,12	27,34	15,88	3,63	1,94	1,10	0,88	1,16	4,2	100
Veloc. Prom. Anual		2,9	2,3	1,7	1,2	1,3	1,4	1,5	2,3	3,3	3,2	2,0	2,2	1,8	1,1	1,3	2,1	***

Gráfico N° 5: Cantidad de Ocurrencias para cada dirección. Localidad: Los Varela. Abril/94-Marzo/95



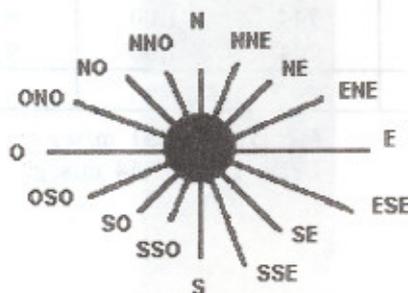
En el Valle Central de Catamarca, que es una continuación hacia el Sur del valle del Río Los Puestos, la dirección predominante es del Noreste (NE). La explicación que tendría esta rotación del viento hacia el Este en Los Varela estaría dada por la influencia que ejercen los cordones de Los Altos de Singuil y de Balcozna, puesto que la distancia que media entre el primero y la ubicación de la estación es de escasamente 7 Km. Por otra parte, el valle se estrecha a unos 10 Km hacia el sur de la estación, lo cual ejerce una cierta contención del viento que provoca un disturbio en toda esa longitud. Otro efecto que se puede comprobar es el denominado "viento orográfico". Como producto de una radiación solar elevada en esa región, hay un calentamiento de las laderas de las Sierras de Humaya (ubicadas al Oeste del valle), en la primera mitad del día, que

genera una cierta depresión originando una corriente de aire en dirección aproximadamente Este-Oeste. En la segunda mitad del día, el sol calienta las laderas de las Sierras de Balcozna (al Este del valle), por lo que se genera una corriente en sentido inverso al anterior, aunque menos acentuado.

Cuando los vientos normales del Norte y Noroeste son suaves o no hay viento y durante los meses mas fríos del año, donde la influencia de la radiación acentúa la diferencia térmica entre una ladera y otra, la influencia del viento orográfico es mayor. Sin embargo, una sola estación y solamente un año de mediciones no es suficiente para definir las razones y características definitivas de la dirección del viento.

El Gráfico N° 6 muestra el vector representativo de la velocidad promedio anual, según las distintas direcciones con-

Gráfico N° 6: Velocidad de viento promedio anual según dirección



Escala: 1 m/s

sideradas. Vemos como las mayores velocidades se registran del sector: E y ESE o bien hacia el Oeste.

Comparando los registros de dirección de Los Varela con Colpes, para el mes de Marzo de 1995, que es el mes en que esta última comenzó a operar con sensor de dirección (Gráfico N° 7), encontramos

que en ambas, el viento proviene del sector Norte, con un pequeño giro desde una predominancia Noroeste en Los Varela a Norte-Noroeste en Colpes. Es decir que, por ubicarse unos 5 Km mas al sur del estrechamiento del valle, el viento vuelve a sufrir una modificación en la dirección. Sin embargo, los efectos podrán estudiar-

se con mayor detalle cuando se tenga simultáneamente un año completo de mediciones en ambas estaciones.

El mes mas ventoso fue Agosto, cuyos valores de registro se pueden observar en la Tabla N° 4 y su correspondiente curva de distribución de frecuencia (Gráfico N° 8).

Como vemos, se presenta, en general, una situación similar a la analizada para todo el año de estudio, aunque la media se eleva a 3,42 m/seg, no representa una variación significativa en cuanto a velocidad

aprovechable. La Desv. Estándar de 1,54 m/seg, es muy similar a la Desv. anual.

El 69 % de los registros corresponde a velocidades comprendidas entre los 2 m/seg y los 4,99 m/seg, (solo un 2 % más que el valor anual) siendo los valores comprendidos entre los 3 y 3,99 m/seg los que mas aumentaron (3 %). En correspondencia, un 14 % de los valores de velocidad no fueron aprovechables (menores a 2 m/seg) en relación al 20 % que muestra el período anual.

Tabla N° 4: Distribución de Frecuencia de Viento. Localidad: Los Varela. Período: Agosto/94

Rango	Frecuencia	F. Relativa	F. Acumul.	F.R. Acumul.	M. de Clase	Media	Varianza
0,00-0,99	52	0,07	52	0,07	0,5	26,00	442,36
1,00-1,99	55	0,07	107	0,14	1,5	82,50	202,05
2,00-2,99	203	0,27	310	0,42	2,5	507,50	170,58
3,00-3,99	202	0,27	512	0,69	3,5	707,00	1,40
4,00-4,99	111	0,15	623	0,84	4,5	499,50	130,27
5,00-5,99	74	0,10	697	0,94	5,5	407,00	321,18
6,00-6,99	40	0,05	737	0,99	6,5	260,00	380,28
7,00-7,99	7	0,01	744	1,00	7,5	52,50	116,72
8,00-8,99	0	-	744	1,00	8,5	0,00	0,00
9,00-9,99	0	-	744	1,00	9,5	0,00	0,00
	744	1,00				3,42	2,37

Media = 3,42 m/seg
Modo = 2,98 m/seg.

Mediana = 3,31 m/seg.
Desv. Est = 1,54 m/seg.

Gráfico N° 7: Dirección de Viento. Comparación Colpes-Los Varela. Marzo 1995

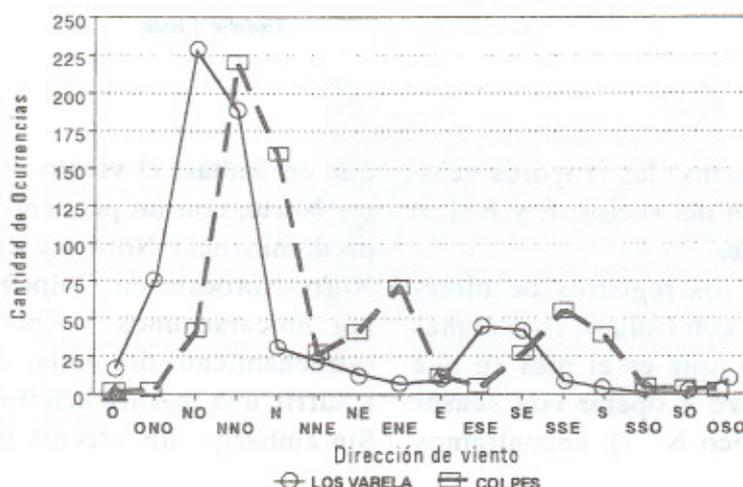
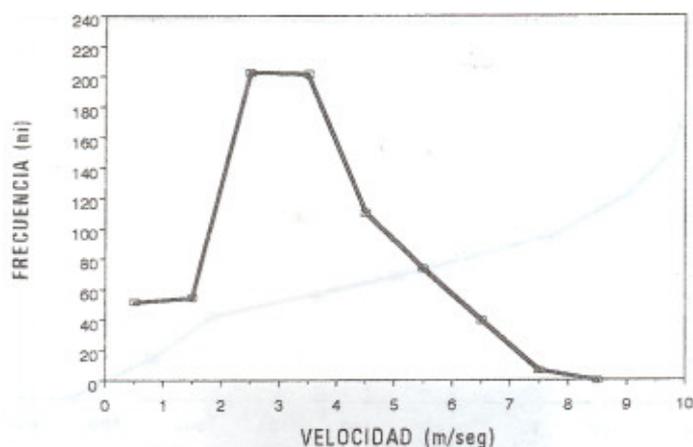


Gráfico N° 8: Distribución de Frecuencia. Los Varela. Agosto 1994



A pesar de ser el mes con mayor disponibilidad de viento, solamente un 16 % de los registros fue superior a 5 m/seg, lo que indica también las pocas chances de funcionamiento de las turbinas rápidas.

También se puede observar que la curva de velocidades clasificadas (Gráfico N° 9), muestra similitud con la curva correspondiente al período anual. Sobre un total posible de funcionamiento mensual de 744 hs, 107 hs (aproximadamente 4 días y medio), no hubiera funcionado una turbina lenta (siempre teniendo en cuenta que estas

horas, en la realidad, se reparten por períodos de calma de una determinada duración).

En oposición a Agosto, el mes de Marzo se presentó como el de menor disponibilidad de viento. Este mes es el que debe ser analizado respecto de los períodos de calma por ser el que menor posibilidades energéticas tiene y por lo tanto es pertinente esperar que disponga de los períodos de calma más largos y en proporción mayor que el resto del año. Este análisis fue realizado en la primera parte del presente trabajo, a partir del Gráfico N° 3.

Tabla N° 5: Distribución de Frecuencia de Viento. Localidad: Colpes. Período: Agosto/94

Rango	Frecuencia	F. Relativa	F. Acumul.	F.R. Acumul.	M. de Clase	Media	Varianza
0,00-0,99	9	0,01	9	0,01	0,5	4,50	189,62
1,00-1,99	31	0,04	40	0,05	1,5	46,50	399,54
2,00-2,99	43	0,06	83	0,11	2,5	107,50	288,46
3,00-3,99	94	0,13	177	0,24	3,5	329,00	237,66
4,00-4,99	179	0,24	356	0,48	4,5	805,50	62,32
5,00-5,99	180	0,24	536	0,72	5,5	990,00	30,25
6,00-6,99	110	0,15	646	0,87	6,5	715,00	218,67
7,00-7,99	56	0,08	702	0,94	7,5	420,00	325,24
8,00-8,99	32	0,04	734	0,99	8,5	272,00	372,09
9,00-9,99	8	0,01	742	1,00	9,5	76,00	155,58
10,00-10,99	2	0,00	744	1,00	10,5	21,00	58,54
	744	1,00				5,09	3,14

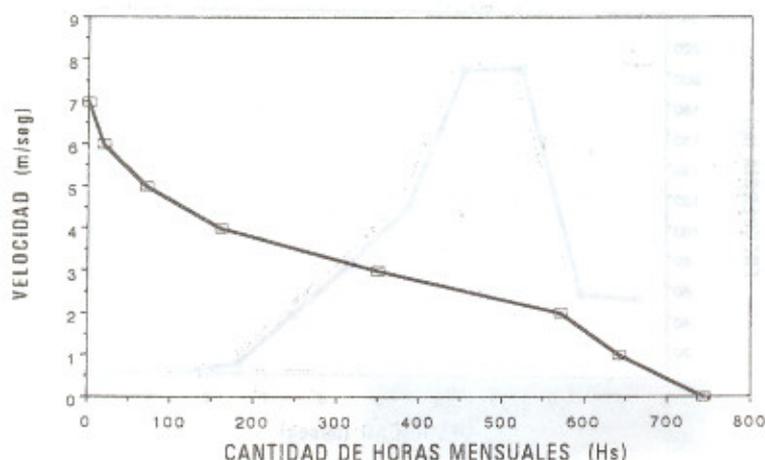
Media = 5,09 m/seg.

Modo = 5,01 m/seg.

Mediana = 5,09 m/seg.

Desv. Est = 1,77 m/seg.

Gráfico N° 9: Curva de Velocidades Clasificadas. Los Varela. Marzo 1995



Todo este análisis realizado para la estación de Los Varela, no se pudo hacer para Colpes, en razón de las dificultades que se presentaron para obtener los datos de velocidad de viento. Sin embargo, con los meses que pudieron ser rescatados, su pudo establecer algunas comparaciones entre ambas estaciones sirviendo de referencia para estimar que Colpes presenta características interesantes. En efecto, Colpes registra valores de velocidad mas elevados que Los Varela (Tabla N° 5). Las Curvas de Distribución de Frecuencia (Gráfico N° 10), muestran una conformación muy similar para ambas estaciones, pero

Colpes aumenta el valor de velocidad media en 1,70 m/seg (3,31 contra 5,09).

Características similares se presentan entre las dos estaciones cuando se comparan los meses de Julio/94, Marzo/95 y Abril/95, que son los meses en los cuales se tienen datos completos de ambas (Tabla N° 6).

Mientras en Los Varela el 86 % de los registros se concentra por encima de los 2 m/seg, en Colpes lo hace el 95 % de los registros. Igualmente podemos observar que cuando en Los Varela solo el 16 % de los registros supera los 5 m/seg, en Colpes, este valor se eleva al 52 %. Esto

Gráfico N° 10: Distribución de Frecuencia. Colpes-Los Varela. Agosto 1994

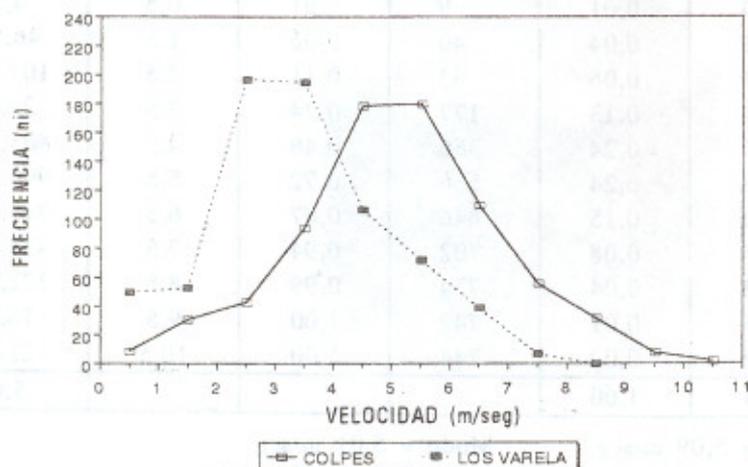
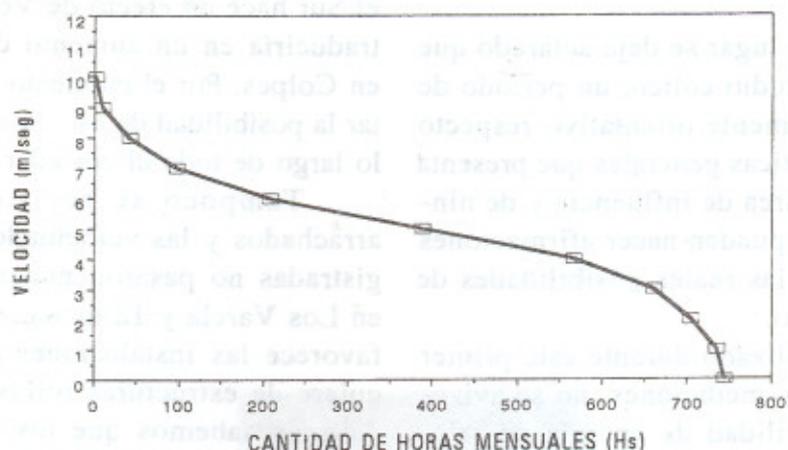


Gráfico N° 11: Curva de Velocidades Clasificadas. Colpes. Agosto 1994



guarda correspondencia con el valor que se muestra como de mayor ocurrencia, es decir el modo (5,01m/seg), a diferencia de Los Varela donde el modo es de 2,98 m/seg.

Es importante comparar la cantidad de horas mensuales donde se registran velocidades por encima de aquellas consideradas críticas para el arranque de las máquinas lentas y rápidas (2 m/seg y 5 m/seg). Esto lo podemos deducir del Gráfico N° 11 de Velocidades Clasificadas y hacer la comparación con el Gráfico N° 8 de Los Varela.

Mientras que en esta última se suman 637 hs con vientos superiores a los 2 m/seg (el equivalente a 26 días y medio),

en Colpes se registran 704 hs (29 días), es decir, prácticamente hay viento disponible durante todo el mes. Para velocidades superiores a 5 m/seg, mientras en Los Varela se dispone de 121 hs (5 días), en Colpes este valor se eleva a 388 hs (16 días). Si bien la diferencia es bastante significativa, a los fines prácticos de utilidad, el registro de Colpes no guarda gran importancia para el uso masivo de eólicas rápidas.

Esto lleva también como es lógico a que en Colpes, la energía disponible para cada mes, sea muy superior a la obtenida en Los Varela, debido a que este valor se obtiene a partir del cubo de las velocidades:

TABLA N° 6: Velocidades medias Comparación Los Varela-Colpes.

MESES	Velocidades Medias (m/seg)	
	LOS VARELA	COLPES
Julio/94	3,18	4,86
Marzo/95	2,94	4,68
Abril/95	3,14	5,16

CUADRO COMPARATIVO DE ENERGIA:

	ENERGIA EN Kwh/m ²		
	Julio/94	Agosto/94	Marzo/95
Los Varela	45,84	52,09	40,10
Colpes	115,18	114,71	104,72

CONCLUSIONES

En primer lugar se deja aclarado que en cualquier estudio eólico, un período de un año es meramente orientativo respecto de las características generales que presenta el viento en el área de influencia y de ninguna manera se pueden hacer afirmaciones taxativas sobre las reales posibilidades de aprovechamiento.

Por lo analizado durante este primer período anual de mediciones, no se avizora una disponibilidad de energía de relevancia, por lo menos en el extremo norte del corredor, que corresponde a la localidad de Los Varela. No obstante, se desprende que para pequeños aprovechamientos, a partir de eólicas lentas, puede resultar interesante.

Sin embargo, de los pocos datos obtenidos y analizados de la segunda estación (Colpes), se presiente una mejor disponibilidad, poniéndose de manifiesto las características variables que presenta el recurso, aún en el corto recorrido de 15 Km que separa a ambas localidades. Esto confirma la necesidad de estudiar mas en profundidad los corredores por la marcada influencia que tiene el sistema orográfico, no solo en cuanto a la velocidad sino también en lo que hace a la dirección.

En este sentido, dos localizaciones puntuales como las estudiadas, no arrojan datos suficientes como para analizar en detalle las causas de tal variabilidad, ni tampoco ello importa mucho a los fines del presente trabajo, pero se puede inferir que

el estrechamiento que sufre el valle hacia el Sur hace un efecto de Venturi el cual se traduciría en un aumento de la velocidad en Colpes. Por el momento se debe descartar la posibilidad de uso de eólicas rápidas a lo largo de todo el corredor medido.

Tampoco se registraron vientos arrachados y las velocidades máximas registradas no pasaron nunca de 8,5 m/seg en Los Varela y 12 m/seg en Colpes. Esto favorece las instalaciones pues no se requiere de estructuras robustas y costosas. Además sabemos que los vientos fuertes también deben desecharse para protección de las turbinas.

Colpes muestra también una mayor estabilidad en la dirección del viento, lo que hace suponer que el cordón montañoso de los altos de Singuil, produce un disturbio en el flujo de aire proveniente del Norte y Noreste, incluso puede influir reduciendo la velocidad, hecho que se registra en Los Varela por estar mas cerca. A medida que el viento desciende por el "cañón" hacia el Sur, se va regularizando su dirección y aumenta su velocidad. Para comprobar esto se tendrían que instalar algunas estaciones distribuidas en forma transversal al valle y otras mas al Sur de Colpes.

Actualmente ambas estaciones se encuentran funcionando a pleno por lo que el procesamiento de los nuevos registros dará una mayor certeza respecto del comportamiento general del viento y su disponibilidad para usos energéticos. Tal información será motivo de una próxima publicación.

Localidad	Velocidad (m/seg)	Frecuencia (%)
Los Varela	8,5	100
Colpes	12	100

Localidad	Velocidad (m/seg)	Frecuencia (%)
Los Varela	8,5	100
Colpes	12	100

BIBLIOGRAFIA:

BÁEZ, G. et al. 1993. "Geomorfología de la Subcuenca del Río Los Puestos-Sistema Integrado Pirquitas". Consejo Federal de Inversiones (CFI), Gobierno de Catamarca. Secretaría de Ciencia y Tecnología de Catamarca (SECYTCa).

LEIVA MENDEZ, D. et al. 1993. "Cartografía de la Subcuenca del Río Los Puestos-Sistema Integrado Pirquitas". Consejo Federal de Inversiones (CFI), Gobierno de Catamarca. Secretaría de Ciencia y Tecnología de Catamarca (SECYTCa).

LE GOURRIERES DESIRE. 1983. "Energía Eólica". Editorial Masson. Pag 21-28.

CANTATORE DE FRANK. 1980. "Manual de Estadística Aplicada"; Tomo I; Ed. Hemisferio Sur. Pags. 393.

RAFAEL ALVAREZ CACERES. 1995. "Estadística Multivariante y No Paramétrica con SPSS". Ediciones Díaz de Santo, S. A.- España. Pags. 391.

QUATTRO PRO for Microsoft WINDOWS. Versión 2.0; Copyrigh 1992-1993; Borland International.

SPSS for Microsoft WINDOWS. Versión 5.0.1; Copyrigh 1992; Inc CHICAGO U.S.A.