

RESUMEN

Presentamos en esta primera etapa un estudio estadístico del recurso eólico disponible en las inmediaciones de la ciudad de San Luis y de Villa Mercedes a partir de una base de datos del decenio 1981-1990, generada por el Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N).

Para la ciudad de San Luis encontramos que, los valores medios anuales del recurso están por encima del mínimo establecido para considerarlo aprovechable, con períodos de cuatro meses por año con valores medios mensuales mayores, hasta un 30% por encima de los mencionados anteriormente.

Se analiza la persistencia, los períodos de calma y las correlaciones con el curso solar para cada mes del año.

Se presentan tablas y gráficas sobre las características del recurso en la provincia, en particular la energía potencial para posibles aplicaciones calculadas a distintas alturas sobre el terreno, y las conclusiones sobre el estudio que se deberían efectuar para precisar dentro de la región, detectadas como máximo recurso, el lugar apropiado para la instalación experimental de generadores.

INTRODUCCION

El estudio de fuentes de energía no convencional tiene nuevamente un interés creciente. Dentro de las energías no convencionales, el aprovechamiento del recurso eólico tiene para algunas regiones un interés particular. En nuestro país se ha trabajado en ese sentido [1] y, se indica como zona de interés para un estudio profundo del recurso la región central del país.

La ciudad de San Luis y su zona adyacente es conocida por la frecuencia e intensidad del viento que incide sobre ella, prácticamente durante todo el año, no sabemos sin embargo si esta posee las características apropiadas para encarar su aprovechamiento.

Debido a esto, hemos decidido relevar el potencial energético eólico de la provincia de San Luis. En esta primera etapa lo hemos hecho para la ciudad de San Luis y de Villa Mercedes. En etapas posteriores hemos previsto realizar el estudio para parte de la región indicada de interés en [1].

En este trabajo describimos el análisis estadístico realizado con una base de datos de diez años, para ambas ciudades provista por el Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.); los mismos son tomados de acuerdo a lo indicado por la Organización Meteorológica Mundial (O.M.M.). Por lo que no fué necesario realizar ninguna corrección debido a la altura, luego en este informe los datos se refieren a vientos registrados a 10 m de altura sobre el nivel del suelo.

La distribución de densidades de probabilidad que más se adapta para una descripción del recurso eólico es la de Weibull [1],[2],[3], cuya función de densidad de probabilidad es:

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (1)$$

donde k es un parámetro de forma, sin dimensiones y, C es un parámetro de escala, cuyas unidades son m/s.

La función de distribución acumulativa de Weibull es:

$$A(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (2)$$

Para cualquier función de distribución $f(v)$, se verifica

$$\bar{v} = \int_0^{\infty} v f(v) dv \quad (3)$$

siendo \bar{v} la velocidad media. Se puede demostrar que para el caso de la distribución de Weibull es:

$$\bar{v} = c \Gamma\left[1 + \frac{1}{k}\right] \quad (4)$$

Donde $\Gamma(x)$ es la función Gamma.

Debemos conocer k y C para determinar la función en forma completa. Aplicando \ln en forma sucesiva a (2) tenemos que:

$$\ln[-\ln(1 - A(v))] = k \ln v - k \ln c \quad (5)$$

Luego, determinando esta recta en forma experimental podemos conocer nuestras incógnitas.

A los fines de ilustrar con un ejemplo el método de determinación de los parámetros se confeccionó la tabla I, en la misma se indican las frecuencias y las frecuencias acumuladas de las velocidades máximas diarias para el año 1982 para la ciudad de San Luis. Se indican además los valores correspondientes a la aplicación de la ecuación (5). En la misma tabla se comparan las estadísticas de Weibull y chi cuadrado (χ^2), esta última definida por:

$$f(v) = \frac{\pi}{2} \frac{v}{v^2} \exp \left[\frac{-\pi}{4} \left(\frac{v}{v} \right)^2 \right] \quad (6)$$

Su correspondiente función acumulativa es:

$$A(v) = 1 - \exp \left[\frac{-\pi}{4} \left(\frac{v}{v} \right)^2 \right] \quad (7)$$

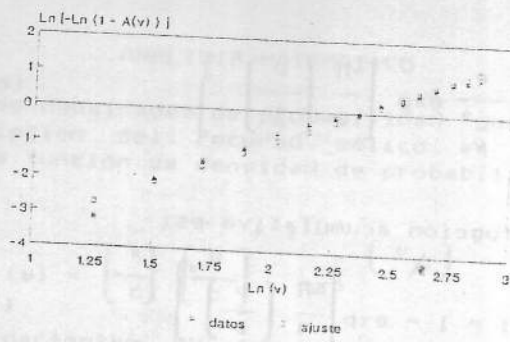
En la GRAFICA 1 se muestran los datos experimentales y la comparación con un ajuste lineal de los mismos. Tomados los datos del ejemplo anterior.

v	f(v)	A(v)	X	Y	Weib.	χ^2
3,5	0,041	0,041	1,253	-3,17	0,045	0,053
4,5	0,08	0,121	1,5	-2,05	0,06	0,059
5,5	0,08	0,201	1,7	-1,49	0,07	0,06
6,5	0,083	0,284	1,87	-1,1	0,08	0,056
7,5	0,12	0,404	2,01	-0,66	0,085	0,048
8,5	0,096	0,5	2,14	-0,37	0,087	0,041
9,5	0,083	0,583	2,25	-0,14	0,085	0,032
10,5	0,039	0,622	2,35	-0,03	0,08	0,024
11,5	0,1	0,722	2,44	0,25	0,073	0,017
12,5	0,036	0,758	2,53	0,35	0,063	0,012
13,5	0,072	0,83	2,6	0,57	0,054	0,008
14,5	0,047	0,877	2,67	0,74	0,045	0,005
15,5	0,039	0,916	2,74	0,91	0,035	0,003
16,5	0,011	0,927	2,80	0,96	0,027	0,002
17,5	0,017	0,944	2,86	1,06	0,02	0,009

$$X = \ln(v) \quad Y = \ln[-\ln(1 - A(v))]]$$

TABLA I

Valores correspondientes a velocidades máximas diarias para el año 1982. San Luis. Del ajuste realizado se determinó que $K=2,2919$ y $C=10,902$ la $\bar{V}(\text{Exp.})=9,03$ m/s. En las dos últimas columnas se tabulan los valores correspondientes a las distribuciones de Weibull y chi-cuadrado.



GRAFICA 1

Ajuste lineal con la expresión (5). La pendiente es K y la ordenada al origen $-K \ln(C)$.

Para una dada velocidad v , la potencia del viento (por unidad de área medida perpendicular a la dirección del viento), es el producto entre su energía cinética por unidad de masa: $(1/2 v^2)$, y el flujo de masa: (δv) , donde δ es la densidad del aire). Luego:

$$P = \frac{1}{2} \delta v^3 \quad (8)$$

La energía anual del viento en una localidad también depende de la distribución temporal del viento en la misma, esto es, por cuantas horas anuales tiene el viento una velocidad comprendida entre v_1 y v_2 , entre v_2 y v_3 , etc.

Si usamos una distribución del viento tipo chi cuadrado se concluye que la potencia media anual es .[3]

$$P = 0.95 \frac{v^3}{v} \quad (9)$$

Se puede considerar que un generador eólico moderno tiene un potencia de salida

$$P = 0.25 \frac{v^3}{v} \quad (10)$$

Debemos además considerar que si el rotor tiene cierta envergadura, por ejemplo 5m de radio, es conveniente colocar su eje a una cierta altura, por ejemplo 25m, esto nos lleva necesariamente a la corrección de la velocidad con la altura, según la ley de la potencia equivalente (eligiendo $\alpha = 1/7$) [4],[5]

$$\frac{v(z)}{v(10)} = \left[\frac{z}{10m} \right]^{1/7} \quad (11)$$

donde $v(z)$ es la velocidad del viento a la altura z . Con esto se confeccionó la TABLA II donde se muestran las estimaciones realizadas para ambas ciudades.

AÑO	SAN LUIS				VILLA MERCEDES			
	\bar{V} M/S	\bar{V}^3	$P(10)$ W/M ²	P(25)	\bar{V} M/S	\bar{V}^3	$P(10)$ W/M ²	P(25)
1981	4,84	113,38	131,95	195,5	2,8	21,95	25,59	29,7
1982	4,91	118,37	137,75	204,1	3,3	35,94	41,80	48,6
1983	4,42	86,35	100,50	148,9	4,2	74,09	86,20	100,3
1984	4,55	94,20	109,60	162,4	4,1	68,9	80,20	93,3
1985	4,37	83,45	97,12	143,9	2,9	24,4	28,40	33,0
1986	4,79	100,90	127,90	189,5	2,5	15,6	18,20	21,2
1987	4,58	96,07	118,80	176,0	2,3	12,2	14,20	16,5
1988	4,52	92,35	107,40	159,1	2,7	19,7	23,00	26,8
1989	3,09	29,50	34,33	50,9	2,7	19,7	23,00	26,8
1990	3,35	37,60	43,75	64,8	2,6	17,6	20,50	23,9

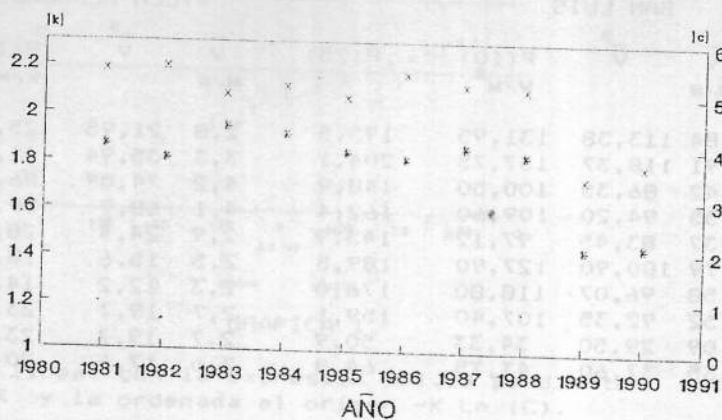
TABLA II

Estimaciones de la potencia disponible por año para dos alturas diferentes 10 m y 25 m y para las dos ciudades consideradas.

Si determinamos el factor K y C para cada año del decenio estudiado (1981 - 1990) tomando los valores medios diarios y graficando estos (grafica 2,3) podemos observar (para San Luis, grafica 2) que salvo los dos ultimos años estos permanecen casi constantes, lo que indica la estabilidad del recurso. No ocurre lo mismo para la ciudad de Villa Mercedes, pues como se ve en la grafica 3, las grandes variaciones hacen difícil la estimación del recurso, siendo este por demas escaso, circunstancia que se reafirma en el hecho de que esta ciudad tiene aproximadamente siete veces mas días de calma que la ciudad de San Luis (en escala de mil 32 a 225 para el decenio 1941-1950).

En la grafica 4 (San Luis) se muestran las variaciones anuales de la velocidad del viento tomando promedios mensuales para los diez años estudiados, como se indicó anteriormente se muestra el período del año donde el recurso eólico es mayor, meses de octubre, noviembre y diciembre. Esto induce a buscar gráficos semejantes en regiones adyacentes para, mediante correlaciones determinar posibles corredores de viento donde sería óptima la utilización del recurso. En la grafica 5 (V. Mercedes) construida de la misma manera que la grafica 4, se observa una misma tendencia estacional, siendo el recurso menor y mas marcada la variación anual.

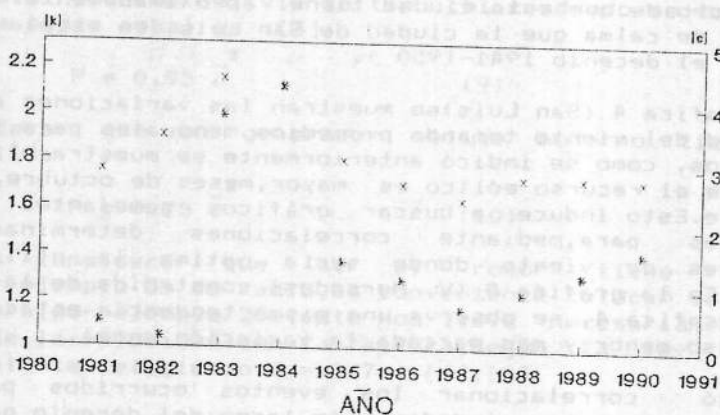
Se buscó correlacionar los eventos ocurridos para un día determinado en ambas ciudades a lo largo del decenio que nos ocupa, el indice de correlación encontrado fué por demas bajo, 0,45 para el mismo día y un indice entre 0,12 y 0,13 para intervalos de +4 días, como se ve bastante bajo, reafirmando esto la gran disparidad de días de calma entre una ciudad y otra.



* PARAMETRO K x PARAMETRO C

GRAFICA 2

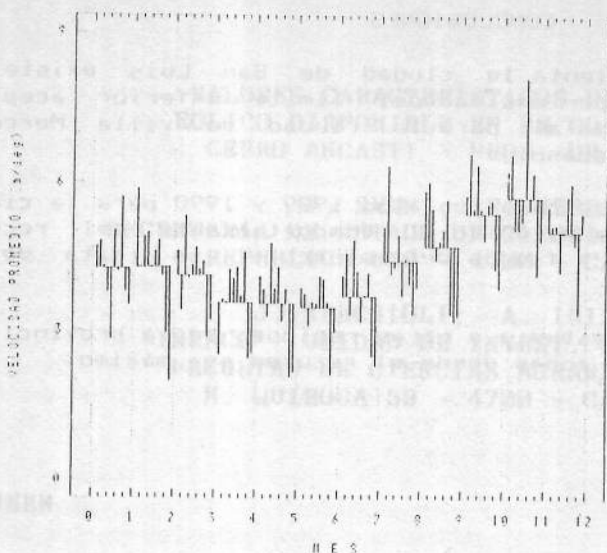
Variación de los parámetros K (escala de la izquierda) y C (escala de la derecha) para el decenio 1981-1990 en la ciudad de San Luis. Existe una gran constancia en los parámetros salvo los dos últimos años.



* PARAMETRO K x PARAMETRO C

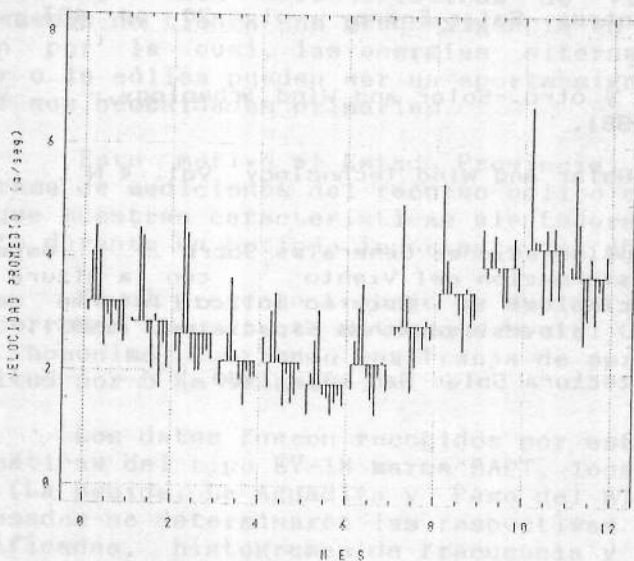
GRAFICA 3

Variación de los parámetros K (escala de la izquierda) y C (escala de la derecha) para la ciudad de V. Mercedes. Se observa la irregularidad existente en los mismos.



GRAFICA 4

Promedios mensuales a lo largo del decenio para San Luis. Se observan los periodos de mayores vientos correspondientes a los meses de Setiembre, Octubre y Noviembre.



GRAFICA 5

Promedios mensuales a lo largo del decenio para V. Mercedes. Se observan las variaciones estacionales mas marcadas que para la ciudad de San Luis. El promedio anual es sensiblemente menor.

CONCLUSIONES

- En la zona donde se asienta la ciudad de San Luis existe un recurso eólico que está por encima del límite inferior aceptado para su aprovechamiento. No así para la ciudad de villa Mercedes cuyo recurso eólico es escaso.
- Las anomalías observadas para los años 1989 y 1990 para la ciudad de San Luis nos inducen a estudiar el comportamiento del recurso para decenios anteriores a fin de determinar si se trata de un fenómeno cíclico.
- Se deberá extender el estudio a otras regiones de la provincia en búsqueda de las posibles zonas donde el recurso sea máximo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] .-A. B. BRIZUELA Evaluación preliminar del recurso eólico en la Argentina. Informe Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales.-1982.
- [2] .-R. B. Corotis y otros.-Solar Energy vol. 20 pp 483.- 493 (1978)
- [3] .-A. S. K. Darwish y otro.-Solar and Wind Technology.- Vol.5 , N 5 pp 215-222 (1988).
- [4] .-P. J. Musgrove Solar and Wind Technology Vol. 4 N 1 pp 37 - 50 (1987).
- [5] .-J. L. Aiello Consideraciones Generales Sobre Aspectos Relacionados a la Transformación del Viento con la Altura y su Relación con la Evaluación del Recurso Eólico. Informe de la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales. (1983).
- [6] Seminario de Arquitectura Solar San Luis 1980