

PROGRAMA REGIONAL DE
ENERGIA EOLICA DE OLADE

**ATLAS EOLICO PRELIMINAR DE
AMERICA LATINA Y EL CARIBE**

VOLUMEN I

MEXICO

Serie: Documentos D - PLACE Nº 8



PLACE
PROGRAMA LATINOAMERICANO
DE COOPERACION ENERGETICA

INSTRUMENTO PARA
EL FORTALECIMIENTO DE
OLADE



ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA

**PROGRAMA REGIONAL DE
ENERGIA EOLICA DE OLADE**

**ATLAS EOLICO PRELIMINAR DE
AMERICA LATINA Y EL CARIBE**

Dr. José L. Aiello
CNIE/Argentina

Ing. Met. Jorge I. Valencia
HIMAT/Colombia

Ing. Enrique Caldera Muñoz
OLADE

Met. Vicente L. Gómez
OLADE

1983

INDICE

CONTENIDO	Pág.
INTRODUCCION	11
Antecedentes y cronología.....	11
ANEXO 1: LISTA DE PAISES QUE CONFORMAN EL ATLAS EOLICO PRELIMINAR DE AMERICA LATINA Y EL CARIBE	15
ANEXO 2: POTENCIA, ENERGIA Y DISTRIBUCION DE WEIBULL	16
1. Potencia y energía del viento	16
2. Distribución de Weibull.....	17
TABLA 1: Cálculo de la potencia media (\bar{P} , W/m ²) del viento a partir de la velocidad media (\bar{V} , m/s) considerando distribuciones de Weibull para tres casos de varianza: alta (A), media (M) y baja (B).....	18
TABLA 2: Determinación del factor de forma (k) de Weibull en función de la velocidad media del viento (\bar{V}) y el tipo de varianza: alta ($k=0.73 \bar{V}^{1/2}$); media ($k=0.94 \bar{V}^{1/2}$); baja ($k = 1.05 \bar{V}^{1/2}$)	19
TABLA 3: Valores del Coeficiente k de Weibull en función del Cociente de la Desviación Típica (σ) y la Velocidad Media (V) del viento.	20
REFERENCIAS	21
SIMBOLOS Y SIGLAS UTILIZADAS	22

ATLAS EOLICO PRELIMINAR DE AMERICA LATINA Y EL CARIBE

PROLOGO

La Secretaría Permanente de la Organización Latinoamericana de Energía, tiene el honor de presentar el Atlas Eólico Preliminar de América Latina y el Caribe, culminando de esta manera un considerable esfuerzo técnico y de cooperación regional, al poder consolidar y normalizar información meteorológica de toda la región.

Técnicamente representa dos años de trabajo en el que se recabó, analizó y sistematizó la información meteorológica, proporcionada por los servicios meteorológicos nacionales así como por las que fueron suministradas por instituciones oficiales vinculadas al sector energético.

Por otra parte, significa la cristalización de la voluntad, la movilización de recursos y la cooperación de instituciones y personas que apoyaron desinteresadamente ese esfuerzo, motivados por un sentimiento de solidaridad latinoamericana factor decisivo para hacer posible esta meta.

Este Atlas, constituye el fruto de un trabajo iniciado en mayo de 1980 en Cuernavaca, México, cuando durante el desarrollo del 1er. Curso-Seminario Latinoamericano sobre Prospección, Evaluación y Caracterización de Energía Eólica, se recomendó a OLADE, iniciar las acciones para recabar información sobre la red meteorológica en América Latina y la naturaleza de los datos disponibles para la confección de un Atlas Eólico.

OLADE asumió el reto y el compromiso: ésta es la respuesta. Sirva pues, como un sincero homenaje del Programa Regional de Energía Eólica, en este año de 1983, a la memoria del Libertador Simón Bolívar en el bicentenario de su nacimiento.

ULISES RAMIREZ OLMOS
SECRETARIO EJECUTIVO

RECONOCIMIENTOS

Al Grupo Asesor de Energía Eólica de OLADE constituido en cumplimiento de la Decisión X/D/049 aprobada por la X Reunión de Ministros de OLADE, el 4 de Mayo de 1981 en Río de Janeiro, Brasil y formado por

Dr. José Luis Aiello	(Argentina)
Ing. Roberto Fischer	(Brasil)
Ing. Alberto Olarte	(Colombia)
Ing. Jorge Iván Valencia F.	(Colombia)
Ing. Luis Guardamagna S.	(Chile)
Ing. Enrique Caldera M.	(México)
Ing. Alfredo Oliveros D.	(Perú)

Al Ing. Luiz Augusto Marciano da Fonseca, Coordinador de la parte inicial en las actividades del Grupo Asesor como Jefe del Programa Regional de Energía Eólica de OLADE.

Al Ing. Enrique Caldera Muñoz, Coordinador de la parte final y culminación de la segunda etapa del Programa Regional de Energía Eólica como Jefe del Programa de Energía Eólica y Solar de OLADE.

A las siguientes personas:

Alfredo Zárate	(Bolivia)
Lucy Pinto G.	(Brasil)
Luis Zurita	(Ecuador)
Ricardo Saldaña	(México)
A. Cornejo	(Perú)
Alberto Llenas	(República Dominicana)
Jorge Lafontant	(Venezuela)

ADVERTENCIA

El carácter preliminar del presente Atlas Eólico, se deriva de que la información numérica aquí presentada proviene de una red meteorológica, cuya localización de sensores de viento, características de la instrumentación y procedimientos de promediación, no fueron establecidos con fines de evaluación energética eólica.

El valor de este Atlas es esencialmente cualitativo al presentar un panorama general del comportamiento del viento en superficie en la región, señalar las zonas ventajosas para su aprovechamiento y sobre todo, mostrar aquello que puede esperarse al realizar el estudio detallado de las zonas de interés con la instrumentación y la metodología adecuada.

Se considera que en general, los valores aquí indicados subestiman las condiciones reales que pueden encontrarse para el aprovechamiento energético del viento.

INTRODUCCION

ANTECEDENTES Y CRONOLOGIA

En septiembre de 1979 se realizó en Quito, Ecuador, la primera reunión de un Grupo de Trabajo, con el fin de discutir un programa latinoamericano de energía eólica. Dicha reunión produjo un documento técnico que entre otras cosas, proponía la creación del Grupo Asesor de Energía Eólica, que orientara el desarrollo del Programa.

En base a este primer documento, se efectuó en Buenos Aires, Argentina, del 28 de abril al 2 de mayo de 1980, el II Grupo de Trabajo sobre Energía Eólica, produciéndose un documento denominado: "Metodología propuesta para el aprovechamiento de la Energía Eólica en América Latina" (1).

De acuerdo a lo establecido en el documento anterior, del 19 al 30 de mayo de 1980, se efectuó en la sede del Instituto de Investigaciones Eléctricas, en Cuernavaca, México; el Primer Curso-Seminario Latinoamericano sobre Prospección, Evaluación y Caracterización de Energía Eólica, el que fue repetido en lengua inglesa en Widley - Barbados del 26 al 29 de enero de 1981 (2) (3).

De las conclusiones y recomendaciones del Curso-Seminario, realizado en Cuernavaca, se proponía el que OLADE iniciara una encuesta latinoamericana para obtener un inventario de la red meteorológica en la Región y un diagnóstico acerca de la naturaleza de la información disponible para la elaboración de un Atlas.

Se formularon cuestionarios para realizar la encuesta, se realizaron contactos con la Organización Meteorológica Mundial y se envió la encuesta a los distintos países, a través de la circular del 16 de octubre de 1980.

Entre el 4 y 9 de mayo de 1981 se constituyó oficialmente en Río de Janeiro, Brasil; el Grupo Asesor de Energía Eólica, que entre otras cosas, elaboró el documento "Plan de Acción inmediato para la Elaboración del Atlas Eólico de América Latina y el Caribe" (4), que contemplaba una reunión en la sede de OLADE, durante los meses de junio y julio de 1981, con el objeto de realizar la evaluación de la información recibida y formular una metodología de trabajo para el futuro.

Durante el mes de julio de 1981 se reunió un primer Grupo de Trabajo en la sede de OLADE, para revisar y evaluar la información disponible, así como la metodología a utilizar para el procesamiento de la información y la confección del Atlas.

Como resultado de esa reunión se produjo el documento "Aproximación Inicial al Atlas Eólico Latinoamericano y del Caribe, Area: Centroamérica" (5), así como el "Informe acerca del Diagnóstico y Metodología a seguir para la elaboración del Atlas Eólico Preliminar de América Latina y el Caribe" (6).

Durante esta reunión se establece la necesidad de acompañar al Atlas Eólico Preliminar, con un documento metodológico para la realización posterior, de los trabajos de prospección, evaluación y caracterización de zonas de interés en los países de la Región, denominado "Manual de Meteorología Eólica" (7).

Del 14 al 18 de diciembre de 1981, se efectuó en Quito, el Segundo Grupo de Trabajo para revisar el grado de avance, los enfoques metodológicos y efectuar la programación y presupuestación de actividades durante 1982, centradas en la finalización de los siguientes documentos:

- a. Atlas Eólico Preliminar de América Latina y el Caribe.
- b. Manual de Meteorología Eólica (7),
- c. Guía de Diseño, habilitación y operación de estaciones móviles de climatología eólica (8).

Durante 1982 los trabajos entran en un impasse determinado por la crisis económica generalizada que afecta a la Región y que retrasa la ejecución del Programa Latinoamericano de Cooperación Energética (PLACE) bajo cuya cobertura se desarrolla ahora el Programa Regional de Energía Eólica.

El 1° de marzo de 1983, se reinician formalmente los trabajos para la elaboración del Atlas y del 11 al 15 de abril de 1983 se realiza un Tercer Grupo de Trabajo, cuyos objetivos básicos fueron:

1. Conocer el estado de la información disponible sobre viento y su procesamiento y normalización al 31 de marzo de 1983.

2. Definir un curso de acción para recabar la información faltante y poder completar el Atlas.
3. Revisar la disponibilidad de información y estrategia a seguir para compilar un Atlas Latinoamericano de Radiación Solar, con base a información procesada ya publicada.

Siguiendo las recomendaciones de esa reunión, se realizó una misión oficial por tres países de América del Sur y uno el Caribe para recabar la información faltante, ya que se puso como límite el 15 de julio de 1983 para cerrar el proceso de recepción de información.

Habiéndose desarrollado el trabajo en su totalidad, se convoca a un Cuarto y último Grupo de Trabajo del 12 al 16 DE SEPTIEMBRE DE 1983, para revisión del documento final, su aprobación y edición.

Con la finalización del Atlas Eólico, del Manual de Meteorología Eólica (7) y la Guía de Diseño, habilitación y operación de estaciones móviles de climatología eólica (8), se completa la segunda etapa del Programa Regional de Energía Eólica, que a la letra dice: "El objetivo final de esta etapa es la obtención de un Atlas Latinoamericano, de carácter preliminar, donde se indiquen en forma zonal los niveles de potencial energético eólico. Este Atlas servirá para que el Grupo Asesor de Energía Eólica elabore el plan de trabajo detallado para el segundo paso de muestreo y obtención de datos, concentrados en las áreas de interés".

Como se señaló anteriormente, la "Aproximación Inicial del Atlas Eólico Latinoamericano y del Caribe, Area: Centroamérica" (5) vino como consecuencia de algunas acciones tomadas por la OLADE en el campo de la Energía Eólica, como la constitución del Grupo Asesor de Energía Eólica, (GAEE) y los cursos sobre "Prospección, Evaluación y Caracterización de la Energía Eólica" dictados en Cuernavaca (México), 1980 y en Barbados, 1981 (2) (3). Todas estas circunstancias condujeron indudablemente a promocionar el interés de los países latinoamericanos y del Caribe por los aspectos energéticos del viento.

Resultado de aquella inquietud es, por ejemplo la Carta de frecuencia y velocidad media del viento (período 1948 - 1978) y la Carta de dirección y velocidad máxima del viento (período 1950 - 1978) preparados por el Instituto Nacional de Electrificación Rural de Bolivia (9). Asimismo, el "Compendio de Información Eólica de Venezuela" (10), publicado por la Dirección de Electricidad, Carbón y otras energías, del Ministerio de Energía y Minas de aquel país, cuyo mapa eólico presenta los resultados del estudio en forma similar a la del Atlas Inicial del área Centroamericana (5).

El Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) efectuó, en 1982, una evaluación del potencial eólico del Ecuador y, también en 1982 la Comisión Nacional de Política Energética de la República Dominicana efectuó la parametrización energética del viento (11), a base de la metodología presentada por OLADE en el curso de Cuernavaca y utilizada en la preparación de su Atlas Eólico Inicial.

En la República Argentina, se evaluó el recurso eólico de 188 estaciones con una metodología similar a la de OLADE, cuyos resultados se adoptaron en el presente Atlas (12). En el mismo país bajo los auspicios de la Organización de Estados Americanos (OEA) y del Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico (PRDCYT) se efectuó la "Evaluación Preliminar del Recurso Eólico de Argentina" (13), trabajo que fue publicado por el Grupo de Energía no Convencional de la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales, Centro Espacial San Miguel.

También en el Brasil se concluyó un "Levantamiento Preliminar do Potencial Eólico Nacional" efectuado por CONSULPUC para las Centrais Elétricas Brasileiras S/A (ELETROBRAS) (14). La información de base y los datos analizados utilizados en dicho estudio constituyen la fuente de datos para el análisis de aquel país que presentamos en este Atlas.

Por último, en Barbados, dentro del Wind Resource Assesment Project del Caribbean Meteorological Institute se realizó, en 1982, un análisis de la información disponible sobre el viento (15), cuyas conclusiones, a su vez, se incorporan en este Atlas; y en el Perú se realizó un trabajo denominado "Estudio Resumen de la velocidad del viento en el departamento de Piura, 1982" (16).

ASPECTOS GENERALES ACERCA DE LA METODOLOGIA EMPLEADA

1. En la "Aproximación Inicial al Atlas Eólico Latinoamericano y del Caribe, Area: Centroamérica" (5), se expresó que la preparación de un atlas eólico para la región Latinoamericana y el Caribe encontraba un obstáculo de consideración en la insuficiencia de datos sobre velocidad del viento, en la heterogeneidad de horarios de observación y de procedimientos para la obtención de valores medios, en la diversidad de las alturas de instalación de los sensores, y en la variable extensión de los períodos cubiertos por los datos. Como conclusión, se decidió preparar dicha "Aproximación" en el área centroamericana en la cual las deficiencias anotadas "sufrían una limitación favorable para afrontar la presentación de un resultado inicial".
2. Desde la publicación de aquel Atlas Inicial las circunstancias del área centroamericana no han variado. No se ha actualizado la información, por una parte, y no se han realizado en los países de la misma estudios de caracterización del viento que hubieran permitido contrastar las conclusiones obtenidas en el Atlas ya mencionado "a base de la velocidad media, potencia media y energía".

Como consecuencia, se decidió integrar este "Atlas Eólico Preliminar de América Latina y el Caribe" conservando en todas sus partes la "Aproximación Inicial" del mismo en el área centroamericana, sin más modificaciones que las resultantes de la revisión a que se sometieron las tablas de los parámetros presentados y la adición del coeficiente k de la distribución de Weibull (Ver Anexo 2).

3. La información que pudo recopilarse del resto de la región no mejoró substancialmente el panorama que presentó el área centroamericana. Las heterogeneidades anotadas se hicieron más profundas al no conseguir, escoger un periodo común para el análisis, utilizar promedios de la velocidad del viento normalizados, ni conseguir la uniformidad de la altura de medición del viento. Por otra parte, extensas áreas de la América del Sur y de México, tenían una deficitaria cobertura de información.

La disyuntiva planteada fue, sencillamente, completar el Atlas ya iniciado con la información disponible o no terminarlo. La decisión parecía obvia: era, quizás más conveniente publicar el Atlas con las limitaciones impuestas, que no hacerlo, pues lo menos que puede esperarse es que un Atlas Eólico de América Latina y el Caribe promoviera en los países la necesidad de completar la investigación profundizando la evaluación del parámetro con miras hacia el aprovechamiento del potencial eólico con que cuentan algunas regiones del área.

4. Con el objeto de que las heterogeneidades fueran, en lo posible, menos drásticas e incompatibles con la finalidad del Atlas de presentar un esquema general de lo que podía esperarse de la región en materia de información sobre el viento, se creyó conveniente dividirla en subregiones en las cuales, si no completamente, las anomalías de homogeneidad fueran más similares relativamente. Bajo este criterio el plan de presentación del Atlas es el siguiente:

Volumen I	México, incluyendo la zona limítrofe de los Estados Unidos.
Volumen II	América Central y el Caribe.
Volumen III	Región Norte y Noroeste de América del Sur.
Volumen IV	Perú y Bolivia.
Volumen V	Brasil.
Volumen VI	Cono Sur de América del Sur.

5. Para regionalizar más todavía los caracteres de heterogeneidad se tratan, separadamente a países o grupos de países. De este modo la naturaleza de las desviaciones queda más circunscrita y no afecta más que al país o grupos de países, pues, por otra parte, en cada caso se aplica una metodología de caracterización del viento que es diferente, o puede serlo. De este modo, además, fue posible hacer uso de toda la información que se obtuvo de un país, sea ésta del viento en sí o de su caracterización como fuente energética.
6. En todo caso, hay un elemento común en la naturaleza de la información disponible: se cuenta solamente con valores medios mensuales y/o anuales de la velocidad del viento, obtenidos de muy diversa manera (horarios y tridiurnos, especialmente). La diferencia entre utilizar promedios horarios y tridiurnos fue tomada como poco significativo, y por ende se calcularon las características energéticas de las estaciones, con una u otra información. Se analizaron los resultados de la evaluación energética, comparando el caso horario y el tridiurno para las estaciones de San Miguel, Argentina; El Gavillero, México; y San Andrés, Colombia; encontrando concordancia entre los resultados obtenidos (12) (17).

7. Para poder utilizar los valores de la velocidad media disponibles se adoptó, para la caracterización del viento, el método desarrollado por Justus analizando 140 estaciones de los Estados Unidos, basado en la \bar{V} para tres casos de varianza (alta, media y baja) (18). Para facilitar la determinación se calcularon las curvas respectivas de \bar{V} y \bar{P} para una densidad del aire constante e igual a 1.225 Kg/m³, y a base de éstas se preparó la Tabla 1.
8. Para la determinación del coeficiente k de Weibull se utilizaron las Tablas 2 (en función de la \bar{V} y el tipo de varianza) y 3 (en función de la desviación típica y la velocidad media).
9. En los casos en los cuales los países remitieron ya calculada la caracterización del viento se adoptó esta determinación íntegramente.
10. Los resultados de los procedimientos señalados en 6, 7, 8 y 9 se tabularon convenientemente para cada estación, tanto para valores mensuales, estacionales y anuales.
11. Los datos de situación y otros de las estaciones se dan en Tablas por países, los cuales se ordenaron en la forma que se indica en el Anexo 1. Los ordinales de las estaciones, en cada país, pueden no mostrar un orden aceptable y aún sufrir cortes en el seriado. Esto se debe a que la información inicial de los países se refirió a todas sus estaciones, a base de la cual se confeccionaron los registros de OLADE. Los datos sobre el viento, sin embargo, no cubrían las mismas estaciones en muchos casos, o no había datos para otras. Para conservar el registro inicial hubo que saltar la secuencia.
12. La relación de todo lo concerniente a un país, o grupo de países, se la sujetó a un patrón único o ficha de datos y notas que recoge todo lo concerniente a la red de estaciones, a la caracterización del viento y a las conclusiones y recomendaciones más obvias. Particularidades inherentes a cada país o grupo de países se señalan en cada caso.

ANEXO 1

LISTA DE PAISES QUE CONFORMAN EL ATLAS EOLICO PRELIMINAR
DE AMERICA LATINA Y EL CARIBE

CLAVE	PAIS	CLAVE	PAIS
01	Argentina	23	Perú
03	Barbados	24	República Dominicana
04	Bolivia	26	Surinam
05	Brasil	28	Trinidad y Tobago
06	Colombia	29	Uruguay
07	Costa Rica	30	Venezuela
08	Cuba	31	Antigua
09	Chile	35	Antillas Holandesas
11	Ecuador	36	Estados Unidos
12	El Salvador	37	Gran Caimán
14	Guatemala	38	Guadalupe
15	Guyana	39	Guayana Francesa
17	Honduras	41	Islas Vírgenes (USA)
18	Jamaica	42	Martinica
19	México	43	Puerto Rico
20	Nicaragua		
21	Panamá		
22	Paraguay		

ANEXO 2

POTENCIA, ENERGIA Y DISTRIBUCION DE WEIBULL

1. POTENCIA Y ENERGIA DEL VIENTO

La energía cinética del viento se expresa según

$$E = \frac{1}{2} m V^2 \quad (1)$$

donde m es la masa de aire y V la velocidad del viento.

La potencia disponible del viento, en una área A perpendicular al mismo es:

$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 A \quad (2)$$

Donde ρ es la densidad del aire.

Una forma de caracterizar el potencial eólico en un sitio es dando la potencia media por unidad de área

$$\bar{P} = \frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho \bar{V}^3 \quad (3)$$

Donde la barra indica promedio.

Si ρ está expresado en Kg/m^3 y V en m/seg , entonces \bar{P} queda expresada en W/m^2 .

Un cálculo como el anterior requiere el conocimiento de la información de velocidades del viento.

En caso de no disponer de dicha información, para calcular \bar{P} se necesita conocer la distribución de probabilidad de la velocidad de viento $p(v)$. En efecto, conociendo $p(v)$ se tiene:

$$\bar{V} = \int_0^{\infty} V p(v) dv \quad (4)$$

$$\bar{V}^3 = \int_0^{\infty} V^3 p(v) dv \quad (5)$$

También es válido que, aún no conociendo la distribución de probabilidad $p(V)$, pueden obtenerse \bar{V} y \bar{V}^3 a partir del conocimiento de una serie temporal $V(t)$ ($0 \leq t \leq T$) mediante

$$\bar{V} = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt \quad (6)$$

$$\bar{V}^3 = \frac{1}{T} \int_0^T [V(t)]^3 dt \quad (7)$$

Otra forma de cuantificar el recurso eólico es mediante la determinación de la Energía para un dado período de tiempo.

Para un período anual se dá la energía por unidad de área, haciendo:

$$E(\text{kWh/m}^2) = \frac{8,760}{1,000} \bar{P} = 8.76 \bar{P} \quad (8)$$

y en estas mismas unidades pueden darse los períodos mensual y estacional.

Tanto para la Potencia y Energía, las anteriores fueron las unidades adoptadas para confeccionar los Mapas del Atlas.

Según lo anterior, la forma directa de realizar una evaluación eólica sería mediante el tratamiento de la información básica (datos horarios u otros del viento). Para Latinoamérica y el Caribe lo anterior, aún bajo la hipótesis de disponer la información, hubiese requerido el manejo de un gran volumen de datos. La decisión tomada fue la de suponer como válido que la función de densidad de probabilidad de la velocidad del viento es una de Weibull y de allí determinar las variables eólicas de interés.

2. DISTRIBUCION DE WEIBULL

Se sabe que la función de densidad de probabilidad de Weibull, con dos parámetros (caso particular de la Distribución Gamma Generalizada), se ajusta bien a las distribuciones del viento.

Dicha función está dada por

$$p(V) = (k/c) (V/c)^{k-1} \exp [-(V/c)^k] \quad (9)$$

donde c es el factor de escala (m/seg)
 k es el factor de forma adimensional

Estos dos factores determinan completamente a la distribución de Weibull y entonces puede determinarse con buena aproximación la potencia, energía y demás variables del problema.

En el trabajo de Justus (18) se presentan varios métodos para calcular estos factores c y k a partir de distinto tipo de información climática.

Al disponer en la mayoría de las estaciones de la velocidad media anual se adoptó uno de estos métodos para determinar c y k a partir de la misma.

Dicho método supone que k puede derivarse de \bar{V} para tres casos de varianzas, a saber:

$$\begin{array}{lll} \text{Varianza:} & \text{baja} & k = 1.05 \bar{V}^{1/2} \\ & \text{media} & k = 0.94 \bar{V}^{1/2} \\ & \text{alta} & k = 0.73 \bar{V}^{1/2} \end{array} \quad [10]$$

Entonces, vale que

$$c = \bar{V} / \Gamma (1 + 1/k) \quad [11]$$

Donde Γ es la función Gamma

$$V^3 = c^3 \Gamma (1 + 3/k) \quad [12]$$

y entonces por [3] se calcula \bar{P} y E se determina según [8]

En aquellas estaciones que disponen de \bar{V} para el período anual, el anterior fue el procedimiento empleado, no obstante, en las estaciones que contienen \bar{V} mensuales, se calculan la potencia media y energía anuales como promedio y suma de los valores mensuales respectivamente, existiendo alguna diferencia respecto a su determinación a partir de la \bar{V} anual.

Si bien este método fue el más usado, también se recurrió a otros señalados en (18) y en caso particular se hace referencia a los mismos.

En los mapas del Atlas los resultados presentados son: \bar{V} anual, \bar{P} , y E y k .

TABLA I

Cálculo de la potencia media (P , W/m^2) del viento a partir de la velocidad media (V , m/s) considerando distribuciones de Weibull para tres casos de varianza: alta (A), media (M) y baja (B)

	V	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
A		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
M	0.0	0	0	0	1	1	1	2	2	3	4
B		0	0	0	0	1	1	1	2	2	3
A		10	11	13	14	16	17	19	21	23	25
M	1.0	4	5	6	7	8	9	11	12	14	15
B		3	4	5	5	6	7	8	10	11	13
A			30	33	35	38	41	45	49	53	57
M	2.0	17	19	21	22	24	26	29	32	34	37
B		14	16	18	19	21	23	25	28	30	33
A		61	65	70	74	79	83	89	94	100	105
M	3.0	40	44	47	51	54	58	62	67	71	76
B		35	38	41	45	48	51	55	59	64	68
A		111	118	125	131	138	145	153	161	169	177
M	4.0	80	85	91	96	102	107	114	120	127	133
B		72	77	82	86	91	96	102	108	115	121
A		185	194	203	212	221	230	241	252	264	275
M	5.0	140	146	153	159	166	172	182	191	201	210
B		127	133	140	146	153	159	168	177	187	196
A		286	299	312	324	337	350	364	378	391	405
M	6.0	220	231	242	253	264	275	288	304	314	327
B		205	215	225	234	244	254	265	276	287	298
A		419	435	451	466	482	498	517	536	555	574
M	7.0	340	353	366	379	392	405	421	437	453	464
B		309	322	336	349	363	376	391	406	421	436
A		593	611	630	648	667	685	703	720	738	755
M	8.0	485	502	519	536	553	570				
B		451	467	483	498	514	530				
A		773									
M	9.0										
B											

TABLA 2

Determinación del factor de forma (k) de Weibull en función de la velocidad media del viento (V) y el tipo de varianza: alta ($k = 0.73 \bar{V}^{1/2}$); media ($k = 0.94 \bar{V}^{1/2}$); baja ($k = 1.05 \bar{V}^{1/2}$)

VARIANZA	V	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
ALTA	0.0	0.00	0.23	0.33	0.40	0.46	0.52	0.56	0.61	0.65	0.69
MEDIA		0.00	0.30	0.42	0.51	0.59	0.66	0.73	0.79	0.84	0.89
BAJA		0.00	0.33	0.47	0.58	0.66	0.74	0.81	0.88	0.94	1.00
ALTA	1.0	0.73	0.76	0.80	0.83	0.86	0.89	0.92	0.95	0.98	1.01
MEDIA		0.94	0.98	1.03	1.07	1.11	1.15	1.19	1.22	1.26	1.30
BAJA		1.05	1.10	1.15	1.20	1.24	1.28	1.33	1.37	1.41	1.45
ALTA	2.0	1.03	1.06	1.08	1.11	1.13	1.15	1.18	1.20	1.22	1.24
MEDIA		1.33	1.36	1.39	1.42	1.46	1.49	1.52	1.54	1.57	1.60
BAJA		1.48	1.52	1.56	1.59	1.63	1.66	1.69	1.72	1.76	1.79
ALTA	3.0	1.26	1.28	1.30	1.33	1.35	1.36	1.38	1.40	1.42	1.44
MEDIA		1.63	1.66	1.68	1.71	1.73	1.76	1.78	1.81	1.83	1.86
BAJA		1.82	1.85	1.88	1.91	1.94	1.96	1.99	2.02	2.05	2.07
ALTA	4.0	1.46	1.48	1.54	1.51	1.53	1.55	1.56	1.58	1.60	1.62
MEDIA		1.88	1.90	1.93	1.95	1.97	1.99	2.02	2.04	2.06	2.08
BAJA		2.10	2.13	2.15	2.18	2.20	2.23	2.25	2.28	2.30	2.32
ALTA	5.0	1.63	1.65	1.66	1.68	1.70	1.71	1.73	1.74	1.76	1.77
MEDIA		2.10	2.12	2.14	2.16	2.18	2.20	2.22	2.24	2.26	2.28
BAJA		2.35	2.37	2.39	2.42	2.44	2.46	2.48	2.51	2.53	2.55
ALTA	6.0	1.79	1.80	1.82	1.83	1.85	1.86	1.88	1.89	1.90	1.92
MEDIA		2.30	2.32	2.34	2.36	2.38	2.40	2.41	2.43	2.45	2.47
BAJA		2.57	2.59	2.61	2.64	2.66	2.68	2.70	2.72	2.74	2.76
ALTA	7.0	1.93	1.94	1.96	1.97	1.98	2.00	2.01	2.02	2.04	2.05
MEDIA		2.49	2.50	2.52	2.54	2.56	2.57	2.59	2.61	2.62	2.64
BAJA		2.78	2.80	2.82	2.84	2.86	2.88	2.89	2.91	2.93	2.95
ALTA	8.0	2.06	2.08	2.09	2.10	2.12	2.13	2.14	2.15	2.16	2.18
MEDIA		2.66	2.68	2.69	2.71	2.72	2.74	2.76	2.77	2.79	2.80
BAJA		2.97	2.99	3.01	3.02	3.04	3.06	3.08	3.10	3.11	3.13

TABLA 3

Valores del Coeficiente k del Weibull en Función del Cociente de la Desviación Típica (σ) y la Velocidad Media (\bar{V}) del Viento

k	σ/\bar{V}	k	σ/\bar{V}	k	σ/\bar{V}
1.20	0.837	2.65	0.406	4.70	0.245
1.25	0.809	2.70	0.400	4.80	0.239
1.30	0.780	2.75	0.394	4.90	0.234
1.35	0.752	2.80	0.387	5.00	0.229
1.40	0.724	2.85	0.381	5.20	0.222
1.45	0.703	2.90	0.375	5.40	0.215
1.50	0.682	2.95	0.369	5.60	0.208
1.55	0.661	3.00	0.363	5.80	0.201
1.60	0.640	3.05	0.358	6.00	0.194
1.65	0.624	3.10	0.353	6.20	0.189
1.70	0.608	3.15	0.348	6.40	0.184
1.75	0.591	3.20	0.343	6.60	0.178
1.80	0.575	3.25	0.338	6.80	0.173
1.85	0.562	3.30	0.334	7.00	0.168
1.90	0.549	3.35	0.330	7.20	0.164
1.95	0.536	3.40	0.325	7.40	0.160
2.00	0.523	3.45	0.320	7.60	0.156
2.05	0.512	3.50	0.316	7.80	0.152
2.10	0.502	3.60	0.309	8.00	0.148
2.15	0.491	3.70	0.302	8.20	0.145
2.20	0.480	3.80	0.295	8.40	0.142
2.25	0.471	3.90	0.288	8.60	0.139
2.30	0.462	4.00	0.281	8.80	0.136
2.35	0.453	4.10	0.276	9.00	0.133
2.40	0.444	4.20	0.270	9.20	0.130
2.45	0.436	4.30	0.265	9.40	0.128
2.50	0.428	4.40	0.260	9.60	0.125
2.55	0.421	4.50	0.255	9.80	0.123
2.60	0.413	4.60	0.250	10.00	0.120

Fuente: Publicación Documentos OLADE N° 10, Tabla 5, Pág. 85.

REFERENCIAS

- (1) OLADE: "Metodología propuesta para el aprovechamiento de la Energía Eólica en América Latina". Buenos Aires, Argentina, 1980.
- (2) Aiello, J. L.; Valencia F, J.I.; Caldera M. E.; Marciano da Fonseca, L. A.: "Prospección, evaluación y caracterización de la energía eólica". Documentos OLADE N° 10, Quito, Ecuador, 1980.
- (3) Aiello, J.L.; Valencia F, J.I.; Caldera M, E.; Marciano da Fonseca, L.A.: "Prospect, evaluation and characterization of aeolian Energy". OLADE Document Series N° 10, Quito, Ecuador, 1980.
- (4) OLADE: "Plan de acción inmediato para la Elaboración del Atlas Eólico de América Latina y El Caribe". Río de Janeiro, Brasil, 1981.
- (5) Aiello, J.L.; Gómez, V.L.; Valencia F, J.I.; Caldera M.,E.; Egüez, V.E.: "Programa Regional de Energía Eólica de OLADE. Aproximación inicial al Atlas Eólico Latinoamericano y del Caribe, Area: Centroamérica". Serie: Documentos OLADE N° 22, Quito, Ecuador 1981.
- (6) OLADE: "Informe acerca del Diagnóstico y Metodología a seguir para la elaboración del Atlas Eólico Preliminar de América Latina y el Caribe". Quito, Ecuador, 1981.
- (7) Borja, M.A.; Caldera, E.; Saldaña, R.: "Manual de Meteorología Eólica". Publicación en preparación. OLADE, Quito, Ecuador.
- (8) Borja, M.A.; Caldera, E.; Saldaña, R.: "Guía de diseño, habilitación y operación de estaciones móviles de climatología eólica". Publicación en preparación. OLADE. Quito, Ecuador.
- (9) Zárate, A.: "Cartas de frecuencia, velocidad media, dirección y velocidad máxima del viento". Instituto Nacional de Electrificación Rural. La Paz, Bolivia. 1980.
- (10) Chitty, A.: "Compendio de información eólica de Venezuela 1981". Dirección de Electricidad, Carbón y otras energías. Ministerio de Energía y Minas. Caracas, Venezuela. 1981.
- (11) Llenas, A.: "Atlas eólico de República Dominicana". Documento en preparación. Comisión Nacional de Política Energética. Santo Domingo, República Dominicana.
- (12) Aiello, J.L. y Brizuela, A.B.: "Aspectos acerca de una evaluación eólica preliminar de la Argentina", a publicarse en Revista Meteorológica. Buenos Aires, Argentina. 1983.
- (13) Brizuela, A.B.: "Evaluación preliminar del recurso eólico en Argentina". Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales. Centro Espacial San Miguel, Argentina. 1982.
- (14) CONSULPUC. "Atlas do levantamento preliminar do Potencial Eólico Nacional". ELETROBRAS. Río de Janeiro. Brasil. 1982.
- (15) Caribbean Meteorological Institute. Wind Resource Assesment Project. Barbados. 1982.
- (16) Cornejo, A.: "Estudio resumen de la velocidad el viento en el Departamento de Piura". ITINTEC. Lima, Perú. 1982.
- (17) Aiello, J.L.: "Informe a OLADE". Sin publicar. 1981.
- (18) Jústus, C.G.: "Winds and wind system performance". The Franklin Institute Press K/I. 0078. Philadelphia. 1978.

SIMBOLOS

1. CUADRO DE LA "RED DE ESTACIONES DE MEDICION DEL VIENTO"

Columna 3:	TIPO	Clase de estación meteorológica
	S	Sinóptica
	C	Climatológica
	A	Aeronáutica (de aeropuerto).

2. CUADRO DE "CARACTERIZACION DEL VIENTO"

V	Velocidad media del viento en m/s
P	Potencia media del viento en W/m ²
E	Energía total del viento en kwh/m ²
k	Factor de forma de la distribución de Weibull (adimensional)
V24	Velocidad media de 24 valores diarios
VR	Velocidad media del recorrido mensual total del viento
V3	Velocidad media de valores tridiurnos
V24 TODAS	Velocidad de 24 valores diarios de todas las estaciones del país.
VA	Varianza alta
VM	Varianza media
VB	Varianza baja.

SIGLAS UTILIZADAS

— CMI	Caribbean Meteorological Institute - Barbados.
— CNIE	Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales - Argentina.
— CONSULPUC	Consultoría Pontificia Universidad Católica - Río de Janeiro - Brasil.
— ELETROBRAS	Centrais Eletricas Brasileiras.
— GAEE	Grupo Asesor de Energía Eólica - OLADE.
— HIMAT	Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras - Colombia.
— ICE	Instituto Costarricense de Electricidad - Costa Rica.
— IIE	Instituto de Investigaciones Eléctricas - México.
— INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - Ecuador.
— INECEL	Instituto Ecuatoriano de Electrificación - Ecuador.
— INER	Instituto Nacional de Electrificación Rural - Bolivia.
— IRHE	Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación - Panamá.
— ITINTEC	Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas - Perú.
— OEA	Organización de Estados Americanos.
— OLADE	Organización Latinoamericana de Energía.
— OMM	Organización Meteorológica Mundial.
— PRDCYT	Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico - OEA.
— SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - Perú.

OLADE
Organización Latinoamericana de Energía
CENTRO DE INFORMACION

ATLAS EOLICO PRELIMINAR DE AMERICA LATINA Y EL CARIBE

VOLUMEN I

MEXICO

ATLAS EOLICO PRELIMINAR DE AMERICA LATINA Y EL CARIBE

VOLUMEN I

PAIS: MEXICO

CLAVE: 19

1. FUENTES Y TIPO DE INFORMACION

1.1 REDES DE ESTACIONES DE MEDICION DEL VIENTO

- 1.1.1 Servicio Meteorológico Nacional: información completa, en cuestionarios OLADE, sobre 78 estaciones meteorológicas; con excepción de la elevación.
- 1.1.2 Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE): elevación de las estaciones.
- 1.1.3 La fuente 1.2.1 registra todos los períodos de operación de las estaciones.

1.2 DATOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO

- 1.2.1 Servicio Meteorológico Nacional: planillas de datos mensuales, estaciones y anuales del período 1961 - 1976, de:
 - a. Velocidad media del viento (m/s), de 62 estaciones;
 - b. Velocidad media del viento dominante (m/s), de 66 estaciones;
 - c. Velocidad máxima del viento (m/s) de 80 estaciones.
- 1.2.2 Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE): "Procesamiento de los datos de \bar{V} y ($V_{\text{máx}}$) para la determinación del factor k de Weibull (1).

1.3 COMENTARIOS

- 1.3.1 En rigor, la información sobre las estaciones y los datos sobre el viento cubre una selección de sitios solamente: aquellos que ofrecen más confiabilidad y están dotados de instrumentos registradores.
- 1.3.2 De conformidad con lo anterior, el número de estaciones analizadas en este trabajo es 62 (ver 1.2.1 a).
- 1.3.3 El estudio del IIE (1) también se refiere a 62 estaciones.

2. CARACTERISTICAS Y NATURALEZA DE LOS DATOS DEL VIENTO

2.1 PERIODO CUBIERTO POR LOS DATOS

- 2.1.1 Hay homogeneidad en lo concerniente a la extensión del período de observaciones de las 62 estaciones estudiadas. Este período es de 16 años y va de 1961 a 1976.

2.2 ALTURA DE INSTALACION DEL EQUIPO DE MEDICION

- 2.2.1 La altura de instalación del sensor sobre el nivel del suelo es muy variable, aparte de que se desconoce este dato para 34 estaciones.
- 2.2.2 El trabajo del IIE (1), que se asimiló al presente análisis utiliza los datos del viento máximo a la altura del anemómetro.
- 2.2.3 Como consecuencia de 2.2.1, los datos de \bar{V} no se corrigieron a la altura tipo de 10 metros.

2.3 HORARIO DE OBSERVACIONES

2.3.1 De conformidad con la información disponible, 49 estaciones efectúan observaciones horarias; de las restantes no se tiene información directa, pero según el IIE también poseen registros de 24 horas.

2.4 PROCEDIMIENTOS DE CALCULO DE LOS VALORES PROMEDIOS DE \bar{V}

2.4.1 La velocidad media está calculada a base de 24 valores horarios diarios. El promedio incluye la calma como velocidad cero.

2.4.2 Se usó un programa denominado ESTU (2) para comparar características energéticas obtenidas entre la distribución real anual, a partir de información horaria y tridiurna.

2.5 COMENTARIOS

2.5.1 La estadística de vientos disponible se considera relativamente homogénea, aun cuando es más bien escasa (62 estaciones) para la extensión del territorio mexicano (1.960.000 km² aproximadamente).

3. CARACTERIZACION DEL VIENTO

3.1 PARAMETROS DE FORMA K DE LA DISTRIBUCION DEL WEIBULL

3.1.1 El Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) calculó el parámetro de forma k (1) de las 62 estaciones utilizando los valores disponibles de \bar{V} y de $V_{\text{máx}}$ (ver 1.2.1). El método aplicado es una variante de la milla más rápida.

3.1.2 El cálculo de k se circunscribió a los valores estacionales y anuales solamente, que son los que se presentan en los cuadros respectivos.

3.2 CALIFICACION DE LA VARIANZA DEL SITIO SEGUN LOS CRITERIOS DE JUSTUS

3.2.1 La varianza del sitio se determinó a base de la velocidad anual media y del valor anual del factor de forma k comparándolos para los tres casos de varianza según Justus (3).

3.2.2 La varianza así determinada se consideró aplicable tanto al valor anual como a los valores mensuales.

3.3 DETERMINACION DE POTENCIA Y ENERGIA

3.3.1 La potencia media se determinó con la tabla de potencia - velocidad para los tres casos de varianza (ver Tabla 1) o la energía, multiplicando a ésta por el tiempo.

4. CRITICA SOBRE LOS RESULTADOS NUMERICOS OBTENIDOS

4.1 Es muy probable que no se haya cubierto con valores significativos el extenso territorio mexicano, no solamente por la escasez de datos puntuales sino también por quedar fuera del análisis áreas de posible significación.

5. EVALUACION CUALITATIVA DEL RESULTADO FINAL

5.1 La limitación señalada en el párrafo anterior (4.1) se suma, tal vez, a una ubicación de las estaciones hecha con finalidad climatológica y no energética, para dar como resultado un panorama energético que, seguramente no es el que corresponde al país.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 La selección de sitios de potencial eólico satisfactorio y conveniente para su utilización debería

estar precedida por un análisis más extensivo de la información disponible, para luego instrumentar áreas más restringidas en extensión.

ANEXOS

- Red de estaciones de medición del viento en superficie.
- Caracterización del viento de superficie.
- Mapa 1 - México.

RECONOCIMIENTO

Al Instituto de Investigaciones Eléctricas y al Servicio Meteorológico Nacional de México.



ATLAS EOLICO REGIONAL

RED DE ESTACIONES DE MEDICION DEL VIENTO DE SUPERFICIE EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE

PAIS: MEXICO CODIGO 19 PAG. 1 / 2 NUMERO DE ESTACIONES 62

NOMENCLATURA Y UBICACION DE LAS ESTACIONES							ALTIMETRIA DEL SENSOR (m)	PERIODO DE OBSERVACIONES	OBSERVACIONES
NOMBRE	CLAVE OLADE	TIPO	LATITUD N/S	LONGITUD W	ELEVACION (m)	TIPO			
AGUAS CALIENTES, AGS.	001	S	N 2153	10218	1908	x	61-76		
ENSENADA, BCN	002	S	3151	11638	15	8	61-76		
ISLA GUADALUPE, BCN	003	S	2910	11819	6	4	61-76	Aerológica	
LA PAZ, BCS	008	S	2410	11025	10	x	61-76	Aerológica	
CAMPECHE, CAM.	009	S	1951	9033	5	7	61-76		
MONCLOVA, COAH.	011	S	2653	10125	591	x	61-76		
TORREON, COAH.	012	S	2532	10327	1013	x	61-76		
ISLA SOCORRO, COL.	014	S	1843	11057	34	7	61-76	Aerológica	
MANZANILLO, COL.	015	S	1903	10417	8	8	61-76	Aerológica	
TUXTLA GUTIERREZ, CHS.	017	S	1645	9307	528	8	61-76		
COMITAN, CHIS.	019	S	1615	9208	1530	x	61-76		
TACUBAYA, D.F.	024	S	1924	9912	2308	17	61-76	Observatorio Central	
AEROPUERTO INTERNACIONAL, D.F.	025	S	1926	9904	2237	8	61-76	Aerológica	
DURANGO, DGO.	027	S	2402	10440	1889	x	61-76		
GUANAJUATO, GTO.	028	S	2101	10115	2050	x	61-76		
ACAPULCO, GRO.	029	S	1650	9956	28	8	61-76		
CHILPANCINGO, GRO.	030	S	1733	9930	1360	x	61-76		
PACHUCA, HGO.	031	S	2008	9844	2426	x	61-76		
TULANCINGO, HGO.	032	S	2005	9822	2222	x	61-76		
COLOTLAN, JAL.	033	S	2207	10316	1589	x	61-76		
GUADALAJARA, JAL.	034	S	2040	10323	1589	7	61-76	Aerológica	
CIUDAD GUZMAN, JAL.	035	S	1942	10328	1507	10	61-76		
LAGOS DE MORENO, JAL.	036	S	2121	10155	1942	x	61-76		
TOLUCA, MEX.	037	S	1918	9940	2680	10	61-76		
MORELIA, MICH	038	S	1942	10111	1941	7	61-76		
TEPIC, NAY.	041	S	2131	0454	915	7	61-76		
MONTERREY, N.L.	042	S	2540	10018	538	7	61-76	Aerológica	
SALINA CRUZ, OAX.	043	S	1610	9512	6	x	61-76		
OAXACA, OAX.	046	S	1704	9643	1550	x	61-76		
PUEBLA, PUE.	047	S	1902	9812	2162	9	61-76		
QUERETARO, QRO.	048	S	2036	10023	1842	x	61-76		
COZUMEL, Q.R.	050	S	2031	8657	3	7	61-76		
SAN LUIS POTOSI, SLP	052	S	2209	10059	1877	10	61-76		
RIO VERDE, SLP	053	S	2156	9959	987	x	61-76		
MAZATLAN, SIN.	057	S	2312	10625	5	12	61-76		
CULIACAN, SIN.	058	S	2949	10724	84	9	61-76		
HERMOSILLO, SON.	063	S	2904	11058	237	9	61-76		
CIUDAD OBREGON, SON.	064	S	2730	10956	100	x	61-76		
SOTO LA MARINA, TAM.	066	S	2346	9812	25	7	61-76		
MATAMOROS, TAM.	067	S	2553	9731	12	x	61-76	Aerológica	
TAMPICO, TAM.	069	S	2213	9751	12	x	61-76		
TLAXCALA, TLX.	070	S	1919	9814	2252	7	61-76		
TUXPAN, VER.	071	S	2057	9724	14	x	61-76		
JALAPA, VER.	072	S	1932	9659	1427	7	61-76		
ORIZABA, VER.	073	S	1851	9706	1284	x	61-76		
COATZACOALCOS, VER.	074	S	1809	9425	14	x	61-76		
VERACRUZ, VER.	075	S	1912	9608	16	x	61-76	Aerológica	
MERIDA, YUC.	076	S	2059	8939	9	7	61-76	Aerológica	
LEON, GTO.	079	S	2106	10141	1850	x	61-70		
PUERTO CORTEZ, BCS.	080	S	2426	1152	5	x	61-76		
COLIMA, COL.	081	S	1914	10343	494	x	61-76		
CIUDAD SAN CRISTOBAL DE LAS CASAS		S				x	61-76		
CHIHUAHUA, CHI.	083	S	2838	0605	1423	x	61-76		
CIUDAD LERDO, DGO.	084	S	2532	10331	1135	x	61-76		
HUEJUCAR, JAL.	085	S	2221	10312	1932	12	61-76		
CHAPINGO, MEX.	086	S	1929	9854	2250	x	61-76		



ATLAS EOLICO REGIONAL

RED DE ESTACIONES DE MEDICION DEL VIENTO DE SUPERFICIE EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE

PAIS: MEXICO

CODIGO 19

PAG. 2 / 2

NUMERO DE ESTACIONES 62

NOMENCLATURA Y UBICACION DE LAS ESTACIONES							ALTIMETRIA DEL SENSOR (m)	PERIODO DE OBSERVACIONES	OBSERVACIONES
NOMBRE	CLAVE OLADE	TIPO	LATITUD N/S	LONGITUD W	ELEVACION (m)				
ISLA MARIA MADRE, NAY.	087		N 2135	0630	5	x	61-76		
GUAYMAS, SON.	088		2755	1054	44	x	61-76		
PROGRESO, YUC.	089		2118	8939	8	x	61-76		
LA BUFA, ZAC.	090		2247	0234	2612	x	61-76		



ATLAS EOLICO REGIONAL
CARACTERIZACION DEL VIENTO DE SUPERFICIE EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE

PAIS: MEXICO CODIGO 19 PAG 1 / 6 NUMERO DE ESTACIONES 60

NOMENCLATURA DE LAS ESTACIONES		PARA-	ENERO	FEBRERO	MARZO	INVIERNO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PRIMAVERA	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMB.	VERANO	OCTUBRE	NOVIEMBRE	ENERO	OTONO	AÑO	OBSERVACIONES
NOMBRE	CLAVE OLADE	METROS																		
AGUAS CALIENTES	001	V	2.0	2.2	2.8		2.2	2.2	2.4		2.0	2.0	2.0		1.6	1.6	2.0		2.1	V 24 Todas
		P	14	18	30		18	18	21		14	14	14		25	25	14		19	
		E	10	12	22		13	13	15		10	10	10		19	18	8		160	
		K				1.50					1.50				1.60				1.70	1.60
ENSENADA	002	V	0.5	0.5	0.5		0.6	0.8	0.8		0.8	0.5	0.6		0.4	0.4	0.3		0.6	
		P	1	1	1		1	2	2		2	1	1		1	1	0		1	
		E	1	1	1		1	1	1		1	1	1		1	1	0		11	
		K				1.40					1.30				1.20				1.00	1.20
ISLA GUADALUPE	003	V	2.7	3.4	4.2		4.6	5.2	4.6		4.2	3.9	3.9		3.2	3.1	3.0		3.8	
		P	32	24	47		62	153	114		91	76	76		51	44	40		68	
		E	24	16	35		45	114	82		68	56	55		38	32	30		595	
		K				1.50				2.00					1.80				1.60	1.84
LA PAZ	008	V	1.8	1.8	1.8		1.8	1.8	2.1		1.6	1.5	1.5		1.3	1.5	1.8		1.7	
		P	11	11	11		11	11	16		8	7	7		5	7	11		10	
		E	8	7	8		8	8	12		6	5	5		4	5	8		84	
		K				1.30				1.60					1.30				1.30	1.50
CAMPECHE	009	V	2.3	2.8	3.4		3.3	2.5	2.4		2.0	1.7	1.4		1.6	1.4	1.6		2.2	
		P	19	34	54		51	26	24		17	12	8		11	8	11		23	
		E	22	23	40		37	19	17		13	9	6		9	6	8		209	
		K				1.40				1.60					1.10				1.10	1.40
MONCLOVA	011	V	1.2	1.3	1.7		1.6	1.7	1.3		1.3	1.3	1.2		1.1	1.1	1.0		1.3	
		P	5	5	10		8	10	5		5	5	5		4	4	3		6	
		E	4	3	7		6	7	4		4	4	4		3	3	2		51	
		K				1.60				1.80					2.00				1.60	1.80
TORREON	012	V	1.7	2.0	2.6		2.2	2.3	2.0		2.8	1.8	2.1		2.0	1.4	1.7		2.0	
		P	10	14	25		18	19	14		30	11	16		14	6	10		15	
		E	7	9	19		13	14	10		22	8	12		10	4	7		135	
		K				1.60				1.60					2.00				1.50	1.70
SOCORRO	014	V	3.1	2.7	3.0		2.8	2.8	3.6		4.1	3.3	3.6		4.2	2.6	3.8		3.3	
		P	38	28	35		30	30	55		77	45	55		82	25	64		47	
		E	28	19	26		22	22	40		57	33	40		63	18	48		416	
		K				2.60				2.30					1.80				2.30	2.20
MANZANILLO	015	V	1.6	2.3	2.2		2.8	2.7	3.0		2.8	2.3	2.4		2.0	1.8	1.5		2.3	
		P	11	22	21		34	32	40		34	22	24		17	14	9		23	
		E	8	15	16		24	24	29		25	16	17		35	10	7		226	
		K				1.20				1.40					1.20				1.20	1.30
TUXTLA GUTIERREZ	017	V	2.0	2.0	2.0		1.8	1.8	1.8		1.8	3.2	1.8		1.6	1.6	2.0		2.0	
		P	14	14	14		11	11	11		11	41	11		8	8	14		14	
		E	10	9	10		8	8	8		8	30	8		6	6	10		125	
		K				2.60				2.40					3.00				2.50	2.70
COMITAN	019	V	1.2	0.4	0.5		0.8	0.6	0.4		0.7	0.8	0.9		1.0	0.8	0.8		0.7	
		P	5	1	1		2	1	1		2	2	3		3	2	2		2	
		E	4	1	1		1	1	1		1	1	2		2	1	1		17	
		K				1.30				1.10					1.40				1.80	1.40

(V, velocidad media, m/s ; P, potencia media, w/m²; E, energía, kWh/m²; K, factor de forma de la distribución de Weibull, adimensional)



ATLAS EOLICO REGIONAL

CARACTERIZACION DEL VIENTO DE SUPERFICIE EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE

PAIS: MEXICO CODIGO 19 PAG 2 / 6 NUMERO DE ESTACIONES 60

NOMENCLATURA DE LAS ESTACIONES		PARA-	ENERO	FEBRERO	MARZO	INVIERNO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PRIMAVERA	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	VERANO	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE	OTONO	AÑO	OBSERVACIONES
NOMBRE	CLAVE OLADE	METROS																		
TAPACHULA	020	V	1.4	1.6	1.4		1.5	1.4	1.4		1.4	1.4	1.4		1.2	1.3	1.4		1.4	VB
		P	6	8	6		7	7	6		6	6	6		5	5	6		6	
		E	4	5	4		5	5	4		4	4	4		4	4	4		51	
		K				1.30				1.20				1.20				1.30	1.30	
MEXICO D.F. (TACUBAYA)	024	V	0.5	0.9	0.9		0.9	0.7	0.7		0.6	0.7	0.7		0.7	0.6	0.5		0.7	VB
		P	1	3	3		3	2	2		1	2	2		2	1	1		2	
		E	1	2	2		2	1	1		0	1	1		1	1	0		14	
		K				1.00				1.00				1.00				1.00	1.00	
AEROP. MEXICO	025	V	0.6	1.0	1.4		1.2	1.2	1.0		0.6	0.8	1.0		0.7	0.5	0.6		0.9	VB
		P	1	3	6		5	5	3		1	2	3		2	1	1		3	
		E	1	2	4		4	4	2		0	1	2		1	1	0		22	
		K				1.00				1.00				1.00				1.00	1.00	
DURANGO	027	V	1.2	1.5	2.4		2.6	1.9	1.2		0.8	1.6	0.8		0.9	1.1	1.1		1.4	VB
		P	5	7	21		25	13	5		2	8	2		3	4	4		8	
		E	4	5	16		18	10	4		1	6	1		2	3	3		73	
		K				1.10				1.40				1.10				1.10	1.20	
GUANAJUATO	028	V	2.2	2.4	3.0		2.9	2.4	3.2		3.1	3.0	2.8		2.6	2.4	2.2		2.7	VM
		P	21	24	40		37	24	47		44	40	34		29	24	21		32	
		E	16	16	30		27	18	34		33	30	24		22	17	16		283	
		K				1.50				1.60				1.90				1.50	1.70	
ACAPULCO	029	V	0.8	1.1	1.4		1.6	1.4	1.4		1.2	2.0	1.2		1.0	1.0	0.8		1.2	VB
		P	2	4	6		8	6	6		5	14	5		3	3	2		5	
		E	1	3	4		6	4	4		3	10	4		2	2	1		44	
		K				1.10				1.10				1.10				1.00	1.10	
CHILPANCINGO	030	V	3.8	5.0	5.3		5.0	5.5	4.6		4.4	3.8	4.7		4.0	3.3	3.6		4.4	VB
		P	64	127	146		127	159	102		91	64	108		72	45	55		97	
		E	48	85	109		91	118	73		58	48	78		54	32	41		845	
		K				3.00				3.00				3.00				3.00	3.00	
PACHUCA	031	V	4.9	4.4	5.0		4.7	3.8	4.3		5.0	5.0	4.7		4.5	4.5	1.8		4.4	VB
		P	121	91	127		108	64	86		127	127	108		96	96	30		98	
		E	91	61	94		78	48	62		94	94	78		71	69	22		262	
		K				2.10				2.00				2.50				1.70	2.20	
TULANCINGO	032	V	2.0	2.2	2.7		2.4	2.2	2.2		2.2	2.6	2.4		2.6	2.4	2.3		2.4	VB
		P	14	18	28		21	18	18		18	25	21		25	21	19		20	
		E	10	12	21		15	13	13		13	19	15		19	15	14		179	
		K				1.60				1.80				2.00				2.00	1.90	
COLOTLAN	033	V	1.9	1.3	1.1		1.5	1.8	2.9		0.3	0.5	0.5		0.4	1.0	0.6		1.2	VM
		P	15	7	5		9	14	33		1	1	1		1	4	2		8	
		E	11	5	4		6	10	24		1	1	1		1	3	1		68	
		K				1.00				1.20				1.00				1.00	1.00	
GUADALAJARA	034	V	1.6	2.2	2.7		2.6	2.5	2.4		2.2	2.0	1.7		1.1	1.7	1.5		2.0	VM
		P	11	21	32		29	26	24		21	17	12		5	12	9		18	
		E	8	16	24		21	19	17		16	13	9		4	9	7		163	
		K				1.30				1.30				1.10				1.20	1.30	

(V, velocidad media, m/s ; P, potencia media, w/m²; E, energía. KWh/m²; K, factor de forma de la distribución de Weibull, adimensional)



ATLAS EOLICO REGIONAL

CARACTERIZACION DEL VIENTO DE SUPERFICIE EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE

PAIS: MEXICO CODIGO 19 PAG 3 / 6 NUMERO DE ESTACIONES 60

NOMENCLATURA DE LAS ESTACIONES		PARA-	ENERO	FEBRERO	MARZO	INVIERNO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PRIMAVERA	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	VERANO	OCTUBRE	NOVIEMBRE	ENERO	OTONO	AÑO	OBSERVACIONES
NOMBRE	CLAVE OLADE	METROS																		
CIUDAD GUZMAN	035	V	0.8	0.8	1.2		0.6	0.6	0.5		0.3	0.3	0.3		0.9	1.5	1.1		0.7	VB
		P	2	2	5		1	1	1		0	0	0		3	7	4		2	
		E	1	1	4		1	1	1		0	0	0		2	5	3		18	
		K				3.00				1.20				1.00				2.20	1.50	
LAGOS DE MORENO	036	V	1.2	1.8	1.8		1.9	1.6	1.4		0.8	0.8	0.9		1.0	1.0	1.1		1.3	VM
		P	6	14	14		15	11	8		3	3	4		4	4	5		8	
		E	4	9	10		11	8	6		2	2	3		3	3	4		65	
		K				1.00				1.00				1.00				1.00	1.00	
TOLUCA	037	V	1.0	1.2	1.4		1.3	1.0	1.0		0.8	0.8	0.9		0.6	0.8	0.8		1.00	VB
		P	3	5	6		5	3	3		2	2	3		1	2	2		3	
		E	2	3	4		4	2	2		1	1	2		0	1	1		23	
		K				1.00				1.00				1.00				1.00	1.00	
MORELIA	038	V	1.2	2.0	1.8		1.5	1.8	1.6		1.3	1.4	1.6		1.0	1.7	1.4		1.5	VB
		P	5	14	11		7	11	8		5	6	8		3	10	6		8	
		E	4	9	8		5	8	6		4	4	6		2	7	4		67	
		K				1.30				1.40				1.40				1.30	1.40	
TEPIC	041	V	1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	0.9		1.0	0.9	1.2		1.0	1.0	0.9		1.0	VB
		P	3	3	3		3	3	3		3	3	5		3	3	3		3	
		E	2	2	2		2	2	2		2	2	4		2	2	2		26	
		K				2.50				2.20				2.10				2.50	2.40	
MONTERREY	042	V	1.4	1.5	2.2		2.6	2.2	2.2		2.2	2.1	1.2		1.0	0.8	0.8		1.7	VM
		P	8	9	21		29	21	21		21	19	6		4	3	3		14	
		E	6	6	16		21	16	15		16	14	4		3	2	2		121	
		K				1.10				1.40				1.20				1.00	1.20	
SALINA CRUZ	043	V	3.4	4.2	3.6		2.9	3.6	2.9		3.2	2.8	2.6		3.2	5.3	4.4		3.5	VB
		P	48	82	62		37	25	37		41	30	25		41	146	91		55	
		E	36	55	46		27	19	27		30	22	18		30	105	68		483	
		K				2.40				2.40				2.40				2.90	2.60	
OAXACA	046	V	2.0	2.2	2.1		1.7	1.4	1.4		1.6	1.8	1.9		2.4	2.4	2.1		1.9	VM
		P	17	21	19		12	8	8		11	14	15		24	24	19		16	
		E	13	14	14		9	6	6		8	10	11		18	17	14		140	
		K				1.30				1.10				1.30				1.40	1.40	
PUEBLA	047	V	1.4	1.4	1.8		1.5	1.4	1.2		1.2	1.3	1.2		1.7	1.4	1.3		1.4	VM
		P	8	8	14		9	8	6		6	7	6		12	8	7		8	
		E	6	5	10		6	6	4		4	5	4		9	6	5		70	
		K				1.10				1.10				1.10				1.20	1.20	
QUERETARO	048	V	0.4	0.6	0.6		0.6	0.6	0.6		0.5	0.6	0.6		0.4	0.6	0.4		0.5	VB
		P	1	1	1		1	1	1		1	1	1		1	1	1		1	
		E	1	1	1		1	1	1		1	1	1		1	1	1		12	
		K				1.00				1.00				1.00				1.00	1.00	
COZUMEL	050	V	3.9	4.1	3.8		3.8	4.4	2.6		2.6	2.4	2.2		2.0	4.2	2.9		3.2	VM
		P	76	85	71		71	102	29		29	24	21		17	91	37		54	
		E	56	57	53		51	76	21		22	18	15		13	68	28		478	
		K				1.50				2.10				1.70				1.40	1.70	

(V, velocidad media, m/s ; P, potencia media, w/m²; E, energía. KWh/m²; K, factor de forma de la distribución de Weibull, adimensional)



ATLAS EOLICO REGIONAL

CARACTERIZACION DEL VIENTO DE SUPERFICIE EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE

PAIS: MEXICO CODIGO 19 PAG 4 / 6 NUMERO DE ESTACIONES 60

NOMENCLATURA DE LAS ESTACIONES		PARA- METROS	ENERO	FEBRERO	MARZO	INVIERNO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PRIMAVERA	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	VERANO	OCTUBRE	NOVIEMBRE	ENERO	OTONO	AÑO	OBSERVACIONES
NOMBRE	CLAVE OLADE																			
SAN LUIS POTOSI	052	V	1.6	2.6	3.0		2.5	3.0	2.2		1.9	2.2	2.0		1.4	2.0	2.2		2.2	
		P	19	45	61		41	61	33		25	33	27		16	27	33		35	
		E	14	30	45		30	45	24		19	24	19		12	19	24		305	
		K				1.50				1.60				1.70				1.60	1.60	
MAZATLAN	057	V	1.5	2.2	2.2		2.0	2.0	2.2		2.2	2.1	2.0		2.4	3.0	1.8		2.1	
		P	7	18	18		14	14	18		18	16	14		21	35	11		16	
		E	5	12	13		10	10	13		13	12	10		16	25	8		147	
		K				1.80				2.30				1.80				2.00	2.10	
CULIACAN	058	V	1.4	1.4	1.6		1.8	1.8	1.9		1.7	1.6	1.6		1.6	1.6	1.4		1.6	
		P	6	5	8		11	11	13		10	8	8		8	8	5		9	
		E	4	4	6		8	8	9		7	6	6		6	6	4		74	
		K				2.20				2.50				1.60				1.90	2.10	
HERMOSILLO	053	V	0.6	0.4	0.7		0.7	0.8	1.4		0.8	1.0	0.8		0.8	1.4	0.8		0.8	
		P	1	1	2		2	2	6		2	3	2		2	6	2		3	
		E	1	1	1		1	1	4		1	2	1		1	4	1		19	
		K				1.10				1.70				1.30				1.50	1.40	
CIUDAD OBREGON	064	V	1.0	1.2	1.6		2.0	2.3	2.9		2.0	1.6	1.4		1.4	1.3	1.0		1.6	
		P	10	13	19		27	35	57		27	19	16		16	14	10		22	
		E	7	9	14		19	26	41		20	14	12		12	10	7		191	
		K				1.00				1.30				1.00				1.10	1.10	
SOTO LA MARINA	066	V	2.9	1.8	2.4		2.4	2.2	2.4		1.6	2.2	1.4		1.2	0.8	1.3		1.9	
		P	33	11	21		21	18	21		8	18	6		5	2	5		14	
		E	24	7	16		15	13	15		6	13	4		4	1	4		122	
		K				2.10				2.10				2.20				1.40	2.00	
MATAMOROS	067	V	2.9	3.4	3.4		3.5	3.0	2.4		2.1	1.3	2.1		2.5	3.0	3.6		2.8	
		P	33	48	48		51	35	21		16	5	16		23	35	55		32	
		E	24	32	36		37	26	15		12	4	12		17	25	41		281	
		K				2.10				2.20				1.50				1.80	2.00	
TAMPICO	059	V	1.4	1.8	1.8		1.8	1.4	1.3		0.8	1.0	0.9		1.0	1.3	1.2		1.3	
		P	8	14	14		14	8	7		3	4	4		4	7	6		8	
		E	6	9	10		10	6	5		2	2	3		3	5	4		65	
		K				1.00				1.00				1.00				1.00	1.00	
TLAXCALA	070	V	1.4	2.3	2.0		1.7	1.0	1.0		0.7	0.7	0.8		1.2	1.2	1.8		1.3	
		P	6	19	14		10	3	3		2	2	2		5	5	11		7	
		E	4	13	10		7	2	2		1	1	1		4	4	8		57	
		K				1.70				1.30				1.10				1.40	1.50	
TUXPAN	071	V	2.8	3.3	3.2		3.2	2.7	2.4		2.2	1.7	2.0		2.0	2.4	1.2		2.5	
		P	34	51	47		47	32	24		21	12	17		17	24	6		28	
		E	25	34	35		34	24	17		16	9	12		13	17	4		240	
		K				1.50				1.50				1.40				1.30	1.50	
JALAPA	072	V	1.0	1.1	1.2		1.2	1.1	1.0		1.1	1.1	1.2		1.0	1.2	1.0		1.1	
		P	4	5	6		6	5	4		5	5	6		4	6	4		5	
		E	3	3	4		4	4	3		4	4	4		3	4	3		43	
		K				1.20				1.00				1.00				1.00	1.50	

(V, velocidad media, m/s; P, potencia media, w/m²; E, energía, kWh/m²; K, factor de forma de la distribución de Weibull, adimensional)



ATLAS EOLICO REGIONAL

CARACTERIZACION DEL VIENTO DE SUPERFICIE EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE

PAIS: MEXICO

CODIGO 19

PAG 5 / 6

NUMERO DE ESTACIONES 60

NOMENCLATURA DE LAS ESTACIONES		PARA- METROS	ENERO	FEBRERO	MARZO	INVIERNO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PRIMAVERA	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	VERANO	OCTUBRE	NOVIEMBRE	ENERO	OTONO	AÑO	OBSERVACIONES
NOMBRE		CLAVE OLADE																		
ORIZABA	073	V	1.2	1.0	1.0		1.0	0.8	0.8		0.8	0.8	0.9		0.9	1.0	1.1		0.9	VB
		P	5	3	3		3	2	2		2	2	3		3	3	4		3	
		E	4	2	2		2	1	1		1	1	2		2	2	3		23	
		K				1.10				1.10				1.10				1.10	1.50	
COATZACOALCO	074	V	2.2	2.8	2.8		2.2	2.2	1.5		1.6	2.4	1.8		2.2	2.6	2.4		2.2	VM
		P	21	34	34		21	21	9		11	24	14		21	29	24		22	
		E	16	23	25		15	16	6		8	18	10		16	21	18		192	
		K				1.20				1.30				1.40				1.50	1.40	
VERACRUZ	075	V	5.8	5.6	5.0		4.7	4.2	4.0		3.5	3.6	4.3		5.8	5.6	5.4		4.8	VA
		P	264	241	185		161	125	111		83	89	131		264	241	221		176	
		E	196	162	138		116	93	80		62	66	94		196	174	164		154	
		K				1.30				1.40				1.40				1.40	1.50	
MEKIDA	076	V	1.4	1.8	2.3		2.6	2.5	1.8		1.4	1.1	1.0		1.1	1.2	1.3		1.6	VA
		P	16	23	35		45	41	23		16	11	10		11	13	14		22	
		E	12	15	26		32	30	16		12	8	7		8	9	10		185	
		K				1.10				1.20				1.00				1.00	1.00	
LEON	079	V	0.8	1.0	1.4		1.7	1.3	1.0		0.8	0.8	0.7		0.8	1.0	0.7		1.0	VM
		P	3	4	8		12	7	4		2	2	2		2	4	2		4	
		E	2	3	6		9	5	3		1	1	1		1	3	1		36	
		K				1.00				1.10				1.00				1.00	1.10	
PUERTO CORTEZ	080	V	1.4	1.8	2.2		2.1	2.8	2.2		4	1.4	2.0		1.4	1.4	1.3		1.8	VB
		P	6	11	18		16	30	18		6	6	17		6	6	7		12	
		E	4	7	13		12	22	13		4	4	12		4	4	5		104	
		K				1.60				1.80				1.40				1.40	1.60	
COLIMA	081	V	0.8	1.2	1.0		1.0	1.1	1.0		0.9	0.8	0.8		0.7	0.8	0.8		0.9	VB
		P	3	6	4		4	5	4		4	3	3		2	3	3		4	
		E	2	4	3		3	4	3		3	2	2		1	2	2		31	
		K				1.10				1.10				1.00				1.10	1.10	
CIUDAD SAN CRISTOBAL DE LAS CASAS		V	0.6	0.4	0.8		0.6	0.5	0.6		1.6	1.2	0.5		1.5	0.5	0.7		0.8	VB
		P	1	1	2		1	1	1		8	5	1		7	1	2		3	
		E	1	1	1		1	1	1		6	4	1		5	1	1		24	
		K	0.8	0.7	0.9		0.8	0.7	0.8		1.3	1.2	0.7		1.3	0.7	0.9		0.9	
CHIHUAHUA	083	V	2.6	2.8	3.8		3.7	2.9	2.4		1.7	1.4	1.2		1.3	2.0	2.0		2.3	VM
		P	29	34	71		67	37	24		12	8	6		7	17	17		27	
		E	22	23	53		48	28	17		9	6	4		5	12	13		240	
		K				1.40				1.40				1.10				1.10	1.30	
CIUDAD LERDO	084	V	1.2	1.4	1.4		1.4	1.2	1.4		1.2	1.0	1.0		0.8	0.9	1.0		1.2	VB
		P	5	6	6		6	5	6		5	3	3		2	3	3		4	
		E	4	4	4		4	4	4		4	2	2		1	2	2		37	
		K				1.00				1.10				1.20				1.10	1.20	
HUEJUCAR	085	V	2.0	3.3	3.0		3.0	2.2	2.6		2.2	2.2	1.5		2.4	3.2	2.4		2.5	VB
		P	14	45	35		35	18	25		18	18	7		21	41	21		25	
		E	10	30	26		25	13	18		13	13	5		16	30	16		215	
		K				2.80				2.40				2.60				3.00	2.70	

(V, velocidad media, m/s ; P, potencia media, w/m²; E, energía. KWh/m²; K, factor de forma de la distribución de Weibull, adimensional)



ATLAS EOLICO REGIONAL

CARACTERIZACION DEL VIENTO DE SUPERFICIE EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE

PAIS: MEXICO CODIGO 19 PAG 5 / 6 NUMERO DE ESTACIONES 60

NOMENCLATURA DE LAS ESTACIONES		PARA-	ENERO	FEBRERO	MARZO	INVIERNO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PRIMAVERA	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMB.	VERANO	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DIEMBRE	OTOÑO	AÑO	OBSERVACIONES
NOMBRE	CLAVE OLADE	METROS																		
CHAPINGO	086	V	1.1	1.3	1.4		1.2	1.1	1.0		0.9	0.9	0.8		0.8	1.0	0.9		1.0	
		P	4	5	6		5	4	3		3	3	2		2	3	3		4	
		E	3	3	5		4	3	2		2	2	1		1	2	2		30	
		K				1.00				1.00				1.00					1.00	1.00
ISLA MARIA MADRE	087	V	0.4	0.8	0.7		0.6	0.6	0.5		0.4	0.4	0.8		0.5	0.4	0.3		0.5	
		P	1	2	2		1	1	1		1	1	2		1	1	0		1	
		E	1	1	1		1	1	1		1	1	1		1	1	0		11	
		K				1.10				1.10				1.00					1.00	1.00
GUAYMAS	088	V	1.4	1.2	1.4		1.2	1.2	1.3		1.3	1.0	1.1		0.8	1.0	1.0		1.2	
		P	6	5	6		5	5	5		5	3	4		2	3	3		4	
		E	4	3	4		4	4	4		4	2	3		1	2	2		37	
		K				1.20				1.20				1.30					1.10	1.20
PROGRESO	089	V	1.2	1.5	1.8		1.8	1.5	1.1		0.8	0.6	0.7		0.9	1.0	1.2		1.2	
		P	6	9	14		14	9	5		3	2	2		4	4	6		6	
		E	4	6	10		10	7	4		2	1	1		3	3	4		55	
		K				1.10				1.00				1.00					1.00	1.10
LA BUFA	090	V	5.6	5.2	6.7		4.2	4.0	4.4		3.1	4.6	3.6		2.2	3.4	3.1		4.2	
		P	168	140	276		82	72	91		38	102	62		18	48	38		94	
		E	125	94	205		59	54	66		28	76	45		13	34	28		827	
		K				3.00				2.70				2.50					3.00	3.00
		V																		
		P																		
		E																		
		K																		
		V																		
		P																		
		E																		
		K																		
		V																		
		P																		
		E																		
		K																		
		V																		
		P																		
		E																		
		K																		

(V, velocidad media, m/s ; P, potencia media, w/m²; E, energía, KWh/m²; K, factor de forma de la distribución de Weibull, adimensional)

ATLAS EOLICO PRELIMINAR DE AMERICA LATINA Y EL CARIBE

VOLUMEN I

PAIS: ESTADOS UNIDOS

CLAVE: 36

Estados Unidos no está expresamente comprendido en el área para la cual se ha previsto la preparación del Atlas Eólico, pero es indudable que por encontrarse en el límite septentrional de la misma interesa que su información se incluya como pauta de comparación o de continuidad. Para el efecto, se han seleccionado 36 estaciones de dicho país situadas inmediatamente al norte de la frontera mexicana.

1. FUENTES Y TIPO DE INFORMACION

1.1 REDES DE ESTACIONES DE MEDICION DEL VIENTO

1.1.1 Wind Energy Resource Atlas (4): Coordenadas geográficas y elevación de las estaciones, períodos de registro y altura de instalación de los anemómetros.

1.2 DATOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO

1.2.1 Wind Energy Resource Atlas (4), en aquellos volúmenes y secciones en que consta la información de la faja limítrofe con México: velocidad media y potencia media anuales a 10 m sobre el suelo (18 estaciones).

1.2.2 Wind Energy Mission Analysis (5), (parámetros c , k de Weibull estacionales y anual a la altura anemométrica de superficie (18 estaciones).

1.3 COMENTARIOS

Como se desprende del párrafo anterior, la información solo está referida a valores estacionales y anuales pero, para los fines de comparación que se persiguen son suficientes y más todavía si se tiene en cuenta que la información gráfica del Atlas se refiere al año solamente.

2. CARACTERISTICAS Y NATURALEZA DE LOS DATOS DEL VIENTO

2.1 PERIODO CUBIERTO POR LOS DATOS

2.1.1 Se desconoce los períodos de registro de las estaciones de la fuente (5).

2.1.2 En la fuente (4) se obtuvo la información sobre los períodos de observaciones de 30 estaciones. La extensión de los períodos es variable dentro de los años extremos de iniciación, 1948, y de finalización, 1978.

2.2 ALTURA DE INSTALACION DEL EQUIPO DE MEDICION

2.2.1 La altura del sensor sobre el suelo es de lo más variada, desde 3 hasta 30 metros. Las 18 estaciones de la fuente (4) dan la velocidad reducida al nivel de 10 metros que es la que consta en las tablas de \bar{V} . Estas estaciones son las que tienen valores medios anuales de \bar{V} , \bar{P} , E y K .

2.2.2 Las demás estaciones proporcionan los datos que se consignan en las tablas al nivel anemométrico. Son las que despliegan valores estacionales y anuales en las tablas de datos.

2.3 HORARIO DE OBSERVACIONES

2.3.1 Se desconocen los horarios de observaciones de las estaciones.

2.4 PROCEDIMIENTOS DE CALCULO DE LOS VALORES PROMEDIOS DE \bar{V}

2.4.1 Se desconocen los métodos de cálculo de los promedios de la velocidad del viento.

2.5 COMENTARIOS

2.5.1 La utilización de los resultados de dos fuentes distintas, así como la extensión de las series y la altura de observación del viento sobre el suelo, son factores que restan homogeneidad a la información.

2.5.2 Sin embargo de lo anterior, hay congruencia entre los datos de la zona estudiada, como puede verse del examen de las tablas de \bar{V} , \bar{P} , E y k en el Mapa I.

3. CARACTERIZACION DEL VIENTO

3.1 PARAMETRO DE FORMA K DE LA DISTRIBUCION DE WEIBULL

3.1.1 Los datos de la fuente (4) permitieron determinar la energía total anual y el tipo de varianza lo que, a su vez, proporcionó el valor del parámetro k de la distribución de Weibull.

3.1.2 Los valores de los parámetros c y k de Weibull de la fuente (5) se calcularon por el método de los mínimos cuadrados para un rango de velocidades superior a 3.6 m/s a la altura de instalación del anemómetro de superficie.

3.2 CALIFICACION DE LA VARIANZA DEL SITIO SEGUN LOS CRITERIOS DE JUSTUS

3.2.1 La varianza de las estaciones de la fuente (4) está implícita en los valores de velocidad media del viento y potencia media que se dan como datos (ver 3.1.1).

3.2.2 Para los sitios de la fuente (5) se calificó la varianza del sitio determinando primero, a partir de los c y k dados, la potencia media y la energía.

3.2.3 Del total de 36 estaciones utilizadas, 8 acusan alta varianza, 22 varianza media y 6 varianza baja.

3.3 DETERMINACION DE POTENCIA Y ENERGIA

3.3.1 Para las 18 estaciones de la fuente (4): conversión directa de la \bar{P} dada en w/m².

3.3.2 La determinación de la energía de las 18 estaciones restantes, fuente (5), se efectuó según lo expresado en 3.2.2.

3.4 OBSERVACIONES Y COMENTARIOS

3.4.1 La caracterización del viento en la faja limítrofe de los Estados Unidos con México y el Golfo de México es congruente, a pesar de la utilización de dos procedimientos diversos aplicados a 50% de las estaciones utilizadas en cada caso.

3.4.2 Lo anterior también podría decirse en relación con la compatibilidad de los datos de k de las estaciones mexicanas del Golfo de México.

4. EVALUACION CUALITATIVA DE RESULTADO FINAL

4.1 Es significativo el potencial eólico que puede esperarse en la zona central de la faja limítrofe de los Estados Unidos con México.

4.2 También las estaciones que rodean el Golfo de México acusan potencialidad apreciable, hasta de 1.200 w/m².

5. OTRAS OBSERVACIONES

5.1 La mayoría de los datos del viento proceden de estaciones meteorológicas situadas en aeropuertos.

5.2 Para fines de comparación y continuidad con México la densidad de estaciones es satisfactoria.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Tal vez convendría que en la zona limítrofe de Estados Unidos con México se utilizara idéntico procedimiento de caracterización del viento que facilitara la comparación. Sin embargo como ya se anotó parece haber continuidad, por lo menos en la zona del Golfo de México.

ANEXOS

— Red de estaciones de medición del viento en superficie.

— Caracterización del viento de superficie.

— Mapa I: México.

RECONOCIMIENTOS

Al Dr. Vaughn Nelson, Director Alternative Energy Institute, West Texas University.



ATLAS EOLICO REGIONAL

RED DE ESTACIONES DE MEDICION DEL VIENTO DE SUPERFICIE EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE

PAIS: ESTADOS UNIDOS CODIGO 36 PAG. 1/1 NUMERO DE ESTACIONES 36

NOMENCLATURA Y UBICACION DE LAS ESTACIONES						ALTURA DEL SENSOR (m)	PERIODO DE OBSER- VACIONES	OBSERVACIONES
NOMBRE	CLAVE OLADE	TIPO	LATITUD N/S	LONGITUD W	ELEVACION (m)			
YUMA, ARIZ.	001		N 3224	1422	62	8	50-58	
TUCSON, ARIZ.	002		N 3204	11034	789	10	49-58	Aeropuerto
ABILENE, TEX.	003		3225	9951	542	6	60-78	Aeropuerto Municipal
AUSTIN, TEX.	004		3018	9742	183	6	61-78	Aeropuerto Mueller
EL PASO, TEX.	005		N 3148	10624	1200	11	64-78	Aeropuerto
FORT WORTH, TEX.	006		3247	9725	191	4	57-70	
DALLAS, TEX.	007		3244	9658	143	5	66-78	
HOUSTON, TEX.	008		2959	9521	37	6	69-78	Aeropuerto
GALVESTON, TEX.	009		2916	9451	8	14	48-58	Aeropuerto
PORT ARTHUR, TEX.	010		2957	9401	9	6	60-78	Aeropuerto
BROWNSVILLE, TEX.	011					17		
WACO, TEX.	012					9		
NEW ORLEANS, LA	013					16		
SRHREVEPORT, LA	014					17		
BIRMINGHAM, ALA.	015					19		
MOBILE, ALA.	016					17		
TAMPA, FLA.	017		2758	8232		7		Aeropuerto Internacional
MIAMI, FLA.	018		2548	8016	4	7	60-78	Aeropuerto Internacional
ALAMOGORDO, N.M.	019		N 3231	10603	1241	4	55-58	
CARLSBAD, N.M.	020		N 3212	10410	990	15	48-54	Aeropuerto
COLUMBUS, N.M.	021		N 3129	10720	1229	8	48-54	Aeropuerto
HOBBS, N.M.	022		N 3225	10307	1123	11	48-54	Aeropuerto
LAS CRUCES, N.M.	023		N 3213	10617	1292	5	57-62	
SILVER CITY, N.M.	024		N 3223	10806	1639	6	60-68	Aeropuerto
BIG SPRINGS, TEX.	025		N 3218	10127	779	5	59-70	
DEL RIO, TEX.	026		N 2922	10055	314	7	64-78	Aeropuerto
MARFA, TEX.	027		N 3015	10353	1481	17	48-54	Aeropuerto
MIDLAND, TEX.	028		N 3156	10212	871	7	59-78	
SALT FLAT, TEX.	029		N 3145	10503	1131	8	51-54	
SAN ANGELO, TEX.	030		N 3122	10030	585	6	61-78	Aeropuerto
WINK, TEX.	031		N 3147	10312	858	9	48-54	Aeropuerto
PANAMA CITY, FLA.	032		N 3004	8535	28	3	58-70	
EL CENTRO, CALIF.	033		N 3249	11540	-13	20	50-57	
SAN DIEGO, CALIF.	034		N 3243	11710	18	6	61-69	
GILA BEND, ARIZ.	035		N 3222	11226	261	8	48-54	
PORT HUACHUCA, ARIZ.	036		N 3121	11012	1422	x	54-71	



ATLAS EOLICO REGIONAL

CARACTERIZACION DEL VIENTO DE SUPERFICIE EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE

PAIS: ESTADOS UNIDOS

CODIGO 36

PAG 1 / 4

NUMERO DE ESTACIONES

36

NOMENCLATURA DE LAS ESTACIONES		PARA-	ENERO	FEBRERO	MARZO	INVIERNO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PRIMAVERA	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMB.	VERANO	OCTUBRE	NOVIEMBRE	ENERO	OTONO	AÑO	OBSERVACIONES		
NOMBRE	CLAVE OLADE	METROS																				
YUMA	001	V				3.2				3.9				4.0				3.1	3.6			
		P																	62			
		E																		543		
		K				1.48				1.80					1.79				1.47	1.64		
TUCSON	002	V				3.4				4.1				3.9				3.7	3.8			
		P																	100			
		E																		871		
		K				1.31				1.53					1.57				1.42	1.46		
ABILENE	003	V				5.5				6.0				5.1				5.3	5.5			
		P																		172		
		E																			1507	
		K				2.09				2.42					2.37				2.14	2.20		
AUSTIN	004	V				5.0				5.4				4.6				4.2	4.8			
		P																		127		
		E																			112	
		K				2.05				2.27					2.27				1.74	2.04		
EL PASO	005	V				5.1				6.3				5.0				4.7	5.2			
		P																		203		
		E																			1778	
		K				1.42				1.70					1.81				1.64	1.60		
FORT WORTH	006	V				4.8				5.2				3.8				9.2	4.5			
		P																		145		
		E																			1270	
		K				1.78				1.93					1.73				1.77	1.74		
DALLAS	007	V				5.2				5.8				4.5				4.7	5.0			
		P																		140		
		E																			1226	
		K				2.15				2.58					2.26				2.08	2.21		
HOUSTON	008	V				5.4				5.7				4.1				4.2	4.9			
		P																		133		
		E																			1165	
		K				2.18				2.34					1.96				1.81	2.02		
GALVESTON	009	V				6.3				6.2				5.5				5.4	5.9			
		P																		210		
		E																			1840	
		K				2.09				2.48					2.51				1.86	2.18		
PORT ARTHUR	010	V				5.2				5.7				4.2				4.3	4.9			
		P																		133		
		E																			1165	
		K				2.22				2.58					2.23				1.92	2.16		
BROWNSVILLE	011	V				6.1				7.1				6.1				5.3	6.2			
		P																		242		
		E																			2120	
		K				2.12				2.40					2.59				2.09	2.13		

(V, velocidad media, m/s ; P, potencia media, w/m²; E, energía. KWh/m²; K, factor de forma de la distribución de Weibull, adimensional)



ATLAS EOLICO REGIONAL

CARACTERIZACION DEL VIENTO DE SUPERFICIE EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE

PAIS: ESTADOS UNIDOS. CODIGO 36 PAG 2 / 4 NUMERO DE ESTACIONES 36

NOMENCLATURA DE LAS ESTACIONES		PARA-METROS	ENERO	FEBRERO	MARZO	INVIERNO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PRIMAVERA	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	VERANO	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	OTOÑO	AÑO	OBSERVACIONES
NOMBRE	CLAVE OLADE																			
WACO	012	V̄				6.2				6.5				5.9				5.4	6.0	
		P̄																	220	
		E																	1927	
		K				2.24				2.41				2.59				2.06	2.28	
NEW ORLEANS	013	V̄				4.5				4.5				2.6				3.6	3.9	
		P̄																	76	
		E																	666	
		K				2.05				1.97				1.40				1.73	1.79	
SHREVEPORT	014	V̄				3.9				4.0				2.5				3.2	3.5	
		P̄																	58	
		E																	508	
		K				1.77				1.98				1.42				1.63	1.70	
BIRMINGHAM	015	V̄				4.7				4.6				3.0				3.9	4.1	
		P̄																	85	
		E																	745	
		K				1.91				1.82				1.52				1.73	1.71	
MOBILE	016	V̄				4.6				4.5				2.4				3.6	3.9	
		P̄																	76	
		E																	666	
		K				2.14				1.95				1.31				1.77	1.79	
TAMPA	017	V̄				3.9				4.4				2.6				3.6	3.7	
		P̄																	67	
		E																	587	
		K				1.75				2.26				1.25				1.70	1.73	
MIAMI	018	V̄				4.7				5.0				3.7				4.4	4.5	
		P̄																	107	
		E																	937	
		K				2.10				2.34				1.86				2.09	2.08	
ALAMOGORDO	019	V̄																	3.2	
		P̄																	57	
		E																	499	
		K																	1.68	
CARLSBAD	020	V̄																	5.0	
		P̄																	193	
		E																	1690	
		K																	1.63	
COLUMBUS	021	V̄																	4.0	
		P̄																	101	
		E																	885	
		K																	1.46	
HOBBS	022	V̄																	5.3	
		P̄																	163	
		E																	1428	
		K																	2.16	

(V̄, velocidad media, m/s ; P̄, potencia media, w/m²; E, energía. KWh/m²; K, factor de forma de la distribución de Weibull, adimensional)



ATLAS EOLICO REGIONAL

CARACTERIZACION DEL VIENTO DE SUPERFICIE EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE

PAIS: ESTADOS UNIDOS

CODIGO 36

PAG 3 / 4

NUMERO DE ESTACIONES 36

NOMENCLATURA DE LAS ESTACIONES		PARA- METROS	ENERO	FEBRERO	MARZO	INVIERNO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PRIMAVERA	JULIO	AGOSTO	SEPTIEM.	VERANO	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	OTOÑO	AÑO	OBSERVACIONES
NOMBRE	CLAVE OLADE																			
LAS CRUCES	023	V																	3.1 92 806 1.28	VA
		P																		
		E																		
		K																		
SILVER CITY	024	V																	5.4 150 1314 2.44	VB
		P																		
		E																		
		K																		
BIG SPRINGS	025	V																	5.2 162 1419 2.14	VM
		P																		
		E																		
		K																		
DEL RIO	026	V																	4.7 99 867 2.28	VB
		P																		
		E																		
		K																		
MARFA	027	V																	4.6 132 1156 2.02	VM
		P																		
		E																		
		K																		
MIDLAND	028	V																	5.5 1.58 1384 2.46	VM
		P																		
		E																		
		K																		
SALT FLAT	029	V																	3.6 98 858 1.38	VA
		P																		
		E																		
		K																		
SAN ANGELO	030	V																	4.8 119 1042 2.30	VB
		P																		
		E																		
		K																		
WINK	031	V																	4.3 111 972 1.94	VM
		P																		
		E																		
		K																		
PANAMA CITY	032	V																	3.7 77 674 1.81	VM
		P																		
		E																		
		K																		
EL CENTRO	033	V																	3.8 92 806 1.42	VA
		P																		
		E																		
		K																		

(V, velocidad media, m/s ; P, potencia media, w/m²; E, energía. KWh/m²; K, factor de forma de la distribución de Weibull, adimensional)



ATLAS EOLICO REGIONAL
CARACTERIZACION DEL VIENTO DE SUPERFICIE EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE

PAIS: ESTADOS UNIDOS CODIGO 35 PAG. 4 / 4 NUMERO DE ESTACIONES 36

NOMENCLATURA DE LAS ESTACIONES		PARA-	ENERO	FEBRERO	MARZO	INVERNO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PRIMAVERA	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMB	VERANO	OCTUBRE	NOVIEMBRE	ENERO	OTOÑO	AÑO	OBSERVACIONES
NOMBRE	GLAVE OLADE	METROS																		
SAN DIEGO	034	V																	3.5	
		P																	41	
		E																	359	
		K																	1.96	VB
GILA BEND	035	V																	3.0	
		P																	45	
		E																	394	
		K																	1.63	VM
FORT HUACHUCA	036	V																	3.7	
		P																	57	
		E																	499	
		K																	2.02	VB
		V																		
		P																		
		E																		
		K																		
		V																		
		P																		
		E																		
		K																		
		V																		
		P																		
		E																		
		K																		
		V																		
		P																		
		E																		
		K																		

(V, velocidad media, m/s ; P, potencia media, w/m²; E, energía, KWh/m²; K, factor de forma de la distribución de Weibull, adimensional)

REFERENCIAS (VOL I)

- (1) caldera Muñoz, E. y Saldaña Flores, m.: "Procesamiento de la velocidad media y velocidad máxima para la determinación del factor k de la distribución teórica de Weibull en la República Mexicana". Memorias de la VI Reunión de la ANES, México, 1982.
- (2) Aiello, J.L. y Brizuela, A.: "Aspectos acerca de una evaluación eólica preliminar de la Argentina", a publicarse en METEOROLOGIA, 1983.
- (3) Justus, C.C.: "Winds and Wind System Performance", The Franklin Institute Press K/1-0078, Philadelphia, Pennsylvania, 1978.
- (4) Pacific Northwest Laboratory - 3195, Vols 1/13: "Wind Energy Resource Atlas", U.S.A., 1980.
- (5) Coty, V.A.: "Wind Energy Mission Analysis", SAN/1075-1/1, 2, 3 Lockheed California Company, Bunbank, California, 1976.