

Estadística Preliminar de los Vientos para la Zona Urbana de Aguascalientes

Mtro. José Luis López López ¹, Mtro. Carlos González García ¹, Dr. Mario Eduardo Zermeño de León ¹, Arq. Enrique Mendoza Otero ¹, Arq. Jesús Pacheco Martínez ¹, Dr. José Ángel Ortiz Lozano ¹, Dr. Gerardo Araiza Garaygordóbil ¹

RESUMEN

Este trabajo parte de la necesidad de considerar los efectos de viento en los trabajos de Ingeniería Ambiental, ya que para dichas aplicaciones se requiere de la determinación de las velocidades regionales del viento. En la mayor parte de los casos, las normatividades existentes particulares de cada estado carecen de fuentes de información confiables donde se puedan estimar magnitudes y direcciones de vientos dominantes. En este trabajo se lleva a cabo la recopilación de información de los vientos actuantes en la zona urbana de Aguascalientes en un período de 14 años, de 1990 a 2003; se hace un análisis de las direcciones principales de viento y en las que se le clasifica en tres grandes grupos: débiles (menores de 3 m/s), moderados (4-7 m/s) y fuertes (mayores de 8 m/s). También se agrupó de acuerdo con los períodos estacionales. A partir de los resultados obtenidos se puede establecer una base de datos para llevar a cabo futuros análisis en el estudio de contaminantes presentes en la atmósfera así como para realizar posteriormente un análisis de distribuciones de probabilidad de valores extremos para otras áreas de la ingeniería.

Palabras clave: Viento, intensidad, dirección, rosa de vientos, frecuencia.

Key words: Wind, intensity, direction, rose of the winds, frequency.

Recibido: 6 de junio de 2007, aceptado: 7 de mayo de 2008

¹ **Cuerpo Académico:** Estudios y Proyectos de Ingeniería Civil, Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Edificio 108, Campus Universitario Norte, Avenida Universidad No. 940, C.P. 20100, teléfono: (01 449) 9 10 84 56, correo electrónico: mezerre@correo.uaa.mx.

ABSTRACT

This research paper is triggered by necessity of taking wind effects in the Environmental Engineering works, into account as for such applications it is required to determine the regional wind speed. In most cases, the existing legislation standards for each State lack reliable sources in order to calculate wind magnitudes and wind directions. In this paper, the compilation of data from operating winds in the urban zone of Aguascalientes in a period of 14 years, from 1990 to 2003 is carried out; correspondingly, an analysis of the winds main direction was done, and the winds were classified in three groups: weak (less than 3m/s), moderate (4-7m/s) and strong (higher than 8m/s). Likewise, they were classified according to seasonal periods. Based on the data obtained, a database to carry out future analyses on the pollutants present in the atmosphere can be set as well as any further analyses related to the probabilistic distribution of the critical values for other engineering areas.

INTRODUCCIÓN

En la gran mayoría de las áreas de aplicación de la ingeniería actual, es necesario conocer con exactitud la certidumbre de los datos de entrada para cualquier modelo que se pretenda implementar para resolver problemas particulares tanto de Ingeniería Ambiental como de otras ingenierías. Para el estudio de fenómenos relacionados con el viento, resulta imprescindible conocer los valores de velocidad e intensidad de las trayectorias de las masas de aire, con el fin de considerar dichos valores, además de ciertos factores que alteran los movimientos, tales como

la topografía y la rugosidad del terreno o bien, dentro del medio urbano, (López, J.L., 2003) y (Zavala, L.G., 2006).

Por mencionar algunos casos, se cuenta con algunos reglamentos actuales (CFE-93, NTCDF-2004) que consideran los efectos de viento mediante una ecuación que relaciona sus empujes o presiones sobre un área determinada, con una velocidad básica elevada al cuadrado; esto implica que cualquier imprecisión en la estimación de ésta se verá reflejada al cuadrado en su aplicación hacia el análisis que el ingeniero requiera. De esta manera, la calidad de algunos estudios relacionados con los vientos para cualquier zona ya sea dentro del medio urbano o el medio rural, se sustenta en el número de años de registro que se tengan para ser analizados, añadiendo que se requiere que los sistemas de medición registren el movimiento del aire en forma precisa y continua para realizar un análisis estadístico del viento para cada caso en particular (Sachs, P., 1978).

Dentro de los marcos legales de aplicación a cada caso, no se menciona un número mínimo de años de registro que se deberán contabilizar para realizar un análisis confiable de las velocidades y direcciones del viento, sin embargo, y tal como lo establece una de las disciplinas de la Ingeniería Civil (ingeniería estructural), se puede considerar como mínimo, el análisis de diez años de registro para esta clase de estudios. (Simiu, E. y Scanlan, R., 1978).

Una aportación importante para considerar efectos de viento es la llevada a cabo por el Instituto de Investigaciones Eléctricas por parte de la Dirección de Ingeniería Civil, quien publicó en 1993 la norma de la Comisión Federal de Electricidad para considerar los efectos de viento en sus obras (CFE-93) y la cual es válida para toda la República; en la provincia mexicana se ha extendido su uso y consulta, sin embargo, se estima que los valores de velocidad para cada ciudad de México, como es el caso de Aguascalientes, requieren de una revisión, análisis y actualización de dichos valores con el fin de evitar

errores en la estimación de valores e intensidades de los vientos, con las consecuencias lógicas de subestimar o sobrestimar la magnitud de dichos datos. (Vilar, J. I. y López, A., 1992), (López, A. y Vilar, J. I., 1995).

De lo anterior se desprende que es una práctica muy común en la provincia mexicana el continuar adoptando normatividades ajenas a las situaciones particulares de la localidad, ya que en muchos casos, se carece aún de Centros de Investigación en diversas áreas o disciplinas, que sean capaces de proponer normas técnicas propias; es por lo que en este artículo se pretende proporcionar información estadística relativa a las velocidades y direcciones predominantes de viento para la Ciudad de Aguascalientes que faciliten a las áreas de ingeniería involucradas en la estimación de vientos y de direcciones principales para diferentes aplicaciones dentro de sus campos de estudio.

Dicho análisis preliminar puede sustentar las bases para el estudio de las intensidades y direcciones de viento en la ciudad de Aguascalientes, como una herramienta de gestión en materia del mejoramiento de la calidad del aire y puede servir como modelo para futuros estudios de Climatología, Ingeniería Ambiental y otras disciplinas afines.

MATERIALES Y MÉTODOS

Actualmente en el estado de Aguascalientes, existen alrededor de 60 estaciones meteorológicas², entre las más importantes destacan las ubicadas en el municipio de Calvillo, La Tinaja y las que se encuentran en la Presa Presidente Calles y la del Jocoque; sin embargo únicamente el Observatorio Estatal de la Comisión Nacional del Agua (CNA)³, cuenta con la infraestructura necesaria para realizar mediciones de las intensidades y direcciones del viento de manera horaria. Mediante los equipos de medición que se tienen en dicho observatorio, se toman las lecturas de intensidad y dirección de viento, cada 15 minutos y se estima un valor para cada una de las horas del día.

Tomando como base la libreta de asentamiento de registros meteorológicos (SMN/82/SI/00) del Observatorio Estatal, se tomó la velocidad y dirección de los vientos en forma horaria de los años de 1990 al 2003, dando un total de **122,672 datos procesados**⁴ para los 14 años en análisis.

² Fuente: CNA. Registros de precipitación y temperatura.

³ CNA, ubicación: Parque Héroes Mexicanos, Latitud Norte 21°53'42", Longitud Oeste 102°18'35", Altitud 1865 msnm.

⁴ Por problemas en el suministro de energía eléctrica, de los años de 1990 a 1999 existen 40 datos faltantes.



Con el fin de mostrar la información sobre las distribuciones de velocidades y la frecuencia de variación de las direcciones del viento se utilizó una herramienta gráfica llamada "rosa de vientos" y para realizarla referente a este período (1990-2003), se consideraron las direcciones de vientos de acuerdo a la siguiente tabla:

Dirección	Símbolo	Grados
Norte	N	360°
Nor-noreste	NNE	22.5°
Noreste	NE	45°
Este-noreste	ENE	67.5°
Este	E	90°
Este-sureste	ESE	112.5°
Sureste	SE	135°
Sur-sureste	SSE	157.5°
Sur	S	180°
Sur-suroeste	SSW	202.5°
Suroeste	SW	225°
Oeste-suroeste	WSW	247.5°
Oeste	W	270°
Oeste-noroeste	WNW	292.5°
Noroeste	NW	315°
Nor-Noroeste	NNW	337.5°

Tabla 1. Direcciones de viento y simbología usada en los datos meteorológicos.

Para el período de 1990-2003 se emplearon hojas de cálculo y se determinaron las rosas de

vientos de 16 sectores bajo los siguientes criterios:

1. Análisis por direcciones de vientos (para todo el período)
2. Análisis por velocidades de vientos:
 - a. Vientos débiles
 - b. Vientos moderados
 - c. Vientos fuertes
3. Análisis estacional de vientos
 - a. Primavera
 - b. Verano
 - c. Otoño
 - d. Invierno

Para hacer en total de ocho rosas de vientos para los criterios anteriores.

1. Análisis por direcciones de vientos (1990-2003)
 Utilizando funciones que calculan la frecuencia con que ocurre un valor dentro de un rango de valores y devuelven una matriz vertical de números, se contabilizaron el número de apariciones de las direcciones de viento.

Se realizó la sumatoria de los datos y con el número de apariciones de las direcciones se calculó la frecuencia relativa de cada una de ellas y se realizó su rosa de vientos para este período.

2. Análisis por velocidades de viento

Todos los datos analizados se clasificaron de acuerdo a la *Escala de Beaufort*:

Vientos débiles	0.00-3.00 m/s
Viento moderados	4.00-7.00 m/s
Vientos fuertes	> 8.00 m/s



Para cada tipo de viento se calculó una rosa de vientos.

3. Análisis estacional de vientos

Para los análisis de vientos estacionales se consideraron los meses descritos en la Tabla 2; para el caso del invierno y con el fin de tener un dato más confiable, se consideraron los días correspondientes del mes de diciembre de 1989 y los correspondientes al mes de enero, febrero y marzo del 2004.

Período	Inicio	Término
Primavera	21 de marzo	20 de junio
Verano	21 de junio	20 de septiembre
Otoño	21 de septiembre	20 de diciembre
Invierno	21 de diciembre	20 de marzo

Tabla 2. Periodos estacionales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Análisis por direcciones de vientos (para todo el periodo)

Para el análisis estadístico de los 14 años se tuvieron 8,760 datos de cada uno de los años, con excepción de los años de 1992 y 1996 que fueron bisiestos y que cuentan, por lo tanto, con 8,784 datos en ambos casos. Para este periodo el viento tuvo una tendencia a soplar proveniente de las direcciones Norte y Este, ya que aproximadamente el 46.03% de los datos se encuentran orientados en estas direcciones.

El mayor porcentaje en este periodo es de 13.84% y que se encuentra con una dirección Noreste (NE); hubo vientos que soplaron con menor frecuencia de otras direcciones: la dirección Nor-noreste (NNE) con un porcentaje de 9.58%, la dirección Este (E) con 8.19%, la dirección Este-noreste (ENE) con una frecuencia de 7.92% y la dirección Norte (N) con una frecuencia de 6.50%. Los vientos con menos frecuencia fueron de las direcciones Sur (S) con 3.50%, Noroeste (NW) con 4.44% y Nor-noroeste (NNW) con 4.62%.

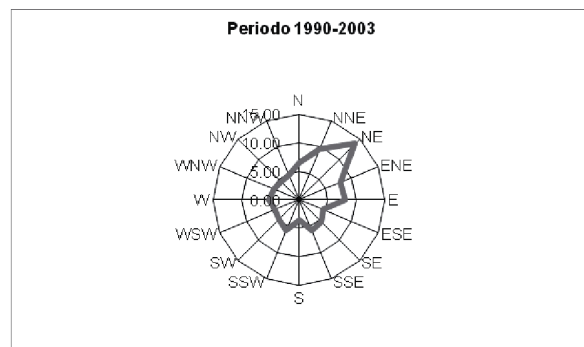
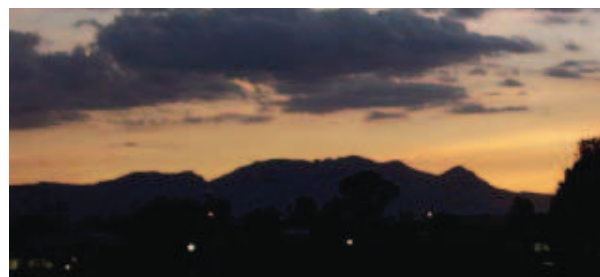


Figura 1. Gráfica que muestra la distribución global de los vientos (Periodo de 1990-2003).



2. Análisis por velocidades de viento

Vientos débiles

Tipo de vientos	% de datos analizados
Vientos débiles (0 a 3 m/s)	79.09%
Vientos moderados (4 a 7 m/s)	20.06%
Vientos fuertes (> 8 m/s)	0.85%
	100%

Tabla 3. Datos por tipo de vientos.

Las observaciones que se analizaron para vientos débiles fueron el 79.09% del total de los datos para los años analizados, mismos que fueron utilizados en la elaboración de la correspondiente rosa de vientos.

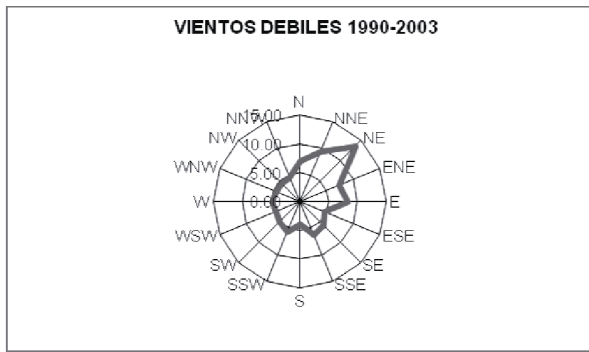


Figura 2. Gráfica que muestra la rosa de vientos débiles (Periodo de 1990-2003).

Los vientos débiles con mayor aparición vinieron del Noreste (NE) con una frecuencia del 13.59%. Los vientos menos probables soplaron de las direcciones NNE, E, ENE y N con una frecuencia de aparición de 9.51%, 8.27%, 7.34% y 7.15%, respectivamente.

Vientos moderados

Según el análisis realizado, los vientos moderados soplaron con mayor frecuencia de la dirección NE, ENE y NNE, con frecuencias de 14.56%, 9.93% y 9.80% respectivamente, para cada dirección.

Asimismo, los vientos con menos frecuencias fueron los de las direcciones S, SSE, N, ESE, y NW, con valores de 2.01%, 4.07%, 4.16%, 4.35% y 4.41%, respectivamente.



Figura 3. Gráfica que muestra la rosa de vientos moderados (Periodo de 1990-2003).

Vientos fuertes

En el análisis de vientos fuertes se consideraron los vientos cuyos valores fueron iguales o mayores que 8 m/seg; en total el 0.85% de los valores analizados.



Figura 4. Gráfica que muestra la rosa de vientos fuertes (Periodo de 1990-2003).

Los vientos más frecuentes vinieron del NE, ENE, NNE, W y WNW con valores de 19.46%, 13.69%, 10.47%, 6.98% y 6.31%. En las direcciones S, N, SSW, SW, se observaron vientos con frecuencias de 0.67%, 1.61%, 2.82% y 2.95%.

3. Análisis estacional de direcciones de vientos

Primavera

En este período la tendencia que tuvo el viento fue a soplar del NE con una frecuencia de 15.11%, siguiendo la dirección NNE con 9.88%, la dirección ENE, E, y SSE con 8.63%, 7.74% y 6.28%, respectivamente. Los vientos con menor frecuencia vinieron de las direcciones S, NW, N, NNW, y WNW, con frecuencias de 2.40%, 4.24%, 4.37%, 4.43% y 4.54%.

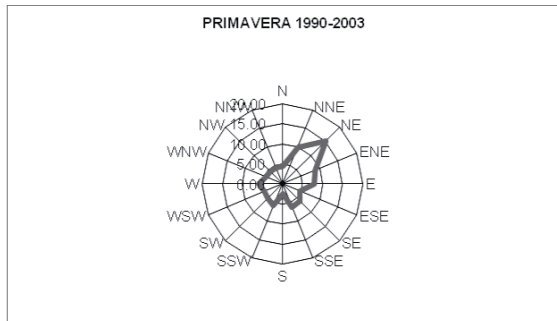


Figura 5. Gráfica que muestra la rosa de vientos (Primaveras de 1990-2003).

Verano

La dirección con mayor frecuencia es la dirección NE con un valor de 15.03%, siguiendo las direcciones NNE con 11.90%, E con 9.30%, ENE con 8.73% y la dirección N con 6.50%. Los vientos con menos constancia fueron de la dirección S con 2.32%, siguiendo en orden ascendente las direcciones SW con 3.25%, WSW con 3.81%, y las direcciones W, y NW con valores de 4.07% y 4.35%.



Figura 6. Gráfica que muestra la rosa de vientos (Veranos de 1990-2003).

Otoño

En la rosa de vientos correspondiente a este periodo se observa que el viento provino principalmente de la dirección NE con una frecuencia de 10.26%. Le siguen en importancia las direcciones N, E, NNE, y SSW con repeticiones de 9.51%, 8.64%, 7.06%, 6.39%, respectivamente.

Por otra parte, las direcciones en las cuales los vientos fueron escasos en este periodo fueron la WSW y la NW con 4.51% y 4.85%, respectivamente. En las otras direcciones los vientos se presentaron con frecuencias entre el 5 y el 6%.

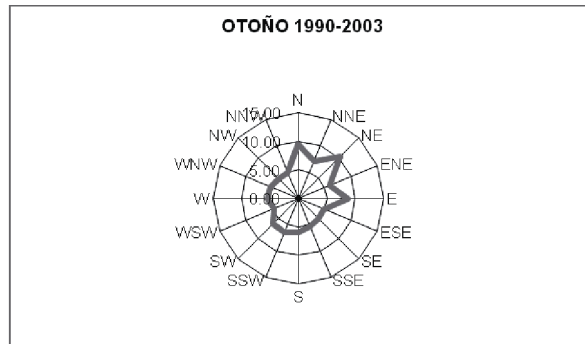


Figura 7. Gráfica que muestra la rosa de vientos (Otoños de 1990-2003).

Invierno

En invierno, la tendencia del viento es a soplar de las direcciones NE, NNE, ENE, y E con valores que van desde 14.12% hasta 7.04%. Los vientos menos frecuentes fueron de las direcciones ESE, S, y NW, con valores de 3.79%, 3.99% y 4.42%, respectivamente.

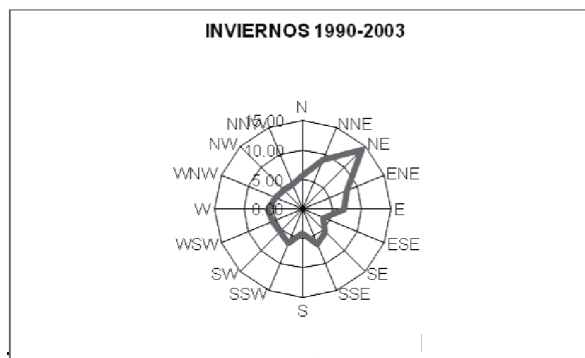


Figura 8. Gráfica que muestra la rosa de vientos (Inviernos de 1990-2003).

CONCLUSIONES

El presente trabajo se limitó a la recopilación de 14 años de registro de vientos en el Observatorio Estatal y a su correspondiente análisis estadístico de dichos valores de vientos (intensidad y dirección).

De los datos se concluye que, para la mayoría de los eventos del año, las direcciones de las que sopla el viento es la Norte y Este y muy en particular de la dirección Noreste; de estos datos el 79% corresponden a vientos débiles (<3 m/s), 20% a vientos moderados (4-7 m/s) y únicamente el 0.85% corresponde a vientos fuertes (>8 m/s).



En el análisis de vientos estacionales, prevalece la misma dirección en primavera, verano e invierno con excepción del otoño, en donde existe una ligera variación en la tendencia del viento, ya que proviene de la dirección Norte.

En el artículo se presentan los resultados en función de la velocidad modal, en razón de su uso con fines de modelación de la dispersión de contaminantes en la atmósfera, siendo la condición más desfavorable la estabilidad atmosférica en la cual las velocidades más representativas son las tratadas en la forma que se presenta en este trabajo.

La metodología aplicada en el tratamiento de los datos de vientos sienta un precedente im-

portante para futuros estudios de ingeniería en la ciudad de Aguascalientes, puesto que permite establecer un criterio local del comportamiento de los vientos dentro de la ciudad así como los valores modales del viento en lo que se refiere a intensidad y dirección, además de sustentar las bases para una adecuada gestión ambiental, ya que de tomarse en cuenta en los planes estratégicos de desarrollo tanto municipal como estatal, se verían disminuidos significativamente los efectos adversos provocados por la instalación, en lugares poco convenientes desde el punto de vista de este análisis, de desarrollos industriales y similares involucrados en la emisión de contaminantes a la atmósfera dentro de la ciudad de Aguascalientes.

BIBLIOGRAFÍA

- CFE-93, Comisión Federal de Electricidad, "Diseño por viento" en *Manual de diseño de obras civiles*, México: Instituto de Investigaciones Eléctricas, 1993.
- LÓPEZ LÓPEZ, Alberto, VILAR ROJAS, Jorge I., "Basis of the Mexican Wind Handbook For the Evaluation of the Dynamic Response Of Slender Structures", *9º Congreso Internacional de Ingeniería de Viento (9ICWE)*, Nueva Delhi, India, pp. 1890-1900, 1995.
- LÓPEZ LÓPEZ, José L., "Análisis Estadístico de los Vientos en la ciudad de Aguascalientes como una herramienta para la gestión de la Calidad del Aire. Caso de la Modelación de la Dispersión de Contaminantes (CO) a partir de Fuentes Fijas (ladrilleras)", Tesis para obtener el grado de Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad Autónoma de Aguascalientes, México, 2003.
- NTCDF-04, "Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento", *Gaceta Oficial del Distrito Federal*, 6 de octubre del 2004.
- SACHS, Peter, "Wind Forces in Engineering", Oxford: Pergamon Press, 400 pp., 1978.
- SIMIU, Emil, *et. al.*, "Wind Effects on Structures: An introduction to wind Engineering", New York: John Wiley and Sons, 457 pp., 1978.
- VILAR ROJAS, Jorge I., LÓPEZ LÓPEZ, Alberto, "Procedimiento Estadístico para la Obtención y Aplicación de Velocidades Regionales de Viento Para Determinar Acciones de Diseño en Estructuras", *Boletín del Instituto de Investigaciones Eléctricas*, Enero-Febrero, pp. 29-37, 1992.
- ZAVALA PEÑAFLORES, Luis Gilberto, "Registros de Velocidades de Viento en el Estado de Aguascalientes, su efecto en Estructuras y Ejemplo Práctico", Tesis para obtener el Grado de Maestro en Construcción de Vías Férreas (Estructuras), Universidad Autónoma de Aguascalientes, México, 2006.

