

# ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL FLUJO DE VIENTO EN LA ZONA DE LAGUNA VERDE, VERACRUZ (MÉXICO)\*

Adalberto Tejeda\*\*

Oscar Alvarez\*\*

Ana Delia Contreras\*\*

## Resumen

Se presentan los resultados de una metodología de estadística vectorial aplicada a la investigación del campo de viento en los alrededores de la central nucleoelectrónica de Laguna Verde, Veracruz. Además, se analiza la variación anual de los coeficientes de correlación angular de las direcciones de los vientos a 10 y 60 m. registradas por una torre meteorológica para derivar conclusiones sobre la validez de algunos modelos de dispersión atmosférica en zonas costeras.

**Palabras clave:** estadística de viento, Laguna Verde, Veracruz (México)

## Summary

Some results about the patterns of the wind field near Laguna Verde Nuclear Power Station are presented, also showing a methodology based on a vector statistic procedure of meteorological data sets. Finally, the angular correlation coefficient oscillation on an annual cycle calculated between the levels of 10 and 60 meters of height on an meteorological tower is analysed and some conclusions on the diffusion pollution modeling for coastal sites are derived.

**Key words:** statistic of winds, Laguna Verde, Veracruz (Mexico)

## 1. Antecedentes

La región en estudio se ubica en la zona centro-sur del estado de Veracruz (México) y comprende a las estaciones climatológicas de Laguna Verde, Palma Sola, Mesa de Sombreros, Hornitos, Zempoala y Farallón, cuya distribución se puede apreciar en la **figura 1**. Es importante destacar que mientras Palma Sola, Laguna Verde y Farrallón, son estaciones climatológicas muy próximas a la costa, con una altitud menor de 200 m, Mesa de Sombreros, Hornitos y Zempoala están ubicadas tierra adentro, además de estar la primera en una parte más alta (a casi 1 000 msnm) que los demás sitios.

De las curvas de nivel topográfico se advierte que la zona en estudio se localiza sobre una planicie costera muy estrecha y en parte sobre las estribaciones de repliegues montañosos, que le confieren un carácter sumamente complejo y accidentado, por lo que los estudios del

\* Recibido: 7 de marzo de 1997.

\*\* Universidad Veracruzana, Apdo. Postal 465, Xalapa, Ver., México.

viento a nivel de superficie a escala regional y local arrojan variadas configuraciones de las rosas de viento en sitios relativamente cercanos (Tejeda *et al.*, 1994).

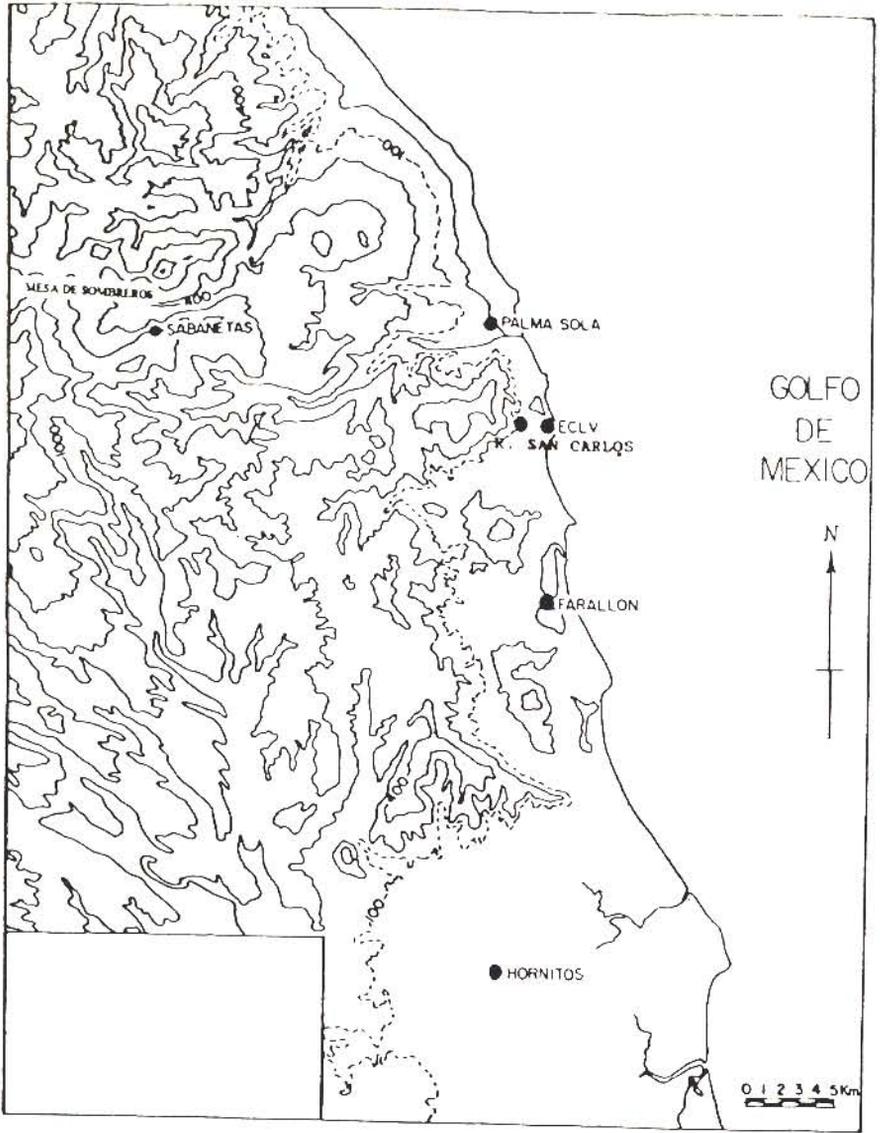


Figura 1. Topografía de la región de Laguna Verde.

La climatología de los vientos en el área de Laguna Verde ha sido estudiada reiteradamente. En 1970, dos años antes al inicio de la obra de edificación de la planta nuclear, se elaboraron los primeros análisis de condiciones de viento y estabilidad vertical a partir de datos del puerto de Veracruz, situado aproximadamente a 75 km al sureste, o más localmente referidos al sitio conocido como Punta Limón, en la vecindad de donde actualmente se ubica la planta nuclear. Resalta de ese primer análisis el desarrollo de las bases de una climatología anual de la estabilidad vertical de la atmósfera, particularmente de las situaciones de inversión térmica o isoterma, según se reproduce en las **tablas 1 y 2** (Jáuregui s/f).

**Tabla 1.** Frecuencias de inversiones térmicas en el puerto de Veracruz, durante 1970 (Jáuregui *et al.*, 1975)

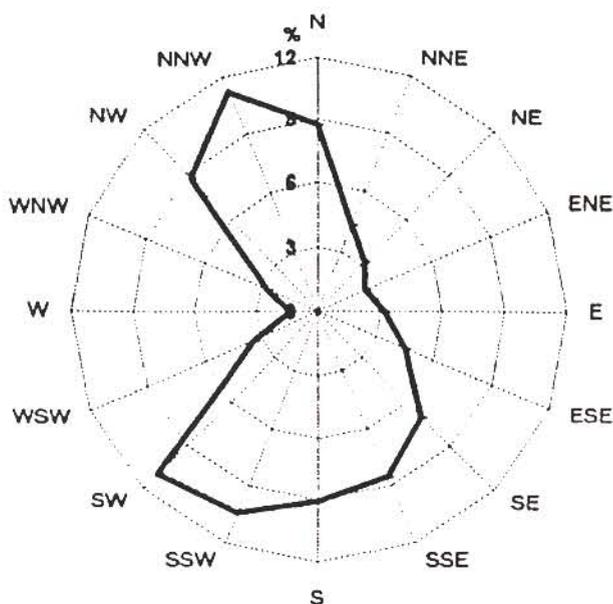
| Altitud de la base (m) | diciembre, enero, febrero | marzo, abril mayo | junio, julio, agosto | septiembre, octubre, noviembre | Total anual |
|------------------------|---------------------------|-------------------|----------------------|--------------------------------|-------------|
| 0-100                  | 1                         | 4                 | 8                    | 11                             | 24          |
| 101-620                | 10                        | 32                | 9                    | 6                              | 57          |
| 621-1 040              | 6                         | 8                 | 4                    | 4                              | 22          |
| 1 041-1 550            | 4                         | 4                 | 0                    | 7                              | 15          |
| totales                | 21                        | 48                | 21                   | 28                             | 118         |

**Tabla 2.** Frecuencias de condiciones isotérmicas verticales en el puerto de Veracruz, durante 1970 (Jáuregui *et al.*, 1975)

| Altitud de la base (m) | diciembre, enero, febrero | marzo, abril mayo | junio, julio, agosto | septiembre, octubre, noviembre | Total anual |
|------------------------|---------------------------|-------------------|----------------------|--------------------------------|-------------|
| 0-100                  | 16                        | 42                | 46                   | 45                             | 149         |
| 101-620                | 2                         | 5                 | 18                   | 11                             | 36          |
| 621-1 040              | 4                         | 9                 | 5                    | 5                              | 23          |
| 1 041-1 550            | 3                         | 8                 | 4                    | 4                              | 19          |
| totales                | 25                        | 64                | 73                   | 65                             | 227         |

La moda estadística de la rapidez de los vientos en Punta Limón, sin mostrar una clara dependencia con la estratificación vertical de la atmósfera, resultó ser de 5.0 a 8.0 m/s. Los máximos eventualmente rebasaron los 20 m/s, y las direcciones dominantes, tanto en Veracruz como en Punta Limón, fueron del noroeste al noreste seguidas, muy de cerca por las de suroeste a sureste.

En 1975 Jáuregui *et al.* presentaron una primera valoración de la variación diurna de la estabilidad estimada a partir de datos de viento y de radiación solar. En 1976 se inició la operación de una torre meteorológica que mide magnitud y dirección del viento a los niveles de 10, 40 y 60 m, lo cual ha permitido obtener rosas de viento promedio como la mostrada en la **figura 2**.



**Figura 2.** Rosa de vientos en Laguna Verde (10 m de altura), 1979-1994.

A fines de los años setenta se elaboró una primera climatología local a la luz de la climatología regional (Jáuregui *et al.*, 1980). Se anotó que aun cuando las invasiones de aire polar (conocidas en la zona como *nortes*) pueden provocar vientos de 100 km/hr, el desplazamiento del sistema frontal es de alrededor de 30 a 40 km/hr sobre el Golfo de México y la planicie costera. Se establecieron comparaciones de las temperaturas entre el agua de mar y del aire a 10 m de altura, en promedios para las 8 de la mañana del año de 1975. Se dedujo que el contraste térmico varía entre 1 y 3° C (mayor que la temperatura

del agua de mar en la superficie). También se analizó la climatología de la estabilidad en Laguna Verde, a partir de los perfiles de temperatura en la torre de 60 m de altura para los años 1975 y 1976. En términos de las categorías de estabilidad se obtuvo que durante la *época seca* (noviembre-abril), la categoría de estabilidad dominante es la D (neutra, 58%), seguida de la ligeramente inestable C (6%), y ligeramente estable E (25%). Para la *época húmeda* los porcentajes más altos son para D (44%), E (21%) y C (5%). También se reportan –como en la **Tabla 3**– las horas de persistencia de rumbo del viento para los sectores más recurrentes.

**Tabla 3.** Horas de persistencia máxima del viento de algunos sectores, para 1975 y 1976 en Laguna Verde

| SECTOR     | AL.TURA (m) | HORAS DE PERSISTENCIA |
|------------|-------------|-----------------------|
| NW         | 60          | 36                    |
| NW         | 10          | 27                    |
| NNW        | 60          | 34                    |
| NNW        | 10          | 27                    |
| NW a NNW   | 10 y 60     | 96                    |
| WNW-NW-NNW | 10 y 60     | 138                   |

Además, se mostró que las estimaciones de la categoría de estabilidad por el método de Pasquill y a través de la desviación estándar de la dirección del viento son altamente coincidentes. Vale la pena resaltar que en otros sitios, como en el Valle de México, por ejemplo, la coincidencia entre diferentes métodos de estimación de la categoría de estabilidad atmosférica vertical es menor a un 50% de los casos (Tejeda, 1996). De ahí se desprende que en los modelos de difusión atmosférica de contaminantes que usan explícitamente la categoría de estabilidad, una fuente de error importante puede ser la categoría de estabilidad, cuando no son aplicables los llamados métodos alternos (que para estimar la estabilidad usan en vez de la variación térmica vertical datos de radiación solar o neta, cubierta nubosa o temperatura de suelo). Afortunadamente en la zona de Laguna Verde –como ya se dijo– desde 1981 se había corroborado la pertinencia del uso de varios procedimientos indirectos para definir la estabilidad. Con información más reciente se ha ratificado ese resultado (Jáuregui *et al.*, 1995 y 1996).

Jáuregui *et al.* (1984), partiendo del análisis de observaciones realizadas durante un periodo de vientos débiles en la escala sinóptica, confirmaron que la brisa marina, habitualmente observada dentro del rango de las configuraciones de terrenos planos, también es capaz de llegar (alrededor de las 14 horas) a la ciudad de Xalapa, localizada a 50 km al oeste de la

costa sobre terreno accidentado. Es decir, que bajo dichas condiciones de vientos débiles, el sistema de mesoescala se rige por el gradiente de presión generado por el contraste térmico océano-continente, confirmandose la posibilidad establecida teóricamente para la modelación de mesoescala (Atkinson, 1981).

Estos primeros trabajos corroboran lo que se había intuido a partir del análisis de datos del puerto de Veracruz, principalmente en cuanto al viento: la dominancia de los sectores noroeste a noreste seguido del suroeste a sureste, con baja ocurrencia de *oestes*.

En este artículo se mostrarán los resultados de análisis estadísticos (correlaciones angulares y tablas de contingencias) entre el viento de escala sinóptica y la circulación local alrededor de Laguna Verde. El conocimiento que se obtiene sobre los patrones de micro y mesoescala es relevante dado que se trata de un sitio costero, en latitudes tropicales sobre terreno complejo. Constituye un paso previo a la elaboración de la climatología de la difusión atmosférica de contaminantes.

## 2. Análisis estadístico del viento local

### Circulación sinóptica y viento superficial

Tejeda y Cervantes (1994) muestran una revisión de las principales técnicas para el manejo y presentación de datos de viento superficial, utilizando como apoyo una estadística vectorial de tipo descriptivo, así como de medidas estadísticas de centralidad. Ahí se contienen las bases del estudio de las direcciones del viento en superficie y su conexión con el flujo en la altura. Para la región en estudio estas conexiones fueron sometidas a discusión por medio de procedimientos estadísticos (Morales *et al.*, 1989), con base en una metodología estadística de variables angulares propuesta por Gould (1969) y Mardia (1972), aplicando directamente un modelo de regresión lineal múltiple. Se obtuvieron altos coeficientes de correlación (superiores a 0.75) entre el vector promedio del viento en superficie para la zona en estudio, y la circulación a la altura equivalente a los 850 milibares (mb), en un modelo que incluye como variables independientes la dirección del viento a 850 mb, la hora del día, la magnitud del viento, la estabilidad atmosférica, la nubosidad y las inversiones térmicas por abajo de los 850 mb.

El patrón de circulación en el nivel de 500 mb también ha sido estudiado y discutido para la misma región en estudio por Tejeda *et al.* (1994), pero los coeficientes de correlación lineal entre el modelo propuesto y las direcciones observadas, han sido menos significativos que en la relación con 850 mb.

### Contingencias de la dirección del viento

Mediante el análisis de contingencias entre la dirección del viento en Laguna Verde (LV) a 10 m de altura contra las direcciones también a 10 m en Zempoala, Farallón, Mesa de Sombreros y LV a 60 m, se pudieron elaborar las figuras 3 y 4 con datos horarios de uno a dos años (cada curva representa del orden de 1 200 a 1 800 casos), en las cuales se ilustra la frecuencia relativa en que ocurren ciertos valores de las diferencias de dirección en Laguna Verde, menos la dirección en el punto de interés.

Los datos de Zempoala y Mesa de Sombreros se tomaron con retraso de una hora respecto a LV, pues se estima en una hora el tiempo promedio de recorrido del flujo desde LV a dichos puntos. Para el caso de LV y Farallón no se hizo esta suposición debido a la cercanía de ambos sitios. El desplazamiento del máximo (y de toda la gráfica) hacia la izquierda se puede interpretar como una marcada tendencia hacia el oeste en la  $\Delta\theta$  calculada (dirección LV - dirección Zempoala), siendo interpretada meteorológicamente como una probable continuidad y conexión de los flujos de viento observados entre ambos sitios, pero después de cierto giro constante del viento dominante.

Entre LV y Mesa de Sombreros coinciden las direcciones del viento en un 24% (con el desfase de una hora ya mencionado). El resto de las frecuencias de desviaciones en la dirección del viento se reparte simétricamente respecto a  $0^\circ$ . Es importante resaltar el hecho de que en virtud de lo anterior y aunado a la escasa frecuencia de los vientos del sector este y sureste, puede quedar en tela de juicio la validez de una hipótesis central del modelo Gaussiano de dispersión: la de la invarianza de la dirección del viento, corriente debajo de la fuente emisora.

Las diferencias de direcciones del viento Laguna Verde - Farrallón varían entre  $-90$  y  $22.5^\circ$ , con la particularidad de presentar una distribución multimodal con asimetría hacia las desviaciones del viento en Farallón en el sentido de las manecillas del reloj, respecto a Laguna Verde. El hecho de que exista un mínimo local alrededor de  $-22.5^\circ$  (**Figura 3**) se puede deber a la presencia de una obstrucción en la trayectoria de los vientos (*véase Figura 1*), ya que dicho mínimo está rodeado de dos máximos locales.

La **figura 4** representa la diferencia ( $\Delta\theta$ ) entre las direcciones del viento a 60 y 10 m de altura para Laguna Verde. La distribución mostrada es claramente unimodal, e indica que en más de un 50% de los casos el viento a 60 m está desviado  $22.5^\circ$  en el sentido de las manecillas del reloj respecto al de 10 m de altura. El intervalo de variación de  $\Delta\theta$  está comprendido entre  $-22.5$  y  $45^\circ$ .

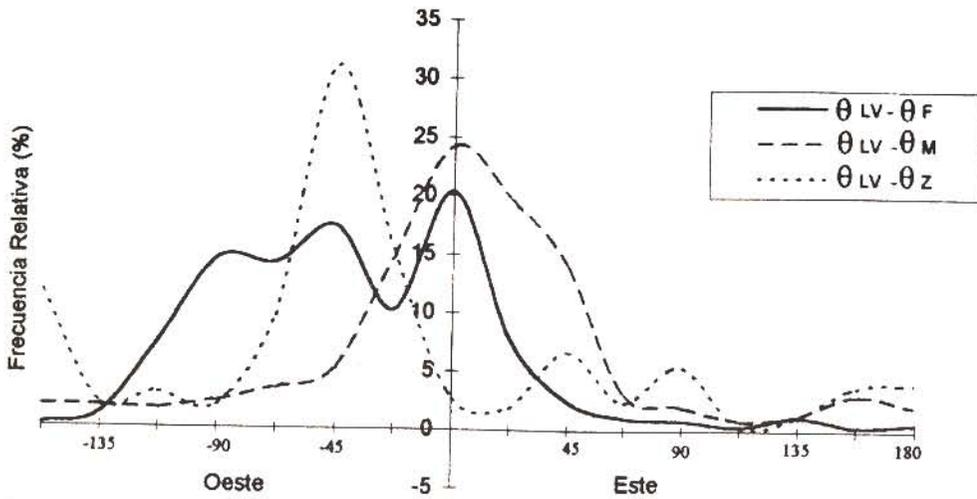


Figura 3. Diferencia de la dirección del viento en Laguna Verde ( $\theta_{LV}$ ) con: Farallón ( $\theta_F$ ), Mesa de Sombreros ( $\theta_M$ ) y Zempoala ( $\theta_Z$ ) para 1989.

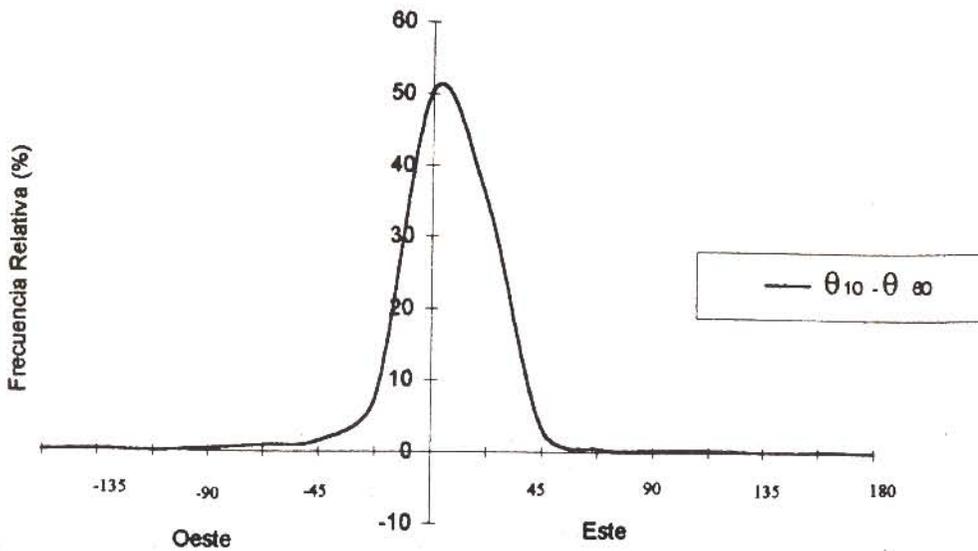


Figura 4. Diferencia del viento en Laguna Verde entre 10 y 60 m de altura ( $\theta_{10}$  y  $\theta_{60}$ ) para datos horarios durante los años 1989 y 1990.

### Correlación de la dirección del viento a dos alturas

Utilizando información horaria de la dirección del viento en la estación climatológica de LV, se procesaron estadísticamente dos años (1989 y 1990) de datos de dirección a 10 y 60 m de altura en tres periodos representativos de diversos patrones de la circulación diaria: 5 a 9 horas, 13 a 16 horas y 19 a 21 horas. Se calculó el coeficiente de correlación angular mediante la ecuación (Johnson y Wehrly, 1977 y 1978; Breaker *et al.*, 1994).

$$r = \{ \{-c_2 + (c_2^2 - 4c_1c_3)^{1/2}\} / 2c_1 \}^{1/2} \quad (1)$$

donde:

$$c_1 = (s_{12}^2 - s_{11}s_{22})(s_{34}^2 - s_{33}s_{44})$$

$$c_2 = -(s_{11}s_{23} - s_{12}s_{13})(s_{44}s_{23} - s_{24}s_{34}) - (s_{33}s_{24} - s_{23}s_{34})(s_{11}s_{24} - s_{12}s_{14})$$

$$-(s_{22}s_{13} - s_{12}s_{23})(s_{44}s_{13} - s_{14}s_{34}) - (s_{22}s_{14} - s_{12}s_{24})(s_{33}s_{14} - s_{13}s_{34})$$

$$c_3 = (s_{13}s_{24} - s_{14}s_{23})^2,$$

siendo  $s_{ij}$  = covarianza de la muestra  $X_i$ ,  $X_j$  y donde  $X_1 = \text{Cos } \theta$ ,  $X_2 = \text{Sen } \theta$ ,

$X_3 = \text{Cos } \phi$ ,  $X_4 = \text{Sen } \phi$ ; con  $\theta$  y  $\phi$  las direcciones de dos vectores diferentes, para nuestro caso las direcciones del viento a 10 y 60 m de altura.

La **figura 5** presenta los resultados de este análisis. Se observa que en el mes de enero ocurren las correlaciones estadísticas más altas entre las direcciones de los vientos a 10 y 60 m. Durante este periodo de invierno, la zona se ve afectada principalmente por los frentes fríos (*nortes*), quedando el flujo de aire en Laguna Verde dominado por dichos sistemas regionales. Aun el coeficiente de correlación entre las 13 y las 16 horas (cuando la brisa marina tiene su máxima intensidad en dirección oblicua al flujo inducido por los *nortes*) no sobrepasa a los coeficientes calculados para los periodos matutino (5 a 9 horas) y nocturno (18 a 21 horas).

En términos generales, la tendencia del coeficiente de correlación entre las direcciones del viento a 10 y 60 m muestra una disminución desde febrero hasta junio en los tres periodos horarios considerados. La correlación máxima ocurre en el mes de febrero y la mínima en junio.

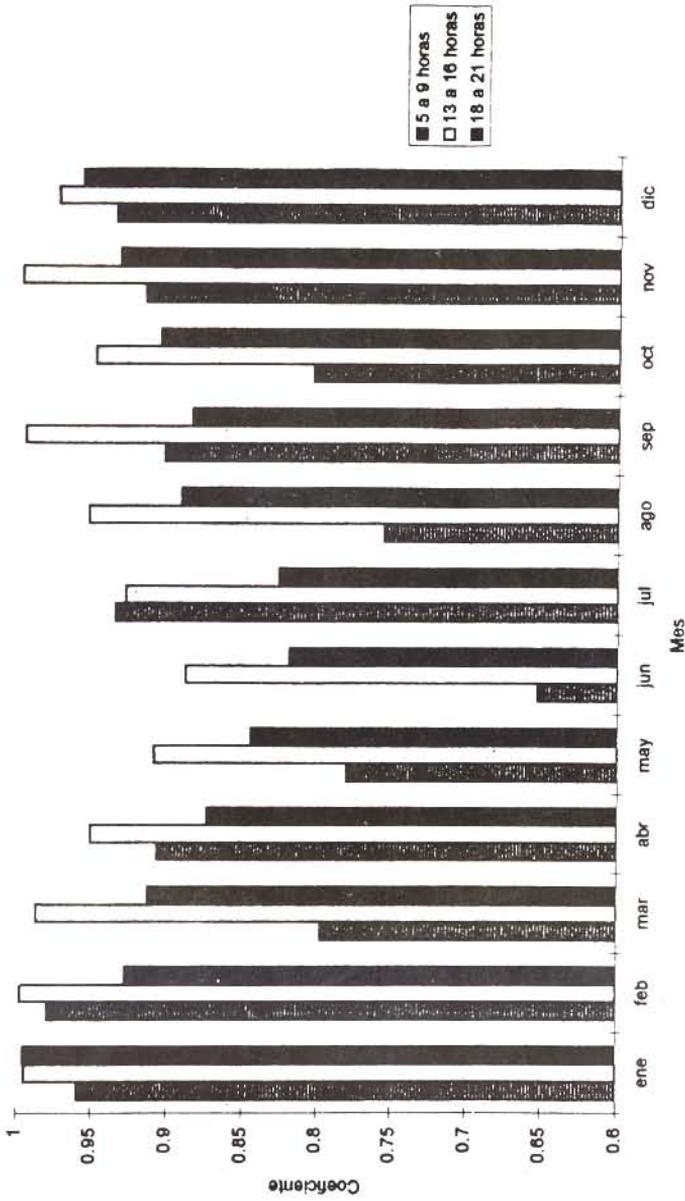


Figura 5. Coeficientes de correlación angular del viento a 10 y 60 m en Laguna Verde, durante 1989 y 1990.

La correlación de los vientos en Laguna Verde entre 10 y 60 m es una función periódica escalonada de enero a abril con respecto a los vientos matutinos y nocturnos, pues se alternan entre mínimos y máximos durante dichos meses, ocurriendo una excepción en el bimestre mayo-junio, cuando se rompe temporalmente la periodicidad.

Dado el alto valor numérico de los coeficientes de correlación, resultaría aplicable en la práctica un procedimiento directo de estimación de la dirección inicial de emisión de una pluma de efluentes radiactivos, partiendo de los registros de viento a 10 m observados en la estación climatológica que opera en el sitio, a excepción de los meses de febrero, abril y julio, cuando la correlación entre las direcciones del viento es más menor en las primeras horas de la mañana.

En todos los casos estudiados se verifica que la correlación de los vientos de la tarde sea más acentuada que en el resto del día.

El error máximo de la estimación del viento a 60 m a partir de la observación a 10 m es de más o menos  $62.5^\circ$ , lo cual equivale a más o menos tres (de dieciséis) rumbos geográficos. El error mínimo es de más o menos medio grado.

### 3. Simulación climática del campo de viento

Los fenómenos meteorológicos que tienen mayor incidencia y que por sus consecuencias son más impactantes en la región de Laguna Verde son las invasiones de aire polar (*los nortes*), los vientos alisios, las ondas tropicales, y eventualmente los huracanes. En su ausencia, la circulación local ocurre como se ilustrará a continuación, a partir de una simulación climática del campo del viento en superficie.

Para la elaboración de las figuras 6, 7 y 8 Pérez (en Jáuregui *et al.*, 1996) usó los datos horarios a 10 m de altura durante 1989 y 1990 de las estaciones que se señalan en la **figura 6**: Palma Sola (sin datos en julio de 1989, octubre de 1989, junio de 1990 y septiembre de 1990), Farallón (sin datos entre marzo y mayo de 1990), Zempoala (sin datos en julio de 1989), Mesa de Sombreros (sin datos de octubre a noviembre de 1990) y Laguna Verde, con todo el periodo completo. El campo de viento se estimó sobre una malla de análisis de  $12 \times 12$  puntos (cada uno separado alrededor de 11 km), con la esquina superior izquierda de la región de análisis ubicada a los  $19^\circ 24' N$  y  $96^\circ 48' W$ , y la esquina superior derecha a los  $19^\circ 57' N$  y  $96^\circ 15' W$ . El método usado fue el esquema de análisis objetivo de corrección sucesiva (Pérez, 1985).

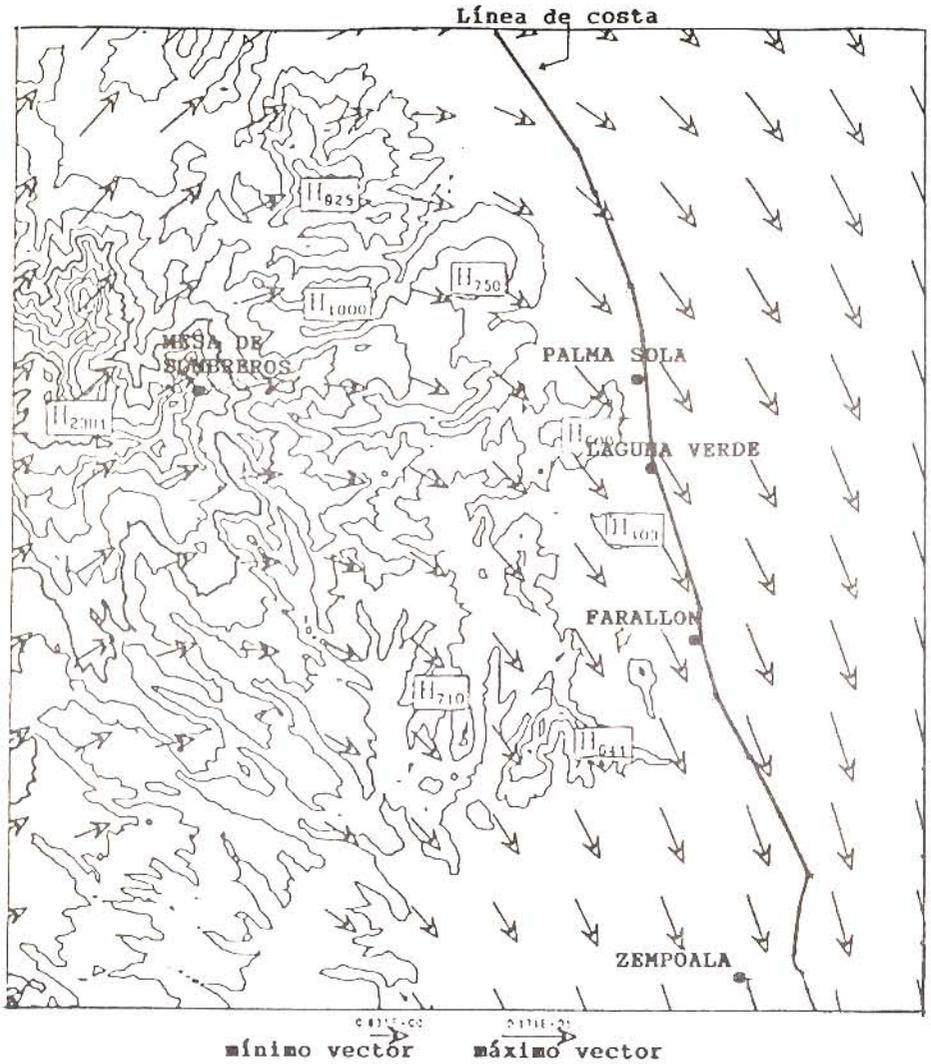


Figura 6 Análisis del viento promedio en superficie a las 24 horas, para los meses de invierno (diciembre, enero y febrero) durante 1989 y 1990. Las curvas de nivel están a intervalos de 200 m y las etiquetas dentro de los rectángulos denotan la altitud de las montañas. En el pie de la figura aparecen la mínima y máxima magnitud de las intensidades del viento.

Durante el periodo diciembre-febrero en horas de la noche y de la mañana se observa que el flujo proviene de la montaña, se dirige hacia el mar (al SE, brisa de tierra o terral), siendo ligeramente más intenso a las 6 de la mañana (**Figura 6**). A las 9 AM el flujo local tiene una componente generalmente hacia el sur (no se incluye el mapa). Durante el día estas circulaciones se invierten y el viento se dirige hacia la montaña (**Figuras 7 y 8**) siendo más intensas a mediodía con vientos máximos promedios del orden de 5 m/seg.

Durante los meses de marzo, abril y mayo, en las noches y en las mañanas, igualmente se observa la brisa terral, con dirección SW; a las 9 AM ésta se dirige hacia el NW y en el día también se manifiesta la brisa marina, siendo más intensa alrededor de las 15 horas. A las 21 horas el viento se dirige hacia el norte y sobre el mar todavía persiste una ligera brisa marina; más tarde se manifiesta totalmente el viento terral con dirección del S y SW siendo más intenso a media noche.

Recientemente (Alvarez *et al.*, 1997) se han identificado patrones de intensidad y dirección del viento que corroboran la participación de controles locales en la circulación superficial.

#### 4. Comentarios finales

Para tener certeza de que las hipótesis de los modelos de difusión atmosférica de contaminantes utilizados se corresponden con la climatología local, es conveniente que el conocimiento que se ha logrado sobre la climatología del viento alrededor de la planta termoeléctrica Laguna Verde se detalle más, sobre todo por lo complejo del terreno y la situación, no considerada hasta ahora, de la interacción océano-atmósfera-continente.

Por el momento debe destacarse que ante los altos coeficientes de correlación (mayores a 0.75) entre el vector promedio del viento superficial en la zona y el flujo a 850 mb, es factible el desarrollo de un modelo estadístico del campo del viento. Este modelo deberá relacionar el viento en altura con cada una de las estaciones anemométricas de que se tengan datos, pues del análisis de contingencias se desprende que la interdependencia de la dirección del viento para diversos puntos de observación es diferente.

Igualmente, se han mostrado aquí los resultados de un modelo dinámico preliminar del campo de viento, pero tanto para modelos estadísticos como dinámicos, es necesaria una posterior validación con datos confiables.

Puntualmente para Laguna Verde –donde se tienen mediciones del viento a 10 y 60 m de altura– debe destacarse que las correlaciones entre las direcciones del viento a esos dos niveles, son altas durante las horas de la brisa marina (13 a 16 horas) de septiembre a marzo. Esto sugeriría que durante los periodos en que domina el viento del norte prevalece también un gradiente térmico vertical cercano al neutro, es decir, que alienta el mezclado vertical al

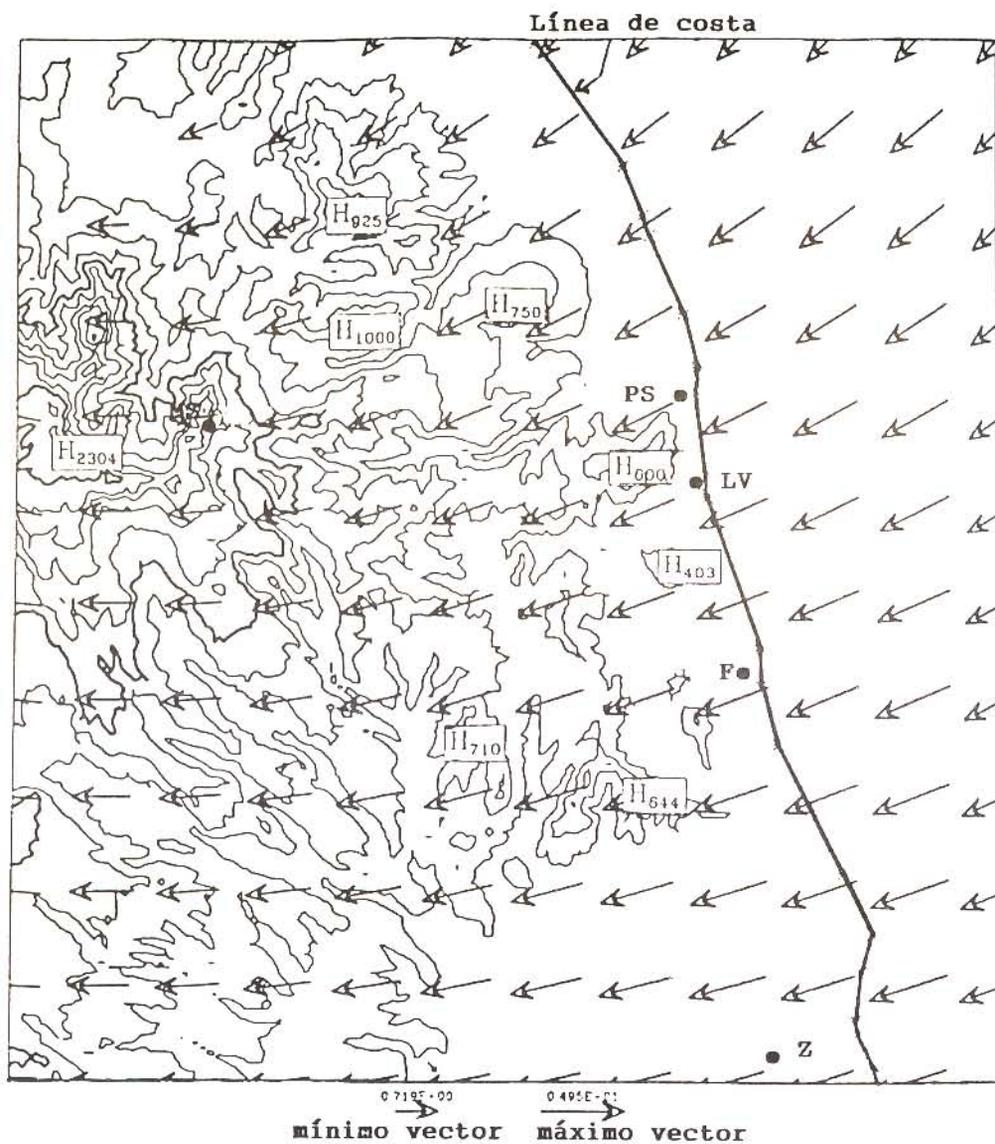
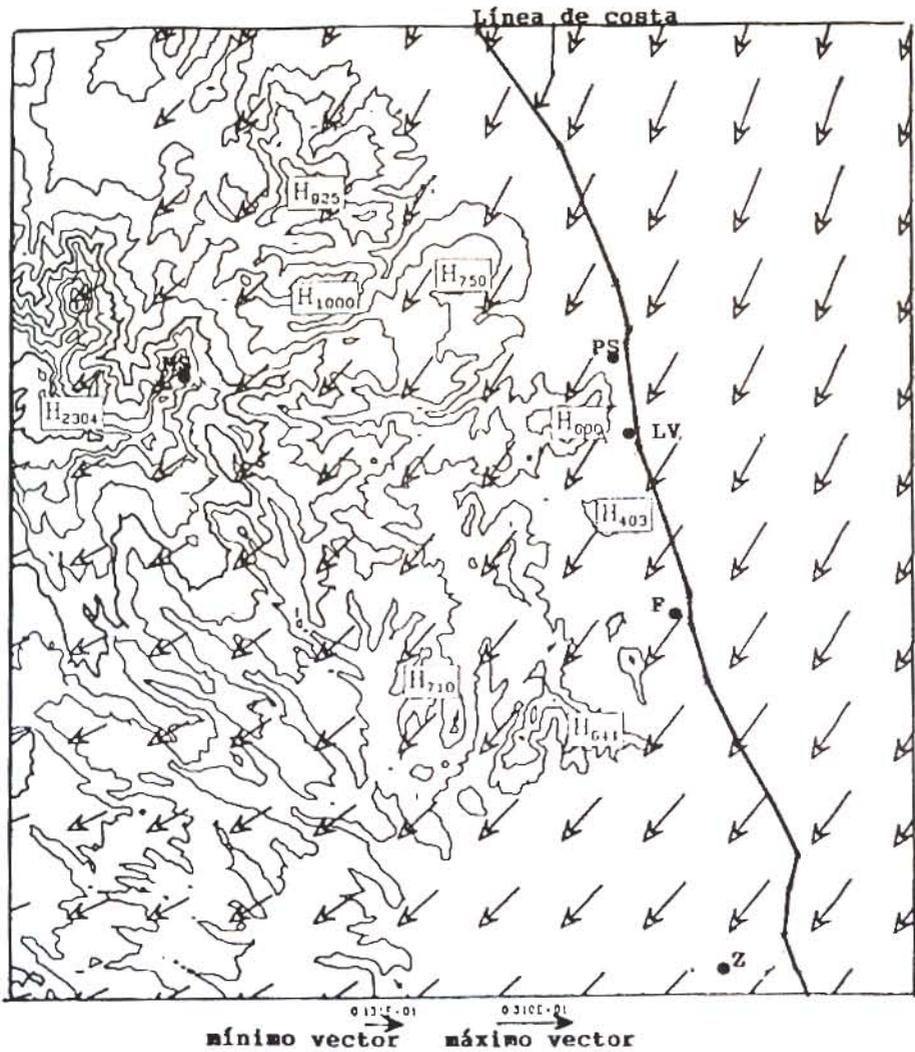


Figura 7. Análisis del viento promedio en superficie a las 12 horas, para los meses de invierno (diciembre, enero y febrero) durante 1989 y 1990.



**Figura 8** Análisis del viento promedio en superficie a las 15 horas, para los meses de invierno (diciembre, enero y febrero) durante 1989 y 1990.

menos por debajo de los 60 m. En cambio, en el resto del año, fuera de las horas de máxima presencia de la brisa marina, la atmósfera hasta 60 m de altura está más o menos estratificada.

### Agradecimientos

Al doctor Ernesto Jáuregui y al maestro Ismael Pérez, por la asesoría concedida a este estudio, así como al químico Armando Silva Jiménez, Supervisor del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Central de Laguna Verde, por el acceso a la información anemométrica utilizada. La elaboración de los dibujos estuvo a cargo de los estudiantes Lizette Pochat y Jorge Luis Vázquez.

### Referencias

- Alvarez, A., A. D. Contreras y A. Tejeda (1997), "Análisis espectral de las series de intensidad y dirección del viento en Laguna Verde", Informe técnico preliminar del proyecto SIGOLFO 9606010 V.
- Atkinson, B. W. (1981), *Meso-Scale Atmospheric Circulations*, Academic Press, Londres.
- Breaker, L. C., W. H. Gemmill y D. S. Crosby (1994); "The application of technique for vector correlation to problems in meteorology and oceanography", *J. Appl. Meteor.*, **33**:1354-1365.
- Gould, A. L. (1969), "A regression technique for angular variates", *Biometrics*, **25**:683-700.
- Jáuregui, E. (s/f), *Condiciones de difusión atmosférica y climatología de Punta Limón, Ver.*, Reporte Interno, 75 pp.
- Jáuregui, E., J. L. Ruiz, M. A. Valdovinos, I. Quepons y J. M. Rodríguez (1975), *Climatología de difusión de Laguna Verde, Ver. (1972-1975)*, Reporte Interno, 55 pp.
- Jáuregui, E., M. A. Valdovinos y J. M. Rodríguez (1980), "Atmospheric diffusion characteristics at a coastal site in the tropics", *Geofísica Internacional*, Instituto de Geofísica, UNAM, México, **19**:259-268.
- Jáuregui, E., M. A. Valdovinos, J. M. Rodríguez y A. Ramírez (1984), *Aspectos de la circulación de la brisa en la planicie costera del sur de Veracruz (una metodología)*, Centro de Meteorología Aplicada de la Universidad Veracruzana, 150 pp.
- Jáuregui, E., A. Tejeda, A. D. Contreras, O. Alvarez, R. Mancilla y J. L. Vázquez (1995), *Campo de viento alrededor de Laguna Verde y modelos realistas de dispersión atmosférica*, Reporte No. 1, 57 pp.

- Jáuregui, E., A. Tejada, A. D. Contreras, O. Alvarez, R. Mancilla, I. Pérez y J. L. Vázquez (1996), *Campo de viento alrededor de Laguna Verde y modelos realistas de dispersión atmosférica*, Reporte No. 2, 89 pp.
- Johnson, R. A. y T. Wehrly (1977), "Measures and models for angular correlations and angular linear correlations", *J. R. Statis. Soc.*, **39 B**:222-229.
- Johnson, R. A. y T. Wehrly (1978), "Some angular-linear distributions and related regression models", *J. Amer. Statist. Assoc.*, **73**:602-606.
- Mardia, K. V. (1972), *Statistics of directional data*, Academic Press, 357 pp.
- Morales, T., A. Tejada y J. Cervantes (1989), "The surface wind direction as a function of the wind at 850 mb in Laguna Verde zone, Veracruz, Mexico", *Atmósfera*, **2**:181-187.
- Pérez, I. (1985), "Un análisis semiobjetivo para el campo de viento en los trópicos", *Geofísica Internacional*, Instituto de Geofísica, UNAM, México, **24**:225-237.
- Tejada, A. y J. Cervantes (1994), "Manejo y presentación de datos de viento superficial", *Geografía y Desarrollo*, Colegio de Geógrafos Mexicanos, México, **2**:49-57.
- Tejada, A., M. M. Ojeda y A. D. Contreras Hernández (1994), "Local winds south of Sierra de Misantla (Mexico), and their statistical relationships with 500 mb circulation", *Geofísica Internacional*, Instituto de Geofísica, UNAM, México, **33**:303-309.
- Tejada, A. (1996), *Sobremediciones y parametrizaciones de la estabilidad y el balance energético atmosférico en la ciudad de México*, Tesis de doctorado, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, 87 pp.