

APLICACIÓN DEL EFECTO DE ACUMULACIÓN A LA RECTIFICACIÓN DEL MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES PRACTICADO A UNA ESTACIÓN CON Poca INFORMACIÓN.

Autores: LOURDES ALVAREZ ESCUDERO, ROSENDO ALVAREZ MORALES Y ALFREDO ROQUE RODRÍGUEZ.

Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología.

Resumen.

Se realiza una comparación entre los datos de viento que se poseen de las estaciones de Juraguá y Cienfuegos, concluyéndose que pueden utilizarse los datos de la última para hacer estudios climáticos en la primera. Se realiza una investigación de las calmas y de las variables que le están asociadas: horas de permanencia en calma, hora, rumbo y rapidez de salida de la calma para ambas estaciones. Se ejemplifica el procedimiento para el cálculo del efecto de acumulación en emisiones de yodo 133 en la zona de Juraguá. Se dan las combinaciones más frecuentes y más peligrosas de las variables relacionadas con la acumulación. Palabras claves: viento, dispersión de contaminantes.

Introducción

Ya en otros trabajos se ha planteado en que consiste y cuál es la importancia que tiene la introducción del efecto de acumulación en los pronósticos de dispersión de contaminantes, (Alvarez et al., 2000a) que debido a la aglomeración de sustancias, producto de varias horas en calma, se produce a la salida de las fuentes emisoras y su posterior traslado en una dirección dada al comenzar a soplar el viento. El presente trabajo trata del estudio de este efecto en la zona de Juraguá y de la relación que puede establecerse entre estaciones cercanas, cuando hay falta de información en una de ellas, en este caso se utilizarán los datos de Cienfuegos, lo que permite al mismo tiempo hacer un análisis de esta zona donde también existen importantes focos emisores. Para caracterizar dicho efecto se utilizan las matrices de combinaciones de variables de acumulación, así como las combinaciones más frecuentes y la más peligrosa. Muchos de estos estudios para la estación Cienfuegos pueden consultarse en Alvarez et al. (2000b).

Materiales y métodos

Para el presente trabajo se utilizan las mediciones de dirección (rumbo) y fuerza (rapidez) del viento en dos estaciones cercanas entre sí: la estación

Juraguá próxima a la Central Electronuclear de Juraguá (no pertenece a la red de estaciones meteorológicas) y la estación meteorológica de Cienfuegos. De Juraguá se cuenta con observaciones trihorarias de tres años: 1989, 1992 y 1993; mientras que de Cienfuegos se cuenta con 28 años (1971 - 1998) de esta misma información y que contiene dentro de ella los mismos años que hay información para la primera. El principal inconveniente de los datos de Cienfuegos es que en muchos años no se poseen observaciones en los horarios de la noche y la madrugada (01, 04, y 22 hora local) con una especial carencia en el horario de las 04.

Para el trabajo se clasifican las variables de viento de la siguiente forma:

-Rumbo: según la rosa de los vientos de 16 rumbos (unidad de permanencia 22.5°) (Alvarez, 1992).

-Calmas: Se considerarán a los vientos menores de 2 km/h (0.6 m/s) que es la velocidad a partir de la cual comienza a medir el instrumento.

-Fuerza: Los rangos de rapidez del viento se clasificarán de 1 en 1 km/h para los primeros 30 rangos, tres clases de 15 en 15 m/s y una última para mayores de 75 m/s, que es la forma en que se procesan los datos para el pronóstico.

Resultados y discusión.

Las calmas representan un importante porcentaje de las mediciones de viento, así se tiene que para Juraguá representan el 22% del total de observaciones y para Cienfuegos el 25% en el periodo de estudio. Con vistas a poder extraer conclusiones para Juraguá a partir de los datos de Cienfuegos se realizarán algunas comparaciones entre los datos en los años en que coinciden en tenencia de información. En la figura 1 se puede observar la diferencia en rangos entre todas las mediciones válidas de los años 1989, 1992 y 1993 para las dos estaciones. De ella puede extraerse que salvo en raras excepciones las mediciones no difieren más de uno o dos rangos (1 o 2 km/h) tanto Juraguá por encima de Cienfuegos como al revés, con mayoría de observaciones iguales. Si se realiza el mismo análisis pero para cuando una de las dos observaciones es calma se observa un comportamiento similar ya que el 94 % de la diferencia entre las mediciones cuando en alguna de las dos estaciones hay calma está concentrada entre los valores (diferencias en rango) 0, -1, 1, -2, +2 y el 75 % entre 0, -1, 1, lo que da un alto grado de semejanza entre las observaciones con respecto a las calmas en ambas mediciones.

Si se realiza un análisis del faltante de datos en cada estación en los años en que se solapa la información (1989, 1992 y 1993) se tiene que en Juraguá casi no faltan datos, mientras que en Cienfuegos en los horarios de las 01, las 04 y las 22 faltan muchos datos especialmente en el horario de las 04 para todos los años y en el año 1989 para los tres horarios mencionados. Estos horarios son preferentes para la ocurrencia de calmas; sin embargo la situación de

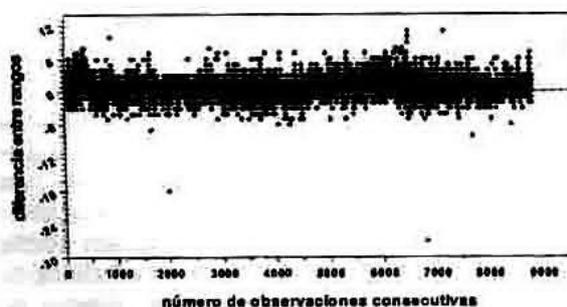


Figura 1. Diferencia entre observaciones de rapidez del viento (expresada en rangos) entre las estaciones de Juraguá y Cienfuegos para los años 1989, 1992 y 1993.

falta de datos en la estación Cienfuegos no ocurre siempre y se posee un registro más confiable de 28 años de información, que permite hacer estudios climatológicos de más peso. Una comparación entre los datos válidos y los no medidos para la estación Cienfuegos arroja que aunque en algunos años el porcentaje de datos no medidos puede ser de alrededor del 35% esto no pasa todos los años de la misma forma, en general hay un aumento del número de observaciones en los extremos de la serie y una disminución hacia el centro (ver figura 2).

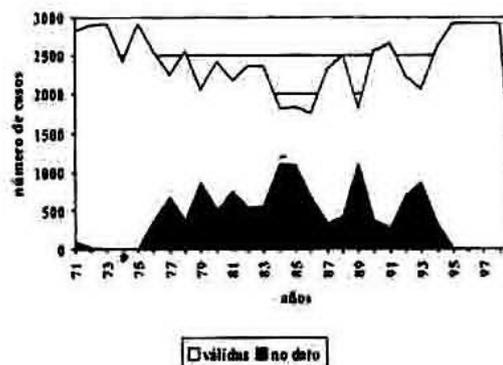


Figura 2. Comparación entre las mediciones válidas y las no registradas (no dato) por años para la estación Cienfuegos en el periodo 1971 - 1998.

Para suplir el principal inconveniente de los datos de Cienfuegos, que es la carencia en horarios extremos del día, se asumirá que siempre que en los horarios de las 01, 04 y 22 no haya datos estos serán asumidos como calmas. De esta forma se tiene al analizar Cienfuegos, el máximo número de calmas posibles que provocarán el efecto de acumulación de máxima afectación, con lo que se logrará que cualquier situación real de concentraciones reforzadas por dicho efecto, quede al mismo nivel o un poco por encima de la pronosticada. Como mismo se hace la comparación de la diferencia por rangos de viento observación a observación entre Juraguá y Cienfuegos cuando una de las dos es calma, se puede ahora repetirla llenando los datos faltantes de Cienfuegos en horas extremas suponiendo que todas son calmas lo que nos da que el 89 % de las diferencias son de 0, 1, -1, 2, -2 rangos y el 75 % de 0, 1 y -1 rangos. La diferencia entre observaciones de rapidez del viento cuando una de las dos es calma y cuando no existe la medición se asume la calma entre las estaciones de Juraguá y Cienfuegos en los años donde la información se solapa se resume en la Tabla 1.

Calmas: 1807 casos en total		
Diferencia	Casos	por ciento
0	524	29
1	393	22
-1	441	24
2	202	11
-2	60	3
3	91	5
-3	29	2
4	35	2
-4	11	1
5	9	1
-5	1	0
6	5	0
-6	2	0
<-6 o >6	4	0

Tabla 1. Número de casos y por ciento del total de casos de la diferencia entre las observaciones de rapidez del viento cuando una de las dos es calma (expresada en rangos) entre las estaciones Juraguá y Cienfuegos en los años 1989, 1992, 1993, pero además se supone que cuando en la estación Cienfuegos no haya medición se asuma como calma.

Con todo lo explicado de aquí en lo adelante se asumirá el análisis para las dos estaciones Juraguá y Cienfuegos y se sacará allí donde sea necesario conclusiones para Juraguá con la información de Cienfuegos, sobre todo donde se impongan conocimientos de la climatología del lugar por poseer esta última 28 años de información confiable.

Una de las primeras características climáticas que se analizarán será la tendencia de la cantidad anual de calmas expresada como frecuencia del número total de casos a lo largo de la serie 1971 - 1998 en Cienfuegos.

Los parámetros estadísticos descriptivos (Sneyers, 1990) de esta serie arrojan que aunque existe correlación interna, no hay ningún indicio de tendencia global dado por el bajo valor de los estadígrafos de Spearman y Mann - Kendall, por lo que se considerará que la serie de frecuencia anual de ocurrencia de calmas en Cienfuegos para el período 1971 - 1998 es homogénea y de su gráfico se observa un comportamiento general de valores de frecuencia más bajos hacia los extremos de la serie y más altos hacia el centro. No se ha comprobado por falta de información confiable si en el período de estudio hubo cambio en los instrumentos o en los métodos de medición para determinar la magnitud de los vientos.

En general las calmas son menos frecuentes en los meses del período poco lluvioso y son más frecuentes en los meses del período lluvioso (mayo a octubre) para ambas estaciones. El mes con mayor número de calmas es septiembre para Cienfuegos y agosto para Juraguá aunque con muy poca diferencia con respecto al número de casos en septiembre. El mes con menor número de casos en las dos estaciones es febrero mes donde hay gran incidencia de sures y paso de frentes fríos por lo que hay más casos de vientos fuertes. La curva que mejor ajusta a las distribuciones de casos de calmas por meses tiene la forma:

$$\text{número de casos} = a + b \frac{2\pi}{T} \text{mes} + \sum_{i=1}^n c_i \sin\left(\frac{2\pi i}{T}\right) \text{mes} + \sum_{j=1}^m d_j \cos\left(\frac{2\pi j}{T}\right) \text{mes} \quad (1)$$

donde T es el período en este caso 12 meses. El coeficiente de correlación más bajo fue de 0.96 y el error relativo mayor de aproximadamente el 3 %.

Con respecto a la marcha diaria de las calmas para las dos estaciones se observa como los máximos de ocurrencia de calma están en las horas extremas del día (noche, madrugada y mañana) y los mínimos en horas de la tarde donde las frecuencias de ocurrencia pueden ser muy bajas. La curva del mejor ajuste para la frecuencia de ocurrencia de las calmas (en este caso se expresa en frecuencia para soslayar el problema de la falta de datos en algunos años a horarios específicos) tiene la forma (1) donde en lugar del mes está la hora del día y el período es 24. Se obtuvo para los ajustes un coeficiente de correlación de 0.98 con un error relativo aproximado del 3%.

Como ya se comentó (Alvarez et al., 2000a) para el estudio del efecto de acumulación son tan importantes las calmas en sí como las variables que le están asociadas como son: las horas de permanencia en calmas, el rumbo de salida de la calma, la rapidez de salida de la calma y la hora de salida de la calma. Los valores más frecuentes para Juraguá son 1 hora de permanencia, rumbo de salida ENE, rapidez de salida 1 m/s y hora de salida 07, mientras para Cienfuegos solo hay diferencia en el rumbo preferencial de salida que es el NE.

Si se hace un análisis más general que implique frecuencia de ocurrencia de dos variables a la vez por rangos se pueden trazar cartas características que darían una descripción más amplia del fenómeno de estudio. Se utilizarán tres tipos de cartas para cada una de las dos estaciones y son: carta característica de horas de permanencia en calmas contra rumbos de salida de la calma, carta característica de horas de permanencia en calma contra rapidez de salida de la calma y carta característica de horas de permanencia en calma contra hora de salida de la calma. El comportamiento representado por estas cartas para cada estación se resume en:

Juraguá: Hay representación de hasta 20 casos (debe tenerse en cuenta que aquí solo se procesaron 3 años) para 2 horas de permanencia, los rumbos de salida preferentes se agrupan entre el NE y el este con un máximo secundario de menor valor en número de casos en el ESE y otro menor aún en el SSW, la rapidez de salida tiene representación de hasta 20 casos para 4 m/s donde puede alcanzarse hasta 5 horas de permanencia y la hora preferencial de salida de la calma presenta un máximo entre las 04 y las 10 para 1 y hasta 2 horas de permanencia, un máximo bien marcado para las 19 con 1 hora de permanencia y un máximo con menor representación del número de casos sobre las 07 con hasta 4 horas de permanencia.

Cienfuegos: Hay representación de hasta 50 casos para 2 horas de permanencia, los rumbos de salida preferentes están entre NE y el SE con un máximo secundario entre el SSE y el WSW, la rapidez de salida entre 1 y 4 m/s y las horas preferenciales de salida de la calma están entre las 04 y las 10 con un máximo secundario en las 19.

A modo de ejemplo se representará la primera de estas cartas características (horas de permanencia en calma contra rumbos de salida) para las dos estaciones en estudio tal y como se muestra en las figuras 3, 4.

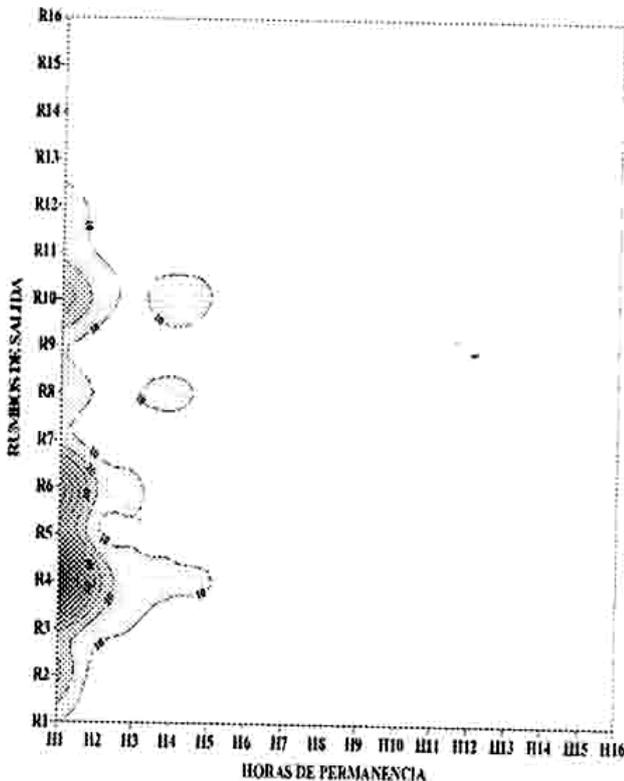


Figura 3. Carta característica del número de casos de horas de permanencia contra rumbos de salida de la calma para la estación Juraguá en los años 1989, 1992 y 1993 con observaciones trihorarias.

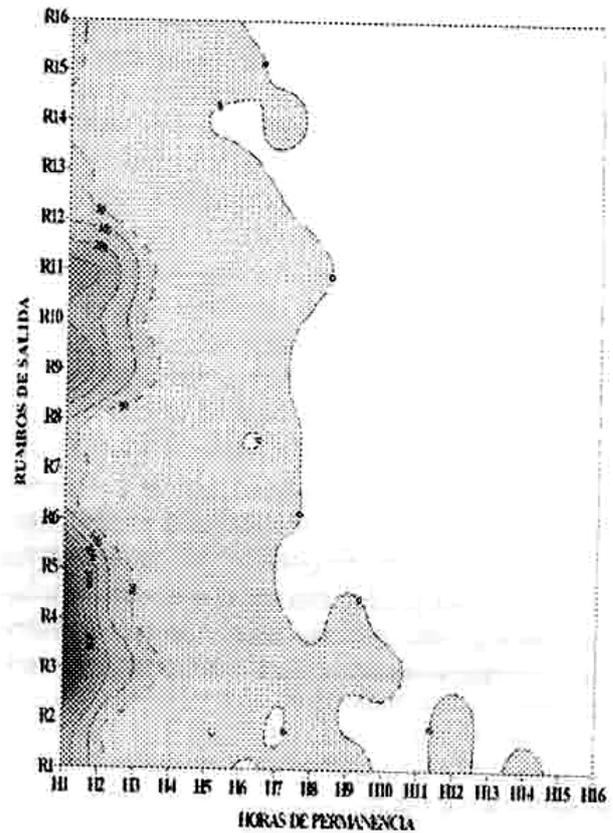


Figura 4. Carta característica del número de casos de horas de permanencia contra rumbos de salida de la calma para la estación Cienfuegos en el periodo 1971 - 1998 con observaciones trihorarias.

Haciendo combinaciones con estas 4 variables podemos establecer cuales son las más frecuentes y la más peligrosa considerando para ello la de mayor número de horas de permanencia con mayor representatividad. Con respecto a las combinaciones más frecuentes se observa que en Juraguá son (2, ENE, 2, 04) y (3, ENE, 1, 07) donde a diferencia de en Cienfuegos (1, NE, 1, 19), (1, E, 1, 07) consta con combinaciones que involucran a más de una hora de permanencia. La combinación más peligrosa para Juraguá (8, ENE, 2, 22) conlleva 8 horas de permanencia lo que implica para observaciones trihorarias 24 horas consecutivas de calma. Aunque las probabilidades de ocurrencia de estas combinaciones son bajas, existen y tanto las más frecuentes como la más peligrosa, pueden ocurrir y por tanto deben tomarse en cuenta a la hora de realizar pronósticos de máxima afectación.

Ahora bien, si se poseen las matrices de frecuencia de ocurrencia de horas de permanencia contra rumbos de salida de la calma y de horas de permanencia contra rapidez de salida de la calma, se pue-

de por multiplicación matricial común lograr una matriz de frecuencia de ocurrencia de rumbos contra rapidez de salida de la calma, compaginando para ello adecuadamente las filas de una con las columnas de la otra y multiplicando cada elemento por el número de horas de permanencia que representa (recordar que cuando se trabaja con datos trihorarios cada hora de permanencia significa 3 horas consecutivas de calma). La matriz resultado será una matriz de rumbos contra rapidez que lleva implícito la cantidad de horas de permanencia en calma. La representación de esta matriz de acumulación para la estación de Juraguá puede verse en la figura 5. Si a partir de ella se realiza un pronóstico de concentraciones tal y como se hace con la matriz rumbo - rapidez para los vientos en general, se obtendrán las concentraciones producidas por el efecto de acumulación, que pueden ser sumadas a las concentraciones obtenidas en el pronóstico normal para su rectificación.

Si se repite este cálculo para los vientos que salen de la calma a la hora de salida más frecuente, se obtendrá la matriz de probabilidades de rumbos contra rapidez de salida de la calma a la hora que más salen los vientos de la calma. Esta matriz también puede ser usada con fines de caracterizar el efecto de acumulación dentro del pronóstico de concentraciones de contaminantes.

A manera de ejemplo se calculará un pronóstico y se le sumará el efecto de acumulación. Aquí aunque los datos de emisión sean de Juraguá se utilizará la matriz de viento de Cienfuegos, por ser esta mucho más representativa de la climatología del viento en la zona y según se ha visto presenta una gran similitud con el comportamiento del viento en Juraguá. En las figuras 6 y 7 se muestra el pronóstico sin tener en cuenta la acumulación y el pronóstico rectificado con el efecto de acumulación respectivamente. El componente escogido es el Yodo 133 (I133) uno de los contaminantes más peligrosos. Para resaltar la diferencia se marcó en línea discontinua la isolínea correspondiente a 50000 Bq/s. Aquí se nota como áreas no afectadas por estas concentraciones pasan a serlo si se tiene en cuenta el efecto de acumulación.

La metodología aquí detallada permite la rectificación de los pronósticos, siempre que se cuente con la información necesaria para representar el fenómeno.

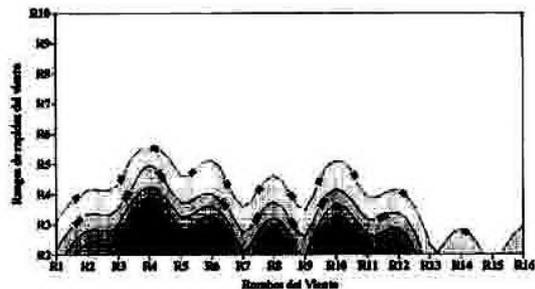


Figura 5. Carta característica de frecuencia de ocurrencia (X105) de rumbos de salida de la calma contra rapidez del viento de salida de la calma teniendo en cuenta las horas de permanencia en calma (matriz de acumulación) en la estación Juraguá para los años 1989, 1992, 1993.

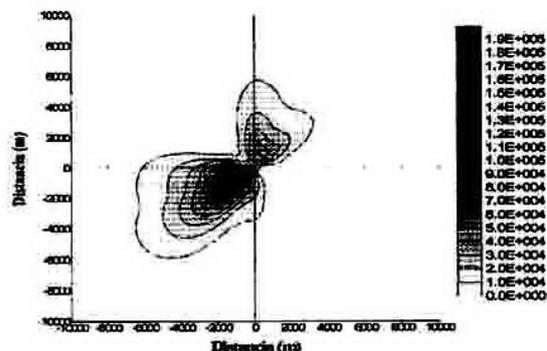


Figura 6. Pronóstico de concentraciones de Yodo 133 dado en Bq/s para una fuente ubicada en la CEN de Juraguá pero calculada a partir de la matriz climática de rumbos - rapidez del viento en Cienfuegos del periodo 1971 - 1998. La línea discontinua representa la isolínea de 50000 Bq/s.

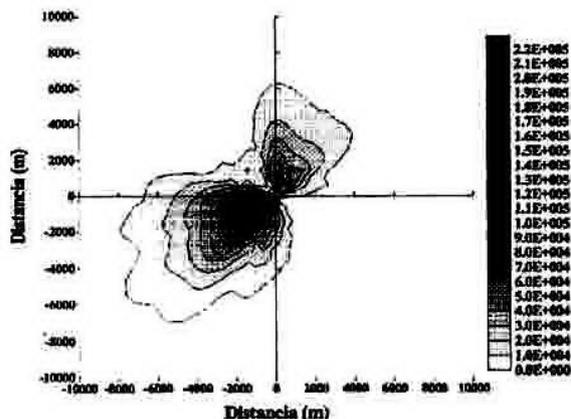


Figura 7. Pronóstico de concentraciones de Yodo 133 dado en Bq/s para una fuente ubicada en la CEN de Juraguá pero calculada a partir de la matriz climática de rumbos - rapidez del viento en Cienfuegos del periodo 1971 - 1998, pero a la que se le sumó el pronóstico calculado a partir de la matriz de acumulación calculada también para Cienfuegos en el mismo periodo. La línea discontinua representa la isolínea de 50000 Bq/s.

Conclusiones

Las calmas tienen una representatividad lo suficientemente alta con respecto al total de observaciones como para realizar su caracterización en las estaciones en estudio. La representatividad fue de 22% en Juraguá y 25% en Cienfuegos. De analizar la cantidad, calidad y semejanza de los datos de estas dos estaciones, se determinó trabajar la modelación para Juraguá con la matriz climática de vientos de Cienfuegos (con 28 años de información), asumiendo que cuando en la misma no existan mediciones estas se asumen como calmas.

La serie de frecuencia de ocurrencia de calmas para la estación Cienfuegos en el periodo 1971 - 1998 resultó ser homogénea, es decir la frecuencia de calmas por año, ni crece ni decrece. El estudio de la marcha anual de las calmas muestra mínimos en el periodo poco lluvioso y máximos en el periodo lluvioso (mayo a octubre) y la de la marcha diaria muestra aproximadamente mínimos en horas de la tarde y máximos en horas de la noche, la madrugada y la mañana. La curva de mejor ajuste a las dos distribuciones para las dos estaciones es la suma de un término lineal y tres armónicos.

A partir de la combinación de las 4 variables relacionadas con la calma: permanencia, rumbo, rapidez y hora de salida de la calma se pueden determinar las combinaciones más frecuentes y la más peligrosa según el número de horas de permanencia. En general para todas las estaciones son combinaciones de 1 hora de permanencia, vientos del primer cuadrante, rapidez de 1 m/s y hora de salida 07.

A partir de las cartas características de horas de permanencia contra rumbos de salida y horas de permanencia contra rapidez de salida de la calma se

puede obtener por producto matricial una matriz rumbo - rapidez de salida de la calma que lleve implícito las horas de permanencia en calma. Esta matriz puede introducirse en los pronósticos de concentraciones de contaminantes y dar una rectificación del mismo por el efecto de acumulación.

Bibliografía.

Alvarez, L., R. Alvarez (1992): La permanencia como propiedad general de las variables meteorológicas I. Resultados preliminares. Revista Cubana de Física, 12(2): 115-120.

Alvarez R.; L. Alvarez (2000a): El efecto de acumulación y su influencia en el patrón de contaminantes. Revista Brasileña de Meteorología, 15(1): 103 - 112

Alvarez L., R. Alvarez, A. Roque (2000b): Caracterización del efecto de acumulación para el cálculo de la dispersión de contaminantes y sus aplicaciones a lo largo de la Isla de Cuba. Revista Cubana de Meteorología, 7(1): 8 -13.

Sneyers, R. (1990): On the statistical analysis of series of observations. Technical Note No. 143, WMO-No. 415, 192 pp.

ABSTRACT.

A comparison is carried out among the data of wind available for the stations of Juragua and Cienfuegos, being concluded that the data of the later can be used to make climatic studies in the first one. A research is carried out on the calms and the variables related to them: hours of permanency in calm, hour, direction and speed of exit of the calm for both stations. A procedure is exemplified for the calculation of the effect of accumulation for emissions of iodine 133 in the area of Juragua. Both the most frequent and most dangerous combinations of variables related with the accumulation are given. Key words: wind, pollutants dispersion.