

# ANÁLISIS DE LA DISPERSIÓN ANÓMALA DEBIDA AL RELIEVE DEL TERRENO EN LA REGIÓN DE JURAGUÁ, CIENFUEGOS.

**Autores:** ROSENDO ALVAREZ MORALES, M. LUCIANO AMARO ARGÜEZ, LAURA AENLLE FERRO.

Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología. CITMA.

## Resumen.

Se analiza la importancia del relieve del terreno en la propagación de contaminantes y se propone una metodología para establecer correcciones en el diagrama calculado en el Pronóstico de Dispersión de Contaminantes. Se realiza un levantamiento topográfico en las direcciones fundamentales de transporte de contaminantes sobre terreno complejo y se realiza un análisis del flujo basado en la teoría de las líneas de corriente. Se determinan los lugares de posible concentración de contaminantes en los alrededores de la fuente de la CEN de Juraguá hasta 12 Km de distancia de la misma y se dan conclusiones al respecto.

## Introducción

Desde el inicio de la utilización de los modelos de dispersión para el cálculo de la contaminación atmosférica éstos han padecido de un problema principal, que es como se desplazará el flujo del viento en una superficie que no sea plana como se fija en las condiciones de contorno para resolver la ecuación de difusión (Berlyand, 1975).

El desplazamiento de un flujo por una superficie rugosa puede ser modelado considerando la velocidad de fricción (Sutton, 1960), pero el problema principal ocurre cuando el flujo encuentra en su camino obstáculos, ya sean orográficos o creados por el hombre (OMM, 1985). Existe muy poca información acerca de la turbulencia creada por diferentes tipos de obstáculos y menos del transporte por torbellinos que ellos crean para arruinar el flujo paralelo considerado en los modelos.

En 1978, Alvarez (1978) presentó dentro de su tesis de Doctorado un trabajo acerca del flujo en condiciones de terreno irregular en la entrada de la Bahía de Matanzas en Cuba, donde se combinaron los efectos de tubos de Bernoulli; paredes verticales formando ángulos respecto al flujo y pirámides circulares embebidas en el fluido, calculándose el transporte de contaminantes por estas causas, obteniendo resultados alentadores, con valores cuantitativos en las concentraciones modificadas.

Dada la importancia que para la dispersión tiene el conocer los puntos de elevación y deposición de los contaminantes en función de la efectividad del

pronóstico de concentraciones se decidió acometer un análisis cualitativo de la superficie del terreno a una distancia de hasta 12 Km de separación del emplazamiento de las chimeneas de la CEN de Juraguá.

## Materiales y Métodos.

Para acometer el siguiente trabajo se contó con la serie de datos de la Estación Meteorológica de Cienfuegos (1970 - 1998), el diagrama de dispersión de contaminantes para las emisiones de la CEN de Juraguá, calculado en el Informe de Seguridad, Capítulo 2.3, (Fig. 1) y la carta característica del viento en la zona para un período de 28 años.

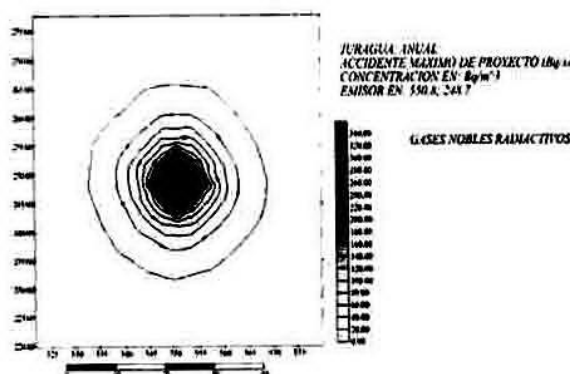


Fig. 1 Diagrama de dispersión de contaminantes para las emisiones de la CEN de Juraguá

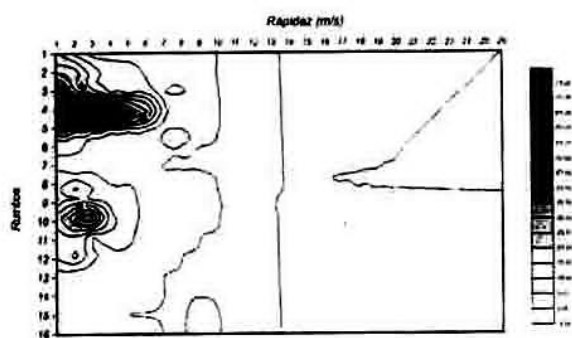


Fig. 2. Carta característica del viento en la zona de Juraguá

## Metodología de Trabajo.

Para acometer este análisis se partió del mapa 1:50000 de la zona de Cienfuegos donde se ubicó la posición de la chimenea, resultando que dada la posición de éstas los flujos que podían transportar los contaminantes tierra adentro se presentaban solo del segundo y tercer cuadrantes, con el primero y cuarto cuadrantes soplando en dirección al mar que no presenta obstáculos al flujo del viento. Para ello se analizaron nueve perfiles en dependencia de la dirección del viento, escogiéndose los rumbos del viento que a continuación exponemos: Oeste (W), Oeste Suroeste (WSW), Suroeste (SW), Sur Suroeste (SSW), Sur (S), Sur Sureste (SSE), Sureste (SE), Este Sureste (ESE) y Este (E).

En cada uno de los rumbos que presenta afectación se trazó una línea en el mapa de 12 Km de longitud y se consideraron en ésta las intersecciones de las líneas de nivel considerando como altura cero la de la base de las chimeneas. A partir de aquí se realizó un levantamiento topográfico, quedando como perfil lo que ve el viento cuando se desplaza en ese rumbo.

Para realizar los análisis de concentración anómala por el relieve del terreno nos basamos en la carta característica del viento en Juraguá presentada en el Informe de Seguridad de la CEN de Juraguá Capítulo 2.3 "Características del Emplazamiento" y en los diagramas de dispersión calculados en el emplazamiento para la suma total de GNR y lodo Radiactivo.

En la carta característica se presentan valores de la rapidez del viento con significado mayor que 0.5% en 7 m/s con rumbo Este. Además los rumbos con algún significado de rapidez se centran entre los rumbos Este Noroeste y Este Sureste y entre el Sur y el Sur Oeste, en este último caso con valores de rapidez de algún significado (0.5%) en 4 m/s.

El diagrama de dispersión de los GNR presenta valores de concentración muy pequeños (del orden de 106 Bq/M3.día), hasta 1500 m de la fuente en los rumbos Norte, Este y Sur con alcance de 1700 m de la fuente para rumbo Oeste.

En el caso del Yodo radiactivo, más peligroso, presenta valores aún más bajos (del orden de 101 Bq/M3.día) hasta 2200 m de la fuente en todos los rumbos.

El análisis del comportamiento del flujo en cada uno de los rumbos analizados, se expone a continuación. Para ello comenzamos por el flujo del oeste (W) dado que esos rumbos son los que más pueden afectar a la Ciudad de Cienfuegos.

### Rumbo Oeste (W).

Como el viento sopla del Oeste dibujaremos el perfil hasta 12 Km al Este del lugar de emplazamiento de la chimenea.

En la figura 3 puede verse un esquema del relieve al Este de la chimenea de la CEN de Juraguá. Como puede verse el terreno descendiendo y a unos 1600 m del origen se encuentra por debajo de la base de la chimenea, elevándose de nuevo al llegar a los 3.5 Km. Esta zona representará una acumulación de partículas contaminantes. El flujo vuelve a elevarse presentando una nueva zona de acumulación a los 6000 m, alcanzando después el punto más alto en su recorrido para caer violentamente en la zona de la bahía atravesada por este rumbo entre los 8500 y los 10500 m

Pasando la bahía se eleva y cae, acumulando de nuevo cerca de los 11000 m. Dado que los valores de alguna significación del lodo Radiactivo total se separan solo 1500 m de la fuente (Amaro, et. al 1995) al igual que de los GNR, y la frecuencia de vientos del W es sólo de 0.005% podemos concluir que la acumulación de estos materiales será extremadamente pequeña sólo en la depresión entre 2000 y 2500 de la fuente en la dirección Este.

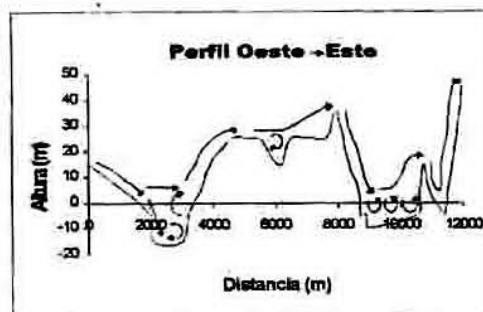


Fig. 3 Perfil orográfico al E del emisor de Juraguá para vientos con rumbo W.

### Rumbo Oeste Suroeste (WSW).

Para el rumbo Oeste Suroeste, el flujo del viento se dirigirá al Este Noreste de la instalación. En la figura 4 podemos ver que el terreno descende hasta aproximadamente 1800 m donde alcanza la base de la chimenea para descender a posteriori por debajo de esta altura entre los 1800 y 2800 m donde deben formarse torbellinos y establecerse una deposición mayor de contaminantes.

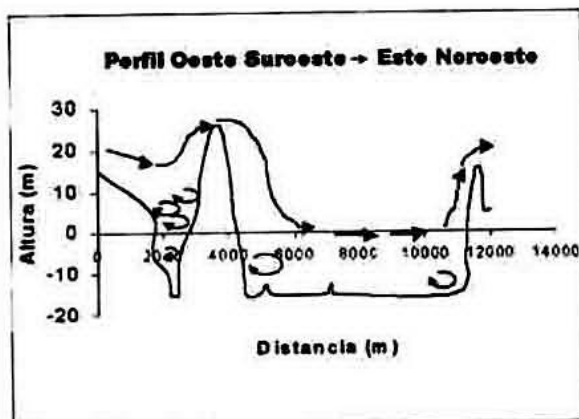


Fig. 4 Perfil orográfico al ENE del emisor de Juraguá para vientos con rumbo WSW.

Siguiendo la ruta el viento asciende hasta una cota de cerca de 25 m acelerándose para caer de nuevo en la superficie de la bahía que se encuentra entre 10 y 15 m por debajo de la base de la chimenea. Aquí pueden presentarse acumulaciones de contaminantes a ambos lados de la bahía a unos 5000 y 11000 m respectivamente, ascendiendo el viento por el relieve a partir de los 11000 m.

Si analizamos la carta característica del viento en Juraguá (Amaro, et. al 1995) vemos que los vientos con este rumbo sólo tienen una representatividad de 1.5% y que el alcance de concentraciones con algún valor pequeño es de 1500 m en el caso de los GNR y de 2000m en el caso del Iodo Radiactivo podemos concluir que el relieve creará pequeñas acumulaciones en la hondonada que se encuentra entre 1800 y 2800 m del emisor.

### Rumbo Suroeste (SW).

El próximo rumbo a analizar moviéndonos en contra de las manecillas del reloj para caracterizar las afectaciones en el primer cuadrante (Cienfuegos) es el SW (Suroeste).

En la figura 5 vemos el perfil que ve ese viento al pasar el emisor en la dirección al NE de la fuente. Al pasar hay un descenso pero siempre mantenido por

encima de la base del emisor, presentándose pequeños torbellinos y acumulación de contaminantes entre los 1000 y 2500 m alejado de la fuente. A posteriori el viento asciende y baja bruscamente hacia la bahía a los 3000 m de la fuente, elevándose nuevamente a los 9500 m, presentando un lugar de acumulación cerca de los 10000 m.

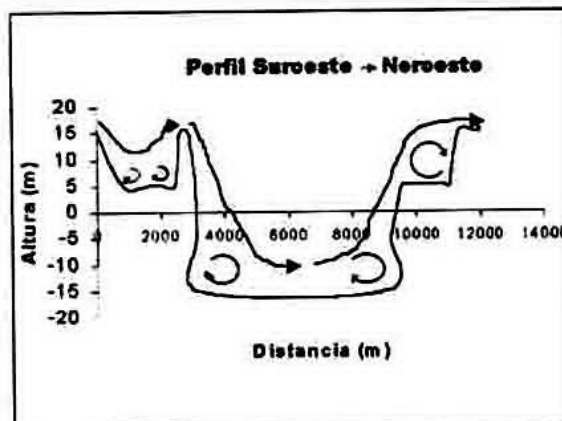


Fig. 5 Perfil orográfico al NW del emisor de Juraguá para vientos con rumbo SW.

Analizando las características del viento en Juraguá (Amaro, et. al 1995) vemos que los de rumbo SW sólo tienen una representatividad del 1% con alcance de las concentraciones de algún valor pequeño hasta 1800 m podemos ver que la afectación en ese rumbo, por su acumulación debida al efecto del relieve estará restringida a la zona mas baja entre 1000 y 2500 m alejado de la fuente.

### Rumbo Sur Suroeste (SSW).

Para este rumbo trazamos el perfil al NNE de la instalación. Como puede verse en la figura 6, los obstáculos en esta dirección alcanzan hasta 4200 m aproximadamente.

En esta dirección el relieve baja alcanzando un mínimo a los 500 m de la fuente donde se acumularán contaminantes. A los 2200 m hay una pequeña depresión en la cual el viento se encontrará en calma por debajo de las líneas de corriente (Montenegro, 1988), elevándose cerca de los 4000 m creando una zona de acumulación cerca de los 3500 m

Pasados los 4000 m hay un descenso súbito del flujo hasta valores de 10 a 15 m por debajo de la altura de la chimenea siguiendo a posteriori en un perfil cuasi plano.

Si vemos que en el patrón de dispersión (Amaro, et. al 1995) los valores con algún significado alcanzan un máximo de 1500 m con un 3% de máximo de

frecuencia en ese rumbo para 3 m/s de rapidez podemos aseverar que la zona más peligrosa en ese perfil es la que se encuentra a 500 m de la chimenea, donde se acumularán valores de  $3 \times 10^6$  Bq/M<sup>3</sup>.día o algo mayores, que, aunque no se acercan al valor permisible si tienen algún significado.

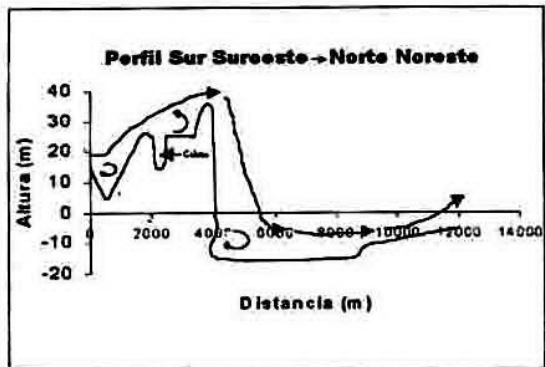


Fig. 6 Perfil orográfico al NNE del emisor de Juraguá para vientos con rumbo SSW.

### Rumbo Sur (S).

En este rumbo también el terreno desciende a partir de la base de la chimenea con un punto de acumulación de contaminantes a 800 - 1000 m de la fuente (Fig. 7). A posteriori el flujo se eleva cerca de los 2000 m a una altura de 25 m sobre la base de la fuente descendiendo hasta los 4000 m donde se encontrará una superficie plana que se extiende hasta los 12000 m. En este descenso presentará tres lugares donde habrá alguna acumulación, a los 3000 m, a los 3500 m y a los 4500 m.

Recordando que el perfil se extiende al Norte de la fuente podemos ver de la carta característica del viento (Amaro, et. al 1995) que ese rumbo solo es registrado por el 1% de los casos de viento en el lugar y que las concentraciones con algún valor pequeño se extenderán hasta 1500 m de la fuente, por lo que la acumulación solo se efectuara en la hondonada que se extiende a 800 - 1000 m del emisor donde los valores alcanzados son pequeños (del orden de  $2 \times 10^6$  Bq/M<sup>3</sup>.día).

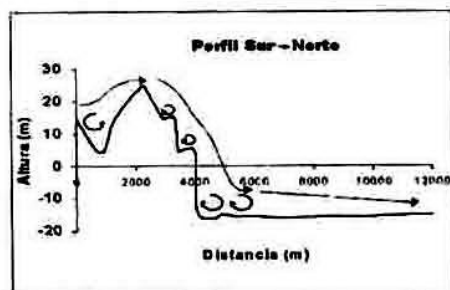


Fig. 7 Perfil orográfico al N del emisor de Juraguá para vientos con rumbo S.

### Rumbo Sur Sureste (SSE).

Cuando el viento sopla del rumbo SSE los desperdicios contaminantes se trasladan hacia el NNW y ese es el perfil que presenta la figura 6 hasta los 12000 m de separación de la base del emisor. Como podemos ver en esa dirección el viento descenderá hasta los 1000 m, ascendiendo de nuevo para volver a descender y elevarse cerca de los 4500 m, presentando zonas de acumulación en ambos lugares. Después sobre los 7000 m vuelve a descender, elevándose a los 9000 m de distancia de la fuente, presentando dos zonas de acumulación señaladas en la figura 8. La zona muy baja en este intervalo no provoca cambios en el flujo, sino se convierte en una zona de calma (Montenegro, 1988).

Observando la carta característica del viento (Amaro, et. al 1995) vemos que la frecuencia de vientos de ese rumbo es solo el 15%. También en el diagrama de dispersión (Amaro, et. al 1995) podemos ver que las concentraciones de algún valor pequeño solo alcanzan hasta los 1300 m de la fuente, por lo que los contaminantes sólo podrán acumularse en la hondonada que se encuentra a los 1000 m de la fuente.

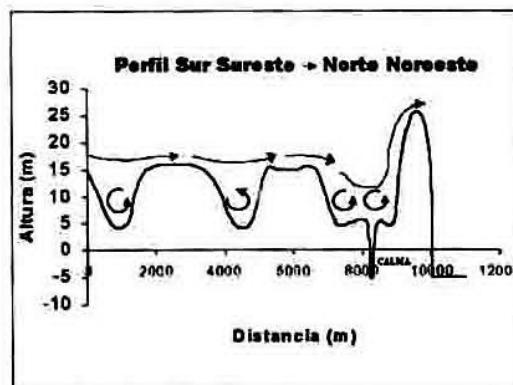


Fig. 8 Perfil orográfico al NNW del emisor de Juraguá para vientos con rumbo SSE.

### Rumbos Sureste (SE), Este Sureste (ESE) y Este (E).

Estos tres rumbos se han agrupado, ya que los perfiles que presentan son similares (Fig. 9). En los tres existe una caída brusca del terreno a unos 400 - 500 m de la fuente, con la diferencia que en el rumbo SE el terreno se mantiene plano con valores por encima de la base de la fuente, mientras va descendiendo para el rumbo SSE con 5 m por debajo de la base y el rumbo E con 15 m por debajo de la base. A partir de los 400-500 m el terreno se torna plano para todo el alcance de la dispersión de contaminantes.

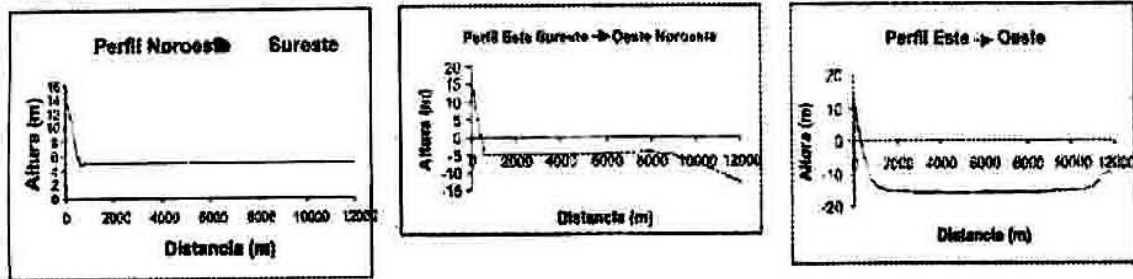


Fig. 9 Perfiles NW, WNW y W para los rumbos SE, ESE y E del viento

Si analizamos el pronóstico de dispersión (Amaro, et. al 1995) podemos ver que el alcance con algún valor pequeño de las concentraciones es de 1500 m, por lo que los valores de concentración solo serán modificados por el relieve en los alrededores de la fuente.

### Conclusiones.

Después de haber efectuado el análisis de los efectos del relieve en la propagación de contaminantes para cada una de los rumbos del viento que pueden introducir impurezas dentro del territorio podemos arribar a las siguientes conclusiones al respecto.

- 1- Dado el corto alcance de la dispersión conocida por el diagrama de dispersión en el territorio, donde los valores de concentración que se presentan hasta 1500 m son muy pequeños, las afectaciones por el relieve están limitadas a los alrededores de la fuente, a una distancia menor que 1000 m en todos los casos.
- 2- De acuerdo con los valores bajos de concentración se estima que las concentraciones se afectarán poco por las irregularidades del terreno.
- 3- Para todos los efectos del análisis de dispersión, dada la baja altura de los cambios en el relieve, se puede considerar que ésta se efectúa en terreno plano o cuasiplano, lo que satisface las condiciones de contorno del método de pronóstico hasta una distancia de 10 Km. de la fuente.
- 4- Lo aquí analizado puede ser utilizado como una metodología complementaria al análisis de dispersión de cualquier fuente contaminante, ya sea esta radiactiva o no, permitiendo localizar puntos de acumulación de contaminantes no previstos en las ecuaciones de los modelos de pronóstico de la contaminación del aire.

### Bibliografía.

Amaro, L.; Alvarez R.; Lecha L.; Pérez D.; Soltura R.; González J. L.; Alfonso A.; González J.; Vega R.; Alvarez L.; Casals R.; Pérez P.; Juantorena Y.; Alvarez O.; Ramos E.; Linares M.; Rivero I.; Rodríguez G.; Rodríguez L. E.; Báez R. (1995): Informe de Seguridad. Central Nuclear de Juraguá, 3 tomos. Instituto de Meteorología, Agencia de Medio Ambiente. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

Alvarez, R. (1978): Estudio de la dispersión de contaminantes en la atmósfera de Cuba. Tesis de Doctor en Ciencias Físico - Matemáticas. Instituto de Física de la Atmósfera. Academia de Ciencias de la URSS.

Berlyand, M. E. (1975): Problemas actuales de la difusión atmosférica y la contaminación de la atmósfera [en ruso]. Guidrometeoizdat, Leningrado, 448 pp.

Montenegro, U. (1988): Estudio del flujo en las montañas de la región oriental de Cuba. Informe de Resultado. Programa del Plan Montaña. Stgo. de Cuba.

Sutton, O.G. (1960): Atmospheric Turbulence. John Wiley & Sons. New York, Pp 67 - 90 (112 pp).

WMO, 1985: Meteorological and hidrological aspects of siting and operation of Nuclear Power Plant. Volume I. Meteorological Aspects. WMO - No. 550, Technical Note No. 170, 151 pp.

#### ABSTRACT:

The importance of orography to pollutant dispersion is analyzed and a methodology is proposed to set corrections on the diagram calculated from the Pollutants Dispersion Forecast.

A topographic cast is performed in the main directions of pollutant transport over complex terrain and a flux analysis is made based in the theory of flux lines. Places of possible pollutant concentration on the surrounds of the nuclear power plant at Juraguá are determined up to a distance of 12 km and conclusions are given on the subject