

# **CALIDAD DEL AIRE Y LA GENERACION DE ENERGIA POR BIOMASA**

Arnaldo Collazo Aranda, Osvaldo Cuesta Santos y Antonio Wallo Vázquez

Centro de Contaminación y Química Atmosférica, Instituto de Meteorología, Cuba. Email: aecollazo@yahoo.com

**Resumen:** Los trabajos de diagnóstico de la contaminación atmosférica revisten una importancia primordial para la selección e instrumentación de medidas que permitan una adecuada armonía entre las diversas actividades que se ejecutan en un territorio, de tal forma que no se perjudique el medio ambiente y sean compatibles las diferentes actividades socioeconómicas.

Los resultados experimentales de la calidad del aire se obtiene durante dos campañas de monitoreo realizada en la zona de estudio, los cuales diferencian los regímenes productivos asociados a la industria azucarera.

Las salidas del modelo se muestran utilizando un sistema de información geográfico a través de mapas que reflejan el comportamiento de la dispersión de los contaminantes en la zona de afectación. Se comparan los resultados obtenidos en cada una de las variantes estudiadas y se exponen las ventajas del uso de la biomasa como combustible para generar electricidad y se mencionan las medidas de mitigación a realizar en la zona para mejorar la calidad del aire.

## **1. Introducción**

La química de la atmósfera es controlada por un gran número de procesos físicos y químicos complejos. El estudio de tales sistemas complejos requiere del uso de modelos numéricos los cuales han evolucionado sustancialmente en los últimos decenios. Tales modelos han sido utilizados para identificar variables claves, interacciones importantes, y para interpretar observaciones locales, regionales y globales. Además, ellos pueden utilizarse para la predicción del estado químico de la atmósfera y además ayuda a los decisores (autoridades políticas) definir políticas (estrategias) de reducción de emisiones desde las escalas locales y globales.

Los modelos de dispersión son una herramienta que permite calcular concentraciones de contaminantes provenientes de una o varias fuentes de emisión, adecuadamente caracterizadas. Para ello se utilizan algoritmos en algunos casos muy sencillos, como el que se requiere para simular una única fuente puntual simple en un único punto receptor, y en otros muy complejos cuando la situación a analizar presenta complicaciones.

## **Breve descripción de los Procesos Tecnológicos que expulsan contaminantes atmosféricos en el CAI Héctor Molina**

La solución propuesta por los investigadores consiste en el procesamiento de caña energética después de la zafra, extendiendo así el tiempo de molida y de generación del central desde 150 hasta 330 días anuales. Algunos investigadores han planteado, que en Cuba, utilizar las amplias posibilidades de fuentes de energía renovable, constituye la mejor forma de generar energía eléctrica sin grandes consecuencias ambientales, y que en este sentido la industria azucarera posee el potencial mayor, el bagazo, el que al utilizarse para cogenerar permite obtener los siguientes índices de emisiones: 18,6 lb/100 Kwh de CO<sub>2</sub>, no emiten compuestos de azufre y 0,036 lb/Kwh de NO<sub>x</sub>. Las grandes cantidades de CO<sub>2</sub> que se emiten son absorbidas por la planta durante el crecimiento. Como se observa el bagazo u otra biomasa renovable, en comparación con los combustibles fósiles, generan pequeñas cantidades de contaminantes, no da lugar a emisiones de azufre y es posible reducir los NO<sub>x</sub> en un 90 % y el CO<sub>2</sub> en un 60 % (Romero et al., 2003). Sin embargo, no existen experiencias en Cuba de plantas que generen a alta presión y durante todo el año, no existiendo mediciones precisas de los efectos ambientales de una instalación de estas características.

El uso del bagazo, como combustible se caracteriza por emisiones nulas de CO<sub>2</sub>, y que las emisiones resultantes de su combustión son fundamentalmente, partículas y bajas cantidades de SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub>. Aunque las emisiones de CO<sub>2</sub> se consideran nulas teniendo en cuenta el ciclo completo del carbono, es decir el consumo del azúcar por los seres vivos y la interrelación de estos con el medio a través del proceso respiratorio, y considerando que en la producción de caña se utiliza una determinada cantidad de combustible fósil, sobre todo para la siembra y atenciones culturales de las plantaciones.

## **2. Materiales y métodos**

### **Análisis de las emisiones**

Los valores de emisión son estimados a partir de factores de emisiones tomados de la experiencia internacional y reportados en las Guías y metodologías para la realización de los Inventarios de Emisiones Atmosféricas de la **EPA** y **CORINAIR**.

**Tabla 2.1 Factores de emisiones estimados para las fuentes (chimeneas, calderas) y datos tecnológicos de interés del Central Azucarero "Héctor Molina".**

Características	Chimenea 1	Chimenea 2	Chimenea 3	Total
Diferentes calderas instaladas	Evacua los gases de la caldera 3	Evacua los gases de la caldera 4	Evacua los gases de la caldera 6	
Capacidad (ton / h)	60	60	25	48
A presión barométrica (psi)	250	250	150	225
Altura de la chimenea (m)	64	62	66	64
Diámetro interior (m)	4	4	4	4
Flujo volumétrico de gases (m <sup>3</sup> /h)	225000	415000	120000	760000
Velocidad de salida (m / seg.)	4,97	9,17	2,65	5,6
Temperatura de los gases (°C)	195	180	300	225
Emisión de Partículas (g / seg.) ...	44,54	82,16	23,76	150,46
Emisión de NOx (g / seg.) ...	5,57	10,27	2,97	18,81

Las calderas 3, 4 y 5 quema en suspensión y la caldera 6 quema en pila el bagazo.

**Tabla 2.2 Factores de emisiones estimados para las fuentes (calderas) y datos tecnológicos de interés de la Destilería "Héctor Molina".**

Características	Chimenea
En tiempo de zafra utiliza el vapor desde el Central (116 días), en no zafra emplea el fuel oil	Evacua los gases de la caldera
Capacidad (ton / h)	12
Altura de la chimenea (m)	30
Diámetro interior (m)	1,5
Flujo volumétrico de gases (m <sup>3</sup> /h)	60000
Velocidad de salida mezcla gaseosa (m / seg.)	9,43
Temperatura de los gases (°C)	250
Emisión de NOx (g / seg.) ...	9,21
Emisión de SOx (g / seg.) ...	138,18
Emisión de CO (g / seg.) ...	27,63
Emisión de Partículas (g / seg.) ...	73,69

**Tabla 2.3 Los factores de emisión para determinar las emisiones de gases que se podrían producir por zafra azucarera en una planta (Central Térmica CT):**

Parámetros	Valores
Potencia bruta (MW):	35
Generación bruta GW-h	20
% de bagazo en caña %	31
Consumo específico t/KW-h	2,3
Consumo biomasa ton / zafra:	304000
De ello bagazo : ton / zafra	248000
Producción de vapor: ton / zafra	487200
Días de zafra	116

**Tabla 2.4 Índice de emisiones Gw-h generados (t/Gw-h).**

	<b>NOx</b>	<b>SOx</b>	<b>Partículas</b>
Índice	<b>1,6</b>	<b>4,28</b>	<b>53,7</b>
<b>Emisiones totales por generación en la CT utilizando bagazo</b>			
<b>NOx</b>		<b>6,04</b>	
<b>SOx</b>		<b>19,88</b>	
<b>Partículas</b>		<b>216,10</b>	

Se consideraron dentro del estudio tres variantes:

1. Actividad productiva del Central y la Destilería en período de zafra;
2. Actividad productiva de la Destilería en período de no zafra
3. Actividad de la nueva inversión

### **Factores meteorológicos asociados a la dispersión de contaminantes**

Los principales factores meteorológicos que a escala local influyen en el transporte y dispersión de contaminantes son la velocidad y dirección del viento, el nivel de turbulencia presente en la atmósfera y la existencia de limitaciones a la dispersión vertical por efecto de capas de inversión térmica.

Para los procesos de remoción de contaminantes de la atmósfera es muy importante las diferentes variables meteorológicas especialmente la lluvia. Estos procesos contribuyen al traslado de la contaminación hacia otros medios (suelos, vegetación, construcciones etc.) donde se producen los efectos e impactos.

Las condiciones meteorológicas imperantes en la zona están determinadas por fenómenos de diferentes escalas, desde la planetaria hasta los efectos locales propios del relieve y de las características de la superficie existentes en el área.

Como es usual, para los tratamientos de dispersión atmosférica la rosa de vientos de la estación de referencia (Güines) debe ser corregida para la eliminación de "preferencias" y la

redistribución de calmas y vientos muy débiles entre todos los rumbos mediante un criterio que depende de la frecuencia general y por rumbos de esas cantidades.

Para caracterizar las condiciones atmosféricas durante las cuales pueden observarse valores significativamente elevados de las concentraciones, estas generalmente se subdividen en primera instancia en condiciones desfavorables normales y anormales. Entre las condiciones normales para las fuentes elevadas se incluye la inestabilidad atmosférica, condición, en la que ocurre un intenso traslado de contaminantes desde la fuente hacia la superficie. En esos casos la concentración máxima se observa para determinado valor de la rapidez del viento, conocida como rapidez peligrosa del viento.

Elevada contaminación del aire se observa también para condiciones desfavorables "anormales" y que ocurren con menor frecuencia. Entre tales condiciones pudiera incluirse inversiones térmicas con su frontera inferior sobre la chimenea donde  $C_m$  puede incrementarse entre el 50 y el 100 %, ocurrencia de nieblas, capas de calma por debajo de la fuente, etc. Estos casos no son adecuadamente representados por las técnicas de modelación y si estas condiciones se prolongan en el tiempo o se repiten con frecuencia en pocos días, lo recomendado es proceder a la reducción de las expulsiones.

El transporte de contaminantes de un punto a otro está determinado por el movimiento medio del aire, es decir por los flujos atmosféricos dentro de la región de interés (de poca complejidad de acuerdo a las características del relieve de la zona). Además de este transporte, se produce dispersión por la turbulencia presente en el fluido, la que depende de las interacciones del aire con la superficie subyacente y de los intercambios de calor entre el suelo y la atmósfera. En zonas de rugosidad elevada como el caso de las áreas urbanas circundantes a la zona de estudio se desarrollan mayores niveles de turbulencia que en las zonas planas y lisas.

Simultáneamente con el desplazamiento y mezcla de los contaminantes con el aire del entorno, se producen transformaciones químicas y físicas que afectan la composición y las concentraciones. Los factores meteorológicos más importantes en estos fenómenos incluyen la temperatura del aire, la humedad atmosférica, la intensidad de la radiación solar y las precipitaciones.

El procedimiento para el estudio de modelación será el siguiente:

- a) Aproximación de las fuentes expulsoras como puntuales, continuas, y estacionarias de intensidad constante en el período de tiempo considerado (20 minutos).
- b) Modelación de la dispersión de contaminantes desde esas fuentes utilizando modelos matemáticos teórico - experimentales.
- c) Estimación de las concentraciones en puntos receptores específicos ubicados en el centro de las celdas de la rejilla.
- d) Construcción de isopletras de las concentraciones calculadas para cada contaminante basadas en las concentraciones de los puntos receptores.
- e) Comparación de las concentraciones calculadas con las normas de calidad del aire. Estimación de impactos potenciales.

Se utilizó el modelo de dispersión de contaminantes que están contenidos en el software **DISPER** Versión 1.0 (Collazo y López, 1994), que ha sido utilizado con éxito en otros trabajos de evaluación de la calidad del aire. Para la representación del cálculo de la dispersión de los contaminantes a través de mapas se utilizó el Sistema de Información Geográfica (SIG), **SPRING** (INPE, 1998), el cual reúne los requerimientos para la realización de este trabajo.

La dispersión atmosférica es un método de control que tiene numerosas ventajas, especialmente para procesos industriales, los cuales pueden ser variados tomando en cuenta periodos favorables cuando las condiciones de dispersión son tan buenas que los contaminantes puedan distribuirse o tan desfavorables que se puedan conocer las concentraciones máximas que puedan afectar la zona en estudio.

El modelo utilizado es el establecido por la Norma Cubana de Calidad del Aire (NC 39: 1999), cuya formulación principal es la siguiente:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}} \quad [\text{mg/m}^3]$$

$C_m$  = Es el valor máximo probable de la concentración de un contaminante expulsado a la atmósfera.

$A$  = Constante de estratificación térmica atmosférica que define las condiciones de difusión de los contaminantes del aire.

$M$  = Flujo máximo de la sustancia contaminante expulsada al aire.

$F$  = Coeficiente de precipitación de la sustancia contaminante en el aire.

$M$  y  $n$  = Coeficientes de condiciones de emisión a la atmósfera de la mezcla de gases y aire.

$H$  = Altura de la chimenea sobre el nivel del suelo.

$\Delta T$  = Diferencia de temperatura entre la mezcla de los gases y aire.

$V$  = Caudal total de la mezcla de gases y aire.

La concentración máxima como resultado de esta ecuación es originada bajo condiciones meteorológicas desfavorables y para condiciones de terreno uniforme y planos. Se utilizó la rosa de los vientos de la estación Meteorológica de Güines que es representativa de la zona de estudio para representar la dispersión de los contaminantes por cada rumbo de viento. Los cálculos se realizaron teniendo en cuenta el rumbo predominante en este caso el NNE.

### 3. Análisis y discusión de los resultados

#### Resultados de la modelación en época de No zafra contribución de la destilería. Emplea combustibles fósiles

Como parte del trabajo de calculo de la dispersión de contaminantes también se estimaron las expulsiones asociadas con la destilería y la nueva Central Térmica (CT) para el procesamiento de la variedad de caña tecnológica. Se obtuvieron los siguientes resultados a partir de los datos tecnológicos de las fuentes emisoras y el calculo para estimar las emisiones en la fuente a partir de la utilización de factores de emisión para este tipo de proceso y con los datos de flujo de producción suministrados por los especialistas de la empresa.

Las siguientes tablas muestran los resultados alcanzados a partir de la utilización del modelo **DISPER** versión 1.0, metodología según la Norma Cubana de Calidad del Aire (NC39:1999). En las Tablas 3.1 a la 3.3 se muestran las Concentraciones Máximas estimadas para el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), las partículas y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en la destilería (producción de alcoholes). En el caso del proceso de obtención de alcoholes en la destilería, los valores obtenidos a partir del modelo muestran que el dióxido de azufre, las partículas y el NO<sub>2</sub> son los contaminantes atmosféricos cuyas concentraciones máximas estimadas son superiores a la concentración máximas admisible de esta sustancia establecidas por la Norma Cubana para plazos de 20 minutos.

**Tabla 3.1 Valores de Concentración Máxima estimados en la Destilería para el SO<sub>2</sub> según el modelo DISPER**

<b>Contaminante</b>	<b>Cma (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Concentración Máxima estimada (mg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>SO<sub>2</sub></b>	0.5	1.9
<b>Distancia Máxima (m)</b>	-	469
<b>Velocidad Peligrosa (m/s)</b>	-	3.2

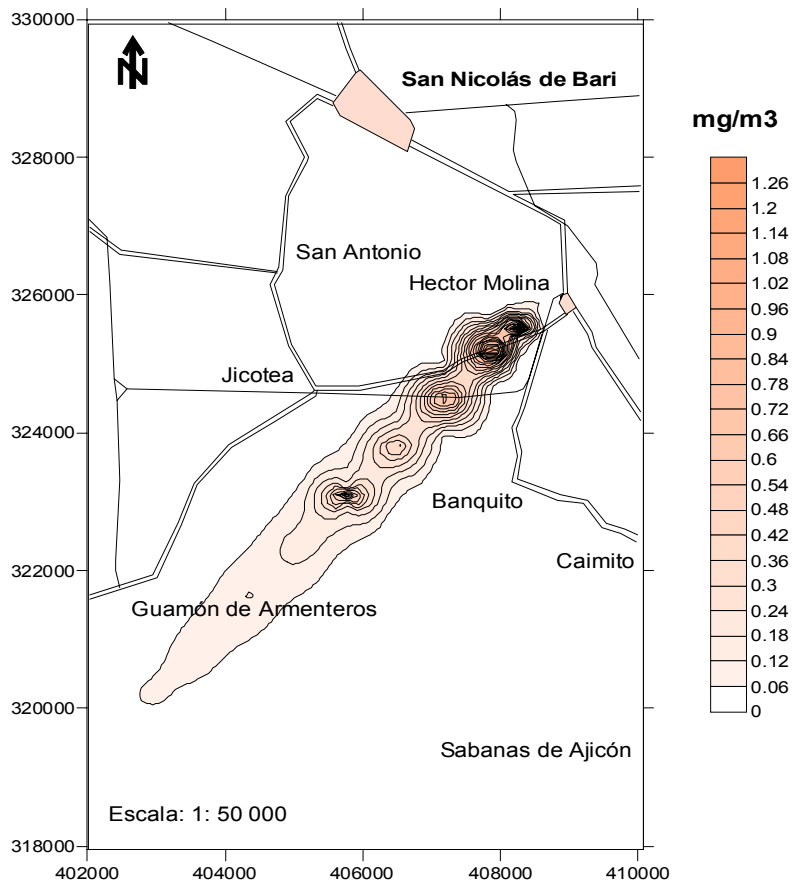


**Tabla 3.2 Valores de Concentración Máxima estimados en la Destilería para las Partículas según el modelo DISPERS**

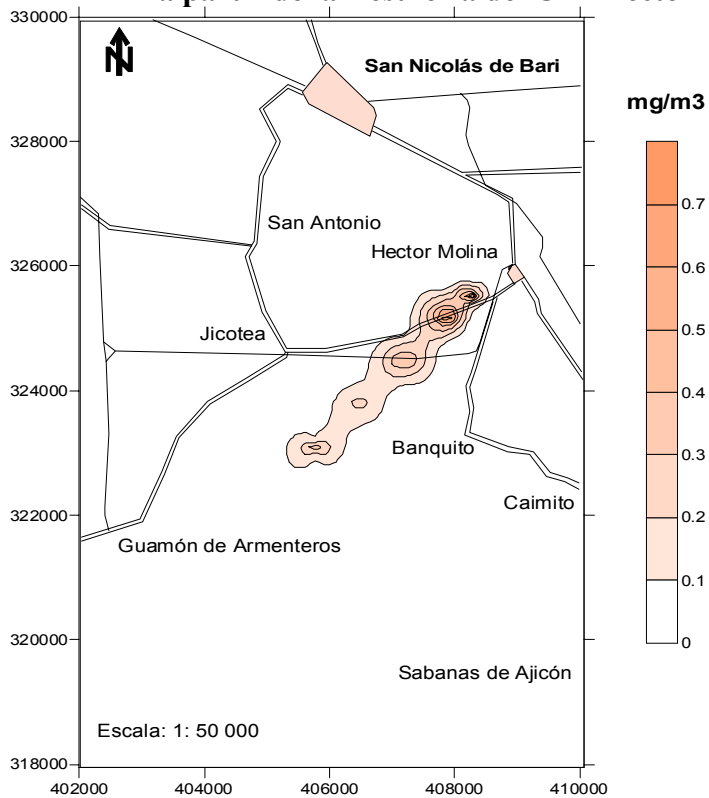
<b>Contaminante</b>	<b>Cma (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Concentración Máxima estimada (mg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Partículas</b>	0.15	1.0
<b>Distancia Máxima (m)</b>	-	469
<b>Velocidad Peligrosa (m/s)</b>	-	3.2

**Tabla 3.3 Valores de Concentración Máxima estimados en la Destilería para el NO2 según el modelo DISPERS**

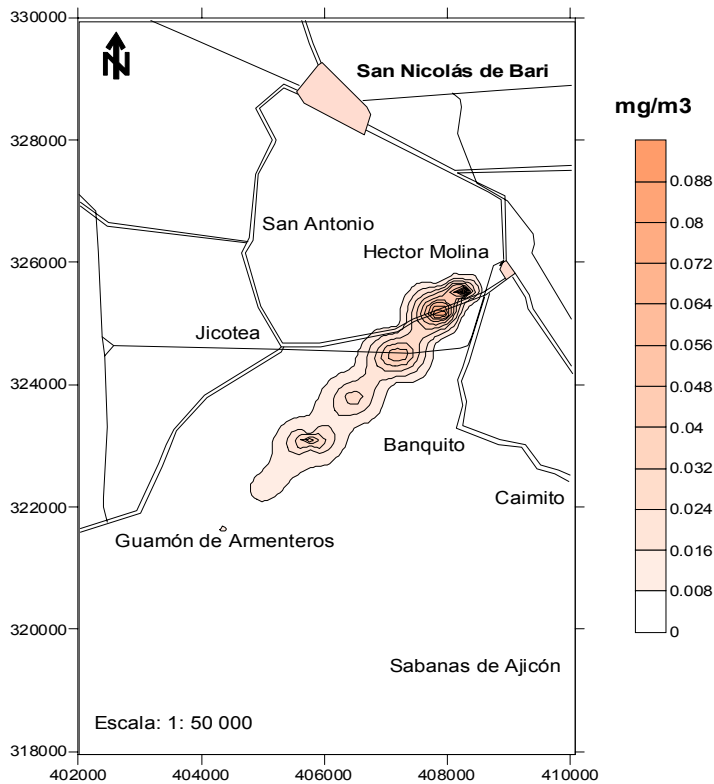
<b>Contaminante</b>	<b>Cma (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Concentración Máxima estimada (mg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>NO2</b>	0.085	0.13
<b>Distancia Máxima (m)</b>	-	469
<b>Velocidad Peligrosa (m/s)</b>	-	3.2



**Figura 3.1 Distribución espacial de las concentraciones para el SO<sub>2</sub> a partir de la Destilería del CAI Héctor Molina**



**Figura 3.2 Distribución espacial de las concentraciones para las partículas en la Destilería del CAI Héctor Molina**



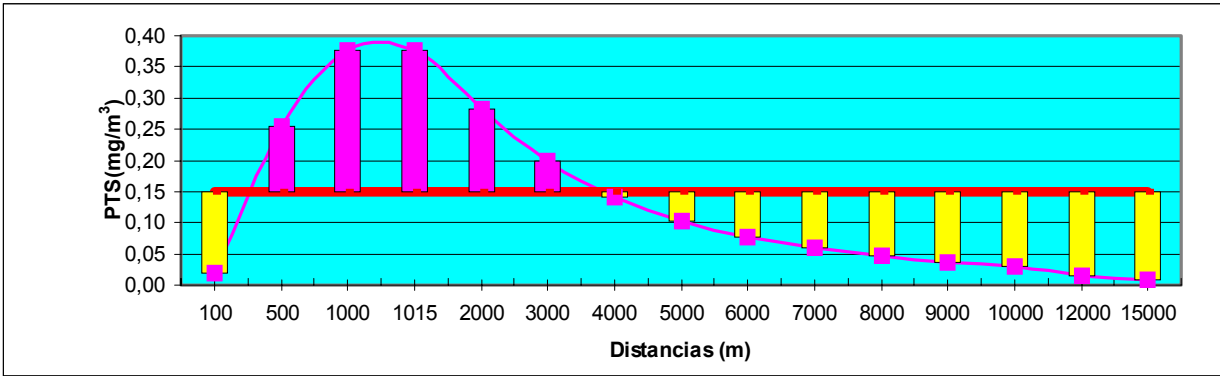
En las Figuras 3.1, 3.2 y 3.3 se aprecian la distribución espacial de las concentraciones calculadas para el SO<sub>2</sub> las partículas y el NO<sub>2</sub> según los valores representados, el área de estudio se encuentra afectada por concentraciones superiores a la concentración máxima admisible. Siendo para el SO<sub>2</sub> el valor máximo absoluto de 1.9, para las partículas de 1.0 mg/m<sup>3</sup> y por ultimo para el NO<sub>2</sub> es de 0.13 mg/m<sup>3</sup> ambos ocurren a una distancia máxima de 469 metros que lo sitúa muy cerca del limite entre la destilería y la zona poblada colindante.

**Resultados de la modelación de la dispersión de contaminantes en el central Héctor Molina en época de zafra y la contribución de la destilería. No emplea combustibles fósiles solamente quema de biomasa (bagazo de caña)**

En la Tabla y Figura 3.5 se aprecian las concentraciones calculadas para las partículas y según los valores representados, el área de estudio se encuentra afectada por concentraciones superiores a la concentración máxima admisible. Siendo el valor máximo absoluto de 0.38 que ocurre a una distancia máxima de 1015 metros. La Cma se sobrepasa en este caso hasta una distancia de 4 Km.

**Tabla 3.5 Valores de Concentración Máxima estimados en la Central Héctor Molina para las partículas según el modelo DISPER.**

Contaminante	Cma (mg/m <sup>3</sup> )	Concentración Máxima estimada (mg/m <sup>3</sup> )
<i>PARTÍCULAS</i>	0.15	0.38
Distancia Máxima (m)	-	1015
Velocidad Peligrosa (m/s)	-	3.9



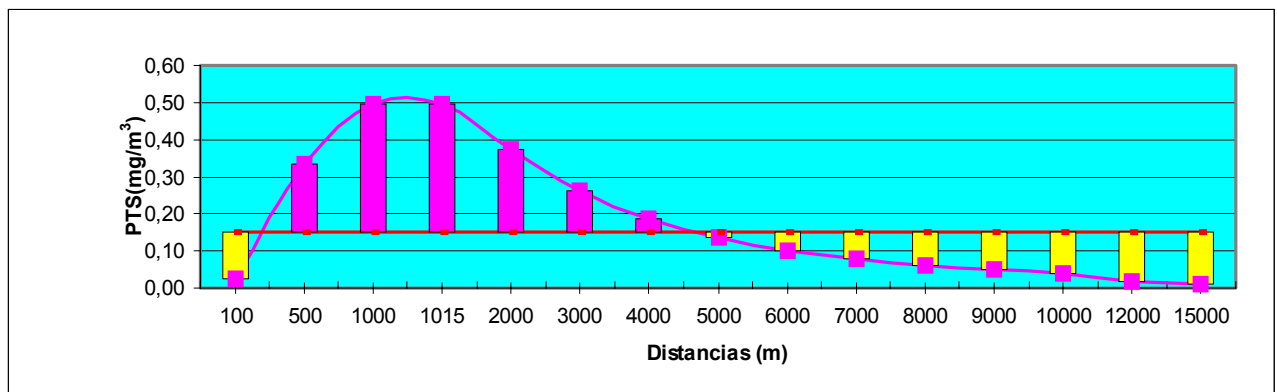
**Figura 3.5 Comportamiento a lo largo del eje central del penacho de las concentraciones para las partículas en el Central Héctor Molina**

### Resultados de la modelación de la nueva inversión.

En la Tabla y Figura 3.6 se aprecian las concentraciones calculadas para las partículas y según los valores representados, el área de estudio se encuentra afectada por concentraciones superiores a la concentración máxima admisible. Siendo el valor máximo absoluto de 0.50 que ocurre a una distancia máxima de 1015 metros. En este caso la Cma se puede producir hasta una distancia de mas de 4 Km.

**Tabla 3.6 Valores de Concentración Máxima estimados en la Central Héctor Molina para las Partículas según el modelo DISPER.**

Contaminante	Cma (mg/m <sup>3</sup> )	Concentración Máxima estimada (mg/m <sup>3</sup> )
<i>PARTÍCULAS</i>	0.15	0.50
Distancia Máxima (m)	-	1015
Velocidad Peligrosa (m/s)	-	3.9



**Figura 3.6 Comportamiento a lo largo del eje central del penacho de las concentraciones para las Partículas en el Central Héctor Molina**

Para el Caso del SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y el CO en la nueva inversión no se sobrepasan las Cma respectivas según la norma cubana. Al analizar el resultado de las tres variantes estudiadas a través de la modelación, observamos que durante el proceso productivo de la destilería en época de no zafra se deben producir concentraciones de Partículas, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> por encima de la Cma. Mientras que durante el periodo de zafra solamente las concentraciones asociadas a las partículas sobrepasan la Cma. Para la nueva inversión también se producirán concentraciones de Partículas por encima de la Cma. Aquí debemos decir que al tomar la

Cma de las PST se tomo la mas rigurosa, para estar a tono con las normas de la comunidad europea y de otros países con legislaciones ambientales mas estrictas.

Al comparar los resultados experimentales observamos que existen mediciones de las PST por encima de los valores máximos esperados según el modelo utilizado, lo cual debe estar asociado al efecto de acumulación de las calmas, no contemplado en este modelo y a la contribución de otras fuentes, ya mencionadas en la discusión de la parte experimental.

Esa evidente que la nueva inversión debe contemplar en su funcionamiento algún sistema de depuración para eliminar el exceso de partículas emitidas a la atmósfera. Además de otras medidas dirigidas al mejoramiento y pavimentación de las vías, reforestación y zonas de parques adecuadas, lo cual contribuiría en la disminución del material particulado en la atmósfera de la localidad.

#### **4. Conclusiones**

- Al analizar el resultado de las tres variantes estudiadas a través de la modelación, observamos que durante el proceso productivo de la destilería en época de no zafra se deben producir concentraciones de Partículas, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> por encima de la Cma. Mientras que durante el periodo de zafra solamente las concentraciones asociadas a las partículas sobrepasan la Cma. Para la nueva inversión también se producirán concentraciones de Partículas por encima de la Cma.
- Al comparar los resultados experimentales observamos que existen mediciones de las PST por encima de los valores máximos esperados según el modelo utilizado, lo cual debe estar asociado al efecto de acumulación de las calmas, no contemplado en este modelo y a la contribución de otras fuentes, ya mencionadas en la discusión de la parte experimental.
- La nueva inversión debe contemplar en su funcionamiento algún sistema de depuración para eliminar el exceso de partículas emitidas a la atmósfera

## 5. Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones van encaminadas fundamentalmente a la reducción de las emisiones de partículas suspendidas a la atmósfera en la localidad, pues estas son la causa fundamental del deterioro de la calidad del aire en la zona.

- Garantizar el asfaltado de los caminos y terraplenes que se encuentran descubiertos.
- Utilizar lonas protectoras para el transporte de cargas en camiones de materiales de construcción y de otras cargas que puedan emitir partículas a la atmósfera.
- Medidas de reforestación y de zonas de parques adecuadas deben estudiarse para contribuir a la disminución del material particulado en la atmósfera de la localidad

## 6. Referencias Bibliográficas

1. *Cuesta, O., et al, (1996): Estudio de las concentraciones de los principales compuestos gaseosos del Nitrógeno a nivel regional en Cuba, sus relaciones químico - meteorológicas y su aplicación a la protección del Medio Ambiente. Informe Científico - técnico, pp 48. La Habana.*
2. *Oficina Nacional de Normalización NC (1999): Norma Cubana 39-1999. Requisitos higiénico-sanitarios: Concentraciones máximas admisibles, alturas mínimas de expulsiones y zonas de protección sanitaria. La Habana. Cuba.*
3. *Romero, O, et al, (2003): Cogeneración y emisiones asociados en el Central "Melanio Hernández" Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales (CEEPI) Sede Universitaria Sancti Spiritus.*
4. *Sistema de Ayuda a la toma de Decisión para el Control de la Contaminación Industrial (Decision Support System for Industrial Pollution Control) desarrollado por el Banco Mundial en colaboración con la Organización Mundial de Salud y la Organización Panamericana de Salud, financiado por el gobierno de Holanda. La metodología adoptada para el uso de este sistema se basa en "Manejo y Control*

*Ambiental" desarrollada por la OMS y publicada en el reporte interno WHO/PEP89.1, 1995.*

5. *US-EPA (ed.): Compilation of Air Pollutant Emission Factors: Stationary Point and Area Sources, 1986, AIR CHIEF Version 2.0 Beta, April 1992.*
6. W.M.O (1990): Compendio de Meteorología. Química Atmosférica y Meteorología de la Contaminación del Aire. Vol II.