

# Diseño de una red de monitoreo de calidad de aire para un complejo petroquímico

**Eudo Nava<sup>1</sup>, Rima Simancas<sup>2</sup> y Cezar García<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Programa de postgrado en Ciencias del Ambiente. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, estado Zulia. Venezuela

<sup>2</sup> Complejo Petroquímico Ana María Campos. Estado Zulia. Venezuela

<sup>3</sup> Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, estado Zulia. Venezuela.

*E-mail: eudonava@gmail.com*

Recibido: 01-11-2014

Aceptado: 24-05-2016

## Resumen

Los complejos petroquímicos por su número y magnitud de las diferentes operaciones generadoras de poluentes, están obligados a implementar y mantener un sistema confiable de vigilancia de calidad del aire. En esta investigación se provee una guía para el diseño de la red de monitoreo de calidad de aire en la zona Nor-Oriental del Lago de Maracaibo y las poblaciones aledañas. La metodología abarcó cinco (4) etapas, a saber: i) modelación de la meteorología local; ii) estimación de la tasa de emisión de poluentes a través del uso adecuado de factores de emisión; iii) predicción de las concentraciones atmosféricas de partículas y gases empleando el modelo de dispersión gaussiana de Turner; iv) establecimiento de los balances de materiales para la localización óptima del número de estaciones locales de muestreo. La modelación meteorológica exhibe distribución representativa para las 24 horas del día. En la estimación de las emisiones las fuentes pertenecientes a la planta generadora de electricidad y producción de la planta de olefinas reportaron mayor potencial de emisión, se seleccionaron cuatro (4) sitios para el monitoreo de calidad de aire considerando las zonas donde se estiman mayor concentración de gases y partículas alcanzando si una selección razonable para la localización de dichos sitios.

**Palabras clave:** Emisiones, modelo de dispersión, complejo petroquímico, estaciones de muestreo, concentración de gases y partículas.

## Design of a network of monitoring of air quality for a petrochemical complex

### Abstract

Petrochemical Complexes by its , number and magnitude of the different pollutants-generating operations, are required to implement and keep a reliable system monitoring air quality. This study provide a guide for the design of the network of monitoring air quality in the North-Eastern area of the Maracaibo Lake and surrounding communities. The methodology included four (4) phases: i) local weather modeling, ii) estimate the rate of emission of pollutants through the appropriate use of emission factors; iii) prediction of atmospheric concentrations of gases and particulate matter using the Turner Gaussian dispersion model; (iv) establishment of material balances

for the optimal location of the number of local stations sampling. Meteorological modeling exhibits significant 24 hours a day and distribution. In estimating emissions sources belonging to electricity generating plant and production of olefins reported higher emission potential, four (4) sites were selected for the monitoring of air quality taking into account the areas where higher concentrations are estimated to gases and particles reaching if a selection reasonable for the location of such sites.

**Key words:** Emissions, dispersion model, petrochemical complex, sampling stations, concentration of gaseous and particulate.

## Introducción

En el estado Zulia existen industrias con diferentes actividades económicas (petroleras, carboníferas, cementeras; plantas termoeléctricas), así como un complejo petroquímico ubicado en la zona nororiental del Lago de Maracaibo, el cual debido a las características de sus procesos industriales y a su ubicación geográfica, pudiera afectar la calidad del aire de las ciudades vecinas a través de las descargas a la atmósfera de gases y material particulado producto de esos procesos, así como la de los trabajadores del complejo petroquímico. Ante esta situación el personal del complejo tiene la necesidad de realizar un diseño de una nueva red de monitoreo, ya que por diversas causas en estos momentos no se cuenta con un medio más eficaz de vigilancia y cumplimiento de la normativa ambiental, que genere la revisión de los procesos en función de la calidad ambiental.

Por lo antes expuesto este trabajo tiene el objetivo de: Diseñar una red de monitoreo de calidad del aire para el diagnóstico de concentración de gases y material particulado en el Complejo Petroquímico y las poblaciones cercanas. Para cumplir este fin se requerirán de los siguientes objetivos específicos: i) Establecer la modelación de la meteorología local de transporte y dispersión de contaminantes en el Complejo Petroquímico Ana María Campos; ii) estimar tasas de emisión de las fuentes fijas del Complejo Petroquímico Ana María Campos, iii) determinar las concentraciones atmosféricas de gases y material particulado en el Complejo Petroquímico Ana María Campos y poblaciones cercanas utilizando el programa de simulación de Turner; iv) establecer a través del balance de materiales la localización óptima de las estaciones de la red de monitoreo del Complejo Ana María Campos.

## Fundamentos teóricos

Se conoce como red de monitoreo de calidad de aire (RMCA) al conjunto de estaciones de muestreo, generalmente fijas y continuas, que se establecen para medir los parámetros ambientales necesarios para cumplir con los objetivos fijados y que cubren toda la extensión de un área determinada. Comparando regularmente, concentraciones locales de parámetros ambientales con estándares de calidad del aire y las redes establecidas para vigilancia de alertas ambientales permiten implementar acciones en situaciones de emergencia [1].

El diseño de una red de monitoreo está directamente relacionado con la determinación del número y distribución de los sitios de monitoreo y de su frecuencia de muestreo, en caso de no usar monitores continuos, depende fundamentalmente de sus objetivos de monitoreo y de la variabilidad de los contaminantes [2].

La labor de diseño de una RMCA debe llevarse a cabo en dos fases, una inicial de diagnóstico y una final de elaboración del diseño propiamente dicho. A continuación, se describen cada una de estas dos fases [3].

### Fase de diagnóstico inicial

El diagnóstico llevará a un conocimiento integral del área donde se desea materializar la RMCA obteniendo acercamientos a las respuestas de las siguientes preguntas con la interpretación e integración de sus resultados:

¿Cuál es el comportamiento meteorológico de la zona? La interpretación del análisis meteorológico de la zona, es importante para establecer niveles de contaminación extrapolados (teniendo en cuenta las variaciones entre época seca y húmeda) así como las áreas más afectadas por predominancia y velocidad del viento.

¿Cuáles son las fuentes críticas? A esta pregunta responderán el inventario de emisiones (IE), las campañas de medición y el modelo de dispersión, cuando se use. El IE presentara el aporte relativo de las diferentes fuentes presentes en el área de estudio. El impacto ocasionado en la calidad del aire puede ser determinado por las mediciones realizadas en las campanas o por la utilización de los modelos de dispersión.

¿Cuáles son los contaminantes críticos? Sera respondido con los elementos anteriores. Las campañas de monitoreo o el modelo de dispersión permiten conocer los contaminantes que merezcan mayor atención. Así mismo, el IE proporcionara información sobre los Contaminantes que se deben monitorear de acuerdo a las fuentes que se encuentran en el área de estudio.

¿Cómo se distribuyen los contaminantes en el dominio de la RMCA? Esta respuesta estará dada por el modelo de dispersión y los datos de monitoreo de calidad del aire.

¿Cuáles son los puntos de mayor y de menor concentración? Esta pregunta será respondida por el modelo de dispersión.

La integración de todos los elementos del diagnostico será la base del diseño final del RMCA [3].

#### **Fase de elaboración de diseño final**

Después de haber sido establecidos los objetivos de vigilancia, se debe especificar cual tipo de vigilancia se debe implementar, para cumplir estos objetivos, y debe realizar el diseño detallado de la RMCA, siguiendo los lineamientos que a continuación se exponen: [4]

##### **Definición del tipo de red de Monitoreo de Calidad de Aire**

Se establecen varios tipos de sistemas de vigilancia de la calidad del aire. Los sistemas de vigilancia de la calidad del aire industrial SVCAI están adaptados a actividades en complejos industriales, que como requerimiento de la autoridad ambiental realicen mediciones de calidad del aire [5].

##### **Número de estaciones**

Para definición del número mínimo de estaciones de vigilancia, se define tres (3) regiones hipotéticas donde las concentraciones de los contaminantes del aire a medir superan, igualan ó son inferiores a las normas de calidad del aire (Tabla 1) [6].

**Tabla 1. Determinación del número de estaciones mínimas según criterio de la Compañía de tecnología de Saneamiento Ambiental de Brasil, 1987.**

Contaminante	Condiciones ambientales	Método de Muestreo	Población (habitantes)	Número mínimo de estaciones
PTS	Xa>95 ug/m <sup>3</sup> Xm>325 ug/m <sup>3</sup>	Hi – Vol – 1 cada 6 días	<10 <sup>5</sup>	4
			10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup>	4+0.6w
			10 <sup>6</sup> -5x10 <sup>6</sup>	7.5+0.2w
			>5x10 <sup>6</sup>	1.5+0.16w
	Xa:60-95 ug/m <sup>3</sup> Xm:150-325 ug/m <sup>3</sup>	Cinta cada 2 días Hi- Vol		3
Xa< a 60 ug/m <sup>3</sup> Xm< a 150 ug/m <sup>3</sup>	Hi- Vol		1	
SO <sub>2</sub>	Xa>100 ug/m <sup>3</sup> Xm>455 ug/m <sup>3</sup>	Burbujeador 24 horas cada 6 días	<10 <sup>5</sup>	3
			10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup>	2.5+0.5w
			10 <sup>6</sup> -5x10 <sup>6</sup>	6.0+0.15w
			>5x10 <sup>6</sup>	11+0.05w
	Continuo	<10 <sup>5</sup>	-	
		10 <sup>5</sup> -5x10 <sup>6</sup>	1.0+0.15w	
Xa:60-100 ug/m <sup>3</sup> Xm: 260-450 ug/m <sup>3</sup>	Burbujeador	-	3	
	continuo	-	1	
NO <sub>2</sub>	Xmh >170 ug/m <sup>3</sup>	-		No es necesario
	Xa >100 ug/m <sup>3</sup>	Burbujeador	<10 <sup>5</sup>	3
			10 <sup>5</sup> -5x10 <sup>6</sup>	4+0.6w
			>5x10 <sup>6</sup>	10
Xa < 100 ug/m <sup>3</sup>	continuo		No es necesario	
CO	Xmh>21 mg/m <sup>3</sup> Xm8h>14mg/m <sup>3</sup>	Infrarrojo no dispersivo Infrarrojo no dispersivo	<10 <sup>5</sup>	1
			10 <sup>5</sup> -5x10 <sup>6</sup>	1.0+0.05w
			>5x10 <sup>6</sup>	6.0+0.05w
	Xmh < a 21 mg/m <sup>3</sup> Xm8 < a 14 mg/m <sup>3</sup>	Infrarrojo no dispersivo	-	No es necesario

Xa: Media aritmética anual.

Xm: Concentración máxima (24 horas) ocurrida en un año.

Xmh: Concentración máxima horaria ocurrida en un año.

Xm8: Concentración máxima presentada intervalo de 8 horas, para un periodo de un año.

### Ubicación de las estaciones

Las estaciones ubicadas para las redes de tipo SVCAI deben responder a las siguientes características: i) Estaciones localizadas para determinar las concentraciones más altas en el dominio de la RMCA ii) Estaciones adicionales localizadas para determinar concentraciones generales de fondo.iii) Estaciones adicionales en la ciudad densamente poblada más cercana al área de influencia de las fuentes [3].

### Estimación de las tasas de emisión

Los países que cuentan con reglamentación para fuentes fijas utilizan métodos de la EPA para determinar las emisiones contaminantes, entre los métodos más sencillos se incluyen el de los factores de emisión.

Un factor de emisión es una relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera con una unidad de actividad asociada a dicha emisión, como por ejemplo la cantidad de material procesado o la cantidad de combustible usado. En este caso la emisión se obtiene multiplicando el factor de emisión dado por la cantidad de material o combustible procesado [7].

Donde: E es el Estimado de emisión para la fuente (a nivel de proceso), A el Nivel de actividad (por ejemplo material producido), F es el Factor de emisiones controladas (por ejemplo, Kg de contaminantes emitidos/t de material procesado).

$$E = A \times F \quad (1)$$

La EPA realizó una recopilación de factores de emisión para contaminantes denominada AP-42.

### Modelo de Dispersión Atmosférica de Turner [8]

La ecuación de concentración para una fuente elevada con reflexión se presenta en la siguiente expresión:

$$C_{(X,Y,Z,H)} = \frac{Q}{2 * \pi * \mu * \sigma_y * \sigma_z} * \exp\left(\frac{-Y^2}{2 * \sigma_y^2}\right) * \left( \exp\left(\frac{-(Z-H)^2}{2 * \sigma_z^2}\right) * \exp\left(\frac{-(Z+H)^2}{2 * \sigma_z^2}\right) \right) \quad (2)$$

Donde: CX,Y,Z,H es la Concentración del contaminante(  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Q la Tasa de emisión de contaminante ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),  $\mu$  la velocidad del viento en el punto de liberación (m/s),  $\sigma_y$  la desviación estándar en la distribución de concentración en la dirección transversal (m),  $\sigma_z$  la desviación estándar en la distribución de la concentración en la dirección vertical (m), la altura desde el suelo  $H = h_s + \Delta H$  ( m ), X la distancia viento abajo a lo largo de la línea central de la pluma (m), Y la distancia transversal desde la línea central de la pluma (m).

Para el sistema de coordenadas:  $x = 0$  en el foco (chimenea),  $y = 0$  en la línea central del penacho,  $z = 0$  en el suelo.

El modelo de dispersión de Turner (1994) depende de los coeficientes de difusividad turbulento  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  en las direcciones y, z como función de la dirección preferencial de los vientos (x); tales coeficientes de dispersión se diferencian a su vez según la estabilidad atmosférica de Pasquill [9] y García et al., [10] Para la estimación de los coeficientes de dispersión vertical y horizontal se emplean las ecuaciones de Pasquill.

### Metodología

Para modelar el comportamiento del viento en la zona de estudio, se consideró promediar estadísticamente los parámetros meteorológicos correspondientes al periodo 2009-2010 aportados por una estación meteorológica ubicada en el complejo petroquímico ubicado en la zona Nor-Oriental del Lago de Maracaibo, y se procedió a determinar la clase de estabilidad atmosférica de acuerdo con el método de clasificación de Pasquill [9] según se reporta en la tabla 2.

Los resultados de las velocidades horarias promedio y direcciones predominantes para cada estabilidad de Pasquill resultaron 4 valores principales tal como es expuesto en la Tabla 3.

Al mismo tiempo se realizaron visitas a las plantas e instalaciones del complejo para realizar encuestas industriales considerando la producción del 2010 y verificaciones de campo y observación de la ubicación de los equipos y estaciones de monitoreo encargados de recopilar los datos de las fuentes fijas de mayor influencia del complejo petroquímico las cuales se expresan en la Tabla 4.

Del documento AP.42 [7], se tomaron los factores de emisión disponibles que describen los procesos de las plantas del complejo petroquímico (combustión de gas natural, combustión de fuel-oil y producción de fertilizantes). Las tasas de emisión se calculan con la ecuación 1.

Se estimaron las concentraciones de PTS (PM), SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> basado en los modelos de dispersión Gaussiana con los coeficientes de dispersión de Briggs Urbana [8], utilizando un programa de computación en Excel. Se establecieron valores referenciales para la obtención de la tasa de emisión basados en los mayores potenciales de emisión por poluyente reportados en fuentes del complejo con el propósito de detectar las zonas de mayor concentración en el área con respecto a la modelación meteorológica de la Tabla 3.

**Tabla 2. Datos meteorológicos horarios promedio en la Zona Nor-Oriental del Lago de Maracaibo para el periodo 2009-2010.**

H	V (m/s)	D	I	N (octavos)	EP
0	3,13	ENE			C
1	2,92	ENE			C
2	2,77	ENE			C
3	2,71	ENE			C
4	2,71	ENE			C
5	2,65	ENE		4	D
6	2,60	ENE-SE-E	1,9	3	C
7	2,51	ENE-SE-E	5,6	5	B
8	2,76	ENE-SE-E	6,8	4	B
9	2,93	ENE-ESE-SE-E	7,4	5	B
10	2,71	NE-SO-SE-ENE	7,6	7	B
11	2,72	SO-NNE-NE	7,7	5	B
12	3,04	SO-NNE-NE	7,6	4	B
13	3,41	SO-NNE-NE	8,8	4	B
14	3,62	SO-NNE-NE	8,6	4	B
15	3,80	SO-NNE-NE	7,8	5	B
16	3,94	SO-NNE-NE	6,2	6	B
17	4,05	NE-NNE-ENE	5,3	6	C
18	3,85	NE-NNE-ENE	1,1	7	C
19	3,60	NE-ENE		8	D
20	3,64	NE-ENE		8	D
21	3,69	NE-ENE		7	D
22	3,63	NE-ENE		6	D
23	3,40	ENE			C
24	3,10	ENE			C
Prom.	3,20			Pred.	B-C

Fuente: Pequiven. H: horas del día, V: velocidad del viento, D: dirección del viento, T: temperatura, I: Insolación, N: Nubosidad (Octavos), EP: Estabilidad Pasquill, P: Promedio, Pred: Predominante

**Tabla 3. Velocidad del viento promedio según la estabilidad y direcciones predominantes.**

Estabilidad	Dirección	Velocidad del viento (m/s)
B	SO	2,73
B	SE	2,69
C	ENE	2,96
D	NE	3,44

Fuente: Pequiven

**Tabla 4. Fuentes fijas de mayor influencia sobre el complejo petroquímico:**

Instalación	Fuente	H(m)	D(m)	T(°c)	Actividad	Combustible quemado / producción
Planta eléctrica	Chimenea c3 caldera c3	40.16	2.78	163	Combustión de fuel oil	13,57 M3/h
Planta eléctrica	Chimenea c14 Caldera c14	18	1.8	170	Combustión de fuel oil	9,29 M3/h
Área 45	Chimenea c9 Caldera c9	5.6	1.8	140	Combustión gas natural	9843
Amoníaco y área 90	Chimenea sk3a Horno h1a	15	1.37	200	Combustión gas natural	7126 M3/h
Olefinas i	Mechurrio F-8801b	108	1.12	540	Combustión gas natural	3333 M3/h
Olefinas ii	Horno 1	15	2.5	80	Combustión gas natural	25000 M3/h
Olefinas ii	Mechurrio F-8801a	108	1.12	540	Combustión gas natural	1483 M3/h
Venoco	Mechurrio F-801	35	1.2	360	Combustión gas natural	8035.61 M3/h
Urea	Torre prill 42at	60	5	60	Producción de fertilizantes	103375 Tm/año

H: altura, D: diámetro, T: temperatura de salida.

## **Análisis y discusión de resultados**

### **Estimación de las emisiones**

Una vez aplicado los factores de emisión a las diferentes actividades del complejo petroquímico, se obtiene la estimación de las emisiones atmosféricas que estas pudieran generar; en la Tablas 4 muestran las tasas de emisión de Partículas Totales Suspendidas PTS. (PM), el Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), Monóxido de Carbono (CO), Metano (CH<sub>4</sub>), Compuestos orgánicos Volátiles (COV).

Las fuentes fijas estacionarias de mayor potencial de emisión están expresadas en la Tabla 5 y se agruparon las plantas que presentan las más altas tasas de emisiones. De las instalaciones visitadas las que presentaron un aporte de emisiones estimadas mayores a 200 toneladas por año fueron Planta

Eléctrica, Área 45, Amoniaco, Venoco, Olefinas I, Olefinas II y Urea. Se observa que la Caldera C3 de la Planta Eléctrica reporta 2020,84 ton/año de SO<sub>2</sub> cuando ésta consume fuel-oil, el Horno 1 de Olefinas II reporta 490 ton/año de NO<sub>2</sub>, y la Torre Prill 42AT exhibe 196,41 ton/año de PTS.

Las emisiones anteriormente identificadas se toman como valores de la variable tasa de emisión Q en la ecuación 2; permitiendo establecer las máximas concentraciones en el complejo a través del modelo de dispersión Gaussiano de Turner.

### **Estimación de Gases y Material Particulado**

En la Figura 1 se presenta la concentración de SO<sub>2</sub> en las direcciones preferenciales de los vientos en función de la estabilidad atmosférica para la caldera C3 de la planta eléctrica, los valores máximos de 1100 µg/m<sup>3</sup> se alcanzan con estabilidad atmosférica C en la dirección ENE a una distancia de 200 m, para estabilidad atmosférica B en la dirección SO y SE se obtienen resultados similares con valores máximos 920 µg/m<sup>3</sup> a la misma distancia de las estabilidad C y de 700 µg/m<sup>3</sup> cuando la estabilidad atmosférica es D en dirección NE en una distancia de 550 m, las máximas concentraciones a mayor distancia se alcanza con la estabilidad atmosférica D y a menores distancia con estabilidad B y C, las concentraciones de SO<sub>2</sub> disminuyen hasta su dispersión a partir de 4 Km.

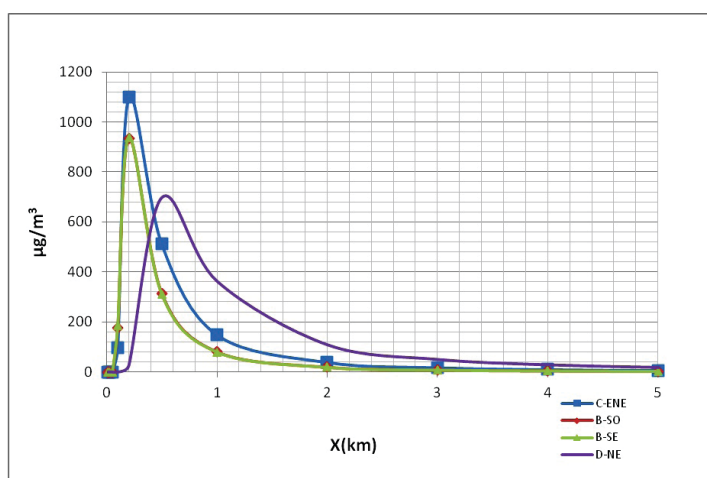
En la Figura 2 se muestra la concentración de NO<sub>2</sub> (NO<sub>x</sub>) en las direcciones preferenciales de los vientos en función de la estabilidad atmosférica para el horno 1 de la planta de Olefinas II, los valores máximos de 310 µg/m<sup>3</sup> se alcanzan con estabilidad atmosférica C en la dirección ENE a una distancia de 200 m, para estabilidad atmosférica B en la dirección SO y SE obteniéndose resultados similares con valores máximos 235 µg/m<sup>3</sup> a la misma distancia de las estabilidad C y de 225 µg/m<sup>3</sup> cuando la estabilidad atmosférica es D en dirección NE en una distancia de 600 m, las concentraciones de NO<sub>2</sub> disminuyen hasta su dispersión a partir de 3 Km.



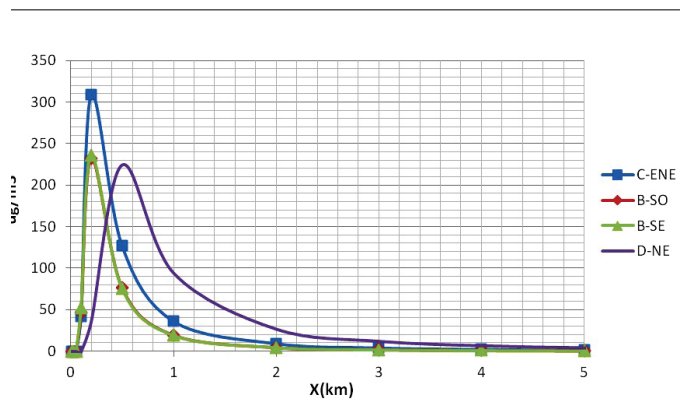
**Tabla 5. Identificación de las fuentes con mayor valor potencial de emisión.**

Planta	Fuente	Poluente (ton/año)						
		Pm	So <sub>2</sub>	No <sub>x</sub>	Co	Ch4	Cov	Total
Planta electrica	Chimenea c3 caldera c3	15,68	1,23	288,97	173,39	47,47	11,35	364,7
Planta electrica	Chialdera c3 (fuel oil)	28,53	2020,84	342,35	71,32	0,74	2,85	2466,63
Planta electrica	Chimenea c14 caldera c14 (fuel oil)	19,53	1383,47	234,38	48,83	0,51	1,95	1688,67
Área 45	Chimenea c9 caldera c9	8,45	0,67	155,60	93,36	25,56	6,11	289,75
Amoníaco y área 90	Chimenea sk3a horno h1a	7,59	0,60	139,83	83,89	22,97	5,49	260,34
Olefinas i	Mechurrio F-8801b	64,21	-	36,14	196,65	74,41	-	396,86
Olefinas ii	Horno 1	26,63	2,10	490,56	294,33	80,59	19,27	913,48
Olefinas ii	Mechurrio F-8801a	70,62	-	19,84	108,00	40,86	-	239,02
Venoco	Mechurrio F-801	13,58	-	76,57	416,66	157,65	13,58	681,04
Urea	Torre prill 42at	196,41	-	-	-	-	-	240,46A

PM: material particulado (partículas totales suspendidas), SO<sub>2</sub>: Dióxido de Azufre, NO<sub>2</sub>: Dióxido de Nitrógeno, COV: Compuestos Orgánicos Volátiles, CH<sub>4</sub>: metano

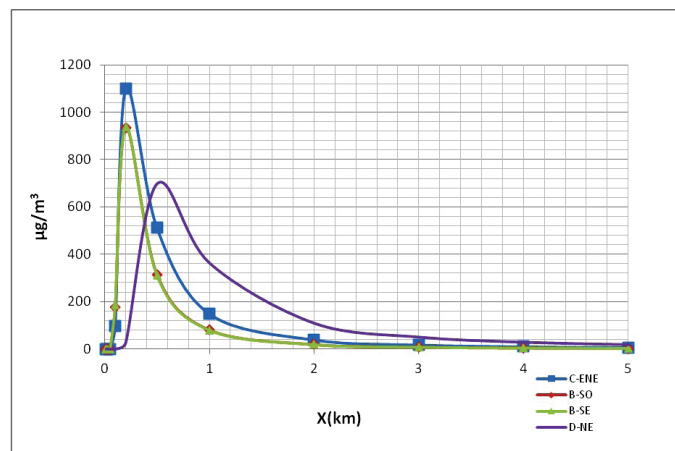


**Figura 1. Concentración de SO<sub>2</sub> como función de la distancia debajo de la fuente caldera C3 Planta Eléctrica, combustible Fuel-Oil.**



**Figura 2. Concentración de NO2 en función de la distancia debajo de la fuente, Horno 1 Olefinas**

En la Figura 2 se observa que para la torre Prill 42AT2 los valores máximos son de 125  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y los alcanza en la estabilidad C a una distancia de 200 m y a la misma distancia alcanza valores de 116  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para estabilidad B, las concentraciones máximas de 56  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con mayor distancia se localizan a 600 m con estabilidad atmosférica D.



**Figura 3. Concentración de PTS en función de la distancia debajo de la fuente, torre Prill 42AT2**

Las zonas de mayor concentración en el área del complejo se aprecian en la Figura 4, igualmente se incluye los sitios propuestos por su personal de seguridad para la localización de las estaciones.

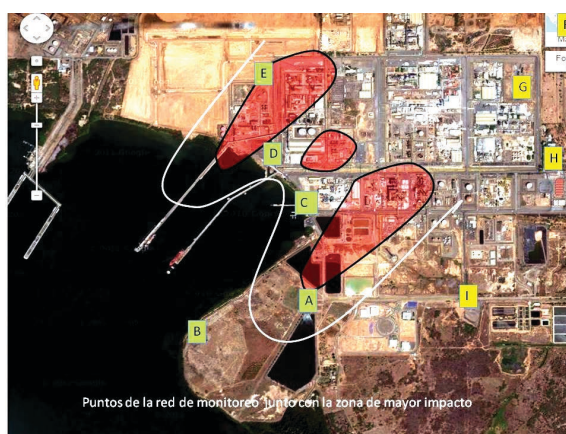
#### Ubicación y distribución de las estaciones

La Tabla 6 resalta las concentraciones máximas registradas a través del modelo de dispersión de Turner y el número mínimo de estaciones, estos requerimientos se aplicarán para población <105 hab (Tabla 1). Determinándose un valor promedio es 2,33 y se aproxima a 2 el número mínimo de estaciones viento abajo.

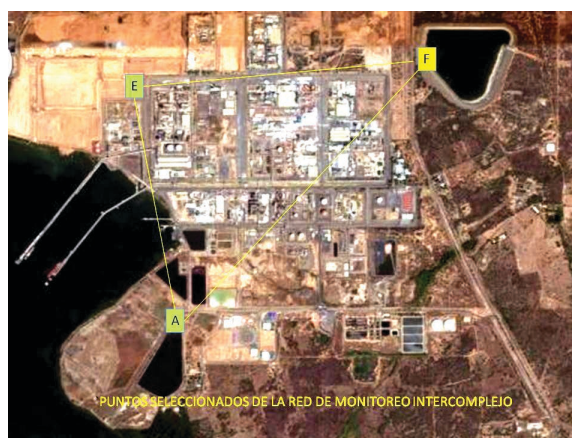
**Tabla 6. Determinación del número de estaciones**

Poluente	Concentración Máxima ( $\mu/m^3$ )	Número mínimo de estaciones vientos abajo
SO <sub>2</sub>	1100	3
PTS	120	1
NO <sub>2</sub>	310	3
Promedio		2,33

N= 2 estaciones + 1 estación de fondo = 3 estaciones



**Figura 4. Puntos propuestos interceptados con las zonas de mayor concentración**



**Figura 5. Puntos de la Red de monitoreo dentro del Complejo Petroquímico**

La figura 5 exhibe los puntos seleccionados para la red de monitoreo de calidad de aire para el complejo petroquímico ubicado en la zona Nor-Oriental del Lago de Maracaibo. A estos tres (3) puntos de muestreo se adiciona otro en la zona urbana más poblada aledaña al complejo.

## Conclusiones

- El mayor aporte de emisiones a la atmosfera corresponde a la Planta generadora de electricidad, con los siguientes valores promedio: SO<sub>2</sub>: 3448,36 ton/año, NO<sub>x</sub>: 3181,39 ton año, CO: 1415,39 ton/año, CH<sub>4</sub>: 307,97 ton/año, PTS 165,19 ton/año y COV: 113,31 ton/año.

- La estimación de las tasas de emisiones por intermedio de la metodología AP 42 de la Environmental Protection Agency reporta valores acoplados a las condiciones operacionales de las diferentes plantas petroquímicas.

- Las estaciones de muestreo seleccionadas en los puntos cardinales para el monitoreo de las emisiones generadas por el complejo Petroquímico Ana María Campos, resultarán:

<b>Estación/punto cardinal</b>	<b>ubicación geodésica</b>
Palmichal 1 / SO	10.749246- 71.535330
Casita PVC / NO	10.765773, -71.538033
Embalse de Hidrologo/ENE	10.768767, -71.518378
Muelle/ SO	10.669820, -71.588580

- Los resultados de la dispersión de las emisiones generadas por las diferentes plantas del complejo petroquímico por el modelo de dispersión de Turner, muestran: i) las mayores concentraciones hacia el área de influencia de las fuentes, ii) La altura de la fuente ejerce influencia en la dispersión; iii) las condiciones meteorológicas diferenciadas contribuyen a una buena dispersión de las emisiones.

- Puede concluirse que fue alcanzada una selección ajustada y razonable de los posibles sitios para el monitoreo de la calidad del área de influencia del complejo petroquímico

## Referencias bibliográficas

1. Martínez, A.P., I. Romieu. (1997): Introducción al monitoreo atmosférico. ECO/GTZ/Departamento del Distrito Federal. México. 238 pp.
2. Ott W. (1977): Development of Criteria for Siting of Air Monitoring Stations. J. Air Pollut. Control Assoc. 27, 6,543. USA.
3. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2005): Protocolo para la vigilancia y seguimiento del modelo aire del sistema de información ambiental, Bogotá. PBX 3527160.
4. Instituto para el Control y la Conservación de la cuenca del Lago de Maracaibo (ICLAM) (1996): Diseño de una red de medición de calidad del aire en la ciudad de Maracaibo, Informe Técnico IT-1996-11-35.
5. EPA (1994): Network Design Criteria for Ambient Air Quality Monitoring, Code US Federal Register, CFR40, Appendix D to Part 58. USA
6. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, ligada à Secretaria do Meio Ambiente do governo paulista (CETESB) (1987): Manual de diseño de redes de muestreo de calidad de aire. Sao Pablo.
7. U.S. Environmental Protection Agency (2005): Compilation of Air Pollutant Emission Factors. AP-

42. Fifth Edition. Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina
8. Turner B. (1994): Atmospheric dispersion estimates. Lewis Publishers, London, Second Edition, Chapter 2, pp. 2.1-2.38.
9. Pasquill f., (1963): The estimation of the dispersion of windborne material. *Meteorology Mag.*, 90; pp. 33-49.
10. García C., Machado A., García N., Cardenas C., González W., Martínez J. Y Yabroudi S., (2003): Evaluación comparativa de la concentración de SO<sub>2</sub> vientos arriba de una planta termoeléctrica. *Rev. Tec. Ing. Univ. Zulia*, 26(2); pp. 78-92.
11. Holland, J.Z., 1953: A meteorological survey of the Oak area. 554-559 *Atomica Energy comm.*. Report ORO-99, Washington, DC., 584 pp.

