

Niveles Atmosféricos de Dióxido de Azufre, partículas suspendidas totales y sulfatos alrededor de una Planta Termoeléctrica en época seca.

**Harvi José Velásquez Arévalo, Neyma Elaine García de Rossell,
y María Teodora Linares**

Laboratorio de Química Ambiental de la Facultad de Ciencias • División de Postgrado de la Facultad de Ingeniería • Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería • Universidad del Zulia.

Resumen

Este estudio se realizó durante el período seco del año 1989 en sitios cercanos a la planta termoeléctrica "Ramón Laguna" (capacidad de 804 MW), en el Municipio Maracaibo del Estado Zulia. Se determinaron las concentraciones de dióxido de azufre, partículas suspendidas totales (PST) y sulfatos en PST para evaluar la calidad del aire de la zona. Cuatro sitios de estudio se seleccionaron alrededor de la planta: A (SSO: 1.2 km), B (OSO: 0.8 km), C (OSO: 1.8 km) y D (S: 1.8 km). Un sitio de referencia (E) también se seleccionó a 3.0 km al norte (viento arriba) de la planta.

La planta termoeléctrica constituyó una fuente importante de dióxido de azufre, PST y sulfatos en el área. De todos los sitios de muestreo, el sitio A resultó el más influenciado por la planta. En el sitio A, los niveles de dióxido de azufre y PST excedieron al promedio anual estándar en un 19% y 33%, respectivamente. En el resto de los sitios, no se encontraron valores por encima del nivel estándar anual. Además, en ninguno de los sitios el promedio diario estándar fue sobrepasado. Aunque no se tiene un estándar de calidad del aire para sulfato, concentraciones de 24 horas mayores que $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ encontradas en el área, son consideradas nocivas para la salud humana. La concentración de los contaminantes en el sitio A, correlacionó fuertemente con la velocidad del viento.

"Sulfur dioxide, total suspended particles and sulfates atmospheric levels around a thermal power plant in dry season"

Abstract

This study was performed during the dry season in 1989 near to the "Ramón Laguna" thermal power plant (804 MW capacity) in the Maracaibo Municipality at Zulia State. Sulfur dioxide, total suspended particles (TSP) and sulfates in TSP concentrations were determined to evaluate air quality of the zone. Four study sites were selected near the plant: A (SSW: 1.2 km), B (WSW: 0.8 km), C (WSW: 1.2 km) and D (S: 1.8 km). A control site (E) was also selected at 3.0 km north (up wind) of the plant.

The thermal power plant represented an important source of sulfur dioxide, TSP and sulfates in the area. Of all sampling sites, site A resulted the most influenced by the plant: sulfur dioxide and TSP levels exceeded the annual average standard in 19% and 33%, respectively. Levels found in other sites (B,C,D and E) did not exceed annual standard levels. Furthermore, sulfur dioxide and TSP levels at all sites were found to be below air quality standard for 24 hours. Although there is no approved air quality standard for sulfates, daily concentrations greater than 8 g/m^3 found in the area, are considered to be hazardous to human health. Contaminant concentrations in site A correlated strongly with wind speed.

Introducción

Las plantas de potencia que queman combustibles fósiles (carbón o petróleo), emiten al aire ambiental cantidades importantes de los contaminantes dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_x) en la forma gaseosa, y ceniza suspendida en la forma de partículas. Estas sustancias generalmente se toman como referencia para definir el grado de contaminación atmosférica de una región determinada; en ciertas proporciones son perjudiciales para la salud humana. Además, pueden dar origen a contaminantes secundarios, tales como aerosoles de sulfato (SO_4^{2-}) y nitrato (NO_3^-), los cuales están muy relacionados con la acidificación de las lluvias y la degradación de la visibilidad.

En la planta termoeléctrica "Ramón Laguna" (PTRL) de la empresa ENELVEN, se usa frecuentemente crudo residual (Bunker C) como combustible, con un contenido de azufre de aproximadamente el 3%. Esto hace suponer que la planta emite cantidades significativas de SO_2 y partículas, que afectan adversamente la calidad del aire de zonas cercanas a ella.

Araujo y Otros (1987) [3] determinaron las concentraciones de los gases SO_2 , NO_2 y H_2S en el aire de sitios adyacentes a la PTRL durante la época de lluvia. No determinaron las concentraciones de partículas suspendidas total (PST) ni las de SO_4^{2-} y NO_3^- en muestras de partículas.

El presente estudio tiene la finalidad de evaluar la calidad del aire de sitios cercanos a la PTRL, con respecto a los niveles de concentración de SO_2 , PST, y SO_4^{2-} en PST durante la época seca. En Venezuela recientemente (1989) se publicó en la Gaceta Oficial N° 34144, las normas de calidad del aire para dióxido de azufre y

partículas suspendidas [11]. Los niveles estándares en $\mu\text{g/m}^3$ son los siguientes: la concentración promedio anual para SO_2 es 80 y para PST (promedio geométrico) es 75, y la concentración promedio diaria para SO_2 es 365 y para PST es 260. La concentración promedio diaria no debe ser excedida más de una vez al año. Aún no se ha establecido el estándar de calidad del aire para sulfato.

Parte Experimental

Planta Termoeléctrica "Ramón Laguna"

La Planta Termoeléctrica "Ramón Laguna" (PTRL) de la Empresa ENELVEN, está ubicada a $10^{\circ}36'15''$ de latitud N y $71^{\circ}36'50''$ de longitud O en el Municipio Maracaibo del Estado Zulia, Venezuela. La capacidad instalada de producción es de aproximadamente 804 MW. El combustible de uso frecuente es petróleo residual (también utiliza gas natural), que contiene alrededor del 3% de S, 450 ppm de V, 0.1 de ceniza y 18055 Btu/lb de energía. Los contaminantes son emitidos por nueve chimeneas de alturas variables: tres de 100 m, dos de 60 m y cuatro de 40 m.

Muestreo Y Análisis.

Tomando como base la dirección predominante de los vientos en Maracaibo (NNE), se seleccionaron cuatro sitios alrededor de la planta: A (SSO: 1.2 km), B (OSO: 0.8 km), C (OSO): 1.8 km) y D (S: 1.8 km). Un sitio de referencia (E) también se seleccionó a 3.0 km al norte (viento arriba) de la planta. La ubicación de los sitios se muestra en la Figura 1. El muestreo se realizó durante la estación seca del año 1989 (02 de Febrero - 09 de Abril). Las condiciones meteorológicas observadas en ese período del

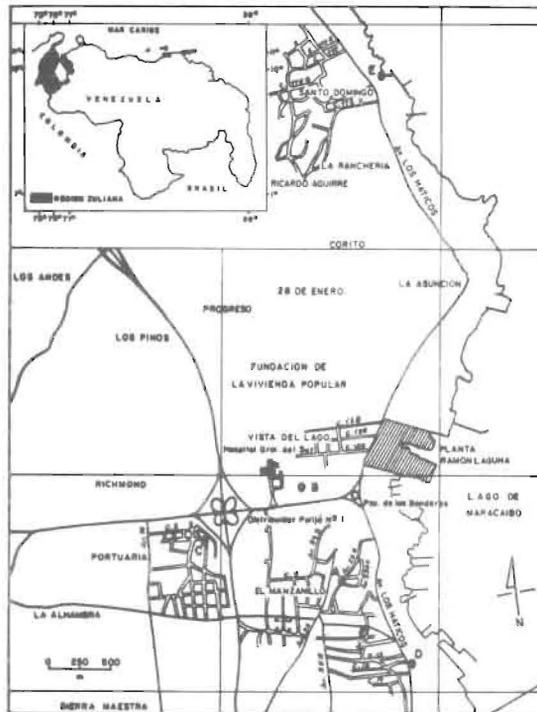


Figura 1 Mapa del área de estudio que presenta la ubicación de los sitios de muestreo alrededor de la

año, se presentan en la Tabla 1. La dirección predominante de los vientos (NNO) no coincidió con la observada frecuentemente en Maracaibo. Eventos de lluvia no se dieron.

Se recogió un total de 30 muestras tanto de SO_2 como de partículas suspendidas de manera simultánea. Cada muestra correspondió a un periodo de 24 horas, iniciándose la recolección a las 9:00 am de un día y concluyéndose a las 9:00 am del día siguiente. En cada sitio se recolectaron siete muestras discontinuas que abarcaron todos los días de la semana, excepto en los sitios D y referencia (E) donde se recolectaron seis y tres muestras, respectivamente. Además, las muestras se recogieron al mismo tiempo por pares de sitio; primero en A-B y luego en C-D (Tabla 2).

La toma de muestra y los análisis de SO_2 se realizaron por el método de la pararosanilina [12]. Las muestras de SO_2 se recolectaron con equipos RAC 5 (modelo All-Weather Shelther). Las muestras de partículas suspendidas se

TABLA 1
CONDICIONES METEOROLOGICAS DURANTE EL TIEMPO DE MUESTREO

DIAS 1989	DIRECCION PREDOMI- NANTE DEL VIENTO	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	T.A. ^α (°C)	H.R. ^β (%)	INSOLACION (horas)	RADICION DIRECTA Y DIFUSA (cal/cm ² día)
02-03/02	NNO,N	3.5	26.5	66	6.4	370
05-06/02	NNO	3.8	26.8	62	10.3	407
08-09/02	N	4.8	27.1	59	9.0	403
11-12/02	NNO	4.4	26.8	65	9.0	380
14-15/02	N	6.5	26.4	67	11.1	399
17-18/02	ONO	2.4	26.8	68	10.7	429
20-21/02	N	3.0	27.7	73	7.3	337
06-07/03	NNO	3.7	27.4	61	6.4	345
08-09/03	ONO	3.3	28.3	73	6.7	389
10-11/03	NNO	3.3	28.0	73	5.5	295
14-15/03	NNO	3.0	27.1	68	5.2	260
17-18/03	NNO	3.8	26.6	65	8.2	395
20-21/03	NNO	5.2	27.5	68	9.8	418
30-31/03	N	4.5	27.5	65	9.2	389
02-03/04	NNO	5.1	27.8	70	9.8	392
05-05/04	NNO	3.5	28.7	66	9.7	351
08-09/04	NNO,N	4.7	28.9	67	8.3	369
PROMEDIO	-	4.0	27.4	67	8.4	372
Desv. Est.	-	(1.0)	(0.8)	(4)	(1.8)	(44)

^α T.A. Temperatura del Aire. ^β H.R. = Humedad Relativa.

Fuente: Estación Meteorológico de la F.A.V. La Cañada

TABLA 2
RESUMEN SOBRE LAS CONCENTRACIONES PROMEDIO DE SO₂, PST Y SO₄²⁻,
EXPRESADOS EN µg/m³ OBTENIDAS EN LOS SITIOS DE MUESTREO
DURANTE LA EPOCA SECA. 1989

Mes(es)	Sitio	SO ₂		PST		SO ₄ ²⁻		N*
		Promedio Aritmético	Rango	Promedio Geométrico	Rango	Promedio Aritmético	Rango	
FEB 02-21	A	95.08 ^β	17.06-189.95	99.76 ^β	53.96-192.06	8.38 ^β	5.88-13.00	7
FEB 02-21	B	18.45	11.37- 30.15	74.59	43.40-101.22	6.75	3.55-10.93	7
MAR-ABR 14-09	C	17.81 ^σ	5.63- 66.51	55.77	40.89- 66.04	3.72 ^σ	2.66- 5.24	7
MAR-ABR 14-09	D	29.99	5.66- 72.80	61.59	46.25- 76.23	5.31	3.97- 7.22	6
MAR 06-11	E	19.31	17.31- 23.26	42.66 ^σ	22.51- 79.72	5.05	4.61- 5.88	3

^β Valor promedio máximo

^σ Valor promedio mínimo

* N = Número de muestras

recolectaron sobre filtros Whatman 41 (dimensiones en cm: 20.3 x 25.4), por filtración de aire a una velocidad de flujo de 1.1 m³/min; se utilizaron muestreadores de partículas de alto volumen Sierra Instruments (modelo Ultra-Vol 1, S/N 3218). La determinación de la concentración de partículas suspendidas totales (PST) se realizó por el método gravimétrico [13]. El error de peso debido al carácter higroscópico de los filtros de celulosa (8), se corrigió mediante el uso de filtros de referencia (blancos). Los filtros de referencia se sometieron al mismo procedimiento de acondicionamiento y pesada de los filtros-muestras. Los filtros de celulosa (Whatman 41) se seleccionaron debido a que presentan menos problemas de "artifact" de sulfato que los filtros de fibra de vidrio [5,9].

Para la determinación de sulfato en PST, un cuarto de filtro en 50 ml de agua caliente de alta pureza, se sometió a agitación con un equipo BURREL (modelo 75) durante treinta minutos. El extracto acuoso resultante se analizó para sulfato por el método turbidimétrico [2]. La concentración de los contaminantes se expresó en µg/m³.

Resultados y Discusión

La época seca, es la estación del año más adecuada para hacer estudios sobre la influencia que ejerce una fuente fija en el aire ambiental de Maracaibo. Esto se debe, principalmente, a la constancia en la dirección del viento que se presenta durante dicha época (Tabla 1). La Tabla 2 muestra un resumen sobre las concentraciones promedio de SO₂, PST y SO₄²⁻.

Dióxido de Azufre.

El sitio A presentó el nivel más elevado de SO₂. El valor promedio resultante, es mayor que el estándar anual en aproximadamente un 19%. Sin embargo, el promedio diario estándar no fue excedido. Por otra parte, la concentración promedio (19.31 µg/m³) en el sitio de referencia E, es menor que el valor promedio en el sitio A en un 80%. Estos resultados indican que la PTRL, es la fuente principal de emisiones de SO₂ en el área de estudio.

El segundo valor promedio más alto correspondió al sitio D. No obstante, este valor es menor que el promedio obtenido en A, en un 68%. Esta gran diferencia se explica debido a que

el sitio D se encuentra más alejado de la PTRL que el sitio A. Situación parecida se observa en un estudio realizado en la India [1]. Los sitios más cercanos a la central eléctrica presentaron los niveles más altos de SO_2 .

Los niveles de SO_2 en los sitios B, C y E no varían significativamente entre sí. Las relaciones entre dichos sitios, basadas en las concentraciones promedio de SO_2 son: $C/B = 0.97$; $B/E = 0.96$; $C/E = 0.92$. Estas relaciones permiten inferir que existe una fuente adicional de SO_2 menos importante que la PTRL, y que podría ser las emisiones de escape de vehículos automotor. Además, que los sitios C y B están menos influenciados por la PTRL.

Los sitios A y D presentaron los valores más altos de SO_2 , y los sitios B y C los más bajos. Esta variación se debe, fundamentalmente, a la ubicación que tienen los sitios de muestreo con respecto a la planta y a la dirección predominante de los vientos. Los sitios A y D están ubicados al sur-suroeste y al sur, respectivamente, viento abajo de la planta. Mientras que los sitios B y C están ubicados al oeste-suroeste de la planta, a diferentes distancias de ella (Figura 1). Por lo tanto, los sitios A y D están más influenciados por la PTRL que los sitios B y C.

La concentración promedio en el sitio A coincidió aproximadamente con algunos valores obtenidos por Araujo y Otros (1987) [3], en un estudio similar realizado durante la época de lluvia ($\mu\text{g}/\text{m}^3$: 80.31; 95.99; 108.23). Esto revela una aparente homogeneidad de las emisiones de SO_2 por la PTRL durante el año. Sin embargo, no se descartan posibles fluctuaciones de la concentración, debido a un cambio del combustible (petróleo residual por gas natural), al cambio de las condiciones meteorológicas o a la disminución de la producción de la PTRL.

Por último, es conveniente resaltar que en el sitio A se observó una fuerte correlación entre la concentración de SO_2 y la velocidad del viento; el coeficiente de correlación (r) es 0.86 con un nivel de significación (p) de 0.01. En consecuencia, se evidencia que la eficiencia de recolección de SO_2 , no depende solamente de la distancia de separación sitio-fuente y de la

dirección del viento, sino también de la velocidad del viento. La Figura 2 muestra la distribución simultánea de las velocidades del viento y las concentraciones diarias de SO_2 en el sitio A.

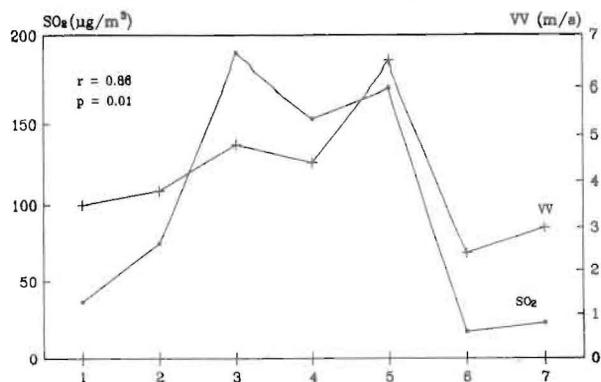


Figura 2. Gráfica de velocidad del viento (vv) y de concentración de SO_2 en el sitio A, Febrero 1989

Partículas Suspendidas Totales (PST).

La concentración de PST, se dió en los sitios de muestreo según el siguiente orden: $A > B > D > C$. Igual que en el caso del SO_2 , el sitio A presentó el nivel más alto de PST, el cual es 2.34 veces mayor que el obtenido en el sitio de referencia E ($42.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Asimismo, si se compara con el promedio anual estándar, es un 33% (1.33 veces) mayor. El promedio diario estándar no fue sobrepasado. Por otro lado, en el sitio A se obtuvo una buena correlación SO_2 - PST ($r = 0.74$; $p = 0.05$). En los otros sitios los valores de r son muy bajos o negativos. Estas observaciones relacionadas con el sitio A, permiten demostrar que la PTRL también es una fuente importante de emisiones de partículas, y que el sitio A es el más afectado por ella. La Figura 3 muestra la

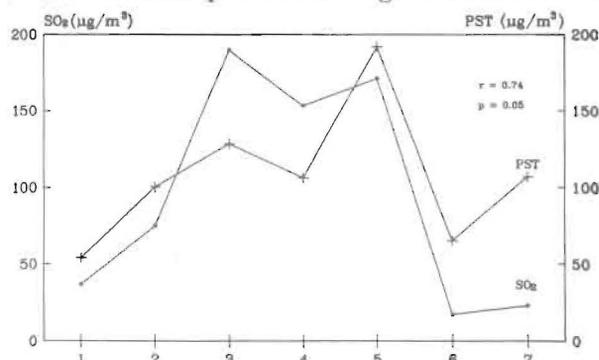


Figura 3. Gráfica de concentración de SO_2 y de PST en el sitio A, Febrero 1989

distribución simultánea de las concentraciones de SO_2 y PST obtenidas en el sitio A.

El nivel de PST en el sitio B es prácticamente igual al promedio anual estándar, y los niveles en los sitios C y D son menores que el nivel estándar en un 26 y 18%, respectivamente. Además, las concentraciones de PST en los sitios B, C y D son mayores que la registrada en el sitio E ($B/E = 1.75$; $D/E = 1.44$; $C/E = 1.31$). Los valores de PST tan cercanos al nivel estándar y por encima del nivel de referencia, tienen su explicación. Los sitios no solamente están influenciados por la PTRL, sino que también se ven afectados por otras actividades industriales en el área, por la resuspensión de partículas del suelo debido al viento y a la circulación de tráfico automotor (especialmente en los sitios B y D), y por partículas transportadas por el viento desde el norte. La última afirmación coincide con lo observado por Chirinos (1984) [7]. Los niveles de PST en diferentes sitios de Maracaibo (durante la época seca) aumentaron progresivamente de norte a sur.

Se observa que la velocidad del viento, también correlaciona fuertemente con los niveles de PST en el sitio A. $r = 0.89$; $p = 0.01$ (Figura 4). En el resto de los sitios no se dan correlaciones significativas.

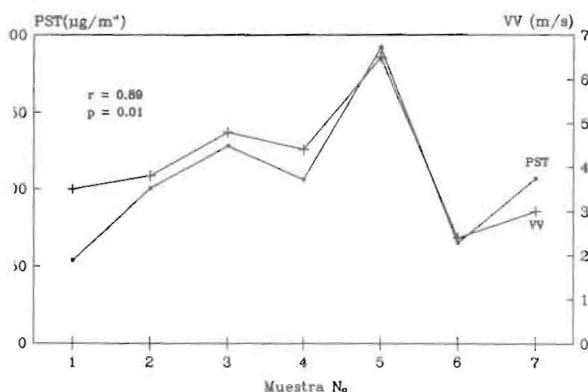


Figura 4. Gráfica de velocidad del viento (vv) y de PST en el sitio A Febrero 1989

Sulfato.

La concentración de sulfato se presentó en los sitios de muestreo según el siguiente orden: $A > B > D > C$ (igual que en el caso de PST). Por lo

tanto, las relaciones de concentración en función de la concentración obtenida en el sitio E ($5.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$), difieren en el mismo orden: $A/E = 1.66$; $B/E = 1.34$; $D/E = 1.05$; $C/E = 0.74$. Se observa claramente que el nivel de sulfato del sitio D es aproximadamente igual al nivel del sitio E. Por otro lado, se dió una buena correlación $\text{SO}_2\text{-SO}_4^{2-}$ en los sitios A ($r = 0.71$) y C ($r = 0.72$), con un nivel de significación de 0.05.

Las observaciones anteriores permiten asumir lo siguiente: primero, la PTRL es una fuente importante de sulfato primario en el área. Este sulfato puede producirse por la oxidación del S del combustible a S(VI), durante el proceso de combustión en las calderas [4]. La formación de sulfato primario se confirma por el problema de corrosión que presenta la planta a nivel de las calderas [6]; segundo, no todos los sitios están influenciados igualmente por la PTRL (el sitio A es el más afectado); tercero, existen otras fuentes adicionales a la PTRL que suministran sulfato al aire ambiental local. También es posible que se forme sulfato secundario por oxidación del SO_2 en la atmósfera local. Esta presunción requiere un estudio cuidadoso, ya que la velocidad de conversión de SO_2 a sulfato es baja [14], y los sitios de muestreo se ubicaron relativamente cerca de la PTRL.

Actualmente no se tiene un estándar de calidad del aire para sulfato. Sin embargo, un estudio en varias comunidades de USA, ha revelado que existe una relación razonable entre algunos tipos de morbilidad y los niveles de sulfato en el rango de $8\text{-}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24 horas de exposición [10]. En el presente trabajo, cuatro muestras de partículas suspendidas (tres en el sitio A) de 24 horas, dieron valores de concentración de sulfato $>8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este número de muestras representa el 15% del total (27 muestras). Los resultados de sulfato indican que existe la posibilidad de que se estén presentando problemas de salud en la población de la zona.

Para disminuir la carga contaminante emitida a la atmósfera por la PTRL, se sugiere que se utilice solamente gas natural como combustible. Las grandes reservas de gas natural que tiene el país lo justifican.

Conclusiones

La planta termoeléctrica "Ramón Laguna" representó una fuente importante de SO₂, PST y SO₄²⁻ en el área. De todos los sitios de muestreo, el sitio A resultó el más influenciado por la PTRL. En este sitio se presentaron los niveles más altos de dichos contaminantes.

En el sitio A, el estándar anual de SO₂ y PST fue excedido en un 19% y 33%, respectivamente. En el resto de los sitios no se encontraron niveles superiores a dichos estándares. Además, en ninguno de los sitios el estándar diario fue sobrepasado.

Aunque actualmente no se tiene un estándar de calidad del aire para sulfato, en el área se detectaron valores de concentración diaria (>8 µg/m³), que son considerados nocivos para la salud humana.

El alto nivel de captación de los contaminantes en el sitio A, se debió a la adecuada ubicación que tiene dicho sitio con respecto a la planta y a la dirección del viento. Por otro lado, se observó una fuerte correlación entre la concentración de los contaminantes (SO₂ y PST) y la velocidad del viento.

Referencias

- 1) AGRAWAL, M. y AGRAWAL, S.B.: "Phytomonitoring of air pollution around a thermal power plant", *Atmospheric Environment*, Vol. 23, No. 4, 1989, 763-769.
- 2) APHA, AWWA y WPCF: "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", Sixteenth Edition, APHA, Washington; D.C., 1985.
- 3) ARAUJO, J., PETIT, E. y FLORES, C.: "Determinación cuantitativa de los contaminantes gaseosos emitidos por la planta termoeléctrica Ramón Laguna", Universidad del Zulia, Facultad de Ingeniería, Trabajo Especial de Grado, Venezuela, 1987.
- 4) BIZJAK, M., BENNER, W., HANSEN, A., HRCEK, D., HUDNIK, V. y NOVAKOV, T.: "Spatial and temporal variations of aerosol sulfate and trace elements in a source dominated urban environment", *Atmospheric Environment*, Vol. 22, No. 12, 1988, 2851-2862.
- 5) CANELLI, E. y HUSAIN, L.: "Determination of total particulate sulfur at Whiteface Mountain, New York, by pyrolysis microcoulometry", *Atmospheric Environment*, Vol. 16, No. 5, 1982, 945-949.
- 6) CUBILLAN DE A., E.: "Utilización de aditivos para petróleo en calderas de alta presión", Universidad del Zulia, VII Jornadas Científico-Técnicas de Ingeniería, Venezuela, 1990.
- 7) CHIRINOS, J.: "Estudio preliminar de metales en partículas suspendidas totales en el aire de la ciudad de Maracaibo", Universidad del Zulia, Facultad Experimental de Ciencias, Trabajo Especial de Grado, Venezuela, 1984.
- 8) KOLAK, N. y VISSALLI, J.: "Comparison of three methods for measuring suspended particulate concentrations", *Environmental Science & Technology*, Vol. 15, No. 2, 1981, 219-224.
- 9) MILFORD, J. y DAVIDSON, C.: "The sizes of particulate sulfate and nitrate in the atmosphere - A review", *Journal of the Air Pollution Control Association*, Vol. 37, No. 2, 1987, 125-134.
- 10) SAWYER, J. W.: "A skeptical evaluation of the sulfate problem", *Journal Metals*, Mayo 1977, 11-17.
- 11) VENEZUELA - MSAS.MARNR: "Normas para el Control de la Contaminación Atmosférica Ocasionada por Fuentes Fijas", *Gaceta Oficial*, No. 34144, 1989.
- 12) VENEZUELA - NORMA COVENIN: "Determinación de Dióxido de Azufre en la Atmósfera", Anteproyecto "1A", 6:5-008.
- 13) VENEZUELA - NORMA COVENIN: "Determinación de la Concentración de Partículas Totales Suspendidas en la Atmósfera (PTS)", No. 2060-83, 1983.
- 14) YOSHIZUMI, K.: "Regional size distributions of sulfate and nitrate in the Tokio metropolitan area in summer", *Atmospheric Environment*, Vol. 20, No. 4, 1986, 763-766.

Recibido: 03 de Marzo de 1990
En forma revisada: 11 de Nov. de 1991