

MONITOREO DE LAS CONCENTRACIONES DE DIOXIDO DE NITROGENO EN INTERIORES DE VIVIENDAS

AUTORES

Ing. Daniel Antonio Andrés. Universidad Tecnológica Nacional.
Ing. Eduardo Joaquín Ferrero. Universidad Tecnológica Nacional.
Ing. César Eliecer Mackler. Universidad Tecnológica Nacional.

Daniel A. Andrés
Pujato 1602 – Lomas de Alberdi
2000 – Rosario, Argentina.
Tel/Fax: 0054 – 341 – 4530285
e-mail: dandres@citynet.net.ar

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objeto mostrar los resultados que se están obteniendo en un estudio de la contaminación por dióxido de nitrógeno (NO₂) en ambientes interiores pertenecientes a viviendas familiares.

Las mediciones se están realizando mediante la aplicación de técnicas del tipo pasivas (tubos Palmes) y se están desarrollando en ambientes que cuentan con diferentes tipos de equipos consumidores de gas natural y con distintas calidades de renovación del aire interior.

Como resultado, puede notarse que en algunos ambientes en donde se producen procesos de combustión con volcado de los gases efluentes en el interior del mismo y con escasa ventilación, las concentraciones promedio mensuales de contaminantes son muy altas. Esto ocurre principalmente en las épocas invernales donde la necesidad de calefacción es mayor mientras que la renovación del aire interior es menor.

Por otra parte, los tenores de contaminación encontrados en los interiores de las viviendas, son sensiblemente superiores a los registrados en ambientes exteriores, incluso en las zonas de mayor contaminación del ejido urbano de la ciudad de Rosario, según se desprende por comparación con los resultados de un estudio anterior realizado en esta ciudad.

NITROGEN DIOXIDE CONCENTRATIONS MONITORING IN INNER PARTS OF HOUSES

The present work has as its main object to show the results which are being obtained in a study about nitrogen dioxide (NO₂) pollution in interior places belonging to familiar homes.

The measurement are being taking place by means of the application of passive techniques (Palmes tubes) and are being developing in environments which have different types of natural gas equipment and with different qualities in inner air renovation.

As a result, it can be noticed that in some places where combustion processes are produced with quantities of gaseous effluents in the interior of themselves and with a little ventilation, the average monthly concentration of pollutants are very high. This occurs mainly in winter season where heating necessity is higher and inner air renovation is lesser.

On the other hand, contamination degrees which were obtained in inner parts of houses are sensibly superior to the ones registered in external environments, even in zones of great pollution in Rosario city, according to what is known from the results of a previous study done in this city.

Introducción:

Este trabajo surge de los estudios de avance efectuados como parte de un proyecto de investigación de tres años de duración, que está realizando el Grupo de Estudios sobre Energía y Medio Ambiente de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario. Este proyecto se basa en la medición de dióxido de nitrógeno en ambientes interiores mediante la utilización de técnicas pasivas de monitoreo, que tienen bajo costo de adquisición y operación y sus objetivos principales son:

- a- Diferenciar la contaminación por NO₂ en distintos ambientes de las viviendas,
- b- Determinar la incidencia de los distintos equipos de emisión (cocinas, estufas, calefones, hornos) en la calidad de aire interior,
- c- Comparar la contribución a los niveles de inmisión de NO₂, de los diversos equipos de calefacción alimentados a gas natural (calefactores de tiro balanceado, catalíticos, pantallas infrarrojas y otros),
- d- Analizar otras variables que puedan influir, como por ejemplo la ventilación del lugar y el modo de calefaccionar.
- e- determinar las variaciones estacionales de las concentraciones del contaminante en el interior de una vivienda.

Método

Equipos Pasivos de Monitoreo

Los sistemas pasivos de monitoreo son dispositivos simples que pueden ser usados para la medición de contaminantes gaseosos en el medio ambiente. Consisten en un pequeño tubo con uno de sus extremos cerrado y el otro abierto. La captación del contaminante se basa en el principio de la difusión molecular del gas contaminante a través del tubo, desde el aire ambiente hacia un absorbente situado en el extremo cerrado del mismo.

La principal ventaja de los muestreadores pasivos es su simplicidad y su bajo costo de instalación y operación. Como resultado de esto, pueden instalarse muchas unidades que provean una información de utilidad sobre concentración de los contaminantes medidos. Sin embargo el tiempo de resolución mínimo de estas técnicas es limitado, por lo que sólo son capaces de suministrar información sobre un promedio de concentraciones en un período relativamente largo de tiempo.

Los tubos utilizados en este estudio (tubos Palmes) tienen una longitud de 70 mm y un diámetro interior de 12 mm. El reactivo absorbente utilizado es TEA (Trietanol Amina), el cual es colocado entre dos mallas de acero inoxidable en el extremo cerrado del tubo. Los cálculos basados en la velocidad de difusión del dióxido de nitrógeno en aire, muestran que los equipos pasivos de estas características presentan un flujo volumétrico de captación de 72 cm³/h (Gair et al., 1991).

Las muestras son recolectadas y cambiadas mensualmente desde el mes de agosto de 2000. Luego de estar expuestas, las mismas son analizadas en un laboratorio químico. Durante la exposición al ambiente interior, el NO₂ es acumulado como ión nitrito sobre la TEA situada entre las mallas de acero del muestreador. El análisis en laboratorio involucra la diazotación, por medio del nitrito,

de la sustancia sulfanilamida, agregada durante el análisis y la posterior formación de un azo compuesto de color púrpura que surge por el mecanismo de copulación de la sal de diazonio con el agente cromógeno NEDA (N - 1 naftil etilendiamono diclorhidrato). Las muestras y los blancos reactivos son luego medidos por espectrofotometría a 540 nm utilizando microcubetas de 10 mm de paso.

El límite inferior de detección del método es de 0,1 µg/m³ (Gair et.al., 1991). La toma de muestras en período mensual ha probado ser representativa en zonas de concentraciones bajas y medias de NO₂ (hasta aproximadamente 200 µg/m³) y la metodología ha sido comparada con otras técnicas automáticas de quimiluminiscencia y activas químicas no observándose desviaciones de orden superior al 3 % (Gair et. al., 1991, Andrés et.al., 1999).

Selección de Sitios de Monitoreo

Con el fin de investigar las distintas combinaciones entre las variables que se pretendían analizar se plantearon diferentes relaciones matriciales:

- a) Habitaciones con diferente calidad de ventilación.
- b) Distintos artefactos domésticos que funcionan mediante combustión de gas natural.

Las habitaciones mencionadas en el punto "a", se eligieron entre las viviendas de los propios investigadores y allegados, y se trata de ambientes típicos de los hogares de la ciudad de Rosario, como lo son las cocinas, salas, dormitorios, etc. contando estos con diferentes calidades de ventilación.

Respecto a los equipos que se mencionan en el punto "b", se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Equipos que consumen oxígeno del aire presente en la habitación donde funciona, emitiendo los gases resultantes de la combustión en el interior del mismo ambiente. Pertenecen a este grupo las cocinas (hornallas, horno ó anafé, grill), las pantallas infrarrojas, las estufas comunes y las estufas del tipo "catalíticas". Actúan como moderadores de la contaminación interior, la existencia de campanas para la extracción de humos.

- Equipos que consumen oxígeno del aire presente en la habitación y que vuelcan los gases productos de la combustión, hacia el exterior a través de una chimenea. Pertenecen a este grupo las estufas con tiro inducido, los termostaques, salamandras, calefones y hogares.

- Equipos que consumen oxígeno del aire tomado desde el exterior de la habitación y que emiten los gases producidos también hacia el exterior. Pertenecen a este grupo las estufas de tiro balanceado.

Se seleccionaron 16 sitios de medición, los cuales se describen en la Tabla 1.

Tabla 1: Sitios de Muestreo

Número del sitio	Clase de habitación	Equipos combustores	Emisión de gases	Ventilación
1	Sala	Tiro balanceado	Al exterior	Buena
2	Sala	Calef. común	Al interior	Moderada
3	Cocina	Cocina y calefón	Exterior e interior (con campana)	Buena
4	Sala	Calef. Catalítico	Al interior	Escasa
5	Cocina	Horno de la cocina	Al interior	Escasa
6	Sala	Tiro inducido	Al exterior	Buena
7	Cocina	Cocina	Ext. e int.	Buena
8	Sala	Calef. Catalítico	Al interior	Escasa
9	Cocina	Cocina	Al interior	Escasa
10	Sala	Calef. Catalítico	Al interior	Escasa
11	Cocina	Cocina, anafé y termotanque	Ext. e int.	Moderada
12	Cocina	Cocina, anafé y termotanque	Al interior	Buena
13	Sala	Calef. común	Al interior	Muy buena
14	Sala	Calef. catalítico	Al interior	Moderada
15	Cocina	Cocina	Al interior	Buena
16	Sala	Sin equipos	-	Buena

Validez de las muestras

De acuerdo con el criterio tomado por D. Shooter, P. Brimblecombe y M. Brasell en "Ground Level Nitrogen Dioxide Concentrations in the Rural Waikato Valley, New Zealand" se colocaron tres tubos muestreadores por cada sitio de medición. Cuando las tres determinaciones se encuentran sobre un rango del 20 % respecto al valor medio

de las mismas, este último valor se toma como válido. Si no se encuentran todas dentro de dicho rango, el valor extremo es descartado. Sin embargo si los dos valores restantes fallan del criterio del rango del 20% respecto al valor medio, la medición es calificada como no aceptable y se desecha.

Tabla 2: Concentración de NO₂ (µg/m³) en Cada Sitio

Sitio\ mes	08/00	09/00	10/00	11/00	12/00	01/01	02/01	03/01	04/01	05/01	06/01	07/01	prom. gral.	prom inv	prom ver
1	80	46	36	50	29	27	25	34	30	49	67	55	44,0	67,3	27,0
2	66		28	23		27	18	33	36	38	45	56	37,0	55,7	22,5
3	88	51		28	31	30	22	29	34	49	54	44	41,8	62,0	27,7
4	166	127		42	21	23	21		110	104	106	117	83,7	129,7	21,7
5	144	101	49	66	28	55		63	220	162	109	114	101,0	122,3	41,5
6	30	35	10	23	19	28	30	20	19	16	30	26	23,8	28,7	25,7
7	55	65	15	36	22	29	35		26	29	53	46	37,4	51,3	28,7
8	66	58	53	45	33	12	26	23	35	39	43	35	39,0	48,0	23,7
9		70	51	33		32	24	16	26	25	50	56	38,3	53,0	28,0
10	66	53	21	21	19	12	28	32	36	42	60	50	36,7	58,7	19,7
11	52	44	39	32	8	12	21	29	35	34	52	59	34,8	54,3	13,7
12	48	55	44	36	21	15	17	19	37	44	52		31,9	58,0	13,7
13	60	45	22	23	9	17	15	26	45	33	56		39,5	59,0	22,0
14	89	67		33	22	24	20	26	34	31	45	43	39,5	59,0	22,0
15	93	42	33	42	37	24	18	22	42	48	55	52	42,3	66,7	26,3
16	52	44	48	33	18	12	22	26	29	37	48	46	34,6	48,7	17,3

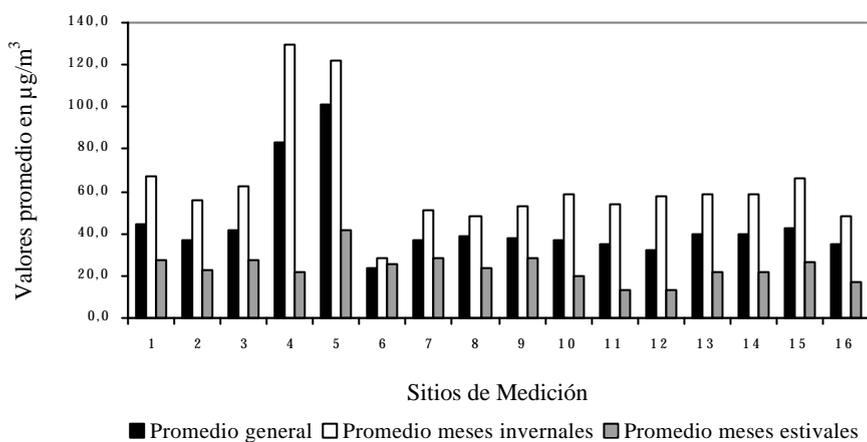
Resultados y discusión

Los valores obtenidos durante 12 meses de medición (agosto de 2000 a julio de 2001) se detallan en la Tabla 2. Los mismos están expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio mensual. Las tres últimas columnas corresponden al promedio general de mediciones para cada sitio, y a los promedios de invierno (meses de junio, julio y agosto) y de verano (meses de diciembre, enero y febrero).

En el gráfico N° 1 se representan las tres últimas columnas de la Tabla 2 para cada sitio de medición. Puede observarse una notable tendencia de tipo estacional con valores significativamente superiores en el invierno. Es importante destacar que en las grandes ciudades de la

República Argentina, la calefacción doméstica es principalmente obtenida a partir de la combustión del gas natural y que el NO_2 se produce en todo proceso de combustión, por lo tanto resulta lógica esta tendencia que se visualiza en el gráfico N° 1, ya que durante el período invernal en la ciudad de Rosario se presentan temperaturas bajas, en ocasiones por debajo de los cero grados, obligando a mantener los hogares calefaccionados y generando emisiones de NO_2 a los ambientes. Además, debido también a las bajas temperaturas del invierno, las habitaciones se ventilan menos que durante el período estival (de temperaturas que usualmente superan los $30\text{ }^\circ\text{C}$). Esta conjunción de mayores emisiones y menor ventilación es evidentemente la responsable de las mayores concentraciones que se visualizan en el período invernal.

Gráfico 1: Valores Promedios de Concentración



En la Tabla N° 2 y en el gráfico N° 1 se observa también que el sitio de mayor promedio general ($101,0\ \mu\text{g}/\text{m}^3$) es el N° 5, una cocina de escasa ventilación, en donde el horno, además de su función específica, se utiliza para calefaccionar el ambiente. El promedio invernal de este punto alcanza un valor de $122,3\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un valor máximo medido en todo el período de $220\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de abril de 2001.

El menor promedio del período se da en el sitio N° 6 ($23,0\ \mu\text{g}/\text{m}^3$), una sala grande, con buena ventilación equipada con un calefactor de tiro inducido. El promedio invernal en este sitio es de $25,3\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el mayor valor alcanzado en el período es de $35\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de setiembre de 2000.

En ambos sitios el promedio invernal superó al promedio general en aproximadamente el 21%. Sin embargo, existió una gran variabilidad en el valor máximo

encontrado. En el sitio de concentraciones más altas (sitio N° 5) el valor máximo superó en 117,8% al promedio general, mientras que en el sitio de concentraciones más bajas (sitio N° 6), el máximo valor alcanzado superó sólo en un 47,1% al promedio general.

Puede suponerse, en base a este último análisis, que las cocinas presentan una tendencia a contener mayores concentraciones de NO_2 debido principalmente a las mayores emisiones provenientes de los equipos para cocinar alimentos. También en estas últimas se alcanzan valores muy altos en algunos meses; en las salas esta variabilidad es menor, especialmente en aquellas bien ventiladas.

Se realizó una comparación matricial en cocinas con buena ventilación (sitios 3, 7, 12 y 15) y escasa ventilación (sitios 5 y 9) y también en salas con buena ventilación (sitios 1, 6, 13 y 16) y escasa ventilación (sitios 4, 8 y 10).. El resultado se muestra en la Tabla 3.

Tabla N° 3: Concentración de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Promedio General en Cocinas y Salas

Calidad de la Ventilación	Cocinas	Salas
Buena	38,4	35,5
Escasa	69,7	53,1

Como puede apreciarse el mayor promedio se registra en cocinas con escasa ventilación ($69,7\mu\text{g}/\text{m}^3$) y el menor promedio es el de las salas con buena ventilación ($35,5\mu\text{g}/\text{m}^3$). Pueden entenderse estos valores considerando que en las cocinas la emisión de NO_2 es importante, en especial si se utilizan las hornallas y hornos como parte de la calefacción en época invernal. Sin embargo podemos apreciar que el factor de mayor influencia es la ventilación, ya que las cocinas con buena ventilación ($38,4\mu\text{g}/\text{m}^3$) presentan valores promedios cercanos a las salas bien ventiladas ($35,5\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Comparación de ambientes con diferentes equipos de calefacción

Se analizan a continuación las concentraciones de NO_2 presentes en ambientes con tres grupos diferentes de equipos para calefaccionar:

- a- Tipo tiro balanceado;
- b- Tipo catalítico;
- c- Tipo de emisión al medio no catalítico, es decir pantallas infrarrojas y otros calefactores con emisión al interior.

En la Tabla N° 4 se muestran los valores correspondientes:

Tabla N° 4: Comparación de Concentraciones de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por Tipo de Emisión

Promedio	Tiro balanceado	Emisor al medio catalítico	Emisor al medio no catalítico
General	33,9	53,1	38,3
Invernal	48	78,8	57,4

Como puede apreciarse tanto para los promedios totales como para los de época invernal, en los ambientes donde el equipo de calefacción es del tipo catalítico, las concentraciones de NO_2 son sensiblemente superiores a los promedios de ambientes con otros tipos de equipos emisores. Podría entenderse entonces, que los equipos de emisión al medio del tipo catalítico generan en el ambiente concentraciones superiores a otros tipos de calefacción, sin embargo, lo expresado no concluye respecto a este tipo de equipos, ya que debe tenerse en cuenta las modalidades de ventilación de cada sitio.

También podría pensarse (debido a la cercanía entre los promedios de ambientes con calefactores de emisión y tiro balanceado) que los equipos de emisión al medio del tipo no catalítico no emiten cantidades significativas de NO_2 , sin embargo este punto debería estudiarse con mayor profundidad, teniendo en cuenta un análisis de las emisiones de cada equipo.

Comparación con ambientes exteriores

Resulta importante comparar los valores obtenidos en interiores de viviendas con los valores obtenidos a partir de un estudio del medio ambiente de la Ciudad de Rosario, en el cual se monitorearon durante 26 meses, 20 puntos de monitoreo en esta ciudad, también a partir de técnicas pasivas. En el ambiente exterior, las concentraciones de NO_2 variaron entre los valores extremos de $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $104\mu\text{g}/\text{m}^3$. Si tenemos en cuenta las concentraciones registradas en interiores, los picos superiores registrados fueron mucho mayores (valores de $220\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $162\mu\text{g}/\text{m}^3$). También en los promedios pueden observarse valores en interiores ($83,7\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el punto 4 y $101,0\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el punto 5) muy superiores al mayor promedio obtenido en la zona de mayor concentración de NO_2 en la Ciudad de Rosario ($60,7\mu\text{g}/\text{m}^3$), que corresponde a una calle de alto tránsito con gran cantidad de vehículos de transporte público de tipo urbano e interurbano, siendo estos muy importantes emisores de contaminantes.

Conclusiones

Los estudios continúan, no obstante puede establecerse como notable la importancia de una buena ventilación como factor fundamental para evitar concentraciones altas de NO_2 .

También puede decirse que los equipos de calefacción del tipo catalítico generan concentraciones ambientales de NO_2 mayores que en los ambientes con otros equipamientos de calefacción.

Finalmente puede expresarse que en ambientes interiores, especialmente en aquellos con escasa ventilación y que utilizan equipos de calefacción con emisión de gases al interior, se generan concentraciones de NO_2 superiores a las que se registran en zonas exteriores de mayor concentración de la ciudad de Rosario.

Bibliografía

- Gair, A.J., Penkett, S.A. and Oyola, P.: 1991. "Development of a Simple Passive Technique for the Determination of Nitrogen Dioxide in Remote Continental Locations". Atmospheric 25A. 1927 - 1939.
- Andrés, D.A. Ferrero E.J. y Mackler, C.E. (1999). "Importancia de la Combinación de Equipos Activos y Pasivos de Monitoreo en Sistemas de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Urbana". Revista Tecnoticias. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario. Año 1 N°2. Rosario-Argentina. 1999
- Shooter D., Brimblecombe P. y Brasell M.R. Ground Level Nitrogen Dioxide Concentrations in the Rural Waikato Valley, New Zealand. Report University of Auckland, New Zealand (1991).
- Shooter D., Brimblecombe P. y Gair A.J. The Diffusion Tube Measurement of Nitrogen Dioxide in the Upper Waikato Valley, New Zealand. Report University of Auckland, New Zealand (1990).

Andrés, D.A. Ferrero E.J. y Mackler, C.E. (1997). "Monitoreo de Contaminantes del Aire en la Ciudad de Rosario". Revista Internacional Información Tecnológica. Vol. 8, N°6. La Serena-Chile 1997.

Andrés, D.A. Ferrero E.J. y Mackler, C.E. (2000). "City Air Pollution by Vehicle Energy Requirements". Energy 2000. Las Vegas, July 23-28, 2000. Proceedings of 8th International Energy Forum. Technomic Publishing Co. Inc. Lancaster – Baset.

Andrés, D.A. Ferrero E.J. y Mackler, C.E. (1999). "Importancia de la Combinación de Equipos Activos y Pasivos de Monitoreo en Sistemas de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Urbana". Revista Tecnoticias. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario. Año1 N°2. Rosaro-Argentina.1999.

Gair, A.J., Penkett, S.A. and Oyola, P.: 1991. "Development of a Simple Pasive Technique for the Determination of Nitrogen Dioxide in Remote Continental Locations". Atmospheric 25A. 1927 - 1939.

Lewis R., Mulik J., Coutant R. Wooten G. and McMillin C. (1985) "Thermally Desorbable Passive Sampling Device for Volatile Organic Chemicals in Ambient Air". Analytical Chemical 57: 214-221

Palmes E., Gunnison A., DiMattio J. and Tomczyc C. (1976) "Personal Sampler for Nitrogen Dioxide". Americ. Ind. Hyg. Assoc. J. 37:570-577.

Shooter D., Brimblecombe P. y Brasell M.R. (1991) "Ground Level Nitrogen Dioxide Concentrations in the Rural Waikato Valley, New Zealand". Report University of Auckland, New Zealand 1991.

Tompkins F. and Goldsmith R. (1977) "A New Personal Dosimeter for the Monitoring of Industrial Pollutants". Americ. Ind. Hyg. Assoc. J. 38:371-377.

World Health Organization "Oxides of Nitrogen", WHO Environment Criteria N° 4. Geneva. 1977.

Yanagisawa Y. and Nishimura H. (1982) "A Badge Type Personal Sampler for Measurement of Personal Exposure to NO₂ and NO in Ambient Air". Environment International 8: 235-242.