

CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL PARTÍCULADO Y NANOPARTÍCULAS EN PROCESOS DE COMBUSTIÓN, ASADEROS DE ALIMENTOS Y MANIPULACIÓN DE NANOMATERIALES

RESUMEN / ABSTRACT

Actualmente para analizar las partículas se utilizan análisis microscópicos de alta definición para partículas < de 1 µm, como las técnicas EDAX, AFM o FTIR que permiten observar con detalle características tales como la composición, morfología y tamaño de las partículas. El presente proyecto se basó en la caracterización de las partículas y nanopartículas de los procesos de combustión vehicular, asaderos de alimentos tipo parrillada y en el laboratorio de Optoelectrónica de la Universidad del Quindío, con el fin de analizar las propiedades de las partículas que puedan afectar la salud de los trabajadores o personas expuestas a estas partículas. Se realizó un estudio descriptivo observacional cuali-cuantitativo y se utilizó el método analítico NIOSH 7300. Los resultados fueron: las muestras no superaron la concentración de 2.4 mg/m³. La concentración de la muestra del asadero fue de 0.01 mg/m³ (DE=215.5, MG=301.6, DGE=3.4 en nanopartículas, y DE=0.46, MG=1.73, DMG=2.7 en micropartículas). La muestra tomada en Optoelectrónica fue de 0.034 mg/m³ (DE=211, MG=348.79, DGE=4.3 en nanopartículas, y DE= 0.36, MG=1.43, DMG=2.6 en micropartículas). Y en la muestra de una avenida fue de 1.47 mg/m³ (DE=328.07, MG=497.20, DGE=9.4 en nanopartículas, y DE=0.42, MG=1.34, DMG=2.5 en micropartículas). La deposición de estas partículas en el sistema respiratorio humano ocurre en la región inferior del tracto respiratorio y es probable que atraviese las membranas celulares de los tejidos adyacentes, considerándose altamente peligroso para la salud de las personas expuestas.

PALABRAS CLAVE / KEYWORDS

Material en partículas; Medición de la exposición al riesgo; Medio ambiente; Nanotecnología; Higiene industrial

PUNTOS DE INTERÉS

Caracterización de partículas ultrafinas
Muestras ambientales en asaderos de alimentos, laboratorios de nanomateriales
Muestras ambientales en tráfico vehicular

AUTORES / AUTHORS

Milena Elizabeth Gómez Yepes

Universidad del Quindío

milenagomez@uniquindio.edu.co

Rafael Humberto Villamizar Vargas

Universidad del Quindío

rhvillamizar@uniquindio.edu.co

Faber Mosquera Alvarez

Universidad del Quindío

faber.mosquera@gmail.com

Lazaro Vicente Cremades Oliver

Universidad Politécnica de Cataluña

lazaro.cremades@upc.edu

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, la caracterización de partículas se limitaba a la determinación de la concentración másica. La razón para elegir la masa como un parámetro básico de medida hay que buscarla en su relativa independencia respecto al instrumento utilizado y en la facilidad para ser determinada (Rodríguez-Maroto, 2003). En la caracterización de material particulado se recomienda tener en cuenta las propiedades de las partículas que influyen en la salud de las personas, la forma de la partícula y el diámetro equivalente aerodinámico. La determinación de las propiedades proporciona una caracterización bastante completa de las partículas. La forma irregular de las partículas es decisiva en los procesos de filtración, ya que la irregularidad se relaciona en numerosas ocasiones con la formación de aglomerados, que son más fácilmente retenidos por boca y nariz.

Propiedades de las partículas que influyen en la afectación de la salud: La mayoría de las propiedades físicas de un sistema de partículas se establecen como valores estadísticos de las propiedades geométricas de partículas, dimensión (tamaño y distribución), forma, y características de la superficie (área específica y porosidad), densidad, morfología, concentración de partículas en masa, número y composición química de las partículas.

Forma de la partícula y diámetro equivalente aerodinámico: El parámetro utilizado convencionalmente para cuantificar la forma de las partículas ha sido el factor de forma, que se define como la relación entre la superficie de la esfera del mismo volumen que la partícula y la superficie de la partícula. Este valor puede estar entre 0 y 1, y da la idea de la esfericidad de las partículas (Reina-Hernández, 1999).

El diámetro equivalente aerodinámico, d_{ea} : es el diámetro de la esfera de densidad unidad que tiene la misma velocidad de deposición que la partícula. El d_{ea} de la partícula inhalable por boca y nariz es de $100 \mu\text{m}$ y la longitud de las partículas es $> 10 \mu\text{m}$ (Harper *et al.*, 2002; Harper *et al.*, 2004). El d_{ea} de las partículas las tomaremos como factor de forma esférica.

Afectación al tracto respiratorio humano: A mediados del decenio de 1990, la Organización Internacional de Normalización (ISO), el Comité Europeo de Normalización (CEN), y la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) acordaron las definiciones de partículas de inhalables, torácicas y respirables que penetran y/o depositan en diversos compartimentos del tracto respiratorio del ser humano, como se puede observar en la Fig. 1 (Liden *et al.*, 2006).

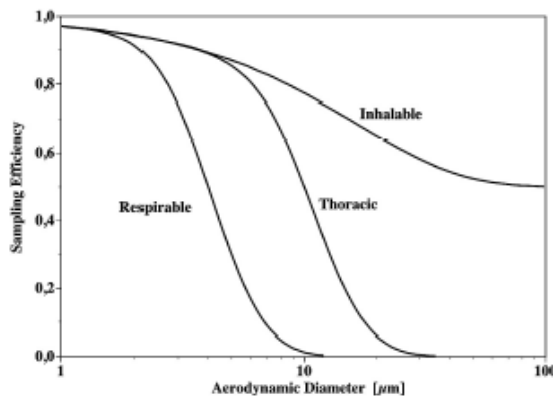


Fig. 1. Convenciones del muestreo ISO/CEN/ACGIH para fracciones de aerosol inhalable, torácico y respirable (Liden *et al.*, 2006).

En Colombia, existe un número importante de normas que procuran mejorar la calidad del aire de los ambientes laborales del sector maderero objeto de estudio, desde normas que rigen a nivel internacional hasta el cumplimiento de las normas nacionales del territorio colombiano. Desde la Ley 9 de 1979 en su artículo 80, hasta el Decreto Único 1072 de 2015, se ha legislado la Seguridad y Salud en el Trabajo cuyo propósito es proteger la salud del trabajador, puesto que representa para la sociedad y para el trabajador, un atributo de gran importancia, por su relación directa con el desarrollo del país en la posibilidad de obtener una mayor rentabilidad, eficiencia y productividad empresarial. Para el trabajador, la conservación de la salud en el proceso Salud-Enfermedad está ligada a su propio desarrollo como persona, a la continuidad de su potencial laboral, a la obtención

de los medios de subsistencia para sí mismo y para su familia y a su integración como parte importante del medio Social. La seguridad y salud en el trabajo se considera como una rama de la salud pública por su estrecha relación con amplios sectores de la población y porque el empresario debe corregir y eliminar los factores de riesgos nocivos que afecten la vida del trabajador o que deterioren el medio ambiente (Decreto Único 1072, 2015).

Nanopartículas (NP): En términos químicos, las NP tienen diferentes propiedades de sus “hermanos y hermanas mayores”: tienen una gran superficie en relación con su pequeña masa y al mismo tiempo un pequeño número de átomos. Esto puede producir efectos cuánticos que conducen a propiedades alteradas del material. Cerámica hecha de nanomateriales puede hacerse flexible de repente, por ejemplo, o una pepita de oro es de color oro, mientras que un nanoplatino de la misma es de color rojizo. Las propiedades químicas y físicas de las NP son determinadas por su morfología tridimensional exacta, estructura atómica y sobre todo su composición superficial. En un estudio iniciado por la científica de ETH Zurich Marta Rossell y el investigador de Empa Rolf Erni, ahora se ha determinado correctamente las estructuras tridimensionales de las NP individuales en el nivel atómico (Balbus *et al.*, 2007; Suh Luh *et al.*, 2009; Tsoji SS *et al.* 2006):

1. La longitud de la partícula esté comprendida entre 1 y 100 nanómetros (nm) al menos en una de sus dimensiones.

2. Que se presenten propiedades y funciones características como consecuencia de su dimensión nanométrica.
3. Que se tenga la capacidad de controlar o manipular a escala atómica.

METODOLOGÍA

Se realizó un estudio descriptivo observacional cualitativo y cuantitativo de las propiedades de las MP y NP de las muestras ambientales recolectadas.

Muestreo ambiental: Con el fin de caracterizar las partículas en un intervalo amplio de tamaños, se utilizó una bomba muestreadora de aire marca GilAir5 Gilian Multi Fol. No. 800519 con calibrador tipo Sensidyne Filian Gilibrator TM 2 803024B, Bubble Generator Rang 20 CC-6LPM P7N 800286. Se utilizó la metodología de la NIOSH: 0600 y 7300 como métodos analíticos para la determinación del material particulado ultrafino (NIOSH, 2011) (Ver Fig. 2). **Las zonas de la toma de muestreo fueron:** dos Restaurantes de asaderos de alimentos, dos en el laboratorio de optoelectrónica y dos en las principales avenidas de la ciudad. Cuando las muestras tienen una concentración $\geq 0.3 \text{ mg/m}^3$ - 2.4 mg/m^3 se llevarán las muestras a los análisis de microscopía electrónica.

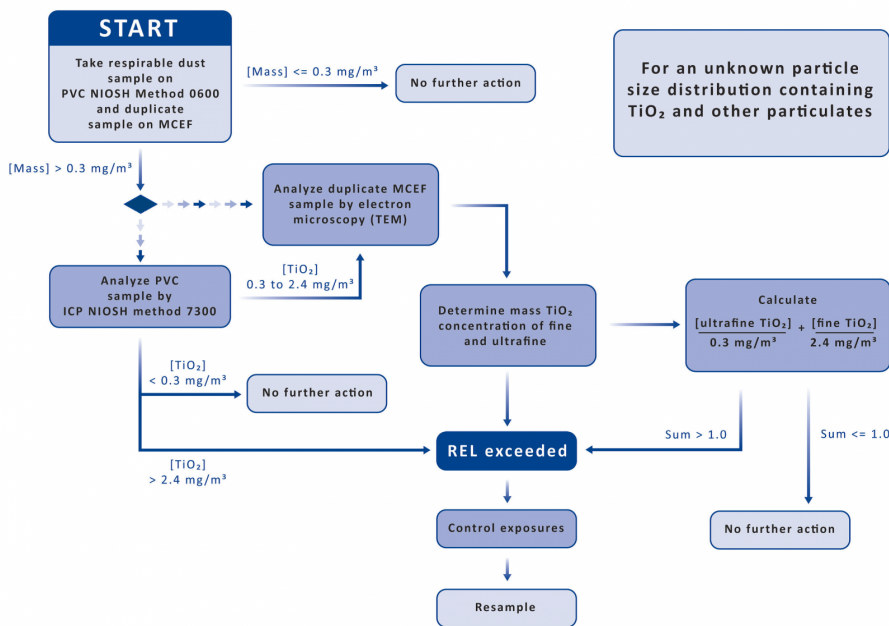


Fig. 2 Exposure assessment protocol for TiO₂ (NIOSH, 2011).

Análisis estadístico: Se aplicó la estadística descriptiva. La estadística descriptiva establece las principales características de las partículas a partir de la observación y el recuento. La media, la mediana y la moda son las expresiones más utilizadas de definir el centro de una distribución (Wonnacott and Wonnacott, 1997). Para calcular las funciones estadísticas se utilizará el programa de Stat Graphics®.

RESULTADOS

muestreo ambiental: Se tomaron dos muestras en asaderos de alimentos, dos en el laboratorio de Optoelectrónica (nano materiales) y dos tomas en avenidas principales de la ciudad. En total fueron 6 muestras. Los resultados de la primera toma de muestras con el método analítico NIOSH 0600 se pueden apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1 Concentraciones de las muestras de acuerdo al método analítico de NIOSH 0600

LUGAR	CONCENTRACIÓN (NIOSH 0600)
Asadero 1 de arepas y carnes	3.08 mg/m ³
Asadero 2 de carnes a la llanera	7.79 mg/m ³
Optoelectrónica 1	0.001 mg/m ³
Optoelectrónica 2	1.58 mg/m ³
Punto 1 de la Av. Bolívar (Hospital de zona)	0.98 mg/m ³
Punto 2 de la Av. 18 (Centro)	0.99 mg/m ³

De acuerdo a la metodología muestro para partículas ultrafinas (Fig. 2 Protocolo de evaluación de la exposición de TiO₂) $\geq 0.3 \text{ mg/m}^3$ se debe de repetir el muestro utilizando el método analítico de NIOSH 7300 (Ver Tabla 2).

Tabla 2 Concentraciones de las muestras de acuerdo al método analítico de NIOSH 7300

LUGAR	CONCENTRACIÓN (NIOSH 7300)
Asadero 1 de arepas y carnes	0.01mg/m ³
Optoelectrónica 2	0.034 mg/m ³
Av. Bolívar Semáforo Uniquindío	1.47 mg/m ³

Análisis estadístico: Al análisis estadístico y electrónico se enviaron 3 muestras al Laboratorio Microscopio Electrónico de Barrido de la Universidad de Caldas (Colombia), tal como se puede observar en las Tablas 3 y 4.

Tabla 3 Análisis estadístico descriptivo de las tres muestras seleccionadas (partículas en nm)

Variable estadística	Asadero 1 arepas y carnes (nm)	Optoelectrónica 2 (nm)	Av. Bolívar Semáforo Uniquindío (nm)
Media,	370.05	259.04	328.07
Error típico	29.04	30.14	297
Mediana, Me	508.90	498.80	512.50
Moda, Mo	254.50	196	300
Desviación estándar, σ (DE)	215.37	211	158.82
Varianza de la muestra, σ^2	45542.42	43612.70	24289.80
Media geométrica (MG)	301.60	348.79	497.20
Desviación geométrica estándar (DGE)	3.43E+93	4.33E+91	9.44E+68

Tabla 4 Análisis estadístico descriptivo de las tres muestras seleccionadas (partículas en μm)

Variable estadística	Asadero 1 arepas y carnes (μm)	Optoelectrónica 2 (μm)	Av. Bolívar Semáforo Uniquindío (μm)
Media,	1.79	1.47	1.37
Error típico	0.10	0.18	0.29
Mediana, Me	1.9	1.36	1.37
Moda, Mo	1.2	-	-
Desviación estándar, σ (DE)	0.46	0.36	0.42
Varianza de la muestra, σ^2	205.85	99.78	88.21
Media geométrica (MG)	1.73	1.43	1.34
Desviación geométrica estándar (DGE)	2.7E+202	2.6E+15	2.5E+18

Composición química: Partículas del Asadero de alimentos (Arepas de maíz, carnes al carbón).

Element	Wt%	At%
CK	94,62	95,91
OK	5,38	4,09
Matrix	Correction	ZAF

Composición química: Partículas de la Vía vehicular (Avenida principal de la Ciudad).

Element	Wt%	At%
CK	72,42	77,87
OK	27,08	21,86
MgK	0,49	0,26
Matrix	Correction	ZAF

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Por medio de la medición del tren de muestreo según la NIOSH 7300 (ver Fig. 2), la concentración de la muestra del asadero de fue de 0.01 mg/m³ (DE=215.5; MG=301.6; DGE=3.4 en nanopartículas y en micras dio DE= 0.46; MG = 1.73 y en DMG=2.7); la muestra tomada en Optoelectrónica fue de 0.034 mg/m³ (DE=211; MG=348.79; DGE=4.3 en nanopartículas y en micras dio DE= 0.36; MG = 1.43 y en DMG=2.6) y en la muestra de la Av. Bolívar fue de 1.47 mg/m³ (DE=328.07; MG=497; .20 DGE=9.4 en nanopartículas y en micras dio DE= 0.42; MG = 1.34 y en DMG=2.5) tal como se puede observar en las Tablas 3 y 4. Los resultados del muestreo ambiental por el método analítico NIOSH 7300 ninguno supero la concentración de 2.4

mg/m³.

Asadero de alimentos: la presencia de C y O característico de las sustancias orgánicas, además son componentes del filtro de celulosa (carne, arepas, maíz, etc. Propio de los asadero de alimentos).

Laboratorio de Optoelectónica: la presencia de C, O, Fe, Na, Mg, Al, Si, Ca, característico de las sustancias inorgánicas, el C y el O son parte de los componentes del filtro de la celulosa.

Avenida Principal: presencia de C y O propio del filtro de la celulosa y Mg muy probablemente como parte de los componentes del polvo de la calle.

CONCLUSIONES

La concentración del asadero fue de 0.01 mg/m^3 (DE=215.5; MG=301.6; DGE=3.4 en nanopartículas y en micras dio DE= 0.46; MG = 1.73 y en DMG=2.7); la muestra tomada en Optoelectónica fue de 0.034 mg/m^3 (DE=211; MG=348.79; DGE=4.3 en nanopartículas y en micras dio DE= 0.36; MG = 1.43 y en DMG=2.6) y en la muestra de la Av. Bolívar fue de 1.47 mg/m^3 (DE=328.07; MG=497; .20 DGE=9.4 en nanopartículas y en micras dio DE= 0.42; MG = 1.34 y en DMG=2.5).

El número de partículas es algo incierto debido a su característica de las partículas ultrafinas en forma aglomerada por lo que no fue posible determinar el número de partículas recogidas. Con respecto al $d_{e,a}$ medio de las muestras en nm fue 370.05, 259.04 y 328.04 nm y 1.79, 1.47 y 1.37 μm ; la deposición de la partícula en el sistema respiratorio humano ocurra en la región inferior del tracto respiratorio y es probable que atravesase las membranas de las celulares de los tejidos adyacentes, considerándose altamente peligroso para la salud del trabajador y para el resto de las personas en la ciudad (partículas del tráfico). En cuanto a la forma de la partícula, todas las partículas tomadas en las fotografías son irregulares, pues se aprecian partículas cuadradas, esféricas, rectangulares, aglomeradas.

Es importante que se realicen estudios epidemiológicos para determinar la incidencia de problemas respiratorios a las personas que laboran en la zona de estudio, cualificar los actuales elementos de protección individual si son o no los adecuados para la prevención de enfermedades laborales del tracto respiratorio.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad del Quindío y a los estudiantes del semillero de investigaciones del Programa de Seguridad y Salud en el Trabajo de la Universidad del Quindío por su apoyo incondicional en cada una de las actividades de muestreo de este proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balbus JM, Maynard AD, Colvin VL, Castranova V, Daston GP, Denison RA, Dreher KL, Goering PL, Goldberg AM, Kulinowski KM, Monteiro-Riviere NA, Oberdörster G, Omenn GS, Pinkerton KE, Ramos KS, Rest KM, Sass JB, Silbergeld EK, and Wong BA (2007), Meeting Report: Hazard Assessment for Nanoparticles—Report from an Interdisciplinary Workshop, *Environmental Health Perspectives*, 11 (115):1654-1659
- Harper M, Muller BS and Bartolucci AI (2002a), Determining particle size distributions in the inhalable size range for Wood dust collected by air samplers, *J. Environ. Monit* 4:642-647.
- Harper, M and Muller, BS (2002b), An evaluation of total and inhalable samplers for the collection of wood dust in three wood products industries, *J. Environ. Monit.*, 4, 648–656.
- Harper M, Akbar MZ and Andrew ME (2004), Comparison of wood dust aerosol size distributions collected by air samplers, *J. Environ. Monit.* 6:18-22.
- Jhonson, D. L. Leith D and Reist C. P. (1987) *J. Aerosol Sci.* 1:87-97.
- Lidén G and Harper M (2006), Analytical Performance Criteria, The Need for an International Sampling Convention for inhalable Dust in Calm Air, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 3: D94–D101.
- McCrone D (1973), The Particle Atlas. 2ª Edición, Enciclopedia de técnicas para la identificación de pequeñas partículas, McCrone Research Institute, US Vol I-VI, p 1600.
- Decreto Único 1072 de 2015 Reglamentario del sector trabajo. Título IV, Capítulo 6 Art. 2.2.4.6.1-2.2.4.6.42.
- NTP 797 (2005), Riesgos asociados a la Nanotecnología, INSHT, España.
- NIOSH (2011) Occupational Exposure to titanium dioxide. Current Intelligence Bulletin 63. Publication N° 2011-160.
- Reina-Hernández J (1999), Estudio Cinético e hidrodinámico de la pirolisis de maderas residuales para su gasificación en reactor de lecho fluidizado, Tesis Doctoral, UPC.
- Rodríguez-Moroto, JJ (2003), Diseño, validación y aplicación de un sistema integrado de caracterización de partículas de aerosol, Tesis, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de CC de Química, ISBN: 84-669-1844-2.

Tsuji JS, Maynard AD, Howard PC, James JT, Lam C-W, Warheit DB and Santamaria AB, (2006) Research Strategies for Safety Evaluation of Nanomaterials, Part IV: Risk Assessment of Nanoparticles Toxicological Sciences 89(1): 42–50

Suh WH, Suslick KS, Stucky GD, Suh YH (2009), Nanotechnology, nanotoxicology, and neuroscience, Progress in Neurobiology 87 (2009) 133–170

Wonnacott THW and Wonnacott RJW (1997), Introducción a la estadística, Limusa Noriega Editores, II ed., México, ISBN 968-18-4509-9, Pag. 784.