

# “Caracterización del polvo de madera de carpinterías del quindío (colombia) por SEM/EDRXA”



## **Gómez Yepes, Milena Elizabeth**

Universidad del Quindío/ Facultad Ciencias de la Salud/ Programa de Salud Ocupacional/ Departamento del Quindío/ Cra 15, Cll 12 N, Armenia tlf: (+57)7460188/ Colombia (Suramérica)

Email: [milenagomez@uniquindio.edu](mailto:milenagomez@uniquindio.edu)

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB)/Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) / Av. Diagonal 647 planta 10/Tel:+34 93 401 1973/ 08028/ Barcelona



## **Cremades Oliver, Lázaro V.**

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB) - Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) / Av. Diagonal 647 / 08028 Barcelona<sup>2</sup>. Universitat Politècnica de Catalunya UPC, Departament de Projectes d'Enginyeria, ETSEIB, Barcelona, España. Av. Diagonal, 647, planta 10, 08028 Barcelona (Spain), tel.: (+34) 93 401 1750 / (+34) 93 739 8386, fax: (+34) 93 401 6646, e-mail: [Lazaro.Cremades@upc.edu](mailto:Lazaro.Cremades@upc.edu)

## **ABSTRACT**

Se realizó un muestreo de partículas en aire de acuerdo al método analítico NIOSH 0500 a 10 carpinterías del Quindío (Colombia), con el objetivo de caracterizar y analizar el factor de forma, la composición elemental, el tamaño de partícula y el diámetro equivalente aerodinámico ( $d_{ea}$ ) del polvo de madera. Las partículas se caracterizaron por medio de microscopía electrónica de barrido (SEM) y análisis de energía dispersiva de rayos X (EDXRA). Los resultados del análisis SEM de las partículas mostraron que las fibras con un factor de forma cónica tenían un  $d_{ae}$  comprendido entre 2.1 y 48.8  $\mu\text{m}$ ; la forma de prisma rectangular, de 0.6 a 229.8  $\mu\text{m}$ ; la forma cilíndrica, de 1.5 a 48.8  $\mu\text{m}$ , y la forma esférica, de 2.6 a 51.9  $\mu\text{m}$ . En la composición elemental de las partículas mediante el uso de EDXRA, también se observó la presencia de elementos químicos de las pinturas y barnices, tales como Ca, K, Na y Cr, éste último considerado carcinógeno para la salud de los trabajadores. El análisis SEM / EDXRA contribuye de manera significativa al estudio de la caracterización morfológica de las partículas del polvo de madera a fin de comprender sus efectos nocivos en la salud de los carpinteros del Quindío.

**Palabras clave:**

Polvo de madera, fibras, no-coníferas, coníferas, material particulado, diámetro aerodinámico.

**INTRODUCCIÓN**

Tradicionalmente, la caracterización de partículas se ha limitado 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).

Durante el proceso y manejo de la madera, paneles contrachapados y aglomerados se genera el polvo de aserrín que contiene partículas minúsculas de madera conocidas también con el nombre de virutas. La viruta es un fragmento de material residual con forma de lámina curvada o espiral que es extraído mediante cepillado, lijado u otras herramientas al realizar trabajos sobre madera o metales en forma de dispersión. El polvo formado por dispersión suele ser más irregular, en cuanto a forma y tamaño, que el formado por condensación. Las máquinas emiten partículas, cuyos tamaños varían de acuerdo a la maquina a utilizar desde partículas mayores de 100  $\mu\text{m}$  hasta mm y partículas por debajo de 10  $\mu\text{m}$ , con una velocidad de decenas de metros por segundo. Las partículas de madera muestreadas con diámetros aerodinámicos entre 10-100  $\mu\text{m}$  ha sido la mayor preocupación en el estudio de enfermedades de tracto respiratorio superior, causante del cáncer nasal o enfermedades asociadas a la exposición del polvo de madera (Harper *et al.*, 2002a; Harper *et al.* 2002b; Harper *et al.*, 2004; MPSC, 2007; Lazovich *et al.*, 2002a; Lazovich *et al.*, 2002b; OSHA, 1989; Vaughan *et al.*, 2000; Barcenas *et al.*, 2005; Hildesheim *et al.*, 2001; Magnavita *et al.*, 2003).

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. La fracción inhalable es equivalente a la cantidad de partículas peligrosas que entrará en la nariz y/o boca. La cantidad de partículas que penetran en el sistema respiratorio más allá de la laringe es la fracción torácica, y la cantidad que depositará dentro de la región de intercambio gaseoso de los pulmones es la fracción respirable (Lidén *et al.*, 2009).

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). De estas propiedades, la caracterización del tamaño de partículas y las características de la superficie son de vital interés. Las propiedades para la caracterización de la partícula del polvo de madera vienen determinadas por los siguientes parámetros: tamaño de partícula, densidad de la partícula, morfología. En el análisis morfológico se suele usar el microscopio electrónico para observar las formas, superficie (por replicación) y el análisis de energía dispersiva de rayos X, concentración de partículas en masa y número, composición química de las partículas (Rengliang, 2002).

Según el Particle Atlas de McCrone (McCrone, 1973), la identificación de las fibras de madera es posible a través de la observación de los poros. La diferencia entre las fibras de coníferas y no-coníferas no siempre es fácil. Las células alargadas y con múltiples filas de poros son la única característica reconocida y distintiva. Las fibras alargadas acompañadas de poros corresponden a las fibras de coníferas. Las fibras largas de coníferas son mucho más delgadas que las fibras de no-coníferas. La mayoría de las fibras de no-coníferas son de paredes gruesas, cortas, y tienen una tonalidad variada de amarillo a anaranjado.

## MATERIALES Y METODOS

**Muestreo:** Se realizó un muestreo por conveniencia de 10 empresas previamente identificadas, teniendo en cuenta la similitud de las tareas en la fabricación de muebles de madera (GQ, 2006; CCA, 2007); se tomaron 40 muestras de las cuales se agrupó en dos grandes grupos (muestra #1 y muestra #2). El tiempo mínimo de muestreo personal fue de 70 minutos y un caudal de 1.5 l/min. Las muestras fueron enviadas desde la Universidad del Quindío (Colombia) a la UPC (España) para el análisis de las partículas. 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. Los filtros hidrofóbicos utilizados con un tamaño del poro de la membrana entre 2 a 5  $\mu\text{m}$  de PVC 37 mm de cara abierta. Además, se usó un desecador con silica gel y una balanza analítica Gibertini E50-S calibrada para un peso mínimo de 0.001 mg. El método analítico utilizado fue la NIOSH norma 500 "Polvo total no respirable" (ACGIH, 2004; NIOSH, 1994; Londoño, 1996). En este estudio se aplicó la estadística descriptiva (Wannacott

et al., 2008). Para calcular las funciones estadísticas se utilizó el programa Excel de Microsoft®.

**Morfología:** Los resultados obtenidos se describen en las microfotografías por SEM. El barrido de imágenes se realizó con un microscopio *Scanning JEOL JSM 6400* (JMS) y para observar las formas, superficie (por replicación) se utilizó la técnica de energía dispersiva de rayos X, más conocido por sus siglas en inglés EDXRA (*Energy-Dispersive X-Ray Analysis*) en el laboratorio de Microscopía Electrónica de la ETSEIB-UPC.

**Factor de forma de la partícula y el diámetro equivalente aerodinámico,  $d_{ea}$ :** El factor de forma para partículas individuales fue calculado mediante la ecuación 1 (Harper et al. 2002a; Lee et al. 1989):

$$K_D = 0.864 \left[ \frac{1}{3} + \frac{2}{3} \left( \frac{d_s}{d_n} \right) + 0.0739 \left( \frac{d_{max}}{d_n} \right) + 0.0108(AR) \right] \quad (1)$$

donde  $K_D$  es el factor de forma teórico dinámico;  $d_s$  es el diámetro de la esfera con un área de superficie igual a la del objeto (volumen del diámetro equivalente);  $d_n$  es el diámetro de la esfera con un área proyectada igual a la del objeto;  $d_{max}$  es la máxima dimensión del objeto medido en dirección del movimiento;  $AR$  es la relación entre la dimensión más larga y la más corta del objeto en el área normal proyectada en dirección al movimiento (Lee et al. 1989).

El diámetro de volumen equivalente se puede convertir a diámetro equivalente aerodinámico por corrección de la densidad y factor de forma, mediante la ecuación 2 (Jhonson et al. 1987):

$$d_{ea} = D_s \sqrt{(\Delta \bar{K})} \quad (2)$$

donde  $d_{ea}$  es el diámetro equivalente aerodinámico;  $D_s$  es el diámetro del volumen equivalente;  $\Delta$  es la densidad de la partícula;  $\bar{K}$  es la media de todas las orientaciones del factor de forma dinámico (Jhonson et al. 1987).

Las expresiones geométricas fueron tomadas del *The Particle Atlas* (McCrone, 1973).

**La densidad aparente de la madera:** los pesos por volumen unidad de la mayoría de maderas de no coníferas secas al aire varía entre 0.5 y 0.7; el de la mayoría de coníferas se halla por debajo de 0.6 con un promedio de 0.5 (Reina-Hernández, 1999). McCrone promedió la densidad de ambos tipos de madera en 1.5 (McCrone, 1973) y esta densidad se tomó como referencia en el análisis del  $d_{ea}$ .

**Tamaño de partícula y  $d_{ea}$ :** Los datos se obtuvieron a partir del barrido SEM. El

instrumento de medida estaba conectado a un ordenador personal, con el software *Omnimet Enterprise* adecuado para visualizar y almacenar en pantalla los resultados a medida que se iban obteniendo los datos. El tamaño medio de grano fue determinado por el método de intercepción según la norma ASTM E-112 y se realizó el análisis estadístico descriptivo de las partículas de las dos grandes muestras. El software *Omnimet Enterprise* de la casa Buehler es un programa de análisis de imagen que también incluye la opción de visualizar y capturar imágenes digitales. Se utiliza principalmente para determinar el tamaño de grano, porcentaje de fases y toma de medidas independientes. Los cálculos se basan en la cantidad de píxels de la imagen original que han sido pintados en color rojo como puede apreciarse en la Fig. 4. A partir de las micrografías tomadas se selecciona las partículas que quedaron atrapadas en la malla y se pasa a un mapa de bits, en este caso lo sombreado por el rojo, y utilizando la rutina del ASTM-E112 se obtienen las medidas del tamaño de partícula (ASTM, 2004).

**Concentración de partículas en masa y número:** La concentración es la propiedad del aerosol más comúnmente medida, y una de las más importantes desde el punto de vista de la salud y efectos medioambientales. La concentración másica, masa de materia particulada por unidad de volumen del aerosol, normalmente se expresa como  $\text{g/m}^3$ ,  $\text{mg/m}^3$  o  $\mu\text{g/m}^3$ . La concentración másica es equivalente a la densidad de un aerosol, aunque este término no se emplea para evitar malas interpretaciones en cuanto a la densidad de partícula. Otra magnitud medida habitualmente es la concentración en número, número de partículas por unidad de volumen, normalmente expresada como  $\text{partículas/cm}^3$ . La concentración del muestreo del polvo de madera en diferentes industrias de la madera realizada por la NIOSH en EEUU en el 2002, fue de  $7.4 \text{ mg/m}^3$  con un 90% de partículas  $> 100 \mu\text{m}$ , y de  $147 \text{ mg/m}^3$  con un 79% de partículas  $> 100 \mu\text{m}$  (Harper *et al.*, 2002; Harper *et al.*, 2004). Las áreas de trabajo en las que más concentraciones de polvo se han medido han sido las de lijado con herramientas estacionarias o de banda, lijado con herramientas manuales eléctricas, serrado, ensamble, sierras, limpieza manual de polvo y con pistola aspiradora (Brosseau *et al.*, 2002; Harper *et al.*, 2002; Hamill *et al.*, 1991; Friesen *et al.*, 2005; Bullock and Laird, 1994; Mikkelsen *et al.*, 2002; Schlünssen *et al.*, 2001). Los niveles del polvo de madera aumentan cuando se operan lijadoras de banda (Brosseau *et al.*, 2002).

**Composición química de las partículas:** En otro orden diferente, pero complementario para la caracterización completa de las partículas, se encuentra el análisis de la composición elemental mediante la técnica de EDXRA, que aporta una información adicional de gran interés, para diferenciar y deducir el origen o

procedencia de la partícula a nivel de inmisión de contaminación atmosférica. El espectro muestra la presencia de C y O en la escala de  $k_{\alpha}$  4.4000 y 2.3708 respectivamente, que son los elementos principales de la celulosa (madera). El Au ( $k_{\alpha}$  9.711) que se aprecia en el espectro es de la cubierta de la muestra para el barrido de EDXRA y la presencia de Cl ( $k_{\alpha}$  2.622) es debida al filtro PVC o puede ser un componente de un inmunizante organoclorado. Uno de principales componentes de pinturas y barnices para los acabados del mueble son los cromatos de plomo, cinc, estroncio y níquel producen distintas gamas de amarillo y anaranjado. Se utiliza un conjunto de sólidos orgánicos para obtener otros colores ( $K_2Cr_2O_7$ ,  $Cr_2O_3 \cdot FeO$ ,  $CrO_3$ ,  $PbCrO_4$ ). El óxido de cromo VI es un fijador en la madera; hay que remarcar que el Cr con valencia +6 es considerado cancerígeno (Cohen *et al.*, 1993).

## RESULTADOS

**Morfología:** En la Fig. 1 aparece una serie de microfotografías en las que se observan fibras largas e irregulares, encintadas y con desgarro, lo que es característico de las coníferas. Además, se observan fibras cortas, planas y compactas, lo que es característico de las no-coníferas.

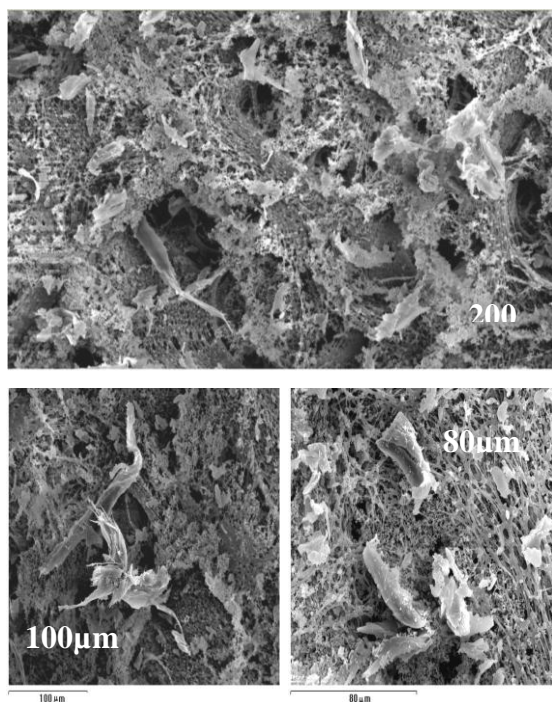


Fig. 1. Serie de microfotografías de partículas del polvo de madera obtenida por el microscopio electrónico de 200, 100 y 80  $\mu$ m. se puede observar fibras largas, leñosas o rasgadas, delgadas y encintadas que son características de las fibras de coníferas, y fibras cortas, gruesas y compactas son características de las fibras no-coníferas, lo que hace suponer que en las carpinterías se utilizaban ambos tipos de madera.

**Factor de forma de la partícula y  $d_{ea}$ :** En este estudio, las formas escogidas para hallar el factor de forma de la partícula de madera y el  $d_{ea}$  han sido: los prismas rectangulares, esferas, conos y cilindros, tal como se aprecia en la Fig. 2.

*Prisma rectangular:* se determinó un tamaño de partícula comprendido entre 32.9 y 229.8  $\mu\text{m}$   $d_{ea}$  (muestra #1), y de 0.65 a 25.1  $\mu\text{m}$   $d_{ea}$  (muestra #2).

*Esferas:* cuanto a la forma esférica, se obtuvieron unos rangos de  $d_{ea}$  de 9.1 a 51.9  $\mu\text{m}$  (muestra #1) y de 2.6 a 10.4  $\mu\text{m}$  (muestra #2).

*Conos:* para las partículas irregulares de forma cónica, los rangos de  $d_{ea}$  obtenidos fueron de 32.9 a 48.8  $\mu\text{m}$  (muestra #1) y de 2.1 a 16.2  $\mu\text{m}$  (muestra #2).

*Cilindros:* para las partículas irregulares con forma de cilindro, los rangos de  $d_{ea}$  obtenidos fueron de 33.6 a 48.8  $\mu\text{m}$  a (muestra #1) y de 1.5 a 12.1  $\mu\text{m}$  (muestra #2).

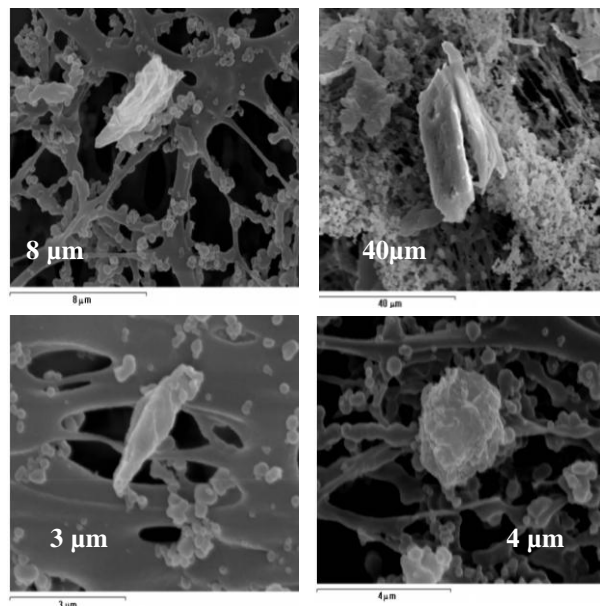


Fig. 2. Serie de microfotografías partículas de polvo de madera irregulares aproximadas a una forma cónica con escala de 8  $\mu\text{m}$ , rectangular a 40  $\mu\text{m}$ , cilíndrica a 3  $\mu\text{m}$  y esférica a 4  $\mu\text{m}$  obtenidas por el microscopio electrónico.

**Tamaño de la partícula y  $d_{ea}$ :** Las partículas de la muestra #1 tienen un rango de  $d_{ea}$  entre 4.3 y 63.4  $\mu\text{m}$ , y de la muestra #2, el rango  $d_{ea}$  obtenido fue de 2.5 a 72.9  $\mu\text{m}$ . El  $d_{ea}$  medio de las muestras fue de 22.7 y de 14.3  $\mu\text{m}$ , respectivamente. En la Fig. 3 se aprecia la distribución del tamaño de partícula de las muestras #1 y #2.

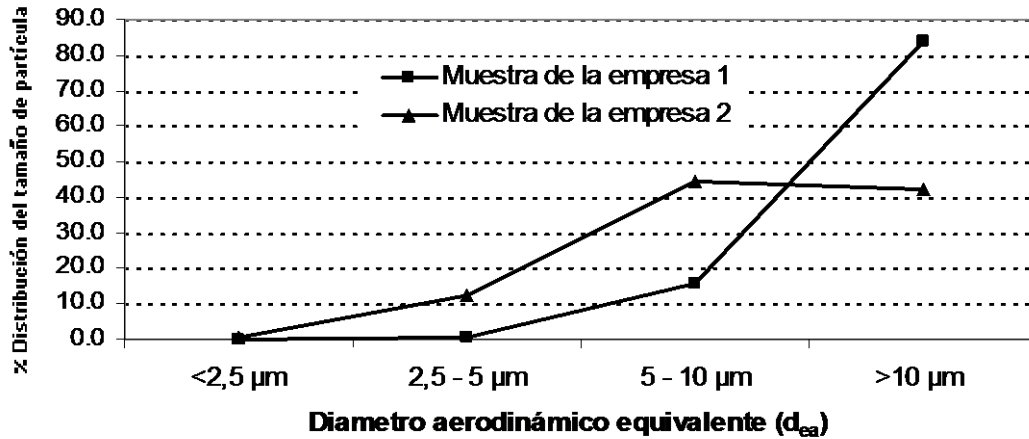


Fig. 3. Distribución del tamaño de partícula de las muestras #1 y #2. El dae medio de la muestra #1 fue de 22.7 µm y de la muestra #2 fue de 14.3 µm. Por lo tanto, es probable que la deposición de las partículas en el sistema respiratorio humano ocurra en la región superior del tracto respiratorio.

**Datos estadísticos de la distribución y tamaño de partículas:** A partir de los datos obtenidos del barrido de imágenes con el JMS y el método de tamaño de grano ASTM E-112, se realizó el análisis estadístico descriptivo de las partículas. En la Fig. 4 se puede observar la técnica utilizada para determinar el tamaño del grano de la partícula de madera.

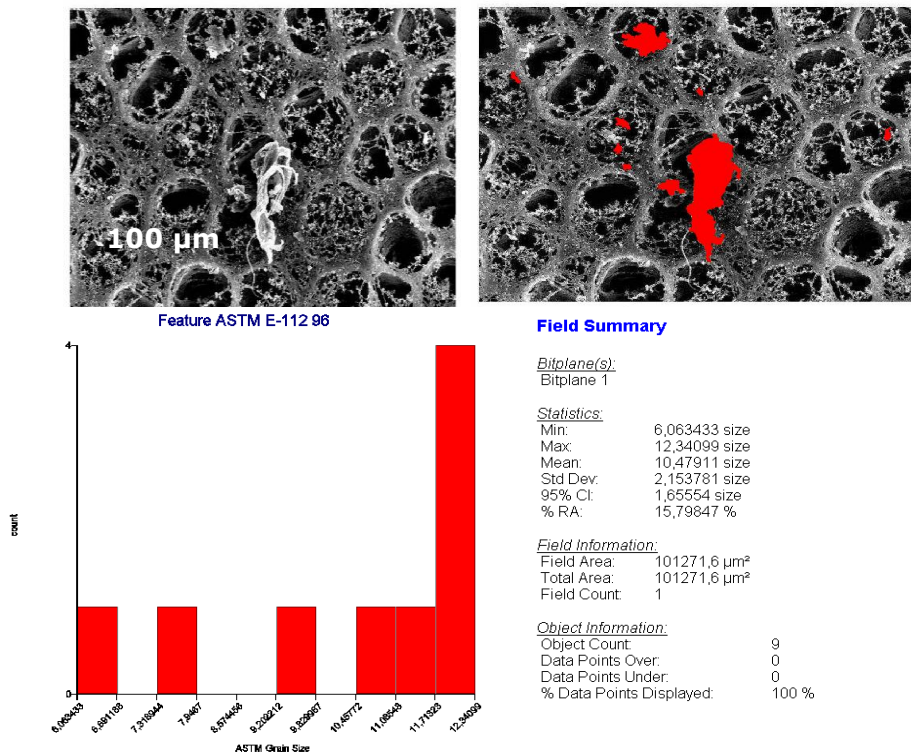


Fig. 4. La microfotografía de la derecha fue tomada por microscopía electrónica JEM y la microfotografía de la izquierda fue tratada con el programa de Omnimet Enterprise; la calibración es de 0,55249 µm/píxel.



**Concentración de partículas en masa y número:** La concentración determinada de la muestra #1 fue de  $77.1 \text{ mg/m}^3$  (DE=13.0; MG=0.6; DGE=1.8) y de la muestra #2 fue de  $12.4 \text{ mg/m}^3$  (DE=14.7; MG=0.7; DGE=2.08). Teniendo en cuenta la concentración de las muestras, la densidad constante y el área total del filtro de  $1075.21 \text{ mm}^2$ , el número de partículas para la muestra #1 resulta ser de aproximadamente  $336300 \text{ partículas/cm}^3$  y de  $275700 \text{ partículas/cm}^3$  para la muestra #2.

**Composición química de las partículas:** En la Fig. 5 se aprecia una partícula tomada en la sección de segundo lijado (el mueble es pintado y lijado nuevamente para un acabado de pintura). El espectro establece la presencia de Ca, K, Na y Cr, que pueden ser características de los componentes de pinturas y barnices.

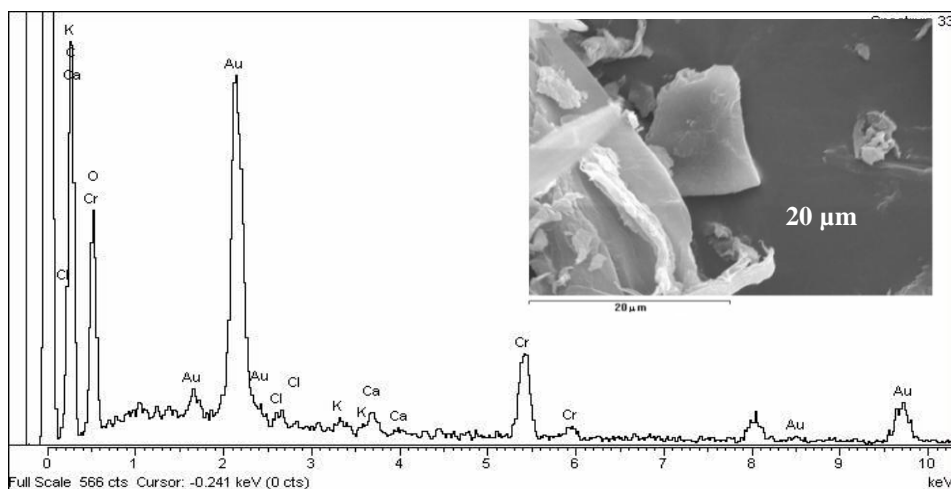


Fig. 5. Microfotografía de una partícula de polvo de madera obtenida por el microscopio electrónico con su respectivo espectro a una escala de  $20 \mu\text{m}$ , el espectro indica la presencia de Ca, K, Na y Cr, que pueden ser característicos de los componentes de pinturas y barnices.

## DISCUSIÓN

**Morfología:** En el barrido con el microscopio electrónico se observaron fibras largas, leñosas o rasgadas, delgadas y encintadas y fibras cortas, gruesas y compactas, que son características de la madera dura, lo que hace suponer que en las carpinterías se utilizaban ambos tipos de madera. Se observaron partículas de formas tipo cristal, posiblemente debido a la cubierta de pinturas u otros productos químicos que se le añaden a la madera. Es de destacar el pequeño tamaño de estas partículas ( $< 20 \mu\text{m}$ ) que, sumado a los productos químicos de la pintura o inmunizantes añadidos, puede suponer un mayor riesgo para la salud de los carpinteros. A estas partículas se les hizo un EDXRA, confirmando la presencia en el espectro de sustancias tóxicas como el Cr. Las partículas con tamaños por debajo de  $3 \mu\text{m}$  son un gran riesgo para las vías aéreas inferiores (tejido pulmonar y alvéolos).

**Tamaño de partícula:** El  $d_{ea}$  medio de la muestra #1 fue de 22.7  $\mu\text{m}$  y de la muestra #2 fue de 14.3  $\mu\text{m}$ ; por lo tanto, es probable que la deposición de la partícula en el sistema respiratorio humano ocurra en la región superior del tracto respiratorio. En el estudio realizado por Gómez-Yepes *et al.* (2009) sobre las condiciones de trabajo y salud, se detectó que ninguna empresa llevaba el programa de vigilancia epidemiológica de material particulado ni los registros de absentismo laboral por problemas respiratorios, aunque el personal entrevistado se quejó de sufrir de tos, ronquera, rinitis y gripes frecuentes (Gómez-Yepes *et al.*, 2009).

**Factor de forma de la partícula y  $d_{ea}$ :** La fracción inhalable está formada por las partículas con diámetro aerodinámico inferior o igual a 100  $\mu\text{m}$ ; no obstante, las partículas de tamaño superior a 100  $\mu\text{m}$  con suficiente inercia pueden viajar distancias considerables y son susceptibles de ser inhaladas. Con el fin de determinar la cantidad de aerosoles gruesos que podrían ser aspirados por boca y nariz humanas, varios investigadores realizaron pruebas de vida en el túnel de viento utilizando un maniquí de tamaño normal al que se le colocó un respirador que cubría la nariz y boca (Harper *et al.*, 2002a). Se muestrearon diversos tamaños de partículas bajo unas condiciones de velocidad del viento de 8 m/s. Los resultados mostraron que la inhalación de los aerosoles de hasta 100  $\mu\text{m}$  en suspensión en el aire disminuye con su diámetro aerodinámico (Harper *et al.*, 2002a).

**Concentración de partículas en masa y número:** Las muestras estaban por encima del TLV permitido de 5  $\text{mg}/\text{m}^3$  por la ACGIH, de acuerdo con el método analítico NIOSH 0500. Ese nivel corresponde a un ambiente laboral interno altamente contaminado por el material particulado del polvo de madera, lo que hace suponer que los controles de higiene industrial son deficientes o inexistentes en las empresas visitadas.

**Composición química de las partículas:** Los espectros arrojaron información relevante de la presencia de sustancias químicas (componentes de barnices y pinturas), considerados en su mayoría peligrosos para la salud de los trabajadores, en especial el Cr de las pinturas.

## CONCLUSIONES

La diferencia entre las fibras de coníferas no-coníferas no siempre es fácil. Las fibras alargadas acompañadas de poros corresponden a las fibras de coníferas. La mayoría de las fibras de no-coníferas son de paredes gruesas y cortas. Las partículas de la madera son de forma irregular y pueden ser clasificadas como no esféricas; la forma polimórfica de la partícula hace que sea difícil centrarse en una sola característica. Estas características morfológicas de las fibras de las coníferas hace

presumible que éstas sean más agresivas en la deposición de los tejidos blandos de la nariz y los pulmones que las fibras de no-coníferas, aunque los efectos sean más letales en estas últimas. Sin embargo, la aparición del cáncer nasal y pulmón es más tardía, que los problemas respiratorios e irritaciones provocadas por las fibras de las coníferas, como el asma ocupacional y el EPOC. Un hecho igualmente grave en el acabado de madera es la presencia de compuestos o elementos químicos derivados de la pintura y barnices, como el  $\text{Cr}^{6+}$  considerado cancerígeno.

La deposición de la partícula en el TR de acuerdo al promedio del  $d_{ea}$ , podría estar en la zona superior afectando la nariz, la boca, nasofaringe, orofaringe, epiglotis y la laringe, aunque se detectaron partículas con  $d_{ea}$  por debajo de  $5 \mu\text{m}$ , que podrían afectar la zona inferior del TR, siendo potencial en la generación de problemas o enfermedades pulmonares. La concentración del material particulado estaba por encima del TLV indicado para el polvo de madera (15 veces superior en la muestra #1, y 2 veces superior en la muestra #2), lo que confirma el escaso control del material particulado en el ambiente de trabajo, aumentando considerablemente las probabilidades de enfermar. Ello nos ha demostrado la deficiencia de los programas de vigilancia epidemiológica de material particulado de las empresas visitadas, agravando la problemática de la salud de los trabajadores, pues en estudios anteriores se han señalado problemas de tos, ronquera, rinitis y gripes frecuentes, muy propias de la exposición al polvo de madera sin la debida protección respiratoria correspondiente.

## FUTUROS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN

El conocer nuevos factores de forma de la partícula de la madera podría contribuir en el futuro en la implementación de nuevas innovaciones de muestreo de polvo de madera, en el diseño tejidos de protección respiratoria específica para carpinteros, y sobre todo, investigar más exhaustivamente el comportamiento de la partícula de acuerdo a la morfología en el tracto respiratorio humano.

## REFERENCIAS

- ACGIH (2008), Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical agent, TLV'S and BEL'S American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Worldwide, Cincinnati, OH.
- ASTM E-112 (2004). Standard Test Methods for Determining Average Grain Size. ASTM E112-96 International. 100 Barr Harbor Drive. PO Box C700. West Conshohocken. PA 19428-2959. United States.

- Barcenas, C. H., Delclos, G. L., El-Zein R., Tortolero-Luna G, Whitehead L. W. and Spitz, M. R (2005). *American Journal of industrial Medicine*, 2005, 47:349-357.
- Brosseau, L. M., Parker, D., Lazovich, D. and Dugan S. (2001) *Journal Health & Medical Complete AIHAJ*.62 (3):322-329.
- Brosseau, L. M., Parker, D., Lazovich, D., Dugan S. and Milton T. (2002) *American Journal of Industrial Medicine* 2002, 41:54-61
- Bullock W. H. and Laird L. T. (1994) *Health & Medical Complete*. 55:836
- Casal J., Lucas A. and Arnaldo, J. (1985) *Eng. J*, 1985, 30:155.
- CCA (2007) *Estadísticas Registros mercantiles*, Cámara de Comercio de Armenia. Armenia, (CCA), Armenia (Colombia).
- Cohen MD, Kargacin B, Klein C, and Costa M (1993) *Mechanisms of Chromium carcinogenicity and toxicity. Critical Reviews in Toxicology* 23(3):255-281
- CCS (1998a) Consejo Colombiano de Seguridad (CCS), *Revista Salud, Trabajo y Ambiente*, 4:18
- CCS (1998b) Consejo Colombiano de Seguridad 1998b CCS, *Revista Salud, Trabajo y Ambiente*, 5:18
- Friesen M. C., Davies, H. W., Teschke, K., Marion S. and Demers P.A. (2005) *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2(12):650.
- GQ (2006), *Datos generales del departamento*, Secretaria de Cultura y Turismo. Gobernación del Quindío (GQ). Colombia.
- Gómez-Yepes ME, Sánchez-López JF, Villamizar RH, Pioquinto JF, Torres P, Sánchez D, Camargo LM, Castañeda RA, Cardona AM, Cremades LV (2009) *Health and working conditions in carpenter's Workshops in Armenia (Colombia). Industrial Health*. Aceptado el 30 Julio 2009 (pendiente de publicación).
- Hamill, A., Ingle, J., Searle S. and Williams K. (1991) *Ann Occup. Hyg.* 35 (4):397-403.
- Harper, M., Muller B. S. and Bartolucci, A. I. (2002a), *J. Environ. Monit* 4:642-647.
- Harper M. and Muller, B. S. (2002b) *J. Environ. Monit* 2002b, 4: 648-656.
- Harper, M., Akbar M. Z. and Andrew, M. E. (2004) *J. Environ. Monit.* 6:18-22.
- Hildesheim, A., Dosemeci, M., Chan, C. C., Chen, C. J., Cheng, Y. J., Chen, I. H., Mittl B. F., Sun, B., Levine, P. H., Chen, J. Y., Brinton L. A. and Yang, C. S. (2001). *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention*.10:1145-1153.
- Jhonson, D. L., Leith D and Reist C. P. (1987) *J. Aerosol Sci.* 1:87-97.
- Lazovich, D., Murray D. M., Brosseau L. M., Parker, D. L., Milton F. T. and Dugan S. K. (2002a) *American Journal of Public Health.* 9:1498-1505.
- Lazovich, D., Murray, D. M., Brosseau, L. M., Parker, D. L., Milton, F. T., Dugan, S. K. (2002b). *Ann Occup Hyg*, 2002a, 46:219-227.

- Lee C. T. and Leith, D. (1989) *J. Aerosol Sci.* 20(5):503-513.
- Lidén G. and Harper M. (2006), *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 3: D94-D101.
- Londoño J. (1996), *Higiene III. Factores de Riesgo Químico. Universidad del Quindío, Unidad.6, Pags. 87-96.*
- Magnavita, N. Sacco, A. Bevilacqua L., D'Alessandris T., Bosman C. (2003) *Occupational Medicine;; Health & Medical Complete* 53: 231.
- McCrone, D.(1973) *The Particle Atlas, 2nd edn. Vol I-VI, p 1020-1027.*
- MPSC (2007) *Guía de Atención Integral de Salud Ocupacional Basada en la Evidencia para Asma Ocupacional (GATISO-ASMA), Ministerio de Protección Social de Colombia (MPSC).*
- Mikkelsen, A. B. Schlünssen, V. Sgsgaard T. and Schaumburg I. (2002) *Ann. Occup. Hyg.* 2002, 46 (8):673-685
- OSHA (1989) *Wood dust, Occupational Safety and Health Administration. US..*
- NIOSH (1994), *National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Manual of Analytical Methods, Fourth edition, Particulates Not Otherwise Regulated, Total: Method 0500. Issue 2. NIOSH, Cincinnati, OH.*
- Reina-Hernández J. (1999) *Ph.D. Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).*
- Rengliang X. (2002) *Particle Characterization: Light scattering methods. Kluwer Academic Publishers, US. ch. 1, pags1-55.*
- Rodriguez-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.*
- Vaughan, T. L. Stewart, P. A. Teschke, K. Lynch, C. F. Swanson, G. M. Lyon J. L. and Berwick M (2000). *Occup. Environ. Med.* 2000, 57:376-384
- Wonnacott T. H. and Wonnacott R. J. (2008) *Introducción a la estadística, 2º Ed. Limusa ch. 6 pag. 252-255.*
- Schlünssen V., Vinzents P. S., Mikkelsen A. B. and Schaumburg I. (2001) *Ann. Occup. Hyg.*, 2001, 45: 157-64.