

Higiene y Sanidad Ambiental, 13 (4): 1060-1065 (2013)

Comportamiento de partículas menores de 10 micras mediante dos equipos de monitoreo

BEHAVIOR OF PARTICLES DIAMETER SIZE LESS THAN 10 MICRONS BY TWO MONITORS

Miriam MARTÍNEZ VARONA, Enrique MOLINA ESQUIVEL, Geominia MALDONADO CANTILLO, Mileydis GUZMÁN VILA, Diosdado ALONSO GARCÍA

Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología (INHEM). Infanta 1158 e/ Llinás y Clavel. Código postal 10300. Ciudad de La Habana, Cuba. Correo-e: mmartinez@sinha.sld.cu

RESUMEN

Con el objetivo de poder comparar dos equipos que tienen el mismo principio de funcionamiento para determinar concentraciones de partículas menores de 10 micras, se realizó el estudio en el periodo de enero 2012 a diciembre 2012 fueron colectadas 97 muestras paralelas de material particulado menor de 10 μm de diámetro (PM_{10}) en la estación de monitoreo del Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y Microbiología (INHEM), utilizando dos modelos de equipos impactadores inerciales para captación de PM_{10} : a) Derenda LVS- PM_{10} a un caudal de 38,33 L/min y b) Air Ingeniering tipo Harvard diseñado para el monitoreo de PM_{10} a un caudal de 10 L/min. La base de datos fue confeccionada en Microfoft EXCEL 2003 y procesada mediante el programa SPSS v15. El análisis estadístico incluyó valores de tendencia central, porcentajes de trasgresión de las concentraciones máximas admisibles nacionales (CMA), valores máximos y mínimos. Se evaluó la correlación entre las concentraciones obtenidas por ambos equipos mediante el coeficiente de Pearson. Las concentraciones medias de los dos métodos estudiados y de hollín resultaron inferiores a las correspondientes CMA. Se observó una fuerte correlación entre los dos métodos empleados para PM_{10} , y una correlación baja entre las determinaciones de PM_{10} por ambos equipos y el hollín. Se apreció una disminución de la concentración los fines de semana. Las frecuencias de trasgresión de la norma fueron relativamente bajas.

Palabras clave: Contaminación atmosférica, material particulado, PM_{10} .

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica por material particulado es la alteración de la composición natural de la atmósfera como consecuencia de la entrada en suspensión de partículas, ya sea por causas naturales o antropogénicas.^[1]

Se denomina PM_{10} a las partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersas en la atmósfera, y cuyo diámetro aerodinámico (\emptyset) es menor que 10 μm (1 micrómetro = 1×10^{-3} milímetros). Están formadas principalmente por compuestos inorgánicos como

silicatos y aluminatos, sulfatos y nitratos, metales pesados entre otros, y material orgánico asociado a partículas de carbono (hollín).^[2]

Las fuentes de PM_{10} son:

- Fenómenos naturales
 - Incendios forestales
 - Emisiones volcánicas
 - Erosión de desiertos y superficies
- Actividades humanas
 - La contaminación generada por la combustión en los automóviles
 - Actividades industriales
 - Labores agrícolas o de construcción

- Re suspensión por el viento de partículas sedimentadas
- Quema agrícola

Las PM₁₀ al ser inhaladas y al penetrar con facilidad al sistema respiratorio humano, causan efectos adversos a la salud de las personas específicamente a la salud respiratoria. Por alcanzar viajar más profundamente en los pulmones y por estar compuesta de elementos tóxicos (como metales pesados y compuestos orgánicos que causan cáncer). Dentro de la fracción PM₁₀, las partículas menores de 2,5 μm \varnothing (PM_{2,5}) alcanzan los conductos bronquiales más finos y distales (epitelio no ciliado) del sistema respiratorio, por lo que su remoción es mucho más difícil, quedando atrapadas y pudiendo generar efectos más severos sobre la salud.^[3]

Actualmente se considera que las partículas en suspensión son el problema de contaminación ambiental más severo a nivel mundial, y más aún en los países en desarrollo. Las PM₁₀ están detrás de numerosas enfermedades respiratorias, problemas cardiovasculares, y cáncer de pulmón. A largo plazo se ha estimado que la exposición a partículas en suspensión puede reducir la esperanza de vida entre varios meses y dos años.

El humo normalizado o también llamado Hollín se define como las partículas finas, de origen carbonoso suspendidas en el medio ambiente atmosférico, que absorben la luz y pueden ser emitidas por reflectometría.^[4]

Uno de los factores más importantes del problema de la contaminación atmosférica en La Habana es la presencia de material particulado que de acuerdo con anteriores estudios, es responsable de diferentes efectos cardiovasculares y respiratorios sobre la salud de la población, especialmente cuando su diámetro es inferior a 10 μm (PM₁₀ y PM_{2.5}).^[5]

El municipio Centro Habana está situado en la parte central de la zona urbana, es una zona densamente poblada con una gran variedad de industrias y con un alto tráfico de vehículos para los dos tamaños de partículas actualmente regulados por la normativa vigente, PM₁₀ y PM_{2.5}.

El objetivo de este estudio fue comparar los resultados obtenidos por dos equipos que tienen el mismo principio de funcionamiento, y poder comparar ambos resultados ya que el equipo Derenda LVS-PM₁₀ es el de referencia de la Comunidad Europea, siguiendo para ello la metodología de determinación de partículas por gravimetría estandarizada y reconocida como método de referencia.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio longitudinal descriptivo, cuyo universo de estudio estuvo constituido por 97 muestras paralelas realizando un muestreo sistemático (cada 6 días) tomadas en el período de enero a

diciembre 2012, obtenidas en la estación de monitoreo Centro Habana, ubicada en el Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología, ubicado en una zona del centro de La Habana.



Equipo de muestreo Derenda LVS / PM₁₀ / 38,3 LPM



Equipo de muestreo "Harvard" / PM₁₀ a 10 / LPM

El muestreo se realizó según las normas establecidas para el monitoreo manual de 24 horas,^[6] así como su posterior análisis en el laboratorio. El método empleado fue de bajo volumen para PM₁₀,^[7] los valores de concentración se expresaron en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Los datos primarios fueron procesados mediante MS EXCELL 2000 y posteriormente procesados mediante el sistema estadístico SPSS v. 15. El análisis estadístico incluyó el cálculo de los valores de tendencia central (media aritmética y mediana), el porcentaje de trasgresión de la norma y por días de la semana. Se tomó como CMA de acuerdo a la NC 39: 1999.^[8] Calidad del aire. Requisitos Higiénicos sanitarios. Esta norma establece la CMA para partículas en suspensión totales (PST) un valor de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como valor límite diario. Considerando numerosos reportes extranjeros establecen que la masa

PM10 constituye aproximadamente el 50 % de las PST, se tomó como valor de referencia $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Se empleó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para evaluar la normalidad de las distribuciones de las concentraciones de la fracción de partículas PM10 registradas con ambos equipos de monitoreo. Para evaluar la correlación entre las mismas se aplicó el coeficiente de Pearson debido a que ninguna de las distribuciones de ambas series de PM10 no rechazó la normalidad determinadas normal que mostraron las fracciones.

Recolección de las muestras: El muestreo se llevó a cabo en la Estación de monitoreo de Contaminantes Atmosférico del INHEM. Un muestreo representativo del material particulado en suspensión presente en la zona para PM10. Se realizó de forma paralela el muestreo en el equipo Harvard para PM 10. Siguiendo para ello la metodología de determinación de partículas por gravimetría estandarizada y reconocida como método de referencia, regulada a través de la norma UNE-EN 12341:1999, para partículas PM10.

La norma UNE-EN 12341:1999, es la norma utilizada para el muestreo y determinación de partículas PM10. Método de referencia, establecido como estándar por la normativa vigente para la determinación de partículas en suspensión (PM10), consisten en la aspiración de un caudal de aire específico, previo paso por un cabezal que permite la selección de las partículas en función de su tamaño, depositándose las partículas sobre un soporte (filtro) para su posterior determinación por gravimetría. Para la realización del muestreo planificado en el estudio se utilizaron captadores de bajo volumen (LVS) (un captador secuencia) con control de caudal, temporizador / programador y cabezales de corte PM10 estándar.

Ambos equipos Derenda y el Harvard realizaron muestreos en paralelo de 24 horas, iniciados a las 8:30 a.m. horario local, en condiciones controladas y con un caudal medio de aspiración de 2,3 metros cúbico / hora en el caso del Derenda y 10 litros

/minutos para el Harvard para posteriormente realizar las determinaciones gravimétricas de los filtros obtenidos en el Laboratorio.

Los filtros utilizados en el transcurso de la campaña, fueron filtros de fibra de cuarzo de 47 mm de diámetro y poro de 2 micras, filtros de fibra de vidrio de 47 mm de diámetro para los Derenda. En el caso del equipo Harvard los filtros utilizados fueron de fibra de vidrio, de 37 mm de diámetro tipo A/E, con diámetro nominal de poro de $1 \mu\text{m}$.

Para la determinación del Hollín se utilizó el método de referencia para el muestreo y análisis del humo normalizado del ministerio de Sanidad y consumo. El método consiste en el aire aspirado del exterior, se hace pasar a través de un filtro de papel, donde se depositan las partículas, dando lugar a una mancha grisácea. La intensidad de la mancha se examina por reflectometría. A partir de la medida del índice de reflexión de la mancha se determina la concentración de humo por unidad de superficie, expresada en $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, utilizando una tabla de referencia. Dicha concentración se obtiene a partir de la masa de humo por unidad de superficie, la superficie de la mancha y el volumen de aire que ha pasado a través del filtro.^[4]

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se analizan los valores de tendencia central de todo el período en estudio Enero 2012-Diciembre 2012, se observa que ningún contaminante supera la norma cubana, para la media aritmética resultaron inferiores a las CMA correspondientes establecidos por la norma cubana.^[8] Si embargo se aprecian valores máximos que duplican el valor de la CMA de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En la Figura 1 se observan los por cientos que transgreden la norma en los dos equipos. Esto coincide con los resultados obtenidos en el periodo 2005-2008 que se obtuvieron valores máximos de $287 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PST.

Tabla 1. Valores resúmenes y porcentajes de trasgresión de las CMA.

Equipo de muestreo de PM10	Concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					Porcentaje superior a la CMA%
	Mínimo	Media	Mediana	Percentil 95	Máximo	
Harvard / 10 L/min	9,5	36.007	32.500	68.050	85.1	13.4
Derenda	11.1	36.648	33.766	63.415	89.8	13.4
Hollín	1.3	8.485	7.300		27.7	0.0

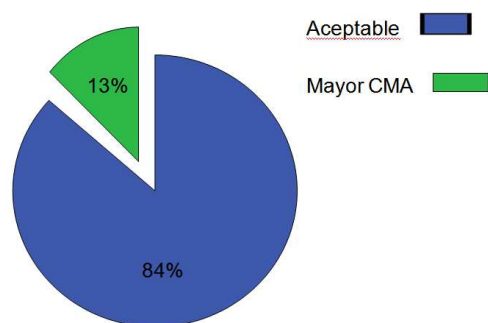


Figura 1. Porcientos que transgreden la norma en ambos equipos.

Al aplicar el test de Kolmogorov-Smirnov para evaluar la normalidad, se aprecia que para los dos equipos estudiados Harvard y Derenda eran significativas mayor que 0,05 para ambos casos: PM10 con equipo Harvard / 10 LPM ($p = 0,081$) y PM10 con equipo Derenda / 38,33 LPM ($p = ,165$) al igual que para el Hollín ($p = ,176$) y por lo tanto no se rechaza la hipótesis de normalidad de las distribuciones de ambos métodos tal como se muestran en la figura 2,. Se aplicó el test de correlación de Pearson para determinar la correlación entre ambos métodos debido a la normalidad de la serie.

En la Tabla 2 se puede apreciar que existe una correlación muy fuerte entre los dos métodos empleados para la determinación de la fracción de Pm10 tanto en el Derenda y el Harvard así como entre ambas y el Hollín. Debemos mencionar que el Derenda es el método de referencia europeo, a pesar que los filtros utilizados en el Derenda en toda la serie no fueron de fibra vidrio como los utilizados en el muestreador Harvard, el flujo de muestreo empleado no fue el mismo para ambos casos. Cuando se compara la serie por cada día se puede ver que de las 97 muestras estudiadas en casi su totalidad los resultados fueron muy similares. Existen reportes donde se evidencia que el monitoreo de calidad del aire usando el muestreador Harvard ha sido ampliamente realizado en diversas partes del mundo para preparar diagnósticos (ejm. Chile y Colombia), coleccionar información para estudios en salud (ejm. México), caracterizar partículas (ejm. Grecia), entre otros. Además, ha sido evaluado comparativamente con otros equipos dando como resultado una buena correlación con equipos como el Hi-Vol (muestreador de alto volumen).^[9]

Estos resultados se refleja que en alguna medida, los mismos se encuentran interrelacionados, bien en su emisión, su dispersión o por ambos factores.

Existe una asociación lineal entre las concentraciones de ambos equipos Harvard y Derenda de fuerte a perfecta y directamente proporcional que explica el 94 % de los cambios de la variable dependiente. A medida que aumenta una unidad de

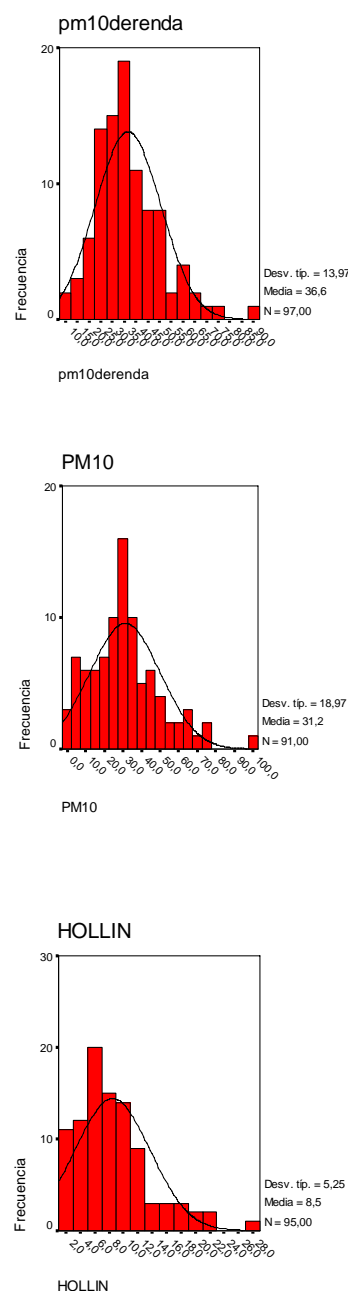


Figura 2. Histogramas de las concentraciones de las fracciones PM10 Derenda, Hollín y PM10.

análisis de Harvard aumenta como promedio 0.995 unidades la concentración de Derenda.

La ecuación de regresión sería concentración de Derenda = $0.808 + 0.995 \cdot \text{Harvard}$, que nos permitiría predecir los valores de una en función de la otra.

En la Figura 3 y Tabla 3 se aprecia el comportamiento por días de la semana, la fracción de PM10 por los dos métodos y el Hollín se comportan de igual forma, existe una disminución de la concentración los fines de semana, se aprecia un 33.8% de incremento de PM10 los días entre semana con respecto a los fines de semana, esto lo asociamos a la disminución

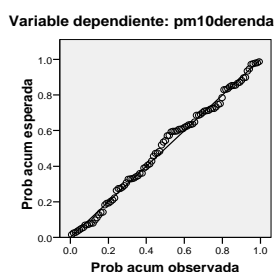
Tabla 2. Coeficiente de correlación Pearson.
 Estación de monitoreo: Centro Habana. Enero-Diciembre 2012.

Contaminante	HOLLIN	PM10 Derenda
PM10	0,288 (**) Sig. 0,006	0,970 Sig. 0,000
PM10 Derenda	0,235(*) 0,025	-----

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Gráfico P-P normal de regresión Residuo tipificado



del tránsito automotor y las actividades industriales en el territorio cercano y a barlovento del punto de muestreo. Se observa un incremento marcado de las concentraciones los días entre semana con respecto a los fines de semana. Esto coincide con los estudios realizados en la estación del INHEM,^[10,11] y otros estudios de Celis,^[12] y Rööslí,^[13] los cuales plantearon lo siguiente:

La concentración media de PM10 en los días laborales (lunes a viernes) fue un 40% mayor que los no laborables (sábado y domingo) en la ciudad de Chillán, reflejando la influencia de la actividad antrópica, como el tráfico, las faenas de construcción y los procesos industriales, los que generalmente son mayores en los días hábiles. Rööslí en su estudio encontraron un 54% de incremento de PM10 en los días de trabajo respecto de los fines de semana. Probablemente, el tráfico de la ciudad contribuye fuertemente a esta variación, a través del levantamiento de polvo de las calles y la eliminación de partículas finas por el escape de los motores de combustión.

En la Figuras 4 y la Tabla 4 se describe el comportamiento de las medias durante todo el período de estudio de enero a diciembre. En el caso de PM10 tanto en el Derenda como en el Harvard en el mes de junio se aprecia un incremento de la concentración expresado por la media al igual que en el mes de septiembre y en diciembre, en el Hollín las concentraciones media de los meses de mayo, agosto y noviembre mostraron un ligero incremento. Sin embargo en los meses de julio, agosto y noviembre se aprecia una disminución marcada de la concentración de PM10 tanto para el Derenda como para el Harvard. En los últimos años se ha visto que en los meses de verano un incremento de las concentraciones de los contaminantes esto puede constatar en otros estudios realizados en la estación del INHEM por Martínez y cols.^[14]

CONCLUSIONES

- La media aritmética de la fracción PM10 por los dos métodos resultaron inferiores a las concentraciones máximas admisibles.

Tabla 3. Porcentajes de trasgresión de las CMA, los fines de semana.

Equipo de muestreo de PM10	Porcentaje superior a la CMA (%)						
	domingo	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado
Harvard / 10 L/min.	0	0	30.8	38.5	23.1	7.7	0
Derenda	0	0	30.8	38.5	23.1	7.7	0

Tabla 4. Porcentajes de trasgresión de las CMA, por meses.

Equipo de muestreo de PM10	Porcentaje superior a la CMA%											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Harvard / 10 L/min	15.4	7.7	0	7.7	7.7	15.4	15.4	0.0	7.7	0	0	23.1
Derenda	15.4	7.7	0	7.7	7.7	15.4	15.4	0.0	7.7	0	0	23.1

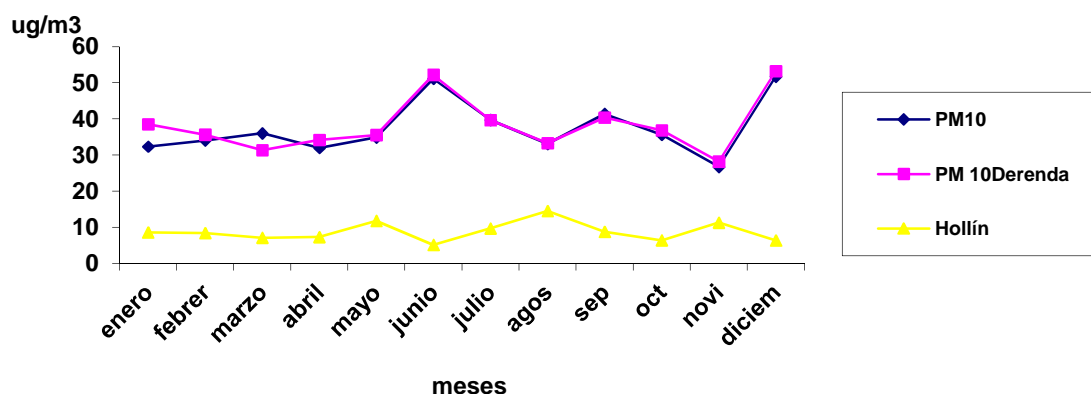


Figura 4. Comportamiento de las fracciones de PM10 y PM 10 Derenda y Hollín. Enero 2012 diciembre2012.

- Se observó una correlación muy fuerte entre los dos métodos estudiados para la fracción de PM10, sin embargo se observó una débil correlación entre la fracción PM10 de ambos métodos y el Hollín.

- Se observó una disminución en las concentraciones de ambos métodos, así como en el hollín los fines de semana.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (ed.): «Partículas en suspensión». Consultado el 4 de febrero de 2013.
- 2) California Environmental Protection Agency. Air Resources Board (ed.): «Particulate Matter Program» (en inglés) (26 de septiembre de 2011). Consultado el 4 de febrero de 2013.
- 3) Thomas P. Brunshidle, Brian Konowalchuk, Ismail Nabeel, James E. Sullivan. «A review of the measurement, emission, particle characteristics and potential human health impacts of ultrafine particles». Consultado el 5 de febrero de 2013.
- 4) Ministerio de Sanidad y Consumo. Orden de 22 de Marzo de 1990. Método de referencia para el muestreo y análisis del humo normalizado. BOE.
- 5) I. Piñera, G. Pérez, F. Aldape, J. Flores M-, E. Molina, M. Ramos, M. Martínez, R. Guibert. Estudio de Partículas Finas de la Atmósfera en Centro Habana. *Contrib Educ Prot Med Amb* (2010) 9:E39-E47.
- 6) World Health Organization. United Nations Environment programme. GEMS/Air Methodology Reviews: Quality Assurance in urban air quality monitoring. WHO/UNEP. 1994 v.1
- 7) Norma UNE-EN 12341: 1999. Calidad del aire. Determinación de la fracción PM10 de la materia particulada en suspensión - Método de referencia y procedimiento de ensayo de campo para demostrar la equivalencia de los métodos de medida al de referencia.
- 8) Norma cubana 39:1999. Calidad del aire. Requisitos higiénico-sanitarios. Oficina Nacional de normalización. 1999
- 9) <http://www.klepel.ch/harvard.php>. Visitado 5 febrero 2013
- 10) M. Martínez Varona, R. García Roche, E. Molina Esquivel, A. Fernández Arocha. Comportamiento de dióxido de nitrógeno y Partículas en suspensión totales en el periodo 2004-2006 (La Habana, Cuba). *Hig. Sanid. Ambient.* 8: 343-347 (2008)
- 11) M. Martínez Varona, E. Molina Esquivel y A. Fernández Arocha. Comportamiento de contaminantes atmosféricos en una zona de Ciudad de La Habana en el periodo 2005-2009 *Hig. Sanid. Ambient.* 10: 645-649 (2010).
- 12) Celis J. H. y José Morales P. Estudio de la contaminación del aire urbano en una ciudad intermedia: El caso de Chillán (Chile) *Atenea* N° 495- I Sem. 2007: 165-182.
- 13) Rösli, M.; G. Theis, N. Künzli J. Staehelin, P. Mathys, L. Oglesby, M. Camenzind and Ch. Braun-Fahrlander. 2001. "Temporal and spatial variation of the chemical composition of PM10 at urban and rural sites in the Basel area, Switzerland". *Atmos. Environ.* 35: 3701-3713.
- 14) M. Martínez y col. Concentraciones diarias de contaminantes del aire en La Habana (Cuba) *Hig. Sanid. Ambient.* 11: 786-792 (2011).