



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial

Sopladores de hojas. Material particulado asociado a su uso.

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y PROCESOS
SOSTENIBLES

Autor: Raquel Revuelta Morales
Director: José María Moreno Grau
Codirector: Stella Moreno Grau

Cartagena, 10 de octubre de 2017



Universidad
Politécnica
de Cartagena

ÍNDICE

1.	Introducción	2
1.1.	El material particulado en relación con el medio urbano.	3
1.2.	Material particulado en el Mediterráneo.	4
1.3.	Contaminación atmosférica y material particulado.	5
1.4.	Clasificación del material particulado atmosférico. Tipos y tamaños de partículas atmosféricas.	5
1.4.1.	Tamaño de partícula:	5
1.4.2.	Principales tipos de partículas atmosféricas.	8
1.5.	Efectos del material particulado en la salud:	9
2.	Marco normativo	10
3.	Sopladores de hojas y contaminación atmosférica	11
4.	Objetivos del proyecto	11
5.	Operativa.	12
5.1.	Mediciones y muestreo	12
5.1.1.	Contador de partículas tipo láser: Dyls 1700	12
5.2.	Descripción del muestreo	13
6.	Análisis estadístico SPSS: pruebas de normalidad.	16
7.	Tratamiento y análisis de datos.	21
7.1.	Tratamiento previo de los datos obtenidos tras el muestreo.	21
7.2.	Análisis de datos.	23
8.	Discusión y conclusiones.	28
8.1.	Discusión.	28
8.2.	Conclusiones.	28
9.	Bibliografía	29
10.	ANEXOS	32
10.1.	Anexo I. Frecuencia de paso de los sopladores	32
10.2.	Anexo II. Transformación de variables "Infinas" y "Ingrandes".	38
10.3.	Anexo III. Prueba T2 de Tamhane aplicada a partículas Grandes.	39
10.4.	Anexo IV. Ejemplo de evento completo.	40
10.5.	Anexo V. Diagramas barras de error aplicado al paso de los sopladores de hojas observado.	44
10.6.	Anexo VI. Diagramas barras de error aplicado al paso de los sopladores referenciando al número máximo de partículas.	46

1. Introducción

El estudio y control por material particulado atmosférico ha tomado mucho interés en los últimos años debido a su potencial impacto en el medio ambiente y en la salud.

Las partículas en la atmósfera de la Tierra han existido desde siempre. La actividad volcánica, los terremotos, las tormentas de polvo y los fuegos han impulsado intermitentemente el humo y el polvo a la atmósfera. En los últimos siglos, la actividad humana ha aumentado significativamente la cantidad natural de partículas en la atmósfera. Sin embargo, las partículas son contaminantes del aire con mayor peso que el resto de los contaminantes y permanecen suspendidas durante un periodo de tiempo que es inversamente proporcional a su peso (Saxe, 1991).

El material particulado es un contaminante de naturaleza compleja no sólo por sus características físicas (masa, tamaño, y densidad), sino también por sus características químicas (contiene compuestos orgánicos e inorgánicos, metales y contaminantes primarios y secundarios). Estas características son críticas para determinar el tipo y magnitud de los efectos sobre la salud humana. (Préndez, Corvalán y Cisternas 2007)

Se ha de considerar también que los contaminantes del aire causan efectos más severos cuando se encuentran juntos. En la naturaleza, estos contaminantes siempre trabajan en concierto, junto con otros factores de estrés, como sequía, helada, tormenta y ataques patógenos e insectos. Es imposible catalogar los efectos de todos los contaminantes, y los factores de estrés medioambiental.

Hasta el momento, los esfuerzos científicos se han centrado en el estudio de concentraciones medias, fuentes posibles y variabilidad espacio-temporal de un determinado elemento en una matriz específica: aerosoles urbanos, partículas sedimentadas o suelos urbanos.

El crecimiento de la población, las emisiones del tráfico, los residuos municipales y las actividades industriales son las principales causas de contaminación en las áreas urbanas. Los suelos sirven como fuentes y sumideros de elementos traza y han sido usados como indicadores de perturbación urbana. Los ambientes urbanos pueden ser caracterizados como dominios espaciales en los que existe un flujo constante de entrada y salida de estos microelementos, los cuales son sometidos a cambios en sus propiedades químico-físicas antes de ser desechados y acumulados dentro de los límites de dichos dominios, o fuera de ellos (Alastuey, A., 2000). Entre otras posibilidades y a pesar de las mínimas concentraciones de

estos componentes (que, en determinados casos, poseen la desagradable cualidad de ser perniciosos para la salud humana) pueden acumularse en los terrenos situados dentro y en las proximidades de una ciudad.

El proceso de resuspensión de partículas del suelo y su incorporación al aerosol atmosférico constituye una fuente significativa de elementos traza en el polvo urbano sedimentado, siendo un mecanismo de resuspensión el uso de sopladores de hojas en la limpieza de las calles.

1.1. El material particulado en relación con el medio urbano.

Un medio urbano puede ser descrito como un dominio geoquímico donde los elementos traza que entran al sistema (partículas arrastradas por el viento, acompañando a combustibles fósiles, etc.) son sometidos a una serie de cambios físico-químicos (combustión, corrosión, meteorización...) que afectan a los materiales que transportan, antes de ser acumulados en su interior o bien trasladados fuera de los límites de la ciudad (Borrajo, J.F. L., 2002).

Desde este punto de vista, los elementos traza se comportan dentro de los medios urbanos de la misma forma que lo harían en la naturaleza: siguen ciclos geoquímicos, desde una fuente de la que son movilizados, hasta los sumideros donde se acumulan, interaccionando o pasando previamente por distintos medios.

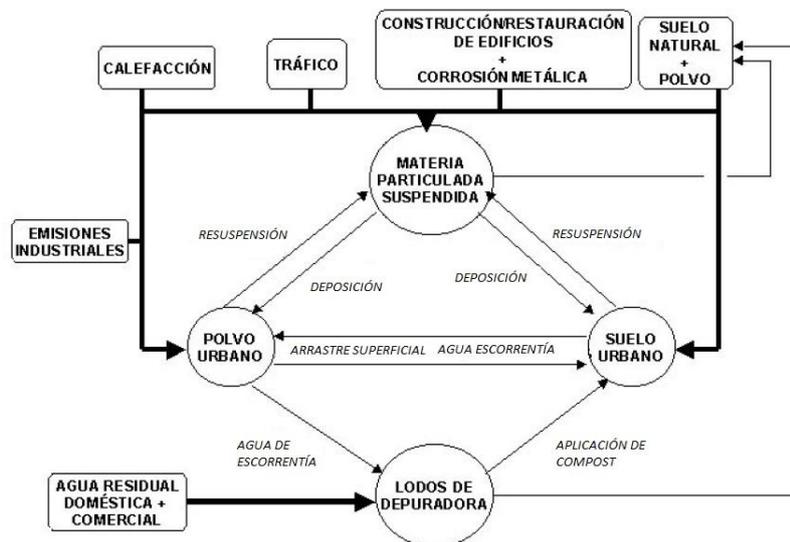


Ilustración 1. Modelo esquemático del ciclo urbano de las partículas

En la figura anterior se muestra un modelo geoquímico simple de circulación de partículas en un medio urbano. En el núcleo del modelo se encuentran los procesos físicos (deposición-resuspensión-saltación-arrastre, transporte hídrico...) a través de los cuales las partículas son

transportadas de una a otra esfera geoquímica (suelo, polvo depositado y aerosol). Estos procesos físicos están íntimamente relacionados con el tamaño de partícula: se ha enfatizado el estudio de la fracción inferior a 100 μm , ya que ésta es susceptible de ser transportada en suspensión, a diferencia de las partículas entre 100 y 500 μm , transportadas por saltación, y las comprendidas entre 500 y 1000 μm que serán arrastradas. Dentro de la citada fracción inferior a 100 μm , las partículas más finas (diámetro aerodinámico inferior a 10 μm) son fácilmente incorporadas al aerosol urbano.

1.2. Material particulado en el Mediterráneo.

Las zonas del área Mediterránea tienen unas características específicas que afectan la dinámica atmosférica y a la química del suelo, que difieren claramente del Norte de Europa (Negral, L, et. Al, 2008). Estas características específicas son: 1) alta insolación, meteorología convectiva y baja precipitación; 2) rasgos específicos de la química del suelo que influyen en el transporte y en la deposición seca y húmeda de partículas. Además, existe un gran aporte de aerosoles ricos en calcio, debido a la alta frecuencia de intrusiones de masas de aire provenientes del Sáhara.

Estas peculiaridades del sur de Europa suponen que, en muchas ocasiones, se pueden obtener concentraciones de PM_{10} superiores a los límites normativos propuestos, debido a la contribución de los aportes naturales (resuspensión de materia mineral del suelo, incendios forestales) y por aportes externos (intrusiones Saharianas y aportes de Europa del norte y central).

En Cartagena, ciudad mediterránea del sureste de Europa, se han llevado a cabo análisis sobre el material particulado, observando su comportamiento en determinados períodos de tiempo e investigando patrones de distribución geográfica y temporal, encontrando una tendencia de niveles más altos de material particulado total en invierno y otoño (Arroyo, M., 2009). Para llevar a cabo estas investigaciones se han establecido varios puntos de muestreo en la ciudad (zonas industriales, zonas urbanas e industriales con tráfico rodado y zonas urbanas con escaso tráfico).

El análisis de las fuentes contribuyentes a los niveles de PM en Cartagena es especialmente interesante dada la compleja mezcla de emisiones antropogénicas y naturales en el área: actividades portuarias, factoría petroquímica, industria de producción de plástico, industria

metalúrgica de zinc, astillero militar, brotes de polvo procedentes de los desiertos del norte de África y resuspensión local y regional de partículas de diferentes orígenes.

Las mayores fuentes de material particulado resuspendido incluyen: suelos con contenido variable de plomo, zinc, cadmio o cobre contenido en la vecindad de la ciudad (Martínez García et al. 2001) bajo la influencia de una persistente aridez debida al clima con leves temperaturas y escasas precipitaciones durante el año y extremadamente bajas precipitaciones en verano, donde la temperatura y la insolación son máximas.

1.3. Contaminación atmosférica y material particulado.

Se define contaminación del aire como: *“Cualquier cambio en la limpia y preindustrial atmósfera causado por catástrofes naturales o por actividades antropogénicas”* (Saxe, 1991).

Existen otras definiciones de contaminación atmosférica, entre ellas:

“Desviación en la concentración de los componentes del aire que puede originar, directa o indirectamente, efectos nocivos para la salud pública y/o la conservación de la Naturaleza y del Patrimonio cultural de la humanidad, o también que puede ser causante de alteraciones en el tiempo atmosférico y en el clima” (Sticksel y Engdahl, 1978).

“La presencia de sustancias en la atmósfera que resultan de la actividad del hombre o de procesos naturales y que producen efectos negativos en el hombre y en el medio ambiente” (Weber, 1982).

1.4. Clasificación del material particulado atmosférico. Tipos y tamaños de partículas atmosféricas.

La materia particulada no es una entidad bien definida. Originalmente esta fue determinada como hollín o humo negro y más tarde fue introducido el concepto de materia total particulada en suspensión (TSP).

Sus valores límite están determinados en la Directiva relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente, desde 1980 (CEE, 1980).

1.4.1. Tamaño de partícula:

El diámetro de las partículas atmosféricas en suspensión varía desde nanómetros (nm) hasta decenas de micras (μm). Generalmente se identifican diferentes rangos de tamaños de partícula denominados “modas”, que están relacionados en su mayoría con el mecanismo de

formación de las partículas: nucleación, Aitken, acumulación y moda gruesa (EPA, 1996; Seinfeld y Pandis, 1998, ilustración 2).

En general, la granulometría y la composición química del material particulado suelen ser características del foco emisor.

Moda de nucleación (<0.02 μm): la mayor concentración en número de partícula se encuentra entre 5-15 nm. Los únicos precursores gaseosos con capacidad para formar partículas por nucleación homogénea en aire ambiente son H_2SO_4 , NH_3 y H_2O . La vida media de estas partículas en la atmósfera es del orden de horas ya que coagulan rápidamente con otras partículas o incrementan de tamaño por condensación. La teoría clásica de la nucleación define que ésta depende de la concentración del gas precursor, la humedad relativa y la temperatura. Concretamente, la nucleación se ve favorecida por descensos en la temperatura y/o incrementos en la humedad relativa (Eastern y Peter, 1994). Este tipo de partículas se detectan durante episodios de contaminación por la actividad del tráfico, aunque actualmente se desconoce la proporción de aquellas emitidas directamente como material particulado primario (por ejemplo, carbono elemental en motores diesel) por los vehículos o si se forman al entrar en contacto los gases de combustión con el aire ambiente (a menor temperatura).

Moda Aitken (0.02-0.1 μm): estas partículas pueden tener un origen primario (natural o antropogénico) o secundario (a partir de partículas de la moda de nucleación). Es muy probable

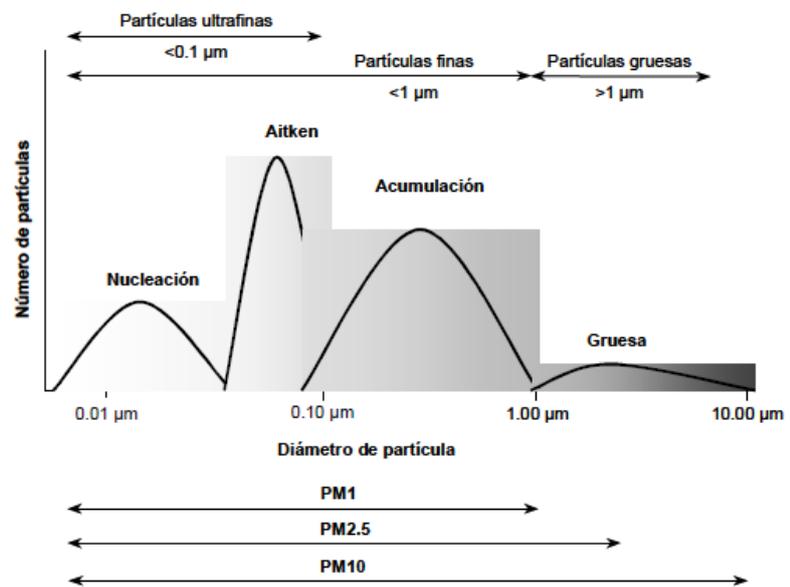


Ilustración 2. Distribución del número de partículas en función del diámetro

que las de origen secundario se formen por procesos de coagulación a partir de la moda de nucleación, por condensación y/o por reacciones en fase líquida (con compuestos inorgánicos). Un ejemplo de un tipo de partícula que se acumula típicamente en esta moda es el carbono de origen primario (soot) con origen en procesos de combustión (mayoritariamente motores

diesel). Estas partículas de carbono suelen presentar diámetros de partícula de aproximadamente 100 nm (y generalmente >30 nm), pudiendo llegar a alcanzar 150-200 nm.

El término “partículas ultrafinas” se utiliza en medicina para denominar partículas de <0.1 μm , que por tanto incluyen la moda de nucleación y la mayor parte de la moda Aitken.

Moda de acumulación (0.1-1 μm): la mayor densidad de partículas se registra entre 150-250 nm. En la atmósfera, las partículas de la moda Aitken crecen hasta formar parte de la moda de acumulación por medio de reacciones en fase líquida que tienen lugar en gotas de agua en las nubes. La transferencia de masa es máxima en la nube a pesar del escaso tiempo de reacción, debido al elevado volumen de agua y la velocidad de reacción en las nubes. Aproximadamente el 90% del sulfato que se forma en la atmósfera es originado por la oxidación en fase líquida del dióxido de azufre en las nubes.

Moda gruesa (>1 μm en términos de aerosoles atmosféricos): en términos de calidad del aire y epidemiología esta moda comprende las partículas de diámetro >2.5 μm . La mayor parte de las partículas en esta moda se forman por procesos mecánicos tales como la erosión de la superficie terrestre (materia mineral) o de otros materiales, o por la explosión de burbujas en la superficie de mares y océanos (aerosol marino). Por otra parte, los procesos mecánicos que generan las partículas primarias no pueden normalmente producir partículas de diámetro <1 μm debido a limitaciones energéticas.

Consecuentemente, la transferencia de partículas entre diferentes modas se encuentra con un límite en torno a 1 μm . Las partículas <1 μm son denominadas partículas finas, mientras que aquellas de diámetro >1 μm son gruesas.

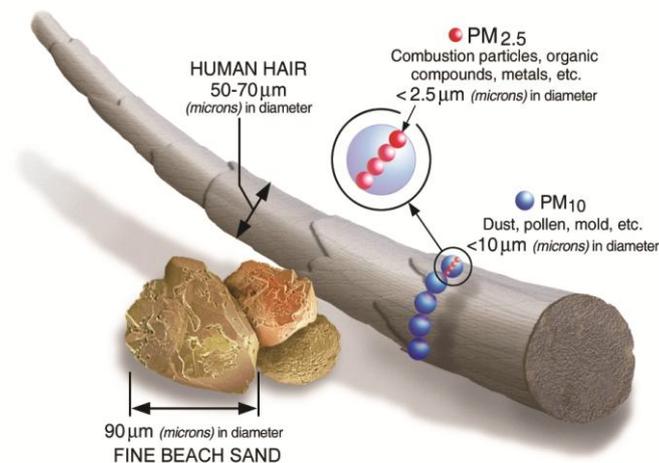


Ilustración 3. Tamaño relativo del material particulado. Fuente: US EPA

En términos de calidad del aire se definen también cuatro parámetros fundamentales atendiendo al tamaño de corte de los sistemas de captación: PST, PM₁₀, PM_{2.5} y PM₁ (ilustraciones 2 y 3).

Mientras que el término PST se refiere a Partículas en Suspensión Totales, PM_{10} se define como el conjunto de partículas que atraviesa un cabezal de tamaño selectivo para un diámetro aerodinámico de $10\ \mu\text{m}$ con una eficiencia de corte del 50 %. La misma definición para cabezales de corte de $2.5\ \mu\text{m}$ y $1\ \mu\text{m}$ se aplica para $PM_{2.5}$ y PM_1 , respectivamente. La moda gruesa se caracteriza por presentar un reducido número de partículas pero una elevada masa.

1.4.2. Principales tipos de partículas atmosféricas.

1) Material mineral: de origen natural, constituye la fracción mayoritaria en cuanto a masa del aerosol atmosférico. Se origina por medio de la acción de los vientos sobre la superficie terrestre, en forma de emisiones fugitivas. La mayor emisión a escala global de este tipo de partícula se produce en regiones áridas o semi-áridas, siendo significativa a escala local en regiones del Sudeste de la Península Ibérica.

Tienen granulometría gruesa y su abundancia relativa dentro de cada una de las modas depende de la velocidad del viento, de la superficie del suelo, de la humedad y la cobertura vegetal (Marticorena et al. 1997).

Existen un número limitado de fuentes de material particulado mineral de origen antropogénico (actividades de construcción, tráfico, minería o fabricación de cerámicas).

2) Aerosol marino: poseen en su mayoría origen natural y son emitidas directamente a la atmósfera (partículas primarias). Se trata de partículas de tamaño considerable. Existen dos mecanismos principales de formación de este tipo de partículas:

- a) Ruptura de burbujas de aire que alcanzan la superficie de los océanos
- b) Agitación de la superficie de los mares y océanos por acción del viento.

3) Compuestos de azufre: generalmente son partículas de origen secundario que se generan como resultado de la oxidación de precursores gaseosos (principalmente SO_2). Como fuentes naturales y antropogénicas de sulfatos primarios destacan los yacimientos yesíferos o los procesos industriales.

Sobre la superficie de los mares y océanos es posible encontrar una amplia variedad de compuestos orgánicos y microorganismos que emiten gases sulfurados, por ejemplo dimetilsulfuro (DMS , $\text{CH}_3\text{-SCH}_3$). Éste es considerado uno de los precursores de los sulfatos atmosféricos en regiones remotas de los océanos ya que se oxida a SO_2 , por medio de intermediarios, para formar finalmente SO_4^{2-} .

La producción antropogénica de gases precursores de sulfatos de origen secundario se centra en procesos de combustión de combustibles fósiles con alto contenido en S.

4) Compuestos de nitrógeno: principalmente NO_3^- y NH_4^+ . Al igual que los sulfatos, son de origen mayoritariamente secundario y provienen de la reacción de precursores gaseosos naturales (emisiones de los suelos – nitrificación y N_2O - incendios forestales – NO_2 , NO) y antropogénicos (producción eléctrica y otros procesos de combustión a temperaturas elevadas como los que ocurren en los motores de los vehículos y la quema de biomasa).

5) Compuestos de carbono: comprenden una amplia variedad de especies naturales y antropogénicas.

- a) Origen natural: vegetación, superficie de océanos y suelos: esporas, polen, ácidos húmicos...
- b) Origen antropogénico: generación eléctrica y aportes del tráfico, en especial de los vehículos diesel cuya contribución a los niveles de materia carbonosa es cinco veces superior a la de los motores de gasolina (Kim y Hopke, 2003).

1.5. Efectos del material particulado en la salud:

Las implicaciones para la salud humana de la inhalación de partículas de polvo y de la ingestión de éstas o de partículas de suelo son el principal objetivo de numerosos estudios realizados, en los que se pone de manifiesto el riesgo que causan en el sistema nervioso, renal, cardiovascular y reproductivo, además de retardar el crecimiento en niños.

En particular, se considera que las partículas podrían ejercer un efecto tóxico a través de alguna o varias de las siguientes vías (NAPCA, 1969):

1. Las partículas podrían ser intrínsecamente tóxicas por sus inherentes características químicas y/o físicas. Tales partículas raramente se encuentran en el aire en concentraciones elevadas. No obstante muchas sustancias tóxicas se hallan presentes en cantidades traza, que se definen como aquellos elementos presentes en la corteza terrestre en una proporción del 0.1 por ciento (1000 ppm) o menos. La mayoría de los metales se encuentran en la atmósfera en forma de partículas como elementos traza y muchos de ellos son considerados tóxicos como es el caso de Pb, Hg, As, Cd y otros metales pesados.
2. En el caso de partículas de naturaleza no tóxica a priori, podrían afectar al organismo interfiriendo en uno o más de los mecanismos que normalmente limpian el tracto

respiratorio, impidiendo o retrasando de este modo la eliminación de otras partículas nocivas. Las respuestas fisiológicas observadas incluyen un descenso en los movimientos ciliares, así como del flujo del mucus en las ramificaciones bronquiales.

- Las partículas podrían ejercer de transporte de alguna sustancia tóxica. A través de un proceso de fijación, moléculas de alguna sustancia irritante podrían quedar adheridas a las partículas pudiendo así alcanzar y permanecer en las áreas sensibles de los pulmones (Tepper et al., 1994)

2. Marco normativo

En relación a la emisión de partículas se pueden citar:

- Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y una atmósfera más limpia en Europa.
- Directiva 1999/30/CE del consejo de 22 de abril de 1999 relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente (directiva de desarrollo “hija” de la directiva 96/62/CE del Consejo, de 27 de septiembre de 1996, sobre evaluación y gestión de calidad del aire ambiente).
- Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire:

PM ₁₀	Período de promedio	Valor límite	Margen de tolerancia
Valor límite diario	24 horas	50 µg/m ³ *	50%
Valor límite anual	1 año civil	40 µg/m ³	20%

* No podrán superarse en más de 25 ocasiones por año

PM _{2,5}	Período de promedio	Valor límite	Margen de tolerancia
Valor límite diario	1 año civil	25 µg/m ³	

Según estas cifras, la directiva europea 2008/50/EC regula los niveles de PM₁₀ ajustando el límite diario a 50µg/m³ no pudiendo ser excedido más de 25 veces por año y como límite anual en 40µg/m³. Esta directiva europea también regula el PM_{2,5} estableciendo un límite anual de 25µg/m³ pero sin embargo no hay regulación acerca de PM₁. Este hecho evidencia una brecha en la legislación europea porque se sabe que la tendencia de la mayoría de los contaminantes

antropogénicos tienden a acumularse en fracciones más finas y que estas fracciones presentan efectos adversos sobre la salud humana.

3. Sopladores de hojas y contaminación atmosférica

Los sopladores de hojas, herramientas motorizadas que impulsan aire por una boquilla, son una fuente obvia de emisiones de partículas (Fitz et al. 1990).

El soplador de hojas fue inventado a principios de los años setenta e introducido en los Estados Unidos como una herramienta para mantenimiento del jardín, facilitando su uso en tareas de limpieza que estaban prohibidas para realizar con agua.

Hasta 1990, las tasas de emisión, sin embargo, nunca se habían medido cuantitativamente y no existía un factor de emisión para esta para esta fuente. Fue entonces cuando se diseñó un sistema para determinar las emisiones de actividades de soplado y aspirado de hojas, dentro de un recinto portátil que atrapara las partículas emitidas en estas actividades, mientras un analizador en tiempo real medía las concentraciones de PM_{2.5}, PM₁₀ y TSP (partículas suspendidas totales). El objetivo de este estudio fue desarrollar un método para medir las tasas de emisión de material particulado de los sopladores de hojas (Air Quality Criteria for Particulate Matter, EPA, 2004).

Poco después de que el soplador de hojas se introdujera en los EE.UU., su uso fue prohibido en dos ciudades de California debido a las molestias ocasionadas por ruido. En 1990, el número de ciudades de California que habían prohibido el uso de sopladores de hojas ascendía a cinco, existiendo actualmente una veintena de ciudades de California que han prohibido los sopladores de hojas, y otras 80 que han restringido su uso, nivel de ruido o ambos (Nancy, L.C. et. Al, 2000)

Los sopladores de hojas producen emisiones de escape, resuspenden el polvo, y generan altos niveles de ruido.

4. Objetivos del proyecto

En España, no existe normativa que regule el uso de los sopladores de hojas para la limpieza municipal a pesar de que no solo alteran la calidad del aire sino también producen un elevado nivel de ruido. Sin embargo, en algunas localidades de Estados Unidos ya se han empezado a prohibir, obligando el empleo de otra maquinaria menos agresiva para la salud.

Existen escasas publicaciones sobre las consecuencias del empleo de sopladores de hojas en la limpieza viaria, en su mayoría destinadas a evaluar el ruido generado por el motor de dicha maquinaria, sin hacer mención a los efectos en la contaminación atmosférica y para la salud que también provoca el levantamiento de polvo a su paso por las calles.

El objeto de este proyecto es llevar a cabo un estudio sobre la influencia que tienen en la calidad del aire los sopladores de hojas, en concreto sobre el material particulado, a través del empleo de un dispositivo móvil que permitirá el conteo del número de partículas antes, durante y después del paso de estos instrumentos de limpieza para posteriormente poder estudiar su variabilidad mediante el tratamiento estadístico de los datos obtenidos.

5. Operativa.

5.1. Mediciones y muestreo

El material particulado es uno de los contaminantes que requieren ser monitorizados para gestionar los riesgos motivados por sus impactos negativos. Como se ha mencionado, se debe tener en cuenta que las mayores fuentes de aerosoles son heterogéneas en tamaño y composición.

5.1.1. Contador de partículas tipo láser: Dylos 1700

El dispositivo empleado para el monitoreo ha sido un contador de partículas en el que éstas se detectan en un área iluminada por un láser rojo. La luz dispersada para cada partícula en esta zona se utiliza para hacer el recuento en dos contenedores: partículas de 0,5-2,5 μ m (pequeñas) o mayores de 2,5 μ m (grandes). La salida es la concentración del número de partículas.

Una de las ventajas que ha permitido su empleo en este proyecto ha sido su reducido tamaño, facilidad de operación, y la posibilidad de funcionamiento mediante batería y corriente eléctrica.

Por otro lado, limita el recuento de partículas para aquellas de tamaño inferior a 0,5 μ m, lo que supondrá un intervalo de incertidumbre a la hora de interpretar resultados.



Ilustración 4. Contador de partículas Dylos 1700

Este instrumento cuenta con un software capaz de volcar todos los datos almacenados en su memoria, posibilitando un fichero para el tratamiento posterior de los mismos, así como un primer acercamiento a los sucesos acontecidos mediante gráficos que muestran el comportamiento de las partículas (grandes y pequeñas) en el período temporal seleccionado. Dada la gran información que aporta este dispositivo, un dato por minuto, se ha realizado el volcado de datos con periodicidad semanal.

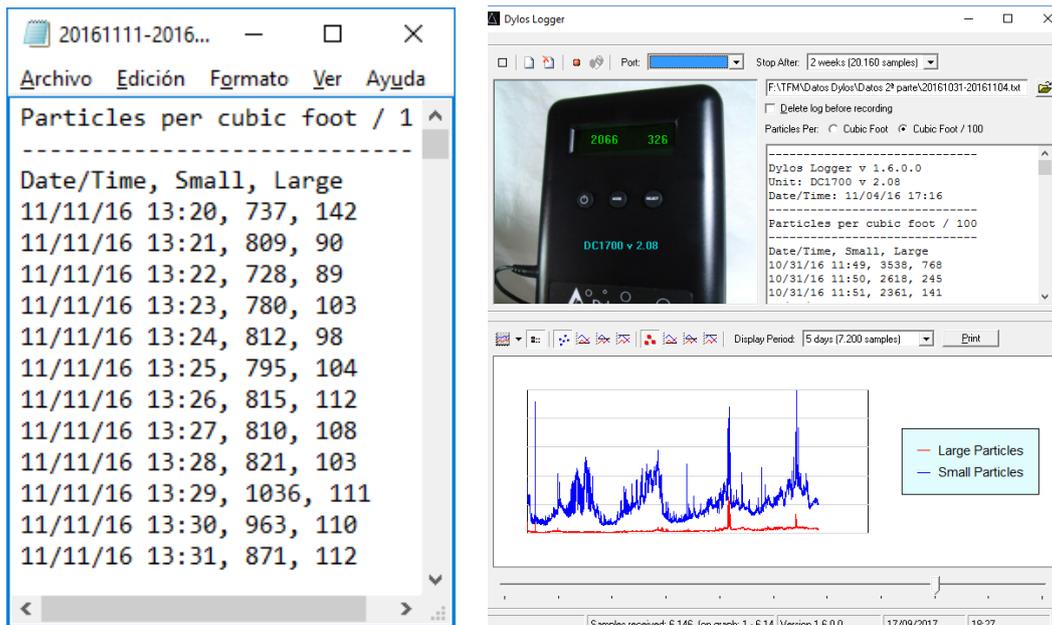


Ilustración 5. Software Dylos logger

5.2. Descripción del muestreo

Se ha llevado a cabo la toma de muestras en dos períodos temporales diferentes: primavera (abril-junio) y otoño (octubre-diciembre) de 2016.

Para ello se ha ubicado el dispositivo Dylos en la parte superior de un habitáculo interior de un garaje de vehículos cuyo lateral superior, cubierto únicamente por rejillas de ventilación orientadas al exterior, permiten pasar la corriente de aire y ser captada por el dispositivo para su monitorización.

Dicho garaje se ubica en una céntrica calle de la ciudad de Cartagena, rodeada de un colegio, guardería, comercios y viviendas. En esta calle el tráfico rodado y de personas es continuo durante prácticamente todo el día, además, dada la gran capacidad del garaje, existe una elevada afluencia de vehículos entrando y saliendo del mismo.

El instrumento se ha colocado con su parte trasera, que cuenta con un ventilador, enfocada a la calle. La altura respecto al suelo es de 2 metros aproximadamente.



Ilustración 6. Ubicación contador de partículas

En cuanto a la vigilancia del paso de los operarios de limpieza con los sopladores, se ha contado con la ayuda de una persona (en adelante observador) responsable de un comercio de alimentación y no dedicada en exclusiva a la colaboración con este estudio, cuyo local comercial se localiza justo enfrente del garaje descrito previamente. De esta forma, gracias al amplio horario de este establecimiento y a la minuciosa atención prestada por el observador, se ha podido reflejar la frecuencia con la que los trabajadores de limpieza han efectuado su paso por la zona.

Es importante recalcar que, de no ser por el meticuloso trabajo y la ayuda prestada por el observador, no habría sido posible llevar a cabo este trabajo puesto que los datos obtenidos por el contador de partículas carecen de sentido sin la información prestada por esta persona.



Ilustración 7. Posición contador de partículas-observador

La dinámica de toma de datos se ha llevado a cabo obedeciendo la siguiente rutina: se elaboró una plantilla con los campos de interés a tener en cuenta, la cual fue cedida al observador para que su cumplimentación según el paso de los sopladores.

Fecha		<u>Meteorología:</u>
Sopladores	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
<u>Hora:</u>		
Observaciones:		

En el campo *observaciones* se han recogido aspectos que han llamado la atención sobre las técnicas empleadas por los operarios, maquinaria empleada (habitualmente solamente trabajan soplador y aspiradora, pero también se han dado episodios en los que se sustituye la aspiradora por una barredera mecánica que emplea un sistema de humidificación). *Anexo I frecuencia de paso.

Como se ha mencionado anteriormente, el contador Dylos cuenta con una limitación que afecta y dificulta la interpretación de los datos ya que únicamente diferencia entre partículas grandes (10 micras) y pequeñas (todas, incluidas las grandes) obviando las que tienen un diámetro inferior a 0.5 micras, por lo que se carece de datos respecto a este último tamaño.

Respecto a la interpretación de los datos obtenidos, la máxima dificultad radica en la posible imprecisión de la toma de datos, pues la persona responsable de ello podía estar, o no, disponible en el momento exacto del paso de los sopladores por la calle, por lo que cabe la posibilidad de que existan pequeñas variaciones entre la hora anotada y la real. Estas variaciones, por mínimas que sean, suponen una gran alteración a los resultados finales así pues para poder aproximar los datos obtenidos a la realidad, se ha realizado un análisis estadístico en el que se han contrastado diferentes parámetros.

6. Análisis estadístico SPSS: pruebas de normalidad.

Se ha de considerar a la hora de examinar los resultados obtenidos que se ha empleado un dispositivo cuyo rango de medida no tiene en cuenta las partículas menores de 0.5 micras, lo que constituye un sesgo importante del campo de estudio. Este hecho imposibilita afirmar que los datos con los que hemos trabajado se asemejan a una distribución normal, que garantizaría solidez en los resultados (López Hernández, F.A., 2017). Para confirmarlo se han aplicado una serie de pruebas estadísticas a los datos obtenidos tras el muestreo.

Resumen de procesamiento de casos

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Finas	148336	100,0%	0	0,0%	148336	100,0%
Grandes	148336	100,0%	0	0,0%	148336	100,0%

Tabla 1. Resumen procesamiento de datos

1. *Histograma de frecuencias*: en el mismo gráfico se puede ver si el histograma de nuestros datos se ajusta a la curva normal:

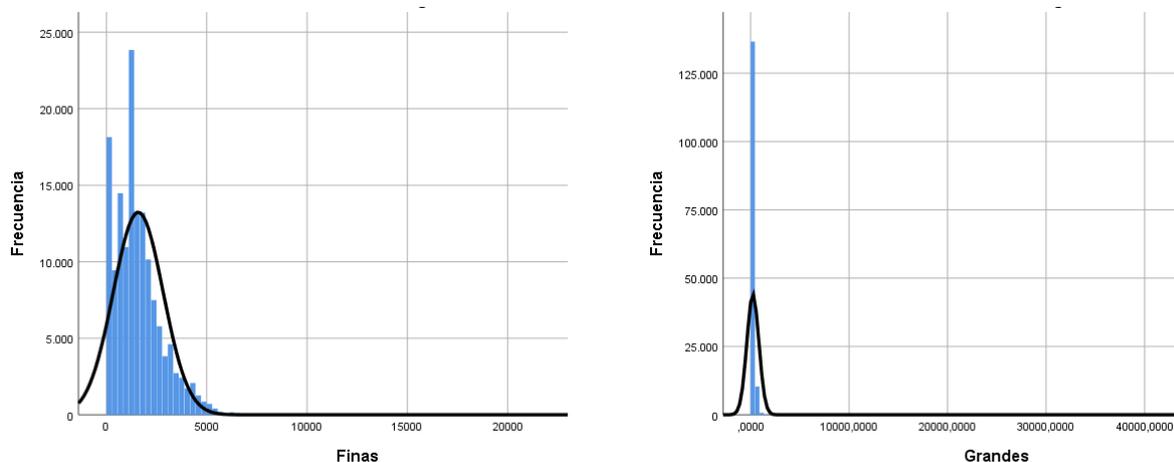


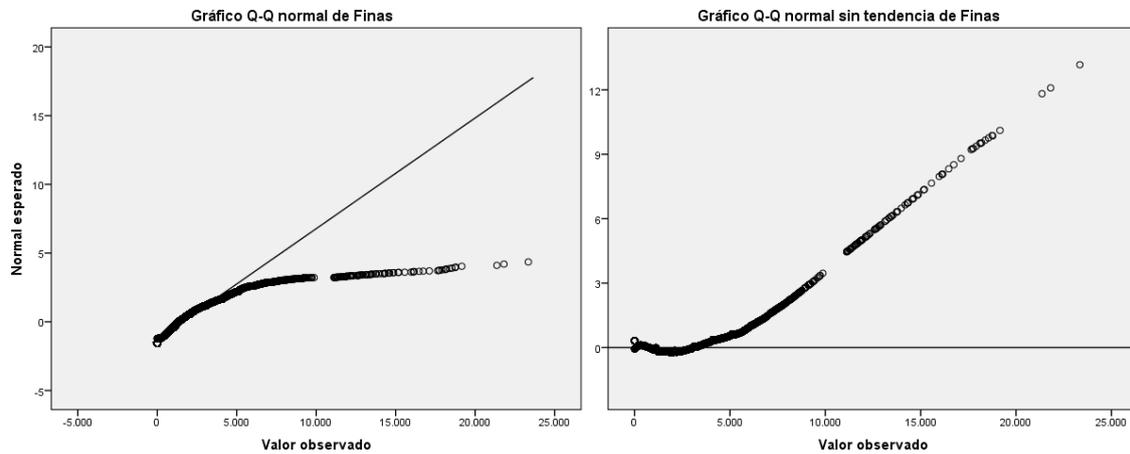
Gráfico 1. Histogramas de frecuencias para partículas finas y grandes

En ambos casos, se puede observar que el modelo empírico no se aproxima al modelo teórico, por lo que no se puede decir que nuestros datos se ajusten a una distribución normal.

2. *Gráficos Q-Q*: Se construyen dibujando una nube de puntos donde se presentan los cuartiles de la distribución normal, junto con los percentiles de la distribución empírica. Si la distribución teórica constituye una buena aproximación a la distribución empírica, cabe

esperar que los cuartiles de la distribución empírica y teórica estén muy próximos y por tanto los puntos del gráfico deben aparecer en la diagonal del rectángulo.

En nuestros gráficos, hay grandes desviaciones de la diagonal del rectángulo, y por tanto se percibe visualmente que el conjunto de datos no se ajustan a una distribución normal.



Del mismo modo ocurre con las partículas grandes:

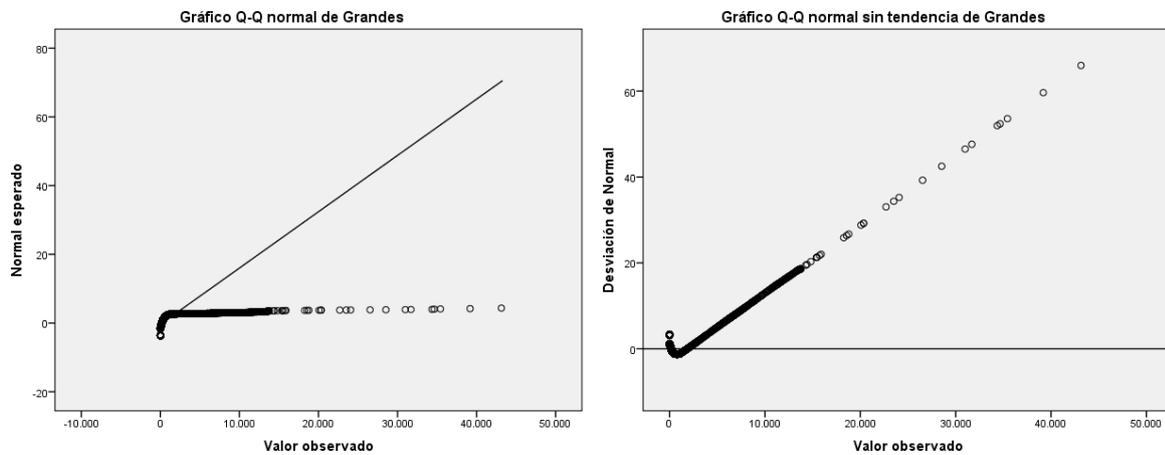


Gráfico 2. Diagramas Q-Q para partículas finas y grandes

Para tratar de *normalizar* los datos se ha realizado una transformación de las variables, obteniendo “Infinas” y “Ingrandes” confirmando que el conjunto de datos tampoco se ajusta a una distribución lognormal. En el *anexo II* se detallan los histogramas de frecuencia y gráficos Q-Q para esta distribución de datos.

3. *Test de Kolmogorov-Smirnov^a*: Se construye observando las diferencias entre la función de distribución empírica y la función de distribución teórica, buscando el máximo o supremo de esas diferencias.

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	gl	Sig.
Finas	,101	148336	,000
Grandes	,350	148336	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Tabla 2. Test de Kolmogorov-Smirnov para partículas finas y grandes

Para ambos casos el p-valor es inferior a 0.05, la distribución no es normal.

4. *Prueba de heterocedasticidad*: Se refieren a la hipótesis de igualdad de varianzas de subgrupos de individuos.

- a. *Test de Levene*: facilita el estadístico de Levene, con los correspondientes grados de libertad y el p-valor asociado. En cualquiera de los casos, utilizando cualquiera de las medidas de tendencia central (media, mediana, o la media recortada) el p-valor es inferior a 0.05, por tanto se rechaza la hipótesis nula de que los grupos son homocedásticos, la varianza no es la misma en cada uno de los subgrupos.
- b. *Prueba de homogeneidad de varianzas*: nos dice si las varianzas o las desviaciones típicas de cada una de las subclases son iguales.

		Estadístico	gl1	gl2	Sig.
		de Levene			
FINAS	Se basa en la media	347,550	2	148330	,000
	Se basa en la mediana	302,165	2	148330	,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	302,165	2	146659,402	,000
	Se basa en la media recortada	330,896	2	148330	,000

Tabla 3. Estadístico de Levene para partículas finas

		Estadístico de			
		Levene	gl1	gl2	Sig.
GRANDES	Se basa en la media	266,661	1	148334	,000
	Se basa en la mediana	164,410	1	148334	,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	164,410	1	139397,846	,000
	Se basa en la media recortada	194,026	1	148334	,000

Tabla 4. Estadístico de Levene para partículas grandes

Como en los apartados anteriores, tanto para partículas finas como grandes el p-valor es 0 por lo que se rechaza la hipótesis nula.

- ANOVA: Se trata de una técnica paramétrica que se utiliza para comparar los valores medios de más de dos variables cuantitativas (la alternativa de comparar dos a dos resulta ineficiente). El contraste está basado en la hipótesis de que los datos proceden de distribuciones normales homocedásticas (que todas tienen la misma varianza). Es necesario primero contrastar que todas las submuestras tienen la misma varianza.

FINAS						
	Suma de cuadrados		gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	5588972512,355	2		2794486256,177	1857,388	,000
Dentro de grupos	223166103757,370	148330		1504524,397		
Total	228755076269,724	148332				

Tabla 5. ANOVA para partículas finas

GRANDES						
	Suma de cuadrados		gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	102148884,428	1		102148884,428	274,911	,000
Dentro de grupos	55116548774,052	148334		371570,569		
Total	55218697658,480	148335				

Tabla 6. ANOVA para partículas grandes

La tabla del Anova, donde vemos las varianzas entre grupos y dentro de grupos, el valor del estadístico F, y el p-valor muestral inferior a 0.05 y por tanto concluimos que las medias no son iguales.

6. Pruebas post hoc (a posteriori):

Una vez que se ha determinado que existen diferencias entre las medias, los contrastes de comparaciones múltiples post hoc, o comparaciones a posteriori, permiten determinar entre qué medias existen diferencias significativas. En cada una de las filas compara las medias de los grupos por pares.

Las pruebas de comparaciones múltiples que no suponen varianzas iguales son T2 de Tamhane, T3 de Dunnett, Games-Howell y C de Dunnett. Aplicando una de ellas, por ejemplo T2 de Tamhane para partículas finas en los cinco primeros minutos del evento, se obtienen las

siguientes tablas de comparaciones múltiples en las que se observan diferencias significativas cuando se comparan los primeros tres minutos del evento con el resto del intervalo horario:

Variable dependiente: Finas							
	(I) hora1min	(J) hora1min	Diferencia de medias (I-J)			Intervalo de confianza al 95%	
			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Límite inferior	Límite superior
Tamhane	0	15	-940,1026752*	22,2323258	,000	-993,204104	-887,001247
		23	-1152,467199*	163,8861364	,000	-1550,722914	-754,211472
	15	0	940,1026752*	22,2323258	,000	887,001247	993,204104
		23	-212,3645177	165,3249058	,492	-613,872212	189,143177
	23	0	1152,467192*	163,8861364	,000	754,211472	1550,722914
		15	212,3645177	165,3249058	,492	-189,143177	613,872212
Intervalo de confianza al 95%							
	(I) hora3min	(J) hora3min	Diferencia de medias (I-J)			Intervalo de confianza al 95%	
			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Límite inferior	Límite superior
Tamhane	0	15	-931,4898612*	22,6294812	,000	-985,540565	-877,439158
		24	-1158,522177*	94,4335726	,000	-1385,311560	-931,732791
	15	0	931,4898612*	22,6294812	,000	877,439158	985,540565
		24	-227,0323145	97,0009047	,058	-459,850326	5,785697
	24	0	1158,522175*	94,4335726	,000	931,732791	1385,311560
		15	227,0323145	97,0009047	,058	-5,785697	459,850326
Intervalo de confianza al 95%							
	(I) hora5min	(J) hora5min	Diferencia de medias (I-J)			Intervalo de confianza al 95%	
			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Límite inferior	Límite superior
Tamhane	0	15000	-921,788859*	23,0251673	,000	-976,785407	-866,792312
		25000	-1163,599156*	73,8314663	,000	-1340,499251	-986,699053
	15000	0	921,7888594*	23,0251673	,000	866,792312	976,785407
		25000	-241,8102922*	77,2050919	,005	-426,689420	-56,931165
	25000	0	1163,599156*	73,8314663	,000	986,699053	1340,499251
		15000	241,8102922*	77,2050919	,005	56,931165	426,689420

Tabla 7. Tests de Tamhane para partículas finas, minutos 1-5.

En el *anexo III* se ha realizado la misma prueba para las partículas grandes, existiendo en este caso diferencia significativa al comparar las medias de las partículas del primer minuto con la media el resto del evento.

7. Tratamiento y análisis de datos.

7.1. Tratamiento previo de los datos obtenidos tras el muestreo.

Debido al elevado número de datos proporcionado por el contador de partículas (uno por minuto) y la gran variabilidad de los mismos, ha sido necesaria su clasificación previa con el fin de facilitar su tratamiento posterior. La distribución de los datos se ha realizado atendiendo a los siguientes parámetros:

- a) *Fecha y hora.*
- b) *Tamaño de partículas:* grandes (PM₁₀), pequeñas (todas, incluidas las grandes) y finas (PM_{2.5}, diferencia de grandes y pequeñas).
- c) *Paso de los sopladores:* se ha tomado como referencia el momento exacto del paso del operador por delante del dispositivo anotado por el observador. A partir de este instante concreto se establece lo que llamamos “evento” o intervalo temporal a considerar afectado por la acción de los sopladores de hojas.

El objetivo de establecer este tipo de clasificación es examinar la influencia del soplador de hojas no solo en el instante que actúa al lado del contador de partículas, sino considerar también la situación ambiental en calma previa y su posterior estabilización. Para ello, se le asigna un valor fijo a cada dato apuntado por el observador, de forma que a la hora de representar el nivel de partículas, se pueda conocer mediante estos valores fijos, cuándo se corresponde con el paso de un soplador. En la siguiente tabla se muestra un ejemplo de esta primera distribución:

Fecha	Hora	Pequeñas	Grandes	Finas	Sopladores	Paso03min	Paso05min	Paso07min	Paso09min	Paso011min	Paso15min
14-abr-16	8:58:00 AM	4001	311	3691	0	0	0	0	0	0	14000
14-abr-16	8:59:00 AM	3902	293	3619	0	0	0	0	0	0	14000
14-abr-16	9:00:00 AM	3978	321	3657	0	0	0	0	0	13000	14000
14-abr-16	9:01:00 AM	3866	323	3543	0	0	0	0	12000	13000	14000
14-abr-16	9:02:00 AM	3778	305	3473	0	0	0	11000	12000	13000	14000
14-abr-16	9:03:00 AM	3858	288	3571	0	0	10000	11000	12000	13000	14000
14-abr-16	9:04:00 AM	3669	297	3372	0	9000	10000	11000	12000	13000	14000
14-abr-16	9:05:00 AM	3942	307	3635	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000
14-abr-16	9:06:00 AM	4655	935	3721	0	9000	10000	11000	12000	13000	14000
14-abr-16	9:07:00 AM	6382	1584	4798	0	0	10000	11000	12000	13000	14000
14-abr-16	9:08:00 AM	5801	1042	4759	0	0	0	11000	12000	13000	14000
14-abr-16	9:09:00 AM	7318	1895	5423	0	0	0	0	12000	13000	14000
14-abr-16	9:10:00 AM	4466	457	4119	0	0	0	0	0	13000	14000
14-abr-16	9:11:00 AM	4555	575	3981	0	0	0	0	0	0	14000
14-abr-16	9:12:00 AM	4578	687	3891	0	0	0	0	0	0	14000

Tabla 8. Distribución de un evento

En este evento, el observador ha anotado como fecha del paso del soplador de hojas el 14 de abril a las 9:05, hora que se establece de referencia para a partir de entonces observar qué ocurre en los 15 minutos cercanos a este episodio. Así, la variable *Paso03min* informa del número de partículas captadas los 3 primeros minutos (minuto previo, minuto exacto y minuto posterior) al paso del soplador de hojas.

De igual forma se ha establecido para el resto de variables diferentes intervalos temporales hasta abarcar la hora más cercana al paso del soplador.

El resto de datos, en los que no hay evento, se han considerado no relacionados con los sopladores, y se les ha asignado el valor 0. De esta forma se desprecia el efecto que pueden causar numerosos agentes que también influyen en la calidad ambiental, tales como meteorología, tráfico... centrándonos únicamente en el originado por los sopladores de hojas.

Por otro lado, se han considerado también los intervalos en los que el Dylos no ha proporcionado información, debido a diversas causas como fallos en el suministro eléctrico o rachas de viento que provocaron la caída del dispositivo. En estos casos, se ha indicado que el número de partículas es 1.

En el siguiente gráfico se refleja el número de partículas monitorizadas durante la semana del 14 al 23 de abril y el paso puntual del soplador de hojas. A priori, se observa que no en todas las ocasiones que se manifiesta un pico en el número de partículas necesariamente corresponde con el paso de un operador, pero sí ocurre al contrario: todas las situaciones en las que el observador ha anotado un evento, el nivel de partículas aumenta considerablemente.

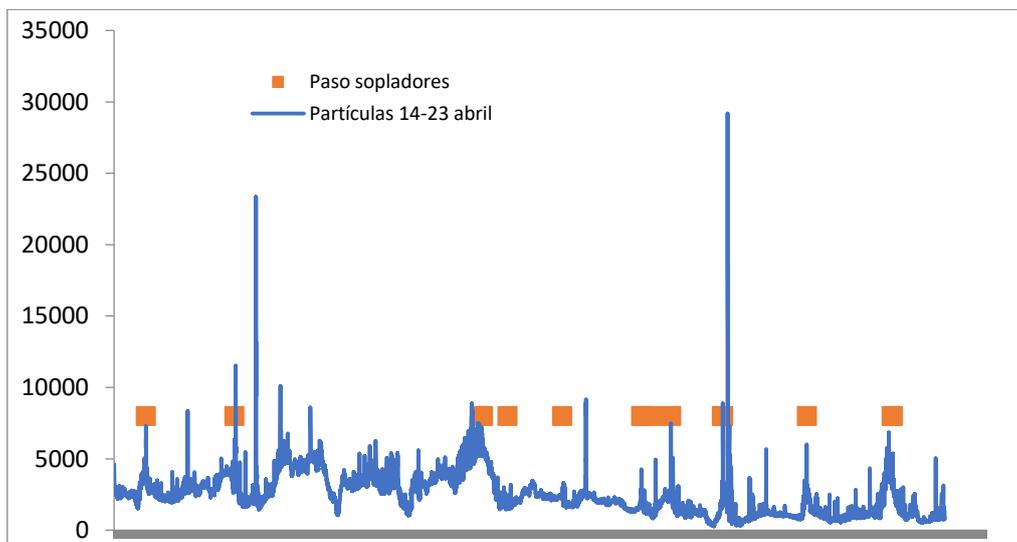


Gráfico 2. Paso sopladores 14-23 abril

En el *anexo IV* se muestra un evento que se ha considerado completo para el análisis: A partir de la quinceava columna, variable *hora1min*, se empieza a comparar el evento de estudio en el intervalo de la primera hora, de tal forma que se ha observado qué ocurre en el primer minuto tras el paso del operador dentro de la hora de referencia, qué ocurre los tres primeros minutos, los cinco... y así sucesivamente.

Tras acondicionar los datos iniciales, se han exportado al programa estadístico SPSS para su análisis.

7.2. Análisis de datos.

Para analizar los datos obtenidos, se han comparado las numerosas variables descritas en el apartado anterior mediante diagramas de barras de error, que nos permitirá identificar la variabilidad de la medida empleada (la media de partículas) con intervalo de confianza establecido del 95%.

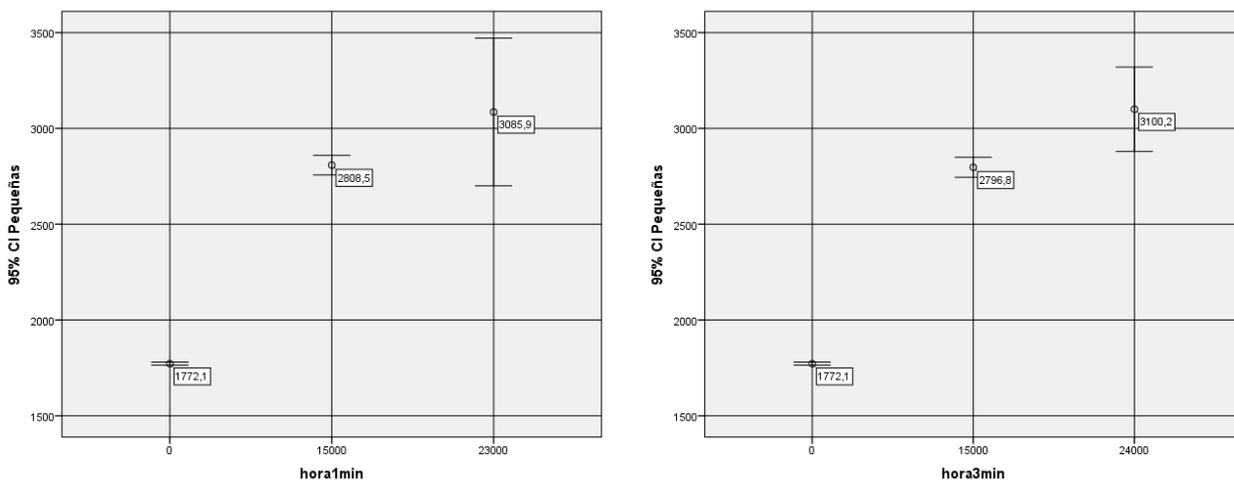


Gráfico 3. Diagramas de barras de error para el primer y el tercer minuto del evento.

Siguiendo el modelo de evento del *anexo IV*, se ha aplicado el diagrama de barras de error a todas las variables creadas de cada uno de los intervalos temporales comparándolas con el número de partículas (*anexo V*).

Como se observa en el gráfico 3, correspondientes al intervalo entre uno y tres minutos, no se aprecia diferencia significativa: la longitud de las barras, con un intervalo de confianza del 95% (barras que contienen el 95% de los datos), se solapan al comparar las partículas captadas por el Dylos en el primer minuto (al que se le ha asignado el valor fijo 23000) y el tercero (valor 24000) dentro de los 60 que se han establecido (barra con valor 15000 en el gráfico). Sí hay

diferencia significativa si se comparan estos datos con los sucesos que se han denominado “no evento”, a los que se le han asignado el valor 0.

El resto de barras de error correspondiente a los intervalos temporales superiores a tres minutos sí demuestran diferencia significativa: la media del número de partículas se ve alterada cuando pasa un soplador de hojas, alargándose el efecto que produce en la calidad ambiental durante la primera hora.

Volviendo a los dos primeros casos, intuitivamente se debería apreciar un salto brusco en el número de partículas, puesto que es cuando el evento está ocurriendo: pasa el soplador de hojas e inmediatamente levanta polvo. En efecto, como se ha mencionado previamente, la toma de datos la ha realizado una persona que no necesariamente ha estado presente en el momento preciso del paso de los operadores, pudiendo reflejar un error al anotar la hora, que por mínimos que sea, altera los resultados en los primeros minutos del evento a estudiar.

Este hecho tiene como consecuencia una posible inexactitud en la interpretación de resultados. Aun así, ya en los cinco primeros minutos tras el evento, se aprecian diferencias significativas.

Para afinar el resultado, se ha aplicado la misma comparación mediante de barras de error esta vez tomando como referencia el valor de partículas máximo más próximo que coincida con la hora que ha anotado el observador, definiendo esta nueva variable como “*máximo*”.

En este ejemplo, el observador ha tomado como hora de pasada las 8:51, percibiendo que en el minuto siguiente se produce un aumento en el número de partículas, valor que se ha tomado de referencia.

Fecha	Hora	Finas	Máximo	Paso03min
23-abr-16	8:47:00 AM	3437	0	0
23-abr-16	8:48:00 AM	3268	0	0
23-abr-16	8:49:00 AM	3283	0	0
23-abr-16	8:50:00 AM	3324	0	34000
23-abr-16	8:51:00 AM	3461	32000	34000
23-abr-16	8:52:00 AM	3332	0	34000
23-abr-16	8:53:00 AM	3187	0	0
23-abr-16	8:54:00 AM	3261	0	0

Tabla 9. Referencia máximo número de partículas.

A partir de estos valores máximos de partículas, se han vuelto a establecer eventos y estudiar el comportamiento de las partículas en el mismo lapso horario.

Se obtienen las siguientes barras de error para los primeros tres minutos:

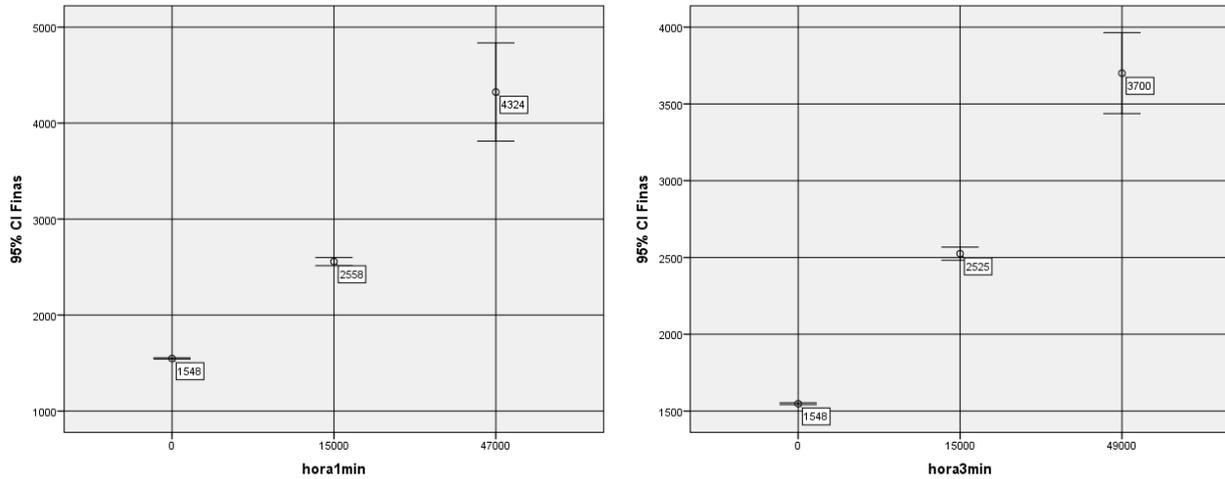


Gráfico 4. Barras de error referenciados al número máximo de partículas.

Estos nuevos resultados evidencian el notable cambio en la calidad ambiental que tiene lugar instantáneamente tras el paso de los operadores de limpieza.

Se ha realizado una comparativa del número medio de partículas para diferentes tamaños y situaciones, observando la siguiente evolución:

Comportamiento material particulado

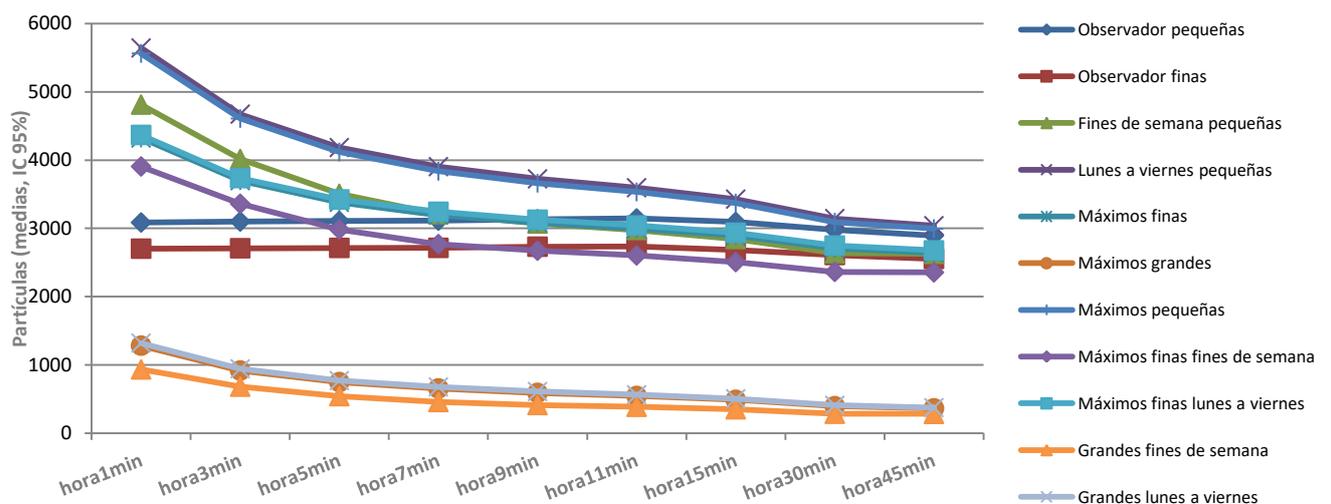


Gráfico 5. Comportamiento material particulado

En todos los casos, excepto en los dos correspondientes a los datos iniciales facilitados por el observador, se aprecia el impacto del soplador de hojas sobre el material particulado en el primer minuto, con tendencia a estabilizarse en los 45 minutos restantes.

En cuanto a los diferentes episodios, es considerablemente inferior la media de partículas grandes (PM₁₀) tanto de lunes a viernes como los fines de semana.

En el otro extremo se encuentran las variables “*máximos finas*” y “*pequeñas lunes a viernes*”, ambas con valores medios en el primer minuto del evento superiores a 5500 partículas/pie³.

Es necesario hacer mención a las unidades con las que se ha realizado este estudio, pues el Dyllos 1700 proporciona información en partículas/pie³, siendo las unidades del SI ug/m³.

Debido al excesivo número de datos, y a la complejidad del cambio de unidad, es difícil trasladar la información a las unidades reflejadas en el marco normativo.

No obstante, para establecer una similitud, y poder esclarecer si realmente es pernicioso el empleo de estos dispositivos para la salud, se han calculado los resultados más evidentes mediante el empleo de un conversor, que permite obtener las unidades correctas a partir de la humedad relativa y el número de partículas por pie cúbico.

Este conversor, desarrollado por un equipo de expertos de la Universidad de Drexel, parte de determinadas consideraciones sobre el material particulado, asumiendo que se trata de una aproximación debido a la imposibilidad de cuantificar las propiedades exactas de las miles de partículas microscópicas contadas (Arling, J. et. Al, 2010). El cálculo de partículas en ug/m³ se obtiene en función de las siguientes suposiciones:

- Considera las partículas esféricas con densidad de 1.65E12 ug/m³.
- El radio del PM_{2.5} es 0.44 μm y para PM₁₀ de 2.60 μm.
- 0.01 pie³ se convierten en m³ multiplicando por 3531.5
- La masa de una partícula PM_{2.5} es 5.89E-7 μg, la de PM₁₀ es 1.21E-4 μg.

Humidity Correction		
Humidity [%]	Dry Correctio	Rain Correctio
0-19	10,1	6,4
20-24	8,75	6,4
25-29	8	6,4
30-34	8	6,4
35-39	8	6,4
40-44	7	6,3
45-49	6	6,3
50-54	5,75	5,7
55-59	5,5	5,5
60-64	5,5	4,2
65-69	3,5	4,1
70-74	3,5	3,2
75-79	3,75	3,2
80-84	2,25	2,1
85-89	1,5	2,1
90-94	0,825	0,8
95-100	5,25	0,5

Tabla 10. Factores de corrección en función de %Hr

Con los datos anteriores y la siguiente fórmula, se obtiene la conversión:

$$\text{Concentración PM } \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}\right) = \text{núm. de partículas} \left(\frac{\text{partículas}}{\text{pie}^3}\right) \cdot 3531.5 \frac{\text{pie}^3}{\text{m}^3} \cdot \text{masa partícula} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{partícula}}\right)$$

Por último, también considera las diferentes condiciones climatológicas (humedad y lluvia) mediante el empleo de un factor de corrección.

Tomando como referencia los datos de humedad relativa media mensual aportados por la Agencia Estatal de Meteorología (Centro Meteorológico Territorial de Murcia) de 2016, se obtienen las siguientes cifras para los tres primeros minutos del evento:

Mayo Humedad relativa (%): 49 Factor corrección: 6	PM_{2.5}	partículas/pie³	ug/m³
	1min	4491	2746,41
	3min	3719,1	2274,3
	5min	3312,8	2025,9
Noviembre Humedad relativa (%): 63 Factor corrección: 5.5	PM_{2.5}	partículas/pie³	ug/m³
	1min	4786	3449,45
	3min	4136	2980,97
	5min	3750	2702,76

Tabla 11. Conversión unidades material particulado para PM2.5

Según el RD 102/2011 el límite diario para PM2.5 se fija en 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas. En efecto, el nivel de material particulado supera lo establecido por el marco normativo en este intervalo puntual.

8. Discusión y conclusiones.

8.1. Discusión.

- Se ha estudiado el comportamiento del material particulado en dos períodos diferentes del año, otoño y primavera, midiendo en continuo el número de partículas a través de un contador que diferencia entre partículas de 10 micras de diámetro y 2.5 micras de diámetro.
- Durante el muestreo se ha contado con la ayuda de dos colaboradores, quienes han anotado la frecuencia de paso de los sopladores de hojas. La labor de estas personas ha resultado fundamental a la hora de poder realizar el estudio, y se ha de tener en cuenta que no han estado dedicadas en exclusiva a ello, por lo que existe cierta imprecisión en la toma de datos.
- Han influido diversos factores que han dificultado el muestreo: fallos en la conexión eléctrica, rachas de viento que vuelcan el dispositivo o fallos del propio dispositivo. Se han clasificado los datos según fecha, hora, tamaño de partículas y frecuencia de paso de los sopladores, estableciendo “eventos” de una hora de duración y se ha estudiado el efecto producido por el soplador de hojas en la calidad ambiental durante este intervalo de tiempo, observando la situación anterior y posterior al minuto central.
- Por último, se ha utilizado un conversor de unidades para reflejar los picos de partículas alcanzados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y cotejar con los valores establecidos por el RD 102/2011.

8.2. Conclusiones.

- No se puede confirmar que los datos obtenidos tras el muestreo se aproximen a una distribución normal debido a la limitación del contador de partículas en su rango de medida, puesto que desprecia las partículas con tamaño inferior a 0.5 micras de diámetro.
- A priori, se observa gráficamente que siempre que interviene un soplador de hojas, el contador de partículas reconoce un aumento brusco de éstas en el ambiente.
- En un primer análisis no se aprecia significación en los primeros minutos de actuación de los sopladores de hojas. A pesar de la gran labor de los colaboradores, no se sabe con exactitud el momento exacto del paso de los operadores por delante del dispositivo.

- Se han considerado las cifras de partículas de mayor valor más cercanas a las que los observadores han tomado como referencia. En esta ocasión se observan diferencias muy significativas en el primer minuto del evento. Posteriormente, el comportamiento de las partículas tiende a estabilizarse y recuperar la situación inicial de calma.
- Se ha hecho una comparativa del comportamiento del material particulado en diferentes momentos, tanto de partículas finas como grandes, observando que es inferior el nivel de partículas grandes tanto de lunes a viernes como los fines de semana.
- Tras realizar el cambio de unidades con el conversor, se toman como referencia los meses de mayo y noviembre por ser los más representativos y se comprueba que durante los tres primeros minutos del evento el nivel de material particulado supera lo establecido por el marco normativo.

9. Bibliografía

- Agencia Estatal de Meteorología. Centro Meteorológico Territorial de Murcia., Datos Climatológicos de La Región de Murcia. [consulta: 27 septiembre 2017]. Disponible en: [http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=1381&IDTIPO=100&RASTRO=c1415\\$m1174](http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=1381&IDTIPO=100&RASTRO=c1415$m1174).
- Air Quality Criteria for Particulate Matter. Volume II EPA/600/P-99/002bF. 2004. [Consulta: 16 febrero 2016]. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.400.5005&rep=rep1&type=pdf>.
- Alastuey, A. 2000. Estudio y evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado en España: necesidades derivadas de la propuesta de la directiva del consejo relativa a partículas PM10 y PM2.5 e implicaciones en la industria cerámica. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. 39 (1): 135-148.
- Arling, J.; O'Connor, K.; Mercieca, M. Air Quality Sensor Network for Philadelphia. Data Validation. 2010. [Consulta: 16 septiembre 2017]. Disponible en: <http://www.fijnstofmeter.com/documentatie/Data-Validation.pdf>
- Arroyo, M. 2009. Evolución del contenido en partículas totales en suspensión y en los metales, plomo, cinc, cadmio, cobre, hierro y manganeso, en el aerosol atmosférico de Cartagena, durante el periodo 1995-2000. [Consulta: 16 febrero 2016]. Disponible en: <http://repositorio.upct.es//handle/10317/800>.
- Borrajo, J.F.L.; Caballa, A.; Miguel, E. de.; Larssen S.; Arrojo, C.F.; Ordoñez, A.; Charlesworth, S.; Chacón, E. 2002. Caracterización geoquímica de los ciclos de elementos traza en ambientes urbanos. Boletín geológico y minero. 113 (1): 35-43.

- Directiva 80/779/EEC del Consejo del 15 julio de 1980 on air quality limit values and guide values for sulphur dioxide and suspended particulates.
- Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa, de 21 de mayo de 2008
- Directiva 1999/30/CE del Consejo de 22 de abril de 1999 relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente.
- Easter, R.C.; Peters, L.K. 1994. Binary Homogeneous Nucleation: Temperature and Relative Humidity Fluctuations, Nonlinearity, and Aspects of New Particle Production in the Atmosphere. *Journal of Applied Meteorology*. 33 (7): 775-784.
- Fitz, D.; Pankratz, D.; Pederson, S.; Bristow, J. Determination Particulate Emission Rates from Leaf Blowers. 1990. [Consulta: 4 octubre 2016]. Disponible en: <https://www3.epa.gov/ttn/chief/conference/ei15/session5/fitz.pdf>
- Kim, E.; Hopke, P.K. Source identification of Washington, DC aerosol using temperature resolved carbon fractions in positive matrix factorization. 2003. [Consulta: 16 febrero 2016]. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsbl&AN=CN049372905&site=eds-live>. British Library Document Supply Centre Inside Serials & Conference Proceedings: CN049372905.
- López Hernández, F. A. Estadística básica para la investigación. Curso de SPSS. [Consulta: 2 octubre 2017]. Disponible en: <http://metodos.upct.es/falopez/curso/>
- Marticorena, B.; Bergametti, G.; Aumont, B.; Callot, Y.; N'Doumé, C.; y Legrand, M. 1997. Modeling the atmospheric dust cycle: 2. Simulation of Saharan dust sources. *.102(D4): 4387-4404*.
- Martínez, M.J.; Moreno-Grau, S.; Martínez García, J.J.; Moreno, J.; Bayo, J.; Guillén Pérez, J.J.; Moreno-Clavel, J. Distribution of the Metals Lead, Cadmium, Copper, and Zinc in the Top Soil of Cartagena, Spain. *Water, Air, and Soil Pollution*. 131 (1-4): 329-347.
- Nancy L.C.; Steele, D.; Rowland, S.; Carter, M. A Report to the California Legislature on the Potential Health and Environmental Impacts of Leaf Blowers. 2000. [Consulta: 3 julio 2017]. Disponible en: <https://www.arb.ca.gov/msprog/mailouts/msc0005/msc0005.pdf>
- Negral, L.; Moreno-Grau, S.; Moreno, J.; Querol, X.; Viana, M.M; Alastuey, A. 2008. Natural and Anthropogenic Contributions to PM10 and PM2.5 in an Urban Area in the Western Mediterranean Coast. *Water, Air, and Soil Pollution*. 192 (1-4): 227-238.

- Préndez, M.; Corvalán, R.M.; Cisternas, M. 2007. Preliminary Study of Particulate Matter from Stationary Sources: Application to an Emission Compensation System at the Metropolitan Region, Chile. *Información tecnológica*. 18 (2): 93-103.
- Querol Carceller, X. 2008. *El Material Particulado Atmosférico*. Congreso Nacional Del Medio Ambiente. CONAMA 8. Madrid.
- Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. BOE 29 de enero de 2011, num 25, p 9574 a 9626.
- Saxe, H. 1991. Air Pollution. In: *Introduction to Environmental Management*. Hansen, P.E. y Jorgensen, S.E. Amsterdam. Elsevier: 403pp.
- Seinfeld, J.H; Pandis, S.N. 2012. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. S.l.: John Wiley & Sons. ISBN 978-1-118-59136-9.
- Stickse, P. R.; Engdahl, R. B. 1978. Air pollution. En: *Kirk-Othmer Encyclopedia of chemical Technology*. New York,Ed. Academic Press.
- Tepper J., Lehmann J., Winsett D., Costa D. Adn Ghio A., 1994. The role of surface complexed iron in the development of acute lung inflammation and airway hyperresponsiveness. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 149: A839.
- Weber, E. 1982. *Air pollution assessment methodology and modeling*. Vol 2. New York. Ed: Plenum Pres. 196pp.

10.ANEXOS

10.1. Anexo I. Frecuencia de paso de los sopladores

Calle: Jiménez de la Espada							
Fecha		Hora 1	Hora 2	Hora 3	Hora 4	Meteorología	Observaciones
13/04/2016	Miércoles	10:20	10:45				
14/04/2016	Jueves	9:05					
15/04/2016	Viernes	10:21					
16/04/2016	Sábado	-	-	-			
17/04/2016	Domingo	-	-	-			
18/04/2016	Lunes	8:17	9:15	16:15			
19/04/2016	Martes	7:50					
20/04/2016	Miércoles	8:25	8:50	11:35	17:22	Nublado y viento moderado	
21/04/2016	Jueves	7:50	8:10			Despejado	Descoordinación del soplador con la máquina aspiradora
22/04/2016	Viernes	7:55	8:20	8:40		Despejado y sin viento	La máquina fregadora pasa a las 07:15h. Descoordinación soplador-aspirador
23/04/2016	Sábado	8:50	9:10			Despejado y sin viento	
24/04/2016	Domingo	9:48				Despejado y sin viento	Solo máquina aspiradora y barredera
25/04/2016	Lunes	8:03	10:20			Despejado	Primero pasa la máquina fregadora y después la barredera. A las 11:50-12:00 pasa un coche acelerando en la puerta del garaje.
26/04/2016	Martes	7:50	8:10			Despejado	Descoordinación del soplador con la máquina aspiradora
27/04/2016	Miércoles	8:30	9:15			Despejado	Primero pasa el soplador sin la aspiradora, 10 minutos más tarde pasa ésta.
28/04/2016	Jueves	7:45				Despejado	Primero pasa el soplador solo, a las 8:25 pasa la aspiradora.
29/04/2016	Viernes	8:30				Nublado con brisa	Pasan las dos máquinas juntas

Fecha		Hora 1	Hora 2	Hora 3	Hora 4	Meteorología	Observaciones
30/04/2016	Sábado	10:25	10:35			Nublado	
01/05/2016	Domingo	-	-	-			Domingo
02/05/2016	Lunes	8:32				Despejado	Cada máquina pasa por un sitio diferente
03/05/2016	Martes	8:10	8:25			Despejado	Descoordinación del soplador con la máquina aspiradora
04/05/2016	Miércoles	12:00				Sol	
05/05/2016	Jueves	8:00	8:25	8:40		Nublado/ligera lluvia	Primero pasa solo la espiradora, a las 8.25 la aspiradora sola también y a 8,40 las dos máquinas juntas.
06/05/2016	Viernes	10:40				Nublado	Pasan las dos máquinas juntas
07/05/2016	Sábado	-	-	-			
08/05/2016	Domingo	-	-	-			
09/05/2016	Lunes	12:00				Lluvia	Pasa solo la aspiradora
10/05/2016	Martes	8:15	8:30			Nublado	8:15 pasa soplador por la puerta del garaje. Hacen cambio de máquinas y se queda el soplador encendido en la puerta unos momentos. Unos minutos más tarde pasa la aspiradora por el mismo sitio y el soplador la acompaña (acera contraria al garaje). Finalmente, pasan de nuevo (ambos) por la acera donde está el dispositivo (rápidamente, sin apenas soplar).
11/05/2016	Miércoles	8:10	8:55	18:53		Despejado	Pasan juntos
12/05/2016	Jueves	8:40				Despejado	Pasan soplador y aspiradora cada uno por una acera
13/05/2016	Viernes	8:16	9:30			Nublado	8:15 pasa por la acera de la panadería el soplador por la acera de la panadería, soplando desde la carretera hacia los comercios. 8:16 pasa la aspiradora por la misma acera. 8:22 vuelve a pasar la aspiradora por la misma acera. 8:24 pasa la aspiradora por la acera del garaje.
14/05/2016	Sábado	10:30				Sol	Soplador y máquina
15/05/2016	Domingo	-	-	-			
16/05/2016	Lunes	12:40				Sol	Soplador y máquina

Fecha		Hora 1	Hora 2	Hora 3	Hora 4	Meteorología	Observaciones
17/05/2016	Martes	8:40	9:00			Nublado	Máquina y soplador por la acera del garaje (8:40). Máquina y soplador por la acera de la panadería (9:00). Observo que están podando los árboles de la casa de la esquina (acera del garaje)
18/05/2016	Miércoles	8:20	9:05			Nublado	Soplador y máquina.
19/05/2016	Jueves	7:45	7:55			Sol	Primero solo soplador, 10 minutos después solo máquina.
20/05/2016	Viernes	8:12	8:45			Sol	8:12 Pasa el soplador por la acera de la panadería soplando más bien por los bordes de la carretera. Casi a la misma vez pasa la aspiradora por mitad de la calle. Ambos se paran en la esquina varios minutos. Solo pasan por esta acera y se van.
21/05/2016	Sábado	-	-	-			
22/05/2016	Domingo	-	-	-			
23/05/2016	Lunes	11:30				Sol	Soplador y aspiradora
24/05/2016	Martes	9:10				Sol	Soplador y aspiradora
25/05/2016	Miércoles	8:25	8:45	18:47		Nublado	Las dos primeras veces pasan el soplador, la aspiradora y fregadora. El último de la tarde solamente soplador y aspiradora.
26/05/2016	Jueves	8:45	8:55			Nublado	Primero pasa solo la aspiradora y a las 8:55 pasan los dos
27/05/2016	Viernes	9:12				Sol	Soplador y aspiradora
28/05/2016	Sábado	8:52				Sol	Soplador y aspiradora
29/05/2016	Domingo	9:40	9:55			Sol	Soplador y aspiradora las dos vueltas.
30/05/2016	Lunes	10:15	10:38			Sol	Primero pasan los dos por la acera de la panadería y después por la del garaje.
31/05/2016	Martes	8:17	8:25			Sol	8:15 pasa la aspiradora por la acera de la panadería (dos veces). 8:24 pasan los dos. Primero soplador (acera garaje) y después aspiradora. Sopla desde la carretera dirección acera.
01/06/2016	Miércoles	8:37				sol	8:37 Pasa el soplador apuntando de la calle hacia la acera, la aspiradora justo detrás.
02/06/2016	Jueves	8:47	9:07			sol	Soplador primero por la acera del garaje, después aspiradora.

Fecha		Hora 1	Hora 2	Hora 3	Hora 4	Meteorología	Observaciones
03/06/2016	Viernes	-	-	-			
04/06/2016	Sábado	10:20				Sol	dos máquinas juntas
05/06/2016	Domingo	-	-	-			
06/06/2016	Lunes	7:47	8:55			Sol	A primera hora pasan las dos máquinas juntas por la acera de la panadería, a las 8:55 pasan por la acera del garaje.
07/06/2016	Martes	9:10				Sol	Soplador y aspiradora por la acera del garaje.
08/06/2016	Miércoles	8:17				Sol	Soplador y aspiradora por la acera de la panadería.
09/06/2016	Jueves	-	-	-			
10/06/2016	Viernes	9:40					Soplador y aspiradora
11/06/2016	Sábado	-	-	-			
12/06/2016	Domingo	-	-	-			
13/06/2016	Lunes	10:30	10:47			sol	Soplador y aspiradora
14/06/2016	Martes	7:52				Sol	Soplador y aspiradora por la acera de la panadería.
15/06/2016	Miércoles	8:14				Sol	Soplador y aspiradora.
16/06/2016	Jueves	8:52	17:14			Sol	Soplador y espiradora ambos.

Segunda etapa muestreo:

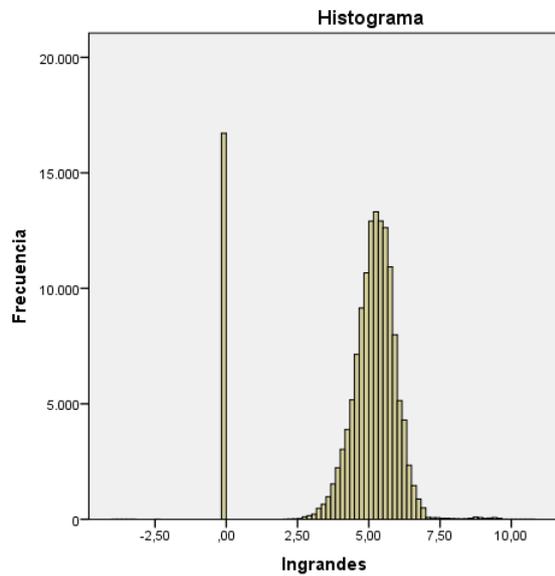
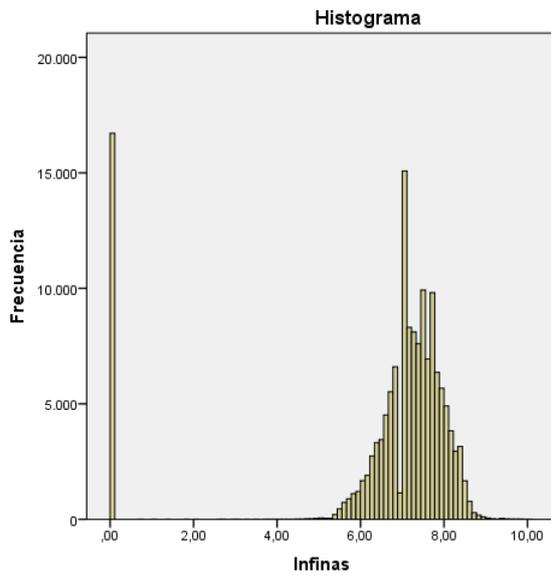
Fecha		Hora 1	Hora 2	Hora 3	Hora 4	Meteorología	Observaciones
26/10/2016	Miércoles	18:50					Soplador y barredora
27/10/2016	Jueves	10:32	11:10			Nublado	Primero acerda panadería. Segundo acera garaje. En ambos casos pasa el soplador y la barredora

Fecha		Hora 1	Hora 2	Hora 3	Hora 4	Meteorología	Observaciones
28/10/2016	Viernes	10:17	11:09			Nubes y sol	Primero acera panadería. Segundo acera garaje. En ambos casos pasa el soplador y la barredora
29/10/2016	Sábado	9:23				Sol	Soplador y barredora
30/10/2016	Domingo	-	-	-			
31/10/2016	Lunes	9:14				Sol	Soplador y barredora
01/11/2016	Martes	-	-	-			
02/11/2016	Miércoles	8:37	10:12			Sol	Primero pasa la máquina fregadora. Segunda vuelta pasan el soplador y la máquina barredora
03/11/2016	Jueves	-	-	-			
04/11/2016	Viernes	9:12	9:23			Nublado	Primero pasan por la acera del garaje el soplador y la barredora (aspiradora). Después pasan por la acera de la panadería.
05/11/2016	Sábado	-	-	-			
06/11/2016	Domingo	-	-	-			
07/11/2016	Lunes	11:00				Nubes y sol	Pasa la fregadora por la acera de la panadería.
08/11/2016	Martes	-	-	-			
09/11/2016	Miércoles	11:15	11:22			Sol	Pasa primero la fregadora por la acera de la panadería. Después el soplador y la fregadora por la acera del garaje.
10/11/2016	Jueves	8:10				Nubes y sol	Pasa la fregadora
11/11/2016	Viernes	9:09	10:15	10:57		Sol	Soplador y fregadora (acera panadería). Después repiten lo mismo (10:15). Por último pasa la fregadora (10:57).
12/11/2016	Sábado	-	-	-			
13/11/2016	Domingo	-	-	-			
14/11/2016	Lunes	-	-	-			
15/11/2016	Martes	9:13				Sol	Fregadora por la acera del garaje
16/11/2016	Miércoles	-	-	-			

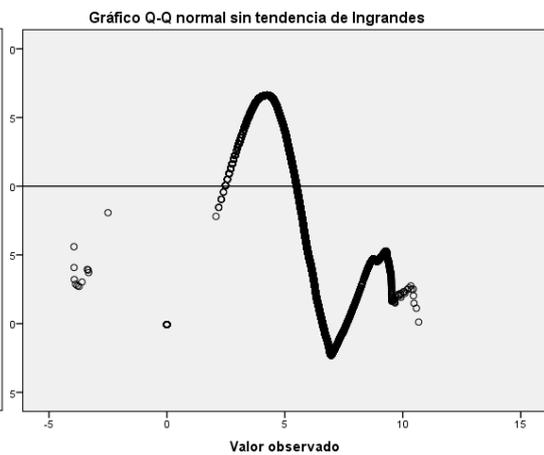
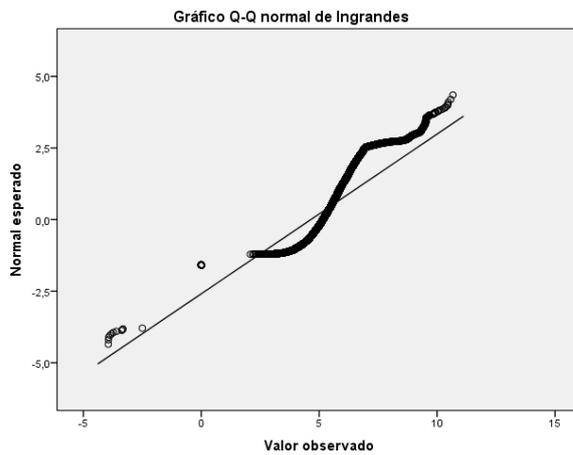
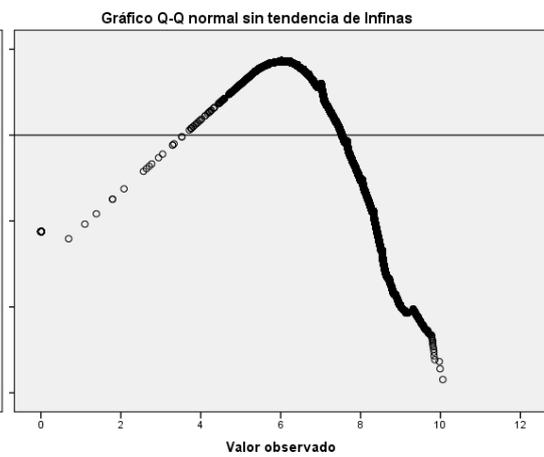
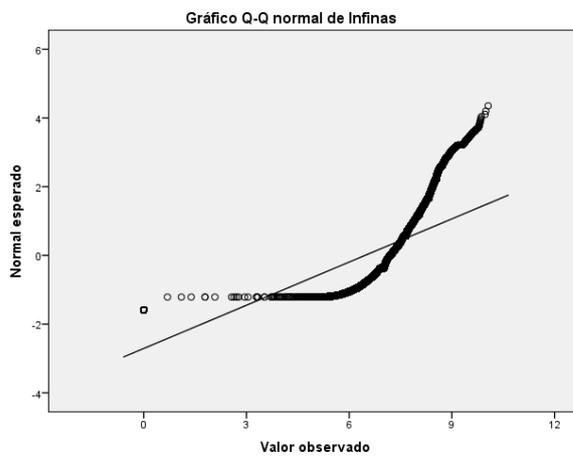
Fecha		Hora 1	Hora 2	Hora 3	Hora 4	Meteorología	Observaciones
17/11/2016	Jueves	10:43				Sol	Soplador y barredora por la acera de la panadería
18/11/2016	Viernes	-	-	-			
19/11/2016	Sábado	-	-	-			
20/11/2016	Domingo	-	-	-			
21/11/2016	Lunes	-	-	-			
22/11/2016	Martes	10:30				Nublado	pasa la fregadora por la acera de la panadería
23/11/2016	Miércoles	17:19				Nublado	Soplador por la acera de la panadería
24/11/2016	Jueves	9:21				Sol	por la acera del garaje pasa el soplador y la máquina
25/11/2016	Viernes	7:38					Soplador y aspiradora por la acera de la panadería
26/11/2016	Sábado	11:07				Nublador	Soplador y aspiradora por la acera del garaje
27/11/2016	Domingo	-	-	-			
28/11/2016	Lunes	10:25				Sol	Soplador y aspiradora
29/11/2016	Martes	-	-	-			
30/11/2016	Miércoles	-	-	-			
01/12/2016	Jueves	10:35				Lluvia	soplador y aspiradora (panadería)
02/12/2016	Viernes	12:05				Sol	Soplador y aspiradora (garaje)
03/12/2016	Sábado	-	-	-			
04/12/2016	Domingo	-	-	-			
05/12/2016	Lunes	11:17				Nublado	Soplador y máquina
06/12/2016	Martes						
07/12/2016	Miércoles						
08/12/2016	Jueves						
09/12/2016	Viernes						
10/12/2016	Sábado						

10.2. Anexo II. Transformación de variables “Infinas” y “Ingrandes”.

Histogramas de frecuencia:



Gráficos Q-Q:



10.3. Anexo III. Prueba T2 de Tamhane aplicada a partículas Grandes.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente	(I) hora1min	(J) hora1min	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Grandes	0	15	-98,2991533*	7,1602653	,000	-115,400967	-81,197339
		23	-165,311066*	44,2920323	,001	-272,940410	-57,681725
	15	0	98,2991533*	7,1602653	,000	81,197339	115,400967
		23	-67,0119142	44,8083869	,359	-175,808868	41,785040
	23	0	165,311076*	44,2920323	,001	57,681725	272,940410
		15	67,0119142	44,8083869	,359	-41,785040	175,808868

Variable dependiente	(I) hora3min	(J) hora3min	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Grandes	0	15	-95,293477*	7,3272118	,000	-112,79426	-77,792699
		24	-172,15644*	25,0743786	,000	-232,37237	-111,94020
	15	0	95,293474*	7,3272118	,000	77,792699	112,794256
		24	-76,862951*	26,0221157	,010	-139,30530	-14,420532
	24	0	172,15644*	25,0743786	,000	111,940520	232,372337
		15	76,862951*	26,0221157	,010	14,420532	139,305370

Variable dependiente	(I) hora5min	(J) hora5min	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Grandes	0	15000	-91,952587*	7,4687852	,000	-109,79171	-74,113386
		25000	-174,43789*	20,7254607	,000	-224,09150	-124,77806
	15000	0	91,952548*	7,4687852	,000	74,113386	109,791712
		25000	-82,482230*	21,9103967	,001	-134,94232	-30,022138
	25000	0	174,43479*	20,7254607	,000	124,778056	224,091502
		15000	82,482230*	21,9103967	,001	30,022138	134,942323
		15000	82,482232*	21,9103967		30,987905	133,976555

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

10.4. Anexo IV. Ejemplo de evento completo.

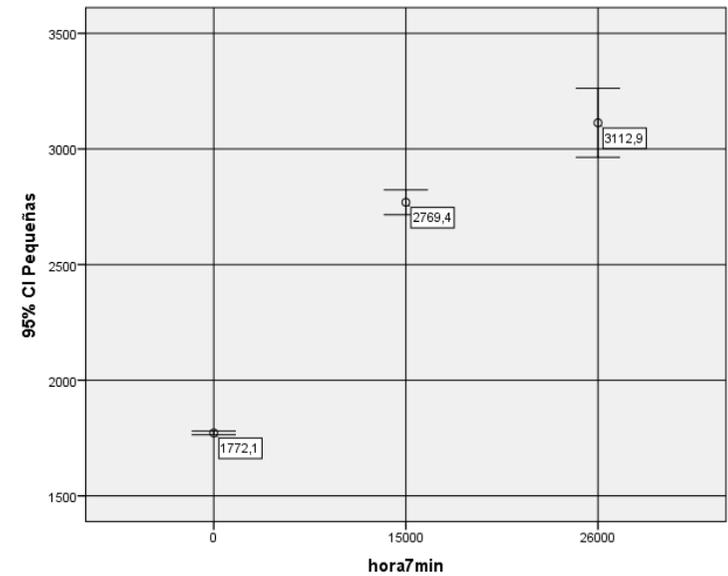
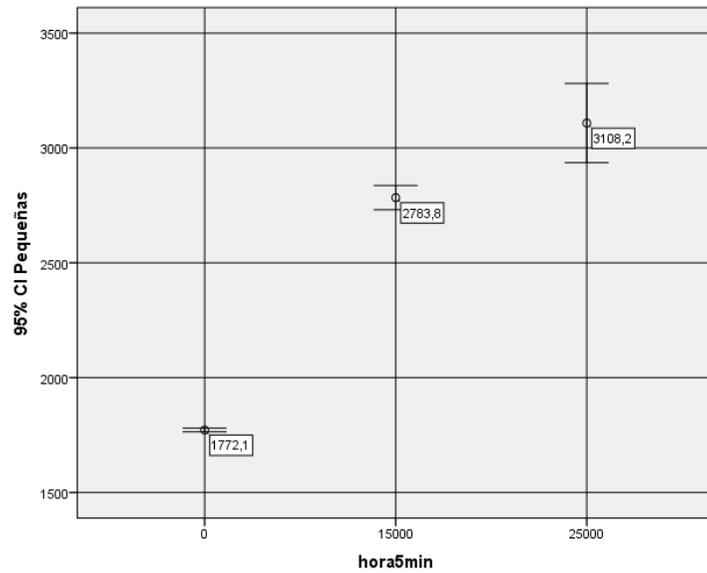
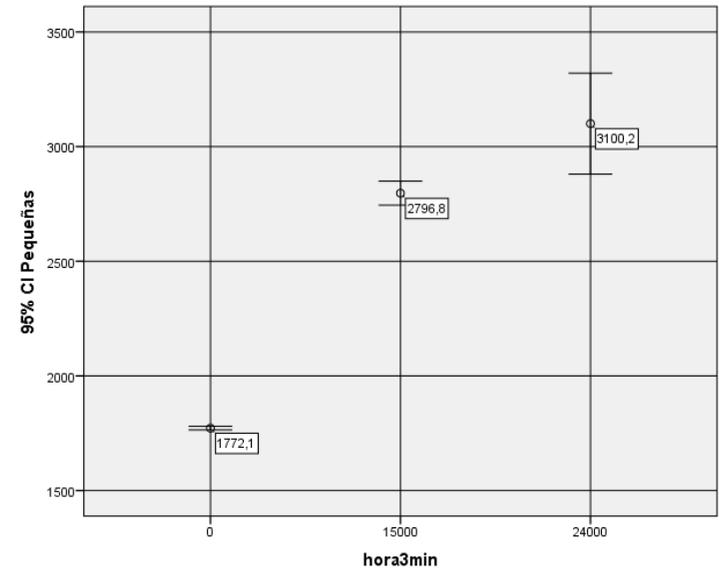
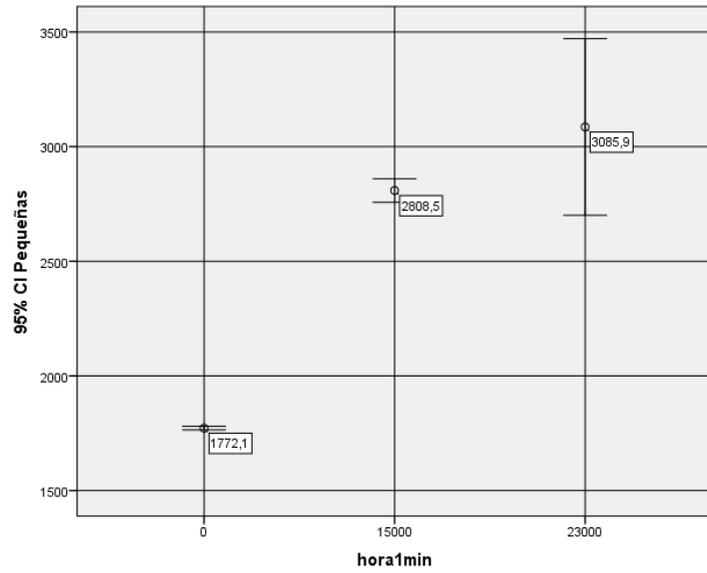
Fecha	Hora	Pequeñas	Grandes	Sopladores	Paso03min	Paso05min	Paso07min	Paso09min	Paso011min	Paso15min	Paso030min	Paso45min	hora	hora1min	hora3min	hora5min	hora7min	hora9min	hora11min	hora15min	hora30min	Hora45min
14-abr-16	8:35:00 AM	4010	366	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
14-abr-16	8:36:00 AM	4161	367	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
14-abr-16	8:37:00 AM	5026	370	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
14-abr-16	8:38:00 AM	4331	386	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
14-abr-16	8:39:00 AM	4121	363	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
14-abr-16	8:40:00 AM	4528	347	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
14-abr-16	8:41:00 AM	4549	355	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
14-abr-16	8:42:00 AM	4214	346	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
14-abr-16	8:43:00 AM	4004	343	0	0	0	0	0	0	0	0	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	32000
14-abr-16	8:44:00 AM	4236	332	0	0	0	0	0	0	0	0	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	32000
14-abr-16	8:45:00 AM	4205	346	0	0	0	0	0	0	0	0	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	32000
14-abr-16	8:46:00 AM	4123	347	0	0	0	0	0	0	0	0	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	32000
14-abr-16	8:47:00 AM	4001	343	0	0	0	0	0	0	0	0	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	32000
14-abr-16	8:48:00 AM	3937	331	0	0	0	0	0	0	0	0	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	32000
14-abr-16	8:49:00 AM	3933	343	0	0	0	0	0	0	0	0	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	32000
14-abr-16	8:50:00 AM	3856	336	0	0	0	0	0	0	0	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	31000	32000
14-abr-16	8:51:00 AM	3796	318	0	0	0	0	0	0	0	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	31000	32000

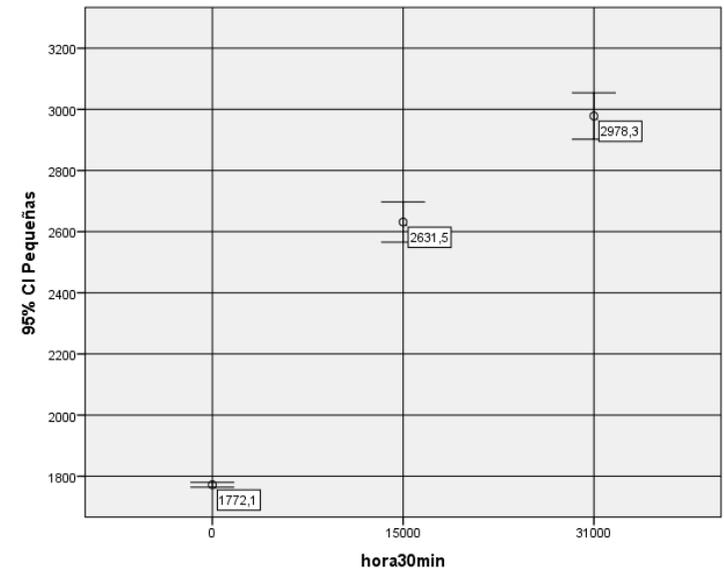
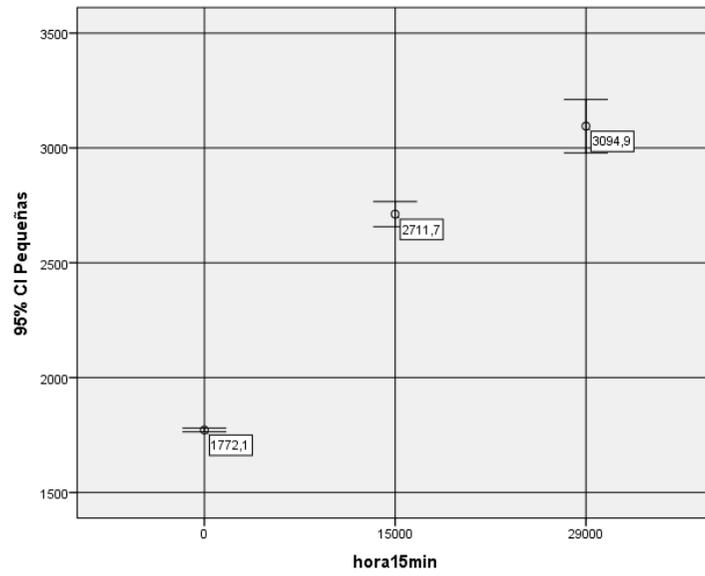
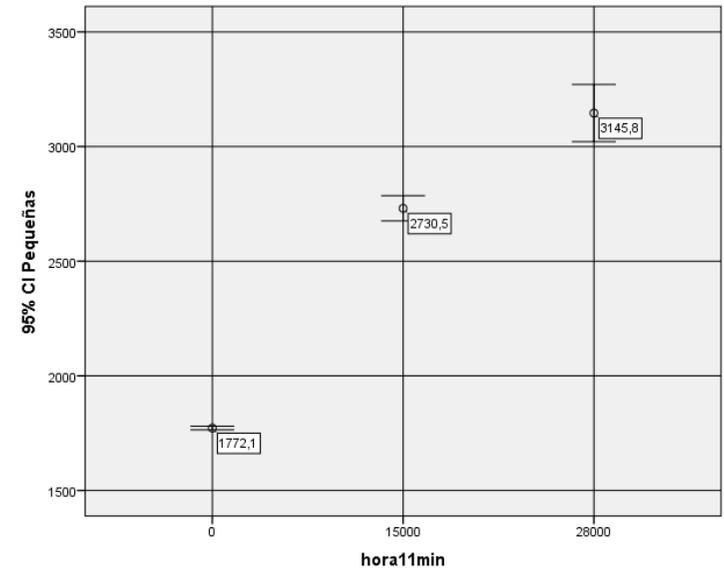
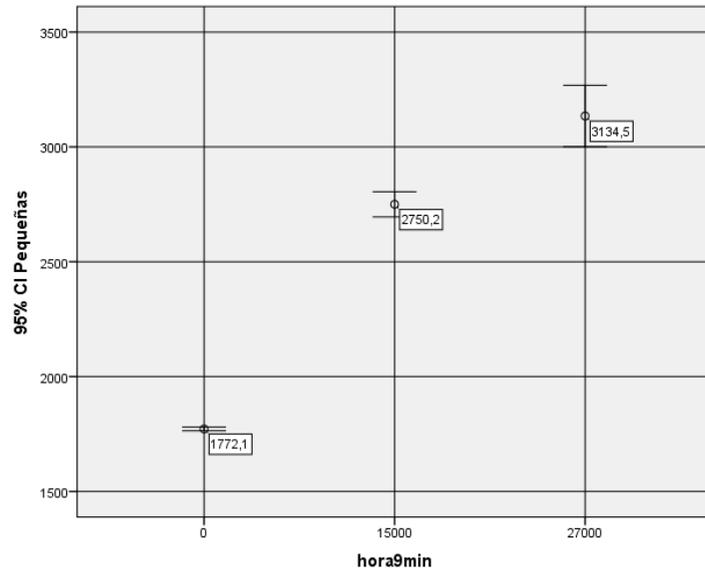
Fecha	Hora	Pequeñas	Grandes	Sopladores	Paso03min	Paso05min	Paso07min	Paso09min	Paso011min	Paso15min	Paso030min	Paso45min	hora	hora1min	hora3min	hora5min	hora7min	hora9min	hora11min	hora15min	hora30min	Hora45min
14-abr-16	8:52:00 AM	3767	317	0	0	0	0	0	0	0	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	31000	32000
14-abr-16	8:53:00 AM	3817	322	0	0	0	0	0	0	0	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	31000	32000
14-abr-16	8:54:00 AM	3839	310	0	0	0	0	0	0	0	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	31000	32000
14-abr-16	8:55:00 AM	3940	317	0	0	0	0	0	0	0	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	31000	32000
14-abr-16	8:56:00 AM	3758	320	0	0	0	0	0	0	0	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	31000	32000
14-abr-16	8:57:00 AM	3725	315	0	0	0	0	0	0	0	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	31000	32000
14-abr-16	8:58:00 AM	4001	311	0	0	0	0	0	0	14000	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	29000	31000	32000
14-abr-16	8:59:00 AM	3902	293	0	0	0	0	0	0	14000	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	29000	31000	32000
14-abr-16	9:00:00 AM	3978	321	0	0	0	0	0	13000	14000	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	28000	29000	31000	32000
14-abr-16	9:01:00 AM	3866	323	0	0	0	0	12000	13000	14000	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	27000	28000	29000	31000	32000
14-abr-16	9:02:00 AM	3778	305	0	0	0	11000	12000	13000	14000	16000	17000	15000	15000	15000	15000	26000	27000	28000	29000	31000	32000
14-abr-16	9:03:00 AM	3858	288	0	0	10000	11000	12000	13000	14000	16000	17000	15000	15000	15000	25000	26000	27000	28000	29000	31000	32000
14-abr-16	9:04:00 AM	3669	297	0	9000	10000	11000	12000	13000	14000	16000	17000	15000	15000	24000	25000	26000	27000	28000	29000	31000	32000
14-abr-16	9:05:00 AM	3942	307	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000	16000	17000	15000	23000	24000	25000	26000	27000	28000	29000	31000	32000
14-abr-16	9:06:00 AM	4655	935	0	9000	10000	11000	12000	13000	14000	16000	17000	15000	15000	24000	25000	26000	27000	28000	29000	31000	32000
14-abr-16	9:07:00 AM	6382	1584	0	0	10000	11000	12000	13000	14000	16000	17000	15000	15000	15000	25000	26000	27000	28000	29000	31000	32000
14-abr-16	9:08:00 AM	5801	1042	0	0	0	11000	12000	13000	14000	16000	17000	15000	15000	15000	15000	26000	27000	28000	29000	31000	32000
14-abr-16	9:09:00 AM	7318	1895	0	0	0	0	12000	13000	14000	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	27000	28000	29000	31000	32000
14-abr-16	9:10:00 AM	4466	457	0	0	0	0	0	13000	14000	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	28000	29000	31000	32000

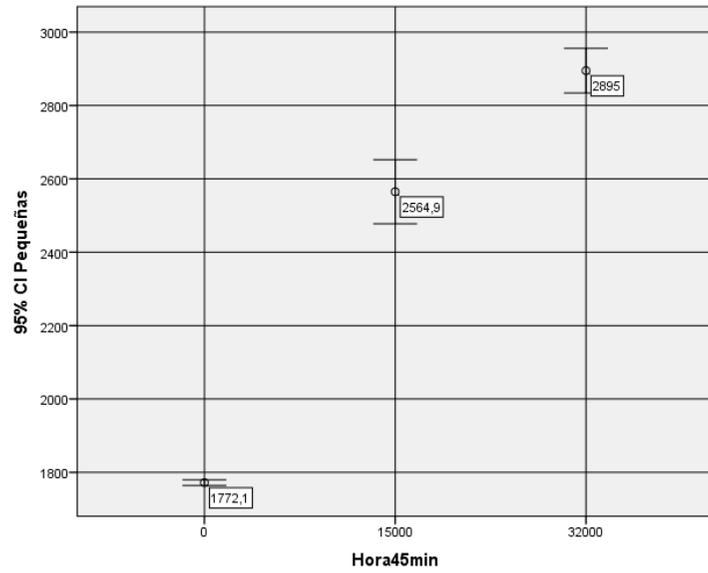
Fecha	Hora	Pequeñas	Grandes	Sopladores	Paso03min	Paso05min	Paso07min	Paso09min	Paso011min	Paso15min	Paso030min	Paso45min	hora	hora1min	hora3min	hora5min	hora7min	hora9min	hora11min	hora15min	hora30min	Hora45min
14-abr-16	9:11:00 AM	4555	575	0	0	0	0	0	0	14000	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	29000	31000	32000
14-abr-16	9:12:00 AM	4578	687	0	0	0	0	0	0	14000	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	29000	31000	32000
14-abr-16	9:13:00 AM	4220	519	0	0	0	0	0	0	0	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	31000	32000
14-abr-16	9:14:00 AM	4232	490	0	0	0	0	0	0	0	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	31000	32000
14-abr-16	9:15:00 AM	3584	414	0	0	0	0	0	0	0	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	31000	32000
14-abr-16	9:16:00 AM	3487	424	0	0	0	0	0	0	0	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	31000	32000
14-abr-16	9:17:00 AM	3567	413	0	0	0	0	0	0	0	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	31000	32000
14-abr-16	9:18:00 AM	3299	398	0	0	0	0	0	0	0	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	31000	32000
14-abr-16	9:19:00 AM	3286	400	0	0	0	0	0	0	0	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	31000	32000
14-abr-16	9:20:00 AM	3082	369	0	0	0	0	0	0	0	16000	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	31000	32000
14-abr-16	9:21:00 AM	3157	376	0	0	0	0	0	0	0	0	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	32000
14-abr-16	9:22:00 AM	3571	352	0	0	0	0	0	0	0	0	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	32000
14-abr-16	9:23:00 AM	3501	356	0	0	0	0	0	0	0	0	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	32000
14-abr-16	9:24:00 AM	3617	338	0	0	0	0	0	0	0	0	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	32000
14-abr-16	9:25:00 AM	4363	350	0	0	0	0	0	0	0	0	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	32000
14-abr-16	9:26:00 AM	3327	329	0	0	0	0	0	0	0	0	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	32000
14-abr-16	9:27:00 AM	3785	334	0	0	0	0	0	0	0	0	17000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	32000
14-abr-16	9:28:00 AM	3159	323	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
14-abr-16	9:29:00 AM	3185	309	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000

Fecha	Hora	Pequeñas	Grandes	Sopladores	Paso03min	Paso05min	Paso07min	Paso09min	Paso011min	Paso15min	Paso030min	Paso45min	hora	hora1min	hora3min	hora5min	hora7min	hora9min	hora11min	hora15min	hora30min	Hora45min	
14-abr-16	9:30:00 AM	3917	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
14-abr-16	9:31:00 AM	3314	323	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
14-abr-16	9:32:00 AM	3327	299	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
14-abr-16	9:33:00 AM	3816	437	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
14-abr-16	9:34:00 AM	3163	263	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
14-abr-16	9:35:00 AM	3159	289	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000

10.5. Anexo V. Diagramas barras de error aplicado al paso de los sopladores de hojas observado.







10.6. Anexo VI. Diagramas barras de error aplicado al paso de los sopladores referenciando al número máximo de partículas.

