



**CENTRO DE INVESTIGACION EN  
MATERIALES AVANZADOS, S.C.**



**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA COLECCIÓN  
DE PARTÍCULAS EN IMPACTORES DE CASCADA DE PTF**

**PROTOCOLO DE INVESTIGACION DE MAESTRIA**

**Presentado por:**

Ing. Eddiel Benavides Vega

**Asesor:**

Ph.D. Alfredo Campos Trujillo (CIMAV)

Chihuahua, Chih.

Noviembre 2011

## INDICE

1 INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 Técnicas utilizadas para la separación de partículas .....	7
1.2 Tipos de Filtros .....	7
2 JUSTIFICACIÓN .....	8
3 HIPOTESIS .....	11
4 OBJETIVOS .....	11
4.1 Objetivo General.....	11
4.2 Objetivos particulares .....	12
5 FASE EXPERIMENTAL.....	12
5.1 Metodología de Muestreo .....	13
5.2 Muestreo .....	17
5.3 Determinación de tamaño de partícula .....	18
5.3.1 Análisis por Mastersizer 2000.....	19
5.3.2 Análisis por Microscopio Electrónico de Barrido .....	19
5.4 Determinación de la concentración de partículas.....	21
6 RESULTADOS .....	22
6.1 Resultados de concentración de partículas y comparación .....	22
6.2 Resultados de Tamaño de partícula .....	30
6.2.2 Resultados de Tamaño de partícula MEB .....	32
7 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	39
8 CONCLUSIONES.....	43
9.0 REFERENCIAS .....	44
10 ANEXOS .....	48
10.1 Anexo 1 .....	48
10.2 Anexo 2 .....	59
10.3 Anexo 3 .....	69

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi esposa, a mi hijo, por ser mis motores para terminar este proyecto, que desde un principio me estimularon a salir adelante.

A mis papas por haberme apoyado incondicionalmente durante toda la carrera

Quisiera agradecer al CIMAV por darme de nuevo la oportunidad de consumir una meta más, en mi desarrollo profesional, las facilidades otorgadas por el centro y la hospitalidad de los investigadores que siempre tuvieron una respuesta positiva a los requerimientos de este trabajo.

Al Dr. Alfredo Campos, por su paciencia, su comprensión, sus enseñanzas y sobre todo la disposición que tuvo desde un principio, de terminar a tiempo este trabajo, creo que una de las mejores decisiones que he tomado en el centro es haberlo elegido como asesor.

Un especial agradecimiento a Balter Trujillo, Wilber Antúnez y a todas las personas que de alguna u otra manera contribuyeron con este trabajo

## RESUMEN

La exposición a las partículas ambiente tiene recientemente una considerable atención como resultado de investigaciones epidemiológicas, que muestran la asociación entre las concentraciones de partículas ambiente y mortandad (Ozkaynak H., 1987). Estas asociaciones han sido inicialmente demostradas para las partículas suspendidas totales (TSP) y  $PM_{10}$  ( $<10\mu m$ ). Los impactores en cascada son comúnmente empleados como separadores para medir la distribución del tamaño aerodinámico de partículas y determinar la concentración de las mismas en los aerosoles urbanos.

El uso de filtros de fibra tiene ciertas limitantes, sobre todo, cuando se pretende realizar análisis posteriores a las muestras. Por ejemplo, al utilizar filtros de fibra de cuarzo, solo se pueden analizar una cantidad limitada de elementos debido a la composición química de los mismos. (Chang, 2000, Appel, 1983). Elementos como el sodio, aluminio, potasio, zinc, cromo y bario no pueden ser determinados con precisión debido a los altos niveles de estos elementos en filtros de fibra de vidrio (Fernández, 2001)

Mediante el presente trabajo, se reemplazó el uso de los filtros de fibra por láminas de teflón para la recolección de partículas en impactores de cascada de alto volumen. Esto permite coleccionar las partículas recolectadas, y realizar análisis posteriores sin interferencias de matriz debidas al material de los filtros.

No existe una diferencia significativa entre utilizar filtro de teflón y filtros de fibra de vidrio respecto a la masa y concentración captadas en ambos métodos; por lo tanto en este aspecto se valida el uso de filtros de teflón como alternativa de muestreo.

Para la caracterización de las partículas no fue posible comprobar el tamaño de las partículas, las lecturas de Mastersizer, el MEB JEOL JSM 5800LV y el MEB JSM 741F muestran una disminución de tamaño de partícula mas no coincide con las especificaciones del fabricante.

Sin embargo, estos análisis determinaron que en la última etapa de filtración del impactor de cascada, se tienen tamaños de partícula de todas las etapas anteriores, esto es debido a que el impactor de cascada tiene una eficiencia de caracterización de tamaño de partícula del 50% y este error se acumula en la última etapa de filtración

## ABSTRACT

The exposition to particles acclimates has a recently considerable attention as resulting from investigations epidemiologists, who show the association between the particle concentrations acclimates and diseases(Ozkaynak H., 1987). These associations initially have been demonstrated for suspended particles total (TSP) and PM10 (<10 $\mu$ m)

The cascade impactors in commonly are used like separators in order to measure the distribution of the aerodynamic size of particles and to determine the concentration of the same ones in the urban aerosols.

The use of fiber filters has certain limits, mainly, when it is tried to make later chemical analyses to the samples. For example, when use quartz fiber filters, single elements can be analyzed due the chemical composition of such. (Chang, 2000, Appel, 1983). Elements like sodium, aluminum, potassium, zinc, chromium and barium cannot be determined accurately due to the high levels of these elements in glass fiber filters (Fernandez, 2001)

Through this work, the use of fiber filters was replaced by sheets of Teflon for the collection of particles in high-volume cascade impactors. This allows collecting the particles and performing further analysis without matrix interference due to the material of the filters.

There is not a significant difference between using glass fiber filter of Teflon and filters with respect to the caught mass and concentration in both methods; therefore in this aspect been worth the use of filters of Teflon like sampling alternative .

It was not possible to check the size of the particles for the characterization of particles, readings from Mastersizer, SEM JEOL JSM 5800LV and SEM JSM 741F show a decrease of particle size but it does not match the specifications of the manufacturer.

However, these analyses determined that in the last stage of the cascade impactor filtration, are all previous stages particle sizes, this is because the cascade impactor has an efficiency of 50% particle size characterization and this error accumulates in the last stage of filtration

# 1 INTRODUCCIÓN

La exposición a las partículas ambiente tiene recientemente una considerable atención como resultado de investigaciones epidemiológicas, que muestran la asociación entre las concentraciones de partículas ambiente y mortandad (Ozkaynak H., 1987). Estas asociaciones han sido inicialmente demostradas para las partículas suspendidas totales (TSP) y  $PM_{10}$  ( $<10\mu m$ ); además, resultados de otros estudios sugieren que las partículas finas  $PM_{2.5}$  pudieran contribuir con el aumento de mortandad y otros impactos adversos en la salud. (Ayres J. Fleming D., 1989)

Investigaciones de estos estudios han alcanzado una concientización suficiente de la National Ambient Air Quality Estándar NAAQS sobre el material particulado. El material particulado es difícil conocer su procedencia, hace poco tiempo se conoce acerca de la relación de los tamaños de partícula y las personas vulnerables.

Las investigaciones en este campo han empezado a extender los conocimientos acerca de la relación de los niveles de partículas  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ . (Jones N., 2000)

La rápida industrialización y urbanización en las pasadas décadas ha dado resultado en un aumento mundial de partículas aerotransportadas quienes tienen una importante influencia en el balance de radiación de la tierra y muchos otros procesos atmosféricos (Charlson R., 1992). Además estas partículas tienen mucha responsabilidad en la reducción de visibilidad que ocurre en las áreas urbanas (Council, 1993) y además pueden afectar considerablemente la salud del ser humano (EPA, 1996)

La principal característica de las partículas suspendidas es que forman una mezcla compleja de materiales sólidos y líquidos que varían en tamaño, forma y composición, por lo que la caracterización es de suma importancia para conocer las fuentes y sus efectos a la salud.

Por otro lado, los estudios que se tienen sobre los estándares de partículas basados en PST son insuficientes, ya que no proveen información de la distribución del tamaño de las partículas en las PST. Se ha observado que los elementos asociados con fuentes naturales, como la tierra y el océano son usualmente encontradas en partículas gruesas, mientras los elementos emitidos por fuentes antropogénicas son asociadas con las partículas finas (Seinfeld, 1986).

El riesgo a la salud por partículas lo constituyen su concentración en el aire y el tiempo de exposición; sin embargo, el tamaño es la característica física más importante para determinar su toxicidad y efectos en la salud humana. El tamaño de partícula ha sido el foco de atención de varios estudios epidemiológicos, ya que indican una fuerte correlación entre adversidades respiratorias y niveles de concentración de partículas. (Dockery D., 1993)

## **1.1 Técnicas utilizadas para la separación de partículas**

Las técnicas más comúnmente utilizadas para separar partículas de gases ambientales son la filtración y la impactación.

Los impactores en cascada son comúnmente empleados como separadores para medir la distribución del tamaño aerodinámico de partículas y determinar la concentración de las mismas en los aerosoles urbanos.

También se utilizan para medir la distribución del tamaño de las partículas en aerosol. Por lo general consisten en una serie de etapas de impactación inercial, que separa partículas de tamaño aerodinámico. Tal es una curva de eficiencia ideal aparecería como una línea recta vertical en un gráfico que representa la eficiencia de la colección frente a tamaño de partícula. Sin embargo, este comportamiento nunca se encuentra en la práctica, debido a irregularidades leves en las trayectorias de las partículas, partículas de rebote, reflujos en las corrientes de aire y la influencia de la gravedad en el movimiento de las partículas (Vaughman, 1998). La curva de eficiencia se forma generalmente con un degradado que refleja la calidad del diseño de la etapa del impactador.

## 1.2 Tipos de Filtros

En el muestreo de alto volumen, cuatro tipos de material de filtro son de uso común. Ellos incluyen la fibra de celulosa, fibra de cuarzo / vidrio, fibra mixta, y los filtros tipo membrana.

El filtro Whatman fue desarrollado especialmente para su uso en los equipos de muestreo de gran capacidad PM-10 los cuales captan las partículas atmosféricas y los aerosoles. Este filtro se fabrica con 100% de vidrio de borosilicato. Los filtros Whatman han sido seleccionados por la EPA como el filtro estándar en una red nacional de captadores de aire de alta capacidad, estos ya se encuentran numerados individualmente para su fácil identificación (Whatman, 2011)



## 2 JUSTIFICACIÓN

La Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (USEPA) reemplazó el monitoreo de las partículas suspendidas totales (TSPM) por la medición de partículas menores de 10  $\mu\text{m}$  conocidas como PM10 (USEPA, 1990) y más recientemente se ha recomendado monitorear la fracción menores de 2.5 micras conocidas como PM2.5. (USEPA, 1996).

El uso de filtros de fibra tiene ciertas limitantes, sobre todo, cuando se pretende realizar análisis posteriores a las muestras. Por ejemplo, al utilizar filtros de fibra de cuarzo, solo se pueden analizar una cantidad limitada de elementos debido a la composición química de los mismos. (Chang, 2000, Appel, 1983). Elementos como el sodio, aluminio, potasio, zinc, cromo y bario no pueden ser determinados con precisión debido a los altos niveles de estos elementos en filtros de fibra de vidrio (Fernández, 2001)

Se ha tratado de disolver la fase de partículas de silicato con ácido fluorhídrico, sin embargo no fue posible: la cantidad de sílice en la fibra de vidrio es tan alta que el resultado soluciones de ácido apagó la antorcha del ICP por su alta viscosidad. En realidad este es un problema importante para la fibra de vidrio y fibras de cuarzo. Este hecho puede afectar la concentración total de elementos relacionados con la fase de sílice (V y Ti) y lo ha que deben tenerse en cuenta en los niveles totales, así como la distribución del tamaño. (Fernández, 2001)

Dentro del CIMAV, se ha visto que las muestras digeridas presentan una gran cantidad de fibras, aun cuando han sido filtradas con papel filtro de 2  $\mu\text{m}$  de tamaño de poro. Estas fibras llegan a ocluir el sistema de toma de muestra y los nebulizadores del equipo ICP-MS.

Sepulveda (2003) recomienda establecer muestreos con filtros alternativos a los de microfibras de cuarzo, en su investigación los análisis de partículas en filtros de fibra encontró Silicio, Oxígeno y Sodio, en todas sus muestras, debido a la composición química de la microfibras de cuarzo. Lo anterior impide diferenciar si algunas de las partículas contienen en su composición dichos elementos.

Se realizó una prueba para cada filtro utilizado para el muestreo, se utilizó un set de filtros sin exponer en cada una de las etapas, los filtros se prepararon como si se hubieran cargado de partículas los resultados muestran lo siguiente:

Element	Whatman-GF-A
Mg	170
Ca	1789
Ti	1.04
V	0
Mn	1.78
Fe	62.74
Co	0.37
Ni	0.37
Cu	0.31
Cd	0
Pb	1.409

Figura 2.0 a: Elementos en filtros de fibra de vidrio sin utilizar (ngm-3)(Infante R., 1991)

El muestreo de material particulado en filtros de fibra de vidrio deben ser analizados una gran cantidad de elementos, si se va a realizar un análisis químico, se deberían utilizar filtros que no generen interferencias. Los filtros de fibra de vidrio son productos comerciales que contienen materiales contaminantes, por lo tanto un análisis de estos elementos se debe de tomar en cuenta. En la siguiente tabla se muestran las concentraciones de varios metales de filtros de fibra de cuarzo grado A.

Ejemplo de Concentración de Metales ( $\mu\text{g}/\text{Filtro}$ ) en filtros de fibra de cuarzo					
Metal	Grado GF/A	Metal	Grado GF/A	Metal	Grado GF/A
Al	4300	Co	11	Na	1830
Ag	<1	Cr	0.2	Ni	6
As	<6	Cu	56	Pb	10
B	6100	Fe	100	S	26
Ba	8500	Mg		Sb	<4
Be	0.2	K	775	Si	
Bi	0.3	Mg	1000	Ti	0.1
Ca	2500	Mn	8	V	0.1
Cd	1	Mo	2	Sn	5500

Figura 2.0 b: Elementos en filtros de fibra de cuarzo(EPA IO-3.1, 1999)

Los filtros de teflón son comercialmente disponibles y químicamente inertes, esto es ideal para diferentes tipos de análisis químicos (Chadan Misra, 2002)

Mediante el presente trabajo, se pretende reemplazar el uso de los filtros antes mencionados por láminas de teflón para la recolección de partículas en impactores de cascada de alto volumen comerciales. Esto permitiría coleccionar las partículas recolectadas, y realizar análisis posteriores sin interferencias de matriz debidas al material de los filtros.

El propósito del presente estudio es la validación de un sistema muestreador que permita medir el material particulado en diferentes tamaños de partícula y poder realizar análisis químicos sin la interferencia de los filtros

### **3 HIPOTESIS**

Los impactores cascada de alto volumen pueden utilizar impactores de teflón para retener las partículas sin afectar la eficiencia separación especificada por el fabricante en cada una de sus etapas. La masa recolectada por este medio es adecuada para la caracterización posterior de las partículas.

### **4 OBJETIVOS**

#### **4.1 Objetivo General**

Manipular y validar una metodología para la recolección de partículas en impactores de cascada de alto volumen utilizando hojas de teflón.

#### **4.2 Objetivos Particulares**

- Determinar el tamaño de las partículas en cada una de las 6 etapas o cortes del impactor de cascada y hacer una comparación con las especificaciones del fabricante.
- Determinar la concentración de partículas para cada tamaño de corte y hacer una comparación contra un método estandarizado.

## 5 FASE EXPERIMENTAL

El método de muestreo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-035-ECOL-1993 y el método EPA IO2.1 es el de Alto volumen (Hi Vol). En este método, un muestreador de aire succiona a través de un filtro, una cantidad determinada de aire ambiente hacia el interior de una caseta o coraza de protección, durante un periodo de muestreo de 24 horas (1600 a un flujo de 1.13 m<sup>3</sup>/min).

El flujo de aire y la geometría del muestreador deben de ser tales que favorezcan la recolección de partículas de hasta 10 micras de diámetro aerodinámico, dependiendo de la velocidad del viento y su dirección. Los filtros utilizados deben de tener una eficacia de 99% para las partículas de 10 micras. La concentración de partículas se corrige a condiciones de referencia (25°C y 1 atm de presión).

Usualmente se utilizan filtros de fibra de vidrio en equipos de alto volumen, los muestreos para coleccionar partículas atmosféricas menores de 10 micras en tamaño aerodinámico. Las concentraciones son por peso. Antes del pesado los filtros son acondicionados de acuerdo al método estándar en el cual los filtros son mantenidos por 24 horas en una cámara cerrada con 40 % de humedad relativa y 20° centígrados. Esta operación se repite después de la recolección de partículas capturadas en los filtros (EPA, 1987)

El volumen total de aire muestreado, corregido a condiciones de referencia, se determina a partir del aire medido y el tiempo muestreado. La concentración de partículas suspendidas en el aire se calcula dividiendo la masa de las partículas recolectadas entre el volumen de aire muestreado y se expresa en microgramos por metro cúbico (NOM-025-SSA1-1993, 26 de Septiembre del 2005) (NOM-035-1993, 18 de Octubre 1993).

## 5.1 Metodología de Muestreo

### ➤ Materiales y Equipo

- a) Equipo muestreador de alto volumen Graseby Andersen/GMW
- b) Calibrador de flujo volumétrico de platos de orificios Graseby Andersen
- c) Barómetro Druck DPI 705
- d) Balanza analítica Sartorius
- e) Impactores de Cascada Sierra Instruments, Serie 230
- f) Filtro de fibra con tamaño 8x10 pulgadas Whatman Grado G653
- g) Lámina de teflón,
- h) Guantes de látex libres de talco
- i) Pinzas
- j) Formatos de calibración
- k) Hojas de campo
- l) Equipo Antiestático Indestec
- m) Viales 15mm modelo TS-13080 Thermo Scientific
- n) Programa Análisis Estadístico MiniTab
- o) Programa Imagen 1 Instituto Nacional de Salud E.U.A.

### ➤ Instalación del Muestreador

- Se verificó que el suministro de electricidad corresponda a la del equipo a instalar y que las protecciones instaladas correspondan a la potencia del motor.
- El equipo se instaló en un punto donde se estuviera lo más cercano al flujo vehicular, en este caso se instaló a un lado de la caseta de seguridad dentro de las instalaciones del CIMAV.

### ➤ **Filtros**

El muestreador de alto volumen está diseñado para usar un filtro estándar de 8"x10"(colocado en la última etapa) y 5 filtros de 5.625"x 5.375"(colocado en cada una de las etapas del impactor. Los filtros más utilizados son los de fibra de vidrio; éstos recolectan generalmente, partículas con tamaños entre 100 y 0.1 micras, con una eficiencia de recolección de partículas de 0.3 micras de diámetro superior a 99%. Para este estudio modificamos una lámina de teflón a imagen y semejanza de los filtros de fibra de vidrio, estos se colocaron en cada una de las etapas del impactor.

### ➤ **Identificación y acondicionamiento**

- Los filtros Whatman ya se encuentran numerados individualmente para su fácil identificación, en las láminas de teflón se marcaron cada uno de ellos para utilizarlos solamente en la etapa que se les asigno y en un solo impactor
- Los filtros se acondicionaron a temperatura y humedad (HR) controladas por un periodo mínimo de 24 horas. La temperatura se mantuvo a 21°C con un máximo de +/- 3°C de variación durante un periodo de equilibrio y humedad relativa de 40%, con una variación de +/- 5%.

### ➤ **Pesaje**

Luego de su acondicionamiento, los filtros se pesaron en lotes en una balanza Sartorius con exactitud de 0.1 miligramos. Estos pesos se registraron en el formato utilizado para el pesaje de filtros. Para los filtros de fibra de vidrio de 8x10 pulgadas se utilizo una base especial para su pesaje, así como para los filtros de 5.625"x 5.375" tanto de fibra de vidrio y lámina tipo filtro de teflón.

### ➤ **Manipulación de los filtros**

Los filtros limpios se manipularon lo menos posible. Estos, después de su pesaje se almacenaron en un lugar diferente del cuarto de balanza, se usaron hojas carta entre cada uno para su transporte y se introdujeron en un sobre manila, para evitar ensuciarlos o deteriorarlos en su manipulación.

Las láminas tipo filtro de teflón se guardan en una bolsa de plástico tipo resellable para transportarlos al laboratorio.

Los filtros impactados se doblaron utilizando guantes desechables sin polvo. Se guardaron en bolsas de plástico resellables para transportarlos al laboratorio.

### ➤ **Procedimiento de Muestreo**

1. Se limpio el compartimiento de filtración.
2. Se coloco el filtro numerado y pesado previamente con la superficie rugosa hacia arriba y el número de identificación hacia abajo.
3. Se encendió el equipo, accionando manualmente el timer y se esperaron dos minutos a que se estabilice el equipo.

### ➤ **Retiro del filtro**

1. Una vez terminado el muestreo, se tomo la lectura final del cronómetro para verificar que el equipo funcionó el tiempo programado
2. Sin retirar el filtro, se encendió el equipo por lo menos 5 minutos para establecer nuevamente la temperatura de operación y tomar la presión final del equipo.
3. Se apagó el equipo y se retiro cuidadosamente el filtro, tocando únicamente los bordes del mismo y doblándolo a la mitad, con el lado expuesto hacia adentro para evitar la pérdida de partículas.



### ➤ **Pesaje**

De nuevo se llevaron a su acondicionamiento, los filtros se pesaron en lotes en una balanza con exactitud de 10 microgramos. Estos pesos se registraron en el formato de pesaje de filtros. Para los filtros de fibra de vidrio de 8x10 pulgadas se utilizó una base especial para su pesaje, así como para los filtros de 5.625"x 5.375" tanto de fibra de vidrio y l

### ➤ **Remoción de Partículas de los filtros de teflón**

Para la remoción de partículas se utilizó una espátula metálica y viales de 1.5 mL, 12x32mm modelo TS-13080 de la marca Thermo Scientific. Se usó una base lisa para poder remover el polvo particulado de las láminas tipo teflón para almacenar el polvo, en este último paso es muy importante utilizar los electrodos de barra, para eliminar la estática que se genera en el proceso de remoción. La electricidad estática es un fenómeno que se debe a una acumulación de cargas eléctricas en un objeto, se produce cuando ciertos materiales se frota uno contra el otro, como lana contra plástico o las suelas de zapatos contra la alfombra, en nuestro caso el teflón con la espátula donde el proceso de frotamiento causa que se retiren las partículas cuando se acerca la espátula y se reubiquen en la superficie de algún otro material que ofrezca niveles energéticos más favorables o simplemente se pierda el material particulado. Los electrodos de la marca INDESTEC tienen una acción de hasta 20 cm. No genera arcos ni descargas (shockless). (INDESTEC) Es muy importante en este último paso para poder hacer una remoción efectiva de los filtros de teflón y evitar el movimiento de partículas.

## 5.2 Muestreo

La recolección de las muestras se realizó mediante muestreadores de alto volumen (Graseby Andersen/GMW), equipados con cabezal PM<sub>10</sub>, e impactores de cascada (Sierra Instruments, Serie 230)

Los impactores de cascada son instrumentos para la distribución de tamaño de las partículas aerotransportadas. La manera que trabajan los impactores de cascada consiste en un número de zonas de impactación, que separan las partículas de acuerdo a su tamaño aerodinámico. La colección o muestreo eficiente de partículas es una llave para desarrollar parámetros para poder medir las partículas en cada una de las etapas de impactación. Idealmente en la primera etapa se capturan todas las partículas más grandes, el tamaño de las partículas va disminuyendo de acuerdo al avance en las zonas de impactación. De acuerdo a una eficiencia ideal una curva aparecería como una línea recta vertical en una gráfica describiendo la eficiencia de colección contra el tamaño de partícula (Srichana T., 1998). Este comportamiento nunca se da, en la práctica se encuentran irregularidades en las trayectorias de las partículas, partículas rebotando al momento de impactarse en los filtros, un reacomodo de las partículas por las corrientes de aire y una influencia de la gravedad en el movimiento de las partículas. (Vaughan, 1989). Los impactores de cascada consisten en 5 etapas de impactación, seguido por un filtro posterior. Las partículas serán separadas en los siguientes rangos

Etapas 1	7.2 – 10.0 $\mu\text{m}$
Etapas 2	3.0 – 7.2 $\mu\text{m}$
Etapas 3	1.5 – 3.0 $\mu\text{m}$
Etapas 4	0.95 – 1.5 $\mu\text{m}$
Etapas 5	0.49 – 0.95 $\mu\text{m}$
Filtro	0.0 – 0.49 $\mu\text{m}$

Es muy importante mencionar que los impactores de cascada tienen una eficiencia de muestreo de 50%. (Manual de operación Cascade Impactors)

En los impactores de cascada se utilizaron hojas de PTFE ranuradas a imagen y semejanza de los filtros de fibra de vidrio ya fabricados de 5.625"x 5.375" para la recolección de la muestra. En la etapa final se instalaron filtros de fibra de borosilicato (Whatman, grado G635). Para la calibración de los equipos se utilizó un calibrador de flujo volumétrico de platos de orificios (Andersen), termómetro y barómetro. El pesado de las muestras se realizó en una micro balanza con sensibilidad de 0.01 mg (Sartorius).

Los muestreos se llevaran a cabo por 24 h, con descansos de 12 h, ya que se debe dar un descanso a los motores para tener un mayor tiempo de trabajo y un mayor tiempo de muestreo, durante periodos de 1, 2 y 4 semanas, para un total de 120, 240 y 480 horas de muestreo respectivamente. Estos periodos de muestreo permitirán determinar el tiempo mínimo de muestreo para recolectar suficiente masa para los posteriores análisis.

## **5.3 Determinación de tamaño de partícula**

### **5.3.1 Análisis por Mastersizer 2000**

Esta determinación se realizó mediante un Mastersizer 2000 (Malvern Instruments) El analizador de tamaño de partículas por difracción láser Mastersizer 2000 está desarrollado para la comparabilidad de resultados, cumplimiento de normas, eficiencia en el laboratorio. Tiene una medida de los materiales de 0.02 $\mu$ m a 200 $\mu$ m, está preparado para medir emulsiones, suspensiones y polvos secos (Mastersizer, 2011).

El banco óptico incluye un sistema de alineamiento rápido que asegura que las medidas están continuamente optimizadas para generar una absoluta reproducibilidad. Las variaciones en la manipulación de la muestra son eliminadas a través del uso de módulos de dispersión automatizados que controlan todos los aspectos del procedimiento de muestreo. Debido a la disponibilidad de una selección de unidades de dispersión, con un solo instrumento se puede medir todo tipo de muestras. (GmbH, 1997)

### **5.3.2 Análisis por microscopía Electrónica de Barrido**

El estudio de tamaño de partícula producidos para verificar la metodología alterna planteada y comprobar nuestro método alternativo se realizó a la par del estudio por el Mastersizer para corroborar los datos generados por diferentes equipos. Uno de nuestros objetivos principales es la validación de un método alternativo de captación de partículas y es muy importante asegurar el cumplimiento de la metodología y su funcionamiento óptimo, al utilizar un microscopio electrónico de barrido podemos visualizar la distribución y colocación del tamaño de partícula en cada una de las etapas a diferencia del Mastersizer que realiza un conteo estadístico de los puntos que toma como muestra, aquí se podrá ver como se deposita la partícula en el filtro, si es una sola partícula o es una acumulación de varias. Este estudio se realizó con el MEB modelo JEOL JSM5800LV y el modelo JEOL JSM-741F.

El principio de operación del equipo JEOL JSM5800LV consiste en hacer incidir en la muestra un haz de electrones, estos provocan una serie de señales diferentes que son captadas y procesadas para generar la imagen del material en estudio. Puesto que las muestras de partículas  $PM_{10}$  no son conductoras fue necesario recubrir con oro. El equipo está adaptado con un analizador EDAX que permite determinar los elementos presentes en la muestra, así como una estimación semi-cuantitativa de los mismos.

La preparación de las muestras para este microscopio se realizó de la siguiente manera:

Se tomó muestra de material particulado recolectado almacenado en los viales, se vertió muestra sobre una superficie lisa y libre de polvo, la muestra se distribuyó con la espátula para dejar solo un rastro de polvo particulado, se utilizó cinta de cobre adherida a un barril especial oprimiendo la cinta sobre el rastro de polvo, se etiquetó el barril y se llevaron las muestras al microscopio.

El Microscopio Electrónico de barrido modelo JEOL JSM-741F genera imágenes de la superficie de un material, haciendo un barrido del haz de electrones. Se puede obtener información de textura superficial, tamaños de partículas, composición elemental, fracturas, Medición de espesores, identificación de contaminantes en polímeros, metales, secciones transversales, análisis de fases y morfología. En este último podemos observar la muestra con una mayor y mejor resolución, junto con la utilización de un portamuestra especial que permite capturar las partículas directamente del muestreo en el equipo de alto volumen.

Se instaló el equipo de alto volumen con sus respectivos filtros de teflón, en cada una de las etapas y el filtro de 8''x10'' en la etapa final, los portamuestras se colocaron dentro del impactor de cascada, en cada una de las etapas se duran durante un día para no saturar de partículas y poder visualizarlas de manera individual.

Esto para simular el proceso natural que se lleva a cabo dentro del equipo de alto volumen y el impactor de cascada, de esta manera no se manipula la muestra y la partícula se coloca de manera natural sobre el portamuestra.

## 5.4 Determinación de la concentración de partículas

Para garantizar que el muestreo de partículas fuera representativo, se requirió que el equipo trabaje siempre bajo las mismas condiciones, para lo cual se realizó el proceso de calibración del equipo. La calibración del equipo Hi Vol se realizó con un kit de calibración, el cual consiste en un juego de platos. Este juego consiste en un tubo metálico y cinco platos con diferente número de orificios que permiten varios flujos.

Cada kit trae su ecuación de calibración con su respectiva curva, la cual se obtuvo a través de un patrón primario o medidor de volumen estándar de desplazamiento positivo, Rootsmeter.

La concentración de PM se determina mediante la relación de la masa de partículas colectada y el volumen de aire que es succionado por el equipo durante el tiempo de muestreo.

Las unidades generalmente utilizadas para reportar los datos de concentración de partículas son  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ya que permite hacer una comparación con los valores límites establecidos en las normas de salud relativas a la calidad del aire.

Para el monitoreo diario es importante llevar un registro bajo el cual se tomen datos, se apunten fechas, pesaje de filtro y viales previamente acondicionados. Formato en anexos.

En nuestra metodología empleada en los procedimientos llevados a cabo para el monitoreo de partículas es muy importante llevar un programa de aseguramiento de la calidad de los datos, utilizando técnicas totalmente estandarizadas, indicadores y documentación para asegurar la confiabilidad de los datos. Todos estos datos están de manera clara y objetiva los cuales se determinaron durante la fase del proyecto. Es muy importante el dominio y entendimiento del conocimiento al que perteneció este proyecto ya que se deben respetar cada uno de los pasos a seguir para asegurar la homogeneidad

de los datos recopilados. Siempre se tomo en cuenta que y a quien se reporto cuando se encontraban problemas de calidad, además siempre se tuvo definido el mecanismo de resolución de conflictos.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Resultados de concentración de partículas y comparación de ambos métodos

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la captación total de partículas de un método respecto a otro.

RESUMEN RESULTADOS DE CAPTACIÓN DE PARTICULAS EN FILTROS DE TEFLON										
Captación de masa en filtros de Teflón (gr)					% en Peso de cada Etapa en filtros de Teflón					
Etapa	Identificación	1er Muestreo	2do Muestreo	3er Muestreo	Etapa	Identificación	1er Muestreo	2do Muestreo	3er Muestreo	Promedio
1	Filtro Teflón 1	0.0401	0.0426	0.0356	1	Filtro Teflón 1	0.1346	0.1292	0.1278	0.1305
2	Filtro Teflón 2	0.0650	0.0807	0.0725	2	Filtro Teflón 2	0.2181	0.2451	0.2602	0.2411
3	Filtro Teflón 3	0.0382	0.0199	0.0252	3	Filtro Teflón 3	0.1282	0.0604	0.0905	0.0930
4	Filtro Teflón 4	0.0279	0.0120	0.0127	4	Filtro Teflón 4	0.0938	0.0364	0.0456	0.0586
5	Filtro Teflón 5	0.0265	0.0121	0.0150	5	Filtro Teflón 5	0.0888	0.0368	0.0538	0.0598
F	Filtro Final	0.1003	0.1621	0.1177	F	Filtro Final	0.33653	0.49209	0.42205	0.41689
	Masa Total	0.2980	0.3293	0.2788						
Captación de masa en filtros de Fibra (gr)					% de Recuperación en viales					
Etapa	Identificación	1er Muestreo	2do Muestreo	3er Muestreo	Etapa	Identificación	1er Muestreo	2do Muestreo	3er Muestreo	Promedio
1	Vial 1	0.0130	0.0323	0.0243	1	Etapa 1	0.3251	0.6829	0.7582	0.5887
2	Vial 2	0.0566	0.0688	0.0557	2	Etapa 2	0.8714	0.7684	0.8524	0.8307
3	Vial 3	0.0147	0.0134	0.0143	3	Etapa 3	0.3859	0.5672	0.6739	0.5423
4	Vial 4	0.0090	0.0065	0.0061	4	Etapa 4	0.3202	0.4819	0.5417	0.4479
5	Vial 5	0.0076	0.0086	0.0093	5	Etapa 5	0.2876	0.6196	0.7069	0.5380

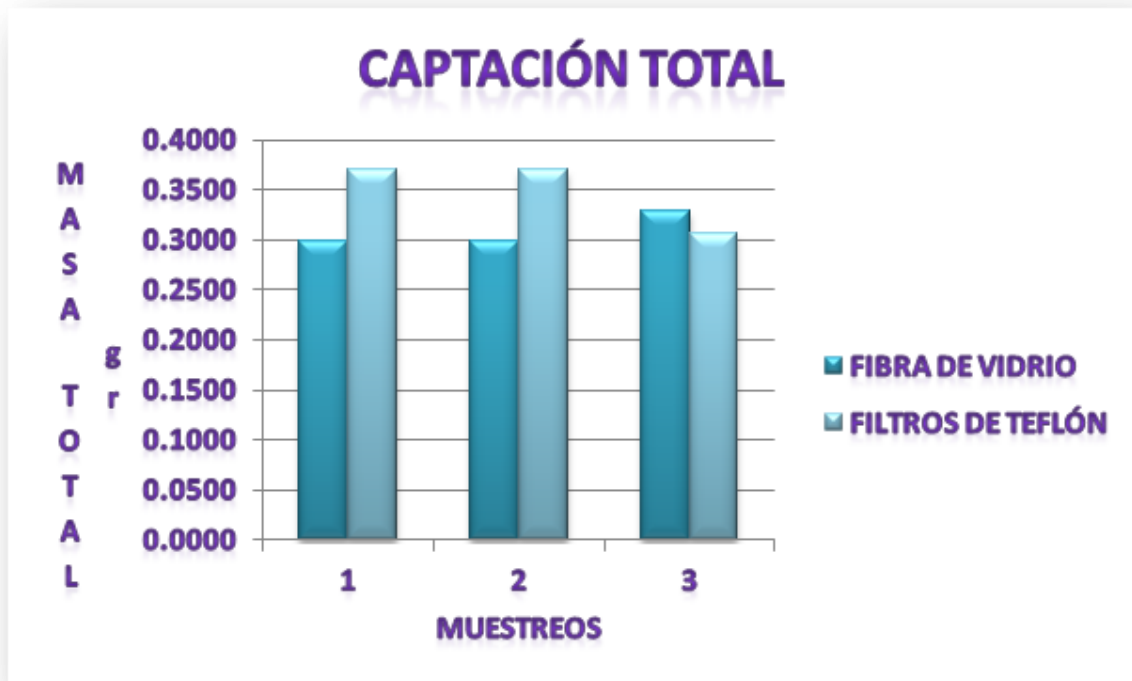
  

RESUMEN RESULTADOS DE CAPTACIÓN DE PARTICULAS EN FILTROS DE FIBRA										
Captación de masa en filtros de Fibra (gr)					% en Peso de cada Etapa en filtros de Fibra					
Etapa	Identificación	1er Muestreo	2do Muestreo	3er Muestreo	Etapa	Identificación	1er Muestreo	2do Muestreo	3er Muestreo	Promedio
1	Filtro 1	0.0535	0.0507	0.0630	1	Filtro 1	0.1447	0.1445	0.2352	0.1748
2	Filtro 2	0.1187	0.1104	0.0846	2	Filtro 2	0.3212	0.3142	0.3159	0.3171
3	Filtro 3	0.0406	0.0348	0.0297	3	Filtro 3	0.1099	0.0991	0.1108	0.1066
4	Filtro 4	0.0258	0.0220	0.0183	4	Filtro 4	0.0698	0.0626	0.0685	0.0670
5	Filtro 5	0.0196	0.0156	0.0138	5	Filtro 5	0.0529	0.0446	0.0516	0.0497
F	Filtro Final	0.1114	0.1177	0.0584	F	Filtro Final	0.3015	0.3350	0.2181	0.2849
	Masa Total	0.36956	0.35122	0.26788						

Tabla 6.1 a: Resultados de la captación total de partículas

En la gráfica 6.1.1 se muestran tres muestreos diferentes que se realizaron de manera simultánea con filtros de fibra de vidrio y filtros de teflón. En los primeros dos muestreos se captó una masa mayor en los impactores

que tenían los filtros de fibra de vidrio, pero el tercer muestreo denota un cambio en la captación de masa total al ser los impactores que tenían los filtros de teflón los que captaron una mayor masa de partículas.



Grafica 6.1.1: Resultados de la captación total de partículas

Se realizó una comparación de tratamientos (ANOVA) para visualizar de mejor manera el cambio que se presentó en el tercer muestreo. El análisis se calculó en Minitab y a continuación se presenta la gráfica del diagrama de cajas de ambos tratamientos. Ya que la F de tablas es mucho mayor que la F calculada, los datos nos indican que no existe diferencia significativa en los resultados de los tratamientos.



### One-way ANOVA: Teflón, Fibra

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	0.00114	0.00114	0.63	0.471
Error	4	0.00717	0.00179		
Total	5	0.00831			

Figura 6.1: Datos ANOVA de la captación total de partículas

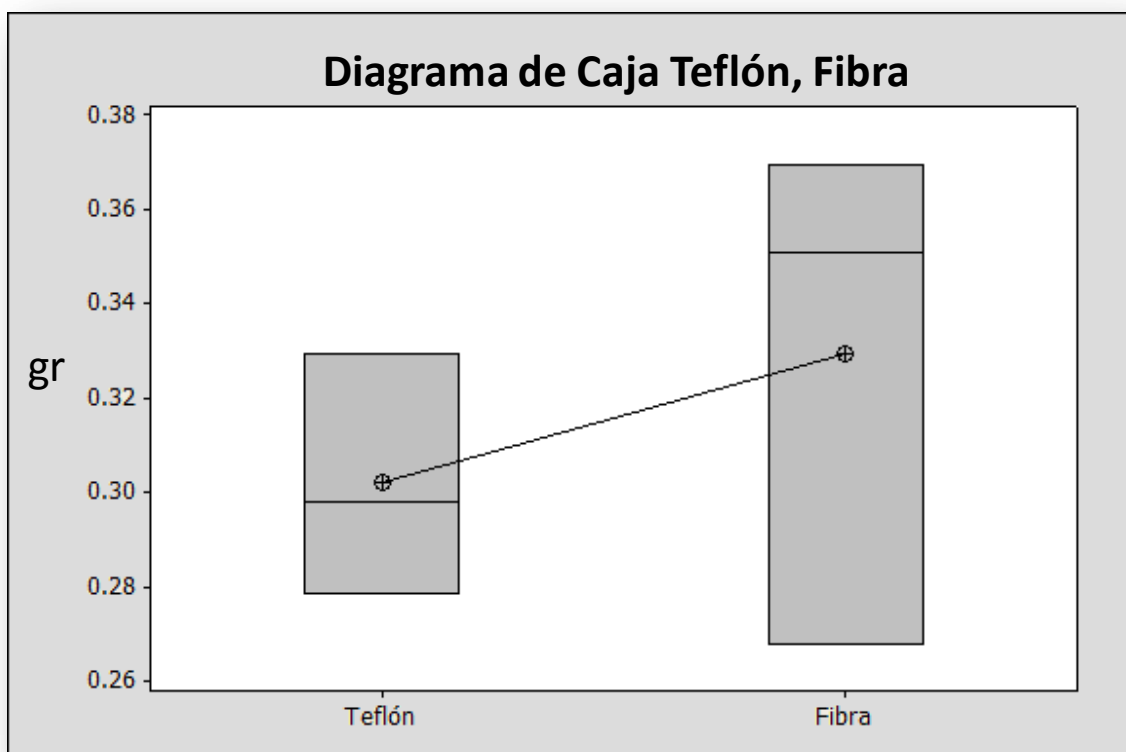
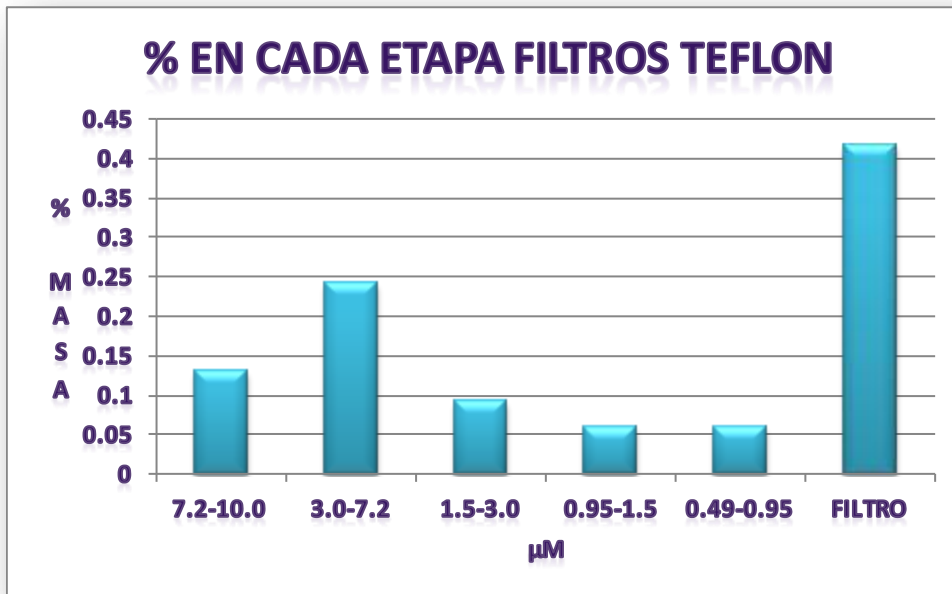
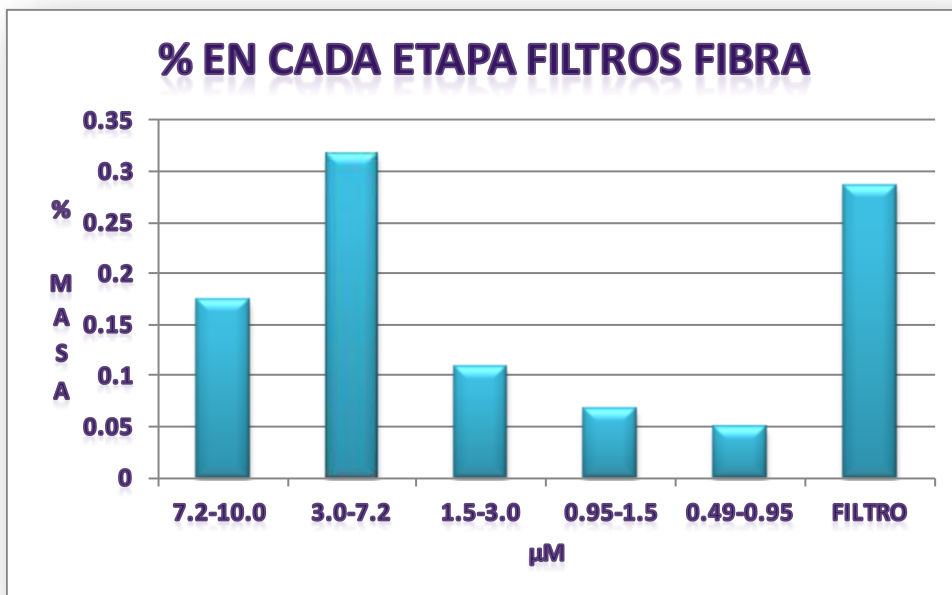


Diagrama 6.1: Resultados ANOVA de la captación total de partículas

A continuación se presenta un análisis de distribución de porcentaje en cada una de las etapas del impactor, los resultados visualizan un comportamiento muy similar entre la distribución de partículas con los filtros de teflón y los de fibra de vidrio. También se visualiza un gran porcentaje de partículas retenidas en el filtro final que corresponde a un tamaño de partícula  $< 0.49 \mu\text{m}$ . Grafica 6.1.2 y 6.1.3.



Grafica 6.1.2: Distribución en % en cada etapa Filtros de Teflón



Grafica 6.1.3: Distribución en % en cada etapa Filtros de Fibra de vidrio

Los siguientes datos corresponden a los cálculos de concentración de partículas.

CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PARTICULAS EN FILTROS DE TEFLÓN							
		1er Muestreo		2do Muestreo		3er Muestreo	
Etapa	Identificación	Conc. (mg/m3)	Conc. std (mg/m3)	Conc. (mg/m3)	Conc. std (mg/m3)	Conc. (mg/m3)	Conc. std (mg/m3)
1	Teflón 1	3.1602	3.7706	3.8307	4.5693	5.1713	6.1588
2	Teflón 2	5.1212	6.1104	7.2652	8.6660	10.5298	12.5405
3	Teflón 3	3.0097	3.5910	1.7915	2.1370	3.6619	4.3611
4	Teflón 4	2.2021	2.6275	1.0803	1.2886	1.8433	2.1952
5	Teflón 5	2.0847	2.4874	1.0902	1.3004	2.1785	2.5945
F		7.9489	9.4843	14.5890	17.4019	17.0770	20.3379
PM10		23.5268	28.0712	29.6469	35.3632	40.4618	48.1880
PM2.5		15.2454	18.1902	18.5511	22.1279	24.7607	29.4888

CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PARTICULAS EN FILTROS DE FIBRA							
		1er Muestreo		2do Muestreo		3er Muestreo	
Etapa	Identificación	Conc. (mg/m3)	Conc. std (mg/m3)	Conc. (mg/m3)	Conc. std (mg/m3)	Conc. (mg/m3)	Conc. std (mg/m3)
1	Filtro 1	4.5310	5.4062	4.8558	5.7920	10.4021	12.3884
2	Filtro 2	10.0586	12.0015	10.5613	12.5977	13.9696	16.6371
3	Filtro 3	3.4413	4.1060	3.3313	3.9736	4.8998	5.8354
4	Filtro 4	2.1863	2.6086	2.1054	2.5113	3.0277	3.6058
5	Filtro 5	1.6575	1.9777	1.4977	1.7865	2.2798	2.7152
F	Filtro Final	9.4417	11.2654	7.1688	8.5510	9.6427	11.4840
PM10		31.3164	37.3654	29.5203	35.2121	44.2217	52.6659
PM2.5		16.7268	19.9577	14.1032	16.8224	19.8500	23.6404

Tabla 6.1 b: Resultados Concentración total de partículas

Los cálculos de Concentración de Partículas que se realizaron validan la teoría de que no existe una diferencia significativa para ambos métodos de captación de partículas descritos en este proyecto. Estos se realizaron en Excel y Minitab para poder dar validez a los cálculos ensayados. La visualización de los datos ensayados en Minitab, arrojaron los resultados mostrados en las Figuras 6.1.4 y 6.1.5

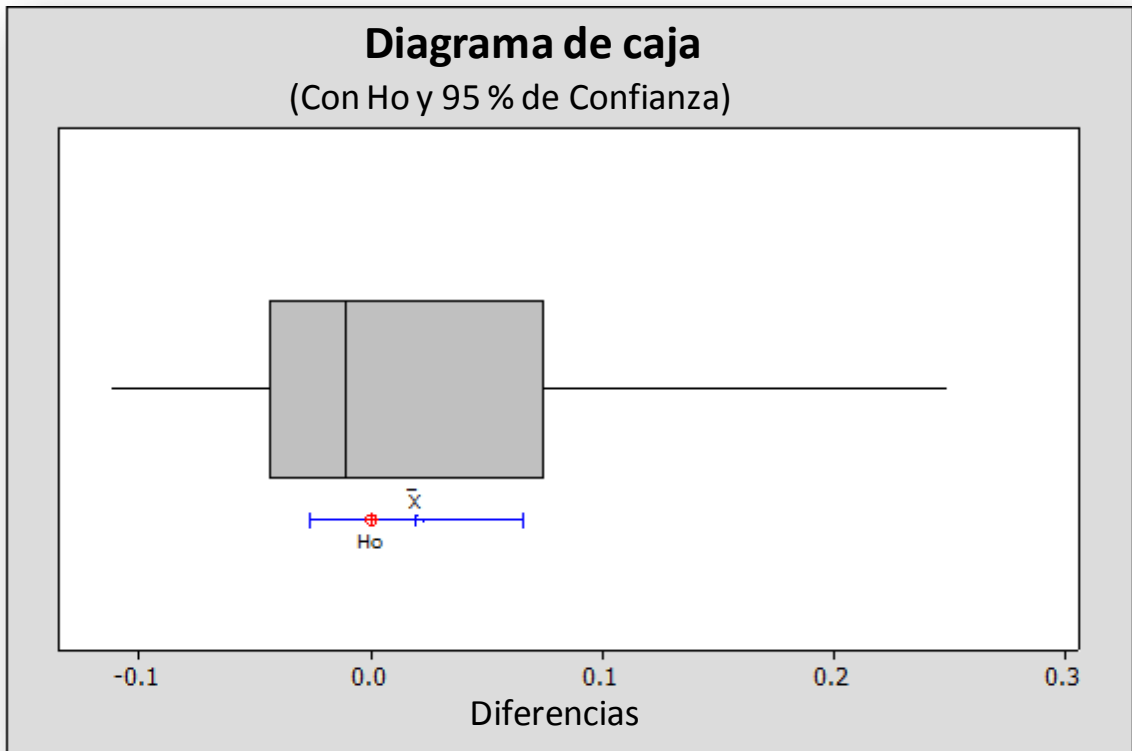


Figura 6.1.4: Diferencias en Diagrama de Caja de los métodos de colección de Partículas

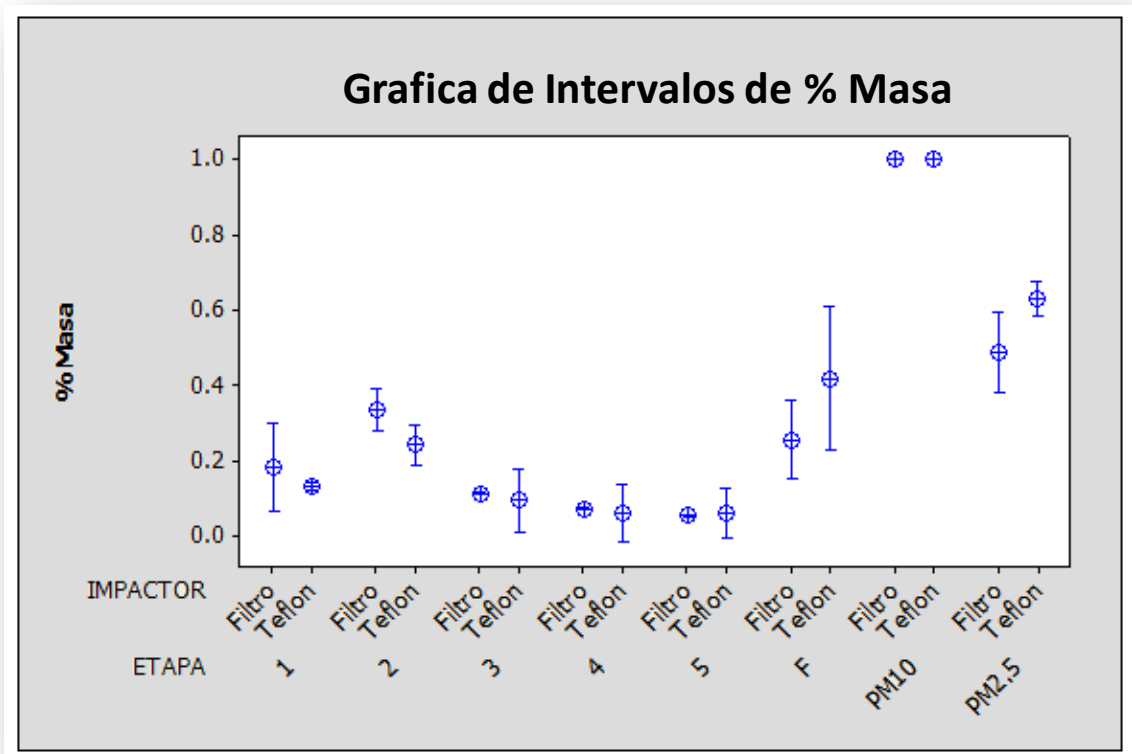


Figura 6.1.5: Gráfica de Intervalos de % en Masa de ambos Métodos

También se realizó un análisis del porcentaje de recuperación obtenido de la remoción de partículas de los impactores con filtros de teflón. En la gráfica 6.1.6 muestra los resultados obtenidos del porcentaje de recuperación obtenidos en cada una de las etapas. Estos porcentajes son los que se llegaron a alcanzar en uno de los muestreos realizados en esta investigación. Los porcentajes de recuperación muestran niveles aceptables de remoción de partículas, en una de las etapas casi se llega al 90% de recuperación. Este porcentaje depende mucho de la técnica de remoción de partículas de los filtros de teflón, se tiene que tener una superficie lisa para apoyar el filtro y una espátula recta para que no se dejen rastros de polvo particulado en el filtro. Uno de los problemas en laboratorio químico es la cantidad de muestra que se entrega para su análisis, con estos datos se remoción de partículas se amplía la posibilidad de realizar diferentes análisis en cada una de las etapas.



Grafica 6.1.6: Porcentaje de Recuperación de partículas Filtros de Teflón

## 6.2 Resultados de Tamaño de partícula

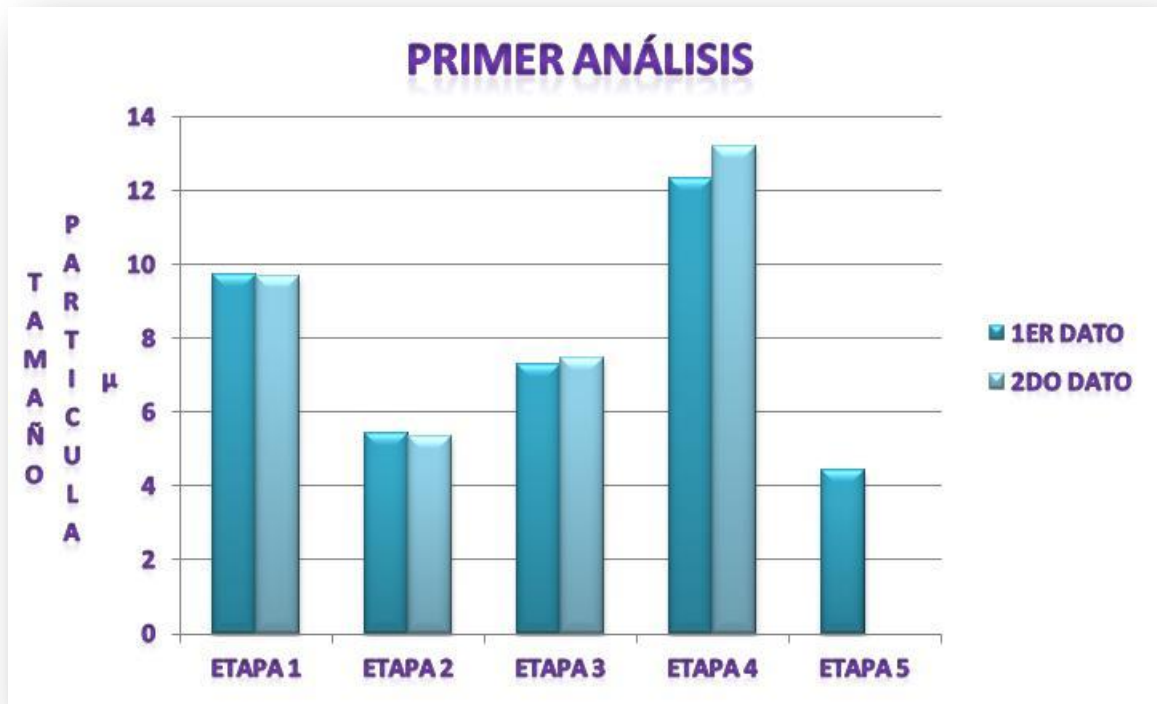
### 6.2.1 Resultados de Tamaño de partícula arrojados por el equipo Mastersizer

En la siguiente tabla se muestra el resumen de los resultados obtenidos en el Mastersizer:

RESUMEN REPORTE DE ANALISIS DE RESULTADOS EN MASTERSIZER					
PRIMER ANALISIS					
	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4	ETAPA 5
1 er Analisis	9.724	5.417	7.28	12.318	4.433
2do Análisis	9.691	5.338	7.473	13.215	
SEGUNDO ANALISIS					
	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4	ETAPA 5
1 er Analisis	9.436	4.541	4.205	3.776	4.823
2do Análisis	9.389	4.492	4.099	3.687	4.707

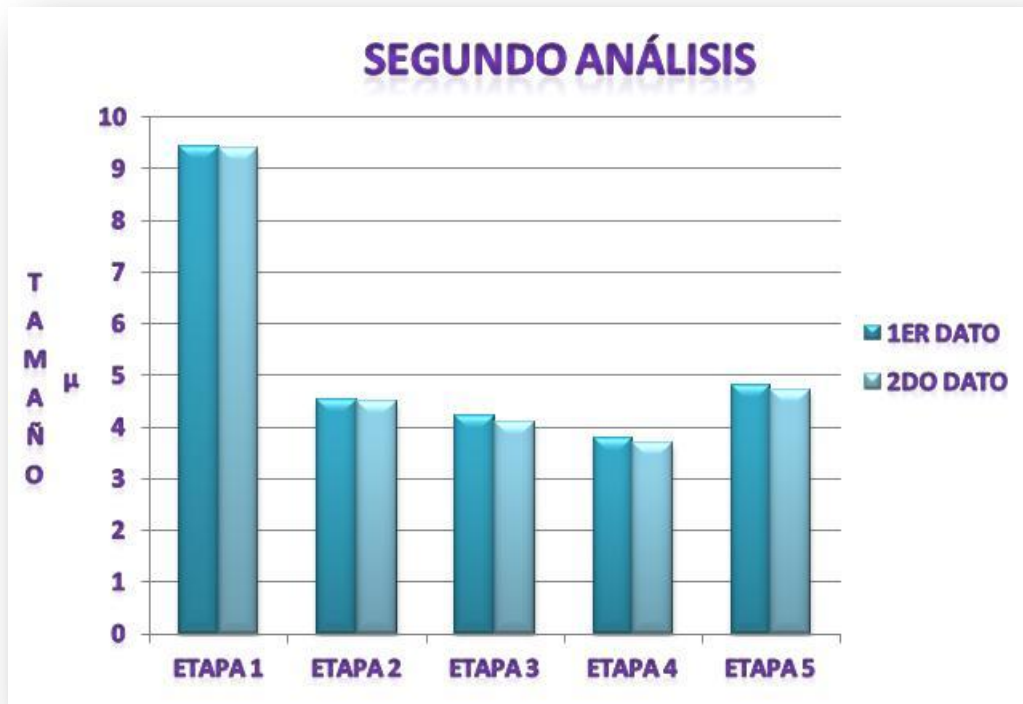
Tabla 6.2.1: Resultados Concentración total de partículas

Para la determinación del tamaño de partícula en el equipo Mastersizer se realizó un primer análisis. En la gráfica 6.2.1 se muestra un resumen de resultados de la determinación de tamaño de partícula en cada una de las etapas, en cada etapa el equipo Mastersizer realiza dos análisis. En las primeras dos etapas se muestran una distribución aceptable de acuerdo a los parámetros establecidos por el equipo. Las últimas tres etapas muestran una variación muy significativa, respecto a los resultados que se deberían tener, de acuerdo a la distribución de tamaño que se especifica el fabricante. Esta variación se atribuyó a que las muestras se dejaron varios días reposar en agua. El polvo particulado se sedimentó dentro de los viales que se utilizan para leer los datos en el equipo, el agua no contiene ningún tipo de defloculante que impidiera esta sedimentación y al agitarse no se desprendieron todas las partículas, en todo caso se debió haber utilizado una agitación por un tiempo mas prolongado.



Grafica 6.2.1: Resultados del Primer análisis de Tamaño de Partícula

En el segundo análisis se llevaron las muestras de polvo seco a analizar en ese mismo lapso se prepararon para su respectiva medición. En la gráfica 6.2.2 se muestra un resumen de los resultados arrojados por el equipo Mastersizer. Los resultados arrojan una mejor distribución de tamaño de partícula en cada una de las etapas, pero sin poder comprobar la distribución que debe arrojar el equipo.



*Grafica 6.2.2: Resultados del Segundo Análisis de Tamaño de Partícula*

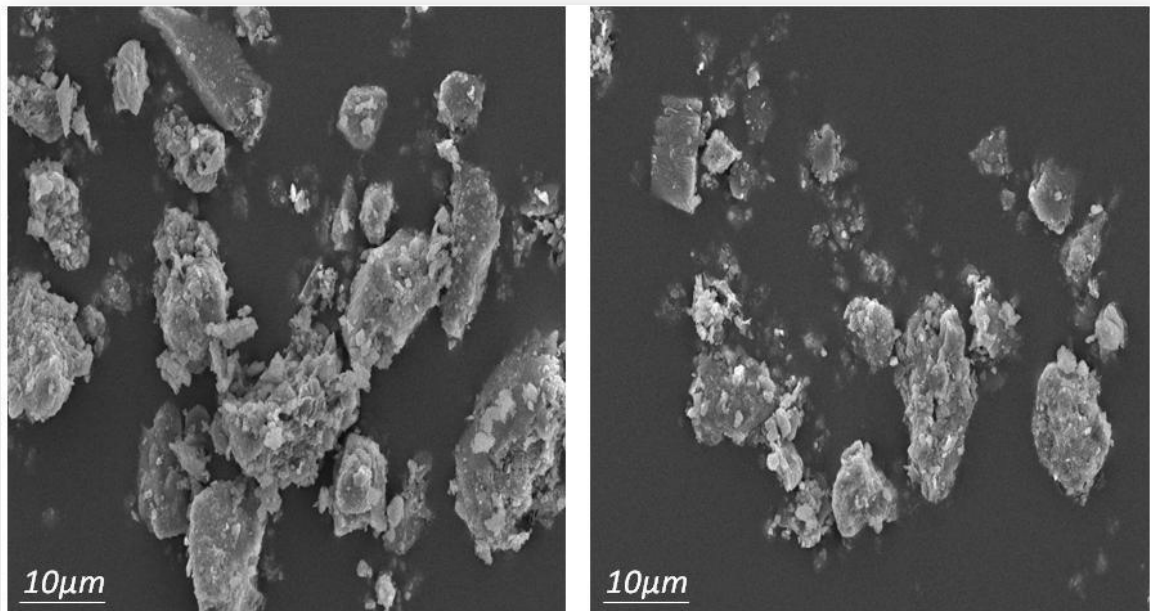
Los análisis arrojados por el Mastersizer muestran una efectividad en el método utilizando filtros de teflón en las primeras etapas, pero no muestran datos coherentes sobretodo en las últimas dos etapas quedando sin comprobar este método de captación de partículas. En el primer análisis se dejó reposar varios días el polvo particulado, es por eso que se realizó un segundo análisis, se analizó el material el mismo día sin dejar reposar. Dado los resultados donde no se cumplieron en su totalidad los tamaños de partícula esperados, se optó por utilizar un método distinto para comprobar que la opción de utilizar los filtros de teflón funciona de igual manera.

### **6.2.2 Resumen resultados de Tamaño de partícula arrojados por el Microscopio**

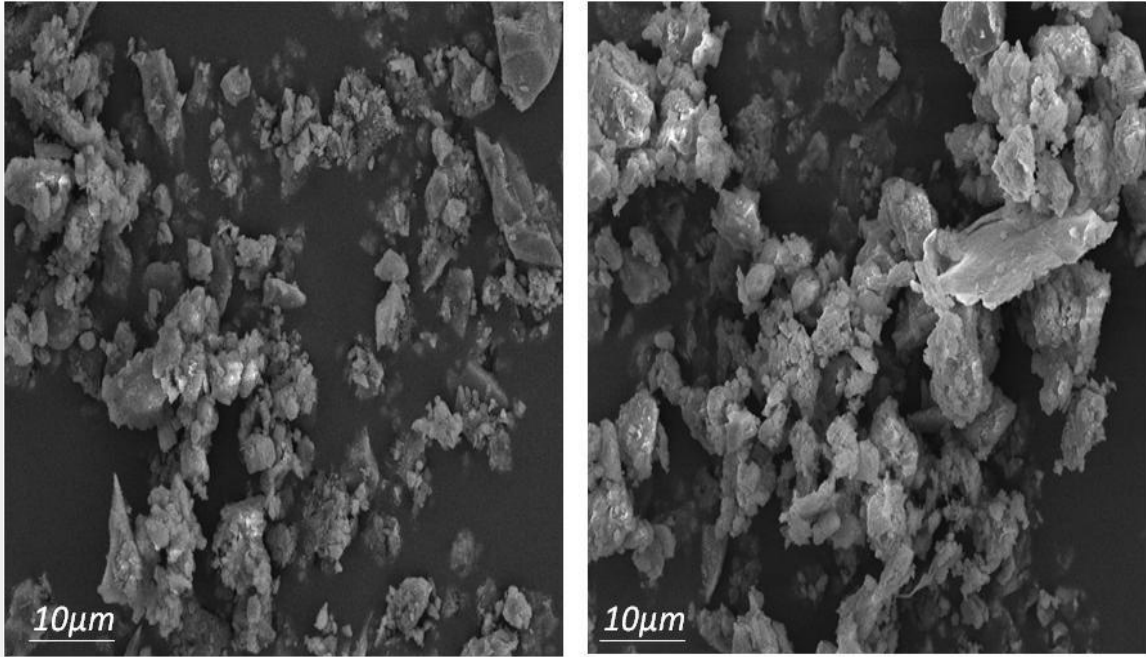
Los resultados arrojados por el microscopio electrónico de barrido JEOL JSM5800LV muestran el tamaño de partícula de cada una de las etapas del impactor de cascada. En las figuras 6.2.2 se muestran las imágenes tomadas a puntos específicos de la muestra. El nombre de las figuras sigue un orden ascendente de acuerdo a la etapa que le corresponde. Los resultados no



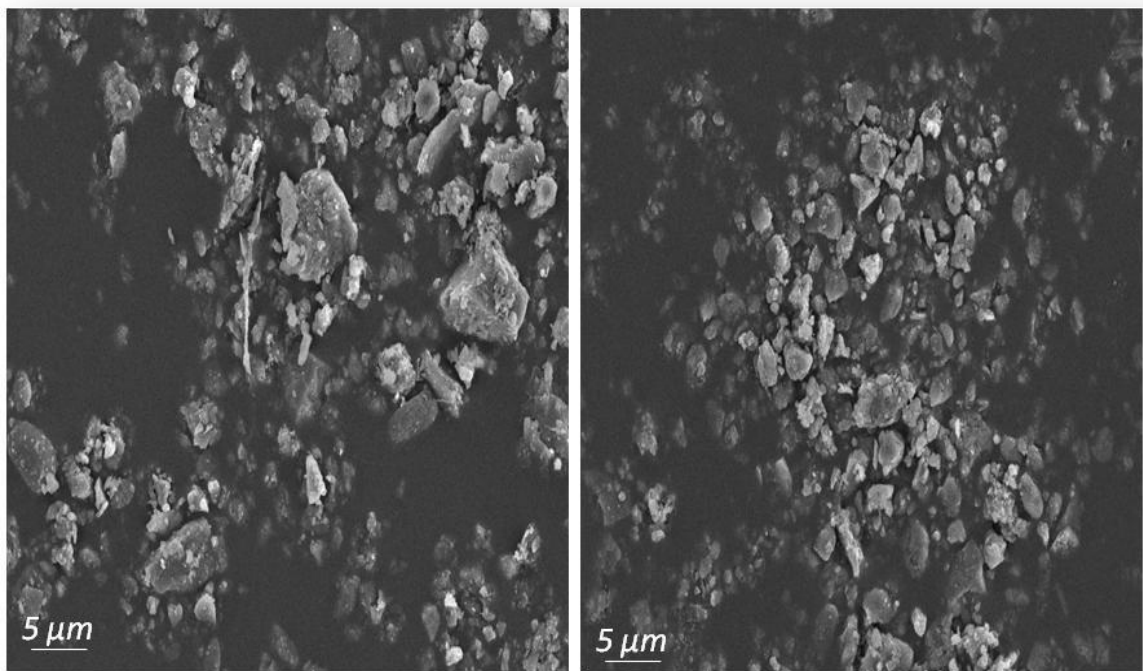
arrojan una conclusión certera de acuerdo a la caracterización del polvo seco buscada en el método de colección de partículas en alto volumen con filtros de teflón.



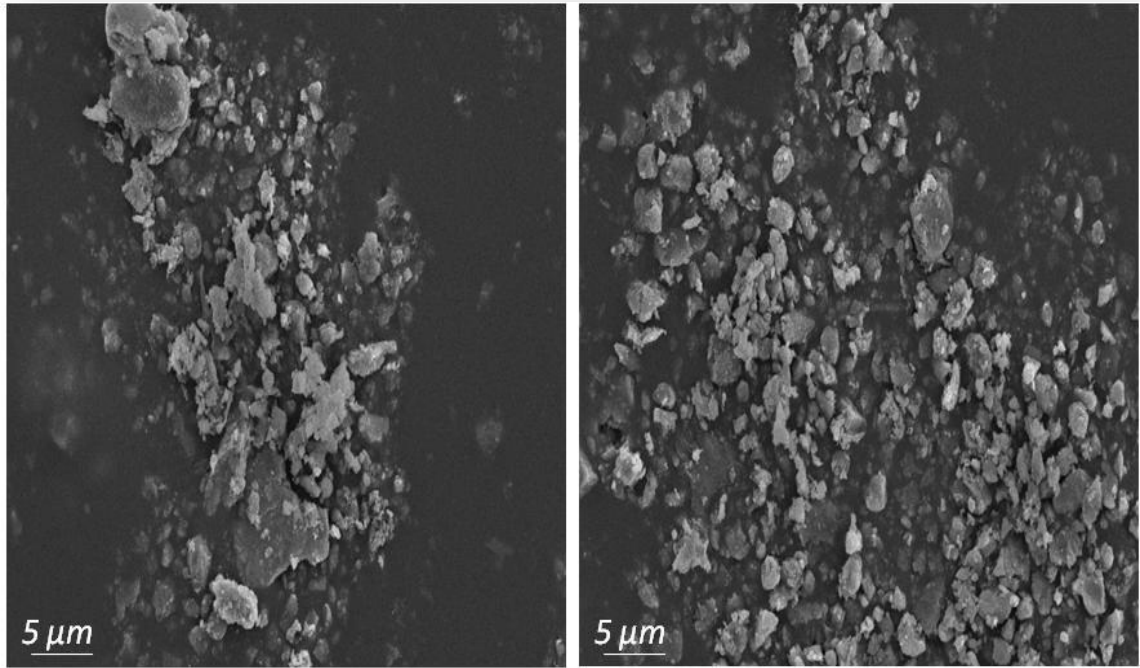
*Figura 6.2.2a: Analisis por Microscopio JEOL JSM5800LV Etapa 1*



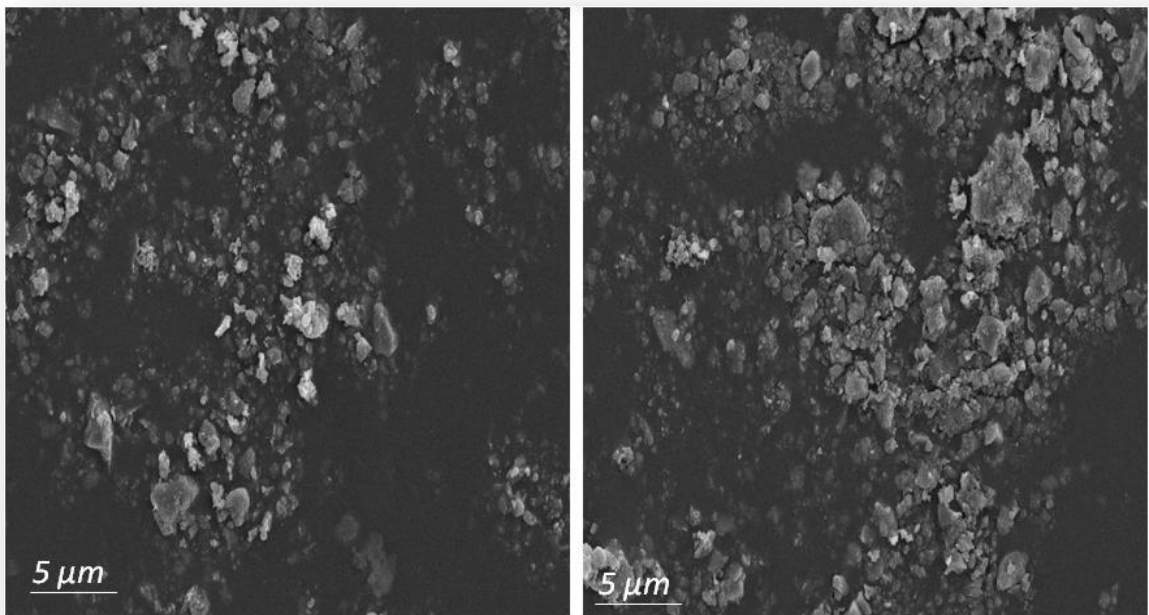
*Figura 6.2.2b: Analisis por Microscopio JEOL JSM5800LV Etapa 2*



*Figura 6.2.2c: Analisis por Microscopio JEOL JSM5800LV Etapa 3*



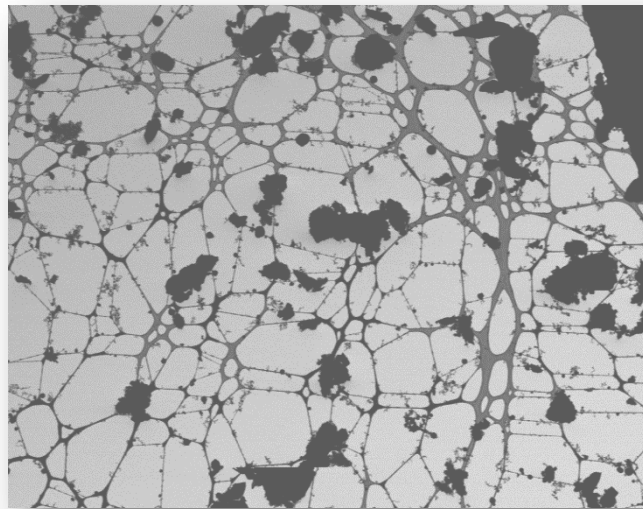
*Figura 6.2.2d: Analisis por Microscopio JEOL JSM5800LV Etapa 4*



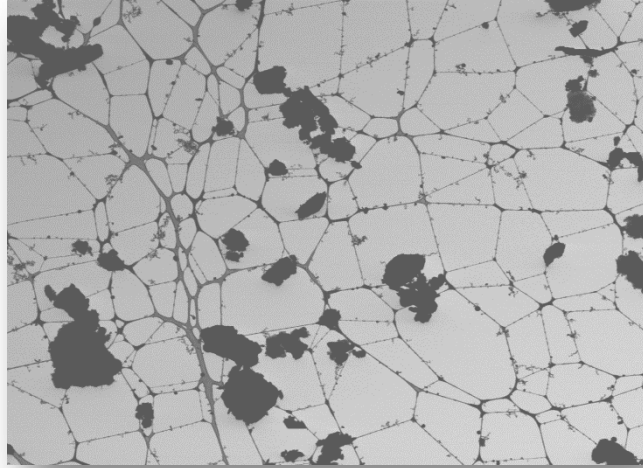
*Figura 6.2.2e: Analisis por Microscopio JEOL JSM5800LV Etapa 5*

En las imágenes del microscopio se aprecia que el tamaño de partícula va disminuyendo, sin embargo es difícil apreciar o validar el tamaño en cada una de las muestras, las partículas se encuentran demasiado aglomeradas, inclusive en algunas etapas no existe diferencia apreciable en las etapas subsecuentes.

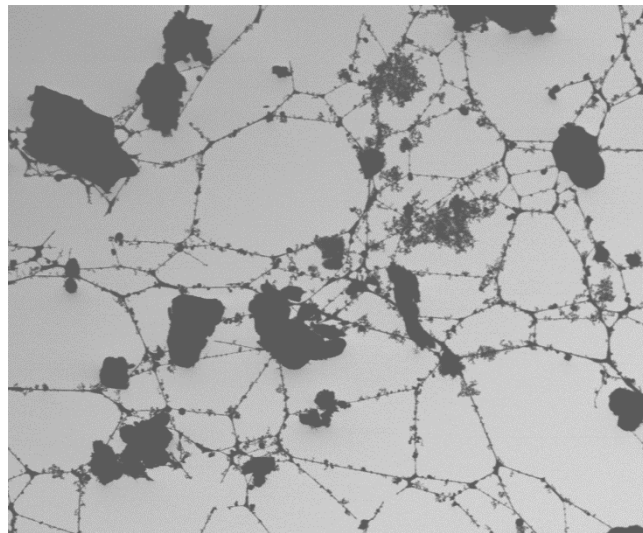
Los resultados arrojados por el microscopio electrónico de barrido JEOL MEB JEOL JSM-741 muestran el tamaño de partícula de cada una de las etapas del impactor de cascada. En las figuras 6.2.3 se muestran las imágenes tomadas a puntos específicos de la muestra. El nombre de las figuras sigue un orden descendente de acuerdo a la etapa que le corresponde.



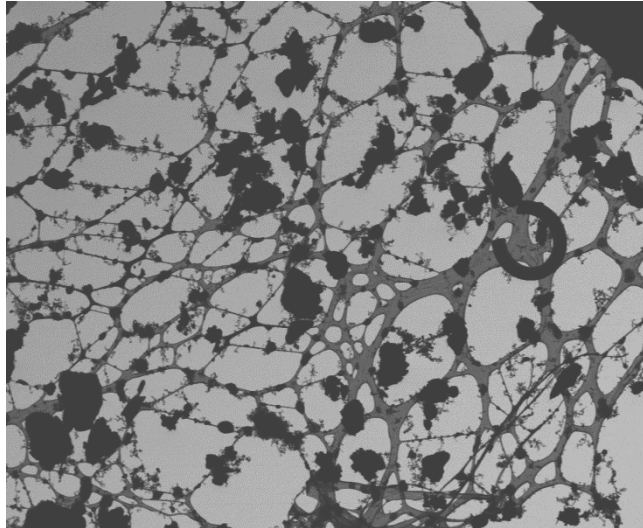
*Figura 6.2.3 a: Analisis por Microscopio JEOL JSM 741 Etapa 1*



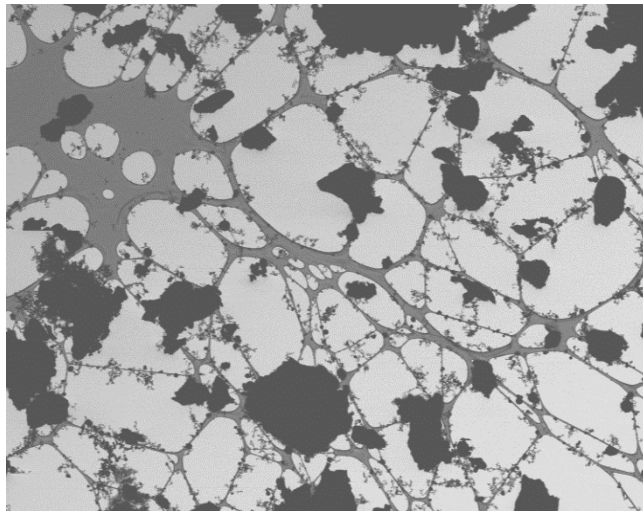
*Figura 6.2.3 b: Analisis por Microscopio JEOL JSM5800LV Etapa 2*



*Figura 6.2.3 c: Analisis por Microscopio JEOL JSM5800LV Etapa 3*



*Figura 6.2.3 d: Analisis por Microscopio JEOL JSM5800LV Etapa 4*



*Figura 6.2.3 f: Analisis por Microscopio JEOL JSM5800LV Etapa Final*

En este análisis se utilizó el programa Imagen J del Instituto Nacional de Salud de los Estados Unidos. Este programa contabilizó cada partícula mostrada en las fotografías( se tomaron 5 en cada etapa), este muestreo se necesitan por lo menos 500 partículas en cada etapa, arrojando los siguientes resultados.

RESUMEN REPORTE DE ANALISIS DE RESULTADOS EN MEB JSM 741F					
	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4	ETAPA 5
No particulas	4	43	55	197	
Eficiencia	0.048192771	0.2067	0.3928	0.4377	

*Tabla 6.2.2: Resumen resultados del programa Imagen J.*

## 7 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la captación total de partículas en dos de los muestreos se tiene una mayor captación de polvo particulado en los filtros de fibra de vidrio, sin embargo existe un tercer muestreo que indica que se logro una mayor captación de partículas en los filtros de teflón, esto puede deberse a que la probabilidad de que algún método sea más eficaz no exista, se realizo una comparación de tratamientos (ANOVA) el cual esto significa que no existe diferencia significativa entre los dos métodos.

Se realizó un análisis de distribución de porcentaje en cada una de las etapas del impactor, los resultados visualizan un comportamiento muy similar entre la distribución de partículas con los filtros de teflón y los de fibra de vidrio. El comportamiento del porcentaje en cada una de las etapas es muy parecido,

Esto coincide con los datos arrojado por (Aceves, 1993 y Fernández, 2001) que nos muestran el comportamiento de la distribución de tamaño de partícula en cada una de las etapas, cabe mencionar que en su impactor de cascada se tiene una distribución diferente del tamaño de partícula pero su gráfica presenta el mismo comportamiento en este trabajo.

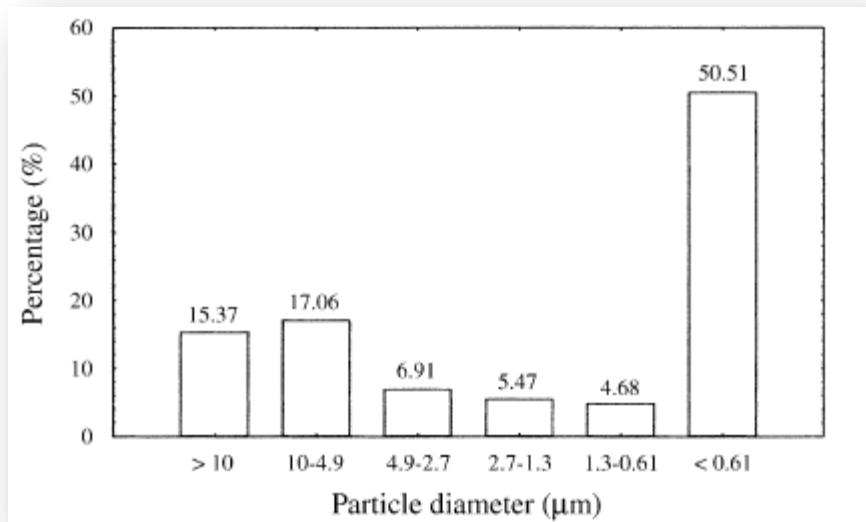


Figura 7.1: Distribución de tamaño de partícula como un porcentaje total (Fernandez, 2001)

En otras investigaciones el mayor porcentaje total de masa acumulada se encontró en el rango de >5.8-<9 micras (Ajay Kumar, 2010), salvo que en este trabajo se desprecio el porcentaje < 1µm, un porcentaje muy considerable, si nosotros despreciáramos este porcentaje, consideramos el mismo resultado, nuestra segunda etapa con mayor porcentaje de acumulación de masa total esta en el rango de >3.0-<7.2 micras.

Ademas en los métodos para la colección total de partículas menores a 10 micras, las concentraciones parecen no depender de los tipos de filtros utilizados en los equipos(Chuen-Jinn Tsai, 1995)

En general la distribución de tamaño de partícula sigue los mismos patrones que se han observado en otras partes del mundo (Fernandez, 2001)

También se realizó un análisis estadístico de los datos arrojados en nuestro muestreo, se planteo una prueba de hipótesis con una diferencia de medias con varianzas desconocidas en Minitab, se utilizaron los datos de concentración generados por ambos métodos, el resultado del análisis fue, que no existe una diferencia significativa en la concentración entre los métodos



utilizados. También se analizaron los datos de concentración en una gráfica de intervalos de concentración estándar generada en Minitab, para visualizar el comportamiento de los dos métodos de captación de partículas. Se visualiza el mismo comportamiento en el porcentaje de masa total acumulada. La conclusión es que ambos métodos funcionan de la misma manera y se valida el método de captación de partículas utilizando filtros de teflón. Este trabajo valida la metodología de captación de partículas referente a concentraciones utilizando filtros de teflón

Aunado a esto la gran ventaja que representa el utilizar los filtros de teflón es que se puede realizar un análisis químico de la muestra sin interferencias causadas por el material del filtro y el porcentaje de recuperación de masa puede llegar hasta un 87 %.

Sin embargo esta operación de recuperación de partículas no deja de ser manual, se tiene que tener mucho cuidado en el proceso de remoción de partículas ya que estas generan mucha estática debido al tipo de filtro utilizado en este caso el de teflón, resulto difícil la remoción ya que a medida que decrece el tamaño de partícula, mayor estática se generaba y en el tiempo que se removía el polvo particulado a los filtros las partículas generaban demasiado movimiento y se dificultaba el vaciar el polvo particulado en los viales.

En cuanto a la determinación del tamaño de partícula se utilizaron tres técnicas de análisis, en el primer análisis se utilizo el equipo mastersizer 2000, en este equipo se realizaron dos análisis debido a los malos resultados que se tuvieron en un inicio, esto se asume que fue por haber dejado las muestras de polvo atomizado demasiado tiempo diluidas (una semana), las partículas tienden a sedimentarse, esto genera que se aglomeren y nos generen lecturas demasiado por encima de los resultados esperados.

En el segundo análisis del tamaño de partícula en el equipo mastersizer 2000, las muestras se analizaron en cuanto se diluye el polvo atomizado, los resultados muestran una mejor tendencia de estos en cuanto a la distribución que marca el fabricante tan solo en las primeras dos etapas. Existe la

posibilidad de que el equipo mastersizer no pueda hacer lecturas confiables en cuanto a tamaños de partícula menores a tres micras. Es cierto que el equipo Mastersizer puede leer desde 0.02 micras, pero estar trabajando en los límites de cualquier equipo puede ocasionar lecturas no confiables.

Estudios sobre colección de partículas utilizando filtros de fibra de vidrio y PTFE indican que no existe diferencia significativa entre los filtros de vidrio y los de Teflón, su trabajo fue desarrollar y evaluar muestreadores personales con impactor de cascada. (Chadan Misra, 2002).

Se vio la posibilidad de analizar el tamaño de partícula en el MEB JEOL JSM5800LV, se tomo polvo atomizado captado en los viales, se vertió un poco en una superficie libre de polvo y se adhirió en cinta de cobre para su posterior análisis. Los resultados arrojados por el microscopio muestran que el tamaño de partícula si va decreciendo, sin embargo es difícil apreciar o validar el tamaño en cada una de las muestras, las partículas se encuentran demasiado aglomeradas, esto debe a que al momento de distribuir las partículas en la superficie lisa las partículas se aglomeraron, es decir las partículas se manipularon y ya no se puede ver si es una partícula o varias juntas, esto influye demasiado a la hora de determinar el tamaño natural de la partícula, inclusive en algunas etapas no existe diferencia apreciable respecto a las etapas subsecuentes.

Es por esto que, para poder definir el tamaño de partícula, esta debe realizarse de manera natural, es decir que nada interfiera o manipule la partícula al momento de depositarse en los filtros. Esta prueba se realizó en el MEB JEOL JSM-741

Para este muestreo se preparó el equipo según los procedimientos de muestreo, colocando un portamuestra en el centro del filtro de teflón y en el filtro final, este muestreo tuvo una duración de 24 horas para no saturar las muestras, de esta manera no se saturaron los portamuestras y se obtuvieron imágenes finas de las partículas en cada una de las etapas

## **8 CONCLUSIONES**

No existe una diferencia significativa entre utilizar filtro de teflón y filtros de fibra de vidrio respecto a la masa y concentración captadas en ambos métodos; por lo tanto en este aspecto se valida el uso de filtros de teflón como alternativa de muestreo.

Para la caracterización de las partículas no fue posible comprobar el tamaño de las partículas, las lecturas de Mastersizer, el MEB JEOL JSM 5800LV y el MEB JSM 741F muestran una disminución de tamaño de partícula mas no coincide con las especificaciones del fabricante.

Sin embargo, estos análisis determinaron que en la última etapa de filtración del impactor de cascada, se tienen tamaños de partícula de todas las etapas anteriores, esto es debido a que el impactor de cascada tiene una eficiencia de caracterización de tamaño de partícula del 50% y este error se acumula en la última etapa de filtración

### **Recomendaciones**

Es muy importante realizar estudios posteriores para las partículas menores a 0.5 micras, un gran porcentaje de material particulado se encuentra en esta etapa. Aun se tiene un campo muy grande de estudio de este tamaño de partícula, son las más riesgosas a la salud y son las que necesitan un mayor análisis y caracterización.

Para el análisis del MEB JEOL JSM 741F, no se captaron partículas en la etapa 5, esto tiene relación con el porcentaje de retención de partículas que se tiene en esta etapa. Es necesario un muestreo por más de 24 horas para poder obtener imágenes de partículas en esta etapa

## 9 REFERENCIAS.

1. Aceves M., Grimalt J. (1993). Seasonally dependent size distributions of aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban aerosols from densely populated areas. *Environmental Science and Technology* , 2896-2908.
2. Ajay Kumar, Manish Mishra, Divkar J., Sabyasachi Rout, Usha Narayanan. (2010). Impact of particle size on distribution of major ions in acid- and water-soluble components of PM10 atmospheric aerosols in the coastal region of Mumbai. *Atmospheric Research* , 406-415.
3. Appel B., Tokiwa Y. (1983). Atmospheric particulate nitrate sampling errors due to reactions with particulate and gaseous strong acids. *Atmospheric Environment* , 1087-1089.
4. Appel B., Tokiwa Y., Haik M., Kothny E. (1984). Artifact particulate sulfate and nitrate formation on filter media. *Atmospheric Environment* , 18,409.
5. Ayres J. Fleming D., Williams M., McInnes G., (1989). Measurement of respiratory morbidity in general practice in the United Kingdom during the acid transport event of 1985. *Environmental Health Perspective* , 69-72.
6. Chadan Misra, Manisha Singh, Si Shen, Constantinos Sioutas, Peter Hall (2002). Development and evaluation of a personal cascade impactor sampler (PCIS). *Aerosol Science* , 1027-1047.
7. Charlson R., (1992). Climate forcing by anthropogenic aerosols. *Science* , 423-430.
8. Chuen-Jinn Tsai, Hsin- Ying Huang.(1995). Atmospheric aerosol sampling by an annular denuder system and a high volume PM sampler. *Institute of Environmental Engineering* , 239.
9. Council, National Research (1993). *Protecting visibility in National Parks and wilderness areas*. Washington DC: National Academy Press.
10. Dockery D., Pope C.A., Xiping X., Spengler J., Ware J., Fay M., Ferris B., Speizer F. (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities . *New England Journal of Medicine* , 40-48.

11. Dockery and Schwartz (1992.). Particulate air pollution and daily mortality in Steubenville, Ohio. *American Journal of Epidemiology* , 135, 12-19.
12. Energy, U.S. Department of (1997). *Manual de Operación Cascade Impactors*. U.S: HASL-300.
13. EPA. (1996). Air Quality Criteria for Particulate Matter /600/P-95/aF-SF. *US. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC* , 95-96.
14. EPA. (1987). Revisions to the national ambient quality standards for particle matter. *Federal Register* 52:24634 , 0CFR Part 50.
15. Fernandez Espinoza Antonio, Ternero Rodriguez Miguel, Barragan De la Rosa Francisco, Jimenez Sanchez Juan (2001). Size distributions of metals in urban aerosols in Seville. *Atmospheric Environment* , 2595-2601.
16. Fernandez A., Ternero M., Barragan F., Jimenez J. (2000). An approach to characterization of sources of urban air airborne particles through heavy metal speciation. *Chemosphere* , 123-136.
17. Francine Laden, Lucas M. Neas, Douglas W. Dockery, Joel Schwartz (2000). Association of Fine Particulate Matter from Different Sources with Daily Mortality in six U.S. Cities. *Environmental Health Perspectives* , 941-947.
18. Francisca Aldape Ugalde, Javier Flores Maldonado (2010). *Veinticinco años de estudio de la contaminación atmosférica*. México: Contribuciones del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares al Avance de la Ciencia y Tecnología en Mexico.
19. GmbH, I. S. (01 de Enero de 1997). *CEHMIE.DE*. Recuperado el 03 de Noviembre de 2011, de <http://www.quimica.es/productos/61066/mastersizer-2000-caracterizacion-de-particulas-avanzada-robusto-validado-y-simple.html>
20. [http://www.rodela.com/index\\_archivos/Whatman/02\\_Filtros.pdf](http://www.rodela.com/index_archivos/Whatman/02_Filtros.pdf). (15 de 12 de 2010). Recuperado el 2011
21. INDESTEC. (s.f.). *INDESTEC de México S.A. de C.V.* Recuperado el 10 de Noviembre de 2011, de <http://www.indestec.com>


22. Infante R., Acosta L. (1991). Size distribution of trace metals in Ponce, Puerto Rico air particle matter. *Atmospheric Environment* , 121-131.
23. Jones N., Thornton C., Mark D., Harrison R. (2000). Indoor/Outdoor relationships of particle matter in domestic homes with roadside, urban and rural locations. *Atmospheric Environment* , 2603-2612.
24. Karen L. Jansen, Timothy V. Larson, Lane Q. Koenig, Therese F. Mar, Carrie Fields, Jim Stewart, Morton Lippmann (2005). Associations between Health Effects and Particulate Matter and Black Carbon in Subjects with respiratory Disease . *Environmental Health Perspectives* , 1741-1746.
25. Mastersizer. (01 de Enero de 2011). *Mastersizer*. Recuperado el 3 de Noviembre de 2011, de <http://www.malvern.com/ms2000>
26. Ming Chih Chang, Constantinos Sioutas, Seongheon Kim (2000). Reduction of nitrate losses from filter and impactor samplers by means of concentration enrichment. *Atmospheric Environment* , 85-98.
27. NOM-025-SSA1-1993, N. O. (26 de Septiembre del 2005). *Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros pm10 y partículas menores de 2.5*. Diario Oficial de la Federación.
28. NOM-035-1993, N. O. (18 de Octubre 1993). *Métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición*. Diario Oficial de la Federación.
29. Ozkaynak H., Thurston G. (1987). Associations between 1980 U.S. mortality rates and alternative measures of airborne particle concentration. *Risk Analysis* , 449-461.
30. Ruiz, Ramón Fernandez (25 de Julio de 2004). [www.uam.es](http://www.uam.es). Recuperado el 19 de Noviembre de 2011, de [http://www.uam.es/personal\\_pas/txrf/icpms.html](http://www.uam.es/personal_pas/txrf/icpms.html)
31. *Secretaría de Salud*. (10 de 10 de 2010). Recuperado el 10 de 04 de 2011, de <http://www.ssa.gob.mx>
32. Seinfeld, J. (1986). *Atmospheric Chemistry and Physics of Air pollution*. John Wiley, New York .

33. Shwartz J., Dockery D., Neas L. (1996). Is daily mortality associated specifically with fine particles? *Air and Waste Management Association* , 927-939.
34. Srichana T., Martin G., Marriot C. (1998). Calibration method for the andersen cascade impactor. *Aerosol Science* , 761-762.
35. Trijonis, J. (1983). Development and application of methods for estimating inhalable and fine particle concentrations from routine hi-vol data. *Atmospheric Environment* , 999-1008.
36. USEPA. (1996). *Air quality criteria for particulate matter*. United States: US Environmental Protection Agency. EPA/600/P-95/001F.
37. USEPA. (1990). *Review of the national ambient air quality standard for particulate matter: assesment of scientific and technical information*. United States: Research Triangle Park.
38. Vaughan. (1989). The andersen impactor: calibration, wall losses and numerical simulation. *Aerosol Science* , 67-90.
39. Vaughman. (1998). Distribución de metales por tamaño de partícula (PM 10, PM2.5 y PM1) en las emisiones de la metalurgia no férrea. *J. Aerosol* , 67-90.
40. Whatman. (01 de Enero de 2011). *Whatman*. Recuperado el 21 de 11 de 2011, de <http://www.whatman.com/>
41. *World Health Organization*. (14 de 10 de 10). Recuperado el 14 de 04 de 2011, de 2010: <http://www.who.int/en/>
42. *www.dec.state*. (10 de 10 de 2010). Recuperado el 14 de 04 de 2011, de [www.dec.state.ak.us/air/anpms/pm/pm\\_bckgrd.htm](http://www.dec.state.ak.us/air/anpms/pm/pm_bckgrd.htm)

# 10 ANEXOS

## 10.1 Anexo 1

### Formatos utilizados para el muestreo de captación de partículas



**CENTRO DE INVESTIGACION EN MATERIALES AVANZADOS, S.C**  
**DEPTO. DE ENERGÍAS RENOVABLES Y PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE**  
**Laboratorio de Calidad del Aire**

**CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PST Y PM<sub>10</sub>**  
**EN AIRE AMBIENTE USANDO CONTROLADOR DE FLUJO VOLUMETRICO**

**Lugar y fecha del muestreo:**

**Tipo de monitoreo:**  PM<sub>10</sub>     PST     Otro: \_\_\_\_\_

**Punto de prueba:** \_\_\_\_\_    **Equipo y motor:** \_\_\_\_\_

**CALIBRACION**

Pa: \_\_\_\_\_ mmHg    Ta: \_\_\_\_\_ °C    Ta(°C) + 273.15 = \_\_\_\_\_ °K    m = \_\_\_\_\_    b = \_\_\_\_\_

	Formula	Plato 18	Plato 13	Plato 10	Plato 7	Plato 5	Σ
ΔH ("H <sub>2</sub> O)							
P <sub>stg</sub> ("H <sub>2</sub> O)							
P <sub>stg</sub> (mmHg)	P <sub>stg</sub> ("H <sub>2</sub> O) X 1.8669						
Qa <sub>orificio</sub> (m <sup>3</sup> /min)	{(ΔH(Ta(°K)/Pa)) <sup>0.5</sup> -b} {1/m}						
<b>Criterio de aceptación para Qa<sub>orificio</sub>: Al menos tres puntos deben estar en el rango de 1.1 a 1.7 para PST y entre 1.2 y 1.24 para PM<sub>10</sub></b>							
P1 (mmHg)	Pa (mmHg) - P <sub>stg</sub> (mmHg)						
P1/Pa							
[(P1/Pa)*Ta] <sup>0.5</sup>							
Qa*[(P1/Pa)*Ta] <sup>0.5</sup>							
(Qa) <sup>2</sup>							

**AJUSTE POR MINIMOS CUADRADOS**

El modelo de regresión esta dado por:

$$y = mx + b = [(P1/Pa)/Ta]^{0.5} = m[Qa_{orificio}] + b$$

$m = \frac{(\sum y)(\sum x) - (5)(\sum xy)}{(\sum x)^2 - (5)(\sum x^2)} = \frac{(\quad)(\quad) - (5)(\quad)}{(\quad)^2 - (5)(\quad)} = \quad$   
 $b = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum xy)(\sum x)}{5(\sum x^2) - (\sum x)^2} = \frac{(\quad)(\quad) - (\quad)(\quad)}{5(\quad) - (\quad)^2} = \quad$   
 $r = \frac{(\sum xy) - 5(\bar{x}\bar{y})}{\sqrt{[\sum x^2 - 5(\bar{x})^2][\sum y^2 - 5(\bar{y})^2]}}$

**MUESTREO**

	Formula	Inicial	Intermedias	Final	Promedio
Pa <sub>(prom)</sub> mmHg					
Ta <sub>(prom)</sub> (°C)					
P <sub>stg</sub> ("H <sub>2</sub> O)					
Ta <sub>(prom)</sub> (°K)	Ta(°C) + 273.15				
P <sub>stg</sub> (mmHg)	Pf (inH <sub>2</sub> O) X 1.8669				
P1 (mmHg)	Pa (mmHg) - P <sub>stg</sub> (mmHg)				
Qa <sub>muestreo</sub> (m <sup>3</sup> /min)	{[(P1 <sub>prom</sub> / Pa <sub>prom</sub> ) * Ta <sub>prom</sub> ] <sup>0.5</sup> - b} {1/m}				

**CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PARTICULAS**

T<sub>std</sub> = 298.15 °K    P<sub>std</sub> = 760 mmHg    Tiempo de muestreo (t) = \_\_\_\_\_ minutos

Qa<sub>std</sub> = \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/min    V<sub>muest</sub> = Qa<sub>muestreo</sub> X t = \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>    V<sub>std</sub> = Qa<sub>(std)</sub> X t = \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>

Etapa	Identificación	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Δm (g)	Conc. (μg/m <sup>3</sup> )	Conc. std (μg/m <sup>3</sup> )
1						
2						
3						
4						
5						
F						
PM10						
PM2.5						

Figura 10.1a: Formato para el cálculo de la concentración PM10





**CENTRO DE INVESTIGACION EN MATERIALES AVANZADOS,  
S.C.  
DIVISION DE CIENCIA E INGENIERIA AMBIENTAL**

**FORMATO DIARIO PARA EL MONITOREO DE LA MASA COLECTADA DE PST Y PM<sub>10</sub>  
EN AIRE AMBIENTE**

CALIBRACION HI VOL 3      Fecha: 8 Julio 2011							
	Formula	Plato 18	Plato 13	Plato 10	Plato 7	Plato 5	Σ
Pa (mmHg)	-----						-----
Pf (°H <sub>2</sub> O)	-----						-----
Ta (°C)	-----						-----
Ta (°K)	Ta(°C) + 273.15						-----

MUESTREO MOTOR						
	Formula	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Promedio
Pf (°H <sub>2</sub> O)	-----	10-ago-11	17-ago-11	23-ago-11		
Ta (°C)	-----					
Ta (°K)	Ta(°C) + 273.15					
Timer						0

CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PARTICULAS						
Filtro Tef 1	Peso inicial m <sub>0</sub> :	g	Peso final mf:	g	Δm =	
Filtro Tef 2	Peso inicial m <sub>0</sub> :	g	Peso final mf:	g	Δm =	
Filtro Tef 3	Peso inicial m <sub>0</sub> :	g	Peso final mf:	g	Δm =	
Filtro Tef 4	Peso inicial m <sub>0</sub> :	g	Peso final mf:	g	Δm =	
Filtro Tef 5	Peso inicial m <sub>0</sub> :	g	Peso final mf:	g	Δm =	
Vial 1	Peso inicial m <sub>0</sub> :	g	Peso final mf:	g	Δm =	
Vial 2	Peso inicial m <sub>0</sub> :	g	Peso final mf:	g	Δm =	
Vial 3	Peso inicial m <sub>0</sub> :	g	Peso final mf:	g	Δm =	
Vial 4	Peso inicial m <sub>0</sub> :	g	Peso final mf:	g	Δm =	
Vial 5	Peso inicial m <sub>0</sub> :	g	Peso final mf:	g	Δm =	

IMPACTOR   2        HI VOL   3  

Filtro	No	Peso inicial filtro m <sub>2</sub> :	Peso final mf:	Δm filtro 2 =
				Δmtotal =

Responsable del Muestreo
Responsable del Laboratorio

Este documento es confidencial, no se autoriza la reproducción, salida y/o distribución externa sin el consentimiento escrito del Responsable del Laboratorio.

Figura 10.1b: Formato de registro de toma de lecturas

## Resultados de concentración de partículas

CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PARTICULAS							
Filtro 1	195	Peso inicial m <sub>0</sub> :	1.60721 g	Peso final mf:	1.66068 g	$\Delta m =$	0.053
Filtro 2	196	Peso inicial m <sub>0</sub> :	1.60618 g	Peso final mf:	1.72488 g	$\Delta m =$	0.119
Filtro 3	197	Peso inicial m <sub>0</sub> :	1.59834 g	Peso final mf:	1.63895 g	$\Delta m =$	0.041
Filtro 4	198	Peso inicial m <sub>0</sub> :	1.62485 g	Peso final mf:	1.65065 g	$\Delta m =$	0.026
Filtro 5	199	Peso inicial m <sub>0</sub> :	1.6155 g	Peso final mf:	1.63506 g	$\Delta m =$	0.020
<b>IMPACTOR</b> <u>  1  </u>				<b>HI VOL</b> <u>  4  </u>			
Filtro	No	180	Peso inicial filtro m1:	4.48580	Peso final mf:	4.59722	$\Delta m$ filtro 1 = 0.1114
							$\Delta m$ total = <u>0.370</u>
Responsable del Muestreo				Responsable del Laboratorio			

Este documento es confidencial, no se autoriza la reproducción, salida y/o distribución externa sin el consentimiento escrito del Responsable del Laboratorio.

Figura 9.1.1b: Hoja colección de Datos filtros de Fibra de vidrio 1er Muestreo

CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PARTICULAS							
Filtro Tef 1		Peso inicial m <sub>0</sub> :	14.23319 g	Peso final mf:	14.27330 g	$\Delta m =$	0.040
Filtro Tef 2		Peso inicial m <sub>0</sub> :	13.9003 g	Peso final mf:	13.96530 g	$\Delta m =$	0.065
Filtro Tef 3		Peso inicial m <sub>0</sub> :	14.4375 g	Peso final mf:	14.47570 g	$\Delta m =$	0.038
Filtro Tef 4		Peso inicial m <sub>0</sub> :	14.3952 g	Peso final mf:	14.42315 g	$\Delta m =$	0.028
Filtro Tef 5		Peso inicial m <sub>0</sub> :	14.0939 g	Peso final mf:	14.12036 g	$\Delta m =$	0.026
Vial 1		Peso inicial m <sub>0</sub> :	2.87338 g	Peso final mf:	2.88642 g	$\Delta m =$	0.013
Vial 2		Peso inicial m <sub>0</sub> :	2.85739 g	Peso final mf:	2.91403 g	$\Delta m =$	0.057
Vial 3		Peso inicial m <sub>0</sub> :	2.91978 g	Peso final mf:	2.93452 g	$\Delta m =$	0.015
Vial 4		Peso inicial m <sub>0</sub> :	2.91489 g	Peso final mf:	2.92384 g	$\Delta m =$	0.009
Vial 5		Peso inicial m <sub>0</sub> :	2.93617 g	Peso final mf:	2.94378 g	$\Delta m =$	0.008
<b>IMPACTOR</b> <u>  2  </u>				<b>HI VOL</b> <u>  3  </u>			
Filtro	No	181	Peso inicial filtro m2:	4.49693	Peso final mf:	4.59722	$\Delta m$ filtro 2 = 0.1003
							$\Delta m$ total = <u>0.2980</u>
Responsable del Muestreo				Responsable del Laboratorio			

Figura 10.1.1a: Hoja colección de Datos filtros de Teflón 1er Muestreo

CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PARTICULAS							
Filtro 1	190	Peso inicial $m_0$ :	1.59341 g	Peso final mf:	1.64415 g	$\Delta m =$ 0.051	
Filtro 2	191	Peso inicial $m_0$ :	1.56804 g	Peso final mf:	1.6784 g	$\Delta m =$ 0.110	
Filtro 3	192	Peso inicial $m_0$ :	1.55604 g	Peso final mf:	1.59085 g	$\Delta m =$ 0.035	
Filtro 4	193	Peso inicial $m_0$ :	1.54958 g	Peso final mf:	1.57158 g	$\Delta m =$ 0.022	
Filtro 5	194	Peso inicial $m_0$ :	1.6026 g	Peso final mf:	1.61825 g	$\Delta m =$ 0.016	
<b>IMPACTOR <u>  1  </u> HI VOL <u>  4  </u></b>							
Filtro	No	174	Peso inicial filtro m1:	4.50489	Peso final mf:	4.5798	$\Delta m$ filtro 1 = 0.0749
						$\Delta m$ total = 0.308	
Responsable del Muestreo			Responsable del Laboratorio				
Este documento es confidencial, no se autoriza la reproducción, salida y/o distribución externa sin el consentimiento escrito del Responsable del Laboratorio.							

Figura 10.1.2a: Hoja colección de Datos filtros de Fibra de vidrio 2do Muestreo

CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PARTICULAS							
Filtro Tef 1		Peso inicial $m_0$ :	13.9041 g	Peso final mf:	13.94665 g	$\Delta m =$ 0.043	
Filtro Tef 2		Peso inicial $m_0$ :	13.9847 g	Peso final mf:	14.06540 g	$\Delta m =$ 0.081	
Filtro Tef 3		Peso inicial $m_0$ :	14.0169 g	Peso final mf:	14.03680 g	$\Delta m =$ 0.020	
Filtro Tef 4		Peso inicial $m_0$ :	13.9015 g	Peso final mf:	13.91350 g	$\Delta m =$ 0.012	
Filtro Tef 5		Peso inicial $m_0$ :	13.6563 g	Peso final mf:	13.66841 g	$\Delta m =$ 0.012	
Vial 1		Peso inicial $m_0$ :	2.95673 g	Peso final mf:	2.98899 g	$\Delta m =$ 0.032	
Vial 2		Peso inicial $m_0$ :	2.93876 g	Peso final mf:	3.00755 g	$\Delta m =$ 0.069	
Vial 3		Peso inicial $m_0$ :	2.8683 g	Peso final mf:	2.88171 g	$\Delta m =$ 0.013	
Vial 4		Peso inicial $m_0$ :	2.88341 g	Peso final mf:	2.88991 g	$\Delta m =$ 0.006	
Vial 5		Peso inicial $m_0$ :	2.88165 g	Peso final mf:	2.89021 g	$\Delta m =$ 0.009	
<b>IMPACTOR <u>  2  </u> HI VOL <u>  3  </u></b>							
Filtro	No	175	Peso inicial filtro m2:	4.49683	Peso final mf:	4.65888	$\Delta m$ filtro 2 = 0.1621
						$\Delta m$ total = 0.3293	
Responsable del Muestreo			Responsable del Laboratorio				
Este documento es confidencial, no se autoriza la reproducción, salida y/o distribución externa sin el consentimiento escrito del Responsable del Laboratorio.							

Figura 10.1.2b: Hoja colección de Datos filtros de Teflón 2do muestreo

CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PARTICULAS							
Filtro 1	178	Peso inicial $m_0$ :	1.57309 g	Peso final mf:	1.6361 g	$\Delta m =$	0.063
Filtro 2	179	Peso inicial $m_0$ :	1.59133 g	Peso final mf:	1.67595 g	$\Delta m =$	0.085
Filtro 3	186	Peso inicial $m_0$ :	1.6076 g	Peso final mf:	1.63728 g	$\Delta m =$	0.030
Filtro 4	187	Peso inicial $m_0$ :	1.60251 g	Peso final mf:	1.62085 g	$\Delta m =$	0.018
Filtro 5	188	Peso inicial $m_0$ :	1.60174 g	Peso final mf:	1.61555 g	$\Delta m =$	0.014
IMPACTOR <u>1</u> HI VOL <u>4</u>							
Filtro	No	177	Peso inicial filtro m1:	4.47438	Peso final mf:	4.5328	$\Delta m$ filtro 1 = 0.0584
							$\Delta m$ total = <u>0.268</u>
Responsable del Muestreo				Responsable del Laboratorio			

Este documento es confidencial, no se autoriza la reproducción, salida y/o distribución externa sin el consentimiento escrito del Responsable del Laboratorio.

Figura 10.1.3a: Hoja colección de Datos filtros de Teflón 3er muestreo

CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PARTICULAS							
Filtro Tef 1		Peso inicial $m_0$ :	14.244 g	Peso final mf:	14.27963 g	$\Delta m =$	0.036
Filtro Tef 2		Peso inicial $m_0$ :	13.8897 g	Peso final mf:	13.96225 g	$\Delta m =$	0.073
Filtro Tef 3		Peso inicial $m_0$ :	14.4544 g	Peso final mf:	14.47963 g	$\Delta m =$	0.025
Filtro Tef 4		Peso inicial $m_0$ :	14.41 g	Peso final mf:	14.42270 g	$\Delta m =$	0.013
Filtro Tef 5		Peso inicial $m_0$ :	14.1063 g	Peso final mf:	14.12131 g	$\Delta m =$	0.015
Vial 1		Peso inicial $m_0$ :	2.86917 g	Peso final mf:	2.8935 g	$\Delta m =$	0.024
Vial 2		Peso inicial $m_0$ :	2.92723 g	Peso final mf:	2.98298 g	$\Delta m =$	0.056
Vial 3		Peso inicial $m_0$ :	2.87401 g	Peso final mf:	2.88832 g	$\Delta m =$	0.014
Vial 4		Peso inicial $m_0$ :	2.87381 g	Peso final mf:	2.87993 g	$\Delta m =$	0.006
Vial 5		Peso inicial $m_0$ :	2.93192 g	Peso final mf:	2.94122 g	$\Delta m =$	0.009
IMPACTOR <u>2</u> HI VOL <u>3</u>							
Filtro	No	176	Peso inicial filtro m2:	4.50227	Peso final mf:	4.61993	$\Delta m$ filtro 2 = 0.1177
							$\Delta m$ total = <u>0.2788</u>
Responsable del Muestreo				Responsable del Laboratorio			

Este documento es confidencial, no se autoriza la reproducción, salida y/o distribución externa sin el consentimiento escrito del Responsable del Laboratorio.

Figura 10.1.3b: Hoja colección de Datos filtros de Teflón 3er muestreo



**CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PST Y PM<sub>10</sub>**  
**EN AIRE AMBIENTE USANDO CONTROLADOR DE FLUJO VOLUMETRICO**

**Lugar y fecha del muestreo:** Cimav, del 8 al 25 de Julio  
**Tipo de monitoreo:**  **PM<sub>10</sub>**  **PST** **Otro:** IMPACTOR CASCADA TEFLON  
**Punto de prueba:**  **Equipo y motor:** HV 3

CALIBRACION							
<b>Pa:</b> 640 mmHg	<b>Ta:</b> 28 °C	<b>Ta(°C) +273.15=</b> 301.15 °K		<b>m=</b> 1.27	<b>b=</b> -0.01925		
Formula	Plato 18	Plato 13	Plato 10	Plato 7	Plato 5	Σ	
<b>ΔH ("H<sub>2</sub>O)</b>	4.16	3.93	3.49	2.75	1.85		
<b>P<sub>stg</sub> ("H<sub>2</sub>O)</b>	8.39	12.18	17.39	18.56	33.9		
<b>P<sub>stg</sub> (mmHg)</b>	P <sub>stg</sub> ("H <sub>2</sub> O) X 1.8669	15.66	22.74	32.47	34.65	63.29	
<b>Qa<sub>orificio</sub> (m<sup>3</sup>/min)</b>	{(ΔH(Ta(°K)/Pa)) <sup>0.5-b</sup> } {1/m}	1.12	1.09	1.02	0.91	0.75	4.8876
<b>Criterio de aceptación para Qa<sub>orificio</sub>:</b> Al menos tres puntos deben estar en el rango de 1.1 a 1.7 para PST y entre 1.2 y 1.24 para PM <sub>10</sub>							<b>Aceptado</b>
<b>P1 (mmHg)</b>	Pa (mmHg) - P <sub>stg</sub> (mmHg)	624.34	617.26	607.53	605.35	576.71	
<b>P1/Pa</b>		0.976	0.964	0.949	0.946	0.901	
<b>[(P1/Pa)*Ta]<sup>0.5</sup></b>		17.1400	17.0426	16.9078	16.8774	16.4733	84.4411
<b>Qa*[(P1/Pa)*Ta]<sup>0.5</sup></b>		19.1421	18.5069	17.3170	15.3729	12.3519	82.6909
<b>(Qa)<sup>2</sup></b>		1.2473	1.1792	1.0490	0.8297	0.5622	4.8674

AJUSTE POR MINIMOS CUADRADOS	
El modelo de regresión esta dado por:	
<b>y = mx + b = [(P1/Pa)/Ta]<sup>0.5</sup> = m[Qa<sub>orificio</sub>] + b</b>	
<b>m =</b>	$\frac{(4.8876)(84.4411) - (5)(82.6909)}{(4.8876)^2 - (5)(4.8674)} = 1.6504$
<b>b =</b>	$\frac{(84.4411) - (1.6504)(4.8876)}{(5)} = 15.2749$
<b>r =</b>	0.9692

MUESTREO							
Formula	Inicial	Intermedias				Final	Promedio
<b>Pa<sub>(prom)</sub> mmHg</b>	640	640	640	640	640	640	640
<b>Ta<sub>(prom)</sub> (°C)</b>	26.42105	26.42105	26.42105	26.42105	26.42105	26.42105	26.42105263
<b>P<sub>stg</sub> ("H<sub>2</sub>O)</b>	27.06	27.1	27.13	28	28.47	27.55	
<b>Ta<sub>(prom)</sub> (°K)</b>	Ta(°C) +273.15	299.5711	299.5711	299.5711	299.5711	299.5711	299.5710526
<b>P<sub>stg</sub> (mmHg)</b>	Pf (inH <sub>2</sub> O) X 1.8669	50.52	50.59	50.65	52.27	53.15	51.44
<b>P1 (mmHg)</b>	Pa (mmHg) - P <sub>stg</sub> (mmHg)	589.48	589.41	589.35	587.73	586.85	588.56
<b>Qa<sub>muestreo</sub> (m<sup>3</sup>/min)</b>		{[(P1 <sub>prom</sub> / Pa <sub>prom</sub> ) * Ta <sub>prom</sub> ] <sup>0.5</sup> - b} {1/m}					0.80
		0.81	0.81	0.81	0.79	0.79	

CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PARTICULAS						
<b>T<sub>std</sub> =</b> 298.15 °K	<b>P<sub>std</sub> =</b> 760 mmHg	<b>Tiempo de muestreo (t) =</b> 15832 minutos				
<b>Qa<sub>std</sub> =</b> 0.67 m <sup>3</sup> /min	<b>V<sub>muest</sub> =</b> Qa <sub>muestreo</sub> X t = 12692.34 m <sup>3</sup>	<b>V<sub>std</sub> =</b> Qa <sub>(std)</sub> X t = 10637.58 m <sup>3</sup>				
Etapa	Identificacion	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Δm (g)	Conc. (μg/m <sup>3</sup> )	Conc. std (μg/m <sup>3</sup> )
1	Teflón 1	14.23319	14.27330	0.04011	3.16	3.77
2	Teflón 2	13.90030	13.96530	0.06500	5.12	6.11
3	Teflón 3	14.43750	14.47570	0.03820	3.01	3.59
4	Teflón 4	14.39520	14.42315	0.02795	2.20	2.63
5	Teflón 5	14.09390	14.12036	0.02646	2.08	2.49
F	181	4.49633	4.59722	0.10089	7.95	9.48
<b>PM10</b>				0.29861	23.53	28.07
<b>PM2.5</b>				0.19350	15.25	18.19

Figura 10.1.4a: Calculo de la concentración de PST y PM<sub>10</sub> 1er muestreo filtro de teflón

CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PST Y PM <sub>10</sub>							
EN AIRE AMBIENTE USANDO CONTROLADOR DE FLUJO VOLUMETRICO							
Lugar y fecha del muestreo: Cimav, del 8 al 25 de Julio							
Tipo de monitoreo:		X	PM <sub>10</sub>	PST	Otro:	IMPACTOR CASCADA FILTROS	
Punto de prueba:				Equipo y motor: HV 4			
CALIBRACION							
Pa:	640	mmHg	Ta:	28	°C	Ta(°C) +273.15=	301.15 °K
						m=	1.27
						b=	-0.01925
	Formula	Plato 18	Plato 13	Plato 10	Plato 7	Plato 5	Σ
ΔH ("H <sub>2</sub> O)		3.21	2.98	2.75	2.22	1.61	
P <sub>stg</sub> ("H <sub>2</sub> O)		6.04	8.95	12.58	19.81	27.54	
P <sub>stg</sub> (mmHg)	P <sub>stg</sub> ("H <sub>2</sub> O) X 1.8669	11.28	16.71	23.49	36.98	51.41	
Qa <sub>orificio</sub> (m <sup>3</sup> /min)	{(ΔH(Ta(°K)/Pa)) <sup>0.5</sup> -b} {1/m}	0.98	0.95	0.91	0.82	0.70	4.3617
Criterio de aceptación para Qa <sub>orificio</sub> : Al menos tres puntos deben estar en el rango de 1.1 a 1.7 para PST y entre 1.2 y 1.24 para PM <sub>10</sub>							Aceptado
P1 (mmHg)	Pa (mmHg) -P <sub>stg</sub> (mmHg)	628.72	623.29	616.51	603.02	588.59	
P1/Pa		0.982	0.974	0.963	0.942	0.920	
[(P1/Pa)*Ta] <sup>0.5</sup>		17.2001	17.1256	17.0323	16.8448	16.6420	84.8449
Qa*[(P1/Pa)*Ta] <sup>0.5</sup>		16.9056	16.2277	15.5140	13.8116	11.6578	74.1168
(Qa) <sup>2</sup>		0.9661	0.8979	0.8297	0.6723	0.4907	3.8566
AJUSTE POR MINIMOS CUADRADOS							
El modelo de regresión esta dado por:							
$y = mx + b = [(P1/Pa)/Ta]^{0.5} = m[Qa_{orificio}] + b$							
$m = \frac{(4.3617)(84.8449) - (5)(74.1168)}{(4.3617)^2 - (5)(3.8566)} = 1.9844$							
$b = \frac{(84.8449) - (1.9844)(4.3617)}{(5)} = 15.2379$							
$r = 0.9976$							
MUESTREO							
	Formula	Inicial	Intermedias			Final	Promedio
Pa <sub>(prom)</sub> (mmHg)		640	640	640	640	640	640
Ta <sub>(prom)</sub> (°C)		26.42105	26.42105	26.42105	26.42105	26.42105	26.42105263
P <sub>stg</sub> ("H <sub>2</sub> O)		21.34	22	23.02	24	24.71	23.01
Ta <sub>(prom)</sub> (°K)	Ta(°C) +273.15	299.5711	299.5711	299.5711	299.5711	299.5711	299.5710526
P <sub>stg</sub> (mmHg)	Pf (inH <sub>2</sub> O) X 1.8669	39.84	41.07	42.98	44.81	46.13	42.96
P1 (mmHg)	Pa (mmHg) - P <sub>stg</sub> (mmHg)	600.16	598.93	597.02	595.19	593.87	597.04
Qa <sub>muestreo</sub> (m <sup>3</sup> /min)		{[(P1 <sub>prom</sub> /Pa <sub>prom</sub> )*Ta <sub>prom</sub> ] <sup>0.5</sup> -b} {1/m}					
		0.77	0.76	0.75	0.73	0.72	0.75
CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PARTICULAS							
T <sub>std</sub> = 298.15 °K	P <sub>std</sub> = 760 mmHg	Tiempo de muestreo (t) =		15832	minutos		
Qa <sub>std</sub> = 0.62	m <sup>3</sup> /min	V <sub>muest</sub> = Qa <sub>muestreo</sub> X t =	11800.85	m <sup>3</sup>		V <sub>std</sub> = Qa <sub>(std)</sub> X t =	9890.42 m <sup>3</sup>
Etapa	Identificacion	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Δm (g)	Conc. (μg/m <sup>3</sup> )	Conc. std (μg/m <sup>3</sup> )	
1	195	1.60721	1.66068	0.05347	4.53	5.41	
2	196	1.60618	1.72488	0.11870	10.06	12.00	
3	197	1.59834	1.63895	0.04061	3.44	4.11	
4	198	1.62485	1.65065	0.02580	2.19	2.61	
5	199	1.61550	1.63506	0.01956	1.66	1.98	
F	180	4.48580	4.59722	0.11142	9.44	11.27	
PM10				0.36956	31.32	37.37	
PM2.5				0.19739	16.73	19.96	

Figura 10.1.4b: Calculo de la concentración de PST y PM<sub>10</sub> 1er muestreo filtro de Fibra



**CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PST Y PM<sub>10</sub>**  
**EN AIRE AMBIENTE USANDO CONTROLADOR DE FLUJO VOLUMETRICO**

Lugar y fecha del muestreo: Cimav, 25 de Julio al 9 de agosto  
 Tipo de monitoreo:  PM<sub>10</sub>       PST      Otro: IMPACTOR CASCADA TEFLON  
 Punto de prueba:      Equipo y motor: HV 3

CALIBRACION									
Pa:	640 mmHg	Ta:	28 °C	Ta(°C) +273.15=	301.15 °K	m=	1.27	b=	-0.01925
	<b>Formula</b>	<b>Plato 18</b>	<b>Plato 13</b>	<b>Plato 10</b>	<b>Plato 7</b>	<b>Plato 5</b>	<b>Σ</b>		
ΔH ("H <sub>2</sub> O)		4.16	3.93	3.49	2.75	1.85			
P <sub>stg</sub> ("H <sub>2</sub> O)		8.39	12.18	17.39	18.56	33.9			
P <sub>stg</sub> (mmHg)	P <sub>stg</sub> ("H <sub>2</sub> O) X 1.8669	15.66	22.74	32.47	34.65	63.29			
Qa <sub>orificio</sub> (m <sup>3</sup> /min)	{(ΔH(Ta(°K)/Pa)) <sup>0.5</sup> -b} {1/m}	1.12	1.09	1.02	0.91	0.75	4.8876		
Criterio de aceptación para Qa <sub>orificio</sub> : Al menos tres puntos deben estar en el rango de 1.1 a 1.7 para PST y entre 1.2 y 1.24 para PM <sub>10</sub>								<b>Aceptado</b>	
P1 (mmHg)	Pa (mmHg) - P <sub>stg</sub> (mmHg)	624.34	617.26	607.53	605.35	576.71			
P1/Pa		0.976	0.964	0.949	0.946	0.901			
[(P1/Pa)*Ta] <sup>0.5</sup>		17.1400	17.0426	16.9078	16.8774	16.4733	84.4411		
Qa*[(P1/Pa)*Ta] <sup>0.5</sup>		19.1421	18.5069	17.3170	15.3729	12.3519	82.6909		
(Qa) <sup>2</sup>		1.2473	1.1792	1.0490	0.8297	0.5622	4.8674		

AJUSTE POR MINIMOS CUADRADOS	
El modelo de regresión esta dado por:	
$y = mx + b = [(P1/Pa)/Ta]^{0.5} = m[Qa_{orificio}] + b$	
$m = \frac{(4.8876)(84.4411) - (5)(82.6909)}{(4.8876)^2 - (5)(4.8674)} = 1.6504$	
$b = \frac{(84.4411) - (1.6504)(4.8876)}{(5)} = 15.2749$	
$r = 0.9692$	

MUESTREO							
	<b>Formula</b>	<b>Inicial</b>	<b>Intermedias</b>			<b>Final</b>	<b>Promedio</b>
Pa <sub>(prom)</sub> mmHg		640	640	640	640	640	640
Ta <sub>(prom)</sub> (°C)		26.33333	26.33333	26.33333	26.33333	26.33333	26.33333333
P <sub>stg</sub> ("H <sub>2</sub> O)		28.84	28.86	28.88	28.9	28.91	28.88
Ta <sub>(prom)</sub> (°K)	Ta(°C) +273.15	299.4833	299.4833	299.4833	299.4833	299.4833	299.4833333
P <sub>stg</sub> (mmHg)	Pf (inH <sub>2</sub> O) X 1.8669	53.84	53.88	53.92	53.95	53.97	53.91
P1 (mmHg)	Pa (mmHg) - P <sub>stg</sub> (mmHg)	586.16	586.12	586.08	586.05	586.03	586.09
Qa <sub>muestreo</sub> (m <sup>3</sup> /min)	{[(P1 <sub>prom</sub> / Pa <sub>prom</sub> ) * Ta <sub>prom</sub> ] <sup>0.5</sup> - b} {1/m}	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78

CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PARTICULAS						
T <sub>std</sub> =	298.15 °K	P <sub>std</sub> =	760 mmHg	Tiempo de muestreo (t) =	14258 minutos	
Qa <sub>std</sub> =	0.65 m <sup>3</sup> /min	V <sub>muest</sub> = Qa <sub>muestreo</sub> X t =	11107.72 m <sup>3</sup>	V <sub>std</sub> = Qa <sub>(std)</sub> X t =	9312.23 m <sup>3</sup>	
Etapa	Identificacion	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Δm (g)	Conc. (μg/m <sup>3</sup> )	Conc. std (μg/m <sup>3</sup> )
1	Teflón 1	13.90410	13.94665	0.04255	3.83	4.57
2	Teflón 2	13.98470	14.06540	0.08070	7.27	8.67
3	Teflón 3	14.01690	14.03680	0.01990	1.79	2.14
4	Teflón 4	13.90150	13.91350	0.01200	1.08	1.29
5	Teflón 5	13.65630	13.66841	0.01211	1.09	1.30
F	175	4.49683	4.65888	0.16205	14.59	17.40
PM10				0.32931	29.65	35.36
PM2.5				0.20606	18.55	22.13

Figura 10.1.5a: Calculo de la concentración de PST y PM<sub>10</sub> 2do muestreo filtro de teflón

CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PST Y PM <sub>10</sub>								
EN AIRE AMBIENTE USANDO CONTROLADOR DE FLUJO VOLUMETRICO								
Lugar y fecha del muestreo: Cimav, 25 de Julio al 9 de agosto								
Tipo de monitoreo:		X	PM <sub>10</sub>	PST	Otro: IMPACTOR CASCADA FILTROS			
Punto de prueba:				Equipo y motor: HV 4				
CALIBRACION								
Pa:	640	mmHg	Ta:	28	°C	Ta(°C) + 273.15 =	301.15 °K	
						m =	1.27	
						b =	-0.01925	
	Formula	Plato 18	Plato 13	Plato 10	Plato 7	Plato 5	Σ	
ΔH ("H <sub>2</sub> O)		3.21	2.98	2.75	2.22	1.61		
P <sub>stg</sub> ("H <sub>2</sub> O)		6.04	8.95	12.58	19.81	27.54		
P <sub>stg</sub> (mmHg)	P <sub>stg</sub> ("H <sub>2</sub> O) X 1.8669	11.28	16.71	23.49	36.98	51.41		
Qa <sub>orificio</sub> (m <sup>3</sup> /min)	{(ΔH(Ta(°K)/Pa)) <sup>0.5</sup> -b} {1/m}	0.98	0.95	0.91	0.82	0.70	4.3617	
Criterio de aceptación para Qa <sub>orificio</sub> : Al menos tres puntos deben estar en el rango de 1.1 a 1.7 para PST y entre 1.2 y 1.24 para PM <sub>10</sub>							Aceptado	
P1 (mmHg)	Pa (mmHg) - P <sub>stg</sub> (mmHg)	628.72	623.29	616.51	603.02	588.59		
P1/Pa		0.982	0.974	0.963	0.942	0.920		
[(P1/Pa)*Ta] <sup>0.5</sup>		17.2001	17.1256	17.0323	16.8448	16.6420	84.8449	
Qa*[(P1/Pa)*Ta] <sup>0.5</sup>		16.9056	16.2277	15.5140	13.8116	11.6578	74.1168	
(Qa) <sup>2</sup>		0.9661	0.8979	0.8297	0.6723	0.4907	3.8566	
AJUSTE POR MINIMOS CUADRADOS								
El modelo de regresión esta dado por:								
$y = mx + b = [(P1/Pa)/Ta]^{0.5} = m[Qa_{orificio}] + b$								
$m = \frac{(4.3617)(84.8449) - (5)(74.1168)}{(4.3617)^2 - (5)(3.8566)} = 1.9844$								
$b = \frac{(84.8449) - (1.9844)(4.3617)}{5} = 15.2379$								
$r = 0.9976$								
MUESTREO								
	Formula	Inicial	Intermedias				Final	Promedio
Pa <sub>(prom)</sub> (mmHg)		640	640	640	640	640	640	
Ta <sub>(prom)</sub> (°C)		26.33333	26.33333	26.33333	26.33333	26.33333	26.3333333	
P <sub>stg</sub> ("H <sub>2</sub> O)		23.87	23.87	23.87	23.87	23.87	23.87	
Ta <sub>(prom)</sub> (°K)	Ta(°C) + 273.15	299.4833	299.4833	299.4833	299.4833	299.4833	299.4833333	
P <sub>stg</sub> (mmHg)	Pf (inH <sub>2</sub> O) X 1.8669	44.56	44.56	44.56	44.56	44.56	44.56	
P1 (mmHg)	Pa (mmHg) - P <sub>stg</sub> (mmHg)	595.44	595.44	595.44	595.44	595.44	595.44	
Qa <sub>muestreo</sub> (m <sup>3</sup> /min)		[(P1 <sub>prom</sub> /Pa <sub>prom</sub> )*Ta <sub>prom</sub> ] <sup>0.5</sup> -b} {1/m}					0.73	0.73
		0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	
CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PARTICULAS								
T <sub>std</sub> = 298.15 °K		P <sub>std</sub> = 760 mmHg		Tiempo de muestreo (t) = 14258 minutos				
Qa <sub>std</sub> = 0.61 m <sup>3</sup> /min		V <sub>muest</sub> = Qa <sub>muestreo</sub> X t = 10449.43 m <sup>3</sup>		V <sub>std</sub> = Qa <sub>(std)</sub> X t = 8760.34 m <sup>3</sup>				
Eta	Identificacion	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Δm (g)	Conc. (μg/m <sup>3</sup> )	Conc. std (μg/m <sup>3</sup> )		
1	190	1.59341	1.64415	0.05074	4.86	5.79		
2	191	1.56804	1.67840	0.11036	10.56	12.60		
3	192	1.55604	1.59085	0.03481	3.33	3.97		
4	193	1.54958	1.57158	0.02200	2.11	2.51		
5	194	1.60260	1.61825	0.01565	1.50	1.79		
F	174	4.50489	4.57980	0.07491	7.17	8.55		
PM10				0.30847	29.52	35.21		
PM2.5				0.14737	14.10	16.82		

Figura 10.1.5b: Calculo de la concentración de PST y PM<sub>10</sub> 2do muestreo filtro de Fibra





**CENTRO DE INVESTIGACION EN MATERIALES AVANZADOS, S.C.**  
**DEPTO. DE ENERGIAS RENOVABLES Y PROTECCION DEL MEDIO AMBIENTE**  
**Laboratorio de Calidad del Aire**

**CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PST Y PM<sub>10</sub>**  
**EN AIRE AMBIENTE USANDO CONTROLADOR DE FLUJO VOLUMETRICO**

**Lugar y fecha del muestreo:** Cimav, del 25 de Julio al 9 de agosto 2011  
**Tipo de monitoreo:**  PM<sub>10</sub>  PST **Otro:** IMPACTOR CASCADA TEFLON  
**Punto de prueba:**  **Equipo y motor:** HV 3

CALIBRACION							
<b>Pa:</b> 640 mmHg	<b>Ta:</b> 28 °C	Ta(°C) +273.15= 301.15 °K		<b>m=</b> 1.27	<b>b=</b> -0.01925		
	Formula	Plato 18	Plato 13	Plato 10	Plato 7	Plato 5	Σ
<b>ΔH</b> ("H <sub>2</sub> O)		4.16	3.93	3.49	2.75	1.85	
<b>P<sub>stg</sub></b> ("H <sub>2</sub> O)		8.39	12.18	17.39	18.56	33.9	
<b>P<sub>stg</sub></b> (mmHg)	P <sub>stg</sub> ("H <sub>2</sub> O) X 1.8669	15.66	22.74	32.47	34.65	63.29	
<b>Qa<sub>orificio</sub></b> (m <sup>3</sup> /min)	{(ΔH(Ta(°K)/Pa)) <sup>0.5</sup> -b} {1/m}	1.12	1.09	1.02	0.91	0.75	4.8876
<b>Criterio de aceptación para Qa<sub>orificio</sub>:</b> Al menos tres puntos deben estar en el rango de 1.1 a 1.7 para PST y entre 1.2 y 1.24 para PM <sub>10</sub>							<b>Aceptado</b>
<b>P1</b> (mmHg)	Pa (mmHg) -P <sub>stg</sub> (mmHg)	624.34	617.26	607.53	605.35	576.71	
<b>P1/Pa</b>		0.976	0.964	0.949	0.946	0.901	
<b>[(P1/Pa)*Ta]<sup>0.5</sup></b>		17.1400	17.0426	16.9078	16.8774	16.4733	84.4411
<b>Qa*[(P1/Pa)*Ta]<sup>0.5</sup></b>		19.1421	18.5069	17.3170	15.3729	12.3519	82.6909
<b>(Qa)<sup>2</sup></b>		1.2473	1.1792	1.0490	0.8297	0.5622	4.8674

AJUSTE POR MINIMOS CUADRADOS	
El modelo de regresión esta dado por:	
$y = mx + b = [(P1/Pa)/Ta]^{0.5} = m[Qa_{orificio}] + b$	
$m = \frac{(4.8876)(#####) - (5)(82.6909)}{(4.8876)^2 - (5)(4.8674)} = 1.6504$	
$b = \frac{(84.4411) - (1.6504)(4.8876)}{(5)} = 15.2749$	
$r = 0.9692$	

MUESTREO								
	Formula	Inicial	Intermedias				Final	Promedio
<b>Pa<sub>(prom)</sub></b> (mmHg)		640	640	640	640	640	640	
<b>Ta<sub>(prom)</sub></b> (°C)		25.86667	25.86667	25.86667	25.86667	25.86667	25.8666667	
<b>P<sub>stg</sub></b> ("H <sub>2</sub> O)		25.78	26.5	27.23	28.5	29.45	27.49	
<b>Ta<sub>(prom)</sub></b> (°K)	Ta(°C) +273.15	299.0167	299.0167	299.0167	299.0167	299.0167	299.0166667	
<b>P<sub>stg</sub></b> (mmHg)	Pf (inH <sub>2</sub> O) X 1.8669	48.13	49.47	50.84	53.21	54.98	51.32	
<b>P1</b> (mmHg)	Pa (mmHg) - P <sub>stg</sub> (mmHg)	591.87	590.53	589.16	586.79	585.02	588.68	
<b>Qa<sub>muestreo</sub></b> (m <sup>3</sup> /min)	{[(P1 <sub>prom</sub> /Pa <sub>prom</sub> )*Ta <sub>prom</sub> ] <sup>0.5</sup> -b} {1/m}	0.82	0.81	0.80	0.78	0.76	0.79	

CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PARTICULAS						
<b>T<sub>std</sub></b> = 298.15 °K	<b>P<sub>std</sub></b> = 760 mmHg	Tiempo de muestreo (t) = 8685 minutos				
<b>Qa<sub>std</sub></b> = 0.67 m <sup>3</sup> /min	<b>V<sub>muest</sub></b> = Qa <sub>muestreo</sub> X t = 6889.96 m <sup>3</sup>	<b>V<sub>std</sub></b> = Qa <sub>(std)</sub> X t = 5785.25 m <sup>3</sup>				
Etapa	Identificación	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Δm (g)	Conc. (μg/m <sup>3</sup> )	Conc. std (μg/m <sup>3</sup> )
1	Teflón 1	14.24400	14.27963	0.03563	5.17	6.16
2	Teflón 2	13.88970	13.96225	0.07255	10.53	12.54
3	Teflón 3	14.45440	14.47963	0.02523	3.66	4.36
4	Teflón 4	14.41000	14.42270	0.01270	1.84	2.20
5	Teflón 5	14.10630	14.12131	0.01501	2.18	2.59
F	181	4.50227	4.61993	0.11766	17.08	20.34
<b>PM10</b>				0.27878	40.46	48.19
<b>PM2.5</b>				0.17060	24.76	29.49

Figura 10.1.6a: Calculo de la concentración de PST y PM<sub>10</sub> 3er muestreo Filtro de Teflón

CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PST Y PM <sub>10</sub>							
EN AIRE AMBIENTE USANDO CONTROLADOR DE FLUJO VOLUMETRICO							
Lugar y fecha del muestreo: Cimav, del 25 de Julio al 9 de agosto 2011							
Tipo de monitoreo:		X	PM <sub>10</sub>		PST	Otro:	IMPACTOR CASCADA FILTROS
Punto de prueba:				Equipo y motor: HV 4			
CALIBRACION							
Pa:	640	mmHg	Ta:	28	°C	Ta(°C) +273.15=	301.15 °K
						m=	1.27
						b=	-0.01925
	Formula	Plato 18	Plato 13	Plato 10	Plato 7	Plato 5	Σ
ΔH ("H <sub>2</sub> O)		3.21	2.98	2.75	2.22	1.61	
P <sub>stg</sub> ("H <sub>2</sub> O)		6.04	8.95	12.58	19.81	27.54	
P <sub>stg</sub> (mmHg)	P <sub>stg</sub> ("H <sub>2</sub> O) X 1.8669	11.28	16.71	23.49	36.98	51.41	
Qa <sub>orificio</sub> (m <sup>3</sup> /min)	{(ΔH(Ta(°K)/Pa)) <sup>0.5</sup> -b} {1/m}	0.98	0.95	0.91	0.82	0.70	4.3617
Criterio de aceptación para Qa <sub>orificio</sub> : Al menos tres puntos deben estar en el rango de 1.1 a 1.7 para PST y entre 1.2 y 1.24 para PM <sub>10</sub>							Aceptado
P1 (mmHg)	Pa (mmHg) -P <sub>stg</sub> (mmHg)	628.72	623.29	616.51	603.02	588.59	
P1/Pa		0.982	0.974	0.963	0.942	0.920	
[(P1/Pa)*Ta] <sup>0.5</sup>		17.2001	17.1256	17.0323	16.8448	16.6420	84.8449
Qa*[(P1/Pa)*Ta] <sup>0.5</sup>		16.9056	16.2277	15.5140	13.8116	11.6578	74.1168
(Qa) <sup>2</sup>		0.9661	0.8979	0.8297	0.6723	0.4907	3.8566
AJUSTE POR MINIMOS CUADRADOS							
El modelo de regresión esta dado por:							
$y = mx + b = [(P1/Pa)/Ta]^{0.5} = m[Qa_{orificio}] + b$							
$m = \frac{(4.3617)(84.8449) - (5)(74.1168)}{(4.3617)^2 - (5)(3.8566)} = 1.9844$							
$b = \frac{(84.8449) - (1.9844)(4.3617)}{(5)} = 15.2379$							
$r = 0.9976$							
MUESTREO							
	Formula	Inicial	Intermedias			Final	Promedio
Pa <sub>(prom)</sub> (mmHg)		640	640	640	640	640	640
Ta <sub>(prom)</sub> (°C)		25.86667	25.86667	25.86667	25.86667	25.86667	25.8666667
P <sub>stg</sub> ("H <sub>2</sub> O)		24.78	25.3	25.93	26.5	27.77	26.06
Ta <sub>(prom)</sub> (°K)	Ta(°C) +273.15	299.0167	299.0167	299.0167	299.0167	299.0167	299.0166667
P <sub>stg</sub> (mmHg)	Pf (inH <sub>2</sub> O) X 1.8669	46.26	47.23	48.41	49.47	51.84	48.64
P1 (mmHg)	Pa (mmHg) - P <sub>stg</sub> (mmHg)	593.74	592.77	591.59	590.53	588.16	591.36
Qa <sub>muestreo</sub> (m <sup>3</sup> /min)	{[(P1 <sub>prom</sub> /Pa <sub>prom</sub> )*Ta <sub>prom</sub> ] <sup>0.5</sup> -b} {1/m}	0.71	0.71	0.70	0.69	0.67	0.70
CALCULO DE LA CONCENTRACION DE PARTICULAS							
T <sub>std</sub> = 298.15 °K	P <sub>std</sub> = 760 mmHg	Tiempo de muestreo (t) :		8685	minutos		
Qa <sub>std</sub> = 0.59	m <sup>3</sup> /min	V <sub>muest</sub> = Qa <sub>muestreo</sub> X t =	6057.44	m <sup>3</sup>	V <sub>std</sub> = Qa <sub>(std)</sub> X t =	5086.22	m <sup>3</sup>
Etapa	Identificacion	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Δm (g)	Conc. (μg/m <sup>3</sup> )	Conc. std (μg/m <sup>3</sup> )	
1	178	1.57309	1.63610	0.06301	10.40	12.39	
2	179	1.59133	1.67595	0.08462	13.97	16.64	
3	186	1.60760	1.63728	0.02968	4.90	5.84	
4	187	1.60251	1.62085	0.01834	3.03	3.61	
5	188	1.60174	1.61555	0.01381	2.28	2.72	
F	177	4.47439	4.53280	0.05841	9.64	11.48	
PM10				0.26787	44.22	52.67	
PM2.5				0.12024	19.85	23.64	

Figura 10.1.6b: Calculo de la concentración de PST y PM<sub>10</sub> 3er muestreo Filtro de Fibra

## 10.2 Anexo 2

### Resultados determinación tamaño de Partícula

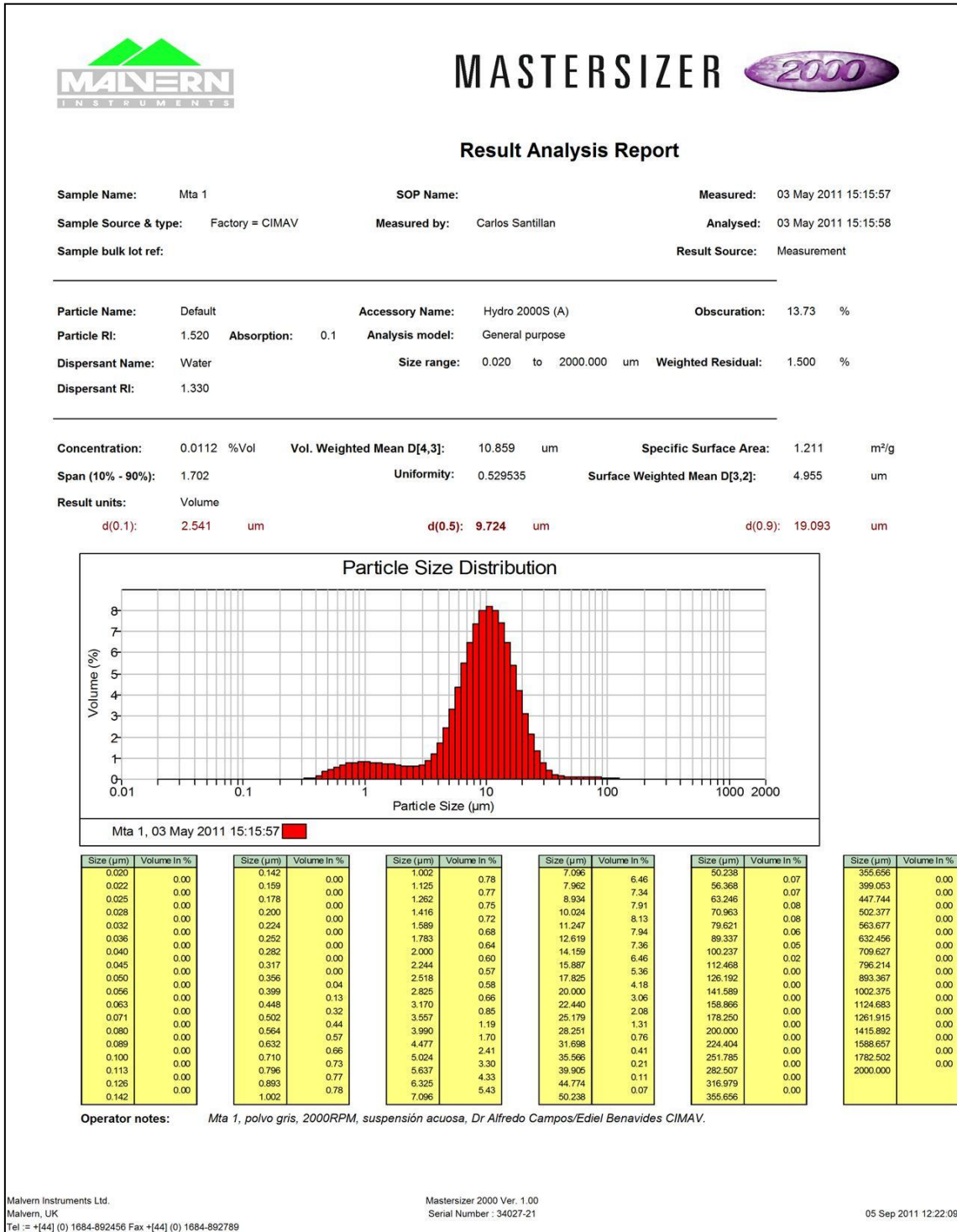


Figura 10.2a: Análisis de tamaño de partícula Etapa 1 Primer Análisis







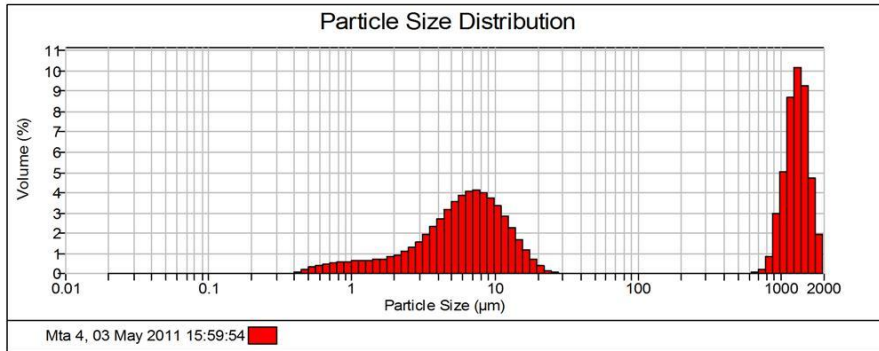
# MASTERSIZER 2000

## Result Analysis Report

**Sample Name:** Mta 4      **SOP Name:**      **Measured:** 03 May 2011 15:59:54  
**Sample Source & type:** Factory = CIMAV      **Measured by:** Carlos Santillan      **Analysed:** 03 May 2011 15:59:55  
**Sample bulk lot ref:**      **Result Source:** Measurement

**Particle Name:** Default      **Accessory Name:** Hydro 2000S (A)      **Obscuration:** 15.06 %  
**Particle RI:** 1.520      **Absorption:** 0.1      **Analysis model:** General purpose  
**Dispersant Name:** Water      **Size range:** 0.020 to 2000.000 um      **Weighted Residual:** 3.166 %  
**Dispersant RI:** 1.330

**Concentration:** 0.0154 %Vol      **Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 581.999 um      **Specific Surface Area:** 0.923938 m<sup>2</sup>/g  
**Span (10% - 90%):** 122.840      **Uniformity:** 46.7781      **Surface Weighted Mean D[3,2]:** 6.494 um  
**Result units:** Volume  
**d(0.1):** 2.839 um      **d(0.5):** 12.318 um      **d(0.9):** 1515.960 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.58	7.096	4.07	50.238	0.00	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.60	7.962	3.96	56.368	0.00	399.053	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.62	8.934	3.69	63.246	0.00	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.65	10.024	3.28	70.963	0.00	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.70	11.247	2.77	79.621	0.00	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.78	12.619	2.20	89.337	0.00	632.456	0.01
0.040	0.00	0.282	0.00	2.000	0.89	14.159	1.64	100.237	0.00	709.627	0.17
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.04	15.887	1.12	112.468	0.00	796.214	0.77
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	1.25	17.825	0.68	126.192	0.00	893.367	2.93
0.056	0.00	0.399	0.06	2.825	1.53	20.000	0.36	141.589	0.00	1002.375	5.00
0.063	0.00	0.448	0.15	3.170	1.87	22.440	0.12	158.866	0.00	1124.683	8.61
0.071	0.00	0.502	0.27	3.557	2.26	25.179	0.00	178.250	0.00	1261.915	10.09
0.080	0.00	0.564	0.35	3.990	2.69	28.251	0.00	200.000	0.00	1415.892	9.22
0.089	0.00	0.632	0.42	4.477	3.12	31.698	0.00	224.404	0.00	1588.657	4.67
0.100	0.00	0.710	0.48	5.024	3.51	35.966	0.00	251.785	0.00	1782.502	1.87
0.113	0.00	0.796	0.53	5.637	3.83	39.905	0.00	282.507	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.56	6.325	4.02	44.774	0.00	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.56	7.096	4.02	50.238	0.00	355.656	0.00		

**Operator notes:** Mta 4, polvo gris, 2000RPM, suspensión acuosa, Dr Alfredo Campos/Ediel Benavides CIMAV.

Figura 10.2d: Análisis de tamaño de partícula Etapa 4 Primer Análisis









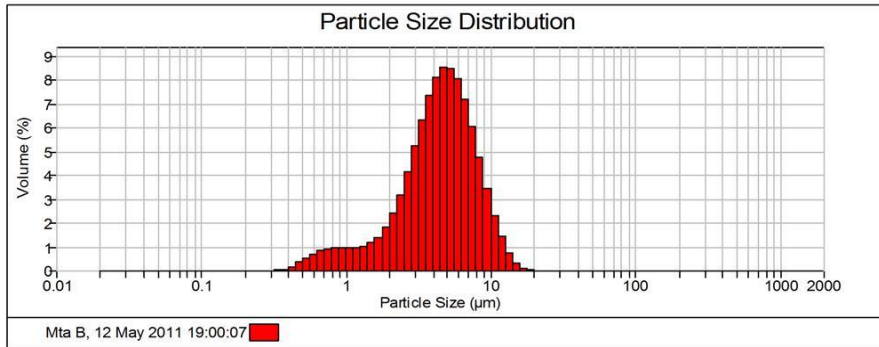
# MASTERSIZER 2000

## Result Analysis Report

**Sample Name:** Mta B      **SOP Name:**      **Measured:** 12 May 2011 19:00:07  
**Sample Source & type:** Factory = CIMAV      **Measured by:** Carlos Santillan      **Analysed:** 12 May 2011 19:00:08  
**Sample bulk lot ref:**      **Result Source:** Measurement

**Particle Name:** Default      **Accessory Name:** Hydro 2000S (A)      **Obscuration:** 16.08 %  
**Particle RI:** 1.520      **Absorption:** 0.1      **Analysis model:** General purpose  
**Dispersant Name:** Water      **Size range:** 0.020 to 2000.000 um      **Weighted Residual:** 2.279 %  
**Dispersant RI:** 1.330

**Concentration:** 0.0078 %Vol      **Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 4.916 um      **Specific Surface Area:** 1.92462 m<sup>2</sup>/g  
**Span (10% - 90%):** 1.508      **Uniformity:** 0.461595      **Surface Weighted Mean D[3,2]:** 3.118 um  
**Result units:** Volume  
**d(0.1):** 1.690 um      **d(0.5):** 4.541 um      **d(0.9):** 8.536 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.93	7.096	5.99	50.238	0.00	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.94	7.962	4.70	56.368	0.00	399.053	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	1.00	8.934	3.45	63.246	0.00	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	1.13	10.024	2.31	70.963	0.00	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	1.39	11.247	1.40	79.621	0.00	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	1.79	12.619	0.75	89.337	0.00	632.456	0.00
0.040	0.00	0.282	0.00	2.000	2.37	14.159	0.30	100.237	0.00	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	3.15	15.887	0.07	112.468	0.00	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.03	2.518	4.11	17.825	0.01	126.192	0.00	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.13	2.825	5.20	20.000	0.00	141.589	0.00	1002.375	0.00
0.063	0.00	0.448	0.36	3.170	6.29	22.440	0.00	158.866	0.00	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.62	3.557	7.31	25.179	0.00	178.250	0.00	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.69	3.990	8.07	28.251	0.00	200.000	0.00	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.82	4.477	8.48	31.698	0.00	224.404	0.00	1588.657	0.00
0.100	0.00	0.710	0.89	5.024	8.45	35.566	0.00	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.113	0.00	0.796	0.93	5.637	7.99	39.905	0.00	282.507	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.93	6.325	7.12	44.774	0.00	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.93	7.096	7.12	50.238	0.00	355.656	0.00		

**Operator notes:** Mta B, polvo gris, 2000RPM, suspensión acuosa, Dr Alfredo Campos/Ediel Benavides CIMAV.

Figura 10.2.2: Análisis de tamaño de partícula Etapa 2 Segundo Análisis





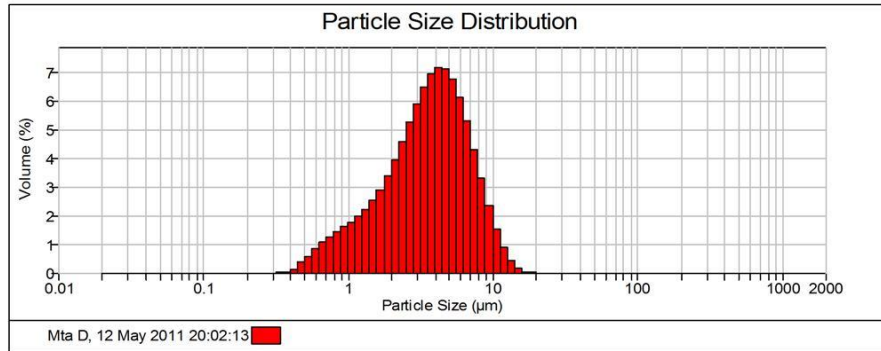
# MASTERSIZER 2000

## Result Analysis Report

**Sample Name:** Mta D      **SOP Name:**      **Measured:** 12 May 2011 20:02:13  
**Sample Source & type:** Factory = CIMAV      **Measured by:** Carlos Santillan      **Analysed:** 12 May 2011 20:02:14  
**Sample bulk lot ref:**      **Result Source:** Measurement

**Particle Name:** Default      **Accessory Name:** Hydro 2000S (A)      **Obscuration:** 13.61 %  
**Particle RI:** 1.520      **Absorption:** 0.1      **Analysis model:** General purpose  
**Dispersant Name:** Water      **Size range:** 0.020 to 2000.000 um      **Weighted Residual:** 2.228 %  
**Dispersant RI:** 1.330

**Concentration:** 0.0053 %Vol      **Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 4.143 um      **Specific Surface Area:** 2.36679 m<sup>2</sup>/g  
**Span (10% - 90%):** 1.751      **Uniformity:** 0.539556      **Surface Weighted Mean D[3,2]:** 2.535 um  
**Result units:** Volume  
**d(0.1):** 1.195 um      **d(0.5):** 3.687 um      **d(0.9):** 7.652 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	1.76	7.096	4.29	50.238	0.00	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	1.95	7.962	3.27	56.368	0.00	399.053	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	2.19	8.934	2.33	63.246	0.00	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	2.49	10.024	1.52	70.963	0.00	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	2.88	11.247	0.89	79.621	0.00	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	3.35	12.619	0.45	89.337	0.00	632.456	0.00
0.040	0.00	0.282	0.00	2.000	3.91	14.159	0.15	100.237	0.00	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	4.54	15.887	0.02	112.468	0.00	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.02	2.518	5.21	17.825	0.00	126.192	0.00	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.12	2.825	5.88	20.000	0.00	141.589	0.00	1002.375	0.00
0.063	0.00	0.448	0.37	3.170	6.46	22.440	0.00	158.866	0.00	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.59	3.557	6.90	25.179	0.00	178.250	0.00	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.83	3.990	7.12	28.251	0.00	200.000	0.00	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	1.05	4.477	7.07	31.698	0.00	224.404	0.00	1588.657	0.00
0.100	0.00	0.710	1.25	5.024	6.73	35.966	0.00	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.113	0.00	0.796	1.43	5.637	6.11	39.905	0.00	282.507	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	1.43	6.325	5.26	44.774	0.00	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	1.60	7.096	5.26	50.238	0.00	355.656	0.00		

**Operator notes:** Mta D, polvo gris, 2000RPM, suspensión acuosa, Dr Alfredo Campos/Ediel Benavides CIMAV.

Figura 10.2.4: Análisis de tamaño de partícula Etapa 4 Segundo Análisis



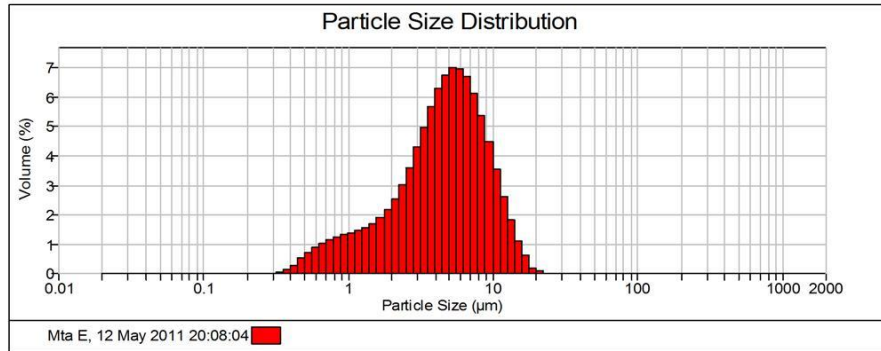
# MASTERSIZER 2000

## Result Analysis Report

Sample Name: Mta E      SOP Name:      Measured: 12 May 2011 20:08:04  
 Sample Source & type: Factory = CIMAV      Measured by: Carlos Santillan      Analysed: 12 May 2011 20:08:05  
 Sample bulk lot ref:      Result Source: Measurement

Particle Name: Default      Accessory Name: Hydro 2000S (A)      Obscuration: 14.53 %  
 Particle RI: 1.520      Absorption: 0.1      Analysis model: General purpose  
 Dispersant Name: Water      Size range: 0.020 to 2000.000 um      Weighted Residual: 3.500 %  
 Dispersant RI: 1.330

Concentration: 0.0067 %Vol      Vol. Weighted Mean D[4,3]: 5.288 um      Specific Surface Area: 2.07938 m<sup>2</sup>/g  
 Span (10% - 90%): 1.845      Uniformity: 0.564058      Surface Weighted Mean D[3,2]: 2.885 um  
 Result units: Volume  
 d(0.1): 1.277 um      d(0.5): 4.707 um      d(0.9): 9.963 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	1.36	7.096	6.09	50.238	0.00	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	1.43	7.962	5.33	56.368	0.00	399.053	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	1.52	8.934	4.45	63.246	0.00	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	1.66	10.024	3.50	70.963	0.00	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	1.86	11.247	2.60	79.621	0.00	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	2.13	12.619	1.77	89.337	0.00	632.456	0.00
0.040	0.00	0.282	0.00	2.000	2.51	14.159	1.10	100.237	0.00	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	2.99	15.887	0.59	112.468	0.00	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.11	2.518	3.57	17.825	0.18	126.192	0.00	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.24	2.825	4.24	20.000	0.05	141.589	0.00	1002.375	0.00
0.063	0.00	0.448	0.50	3.170	4.94	22.440	0.00	158.866	0.00	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.68	3.557	5.64	25.179	0.00	178.250	0.00	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.86	3.990	6.24	28.251	0.00	200.000	0.00	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	1.01	4.477	6.70	31.698	0.00	224.404	0.00	1588.657	0.00
0.100	0.00	0.710	1.13	5.024	6.94	35.966	0.00	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.113	0.00	0.796	1.23	5.637	6.93	39.905	0.00	282.507	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	1.30	6.325	6.63	44.774	0.00	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	1.30	7.096	6.63	50.238	0.00	355.656	0.00		

Operator notes: Mta E, polvo gris, 2000RPM, suspensión acuosa, Dr Alfredo Campos/Ediel Benavides CIMAV.

Figura 10.2.5: Análisis de tamaño de partícula Etapa 5 Segundo análisis

### 10.3 Anexo 3



Figura 10.3.1: Mastersizer 2000 (Mastersizer, 2011)

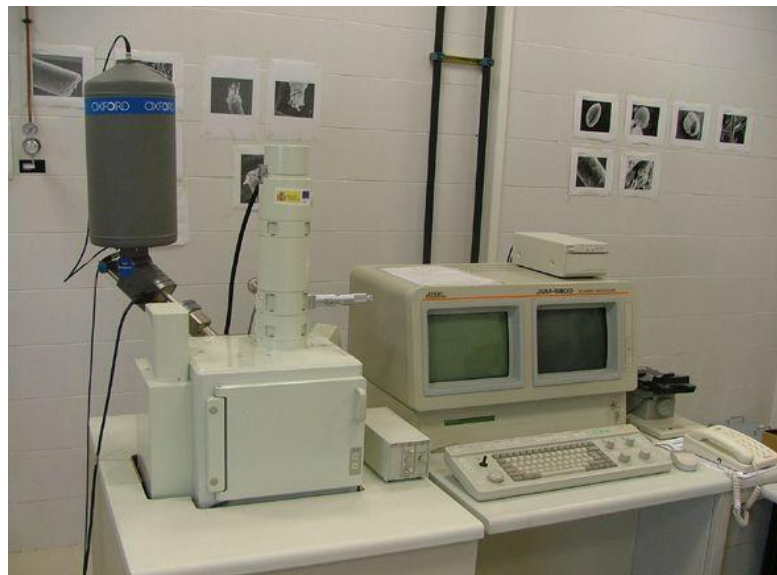


Figura 10.3.2a: Imagen del Microscopio Electrónico de Barrido JEOL JSM5800LV

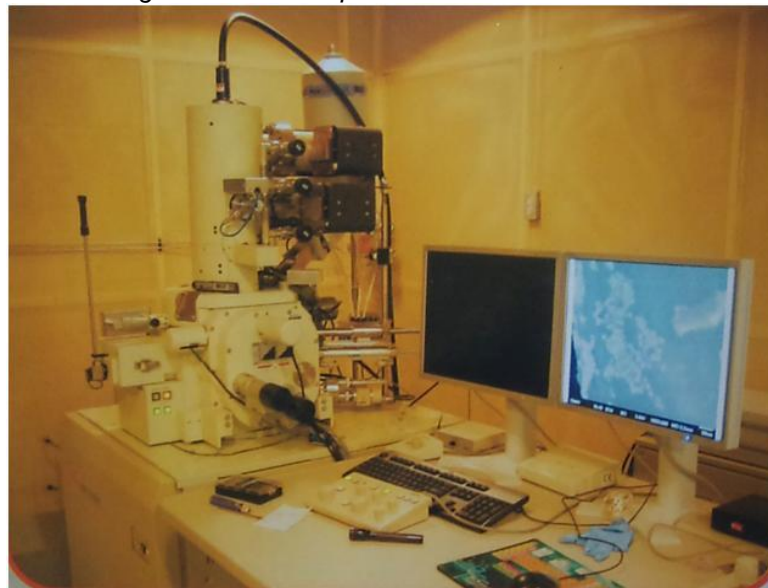


Figura 10.3.2b: Imagen del Microscopio Electrónico de Barrido JEOL JSM-741F