

**MEDICIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN LA
SEDE PRINCIPAL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER Y
DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS Y NEGRO DE
HUMO**

JASMIN VELANDIA FRACICA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

ESCUELA DE QUÍMICA

BUCARAMANGA

2013

**MEDICIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN LA
SEDE PRINCIPAL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER Y
DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS Y NEGRO DE
HUMO**

JASMIN VELANDIA FRACICA

Trabajo de Grado para optar al título de Química

DIRECTORA

Química PhD. MARIANNY YAJAIRA COMBARIZA

CODIRECTORA

Ing. Química M.Sc LIGIA PATRICIA ARENAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

ESCUELA DE QUÍMICA

BUCARAMANGA

2013

A mi papa que siempre creyó en mí y me apoyo incondicionalmente, a mi madre y hermanos que estuvieron hay cuando los necesite, a mi esposo por su apoyo y gran ayuda y a mi precioso hijo que fue el impulso para culminar este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios primeramente por que sin el nada de esto hubiese sido posible, la gloria y honra sean a Él. A mi familia por su comprensión y apoyo en todos estos años de estudio.

Al Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales CEIAM, y al SGA por permitirme hacer parte de él y por todo lo aprendido.

A la profesora Marianny Yajaira Combariza, por darme la posibilidad de trabajar con ella en algo tan interesante e innovador.

A la Msc. Ligia Patricia Arenas, por el apoyo, y la asesoría en cada parte de este proyecto.

Y a todas las personas que estuvieron a mí alrededor, apoyándome, dándome ánimos para culminar con mis estudios.

CONTENIDO

	pág
INTRODUCCION.....	15
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2 JUSTIFICACIÓN	18
3 OBJETIVOS.....	19
3.1 Objetivo General.....	19
3.2 Objetivos Específicos	19
4 MARCO TEÓRICO.....	20
4.1 Antecedentes.....	20
4.2 Marco Teórico Conceptual.....	22
4.2.1 Marco Legal Para Calidad de Aire.....	22
4.2.2 Material particulado	24
4.2.3 Espectroscopia de Absorción Atómica (AAS).....	29
4.2.4 Espectroscopia UV-Vis de reflectancia difusa	30
4.2.5 Microscopía de barrido de electrones (SEM).....	30
5 METODOLOGIA	32

5.1	Selección de los puntos de monitoreo	33
5.2	Protocolos.....	34
5.3	Calibración.....	34
5.4	Monitoreo.....	35
5.5	Extracción en caliente de las muestras seleccionadas	35
5.6	Caracterización por AAS para determinar metales pesados	35
5.7	Caracterización por Espectroscopia UV-Vis con Reflectancia Difusa para determinar Negro de Humo (BC)	35
5.8	Caracterización del MP por SEM	36
5.9	Comparación de resultados con reportes de literatura.....	36
5.10	Análisis de resultados.....	36
6	ANALISIS DE RESULTADOS	37
6.1	Análisis gravimétrico del material particulado	37
6.2	Análisis por Espectroscopia de Absorción Atómica de llama	41
6.3	Análisis Elemental y Morfológico por SEM-EDS	47
6.3.1	Filtro 4 del A.B.P	48
6.3.2	Filtro 2 del J.B.V.....	50
6.3.3	Filtro 3 del B.U	53
6.3.4	Filtro 1 del L.L	54
6.3.5	Filtro 1 Entrada Car 27	56
6.4	Análisis por Espectroscopia de Reflectancia Difusa UV-Visible	58
7	CONCLUSIONES	62

8	RECOMENDACIONES	63
	BIBLIOGRAFIA.....	64
	ANEXOS.....	66

Lista de Tablas

pág

Tabla 1 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio	24
Tabla 2 Toxicidad	26
Tabla 3 Datos Precipitaciones CDMB Norte	37
Tabla 4 Concentración Material Particulado TSP.....	38
Tabla 5 Concentración Material Particulado PM ₁₀	39
Tabla 6 Filtros para AAF	41
Tabla 7 Curva de Calibración del Cu 1	42
Tabla 8 Curva de Calibración del Cu 2	42
Tabla 9 Muestras Problemas	44
Tabla 10 Concentración del Cu en el filtro	44
Tabla 11 Curva de Calibración del Fe 1.....	45
Tabla 12 Curva de Calibración del Fe 2.....	45
Tabla 13 Muestras Problemas para el Hierro.....	46
Tabla 14 Concentración del Metal en el Filtro	47
Tabla 15 Filtros para SEM EDS	48
Tabla 16 Datos EDS Edificio ABP.....	48
Tabla 17 Datos EDS Edificio JBV	51
Tabla 18 Datos EDS Edificio BU.....	53
Tabla 19 Datos EDS Edificio LL.....	55
Tabla 20 Datos EDS Entrada Cra 27	57
Tabla 21 Filtros Para Reflectancia Difusa	59

Lista de Figuras

	pág
Figura 1 Equipo de Muestreo	29
Figura 2 Edificio Álvaro Beltrán).....	33
Figura 3 Edificio Bienestar Universitario	33
Figura 4 Edificio Facultad de ciencias.....	33
Figura 5 Edificio Jorge Bautista Vesga	33
Figura 6 Entrada car 27	34
Figura 7 Concentración TSP.....	40
Figura 8 Concentración PM ₁₀	40
Figura 9 Curva de Calibración Cu 1	43
Figura 10 Curva de Calibración Cu 2.....	43
Figura 11 Curva de Calibración de Fe 1	45
Figura 12 Curva de Calibración de Fe 2	46
Figura 13 Espectro SEM EDS Edificio ABP	49
Figura 14 Imagen por SEM Edificio ABP	50
Figura 15 Espectro SEM EDS Edificio JBV.....	51
Figura 16 Imagen por SEM Edificio JBV	52
Figura 17 Espectro SEM EDS Edificio BU	53
Figura 18 Imagen por SEM Edificio BU.....	54
Figura 19 Espectro SEM EDS Edificio LL	55
Figura 20 Imagen por SEM Edificio LL.....	56
Figura 21 Espectro SEM EDS Entrada Car 27	57
Figura 22 Imagen por SEM Entrada Car 27	58
Figura 23 Reflectancia Difusa Para Filtros TSP	59
Figura 24 Reflectancia Difusa Para Filtros PM ₁₀	60

Lista de Anexos

	Pág
Anexo A Protocolos de monitoreo	66
Anexo B Calibración para cada punto de monitoreo	104

RESUMEN

TITULO: MEDICIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN LA SEDE PRINCIPAL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER Y DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS Y NEGRO DE HUMO*

AUTOR: JASMIN VELANDIA FRACICA**

PALABRAS CLAVE: PM₁₀, TSP, CALIDAD DE AIRE, METALES, SEM-EDS

En este trabajo se realizó la medición de dos (2) de sus fracciones TSP y PM₁₀ de Material Particulado en 5 puntos estratégicos de la Universidad Industrial de Santander, estas bajo los parámetros de la norma EPA para calidad de aire y aprobada por el IDEAM; los resultados gravimétricos iniciales mostraron que dentro del campus central de la UIS la concentración de Material Particulado indica una buena calidad de aire en términos de este contaminante.

Adicionalmente se realizó la caracterización del material depositado en los filtros de muestreo de Material Particulado, siguiendo los procedimientos del método EPA aprobados por el IDEAM para este tipo de análisis y mediante las técnicas instrumentales de Absorción atómica (AAS), Reflectancia difusa por UV- VIS y la microscopia de barrido electrónico (SEM-EDS); Los análisis instrumentales permitieron determinar la presencia de metales de transición como Fe y Cu y de otros elementos como el Mg, Al, Si, S, C, O, K, Ca y Na, en las muestras de Material Particulado lo que indica la variedad de componentes químicos del Material y su peligrosidad a la salud humana que se puede ver reflejado en afecciones respiratorias y cardiovasculares.

Para finalizar se comparó la concentración del Material particulado hallado en el campus central con la norma nacional vigente, y no se aproxima al límite permisible; también se comparó con la red de calidad de aire del municipio, dando contraria pues esta presenta calidad de aire regular con tendencia a malo.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ciencias Básicas. Escuela de Química. Director PhD. MARIANNY YAJAIRA COMBARIZA Codirector M.Sc LIGIA PATRICIA ARENAS

ABSTRACT

TITTLE: PARTICULATE MATERIAL CONCENTRATION ACOUNT AT MAINLY PLACE OF UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER AND DETERMINATION OF HEAVY METALS PRESENCE AND SMOKE*

AUTHOR: JASMIN VELANDIA **

KEYS WORDS: PM₁₀, TSP, QUALITY AIR, METALS, SEM-EDS

This study was carried out measure of particulate matter of two of it fractions TSP and PM₁₀ in five strategic points at Universidad industrial de Santander, under EPA standards for air quality and approved by IDEAM, initial gravimetric results showed that inside UIS mainly campus, Particulate Matter concentration indicates a good air quality in terms of this pollutant.

Besides was done a environmental filters characterization by very reliable and accurate techniques, following procedures of EPA approved by IDEAM for this type of analysis, such as atomic absorption (AA), the diffuse reflectance UV-VIS and scanning electron microscopy (SEM-EDS), instrumental analyzes allowed to determine the presence of transition metals such as Fe, Cu and other elements such as Mg, Al, Si, S, C, O, K and Na, which show the variety of chemical components from this material and confirms the danger of this for human health that are reflected in respiratory and cardiovascular diseases.

Finally we compare the concentration of particulate matter found in the central campus with the current national standard, and does not approach to permissible limit; also compared with the air quality network of the municipality, giving contrary since this presents regular air quality prone to bad

*Degree Project

** Faculty de Sience Basics. Chemistry School. Director PhD. Marianny Yajaira Combariza
Codirector M.sc Ligia Patricia Arenas

INTRODUCCION

El Material particulado (MP) se define como todo el material sólido o líquido que se encuentre suspendido en la atmosfera con un diámetro aerodinámico no superior a 100 μ m. El MP es un contaminante atmosférico altamente perjudicial para la salud humana debido a su compleja composición química y a su tamaño microscópico.

La Universidad Industrial de Santander tiene diversas fuentes de emisión, de MP entre las que se destacan: adecuaciones y construcciones físicas, equipos con generación de gases, manejo de minerales en los laboratorios, fuentes móviles (vehículos) y cercanía con la zona industrial del norte de la ciudad entre otros.

Debido a la gran cantidad de fuentes que pueden contribuir a la presencia de MP dentro y alrededor del campus y teniendo en cuenta que en la sede central la comunidad universitaria es de aproximadamente veinte mil personas, el Sistema de Gestión Ambiental de la Universidad incluye dentro de sus programas ambientales actividades de monitoreo como la medición de la concentración y caracterización de MP dentro del Campus principal de la Universidad. Adicionalmente, y debido a las actividades dentro y fuera del Campus, se estimó conveniente determinar la presencia de metales pesados como el Cu, Fe y el negro de humo en el material recolectado, Estos elementos y sustancias químicas son peligrosos para la salud humana y pueden afectar el cerebro, riñones, huesos, pulmones y producir trastornos del sistema nervioso central[1].

En este proyecto se determinó la concentración de MP, en término de sus fracciones TSP y PM₁₀, en cinco sitios de monitoreo del campus central de la UIS. Adicionalmente las muestras se analizaron por diferentes técnicas instrumentales (Absorción Atómica (AA), Reflectancia Difusa (RD) y Scanning Electron

Microscopy (SEM) para caracterizar el MP de acuerdo con su concentración de metales pesados (Cu y Fe) y negro de humo, debido a la relación de estos contaminantes con enfermedades respiratorias.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación atmosférica por MP es una de las causas de enfermedades respiratorias y cardíacas en seres humanos [1]. En Bucaramanga el asma es la tercera causa de atención en consulta externa y la primera en urgencias entre la población pediátrica [2]. Desde el 2008 los niveles de contaminación atmosférica en la ciudad han llegado a los límites permisibles establecidos en la legislación nacional (Resolución 610 de 2010) y en algunas oportunidades fueron superiores a los que se registran en ciudades como Los Ángeles, Sao Paulo o Tokio. En la capital santandereana los 153.206 taxis legales, buses de servicio público, vehículos particulares y motocicletas que ruedan por la ciudad son responsables del 86% de la contaminación por emisión de monóxido de carbono, material particulado (smog fotoquímico) y formación de ozono troposférico principalmente. [3]

La Universidad Industrial de Santander en el desarrollo de sus actividades de docencia, investigación, administración y extensión, genera emisiones de gases por fuentes fijas (equipos, calderas, planta de energía eléctrica, hornos) y fuentes vehiculares. El MP es uno de los principales contaminantes generados por las fuentes mencionadas y si se tiene en cuenta su relación con la incidencia en las enfermedades del sistema respiratorio, resulta entonces importante para la comunidad universitaria su medición y caracterización. De acuerdo con lo anterior, en este proyecto se evaluará la calidad de aire en términos de MP para los metales pesados Fe y Cu y para el negro de humo, en cinco puntos estratégicos de la Universidad.

2 JUSTIFICACIÓN

Existen cuatro buenas razones por las que este proyecto de investigación se debe llevar a cabo:

En primer lugar este estudio permitirá conocer y evaluar en qué estado se encuentra la calidad de aire en la Universidad Industrial de Santander en términos de contaminantes atmosféricos tan variados como el MP en sus diferentes composiciones y tamaños. También este monitoreo atmosférico es necesario para cumplir con las normas ambientales vigentes y para buscar posibles soluciones para el control de la emisión de este tipo de contaminantes.

Otro beneficio que se puede obtener de esta investigación, es que se podrá establecer y documentar los protocolos y los procedimientos necesarios para que estas medidas tengan validez a nivel nacional e internacional, es decir, que cumplan con todos los requisitos de la EPA y la legislación nacional. Esto es realmente importante para futuros análisis en esta área de la calidad ambiental, ya que se puede reproducir su monitoreo y realizar comparaciones.

En tercer lugar la UIS cuenta con la instrumentación química necesaria para determinar la composición química del MP. Técnicas confiables y bien establecidas en la UIS, como la absorción atómica (AA), y otras nuevas como la reflectancia difusa (RD) pueden utilizarse para determinar metales pesados y negro de humo presentes en el MP.

Finalmente este trabajo permite la comparación de los resultados obtenidos con los niveles permisibles de estos contaminantes en la ciudad y su posible afectación en la salud humana.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Recolectar material particulado PM_{10} y TSP en la sede principal de la Universidad Industrial de Santander y establecer la presencia de metales pesados (Fe y Cu) y negro de humo.

3.2 Objetivos Específicos

Desarrollar los protocolos de monitoreo y análisis de laboratorio del Material Particulado (PM_{10} y TSP) de acuerdo con las normas establecidas por EPA (IDEAM).

Medir los niveles de contaminación por MP en aire en cinco puntos de la UIS.

Caracterizar el Material Particulado en términos de metales pesados (Fe y Cu), y negro de humo.

Caracterizar el Material particulado en términos microscópicos y mediante SEM.

Comparar los resultados con los límites permisibles por la legislación nacional y con estudios reportados en la literatura.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 Antecedentes

En los últimos años el MP (PM_{10} y TSP) ha sido objeto de numerosa investigación debido a su conexión con las enfermedades del sistema respiratorio humano. En el año 2005 en Oxford (Ohio, EEUU) se hizo una caracterización de la composición química de este contaminante y de cómo las variables meteorológicas afectan su concentración en la atmósfera. Los resultados encontrados fueron los siguientes: un alto número de metales pesados como Cd, Fe, Ni, Zn se encuentran en la fracción de PM_{10} y otros como el Cu, Al, Mn, y K en el TSP. Las concentraciones de MP aumentan proporcionalmente con la temperatura del aire atmosférico y disminuyen conforme aumenta la velocidad del viento.[4]

Otro punto importante en los estudios sobre este contaminante atmosférico son sus fuentes de emisión que pueden ser variadas, y en muchos casos relacionadas directamente con actividades humanas. En la ciudad de Chihuahua México, se realizó un estudio para determinar las fuentes de emisión de PM_{10} y TSP y mediante análisis estadísticos se identificaron cuatro tipos de fuentes: polvo de suelo (relacionado con la presencia de los elementos Fe-Mn-Be-As-U); vehicular (caracterizada por Co-Mo-V-Zr-Sm-Nd); industrial (relacionada con Ti-Mg), y fuente mixta (formada por PM_{10} y Carbón Total). Con estos grupos se explica el porqué de la peligrosidad del PM_{10} y TSP en términos de salud pública [5].

En otro ejemplo en la ciudad de Guiyang, China en julio de 2003, se recogieron muestras de PM_{10} para un posterior análisis mediante un microscopio electrónico de barrido automático con espectrómetro de energía dispersiva (SEM-EDS). Se utilizó análisis de conglomerados jerárquico (HCA) para identificar los diferentes tipos de partículas que se produjeron en el aerosol. El estudio identificó diecisiete tipos de partículas que se describen en orden decreciente de abundancia como:

escoria silico-manganeso, suelo y cenizas volátiles, combustión de carbón, cuarzo, singenita, soporte de S en Hierro, calcio, dolomita, hierro, aleación de esfalerita rica en yeso, sulfato de plomo, partículas ricas en azufre y zinc, y polvo de fabricación de aluminio. La mayoría de las partículas en el rango de tamaño estudiado eran de origen antropogénico, especialmente de la industria metalúrgica. El estudio realizado hace ver la complejidad de la contaminación de partículas en el aire de una ciudad industrial en china y los resultados deben ser útiles para la planificación de medidas de mitigación. [17]

Similarmente, en los años 2005 y 2006 se realizó el estudio de MP en la ciudad de Bogotá específicamente en la localidad de puente Aranda. Esta investigación se llevo a cabo con la referencia de tres puntos de monitoreo alrededor de la localidad y con diferentes condiciones climáticas. Dos de los puntos estaban en la zona industrial y el otro en una zona alejada; además el estudio tuvo en cuenta el paro de transportadores que hubo en la ciudad en el año 2006. Los metales determinados fueron Cadmio, Cobre, Cromo, Plata, Hierro, Plomo, Manganeso, Zinc y Níquel. Las concentraciones diarias de PM_{10} en promedio estuvieron entre 65 y 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, los metales con las menores concentraciones en la atmósfera fueron Cd y Ag. Y a partir del análisis de material particulado y metales pesados se realizó una aproximación al aporte de las fuentes de emisión [6].

En Bucaramanga funciona desde el 2006 un sistema de vigilancia de calidad de aire conformado por cinco estaciones automáticas, tres manuales y cuatro estaciones meteorológicas ubicadas estratégicamente en el área metropolitana. El sistema, operado por la CDMB, tiene como objetivo monitorear en tiempo real cinco contaminantes críticos generados por fuentes contaminantes fijas y móviles, entre los que está el PM_{10} .

Entre Enero y Septiembre del 2012 el sistema reporto una calidad del aire entre “Regular” y “Mala” en la ciudad de Bucaramanga. En los primeros tres (3) meses del año se presentó un comportamiento en ascenso desde el nivel “Regular”

hasta “Malo” incremento que estuvo cercano al nivel “Peligroso” llegando a 98.93 microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), valor obtenido el 3 de marzo de 2012, siendo la norma promedio de 24 horas de 100 microgramos por metro cúbico ($100/\text{m}^3$). Durante los siguientes meses en abril 28 y junio 8 se llegó nuevamente al nivel “Malo”, en el resto de tiempo su nivel fue “Regular”. Todo lo anterior causado por los problemas de movilidad que presenta la ciudad de Bucaramanga, asociado con el exceso de automóviles particulares motocicletas, y a la presencia de buses y camiones muy antiguos en circulación que funcionan con combustible diesel y sin sistemas catalíticos de control de emisiones [7]

4.2 Marco Teórico Conceptual

4.2.1 Marco Legal Para Calidad de Aire

A continuación se mencionaran, las principales normas en cuanto al recuso aire:

- **Decreto 948 de 1995:** “El presente Decreto contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire, de alcance general y aplicable en todo el territorio nacional, mediante el cual se establecen las normas y principios generales para la protección atmosférica, los mecanismos de prevención, control y atención de episodios por contaminación del aire generada por fuentes contaminantes fijas y móviles, las directrices y competencias para la fijación de las normas de calidad del aire o niveles de inmisión, las normas básicas para la fijación de los estándares de emisión y descarga de contaminantes a la atmósfera, las de emisión de ruido y olores ofensivos, se regulan el otorgamiento de permisos de emisión, los instrumentos y medios de control y vigilancia, el régimen de sanciones por la comisión de infracciones y la participación ciudadana en el control de la contaminación atmosférica”.

- **Decreto 1697 de 1997:** “Por medio del cual se modifica parcialmente el decreto 948 de 1995 que contiene el reglamento de protección y control de la calidad del aire”.
- **Resolución 601 del 2006:**“Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia”.
- **Resolución 909 de 2008:** “Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones”.
- **Resolución 910 de 2008:** “Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones”.
- **Resolución 610 del 2010:**“Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006.

Artículo segundo: Modifica el Artículo 4 de la Resolución 601 de 2006, el cual quedará así:

Artículo 4. Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes Criterio. En la Tabla 1 se establecen los niveles máximos permisibles a condiciones de referencia para contaminantes criterio, los cuales se calculan con el promedio geométrico para PST y promedio aritmético para los demás contaminantes.”

Tabla 1 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio

CONTAMINANTE	UNIDAD	NIVEL MÁXIMO PERMISIBLE	TIEMPO DE EXPOSICIÓN
PST	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	Anual
		300	24 horas
PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50	Anual
		100	24 horas
SO2	Ppm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.031 (80)	Anual
		0.096 (250)	24 horas
		0.287 (750)	3 horas
NO2	Ppm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.053 (100)	Anual
		0.08 (150)	24 horas
		0.106 (200)	1 hora
O3	Ppm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.041 (80)	8 horas
		0.061 (120)	1 hora
CO	Ppm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8.8 (10000)	8 horas
		35 (40000)	1 hora

Fuente: Resolución No. 610 del 24 de marzo de 2010

4.2.2 Material particulado

El material particulado atmosférico se define como un conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción de agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera [8]. Dependiendo del tamaño de partícula, éstas se pueden clasificar en partículas en suspensión, que representan la fracción respirable (diámetro menor a $10 \mu\text{m}$) y partículas sedimentables (diámetro mayor a $10 \mu\text{m}$); El primer tipo de partículas son las causantes de los problemas ambientales porque permanecen por largo tiempo en la atmósfera.

El material particulado atmosférico puede ser de origen natural ó antropogénico y producirse en forma directa (partículas primarias) o mediante reacciones químicas (partículas secundarias). Estas reacciones son producto de la interacción entre

gases precursores en la atmósfera que forman una nueva partícula por condensación u originan un nuevo aerosol por adsorción o coagulación entre partículas y gases [9]. Con base en lo anterior se puede concluir que el material particulado puede tener diversos orígenes y es producto de diversos compuestos orgánicos e inorgánicos, con diferentes tamaños y variada composición química.

4.2.2.1 Fracciones del PM_{10} en términos de calidad del aire

En términos de calidad del aire se pueden definir cinco fracciones de partículas, con respecto a la capacidad de penetración en el organismo: PST, PM_{10} , $PM_{10-2,5}$, $PM_{2,5}$ y PM_1 .

PST: partículas en suspensión totales

PM_{10} : material particulado con diámetro aerodinámico menor que 10 μm .

$PM_{10-2,5}$: material particulado con diámetro aerodinámico entre 2,5 y 10 μm .

$PM_{2,5}$: material particulado con diámetro aerodinámico menor que 2,5 μm .

PM_1 : material particulado con diámetro aerodinámico menor que 1 μm .

4.2.2.2 Efectos del material particulado sobre la salud humana

Los daños a la salud provocados por la exposición a material particulado en el aire dependen de la granulometría, la morfología y la composición química de las partículas, el tiempo de exposición y la susceptibilidad de cada persona. Mientras más finas sean las partículas más grande es el daño en el organismo debido a su mayor área efectiva para un mismo nivel de concentración másica en el aire, su mayor capacidad de penetración y mayor reactividad química [10]

En la tabla 2 se resumen los criterios médicos y los establecidos por la norma EN-12341 (1999) referentes a la capacidad de penetración de las distintas fracciones del material particulado atmosférico en el organismo.

Tabla 2 Toxicidad

Tamaño	Criterio Médico	Criterio UNE
>PM ₁₀	Laringe, faringe, cavidades, nasales (>10µm)	Fracción inhalable (>30µm)
PM _{10-2.5}	Tráquea (10-6µm) Bronquios (6-3µm)	Fracción Extratorácica (>10µm)
PM _{2.5} (<2.5µm)	Bronquiolos (3-1 µm)	Fracción torácica (<10µm) Fracción Traqueobronquial (10-2.5 µm)
PM ₁ (< 1 µm)	Alvéolos (1µm)	Fracción Alveolar (<<2.5µm)

Existe una relación entre el incremento de la mortalidad y los niveles de material particulado fino (<2,5 µm), principalmente por problemas cardiovasculares; mientras que no se ha establecido una relación significativa con la mortalidad para las partículas en suspensión totales (PST) y en el rango PM_{10-2.5}. [1]

4.2.2.3 MÉTODOS DE REFERENCIA

Para monitorear los contaminantes criterio (SO₂, CO, NO₂, O₃, PM₁₀, PST o PM_{2.5}) con el fin de realizar la comparación con los límites máximos permisibles establecidos por la normativa nacional, se deben utilizar los métodos de referencia o métodos equivalentes aprobados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM que se basan en las siguientes agencias ambientales:

- US–EPA (Environmental Protection Agency). Definidos en el documento LIST OF DESIGNATED REFERENCE AND EQUIVALENT METHODS que es actualizado

periódicamente y actualmente se encuentra en la página web: www.epa.gov/ttnamti1/criteria.html.

- EEA (European Environment Agency): Corresponden a aquellos desarrollados y validados por el Comité Europeo de Normalización CEN (European Committee for Standardization) a través de su Comité técnico 246 o internacionales como la ISO (International Standards Organization). Actualmente dichos métodos se encuentran establecidos en la Directiva 1999/30/CE.

Se podrán utilizar otros métodos siempre y cuando se encuentren adoptados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Equipos que no usen métodos de referencia se podrán utilizar con fines indicativos, previa adopción del método por parte del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

4.2.2.4 DESCRIPCIÓN DE LAS DIFERENTES TÉCNICAS DE MEDICIÓN

Las técnicas de medición de material particulado se dividen en cuatro grupos, con marcadas diferencias de costos y desempeño: muestreadores pasivos, muestreadores activos (manuales o semiautomáticos), analizadores automáticos y sensores remotos. Se debe tener en cuenta que no todas las metodologías descritas son de referencia o equivalentes.

4.2.2.5 MUESTREADORES ACTIVOS MANUALES [16]

Estos equipos recolectan las muestras de contaminantes por métodos físicos o químicos para un posterior análisis en laboratorio. Por lo general toman un volumen conocido de aire y lo bombean a través de un colector (un filtro en el caso de las partículas o una solución química para los gases) por un periodo de tiempo determinado. Después el colector es retirado y llevado al laboratorio para su

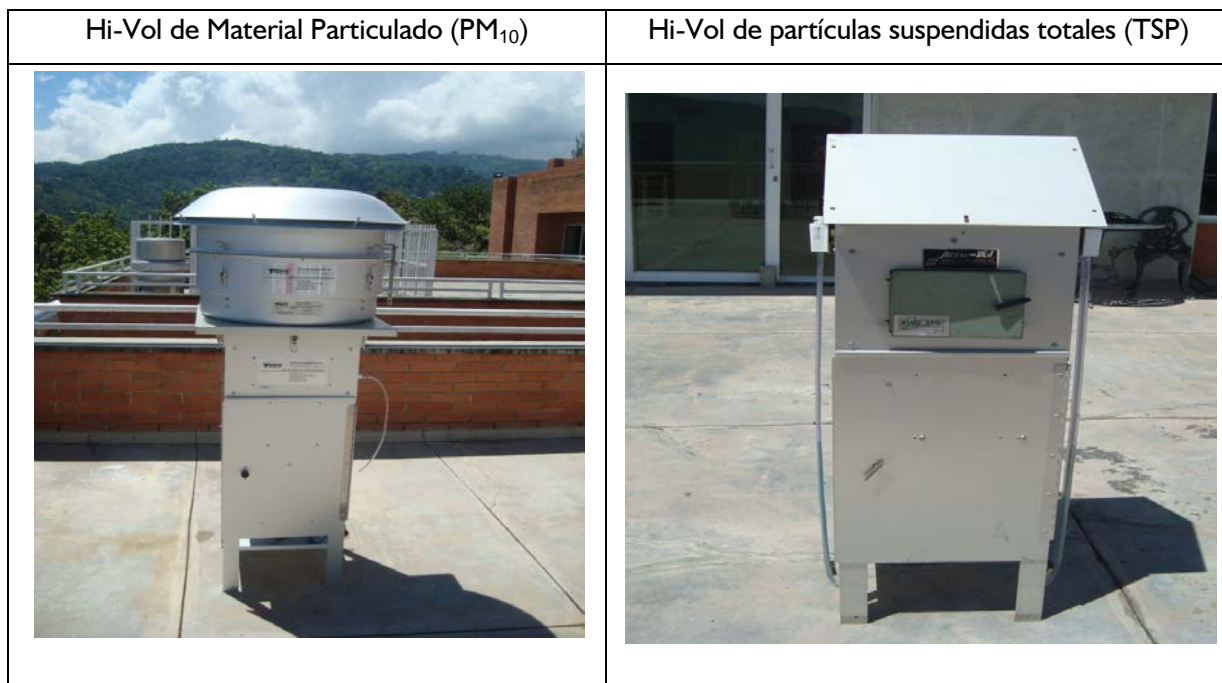
análisis. Esta técnica ha sido empleada por mucho tiempo alrededor del mundo, por lo cual existen disponibles datos valiosos para la comparación de tendencias con otros lugares. Los factores que determinan la calidad de los datos obtenidos a través de esta técnica son los sistemas de muestreo (para los gases), el acondicionamiento de la muestra, los sistemas de gravimetría (para partículas) y los procedimientos de laboratorio para gases como SO_x y NO_x . Por otra parte, los sistemas semiautomáticos, como los muestreadores de PM_{10} y SO_2 , son adecuados para mediciones de estándares diarios y anuales, pero demandan mayores esfuerzos operativos. A continuación se describen los equipos muestreadores activos de uso nacional e internacional.

4.2.2.6 EQUIPOS HI VOL (HIGH VOLUMEN SAMPLER)

Un muestreador de alto volumen (muestreador activo) es un equipo que succiona una cantidad medible de aire ambiente hacia una caja de muestreo a través de un filtro por un periodo de 24 horas. El filtro es pesado antes y después para determinar el peso neto ganado. El volumen total de aire muestreado se determina a partir de la velocidad promedio de flujo y el tiempo de muestreo. La concentración total de partículas en el aire ambiente se calcula como la masa recolectada dividida por el volumen de aire muestreado, ajustado a las condiciones estándar.

Existen dos muestreadores de este tipo los cuales se diferencian en su controlador de flujo, pueden presentar un sistema MFC (controlador de flujo de tipo másico) o VFC (controlador de flujo de tipo volumétrico). Para este proyecto se utilizó un muestreador Hi-vol con un sistema MFC para las partículas suspendidas totales y un sistema VFC para el MP de 10 micras.

Figura 1 Equipo de Muestreo



Fuente La Autora

4.2.3 Espectroscopia de Absorción Atómica (AAS)

Es una técnica de análisis elemental que utiliza la absorción de la radiación electromagnética para detectar la presencia de elementos de interés [11]. Los espectros de absorción atómica se producen cuando los átomos libres absorben la energía radiante en longitudes de onda características. Para producir un espectro atómico, un compuesto primero debe absorber la energía suficiente para vaporizarse a un gas molecular y disociar las moléculas en átomos libres. Debido a que la cantidad de luz absorbida por una muestra es proporcional a la concentración de la especie absorbente, la absorción de la luz puede ser usada en química analítica cuantitativa. Los metales en solución pueden ser fácilmente determinados por AAS. El método es simple, rápido y aplicable a un gran número de metales en muestras diferentes. Esta técnica se ha aplicado a la determinación de numerosos factores y es una herramienta importante en estudios con trazas de

metal es en el ambiente y en muestras biológicas. También es con frecuencia útil en los casos en que el metal se encuentra en un nivel de concentración bastante elevada en la muestra, pero sólo una pequeña muestra está disponible para el análisis.

4.2.4 Espectroscopia UV-Vis de reflectancia difusa

Es una variante de la espectroscopia UV-Vis convencional (análisis de sustancias en solución) que permite el estudio de sustancias sólidas. Esta técnica se basa en el hecho de que cuando un haz de luz incide en la superficie de materiales sólidos como por ejemplo óxidos de metales de transición, sólo una pequeña fracción de la luz es reflejada. El resto de la radiación es absorbida, lo cual es dependiente del color de la sustancia; dicha radiación se dispersa (se dan múltiples reflexiones, refracciones y difracción). [12]

En espectroscopia, la suma de transmitancia, reflectancia y absorbancia es siempre igual a la unidad. La ley de Beer es válida para los casos en que la dispersión y la reflexión son insignificantes. En este caso, la absorción puede estar directamente relacionada con la transmisión, que es válido para los sistemas que son distintos molecularmente. Sin embargo al medir la reflectancia de una muestra, la transmisión se convierte en cero y la absorción puede estar directamente relacionado con la reflexión. Aquí, la luz se refleja difusamente en la superficie y en el interior de una muestra [13].

4.2.5 Microscopía de barrido de electrones (SEM)

Es una técnica de análisis microscópico en donde se utilizan electrones para iluminar el objeto a observar, debido a que éstos poseen una longitud de onda más corta que la luz visible, por lo cual al interactuar con la materia pueden ser

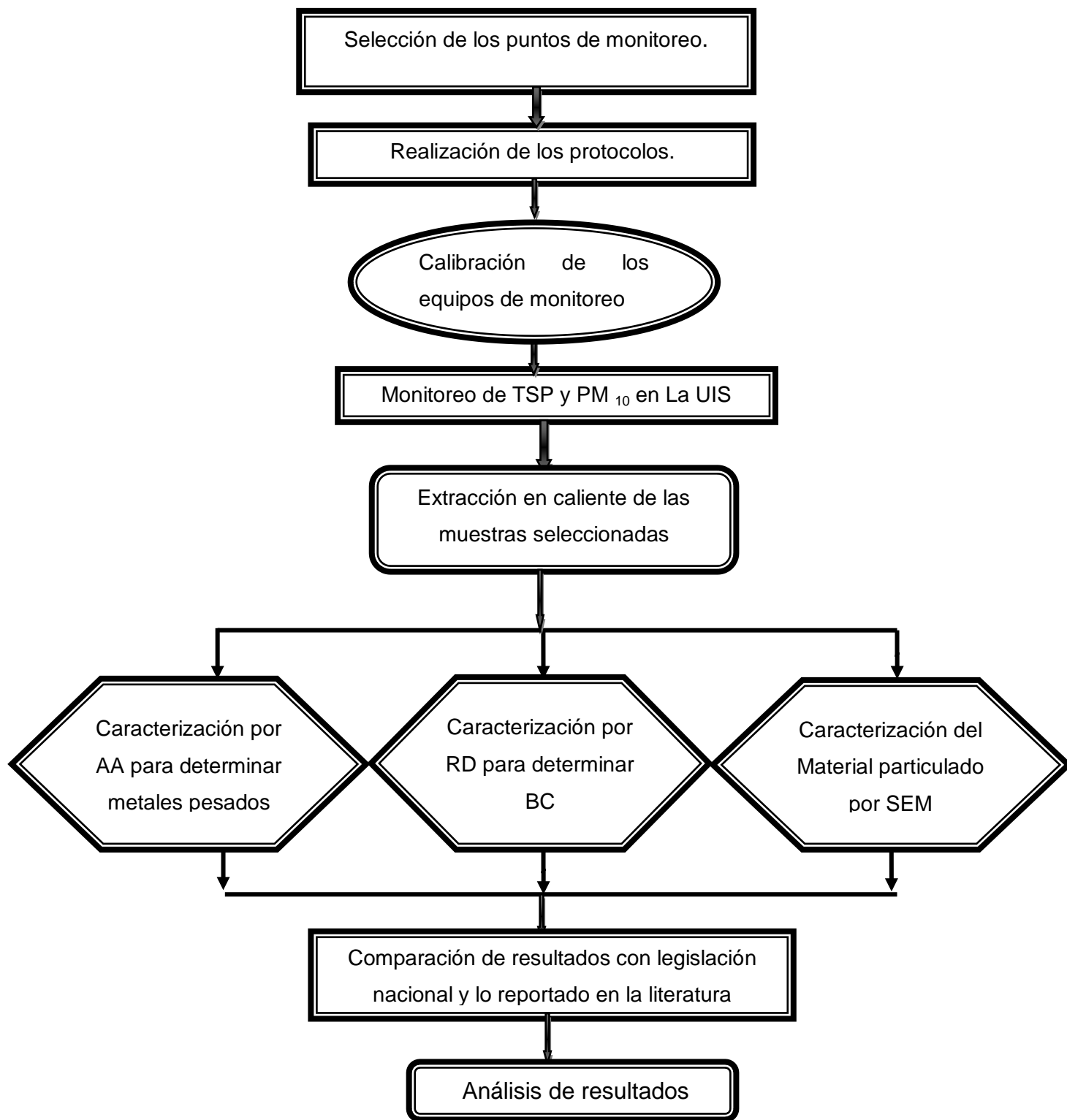
usados para mostrar estructuras del orden de nanómetros. El microscopio de barrido de electrones puede crear una imagen 100.000 veces ampliada de la superficie de un objeto. Esta técnica permite obtener imágenes con mayor resolución especialmente en materiales pétreos, metálicos y orgánicos.

En microscopía de barrido de electrones se requieren que las muestras sean conductoras. Así, la muestra es recubierta con una capa de carbón o una capa delgada de un metal como el oro para darle propiedades conductoras.

Los microscopios de barrido de electrones poseen un cañón de electrones que emite los electrones que chocan contra la superficie de la muestra; se utilizan lentes magnéticas que crean campos que dirigen y enfocan el haz de electrones. El sistema de vacío es esencial en este instrumento, debido a que los electrones pueden ser desviados por las moléculas del aire; así, es necesario establecer vacío casi total en el interior este tipo de microscopio.

Los microscopios cuentan con un sistema que registra la imagen que se produce mediante las señales electromagnéticas originadas en el bombardeo de electrones, en un monitor de alta definición. Esta técnica de análisis suministra información sobre la morfología y la composición de la superficie, debido a que el microscopio cuenta con un detector que analiza los rayos X que se producen cuando los electrones chocan con la superficie de la muestra.[14].

5 METODOLOGIA



5.1 Selección de los puntos de monitoreo

Los puntos de monitoreo se escogieron teniendo en cuenta las principales fuentes emisoras de MP como los vehículos de combustión interna que se mueven alrededor de la Universidad, los laboratorios que manejan minerales y generan gases al ambiente, también se busco abarcar la mayor área del campus universitario.

<p>Figura 2 Edificio Álvaro Beltrán)</p>  <p>Edif. Álvaro Beltrán Pinzón (A.B.P)</p>	<p>Figura 3 Edificio Bienestar Universitario</p>  <p>Edif. Bienestar Universitario (B.U)</p>
<p>Figura 4 Edificio Facultad de ciencias</p>  <p>Edif. Facultad de Ciencias (LL)</p>	<p>Figura 5 Edificio Jorge Bautista Vesga</p>  <p>Edif. Jorge Bautista Vesga (J.B.V)</p>

Fuente: UIS

Figura 6 Entrada car 27



Entrada Cra 27

Fuente: UIS

5.2 Protocolos

Los protocolos para el monitoreo y análisis de laboratorio se diseñaron con base en la norma internacional EPA y son los aprobados por el IDEAM. Los protocolos se encuentran en el anexo A.

5.3 Calibración

La calibración de los equipos Hi-Vol. se realizó cada vez que se cambio de lugar de muestreo. Los resultados de calibración de los muestreadores para cada lugar de monitoreo se encuentran en el Anexo B.

5.4 Monitoreo

El muestreo de material particulado TSP, P_{M10} en las instalaciones de la sede principal de la Universidad Industrial de Santander se llevo a cabo desde mayo de 2011 hasta septiembre de 2012, esto debido a la no continuidad de los semestres académicos y a temporadas de lluvias fuertes. El tiempo mínimo de monitoreo para cada punto fue de 3 días cumpliendo con la norma nacional.

5.5 Extracción en caliente de las muestras seleccionadas

El tratamiento de los filtros en el laboratorio se hizo siguiendo el método IO-3.2 de la EPA que se encuentra en el anexo A.

5.6 Caracterización por AAS para determinar metales pesados

Con este procedimiento instrumental y basado en el método IO 3.2 de la EPA se determino la concentración de los metales pesados Fe y Cu, en los filtros que contenían la mayor cantidad de material particulado.

5.7 Caracterización por Espectroscopia UV-Vis con Reflectancia Difusa para determinar Negro de Humo (BC)

Se seleccionaron los filtros con mayor concentración de MP y se analizaron por esta técnica para determinar la cantidad de negro de humo u hollín presente en los filtros. [15].

5.8 Caracterización del MP por SEM

De cada sitio de monitoreo se selecciono un filtro de la fracción PM_{10} y se observo la morfología del MP y además se obtuvo un diagrama de distribución de los elementos contenidos en cada filtro con su porcentaje en peso.

5.9 Comparación de resultados con reportes de literatura

Al tener los resultados de cada uno de los análisis correspondientes hechos bajo normatividad internacional se procedió a realizar la comparación y a mirar las variables que afectaron el monitoreo para el análisis de resultados y conclusiones.

5.10 Análisis de resultados

Con los resultados obtenidos en este proyecto y los tomados de la literatura se estimaron las condiciones en la Universidad con relación a la contaminación por MP.

6 ANALISIS DE RESULTADOS

6.1 Análisis gravimétrico del material particulado

Para los monitoreos realizados desde mayo del 2011 hasta septiembre de 2012, se pueden apreciar en la tabla 4 y 5 todos los datos correspondientes a cada lugar de monitoreo y el cálculo de la concentración de material particulado TSP y PM₁₀. En las tablas mencionadas anteriormente se puede observar una disminución de la concentración de MP los días en los cuales se registró lluvia, esto debido a que el MP cae al suelo por deposición húmeda.

Los registros de lluvias para cada día del monitoreo se encuentran en la tabla 3 y fueron obtenidos del sistema de calidad de aire de la CDMB.

Adicionalmente, como se puede apreciar en las gráficas 7 y 8 la concentración de MP tanto TSP como PM₁₀ no excedieron la norma nacional vigente, lo que nos dice que la calidad de aire en términos de concentración gravimétrica de MP dentro de la Universidad Industrial de Santander esta dentro de los límites permisibles por la legislación nacional.

Tabla 3 Datos Precipitaciones CDMB Norte

Día	MAX	MIN	ACUM [mm]
13-may-11	1	0,00	2,6
14-may-11	7	0,00	13,5
16-may-11	4	0,00	16,3
25-ago-11	1	0,00	5
29-ago-11	0	0,00	0,5
05-sep-11	0	0,00	0
06-sep-11	0	0,00	0
09-sep-11	0	0,00	0

02-oct-11	0	0,00	0
03-oct-11	1	0,00	0,5
04-oct-11	0	0,00	0
17-jul-12	0	0,00	0,3
18-jul-12	0	0,00	0
03-ago-12	0	0,00	0
07-ago-12	0	0,00	0
13-sep-12	1	0,00	0,9
18-sep-12	1	0,00	1,5
19-sep-12	5	0,00	5,9

Tabla 4 Concentración Material Particulado TSP

Fecha	Lugar	# de Filtros	Masa de Material particulado en gramos (g)	Caudal de flujo durante el monitoreo (m3/min)	tiempo de monitoreo en horas (h)	Volumen de monitoreo	Concentración de Material particulado en mg/m3	Observaciones
13/05/2011	Terraza Ed. A.B.P	2	0,0598	0,5905241	24	850,354673	70,32359782	mañanas soleadas y tarde y noche con algo de lluvia
14/05/2011	Terraza Ed. A.B.P	3	0,0895	0,5905241	24	850,354673	105,2502008	
16/05/2011	Terraza Ed. A.B.P	4	0,0779	0,5905241	24	850,354673	91,60883395	
29/08/2011	Azotea Ed J.B.V	2	0,1269	0,85831223	25	1291,55261	98,25383737	
31/08/2011	Azotea Ed J.B.V	3	0,1755	0,85831223	25,5	1317,38366	133,2185947	
05/09/2011	Azotea Ed J.B.V	4	0,1436	0,85831223	24,5	1261,71897	113,8129833	
06/09/2011	Azotea Ed J.B.V	5	0,1269	0,85831223	24,5	1261,71897	100,5770722	
09/09/2011	Azotea Ed J.B.V	6	0,0929	0,85831223	24,5	1261,71897	73,62970852	
02/10/2011	Azotea B.U	1	0,0662	0,79155072	23,15	1099,46395	60,21116034	
03/10/2011	Azotea B.U	2	0,0885	0,79155072	24,35	1156,4556	76,52693294	
04/10/2011	Azotea B.U	3	0,095	0,79155072	24,35	1156,4556	82,14755514	
17/07/2012	Azotea L.L	1	0,1299	0,8853968	24	1274,97	101,8847502	
18/07/2012	Azotea L.L	2	0,1053	0,8853968	24	1274,97	82,59017859	
03/08/2012	Azotea L.L	5	0,1094	0,8853968	24	1274,97	85,80594053	
07/08/2012	Azotea L.L	6	0,094	0,8853968	24	1274,97	73,72722495	
13/09/2012	Entrada Cra 27	1	0,1293	0,89747	24	1292,35655	100,0497893	
18/09/2012	Entrada Cra 27	2	0,1461	0,89747	24,5	1319,28064	110,7421693	
19/09/2012	Entrada Cra 27	3	0,0504	0,89747	23,5	1265,4324	39,8282832	

Tabla 5 Concentración Material Particulado PM₁₀

Fecha	Lugar	# de Filtros	Masa de Material particulado en gramos (g)	Caudal de flujo durante el monitoreo Q (m3/min)	tiempo de monitoreo en horas t (h)	Volumen de monitoreo (Q*t)	Concentración de Material particulado en mg/m3	Observaciones
14/05/2011	Terraza Ed. A.B.P	3	0,0375	1,04106014	24	1499,18334	25,0136185	mañanas soleadas y tarde y noche con algo de lluvia
16/05/2011	Terraza Ed. A.B.P	4	0,0359	1,04106014	24	1499,18334	23,94637078	
25/08/2011	Azotea Ed J.B.V	1	0,0487	1,04434102	25	1570,29574	31,01326633	
29/08/2011	Azotea Ed J.B.V	2	0,0519	1,04434102	25	1570,29574	33,05109902	
31/08/2011	Azotea Ed J.B.V	3	0,0757	1,04434102	25,5	1601,70166	47,26223499	
05/09/2011	Azotea Ed J.B.V	4	0,0493	1,04434102	24,5	1535,69229	32,10278547	
06/09/2011	Azotea Ed J.B.V	5	0,0528	1,04434102	24,5	1535,69229	34,38188788	
09/09/2011	Azotea Ed J.B.V	6	0,0309	1,04434102	24,5	1535,69229	20,12121848	
02/10/2011	Azotea B.U	1	0,0257	1,05137399	23,15	1460,35821	17,598422	
03/10/2011	Azotea B.U	2	0,0293	1,05137399	24,35	1536,05712	19,07481148	
04/10/2011	Azotea B.U	3	0,0373	1,05137399	24,35	1536,05712	24,28295113	
17/07/2012	Azotea L.L	1	0,0469	0,9974	24	1436,35	32,65220872	
18/07/2012	Azotea L.L	2	0,045	0,9974	24	1436,35	31,32941136	
03/08/2012	Azotea L.L	5	0,0396	0,9974	24	1436,35	27,56988199	
07/08/2012	Azotea L.L	6	0,031	0,9974	24	1436,35	21,58248338	Día Festivo
13/09/2012	Entrada Cra 27	1	0,0523	1,033361	24	1488,40726	35,13823219	
18/09/2012	Entrada Cra 27	2	0,0553	1,033361	24,5	1519,41575	36,39556857	
19/09/2012	Entrada Cra 27	3	0,0354	1,033361	23,5	1457,39878	24,28985157	amaneció lluvioso

Figura 7 Concentración TSP

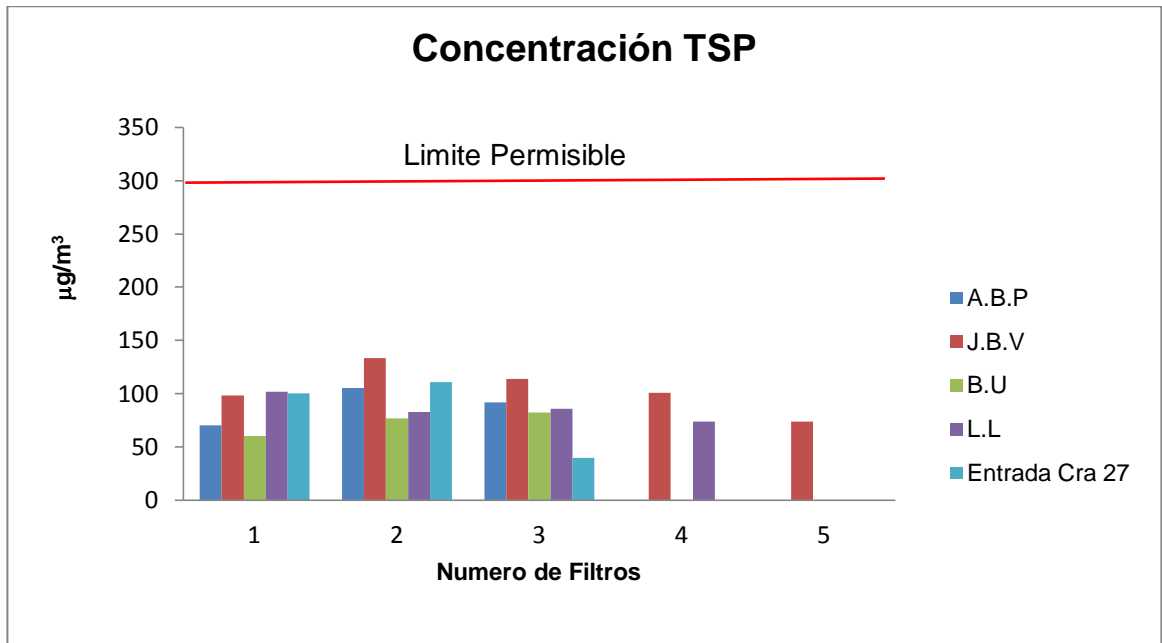
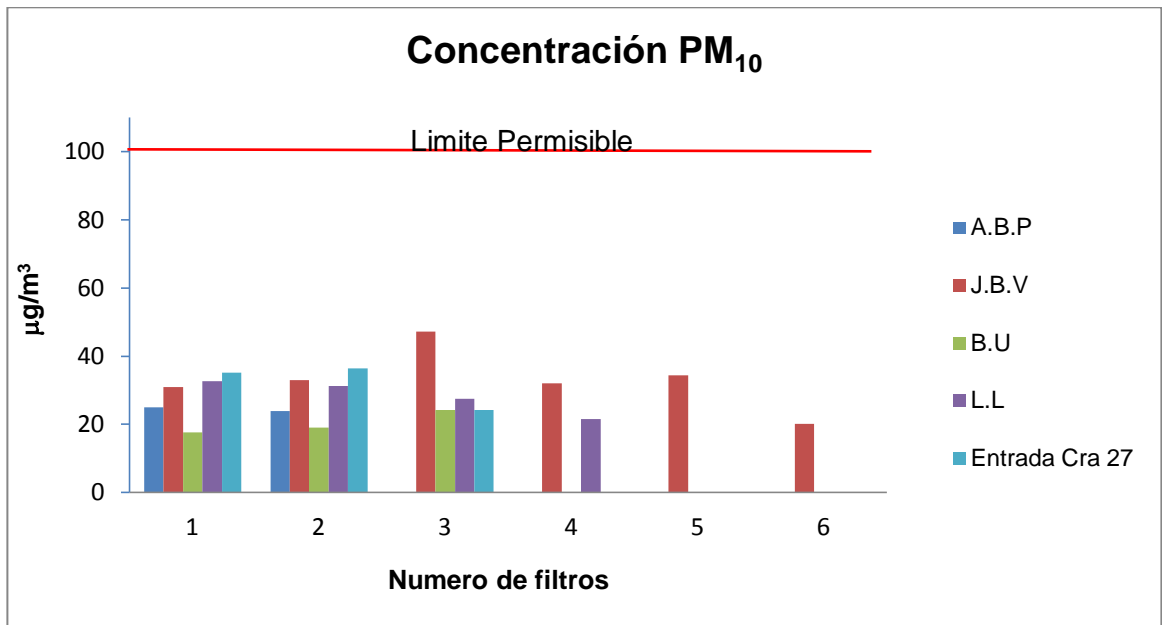


Figura 8 Concentración PM₁₀



Como se observa en las gráficas mencionadas anteriormente donde hubo menor concentración tanto de TSP como PM₁₀ fue en el edificio de Bienestar

Universitario, esto debido a su ubicación, el poco flujo vehicular y la zona verde que la rodea. Por otra parte en el edificio Jorge Bautista Vesga, de la facultad de Fisicoquímica, se encontró una mayor concentración de MP en sus dos fracciones. La gran concentración medida se debe a la ubicación de este edificio al lado de la planta de acero de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica, además de la vía interna por donde transitan los automóviles y camiones de la División de Planta Física dentro de la Universidad.

Para el punto de Laboratorios Livianos se obtuvo unas concentraciones para TSP y PM₁₀ elevada muy de acuerdo con respecto a que se encuentra cerca al parqueadero de este edificio. Para el último punto, el de la entrada de la UIS por la Cra 27 se esperaba una alta concentración de TSP por estar cerca a una vía externa por donde transitan una gran cantidad de automóviles, pero como se ve en la grafica 7 el ultimo día hay una disminución considerable de TSP esto ocasionado por las lluvias registradas para ese día.

6.2 Análisis por Espectroscopia de Absorción Atómica de Llama
 Inicialmente se propuso analizar metales pesados como lo son el Cadmio y el Plomo en los filtros ambientales, sin embargo en las pruebas iniciales no se encontraron rastros de estos metales, por consiguiente y basados en el análisis elemental por SEM, se procedió a analizar Fe y Cu. Para este análisis se seleccionó el filtro de TSP y PM₁₀ con mayor contenido de Material particulado para cada lugar de monitoreo, como se detalla en la tabla 6.

Tabla 6 Filtros para AAF

Lugar de medición	# Filtro TSP	# Filtro PM ₁₀
Edificio A.B.P	3	3
Edificio J.B.V	3	3
Edificio B.U	3	3
Edificio L.L	1	1
Entrada Cra 27	2	2

Posterior a la selección de filtros se procedió a realizar la preparación de la muestra con base en el método EPA IO-3.2 para la determinación de metales en partículas ambientales usando espectroscopia de Absorción atómica .Debido a que las campañas de monitoreo se realizaron en diferentes fechas, se utilizaron dos curvas de calibración para cada metal, con la primera se evaluaron los filtros de los edificios J.B.V y los de la entrada de la Cra 27 y con la segunda los filtros de los tres edificios restantes. Los datos de las tablas de calibración y las gráficas correspondientes se reportan en las tablas 7, 8 y las figuras 9 y 10.

Tabla 7 Curva de Calibración del Cu 1

# muestra	Concentración	Abs
Blanco	0	0
Estándar 1	0,5	0,035
Estándar 2	1,5	0,094
Estándar 3	2,5	0,165
Estándar 4	3,5	0,235
Estándar 5	4,5	0,297
Estándar 6	5	0,326

Tabla 8 Curva de Calibración del Cu 2

# muestra	Concentración	Abs
Blanco	0	0
Estándar 1	0,5	0,035
Estándar 2	1,5	0,094
Estándar 3	2,5	0,160
Estándar 4	3,5	0,231
Estándar 5	4,5	0,292
Estándar 6	5	0,315

Figura 9 Curva de Calibración Cu 1

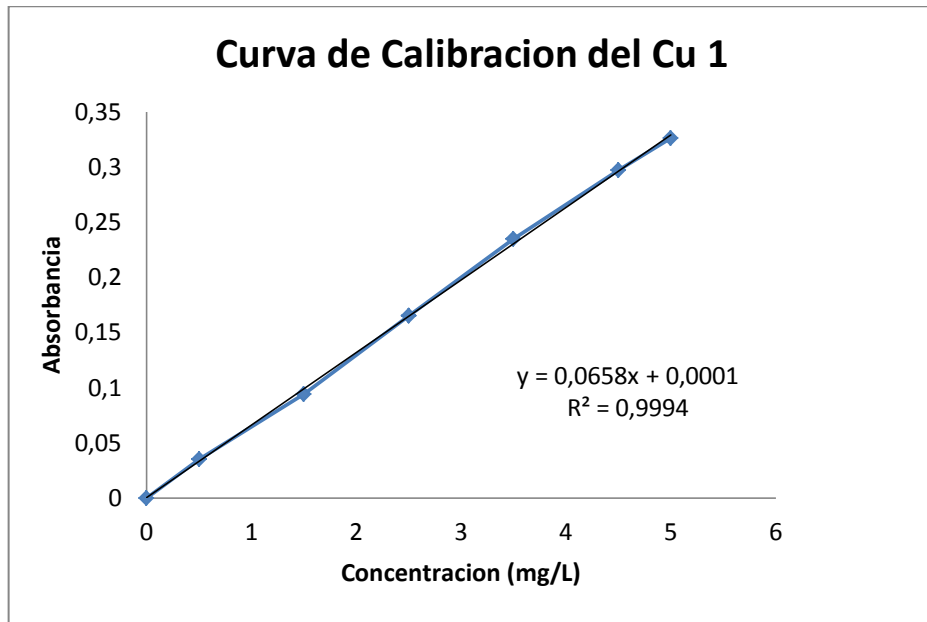


Figura 10 Curva de Calibración Cu 2

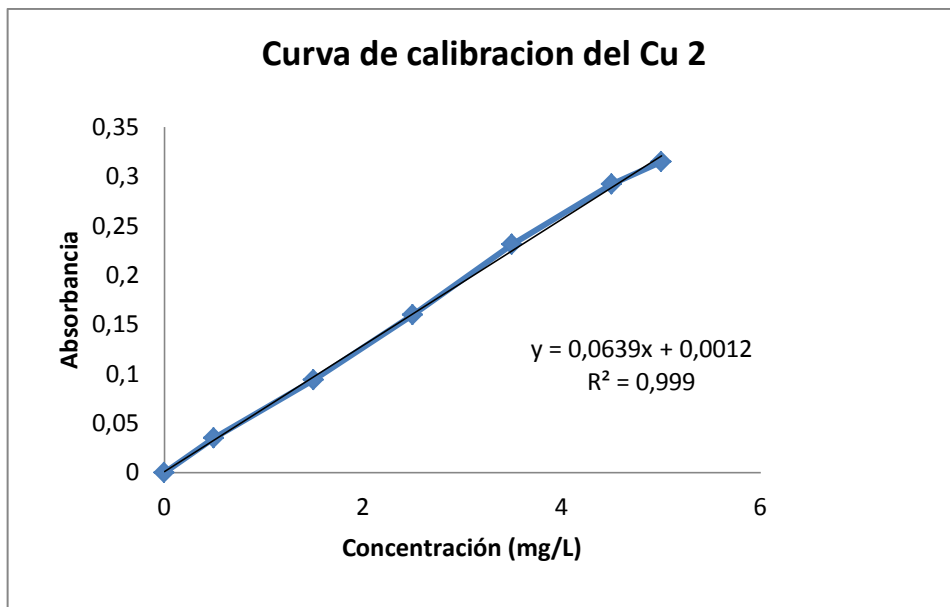


Tabla 9 Muestras Problemas

# muestra	Abs	Concentración (mg/L)	# muestra	Abs	Concentración (mg/L)
Filtro TSP del J.B.V	0,068	1,025	Filtro PM ₁₀ del J.B.V	0,010	0,140
Filtro TSP de la entrada Cra 27	0,255	3,881	Filtro PM ₁₀ de la entrada Cra 27	0,013	0,201
Filtro TSP del A.B.P	0,073	1,126	Filtro PM ₁₀ del A.B.P	0,005	0,059
Filtro TSP de B.U	0,060	0,932	Filtro PM ₁₀ de B.U	0,004	0,036
Filtro TSP de L.L	0,217	3,383	Filtro PM ₁₀ de L.L	0,015	0,212

Tabla 10 Concentración del Cu en el filtro

Núm. Filtro	Concentración ($\mu\text{gCu}/\text{m}^3$)	Núm. Filtro	Concentración ($\mu\text{gCu}/\text{m}^3$)
filtro 3 TSP J.B.V	0,467	Filtro 3 PM ₁₀ del J.B.V	0,0523
filtro 2 TSP Entrada Cra 27	1,765	Filtro 2 PM ₁₀ de la entrada Cra 27	0,079
Filtro 3 TSP del A.B.P	0,794	Filtro 3 PM ₁₀ del A.B.P	0,023
Filtro 3 TSP de B.U	0,483	Filtro 3 PM ₁₀ de B.U	0,014
Filtro 1 TSP de L.L	1,592	Filtro 1 PM ₁₀ de L.L	0,088

Como se observa en la tabla 10, la concentración de Cu está por debajo de $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el MP de 10 micras, mientras que el MP de 100 micras la concentración de este metal está por encima de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este efecto puede estar ocasionado por el mayor tamaño del diámetro de partícula del MP

Tabla 11 Curva de Calibración del Fe 1

# muestra	Concentración	Abs
Blanco	0	0
Estándar 1	0,5	0,021
Estándar 2	1,5	0,048
Estándar 3	2,5	0,088
Estándar 4	3,5	0,121
Estándar 5	4,5	0,157
Estándar 6	5	0,168

Tabla 12 Curva de Calibración del Fe 2

# muestra	Concentración	Abs
Blanco	0	0,002
Estándar 1	0,5	0,022
Estándar 2	1,5	0,070
Estándar 3	2,5	0,115
Estándar 4	3,5	0,162
Estándar 5	4,5	0,203
Estándar 6	5	0,223

Figura 11 Curva de Calibración de Fe 1

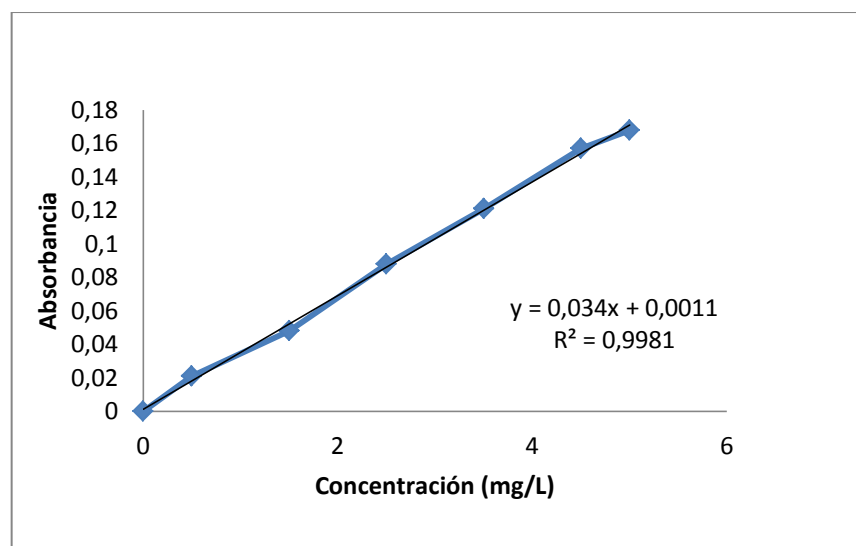


Figura 12 Curva de Calibración de Fe 2

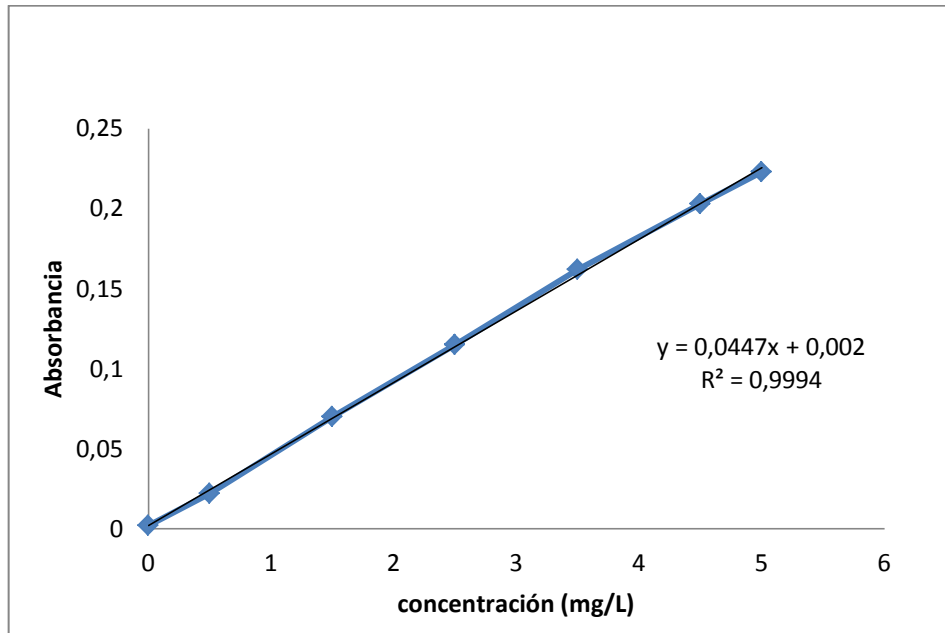


Tabla 13 Muestras Problemas para el Hierro

# muestra	Abs	Concentración (mg/L)	# muestra	Abs	Concentración (mg/L)
Filtro TSP del J.B.V	0,045	1,282	Filtro PM ₁₀ del J.B.V	0,055	1,580
Filtro TSP de la entrada Cra 27	0,158	4,632	Filtro PM ₁₀ de la entrada Cra 27	0,084	2,420
Filtro TSP del A.B.P	0,144	3,18	Filtro PM ₁₀ del A.B.P	0,059	1,128
Filtro TSP de B.U	0,092	2,003	Filtro PM ₁₀ de B.U	0,036	0,760
Filtro TSP de L.L	0,275	2,004	Filtro PM ₁₀ de L.L	0,039	0,823

Tabla 14 Concentración del Metal en el Filtro

Núm. Filtro	Concentración ($\mu\text{gFe}/\text{m}^3$)	Núm. Filtro	Concentración ($\mu\text{gFe}/\text{m}^3$)
filtro 3 TSP J.B.V	0,584	Filtro 3 PM ₁₀ del J.B.V	0,5920
filtro 2 TSP Entrada Cra 27	2,106	Filtro 2 PM ₁₀ de la entrada Cra 27	0,9556
Filtro 3 TSP del A.B.P	2,243	Filtro 3 PM ₁₀ del A.B.P	0,4515
Filtro 3 TSP de B.U	1,039	Filtro 3 PM ₁₀ de B.U	0,2968
Filtro 1 TSP de L.L	0,943	Filtro 1 PM ₁₀ de L.L	0,3439

Se aprecia en la tabla 14, que la concentración de Fe en las muestras de MP es abundante tanto en TSP como en PM₁₀, y que el sitio que más Fe tiene para la fracción de TSP es el edificio A.B.P con una concentración de 2,243 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el cual se encuentra limitando con el norte de la ciudad donde hay industria metalúrgica y cementera que posiblemente es la fuente para que este metal este suspendido en el aire. Y para la fracción de PM₁₀ el punto donde mayor concentración de Fe hubo con 0,9556 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ fue la entrada a la UIS por la Cra 27 esto debido a la vía externa con la que limita.

6.3 Análisis Elemental y Morfológico por SEM-EDS

Para este análisis se analizaron los filtros de micro-cuarzo, es decir los de PM₁₀, ya que los de fibra de vidrio se descomponían debido a la alta energía del haz de electrones y no se podían observar por debajo de los 200 micrómetros. Para el análisis SEM se tomó una sección, de aproximadamente 6.35mm de diámetro, del centro de cada filtro. Los filtros analizados se reportan en la tabla 15:

Tabla 15 Filtros para SEM EDS

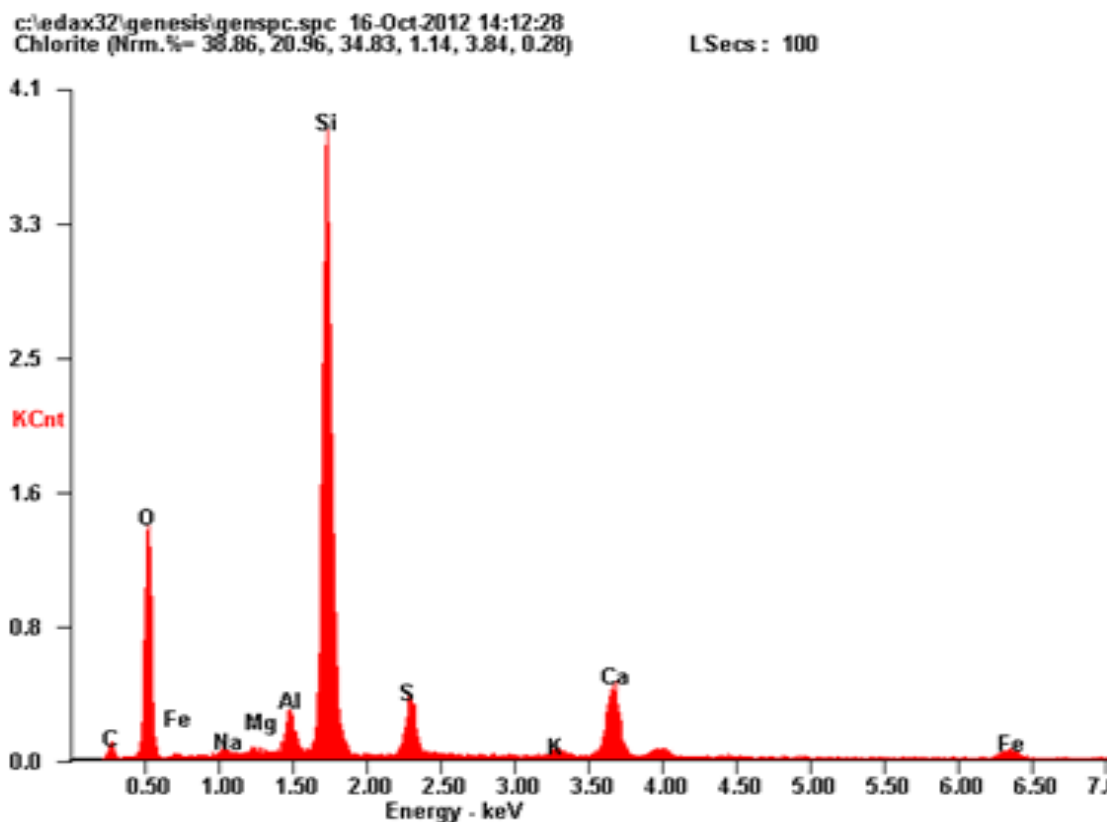
Lugar de medición	# Filtro PM ₁₀
Edificio A.B.P	4
Edificio J.B.V	2
Edificio B.U	3
Edificio L.L	1
Entrada Cra 27	1

6.3.1 Filtro 4 del A.B.P

Tabla 16 Datos EDS Edificio ABP

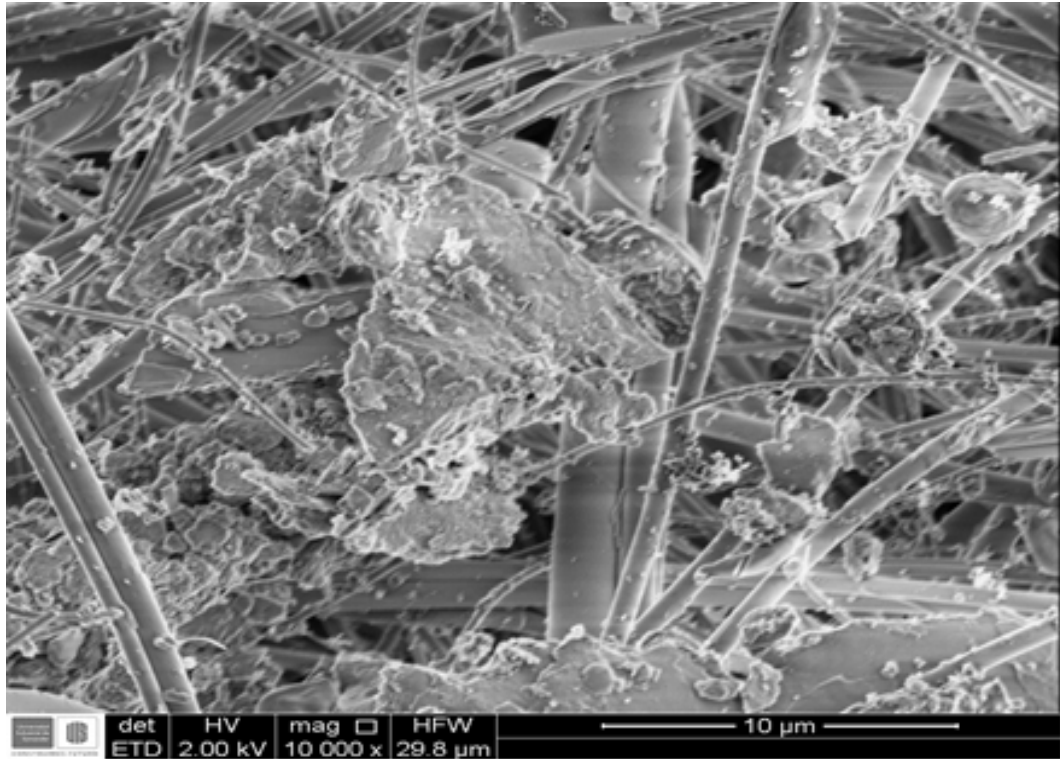
Elemento	Wt%	At%
O _K	38.76	54.68
Na _K	00.73	00.72
Mg _K	00.36	00.33
Al _K	02.85	02.39
Si _K	38.86	31.23
S _K	05.47	03.85
K _K	00.70	00.40
Ca _K	09.06	05.10
Fe _K	03.21	01.30
Matrix	Correction	ZAF

Figura 13 Espectro SEM EDS Edificio ABP



Como se observa en el espectro los elementos más abundantes en el análisis EDX de la muestra del edificio ABP son el Si y el O, debido a que el filtro en el que se recolectó la muestra es de micro-cuarzo (SiO_2). También se observa la presencia de Fe, S, Ca, Mg y Al, los elementos metálicos provienen probablemente de la industria metalúrgica que se encuentra ubicada en la zona norte de la ciudad y que se encuentra cerca al edificio ABP. Aunque hay presencia de C, su baja concentración permite suponer que en la composición del material recolectado tienen poca influencia los procesos de combustión.

Figura 14 Imagen por SEM Edificio ABP



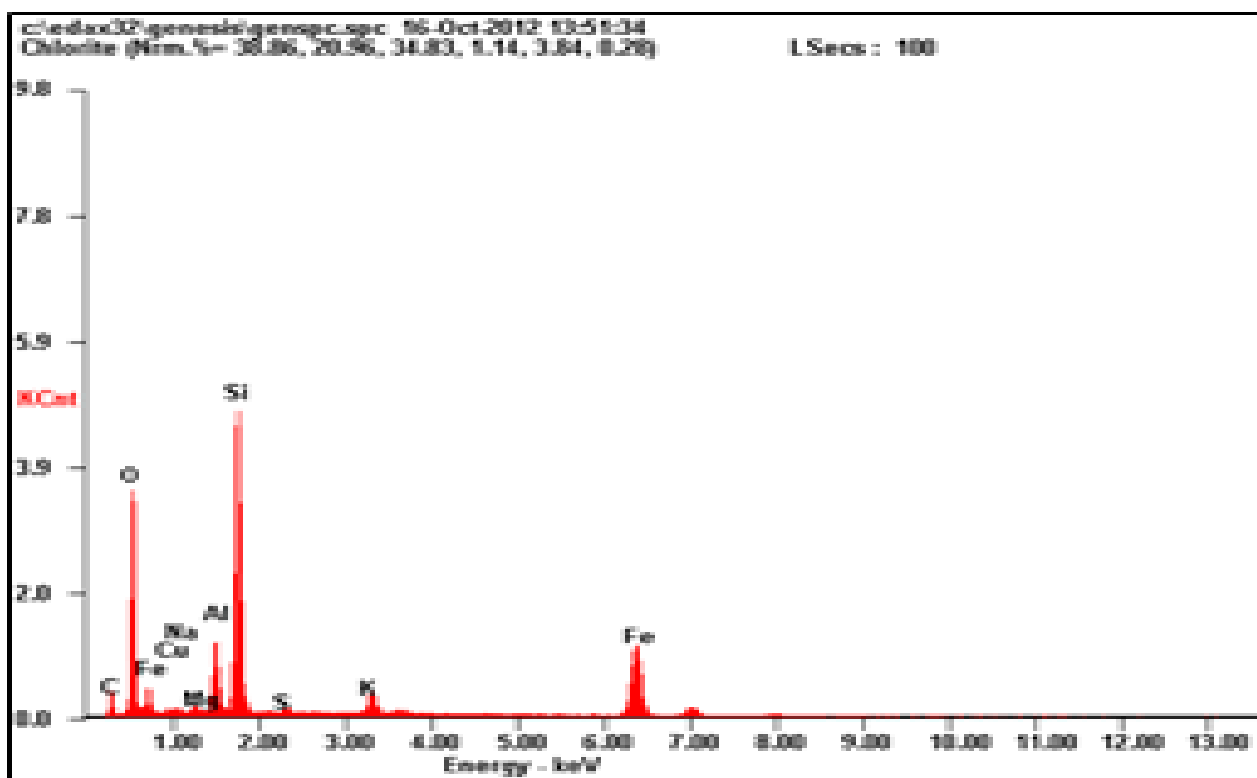
Como se observa en la Figura 14 no hay carbono ni influencia por quema de combustibles fósiles en la composición morfológica de la muestra debido a la ausencia de partículas de carbono, que típicamente se presentan como estructuras circulares fácilmente identificables.

6.3.2 Filtro 2 del J.B.V

Tabla 17 Datos EDS Edificio JBV

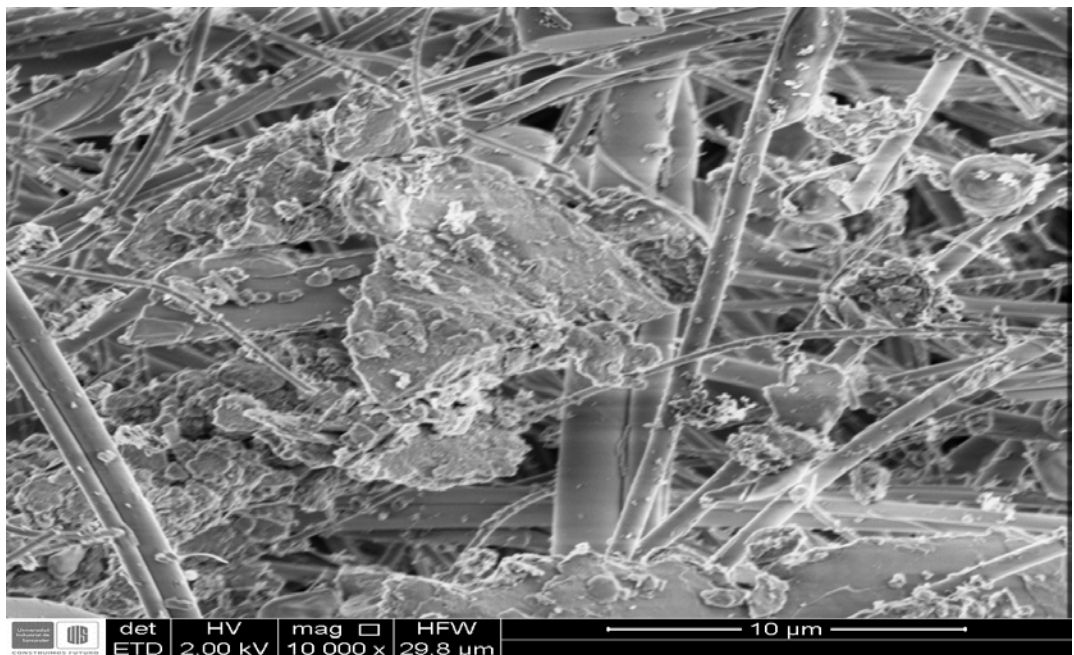
Elemento	Wt%	At%
C _K	13.24	23.04
O _K	28.55	37.28
Al _K	08.61	06.67
Si _K	35.95	26.74
K _K	05.88	03.14
Ca _K	01.58	00.82
Fe _K	06.19	02.32
Matrix	Correction	ZAF

Figura 15 Espectro SEM EDS Edificio JBV



En la Figura 15 sin tener en cuenta al O y Si por lo antes mencionado, se observa una mayor presencia de C, Fe Al y Cu, que se puede deber a que la ubicación de este punto está al lado de la planta de aceros de la escuela de Ingeniería. Metalúrgica y además está rodeado por la carretera interna de la universidad, donde hay un flujo vehicular medio de camiones, automóviles y motocicletas.

Figura 16 Imagen por SEM Edificio JBV



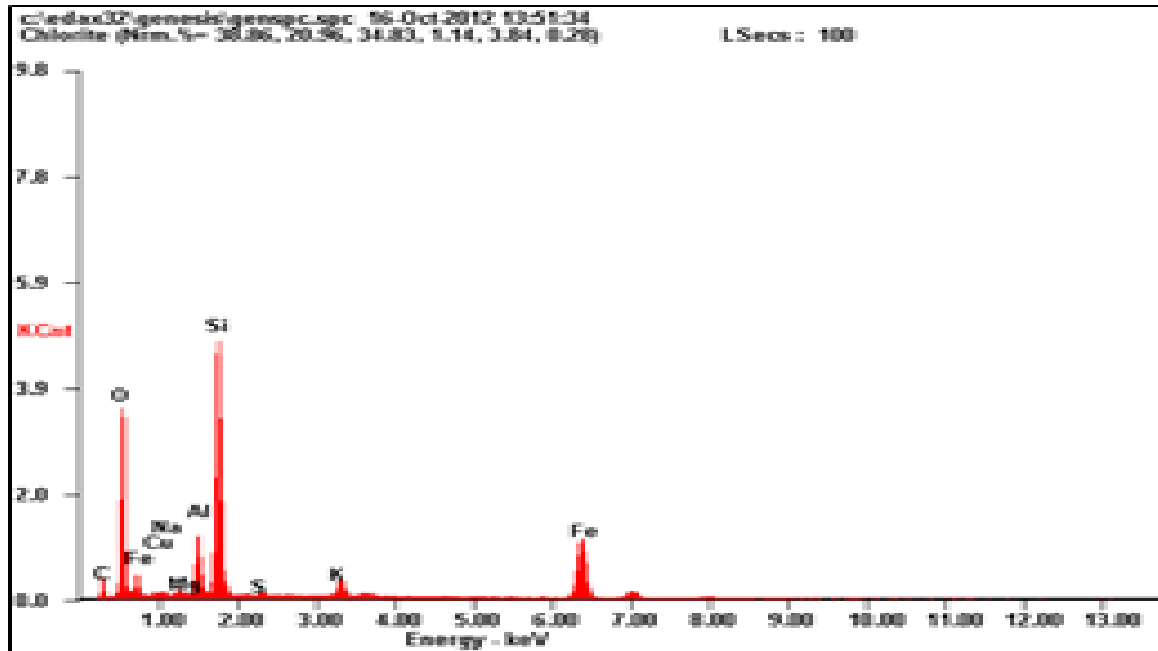
Como se observa en la Figura 16, hay presencia de Ca, Si y S en aglomerados dentro de la composición morfológica de MP en este punto de monitoreo estos elementos hacen parte principalmente de la combustión del carbón, y su presencia se explica por la ubicación del sitio de muestreo.

6.3.3 Filtro 3 del B.U

Tabla 18 Datos EDS Edificio BU

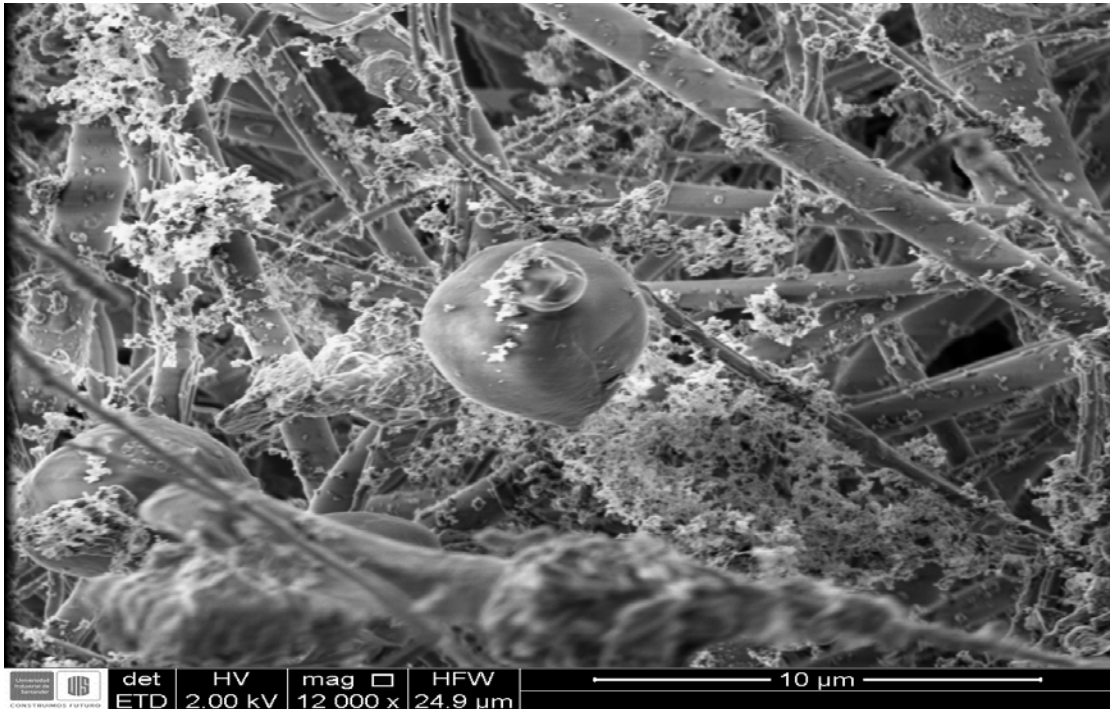
Elemento	Wt%	At%
C _K	10.55	19.83
O _K	30.55	43.09
Cu _L	01.20	00.42
Na _K	00.58	00.57
Mg _K	00.67	00.62
Al _K	06.12	05.12
Si _K	23.71	19.05
S _K	00.45	00.32
K _K	02.36	01.36
Fe _K	23.81	09.62
Matrix	Correction	ZAF

Figura 17 Espectro SEM EDS Edificio BU



En la Figura 17 se muestra una mayor proporción de Fe, C y Al esto ocasionado por su ubicación al norte de la ciudad y que tiene relativamente cerca una zona de parqueadero y una vía con flujo vehicular medio.

Figura 18 Imagen por SEM Edificio BU



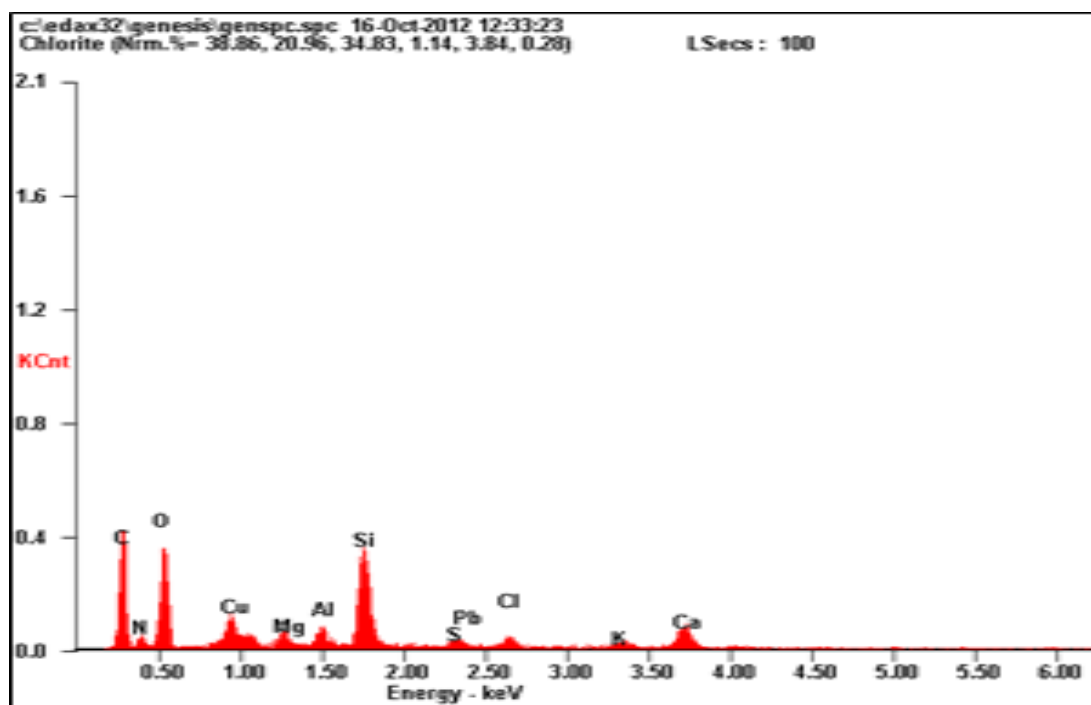
En la Figura 18 se aprecia la presencia de una partícula biológica dentro del MP puede ser un microorganismo o una espora, a su alrededor se distinguen agregados de hollín, lo cual se sabe por la morfología esférica característica de las partículas con Carbono.

6.3.4 Filtro 1 del L.L

Tabla 19 Datos EDS Edificio LL

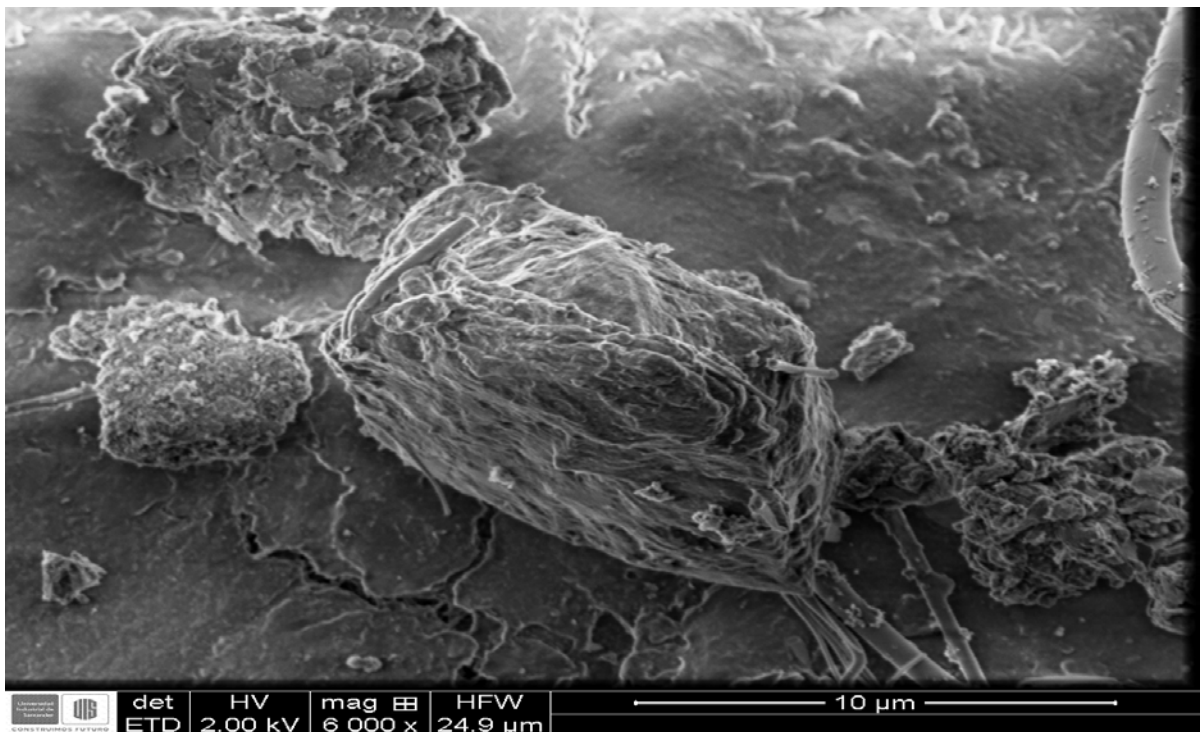
L.L		
Element	Wt%	At%
C _K	38.74	50.32
N _K	08.88	09.89
O _K	31.04	30.27
Mg _K	01.15	00.74
Al _K	01.33	00.77
Si _K	07.86	04.37
S _K	00.79	00.39
Cl _K	01.00	00.44
K _K	00.74	00.30
Ca _K	03.14	01.22
Cu _K	05.34	01.31
Matrix	Correction	ZAF

Figura 19 Espectro SEM EDS Edificio LL



En la Figura 19 sobresalen el C, Cu, Al, S, N y Mg esto debido a que este punto se encuentra cerca de la planta de aceros, de un parqueadero y de la vía interna de la universidad. El porcentaje en peso del Carbono es bastante elevado en comparación con el resto de elementos lo que muestra la influencia de procesos de combustión en el MP de este punto.

Figura 20 Imagen por SEM Edificio LL



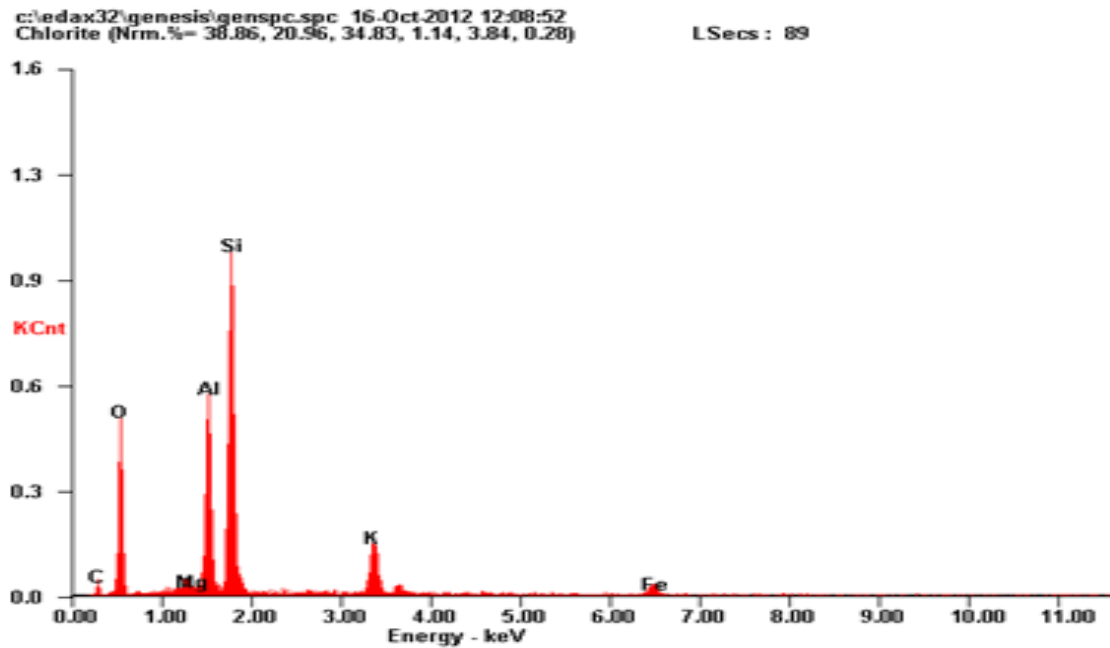
En la Figura 20 se aprecia la morfología del MP para este punto donde se puede apreciar aglomerados de Caolinita, agregados de hollín, y derivados de la quema de carbón compuestos principalmente de Ca, S y Si.[17]

6.3.5 Filtro 1 Entrada Car 27

Tabla 20 Datos EDS Entrada Cra 27

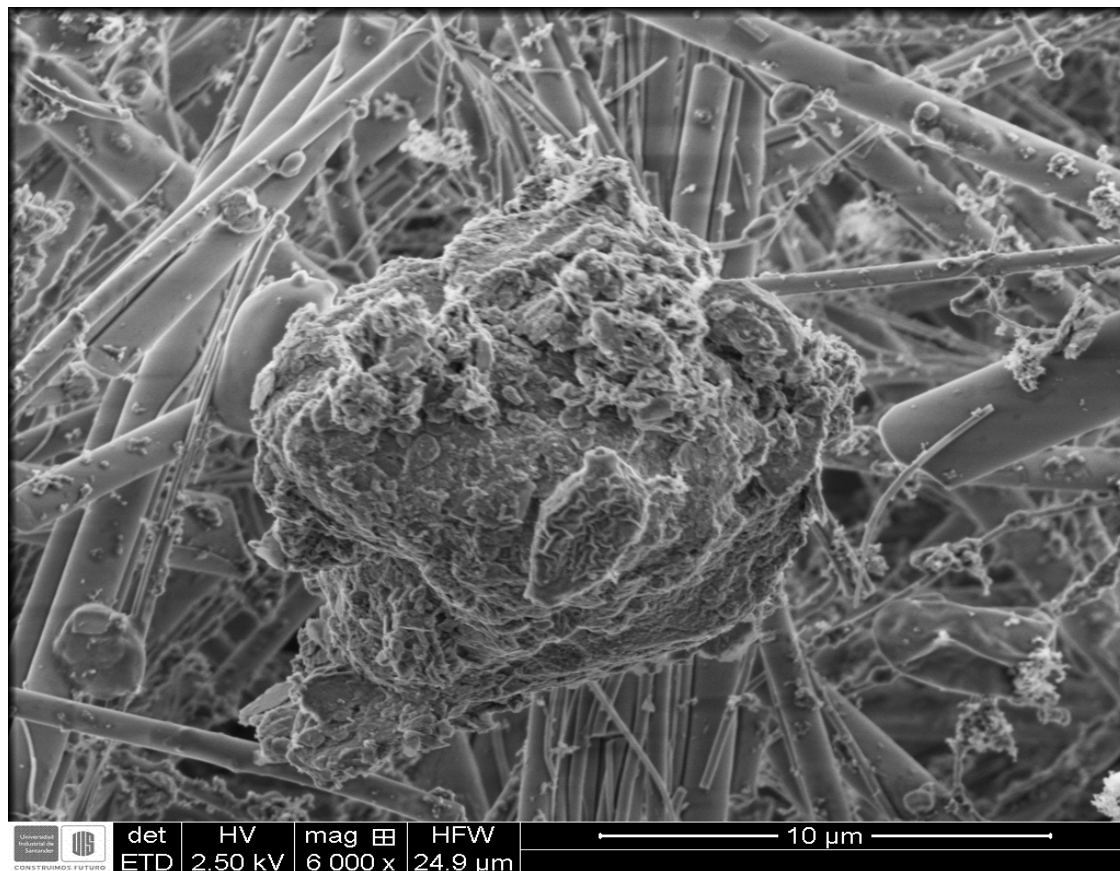
Element	Wt%	At%
C _K	07.71	13.40
O _K	35.84	46.79
Mg _K	00.99	00.85
Al _K	14.72	11.40
Si _K	30.03	22.34
K _K	07.54	04.03
Fe _K	03.17	01.19
Matrix	Correction	ZAF

Figura 21 Espectro SEM EDS Entrada Car 27



En la Figura 21 se destaca la presencia del Al, Fe, C y K los cuales se deben a que es la entrada de la universidad por la Cra 27 está cerca de una calle con alto tránsito de personas, automóviles y motocicletas.

Figura 22 Imagen por SEM Entrada Car 27



En la Figura 22 se observa presencia según su morfología de partículas de arcilla proveniente del suelo con Al, Fe, Si y Ca, además de partículas industriales de Fe y Cu [19]

6.4 Análisis por Espectroscopia de Reflectancia Difusa UV-Visible

Para este análisis se tomaron muestras de cada filtro y se colocaron sobre cinta doble faz. El objetivo de este análisis es caracterizar cualitativamente el hollín

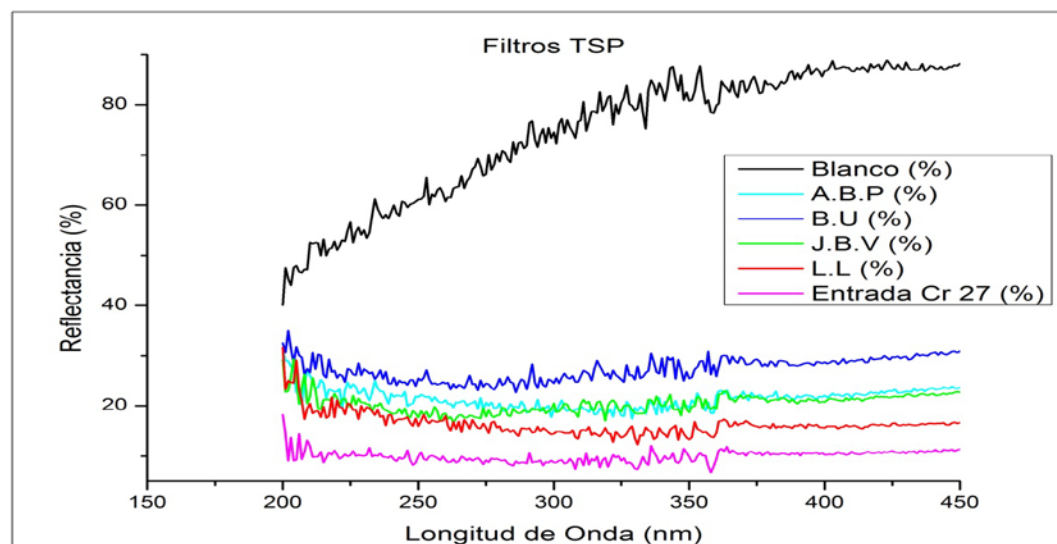
encontrado en cada filtro. Se presento un daño en el filtro pm₁₀ de la Cra 27, razón por la cual no se encuentra la comparación grafica; Los filtros son:

Tabla 21 Filtros Para Reflectancia Difusa

Lugar de medición	# Filtro TSP	# Filtro PM ₁₀
Edificio A.B.P	4	4
Edificio J.B.V	4	5
Edificio B.U	2	2
Edificio L.L	5	2
Entrada Cra 27	1	

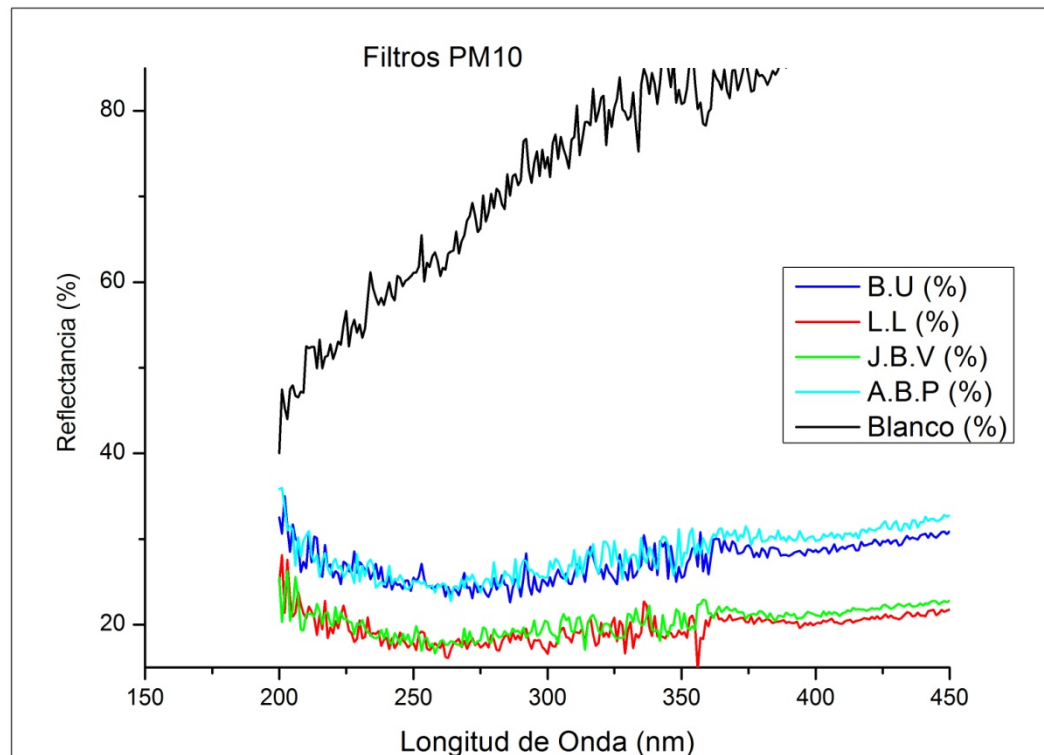
El hollín hace parte del MP que se encuentra suspendido en la atmosfera y se esperaba encontrar en las dos fracciones, mayormente en la de TSP. También se esperaba encontrar en todos los puntos de monitoreo, principalmente en los sitios donde la influencia de la combustión de los vehículos tuviera una mayor proporción. Se realizó una gráfica comparativa con los filtros analizados tanto para TSP como para PM₁₀

Figura 23 Reflectancia Difusa Para Filtros TSP



En la Figura 23 se puede observar que los sitios con menor reflectancia son los que poseen mayor concentración de material particulado y por consiguiente los que poseen una mayor cantidad de partículas de negro de humo u hollín, pues son filtros con las partículas suspendidas totales, es decir partículas con diámetro aerodinámico mayor. El sitio con mayor cantidad de hollín según la gráfica es la entrada de la Cra 27, esto se explica puesto que es una zona que tiene cerca una calle que es bastante transitada como lo es la calle 9.

Figura 24 Reflectancia Difusa Para Filtros PM₁₀



En esta grafica para filtros con PM₁₀ observamos el mismo comportamiento que con los filtros que contenían TSP pero a una mayor reflectancia es decir una menor concentración de Hollín y se comprueba que los sitios de mayor presencia

son el edificio de livianos, pues hay un parqueadero al lado del sitio donde se monitorea y el edificio J.B.V que tiene vía interna de la universidad por un lado y por el otro la planta de aceros, donde hay muflas y hornos que generan a la atmosfera este tipo de contaminante.

7 CONCLUSIONES

- El desarrollo de los protocolos de monitoreo y análisis de MP se llevó a cabo de acuerdo a la experiencia que dejó este proyecto y siguiendo los parámetros de la EPA y el IDEAM Con el fin de que sirvan de guía para futuros monitoreos los cuales el Sistema de Gestión Ambiental de la UIS en su programa de Calidad de Aire realizará.
- Se midió la calidad de aire en términos de MP en 5 puntos de la UIS lo cuales se escogieron tratando de abarcar la mayor área; el resultado general fue una buena calidad de aire tanto para TSP como para PM_{10} , esto se deduce debido a que en ningún punto de monitoreo la concentración de MP se aproximó a la norma legal vigente.
- La caracterización por AAS para hallar metales pesados, tales como el Hierro (Fe) y cobre (Cu) fue satisfactoria ya que demostró la presencia de estos en las dos fracciones de MP (TSP y PM_{10}). La espectroscopia de UV-Vis con reflectancia difusa permitió observar cualitativamente la presencia de Hollín en el MP recolectado especialmente en la fracción TSP.
- Al analizar los filtros de Material Particulado por SEM-EDS se pudo observar la morfológica de este a 10 micras y se conoció la composición elemental de cada filtro, mostrando elementos como el C, O, Si, Fe, Cu, S, Al, Mg, Ca, entre otros, lo que nos permitió comprobar la presencia de los metales pesados hallados por AAS.
- Al comparar las concentraciones de MP con la legislación nacional se evidencio la buena calidad de aire que hay dentro de la Universidad Industrial de Santander; también se comparo con los niveles que maneja la red de calidad de aire del municipio y es totalmente contraria, pues ellos manejan calidad de aire regular con tendencia a mala.
- Las técnicas analíticas utilizadas fueron precisas, confiables y muy útiles al momento de caracterizar el Material Particulado.

8 RECOMENDACIONES

- Este proyecto deja en claro la importancia de realizar monitoreos de calidad de aire periódicos (por lo menos una vez al año) dentro de la universidad como método de prevención y no solamente MP, sino todos los contaminantes criterios que se encuentran en la legislación nacional.
- La implementación y adquisición de una estación móvil de calidad de aire donde se pueda medir automáticamente todos los contaminantes criterios.
- La continuidad en investigación en esta área de la química ambiental tan nueva en nuestra universidad.
- Campañas para fomentar el uso de la bicicleta dentro de la universidad, lo que lleva a concientizar a la comunidad universitaria sobre la importancia de cuidar la calidad de aire.

BIBLIOGRAFIA

1. Lung cancer, cardio pulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. Pope ca 3rd, Burnett Rt, ThunMj, Calleee, Krewski D, Ito K, Thurston Gd. 2002
2. Observatorio de Salud Publica de Santander Numero 1 análisis de morbilidad atendida en Santander año 2004. Fecha de publicación 2006.
3. Columna “*Bucaramanga y el área se 'rajan' en calidad ambiental*” de periódico *Vanguardia Liberal*. 7 de Diciembre de 2008.
4. Bart Wojas, Catherine Almquist (2007) Mass concentrations and metals speciation of PM_{2.5}, PM₁₀, and total suspended solids in Oxford, Ohio and comparison with those from metropolitan sites in the Greater Cincinnati region.
5. M.I. Alfredo Campos Trujillo (2006) Evaluación De Partículas Atmosféricas PST Y PM₁₀ En La Ciudad De Chihuahua, México: Niveles De Concentración, Composición Elemental E Identificación De Fuentes Emisoras.
6. Jorge Eduardo Pachón, Hugo Sarmiento Vela (2006) Análisis espacio-temporal de la concentración de metales pesados en la localidad de Puente Aranda de Bogotá-Colombia.
7. Corporación por la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) Subdirección de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio. Grupo de Información e Investigación Ambiental Tercer Informe de Calidad de aire 2012. Octubre de 2012
8. Mészáros E. (1999) Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry. Akadémiai Kiadó.
9. Warneck P. (1988) Chemistry of the Natural Atmosphere. International Geophysics Series. R Dmowska & J R Holton (Eds.). Vol. 41., Academic Press, 755.
10. Evaluación Nacional De Los Niveles De Compuestos Tóxicos En El Aire Durante 1996: Estimados Sobre Emisiones, Concentraciones Y Riesgos. EPA 2002
11. Sabasuros and Mariasuros. *Environmental Sampling and Analysis for Metals*. CRC 2002

12. Torrent, J.; Barron, V. *Diffuse reflectance spectroscopy of iron oxides*. Encyclopedia of Surface and Colloid Science. 2002.
13. Hendrik K. Kammler and Lutz Mädler, *Characterization of Fine Dry Powders*. CRC. 2005
14. Engler, O.; Randle, V. *Scanning Electron Microscopy-Based Techniques*. CRC. 2010.
15. Paul Quincey. *A relationship between Black Smoke Index and Black Carbon concentration*. Atmospheric Environment 41 (2007) 7964–7968
16. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Manual de diseño de sistemas para la vigilancia de la calidad del aire*. Pág. 69, 73-74. Octubre de 2010.
17. R.K. Xie*, H.M. Seipa, J.R. Leinumb, T. Winjec, J.S. Xiao. *Chemical characterization of individual particles (PM₁₀) from ambient air in Guiyang City, China*. Science of the Total Environment 343 (2005) 261– 272.2004
18. Environmental Protection Agency. *Method IO-3.2 Determination Of Metals In Ambient Particulate Matter Using Atomic Absorption (Aa) Spectroscopy*. 1999.
19. Violeta Múgica Marisela Maubert Miguel Torres José Muñoz Enrique Rico. *Temporal and spatial variations of metal content in TSP and PM₁₀ in Mexico City during 1996–1998*. Aerosol Science 33 (2002) 91–102

ANEXOS

ANEXO A: PROTOCOLOS DE MONITOREO

DETERMINACION DE METALES EN EL MATERIAL PARTICULADO AMBIENTAL POR ABSORCIÓN ATÓMICA.

1. OBJETIVO

Este método es aplicable para la determinación de metales en el material particulado suspendido recolectado en el aire ambiente por espectroscopia de absorción atómica.

2. ALCANCE

El siguiente procedimiento permite la cuantificación en mg/m³ de metales como el Hierro y el Cobre en el material particulado suspendido en el aire atmosférico.

3. FUNDAMENTO

Este método se fundamenta en el METODO IO-3.2 de la EPA.

4. RESPONSABILIDAD

El personal de monitoreo es el encargado de cumplir con las especificaciones que se establecen en este procedimiento.

5. EQUIPOS, MATERIALES Y CONSUMIBLES

EQUIPOS

Espectroscopio de Absorción Atómica

Lámpara de cátodo para cada metal

Gases de funcionamiento, aire, acetileno, óxido nítrico

Reóstato

Cabina de Extracción

MATERIALES

Vasos de precipitado (beaker)

Balones aforados de 100 ml

Pipetas

Placa de calentamiento

Vidrio reloj

Varilla de agitación

Frasco de plástico ámbar

REACTIVOS

Ácido nítrico (HNO_3)

Ácido clorhídrico (HCl)

Agua Desionizada (D.I)

Soluciones patrón para metales en este caso Hierro y Cobre.

6. PROCEDIMIENTO

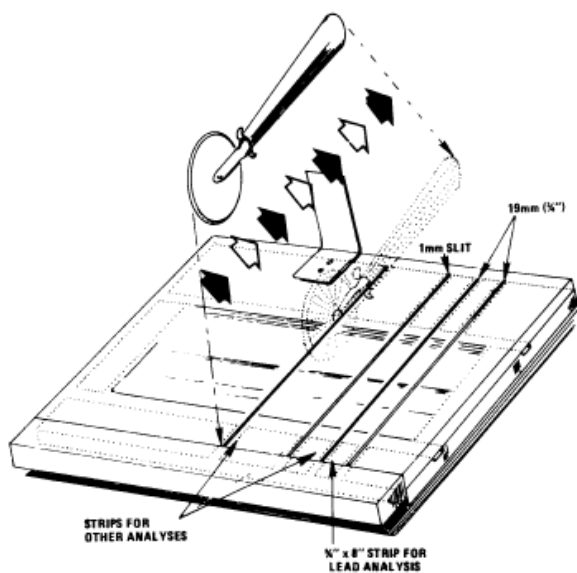
6.1 Muestreo. Recolecte muestras por un periodo de 24 horas usando el procedimiento descrito en el protocolo de muestreo de Material Particulado. Transporte las muestras recolectadas al laboratorio con precaución para minimizar la contaminación o pérdidas de la muestra.

6.2 Preparación de la muestra.

6.2.1 Procedimiento de extracción en caliente.

6.2.1.1 Corte tiras de $\frac{3}{4}$ "x8" del filtro expuesto usando una plantilla y un cortador como se describe en la figura 1 y 2. Otros procedimientos de corte pueden ser usados.

Figura 2. Cortador para el corte del filtro.



Fuente: Código Federal de Regulaciones –CFR 40 parte 50 apéndice G, edición 2009.

6.2.1.2 Pliegue la tira en dos y colóquela en un beaker de 150ml. Adicione 15 ml de HNO_3 3 M para cubrir la muestra. El ácido debe cubrir completamente la muestra. Tape el Baker con un vidrio de reloj.

6.2.1.3 Coloque el beaker en la plancha de calentamiento, conteniendo los gases generados y calientes por 30 min. No permita que la muestra se evapore. Nota: los gases del ácido nítrico son tóxicos.

6.2.1.4 Remueva el beaker de la plancha de calentamiento y deje enfriar a temperatura ambiente.

6.2.1.5 Transfiera cuantitativamente la muestra como sigue:

6.2.1.5.1 Enjuague el vidrio de reloj y las paredes del beaker con agua D.I.

6.2.1.5.2 Decante el extracto y transfiera a un balón volumétrico de 100 ml.

6.2.1.5.3 Adicione 40 ml agua D.I., cubra con un vidrio de reloj y deje reposar por 30 minutos. Este es un paso crítico y no puede ser omitido ya que permite que el HNO₃ atrapado en el filtro sea diluido dentro del enjuague de agua.

6.2.1.5.4 Decante el agua del filtro dentro del balón volumétrico.

6.2.1.5.5 Enjuague el filtro y el beaker dos veces con agua D.I. y agregue el enjuague al Balón volumétrico hasta un volumen total de 80 a 85 ml.

6.2.1.5.6 Tape el balón con un tapón y agite vigorosamente. Deje reposar por aproximadamente 5 minutos o hasta que la espuma haya desaparecido.

6.2.1.5.7 Lleve la solución a volumen con agua D.I. Mezcle bien.

6.2.1.5.8 Permita que la solución repose por al menos 1 hora antes de seguir con el análisis.

6.2.1.5.9 Si la muestra es almacenada para un posterior análisis, transfiera a una botella de polietileno lineal.

CALIBRACION

7.1 La aplicación de análisis de absorción atómica, al igual que otros métodos de análisis, tiene un límite de detección inferior, que es específico para cada instrumento. Por lo tanto, las curvas de calibración deben ser construidas utilizando no sólo las soluciones estándar, sino también condiciones estándar para cada equipo. Las condiciones básicas incluyen parámetros instrumentales, la llama del quemador de gas, y las tasas de aspiración.

En el análisis de muestras de rutina, varios estándares deben procesarse con cada conjunto de muestras de modo que los parámetros de funcionamiento son

exactamente los mismos para la muestra y el estándar. Los procedimientos estándar para el análisis lo suministra el manual del equipo.

Las curvas de calibración se deben construir para cada elemento, y las soluciones estándar deben ser analizadas cada vez que se ejecuta un conjunto de muestras. Las curvas de calibración se deben enumerar todos los parámetros del instrumento, así como los métodos de preparación de muestras.

7.2 Preparar soluciones estándar a partir de las soluciones patrones de 1000 ppm de cada metal.

Seleccionar al menos tres niveles (más el blanco de reactivo) para cubrir el intervalo lineal se indica en las instrucciones del fabricante del instrumento. Aspirar las normas en la llama y registrar la absorbancia. Repita hasta que se obtenga una buena concordancia entre las réplicas.

Preparar una curva de calibración graficando la absorbancia (eje y) frente al metal concentración de metal en g / ml (eje x). Calcular la línea más idónea para los puntos de datos por el método de los mínimos cuadrados. Utilice la línea de mejor ajuste o su ecuación para obtener la concentración de metales en las muestras a analizar.

7.3 Se calcula la recta de calibrado por el procedimiento de regresión por mínimos cuadrados de la siguiente manera:

$$y = mx + c$$

8. CALCULOS

8.1 volumen de aire muestreado

A temperatura y presión estándar (STP) [25°C y 760 mm de Hg] para rotámetro, el volumen de aire de la muestra, se utilizan la siguiente ecuación:

$$V_{std} = [(Q_i + Q_f) / 2] t$$

Donde:

V_{std} = volumen de aire muestreado, m³.

Q_i = caudal de aire inicial, m³/min en STP.

Q_f = caudal de aire final, m³/min en STP.

t = periodo de muestreo (tiempo transcurrido), min.

Para muestreadores equipados con registradores de flujo:

$$V = (Q) (T)$$

Donde:

Q = velocidad de muestreo promedio, m³/min en STP.

8.2 La concentración del metal

8.2.1 Estimación de la concentración del metal de intereses del filtro en blanco.

Para el ensayo de grandes lotes de filtros (> 500 filtros), seleccionar al azar entre 20 y 30 filtros de un lote determinado. Para lotes pequeños (<500 filtros) se puede tomar menor número de filtros. Cortar unos 3,8 x 20,3 cm (3/2 "x 8") de tira de cada filtro. Analizar todas las tiras por separado.

8.2.2 Calcular la concentración total del metal de interés en cada filtro como:

$$F_{bi} = (\mu\text{g de metal} / \text{ml}) \times (\text{volumen de extracción final} / \text{tira}) \times (6)$$

Donde:

F_{bi} = cantidad de metal por 465 cm² (72 pulgada cuadrada) de filtro en blanco, μg .

$\mu\text{g de metal} / \text{ml}$ = concentración de metal determinada a partir de la Sección 7.2.

Volumen de extracto final (ml) / tira = volumen total de extracción de la muestra de procedimiento de extracción (es decir, 100 ml).

$$6 = 464,52 \text{ cm}^2 / 77.42 \text{ cm}^2.$$

8.2.3 Cálculo de la concentración del metal de interés del filtro expuesto.

La Concentración del metal en la muestra de aire se puede calcular a partir de datos tabulados en el formulario de registro de datos de la siguiente manera:

$$C = [(\mu\text{g de metal} / \text{ml} \times (\text{volumen de extracción final} / \text{tira}) (6) - FM] / V_{\text{std}}$$

Donde:

C = concentración $\mu\text{g de metal} / \text{std. m}^3$.

$\mu\text{g de metal} / \text{mL}$ = concentración de metales determinada a partir de la Sección 7.

Volumen de extracto final (ml) / tira = volumen total de extracción de la muestra de procedimiento de extracción.

$$6 = \frac{\text{área en uso del filtro } 20\text{cm} \times 23\text{cm} (8" \times 9")}{\text{área de una tira expuesta, } 3,8\text{cm} \times 20\text{cm} (\frac{3}{2}" \times 8")}$$

Fm = concentración media de filtros en blanco, g.

Vstd = volumen de aire arrastrado a través del filtro, std. m³.

9. BIBLIOGRAFIA

Environmental Protection Agency. Method IO-3.2 Determination Of Metals In Ambient Particulate Matter Using Atomic Absorption (AA) Spectroscopy. 1999.

CFR 40 parte 50 apéndice G, edición 2009.

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE MATERIAL PARTICULADO PM₁₀

1. OBJETIVO

Este método es aplicable para la determinación de la concentración de material particulado medido como PM₁₀ en un volumen de aire atmosférico.

2. ALCANCE

El siguiente procedimiento permite la cuantificación en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de Material particulado en la fracción PM₁₀ en un volumen de aire atmosférico.

3. FUNDAMENTO

Este método se fundamenta en el - Apéndice J Parte 50-CFR 40

4. RESPONSABILIDAD

El personal de monitoreo es el encargado de cumplir con las especificaciones que se establecen en este procedimiento.

5. EQUIPOS, MATERIALES Y CONSUMIBLES

5.1 EQUIPO

Muestreador manual de partículas PM₁₀ (High Vol PM₁₀)

Marca: TISCH Ref:TE-6070V

País: USA

Componentes

Cabezote de entrada

Conjunto de motor

Soporte del filtro

Controlador de flujo volumétrico con tabla de calibración

Timer mecánico

Indicador de tiempo transcurrido

Registrador de flujo

Manómetro

Carcasa de aluminio

Cartas registradoras

Repuestos

Líquido manométrico

MATERIALES Y CONSUMIBLES

Cartas registradoras 1 por cada 24h

Calibrador

Líquido manométrico

Escobillas naranjas (Duración 500h)

Motor (recomendado cambio a las 1500h)

Plumilla roja

Filtros de cuarzo

6. PROCEDIMIENTO

Revise el filtro para ver que no tenga ninguna imperfección (huecos o partículas).

Identifique el filtro mediante numeración en la bolsa donde se guardan.

Se introduce el filtro en un desecador por espacio de 24 horas.

Saque el filtro seco colocándose guantes y pese el filtro en balanza analítica que tenga mínimo cuatro cifras significativas

Registre el peso del filtro seco en el formato F0-1

No doble o incline el filtro antes de la toma de la muestra

Abra la cubierta del muestreador e introduzca el filtro, utilice guantes para evitar alteraciones a la muestra.

Cierre la cubierta

Encienda el equipo, registre durante cinco minutos la temperatura, la presión barométrica y la lectura de indicador de flujo en el formato F-02

Detenga el muestreador y determine la velocidad del flujo, si se encuentra por fuera del rango aceptable según la Norma EPA (1.02 min/m^3 - 1.7 min/m^3) ajuste.

Registre la información de identificación del muestreador, número de filtro, localización, fecha y tiempo de inicio en el formato F-02.

Ajuste el timer mecánico para dar inicio el periodo de muestreo que debe terminar exactamente 24 horas después.

Al terminar periodo de muestreo detener el muestreador.

Remueva cuidadosamente el filtro, revisando este que no tenga ningún deterioro. Se toma los extremos del filtro y se retira cuidadosamente todo material externo que no sea material particulado (insectos, hojas, etc.)

doble el filtro por la mitad de tal manera que queden en contacto las zonas que contengan material particulado, y se envuelve en bolsa transparente o en un sobre de manila

Registre el tiempo de finalización del muestreo desde que se registró el filtro hasta que se retiró del muestreador. El periodo de muestreo debe ser de 1440 ± 60 min para que la muestra sea válida.

Anote sobre el filtro (bolsa con sello hermético) toda la información obtenida y cualquier factor que sea pertinente a la medida, como alto flujo vehicular, alguna construcción, etc.

Repita pasos 5 y 6 al iniciar un nuevo muestreo.

Introduzca el filtro con la muestra en un desecador para adecuarlo a las condiciones medio ambientales durante 24 horas.

Repita paso número 4.

calcule el valor total de material particulado muestreado

Proceda a calcular la concentración de PM_{10} en el aire atmosférico.

Guarde adecuadamente Los filtros con sus pesos por espacio de un año para análisis posteriores.

7. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO HI-VOL PM₁₀

Requisitos generales

La discriminación de tamaño de partículas por separación inercial, requiere que se Mantengan velocidades específicas del aire a la entrada del muestreador. Por lo tanto la velocidad de flujo que pasa a través de la entrada del muestreador debe mantenerse durante el período de muestreo dentro de los intervalos especificados por el fabricante. Las velocidades de flujo de diseño se especifican como velocidades volumétricas reales de flujo, medidas a condiciones existentes de temperatura y presión, Q_a . En contraste, las concentraciones de masa de PM₁₀ se calculan utilizando velocidades de flujo corregidas a condiciones de temperatura y presión, $Q_{(std)}$ normales.

Procedimiento de calibración de la velocidad de flujo

Los muestreadores PM₁₀ emplean varios tipos de sistemas para el control y medición de flujo. El procedimiento específico utilizado para calibrar o verificar la velocidad de flujo variará dependiendo del tipo de controlador e indicador de flujo empleado. Generalmente se recomienda la calibración en términos de velocidades volumétricas reales de flujo Q_a , pero se pueden utilizar otras medidas como $Q_{(std)}$, siempre y cuando cumplan los requisitos de la sección. El procedimiento general

se basa en unidades de flujo volumétrico real, Q_a y sirve para ilustrar los diferentes pasos para la calibración de un muestreador PM_{10} .

7.1.1 Se calibra el dispositivo estándar de transferencia de velocidad de flujo contra un flujo primario o un volumen normal. Se establece una relación de calibración (ejemplo: una ecuación o una familia de curvas), de tal manera que la comparación con el patrón primario tenga una precisión del 2 % del intervalo esperado a condiciones ambientales (por ejemplo: temperaturas y presiones), bajo las cuales el patrón transferido será usado. Se recalibra el patrón de transferencia periódicamente.

7.1.2 Se retira la cubierta de entrada; Se conecta el dispositivo patrón de transferencia de flujo al muestreador, de tal forma que mida exactamente la velocidad de flujo del muestreador. Se debe asegurar que no haya fugas entre el dispositivo patrón de transferencia y el muestreador.

7.1.3 Se escogen mínimo tres velocidades de flujo reales (m^3/min), espaciadas en un intervalo aceptable de velocidades de flujo especificadas para la entrada, que puedan obtenerse con un adecuado ajuste de la velocidad de flujo del muestreador. De acuerdo con el manual de instrucciones se obtiene o verifica la relación de calibración entre la velocidad de flujo real indicada por el dispositivo patrón de transferencia y la respuesta del indicador de flujo del muestreador.

7.1.4 Encienda el equipo y registre la temperatura ambiente y la presión barométrica. En el formato F-04 Se pueden requerir correcciones de temperatura y

presión en las lecturas siguientes del indicador de flujo para ciertos sistemas de medición de flujo.

7.1.5 Se verifica la calibración, con un filtro limpio instalado, que el muestreador esté operando a su velocidad de flujo de diseño.

7.1.6 Se coloca nuevamente la cubierta de entrada del muestreador.

8. Calculo de la concentración de PM₁₀

8.1 Se determina el promedio de la velocidad de flujo durante el período de muestreo, corregido a condiciones estándar como Q_{std} , se calcula como:

$$Q_{std} = Q_a \times \left(\frac{P_{(av)}}{T_{(av)}}\right) \left(\frac{T_{(std)}}{P_{(std)}}\right)$$

Donde:

Q_{std} = Velocidad de flujo promedio a condiciones de referencia, m³/min.

Q_a = Velocidad de flujo promedio a condiciones ambientales, m³/min

$P_{(av)}$ = presión barométrica promedio durante el muestreo o presión barométrica promedio para el sitio de muestreo

$T_{(av)}$ = Temperatura ambiente promedio durante el periodo de muestreo o temperatura ambiente promedio para el sitio de muestreo, K.

$T_{(std)}$ = Temperatura normal, definida como 298 K

$P_{(std)}$ = Presión normal, definida como 101,3 kPa o 760 mm Hg

8.2 Se calcula el volumen total de aire muestreado como:

$$V = Q_{(std)} \times t$$

Donde:

V = volumen total de aire muestreado, en unidades de volumen, m^3

$Q_{(std)}$ = velocidad de flujo normal promedio, m^3/min

t = tiempo de muestreo, min.

8.3 se calcula la concentración de PM_{10} como:

$$PM_{10} = \frac{(W_f - W_i) \times 10^6}{V}$$

Donde:

PM_{10} = concentración másica del material particulado suspendido, $\mu g/m^3$.

W_i = peso inicial del filtro limpio, g.

W_f = peso final del filtro expuesto, g

V = volumen de aire muestreado, convertido a condiciones normales, m^3

10^6 = conversión de g a μg .

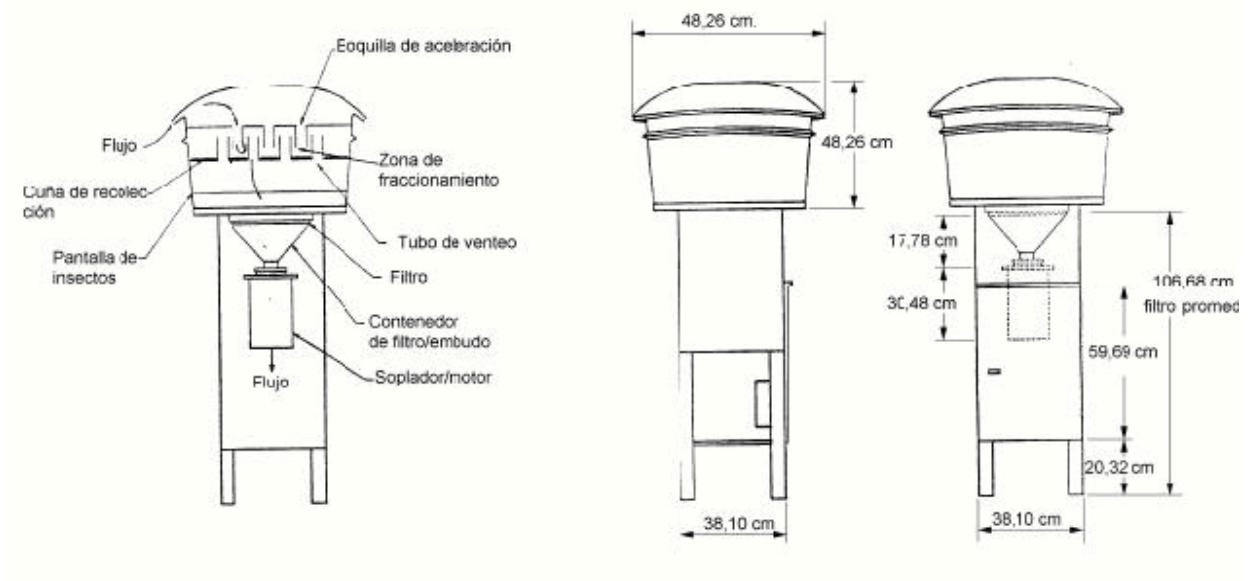


Figura 1. Muestreador Hi-Vol para PM_{10} .

9. BIBLIOGRAFIA

Environmental protection agency. Code of federal regulations. Appendix J to part 50—Reference method for the determination of particulate matter as pm_{10} in the atmosphere.

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE PARTICULAS TOTALES

1. OBJETIVO

Este método es aplicable para la determinación de la concentración de material particulado medido como partículas totales en suspensión (TSP) en un volumen de aire atmosférico.

2. ALCANCE

El siguiente procedimiento permite la cuantificación en mg/m³ de partículas totales en suspensión TSP en un volumen de aire atmosférico.

3. FUNDAMENTO

Este método se fundamenta en el - Apéndice B Parte 50-CFR 40

4. RESPONSABILIDAD

El personal de monitoreo es el encargado de cumplir con las especificaciones que se establecen en este procedimiento.

5. EQUIPOS, MATERIALES Y CONSUMIBLES

EQUIPO

High Vol TSP

Serial: 21214

Marca: Graseby Andersen

País: EE UU

Componentes

Cabezote

Portafiltro

Lamina de Soporte cabezote

Controlador de flujo másico. MFC

Alojamiento del motor

Motor

Manómetro

Horometro

Temporizador

MATERIALES Y CONSUMIBLES

Filtros de fibra de vidrio

Kit de calibración

Motor de flujo volumétrico

6. PROCEDIMIENTO

Enumerar cada filtro antes de su acondicionamiento y revisar si tiene algunas imperfecciones como huecos o partículas.

Se debe introducir el filtro en desecador por 24 horas, luego se pesa en balanza analítica y se registra el peso en formato F0-1

No se debe doblar o inclinar el filtro antes de la toma de la muestra

Se abre la cubierta del muestreador para introducir el filtro previamente pesado y numerado, la manipulación del filtro se debe realizar con mucho cuidado para evitar alteraciones a la muestra.

Se cierra la cubierta y se corre la muestra por 5 minutos para estabilizar la temperatura de la corrida.

Se registra la lectura de indicador de flujo, la presión barométrica, y la temperatura ambiente en el formato F-02

Se detiene el muestreador y se debe determinar la velocidad del flujo de este y si esta por fuera del rango aceptable ($1.1\text{min}/\text{m}^3$ - $1.7\text{min}/\text{m}^3$) ajustar.

Se registra la información de identificación del muestreador (número de filtro, localización, fecha y tiempo de inicio) en el formato anterior.

Se ajusta el reloj para iniciar el periodo de muestreo que debe terminar exactamente 24 horas después. Esto se lleva a cabo con un temporizador.

Al terminar periodo de muestreo se debe detener el muestreador y remover cuidadosamente el filtro, revisando este que no tenga ningún deterioro. Se toma los extremos del filtro y se retira cuidadosamente todo material externo que no sea material particulado (insectos, hojas, etc.)

Se dobla el filtro por la mitad de tal manera que queden en contacto las zonas que contengan material particulado, y se envuelve en papel transparente o en un sobre de manila

Se registra el tiempo de finalización del muestreo desde que se registró el filtro hasta que se retiró del muestreador. El periodo de muestreo debe ser de 1440 ± 60 min para que la muestra sea válida.

Se debe anotar sobre el filtro (sobre de manila) toda la información obtenida y cualquier factor que sea pertinente a la medida, como alto flujo vehicular, alguna construcción, etc.

Se repite pasos 5 y 6 al iniciar un nuevo muestreo.

El filtro con la muestra se debe introducir en un desecador para equilibrarlo con las condiciones medio ambientales durante 24 horas.

Después de estar en el desecador el tiempo establecido el filtro se vuelve a pesar en la misma balanza y procedimiento del numeral 2.

Con el valor del peso final se puede calcular el valor total de material particulado muestreado y se procede a calcular la concentración de TSP en el aire atmosférico.

Los filtros con sus pesos finales se pueden guardar adecuadamente por espacio de un año para análisis posteriores.

7. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO HI-VOL TSP

Certificación de los patrones de transferencia de flujo

7.1.1 equipo requerido: el medidor de volumen patrón de desplazamiento positivo, trazable con el del centro nacional de meteorología o patrones relacionados con este, cronómetros, manómetros, termómetros y barómetros.

7.1.2 se conecta el patrón de transferencias de flujo al interior del medidor del patrón de volumen; se conecta el manómetro para medir la presión en la entrada del medidor de volumen patrón. Se conecta el manómetro de orificio a la llave de presión sobre el patrón de transferencia. Se conecta una bomba de aire de alto volumen (como un ventilador muestreador de alto volumen) a la salida del medidor de volumen patrón.

7.1.3 se revisan las fugas apretando temporalmente ambas líneas del manómetro (para evitar pérdida de fluido), y bloqueando el orificio con un tapón de caucho de diámetro grande, u cualquier otro dispositivo adecuado. Se enciende la bomba de alto volumen y se observa si hay cualquier cambio en el medidor de volumen patrón. La lectura debe permanecer constante si esta calibrado, de lo contrario se debe localizar cualquier fuga, escuchando un silbido o apretando todas las conexiones, para asegurarse de que todos los empaques estén correctamente instalados.

7.1.4 Después de comprobar que no hay fugas en el equipo, se quita la presión aflojando ambas líneas del manómetro y se coloca en cero ambos manómetros.

7.1.5 para obtener la velocidad de flujo adecuada en todo el sistema, hay dos formas: por medio de la resistencia del flujo variable en el patrón de transferencia o variando la tensión de la bomba de aire. Se hace necesario por lo menos 5 tasas de flujo diferentes pero constantes, uniformemente distribuidas y con por lo menos 3 en el intervalo de tasa de flujo especificado ($1,1\text{m}^3/\text{min}$ a $1,7\text{m}^3/\text{min}$).

7.1.6 se miden y se registran los datos de certificación en el formato F0-3 de acuerdo con los siguientes paso.

7.1.7 se registra la Presión barométrica como P1; la temperatura ambiente de los alrededores como T1; se enciende el ventilador del motor, se ajusta el flujo y se

deja correr el sistema por lo menos un minuto hasta conseguir que la velocidad del motor sea constante.

7.1.8 se observan las lecturas del medidor de volumen estándar y se da inicio al cronometro. Se registra la lectura inicial del medidor (v_1).

7.1.9 se mantiene esta tasa de flujo constante hasta que por lo menos 3.0 m^3 de aire hayan pasado a través del medidor de volumen patrón. Se registra la lectura de presión del manómetro a la entrada del medidor como ΔP y la lectura del manómetro de orificio como ΔH . verificar que se indiquen las unidades correctas de medición.

7.1.10 luego que los 3.0 m^3 de aire hayan pasado a través del sistema, se observan las lecturas del medidor de volumen patrón y se detiene simultáneamente el cronómetro. Se registra la lectura final del medidor (V_f) y el tiempo transcurrido (t).

7.1.11 se calcula el volumen medido por el medidor de volumen patrón a las condiciones estándares de presión y temperatura así: $V_m = V_f - V_i$, y se registra en el formato.

7.1.12 Se corrige este volumen al volumen estándar así:

$$V_{std} = V_m \frac{P_1 - \Delta P}{P_{std}} \frac{T_{std}}{T_1}$$

Donde:

V_{std} = volume standard, $\text{m}^3 \text{ std}$;

V_m = volumen real medido por medidor patrón de volumen

P_1 = presión barométrica durante la calibración, mm Hg or kPa;

ΔP = diferencial de presión desde la entrada hasta el medidor de volumen, mm Hg o kPa;

P_{std} = 760 mm Hg o 101 kPa;

T_{std} = 298 K;

T_1 = temperatura ambiente durante la calibración, K

Calcular la velocidad de flujo estándar así:

$$Q_{std} = \frac{V_{std}}{t}$$

Donde:

Q_{std} = velocidad estándar de flujo volumétrico, std m³/min

t = tiempo transcurrido, minutos.

Se registra el Q_{std} mas aproximado a 0.01 std m³/min

7.1.13 se repiten los pasos 7.1.7 a 7.1.12 para obtener al menos 4 constantes adicionales de velocidad de flujo en un rango aproximado entre 1,0 y 1,8 m³/min.

7.1.14 calcular para cada flujo:

$$\sqrt{\Delta H \left(\frac{P_1}{P_{std}} \right) \left(\frac{298}{T_1} \right)}$$

Graficar este valor contra Q_{std} . Tener muy presente el uso de unidades consistentes (mm Hg o kPa) para la presión barométrica. Hacer la curva de

calibración estándar del orificio de transferencia o calcular la pendiente (m) y el intercepto (b) de la curva de certificación por el método de mínimos cuadrados.

$$\sqrt{\Delta H \left(\frac{P_1}{P_{std}} \right) \left(\frac{298}{T_1} \right)} - mQ_{(std)} + b$$

La grafica debe ser leíble a 0,02 m³/min.

7.1.15 La calibración del dispositivo se realiza anualmente o cuando sea necesario por los procedimientos aplicables de control de calidad.

7.2 Calibración de muestreadores con flujo controlado

Este tipo de muestreadores solo se puede calibrar a su velocidad de flujo controlado con la condición de que el registro previo a la operación del muestreador demuestre que la velocidad de flujo es estable y confiable. Con este tipo de muestreadores se debe calibrar más seguido para minimizar pérdidas potenciales de muestreo por un funcionamiento incorrecto del controlador.

7.2.1 se gradúa el controlador a un flujo cercano al límite más bajo del intervalo de flujo para permitir un intervalo máximo de control.

7.2.2 Se instala un filtro limpio en el muestreador y se procede de la siguiente manera:

7.2.3 Se conecta el dispositivo patrón de transferencia a la entrada del muestreador. Se conecta el manómetro del orificio a la llave de presión. Se verifica que no haya fugas en los orificios ni en el muestreador.

7.2.4 Se enciende el muestreador por lo menos 5 minutos para establecer el equilibrio térmico previo a la calibración.

7.2.5 Se mide y registra la temperatura ambiente T_a y la presión barométrica P_a durante la calibración en el formato F-04.

7.2.6 Se ajustan las resistencias variables y se deja funcionar el muestreador por lo menos 2 minutos para restablecer las condiciones de temperatura. Se lee y se registra la caída de presión a través del orificio (H) y la indicación de velocidad de flujo (I).

7.2.7 Se calcula:

$$Q_a = \sqrt{LMD \left(\frac{T_a}{P_a} \right)} - b$$

Se determina la velocidad de flujo a condiciones normales Q_{std} gráficamente

De la curva de calibración o calculando el Q_{std} de la pendiente y el intercepto por el método de los mínimos cuadrados, de la curva estándar de certificación transpuesta:

$$Q_{std} = Q_a \left(\frac{P_a * T_{std}}{P_{std} * T_a} \right)$$

8. Calculo de la concentración de TSP

8.1 Se determina el promedio de la velocidad de flujo durante el período de muestreo, de acuerdo a los numerales 8.1.1

8.1.1 para un muestreador con un registrador de flujo continuo, se determina la lectura del instrumento de la velocidad de flujo promedio, I para el periodo. Se escoge la expresión adecuada en la tabla 2. Cuando se use esta expresión y el promedio de la velocidad de flujo registrada, se determina Q_{std} de la curva de calibración o gráficamente, según la ecuación de regresión transpuesta:

$$Q_{(std)} = \frac{1}{m([\text{expresión apropiada según tabla 2}] - b)}$$

Tabla2. Expresiones para determinar la rata de flujo durante la operación de muestreo

	Expresiones	
Tipo de muestreador de rata de flujo, dispositivo de medición	Correcciones para presión y temperatura actuales	Para uso cuando el promedio geográfico de presión y promedios de temperatura estacional hayan sido incorporados dentro de la calibración del muestreador
Medidor de flujo de masa		

Indicador de orificio y presión	$\sqrt{I \left(\frac{P_2}{P_{std}} \right) \left(\frac{298}{T_2} \right)}$	\sqrt{I}
Rotámetro o medidor de orificio y presión con un registrador que tiene una escala de raíz cuadrada.	$I \sqrt{I \left(\frac{P_2}{P_{std}} \right) \left(\frac{298}{T_2} \right)}$	I

8.2 Se calcula el volumen total de aire muestreado como:

$$V = Q_{(std)} \times t$$

Donde:

V = volumen total de aire muestreado, en unidades de volumen, m³

Q_(std) = velocidad de flujo normal promedio, m³/min

t = tiempo de muestreo, min.

8.3 se calcula y se reporta la concentración de material particulado como:

$$TSP = \frac{(W_f - W_i) \times 10^6}{V}$$

Donde:

TSP = concentración másica del material particulado suspendido, g/m³.

W_i = peso inicial del filtro limpio, g.

W_f = peso final del filtro expuesto, g

V = volumen de aire muestreado, convertido a condiciones normales, m³

10⁶ = conversión de g a µg.

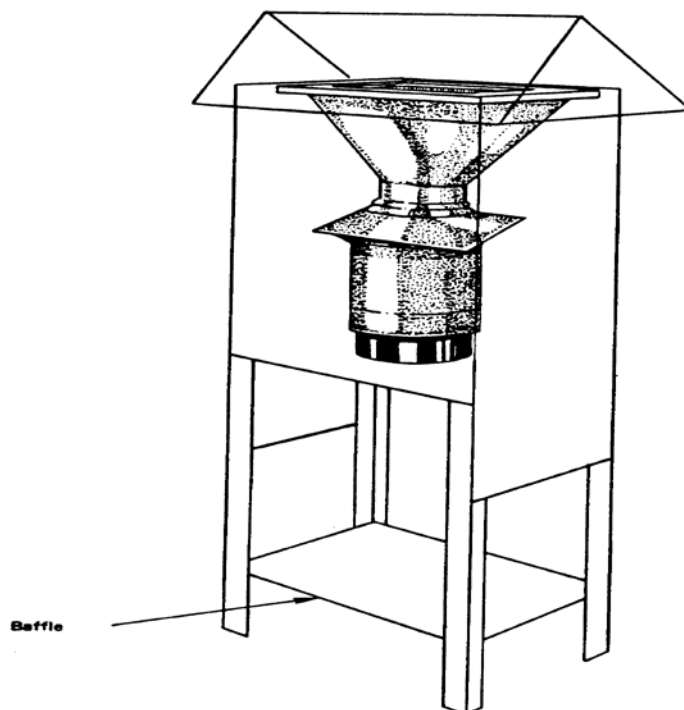


Figure 1. High-volume sampler in shelter.

Figura 1. Muestreador Hi-Vol para TSP.

9. BIBLIOGRAFIA

Environmental Protection Agency. Code of Federal Regulations. Appendix B To Part 50—Reference Method For The Determination Of Suspended Particulate Matter In The Atmosphere (High-Volume Method).

		Formato -02 registro de monitoreo de PM ₁₀	
Lugar:			Fecha:
Temperatura Ambiente:			Presión barométrica:
Velocidad de Flujo:			
# de filtro	Hora de inicio	hora de finalización	Observaciones

Responsable: _____

HOJA DE CALCULO CALIBRACION SISTEMA VOLUMETRICO

MUESTREADORES DE ALTO VOLUMEN PM-10

Fecha		Calib/mod./serie		Sistema Volumétrico	Garganta venturi
Datos de campo		Fecha expedición		Modelo	
Lugar		M		Serie No.	
Presión		B			
Temperatura		R			

No. Puntos	Lectura Manómetro Diafragma (LMD)	Lectura Manómetro presión Estancamiento Plg H2O (LME)	Presión de Estancamiento mm Hg (Pe)	Qa (1.02 - 1.24)	Po/Pa	Qd	% Dif	Qstd
1								
2								
3								
4								
5								
6								

Ecuaciones:

- $Q_a = \text{Flujo de Operación de muestra}$

- $a = (1/m) \sqrt{\text{LMD}} (T_a/P_a) - b$

- $M = \text{Pendiente según especificación Calibrador}$

- $a = \text{Temperatura ambiente en } ^\circ\text{K} (^\circ\text{K} = ^\circ\text{C} + 273)$

- $a = \text{Presión Barométrica en mm Hg}$

- $e = \text{Presión de estancamiento en mm Hg}$

- $e = 25,4 (\text{LME}/13,6)$

- $o/P_a = 1 - (P_e/P_a)$

- $o = \text{Presión de radio}$

- $std = \text{Temperatura estándar (298.18 } ^\circ\text{K)}$

- $std = \text{Presión estándar (760 mm Hg)}$

- $d = \text{Flujo del diafragma según tablas}$

- $std = \text{Flujo Corregido}$

$$Q_{std} = Q_a \left(\frac{P_a * T_{std}}{P_{std} * T_a} \right)$$
$$P_{std} * T_a$$

- $\text{Dif} = \left(\frac{Q_d - Q_a}{Q_a} \right)$

HOJA DE CALCULO CALIBRACION SISTEMA MASICO

MUESTREADORES DE ALTO VOLUMEN TSP

Fecha		Calib/mod./serie	
Datos de campo		Fecha expedición	
Lugar		M	
Presión		B	
Temperatura		R	

No. Puntos	Lectura Manómetro Diafragma (LMD)	Lectura Manómetro presión Estancamiento Plg H2O (LME)	Presión de Estancamiento mm Hg (Pe)	Qa (1.02 - 1.24)	EJE X= Qstd	EJE Y= ΔP_{ext}
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Ecuaciones

- $Q_a = \text{Flujo de Operación de muestra}$

- $a = (1/m) \sqrt{LMD (T_a/P_a)} - b$

- $M = \text{Pendiente según especificación Calibrador}$

- $a = \text{Temperatura ambiente en } ^\circ\text{K} (^\circ\text{K} = ^\circ\text{C} + 273)$

- $a = \text{Presión Barométrica en mm Hg}$

- $e = \text{Presión de estancamiento en mm Hg}$

- $e = 25,4 (LME/13,6)$

- $std = \text{Temperatura estándar (298.18 } ^\circ\text{K)}$

- $std = \text{Presión estándar (760 mm Hg)}$

- $std = \text{Flujo Corregido}$

$$Q_{std} = Q_a \left(\frac{P_a}{P_{std}} * \frac{T_{std}}{T_a} \right)$$
$$P_{std} * T_a$$

- $$\sqrt{LME * \left(\frac{P_a}{760} * \frac{298}{T_a} \right)}$$

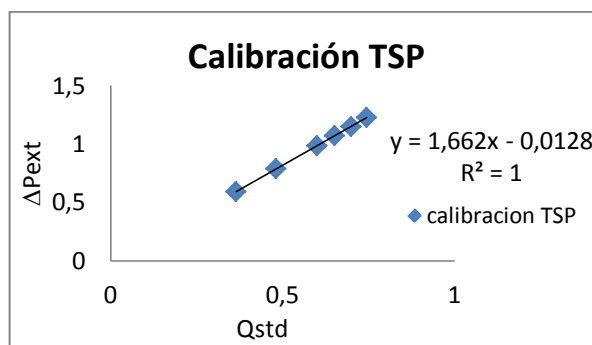
ANEXO B: CALIBRACIÓN PARA CADA PUNTO DE MONITOREO

- Edificio Álvaro Beltrán Pinzón
Datos necesarios para calibración

Símbolo	Descripción	Unidad	Valor
Ta	Temperatura ambiente	°K	298,15
Pa	Presión barométrica	mm Hg	671,03
Tsta	Temperatura estándar	°K	298,18
Pstd	Presión estándar	mm Hg	760
b	Intercepto según especificación Calibrador		-0,0087400
m	Pendiente según especificación Calibrador		1,0413600
Qa	Flujo de operación de muestra		
Po	Presión de radio		
Qd	Flujo del diafragma según tablas		
Qstd	Flujo corregido		0,590524078
r			1

Datos del calibrador y del motor del muestreador

No. de Plato	Lectura manómetro Diafragma (LMD)	Lectura manómetro presión estancamiento P _{lg} H ₂ O (LME)	Presión de Estancamiento mm Hg (Pe)	Qa (1,02 - 1,24)	Po/Pa	Qstd	ΔP _{ext} corregida
1	0,4	0,5	0,9338	0,4136	0,999	0,36519419	0,60431299
2	0,7	1,3	2,4279	0,5443	0,996	0,48061467	0,69326378
3	1,1	1,7	3,1750	0,6801	0,995	0,60052545	0,77493577
4	1,3	2	3,7353	0,7386	0,994	0,65216767	0,80756899
5	1,5	2,3	4,2956	0,7927	0,994	0,69996802	0,83664092
6	1,7	2,5	4,6691	0,8433	0,993	0,74467445	0,86294522

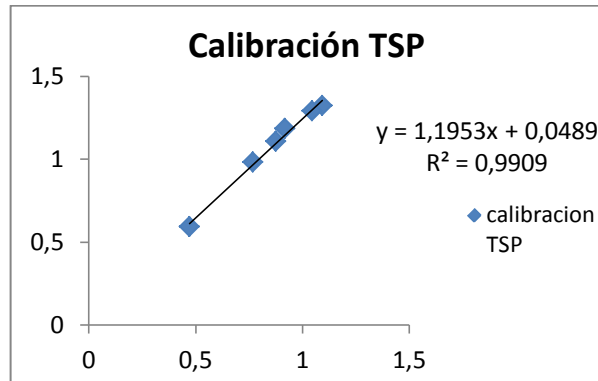


- Edificio Jorge Bautista Vega
 Datos necesarios para calibración

Símbolo	Descripción	Unidad	Valor
Ta	Temperatura ambiente	°K	301,15
Pa	Presión barométrica	mm Hg	670,78
Tsta	Temperatura estándar	°K	298,18
Pstd	Presión estándar	mm Hg	760
b	Intercepto según especificación Calibrador		-0,0139000
m	Pendiente según especificación Calibrador		1,6630300
Qa	Flujo de operación de muestra		
Po	Presión de radio		
Qd	Flujo del diafragma según tablas		
Qstd	Flujo corregido		0,861035073
r			1

Datos calibrador y motor del muestreador

No. de Plato	Lectura manómetro Diafragma (LMD)	Lectura manómetro presión estancamiento Plg H2O (LME)	Presión de Estancamiento mm Hg (Pe)	Qa (1,02 - 1,24)	Po/Pa	Qstd	DPext corregida
1	9,4	2	3,7353	1,2492	0,994	1,09165899	1,32164541
2	8,6	1,9	3,5485	1,1954	0,995	1,044701	1,2881806
3	6,6	1,6	2,9882	1,0490	0,996	0,91670314	1,18211559
4	6	1,4	2,6147	1,0008	0,996	0,87460745	1,10576789
5	4,6	1,1	2,0544	0,8780	0,997	0,76731312	0,98015847
6	1,7	0,4	0,7471	0,5392	0,999	0,47122674	0,5910578



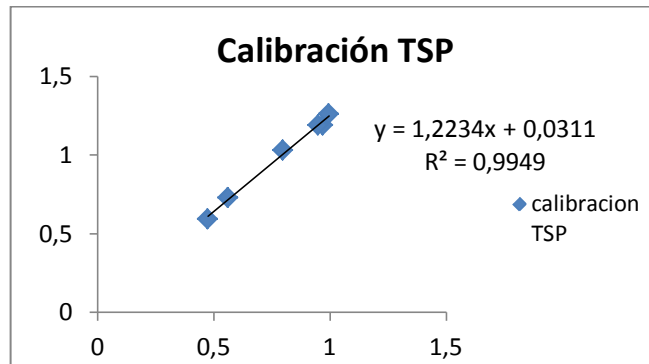
- Edificio de Bienestar Universitario

Datos necesarios para la calibración

Simbolo	Descripción	Unidad	Valor
Ta	Temperatura ambiente	°K	296,65
Pa	Presión barométrica	mm Hg	669,77
Tsta	Temperatura estándar	°K	298,18
Pstd	Presión estándar	mm Hg	760
b	Intercepto según especificación Calibrador		-0,0139000
m	Pendiente según especificación Calibrador		1,6630300
Qa	Flujo de operación de muestra		
Po	Presión de radio		
Qd	Flujo del Diafragma según tablas		
Qstd	Flujo corregido		0,791550717
r			1

Datos calibrador y motor del muestreador

No. de Plato	Lectura manómetro Diafragma (LMD)	Lectura manómetro presión estancamiento Plg H2O (LME)	Presión de Estancamiento mm Hg (Pe)	Qa (1,02 - 1,24)	Po/Pa	Qstd	DPext corregida
1	7,3	1,6	2,9882	1,0951	0,996	0,9700955	0,98493426
2	7,7	1,8	3,3618	1,1244	0,995	0,99598618	0,99799107
3	7	1,6	2,9882	1,0727	0,996	0,95020857	0,97478642
4	4,9	1,2	2,2412	0,8997	0,997	0,79701272	0,89275569
5	2,4	0,6	1,1206	0,6339	0,998	0,56148838	0,74932528
6	1,7	0,4	0,7471	0,5357	0,999	0,47451294	0,688849

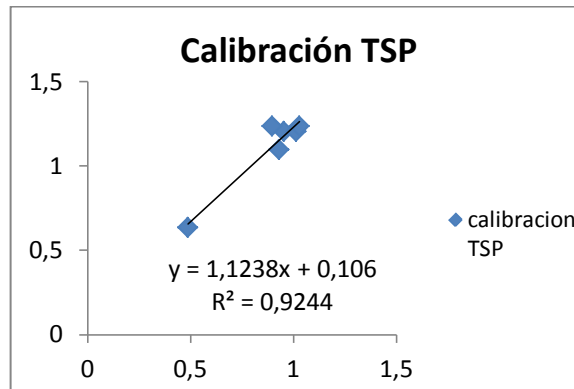


- Edificio de Laboratorios Livianos
 Datos necesarios para calibración

Símbolo	Descripción	Unidad	Valor
Ta	Temperatura ambiente	°K	302,65
Pa	Presión barométrica	mm Hg	619,75
Tsta	Temperatura estándar	°K	298,18
Pstd	Presión estándar	mm Hg	760
b	Intercepto según especificación Calibrador		-0,0139000
m	Pendiente según especificación Calibrador		1,6630300
Qa	Flujo de operación de muestra		
Po	Presión de radio		
Qd	Flujo del diafragma según tablas		
Qstd	Flujo corregido		0,885396894
r			1

Datos calibrador y motor muestreador

No. de Plato	Lectura manómetro Diafragma (LMD)	Lectura manómetro presión estancamiento Plg H2O (LME)	Presión de Estancamiento mm Hg (Pe)	Qa (1,02 - 1,24)	Po/Pa	Qstd	DPext corregida
1	7,4	1,5	2,8015	1,1570	0,995	0,92953947	0,96412627
2	7,8	1,8	3,3618	1,1875	0,995	0,95403368	0,97674648
3	8,8	1,8	3,3618	1,2604	0,995	1,01265168	1,00630596
4	6,9	1,9	3,5485	1,1177	0,994	0,89797081	0,94761322
5	9,1	1,9	3,5485	1,2815	0,994	1,02957938	1,01468191
6	2	0,5	0,9338	0,6082	0,998	0,48860635	0,69900382

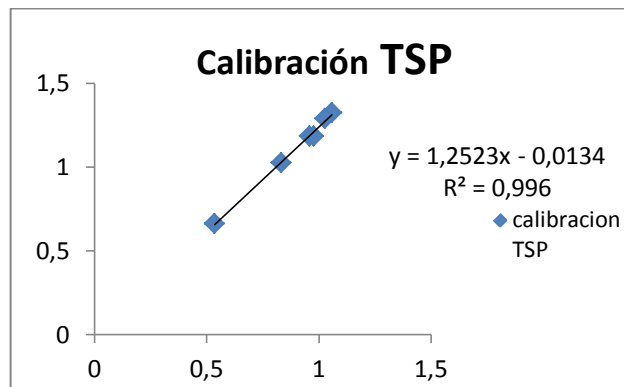


- Entrada Cra 27
- Datos necesarios monitoreo

Símbolo	Descripción	Unidad	Valor
Ta	Temperatura ambiente	°K	302,15
Pa	Presión barométrica	mm Hg	673,89
Tsta	Temperatura estándar	°K	298,18
Pstd	Presión estándar	mm Hg	760
b	Intercepto según especificación Calibrador		-0,0139000
m	Pendiente según especificación Calibrador		1,6630300
Qa	Flujo de operación de muestra		
Po	Presión de radio		
Qd	Flujo del diafragma según tablas		
Qstd	Flujo corregido		0,897469823
r			1

Datos calibrador y motor del muestreador

No. de Plato	Lectura manómetro Diafragma (LMD)	Lectura manómetro presión estancamiento Plg H2O (LME)	Presión de Estancamiento mm Hg (Pe)	Qa (1,02 - 1,24)	Po/Pa	Qstd	ΔP_{ext} corregida
1	7,2	1,6	2,9882	1,0943	0,996	0,9575603	0,9785501
2	8,8	2	3,7353	1,2083	0,994	1,05733903	1,02826992
3	8,3	1,9	3,5485	1,1739	0,995	1,02721234	1,01351484
4	7,5	1,6	2,9882	1,1166	0,996	0,97705508	0,98846096
5	5,4	1,2	2,2412	0,9496	0,997	0,8309011	0,91153777
6	2,2	0,5	0,9338	0,6111	0,999	0,53475109	0,73126677



CALIBRACION PM₁₀ PARA CADA PUNTO DE MONITOREO

- Edificio Álvaro Beltrán Pinzón

FECHA CALIBRACION	DE	Mayo 17 de 2011
SISTEMA		Volumétrico
MODELO		TE10557
SERIE No.		P4556
GARGANTA VENTURI		
CALIB/MODELO/SERIE		TE5028/1213

Simbolo	Descripción	Unidad	Valor
Ta	Temperatura ambiente	°K	295,15
Pa	Presión barométrica	mm Hg	678
Tsta	Temperatura estándar	°K	298,18
Pstd	Presión estándar	mm Hg	760
b	Intercepto según especificación Calibrador		-0,0087400
m	Pendiente según especificación Calibrador		1,0413600
Qa	Flujo de operación de muestra		
Po	Presión de radio		
Qd	Flujo del diafragma según tablas		
Qstd	Flujo corregido		1,041060147
r			1

No. de Plato	Lectura manómetro Diafragma (LMD)	Lectura manómetro presión estancamiento Plg H ₂ O (LME)	Presión de Estancamiento mm Hg (Pe)	Qa (1,02 - 1,24)	Po/Pa	Qd	± 4 o'5	Qstd
							%Dif	
1	3,5	5,9	11,0191	1,1941	0,984		-100,00	1,0761728
2	3,5	8,4	15,6882	1,1941	0,977		-100,00	1,0761728
3	3,4	12,4	23,1588	1,1770	0,966	1,184	0,59	1,06080083
4	3,4	16	29,8824	1,1770	0,956	1,167	-0,85	1,06080083
5	3,2	18	33,6176	1,1421	0,950	1,157	1,30	1,02936316
6	3,1	19,8	36,9794	1,1243	0,945	1,156	2,82	1,01327576

- Edificio Jorge Bautista Vega

FECHA CALIBRACION	DE	Agosto 25 de 2011
SISTEMA		Volumétrico
MODELO		TE10557
SERIE No.		P4556
GARGANTA VENTURI		
CALIB/MODELO/SERIE		TE5028/1213

Símbolo	Descripción	Unidad	Valor
Ta	Temperatura ambiente	°K	301,15
Pa	Presión barométrica	mm Hg	670,78
Tsta	Temperatura estándar	°K	298,18
Pstd	Presión estándar	mm Hg	760
b	Intercepto según especificación Calibrador		-0,0087400
m	Pendiente según especificación Calibrador		1,0413600
Qa	Flujo de operación de muestra		
Po	Presión de radio		
Qd	Flujo del diafragma según tablas		
Qstd	Flujo corregido		1,044341024
r			1

No. de Plato	Lectura manómetro Diafragma (LMD)	Lectura manómetro presión estancamiento P _{lg} H ₂ O (LME)	Presión de Estancamiento mm Hg (Pe)	Qa (1,02 - 1,24)	Po/Pa	Qd	± 4 o 5	Qstd
							%Dif	
1	3,5	5,7	10,6456	1,2125	0,984		-100,00	1,05959169
2	3,5	6,8	12,7000	1,2125	0,981		-100,00	1,05959169
3	3,4	7,8	14,5676	1,1952	0,978	1,211	1,33	1,04445488
4	3,4	9,7	18,1162	1,1952	0,973	1,204	0,74	1,04445488
5	3,4	10,8	20,1706	1,1952	0,970	1,2	0,40	1,04445488
6	3,2	17,1	31,9368	1,1597	0,952	1,177	1,49	1,01349812

- Edificio de Bienestar Universitario

FECHA CALIBRACION DE	Octubre 3 de 2011
SISTEMA	Volumétrico
MODELO	TE10557
SERIE No.	P4556
GARGANTA VENTURI	
CALIB/MODELO/SERIE	TE5028/1213

Simbolo	Descripción	Unidad	Valor
Ta	Temperatura ambiente	°K	296,65
Pa	Presión barométrica	mm Hg	669,77
Tsta	Temperatura estándar	°K	298,18
Pstd	Presión estándar	mm Hg	760
b	Intercepto según especificación Calibrador		-0,0087400
m	Pendiente según especificación Calibrador		1,0413600
Qa	Flujo de operación de muestra		
Po	Presión de radio		
Qd	Flujo del diafragma según tablas		
Qstd	Flujo corregido		1,051373799
r			1

No. de Plato	Lectura manómetro Diafragma (LMD)	Lectura manómetro presión estancamiento Plg H2O (LME)	Presión de Estancamiento mm Hg (Pe)	Qa (1,02 - 1,24)	Po/Pa	Qd	± 4 o'5	
							%Dif	Qstd
1	3,5	5,5	10,2721	1,2044	0,985		-100,00	1,06684635
2	3,5	6,6	12,3265	1,2044	0,982		-100,00	1,06684635
3	3,5	7,8	14,5676	1,2044	0,978	1,211	0,55	1,06684635
4	3,4	10,2	19,0500	1,1872	0,972	1,204	1,42	1,05160664
5	3,4	12,3	22,9721	1,1872	0,966	1,2	1,08	1,05160664
6	3,1	18,7	34,9250	1,1340	0,948	1,177	3,80	1,00449047

- Edificio de Laboratorios Livianos

FECHA CALIBRACION	DE	Julio 16 de 2012
SISTEMA		Volumétrico
MODELO		TE10557
SERIE No.		P4556
GARGANTA VENTURI		
CALIB/MODELO/SERIE		TE5028/1213

Símbolo	Descripción	Unidad	Valor
Ta	Temperatura ambiente	°K	302,65
Pa	Presión barométrica	mm Hg	619,75
Tsta	Temperatura estándar	°K	298,18
Pstd	Presión estándar	mm Hg	760
b	Intercepto según especificación Calibrador		-0,0087400
m	Pendiente según especificación Calibrador		1,0413600
Qa	Flujo de operación de muestra		
Po	Presión de radio		
Qd	Flujo del diafragma según tablas		
Qstd	Flujo corregido		0,997465666
r			1

± 4 o'5

No. de Plato	Lectura manómetro Diafragma (LMD)	Lectura manómetro presión estancamiento Plg H2O (LME)	Presión de Estancamiento mm Hg (Pe)	Qa (1,02 - 1,24)	Po/Pa	Qd	%Dif	Qstd
1	3,4	5,9	11,0191	1,2461	0,982		-100,00	1,00114782
2	3,4	7,3	13,6338	1,2461	0,978		-100,00	1,00114782
3	3,4	7,9	14,7544	1,2461	0,976	1,212	-2,74	1,00114782
4	3,3	9,4	17,5559	1,2278	0,972	1,206	-1,77	0,98641921
5	3,2	11,3	21,1044	1,2092	0,966	1,198	-0,92	0,9714657
6	3,2	12,3	22,9721	1,2092	0,963	1,195	-1,17	0,9714657

- Entrada Cra 27

FECHA CALIBRACION DE	Septiembre 13 de 2012
SISTEMA	Volumétrico
MODELO	TE10557
SERIE No.	P4556
GARGANTA VENTURI	
CALIB/MODELO/SERIE	TE5028/1213

Símbolo	Descripción	Unidad	Valor
Ta	Temperatura ambiente	°K	302,15
Pa	Presión barométrica	mm Hg	673,89
Tsta	Temperatura estándar	°K	298,18
Pstd	Presión estándar	mm Hg	760
b	Intercepto según especificación Calibrador		-0,0087400
m	Pendiente según especificación Calibrador		1,0413600
Qa	Flujo de operación de muestra		
Po	Presión de radio		
Qd	Flujo del diafragma según tablas		
Qstd	Flujo corregido		1,033616155
r			1

± 4 o'5

No. de Plato	Lectura manómetro Diafragma (LMD)	Lectura manómetro presión estancamiento Plg H2O (LME)	Presión de Estancamiento mm Hg (Pe)	Qa (1,02 - 1,24)	Po/Pa	Qd	%Dif	Qstd
1	3,4	6,1	11,3926	1,1944	0,983		-100,00	1,04514453
2	3,3	8,5	15,8750	1,1768	0,976		-100,00	1,02977336
3	3,3	11,2	20,9176	1,1768	0,969	1,2	1,97	1,02977336
4	3,3	13,9	25,9603	1,1768	0,961	1,19	1,12	1,02977336
5	3,2	16,3	30,4426	1,1590	0,955	1,182	1,99	1,01416748
6	3,2	17,4	32,4971	1,1590	0,952	1,178	1,64	1,01416748