



**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE FILTROS NASALES RETENEDORES DE
PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES PARA CICLISTAS Y VENDEDORES
AMBULANTES DEL SECTOR MARLY DE LA LOCALIDAD DE CHAPINERO EN
LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C**

AUTORES:

CESAR ADOLFO MORENO CORTES
DIEGO BERNARDO PEREZ GOMEZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TRABAJO DE GRADO
ABRIL
2016



**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE FILTROS NASALES RETENEDORES DE
PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES PARA CICLISTAS Y VENDEDORES
AMBULANTES DEL SECTOR MARLY DE LA LOCALIDAD DE CHAPINERO EN
LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C**

AUTORES:

CESAR ADOLFO MORENO CORTES
DIEGO BERNARDO PEREZ GOMEZ

TIPO DE TRABAJO:

TESIS

DIRECTOR DE TESIS:

ING.LUIS CAMILO BLANCO BECERRA
M.SC SALUD AMBIENTAL..
ING. AMBIENTAL Y SANITARIO.

TITUTO ACADEMICO

INGENIERO AMBIENTAL

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TRABAJO DE GRADO
MARZO
2016



NOTA DE ACEPTACION

JURADO 1. *JOHAN ALEXANDER ALVAREZ BERRIO*

JURADO 2. *JAIRO ALONZO PAEZ*

Bogotá, Abril 18 del 2016



DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo principalmente a Dios, por habernos dado la vida y permitirnos haber llegado hasta este momento tan importante de nuestra formación profesional. A nuestras familias que hicieron posible la realización de este proyecto logrando la culminación de una nueva meta dentro de nuestro crecimiento personal y académico.



AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial al ingeniero LUIS CAMILO BLANCO BECERRA, director de esta investigación, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continua de la misma, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de este tiempo.



INDICE

INTRODUCCION.....	16
1. OBJETIVOS.....	17
1.1 Objetivo General.....	17
1.2 Objetivos Específicos	17
2. MARCO TEÓRICO	18
2.1 Localidad de Chapinero.....	18
2.1.1. Localización geográfica del lugar	18
2.1.2 Población.....	19
2.1.3 Clima.	20
2.1.4 Aspectos Socioeconómicos.....	22
2.1.5 Contaminación del aire en la localidad de Chapinero.	23
2.1.6 Inventario de Fuentes Fijas	24
2.1.7 Inventario de fuentes fijas.....	24
2.2 Respiración humana.....	25
2.2.1 Mecanismo de respiración.....	25
2.2.2 Volumen respiratorio	25
2.2.3 Espirometria	26
2.2.4 Aposentamiento de PST en árbol bronquial	27
2.3 Partículas suspendidas totales	28
2.3.1 Características	28
2.3.2 Determinación Gravimétrica	28
2.3.3 Problemática en salud pública.....	29
2.4 Síntesis de espuma de poliuretano flexible	29
2.4.1 Proceso filtrante en espumas flexibles de carbón activado.	30
2.5 Turbina como sistema de succión de aire	31
2.5.1 Principio.	32
2.6 Fuentes potenciales de error.	32
2.7 MARCO LEGAL.....	34
3. METODOLOGIA	37



3.1 Realización de espumas y selección cualitativa.....	37
3.2 Elaboración de porta filtro para usuario.....	39
3.3 Adaptación de equipo de succión.....	41
3.4 Instalación de los Equipos.....	43
3.5 Horno	44
3.6 Pesaje del Filtro.....	44
3.7 Aforo vehicular	45
3.8 Cadena de Custodia.....	45
3.9 Diagrama de flujo proceso de muestreo.....	47
4. RESULTADOS.....	49
4.1 Selección de la espuma a evaluar	49
4.2 Selección de portafiltro	49
4.3 Estimación de caudales a operar	49
4.4 Calibración del equipo de succión	50
4.4.1 Proceso de calibración	50
4.5 Proceso de toma de datos post-campo	53
4.5.1 Eliminación humedad colectada por los usuarios en la actividad de exhalación.	53
4.5.2 Estimación de porcentaje de PST retenido	53
4.5.3 Estimación de porcentaje de humedad	54
4.5.4 Concentración de PST retenido	54
4.5.5 Humedad recolectada en los filtros	56
4.5.6 Aforo vehicular y de ciclistas en la intersección de la Av Kr 13 N° 52	58
4.5.7 Dificultades encontradas en el desarrollo del proyecto	60
5. Análisis de resultados	62
5.1 Concentración de PST retenido.....	62
5.2 Humedad recolectada en los filtros	63
5.3 Porcentaje de material retenido.....	63
5.4 Correlación de variables.....	64
5.5 Análisis de varianza de las concentraciones por tipo de succión.	65
5.6 Estrategias de Plan pos consumo residuos de los espuma de carbón activado.	70



5.7 Impacto Social, Humanístico y Ambiental del proyecto	74
6. CONCLUSIONES	75
7. RECOMENDACIONES	77
8. Bibliografía	78

LISTA DE GRAFICOS

GRAFICO 1. ÍNDICE DE CONDICIONES DE VIDA (2011).	23
GRAFICO 2. COMPORTAMIENTO HORARIO DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE DE PM ₁₀ EN LA ESTACIÓN MIN AMBIENTE. ABRIL 2015.....	24
GRAFICO 3. TABLA DE CAPACIDAD PULMONAR.....	27
GRAFICO 4. CURVA DE CALIBRACIÓN MÉTODO FORMULA DE RENOUARD.....	51
GRAFICO 5. CURVA DE CALIBRACIÓN MÉTODO BOLSA.	52
GRAFICO 6. CONCENTRACIÓN DE MATERIAL RETENIDO PRIMERA FASE.	55
GRAFICO 7. CONCENTRACIÓN DE MATERIAL RETENIDO SEGUNDA FASE.	55
GRAFICO 8. PORCENTAJE DE HUMEDAD RECOLECTADO PRIMERA FASE.	56
GRAFICO 9. PORCENTAJE DE HUMEDAD RECOLECTADA EN SEGUNDA FASE.....	57
GRAFICO 10. PORCENTAJE MATERIAL RETENIDO RESPECTO AL PESO TOTAL PRIMERA FASE.	57
GRAFICO 11. PORCENTAJE DE MATERIAL RETENIDO RESPECTO AL FILTRO SEGUNDA FASE.	58
GRAFICO 12. PORCENTAJES PROMEDIO DEL AFORO CON CÁMARA.	58
GRAFICO 13. AFORO VEHÍCULOS, MOTOS Y CICLAS.	59
GRAFICO 14. AFORO TRANSPORTE PÚBLICO.	59



LISTA DE TABLAS

TABLA 1. TABLA DE ABREVIATURAS.....	14
TABLA 2. FUENTES POTENCIALES DE ERROR.....	32
TABLA 3. NORMAS NACIONALES.	34
TABLA 4. NORMATIVA BOGOTÁ.	36
TABLA 5. GUÍAS Y MÉTODOS INTERNACIONALES.	37
TABLA 6. FICHA DE PROTOCOLOS DE METODOLOGIA.....	46
TABLA 7. CARACTERISTICAS DEL MUESTREO.....	48
TABLA 8. CORRELACIÓN DE VARIABLES	64
TABLA 9. ANÁLISIS DESCRIPTIVO.....	65
TABLA 10. PRUEBA DE NORMALIDAD	67
TABLA 11. ANOVA DE FACTOR GENERAL.	68
TABLA 12. CORRELACIONES DE MUESTRAS RELACIONADAS.	68
TABLA 13. DESCRIPTIVOS CICLISTA-BOMBA CICLISTA.	68
TABLA 14. DESCRIPTIVOS VENDEDOR-BOMBA VENDEDOR.	69
TABLA 15. ANOVA DE FACTOR CICLISTA.	69
TABLA 16. ANOVA DE FACTOR VENDEDOR.	70

LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. ROSA DE VIENTOS ESTACIÓN MINISTERIO DE AMBIENTE, AÑO 2015 DURANTE EL PERIODO DE DICIEMBRE Y ENERO DEL 2016. [10].....	21
ILUSTRACIÓN 2. ROSA DE VIENTOS ESTACIÓN MINISTERIO DE AMBIENTE, AÑO 2015 DURANTE EL PERIODO DE ENERO DEL 2016.	22
ILUSTRACIÓN 3 CAPACIDAD PULMONAR	26
ILUSTRACIÓN 4. MUESTREADOR PST.....	32
ILUSTRACIÓN 5. ESPUMA PREPARADA.	38
ILUSTRACIÓN 6. MOLDE EN TERMO FORMADO	39
ILUSTRACIÓN 7. MODELO 3D DEL PORTAFILTRO.	39
ILUSTRACIÓN 8. MOLDE PARA ELABORAR PORTA FILTRO.	40
ILUSTRACIÓN 9. PORTAFILTRO DE PLASTISOL.	40
ILUSTRACIÓN 10. DIMENSIONES DEL PORTAFILTRO.....	41
ILUSTRACIÓN 11. FILTROS PARA USO NASAL	41
ILUSTRACIÓN 12. PROTOTIPO DEL SISTEMA DE SUCCIÓN.....	42
ILUSTRACIÓN 13. DIAGRAMA DE FLUJO DEL DESARROLLO DEL MUESTREO	47
ILUSTRACIÓN 14. PROTOCOLO PARA REALIZAR ANÁLISIS DE VARIANZA	66
ILUSTRACIÓN 15. PLAN POST CONSUMO DEL RESIDUO.....	73



LISTA DE MAPAS

MAPA 1. UPZ 99 BARRIO MARLY	18
MAPA 2. CICLORRUTA Y VIAJES EN BICICLETA EN BOGOTÁ D.C.	19
MAPA 3. MALLA VIAL.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.



LISTA DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1. CONCENTRACIÓN EN MASA DE LAS PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN.	28
ECUACIÓN 2. FORMULA DE RENOARD LINEAL ($P < 50\text{MBAR}$)	50
ECUACIÓN 3. CALCULO DE VELOCIDAD DE FLUJO EN CONDICIONES DADAS.....	53
ECUACIÓN 4. PORCENTAJE DE PST RETENIDO	54
ECUACIÓN 5. PORCENTAJE DE HUMEDAD	54

Tabla 1. Tabla de Abreviaturas.

ABREVIATURA	DESCRIPCIÓN
PST	<i>Partículas Suspendidas Totales.</i>
EMB	<i>Encuesta Multipropósito de Bogotá.</i>
IDRD	<i>Instituto Distrital de Recreación y Deportes.</i>
UPZ	<i>Unidad de planeamiento Zonal.</i>
IPES	<i>Instituto para la Economía Social.</i>
ESE	<i>Sureste.</i>
SSW	<i>Suroeste.</i>
ICV	<i>Índice de Condiciones de Vida.</i>
PM₁₀	<i>Material Particulado de 10.</i>
PM_{2.5}	<i>Material Particulado de 2.5.</i>
TPC	<i>Transporte Público Colectivo.</i>
SDA	<i>Secretaría Distrital de Ambiente.</i>
VRM	<i>Volumen Respiratorio por Minuto.</i>
CVF	<i>Capacidad Vital Forzada</i>
VEF₁	<i>Capacidad Vital Forzada 1</i>
GCAs	<i>Guías de Calidad del Aire</i>
OMS	<i>Organización Mundial de la Salud</i>
CAI	<i>El Clean Air Institute</i>
PUF	<i>Poliuretano Flexible</i>
TDI	<i>Diisocianato de Tolueno</i>
SIAC	<i>Sistema de Información Ambiental Colombiana</i>
EPA	<i>Agencia de Protección Ambiental</i>
KPa_↓	<i>kilopascal</i>
µg	<i>Microgramo</i>
ETAP	<i>Estaciones de Tratamiento de Agua Potable</i>



RESUMEN

La contaminación del aire es una de las problemáticas que afecta a la salud de la población; las personas que trabajan al aire libre cerca de fuentes emisoras como vehículos son las que se exponen en gran medida a los contaminantes atmosféricos. Una de las problemáticas que no se ha tenido en cuenta, es el aire que respiran los transeúntes en las calles de la ciudad de Bogotá D.C; las características de un ambiente perturbado por las partículas suspendidas totales emitidas por fuentes móviles o la erosión mineral pueden contribuir directamente en la incidencia de enfermedades respiratorias o incomodidades por olores en dicha población, constituyendo así un problema de salud pública.

Teniendo en cuenta esto, este proyecto buscó establecer un material adecuado de retención mediante el desarrollo de un filtro de medios fibrosos, con permeabilidad de flujo para uso respiratorio en las poblaciones vulnerables. La determinación del material de retención de las partículas se realizó a partir de pruebas cualitativas, las cuales evaluaron la arquitectura molecular del filtro junto con la cantidad de carbón activado que contuvo, esto para estimar la eficacia en función de la mecánica de flujo, por lo que se realizaron simultáneamente las pruebas con el usuario y la bomba de medición en el barrio Marly, la eficacia del filtro estuvo sujeta a la resistencia de flujo y la comodidad para el usuario. [1]

El filtro retuvo básicamente partículas suspendidas totales (PST), por medio de dos procesos, el primero por tamizaje, que corresponde directamente a la estructura interna de la matriz polimérica, es decir el poliuretano, y el segundo por medio de adsorción, que corresponde a la función del carbón activado debido a sus propiedades fisicoquímicas; la suma de estas dos formas de retención de partículas equivale a la retención total que tuvo el filtro, los valores obtenidos en cada proceso realizado contienen su respectiva incertidumbre dentro de cada grupo.

El diseño fisicoquímico del filtro se presenta como una propuesta ingenieril innovadora para mitigar el impacto de la calidad del aire sobre la población expuesta a PST y con ello disminuir los casos de enfermedades respiratorias en la población vulnerable de la localidad de Chapinero de la ciudad de Bogotá D.C; además se contemplará el ciclo que puede cumplir el material en su vida útil, no solo como producto si no como residuo reciclado.

PALABRAS CLAVES: *PST, Filtros Nasales, Contaminación atmosférica, permeabilidad, poroso, retención, adsorción, arquitectura molecular, resistencia de flujo.*



INTRODUCCION

Este documento permite analizar la capacidad de retención de PST, por medio de un filtro de carbón activado diseñado para uso nasal, basado en los resultados obtenidos en la pruebas realizadas de 9 a 10 de la mañana del 02 al 17 de diciembre de 2015 y desde el 17 de enero al 2 de febrero de 2016, con un total de 25 días de pruebas; donde se comprobó por métodos gravimétricos y bajo cuatro condiciones establecidas de muestreo; ciclista, vendedor ambulante y sus respectivas parejas de simulación mecánica, viendo así el potencial de retención del filtro diseñado.

La localidad 02 de Chapinero se encuentra ubicada en el nororiente de Bogotá D.C, su problemática ambiental es causada en términos generales por el hacinamiento y la presencia de automotores [2], lo cual podría generar contaminación atmosférica, ocasionando posibles problemas respiratorios en los grupos etarios más vulnerables como niños menores de 5 años, adultos mayores de 60 años y de manera sincrónica a transeúntes, vendedores ambulantes y ciclistas quienes permanecen en distintos periodos de tiempo expuestos a condiciones urbanas de contaminación.

De acuerdo a la Encuesta Multipropósito de Bogotá (EMB) de 2014, se muestra que la contaminación atmosférica de la localidad proviene en un 91 % de las fuentes móviles de su sector. [3]

Teniendo en cuenta la climatología de la localidad de Chapinero, fue necesaria la información de la estación de calidad de aire del Instituto Distrital de Recreación y Deportes (IDRD), los datos proporcionados por el IDRD, fueron utilizados para la realización de la rosa de vientos de diciembre del 2015 y la rosa de vientos de enero del año 2016.

El análisis de resultados buscó comprobar algunas de las propiedades más importantes del carbón activado, la capacidad de adsorción, es por eso que se considera pertinente dentro de la investigación realizar un plan pos consumo para la vida útil del material estableciendo los requerimientos necesarios para su reutilización en otros procesos como la eliminación de olores [4], adhesión de agentes tóxicos [5], tratamiento de aguas en biofiltros [6] entre otros procesos.



1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

Evaluar la eficacia en la captura de partículas suspendidas totales (PST), mediante métodos gravimétricos, en población con exposición aguda y subcrónica, en la Carrera 13 con Calle 52 Barrio Marly de la localidad de Chapinero de la ciudad de Bogotá D.C.

1.2 Objetivos Específicos

- Identificar cuantitativamente las cantidades de isocianato, poliol y carbón activado, cualitativamente óptimas para obtener la porosidad apropiada que requiere el filtro nasal en la interacción con el flujo inhalado por ciclistas y personas que se exponen aguda y subcrónicamente a PST.
- Diseñar un filtro para uso nasal, compuesto por una matriz polimérica y carbón activado.
- Estimar el caudal de aire absorbido con determinado diámetro, por medio de la ecuación de Renouard, a partir de la medición de la presión en dos puntos del sistema de muestreo, con el filtro.
- Elaborar un protocolo de muestreo que permita contemplar el menor margen de error entre la bomba y el usuario.
- Calcular la incertidumbre de las mediciones realizadas con el filtro, con la finalidad de interpretar y analizar la información recolectada.
- Proponer un plan pos consumo para el uso de los filtros, enfocado a la reutilización adecuada, bajo las condiciones de seguridad biológica.

1. MARCO TEÓRICO

2.1 Localidad de Chapinero

2.1.1. Localización geográfica del lugar

La localidad dos, Chapinero, se encuentra ubicada al costado central de los cerros orientales de Bogotá D.C. limita al norte con la localidad de Usaquén, al occidente con las localidades de Barrios Unidos y Teusaquillo, y al sur con la localidad de Santa Fe; La zona de estudio representativa para las pruebas se muestra ubicada en la UPZ 99 en el barrio Marly (ver Mapa 1). [7]

La UPZ 99 Chapinero Central, barrio Marly va de la calle 53 hasta la calle 45, y de la cr 7 hasta la AV Caracas, cuenta con un corredor vial, la Cr 13, a lo largo de la localidad circulan vehículos particulares y de transporte público, al igual se encuentra la ciclorruta con una longitud de 3,12 Km, siendo uno de los corredores principales que conectan el centro y norte de la ciudad. [7]

Mapa 1. UPZ 99 Barrio Marly



Fuente: Alcaldía mayor de Bogotá D.C.

2.1.2 Población

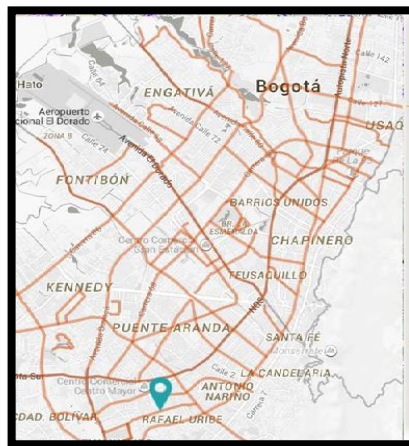
En la localidad confluyen diversidad de poblaciones, entre los que se pueden encontrar, estudiantes, habitantes de la calle, empleados de las empresas, comerciantes, vendedores ambulantes, trabajadoras/es sexuales, transeúntes, entre otros, proyectándose el tránsito alrededor de un millón doscientas mil personas diariamente por este territorio. [7]

Chapinero es la quinta localidad más pequeña; según el Censo de 2005 ocupa la posición 15 de las localidades de Bogotá, con 122.089 personas, de las que 19.680 corresponde a la población de chapinero central con 9306 viviendas y 9408 hogares, se observan en su mayoría y con claridad sectores “universitarios” conformados por centros académicos, escolares y universitarios que se amalgaman con oficinas y centros de negocios, donde trabajan un sin número de profesionales, que contrastan con las familias de desplazados que en parte toman los corredores principales de la localidad para diversidad de trabajos y ventas. [7]

▪ Ciclistas

De acuerdo al informe de movilidad en bicicleta realizado por la Cámara de comercio de Bogotá D.C. en el año 2009, se estima que de los más de 500.000 viajes en cicla en la ciudad, chapinero no se encuentra en las localidades más transitadas por ciclistas, pero se puede decir que es un corredor de constante circulación de ciclistas a lo largo de la Av Kr 13, generándose hasta 3.000 viajes en un solo día, posiblemente mayor para los años posteriores, (ver Mapa 2). [8]

Mapa 2. Ciclorruta y viajes en bicicleta en Bogotá D.C.



Fuente: Cámara de Comercio de Bogotá D.C.



▪ **Vendedores ambulantes**

Los vendedores ambulantes en la ciudad de Bogotá representan un amplio sector del empleo informal, pero en la localidad de Chapinero, debido a los constantes incrementos de las poblaciones provenientes de los sectores estudiantiles y comerciales, cuentan con los mayores números de vendedores ambulantes por metro cuadrado de la ciudad de Bogotá D.C. según Mauricio Rico, director de la corporación de vecinos Corposéptima, en una entrevista a la revista EL TIEMPO, refiere que de acuerdo a censos del Instituto para la Economía Social (IPES), en Bogotá hay un número estimado de 47.800 vendedores informales, de los cuales 1.494 están en Suba, 608 en Usaquén y 2.284 en Chapinero. [9]

2.1.3 Clima.

Chapinero posee un clima frío subhúmedo, con tendencia a ser más seco en el sur y sureste. Los vientos en la zona son de baja intensidad, aunque durante los meses de julio a septiembre son más fuertes. [2]

▪ **Precipitación**

El régimen de lluvias se encuentra determinado por el paso de la zona de convergencia intertropical, lo que, sumado a la orografía del sector, estimula la caída de entre 1.000 y 1.200 mm, disminuyendo en sentido oriente-occidente. La distribución de las precipitaciones es bimodal, con dos temporadas lluviosas (octubre-noviembre, abril-junio) y dos secas. La humedad relativa del aire se relaciona estrechamente con las precipitaciones, por lo que es mayor (74%-77%) en los meses lluviosos. Igualmente, durante los meses secos el brillo solar es mayor, aunque en las mañanas es cuando se registran más horas de sol. [2]

▪ **Temperatura**

Se registra una temperatura media multianual de 14,2 °C, con variaciones inferiores a un grado y con una ligera tendencia a un régimen bimodal, con promedios levemente más altos en los meses de marzo a junio y en noviembre. En los meses de verano (diciembre-marzo) se presentan fuertes variaciones de temperatura que pueden ser de 27 °C en un día, con las mínimas hacia las horas de la madrugada. Para la zona de los Cerros Orientales, las temperaturas medias mensuales varían 0,78 °C por cada 100 metros de altitud. [2]

▪ **Humedad relativa**

Se encuentra en estrecha relación con la precipitación, aunque sus variaciones no son significativas a lo largo de un período anual, con 74%-77% en los meses Lluviosos y 68%-74% en los secos. [2]

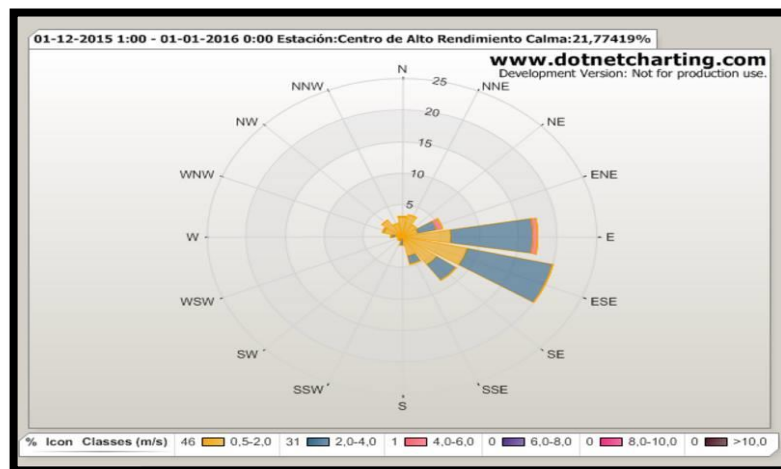
▪ **Vientos**

En general, se puede decir que los períodos de calma son bastante frecuentes, con un promedio anual del 26%, con excepción del período julio-septiembre. Las velocidades medias anuales son bajas, 2,2 m/s, con ligeras variaciones de 1-3,9 m/s, y con los valores más elevados en los meses de diciembre, enero, julio y agosto. [2]

▪ **Rosa de los vientos**

Por medio de las rosas de vientos se observa que la máxima velocidad del viento corresponde a un intervalo de 0.5m/s a 4 m/s manifestando una mayor frecuencia de aparición del 8.7% al sureste (ESE) en diciembre y 7.12% al suroeste (SSW) en enero, mostrando que la masa de aire se desplaza desde sureste del centro de la ciudad y cerros orientales hasta los barrios aledaños a Marly (ver Ilustración 1 y 2).

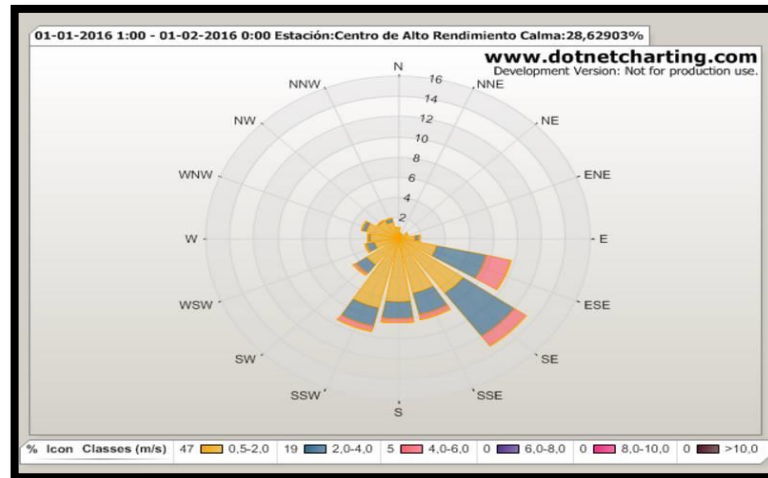
Ilustración 1. Rosa De Vientos estación Ministerio de ambiente, Año 2015 Durante El Periodo de Diciembre y Enero del 2016. [10]



Fuente: Observatorio Ambiental



Ilustración 2. Rosa De Vientos estación Ministerio de ambiente, Año 2015 Durante El Periodo de Enero del 2016.



Fuente: Observatorio Ambiental

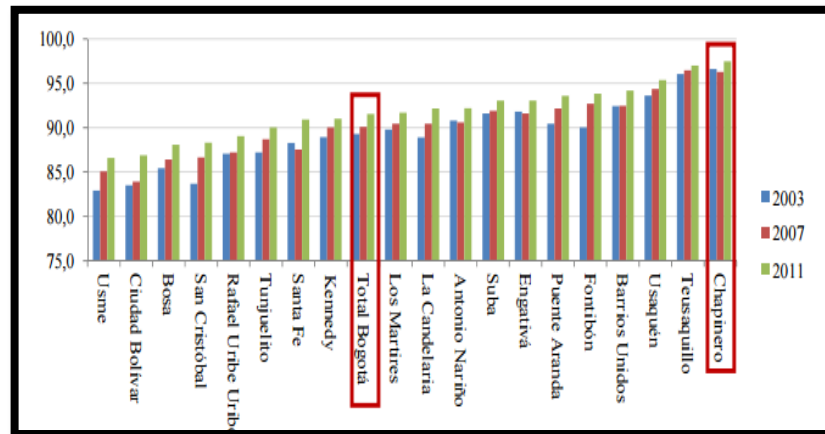
2.1.4 Aspectos Socioeconómicos.

Para la medición de la pobreza y la cuantificación de la situación socioeconómica de los habitantes de la localidad existen diferentes metodologías. Para efectos del presente diagnóstico se involucrará la medición de pobreza del Índice de Condiciones de Vida (ICV), que valora el estándar de vida mediante la combinación de variables de capital humano, acceso potencial a bienes físicos y otras que describen la composición del hogar. Los factores que lo componen son: acceso y calidad de los servicios, educación y capital humano, tamaño y composición del hogar y calidad de la vivienda.

Cada uno de estos componentes se desagrega en elementos más específicos, asignándoles un puntaje máximo. La suma de los puntajes máximos de todos los factores es igual a 100, límite que significa una excelente calidad de vida, el Índice de Condiciones de Vida sitúa a la localidad de Chapinero con un puntaje de 97,49 de 100 posibles. Así, Chapinero se configura en la ciudad como la localidad con mejor nivel de vida según este indicador, 6 puntos por encima del promedio de la ciudad (ver Grafico 1). [11]



Grafico 1. Índice de condiciones de vida (2011).



Fuente: Diagnostico de la localidad de Chapinero.

Ahora bien, es interesante observar los factores relacionados con la vivienda. El primer factor, acceso y calidad de los servicios, presenta una diferencia muy pequeña frente al puntaje máximo, apenas del 0,15%, lo que implica una cobertura casi total de servicios públicos y buena calidad de los mismos, resultado consistente con la información reportada por las empresas prestadoras de estos servicios.

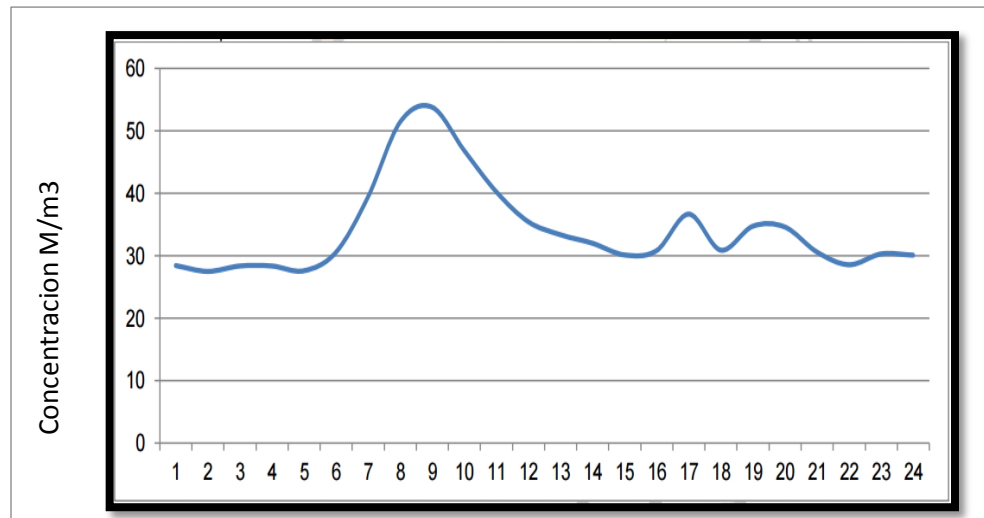
2.1.5 Contaminación del aire en la localidad de Chapinero.

La gráfica 2, refleja la variación de las concentraciones de material particulado para cada hora del día durante los días del mes, en la estación de monitoreo Min Ambiente se puede observar que los valores de concentraciones se mantienen estables durante las primeras horas del día y a partir de las 6:00 a.m., su comportamiento es ascendente alcanzando un nivel máximo alrededor de las 9:00 a.m., con $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor que supera el máximo establecido por la OMS, luego hay una oscilación de las concentraciones encontrando otro pico a las 5:00 p.m., ($37 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para descender en la noche. Este comportamiento puede ser atribuido a la velocidad del viento ya que es más baja en la mañana y en la noche que no favorecen la dispersión de las partículas en el ambiente. Así mismo, se debe tener en cuenta que las condiciones de inversión térmica y el inicio de actividades antrópicas (principales fuentes de emisión de material particulado como las fuentes fijas y tráfico vehicular) que aumentan las emisiones en el día, siendo



condiciones que aportan a los registros de las (9:00 a.m. y 5:00 p.m.) de estas máximas descargas de concentraciones en la atmosfera (ver Gráfico 2). [12]

Gráfico 2. Comportamiento horario de la contaminación del aire de PM₁₀ en la estación Min Ambiente. Abril 2015



Fuente: datos suministrados por la RMCAB de la SDA 12/05/2015, gráfica y análisis por Proyecto de Vigilancia Epidemiológica, Ambiental y Sanitaria de los Efectos en Salud por Exposición a Material Particulado- Hospital Chapinero ESE.

2.1.6 Inventario de Fuentes Fijas

De acuerdo al informe de gestión y resultados de la Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá se muestra que en la localidad de chapinero no existen fuentes fijas críticas que funcionen con combustibles sólidos en calderas u hornos. [13]

2.1.7 Inventario de fuentes fijas

Para el inventario de fuentes fijas se realizó un aforo en la Av. Cr 13 entre calles 52 y 51 más exactamente en el balcón de la iglesia Nuestra Señora de Chiquinquirá, ubicadas en el nororiente de la ciudad, lugar regulado por semaforización. La Av. Cr 13, está conformada por una calzada para tráfico mixto sin separador central con Transporte Público Colectivo (TPC), permite la circulación en sentido Norte-Sur. La avenida carrera 13, cuenta con ciclo ruta



lateral y corredores peatonales donde se encuentra gran cantidad de vendedores ambulantes. Las calles 52 y 51 son vías alternas donde permanece una gran cantidad de población universitaria.

Se realizó el aforo en el punto de estudio, grabando con videocámara Canon EOS REBEL T6I 18-135 mm diariamente a la misma hora (9:00 a.m. hasta 10:00 a.m.), durante los 25 días de pruebas de investigación, el proceso se explica más detalladamente en la metodología.

2.2 Respiración humana

2.2.1 Mecanismo de respiración

El aire está compuesto aproximadamente por un 21% de oxígeno, gracias a la actividad de inhalación, ingresa a través de la nariz y la boca, para ser llevado a través de la faringe, garganta y tráquea hacia los bronquios y llegar a los pulmones, esta actividad se comprende mecánicamente por la anatomía y se estudia desde mecanismos que permiten medir y observar el correcto funcionamiento de las vías respiratorias; el aire que ingresa a los pulmones deposita el oxígeno en los alveolos ubicados en las ramificaciones de bronquiolos, los alveolos contienen sacos alveolares donde se acumula el oxígeno para finalmente ser transportado por el torrente sanguíneo, Aunque los 300 millones de alvéolos que se encuentran en el pulmón son microscópicos, representan en su conjunto un área de superficie equivalente a las dimensiones de una cancha de tenis. [14]

La capacidad total de los pulmones resulta en ocasiones útil para comprender la patología pulmonar. Una estimación razonable de la capacidad pulmonar total se puede obtener al combinar varios parámetros volumétricos (más información de los parámetros volumétricos de la Guía NIOSH). [14]

2.2.2 Volumen respiratorio

Unos receptores específicos regulan la necesidad de oxígeno (O_2). La frecuencia respiratoria de un adulto suele estar entre las 10 y las 16 respiraciones por minuto. El volumen de aire se conoce como volumen respiratorio. En una frecuencia respiratoria media se da un volumen respiratorio por minuto (VRM) se llama volumen corriente de entre 5 y 8 litros de aire por minuto, esto sin actividad física o estado de pánico (ver Ilustración 3). [15]



Ilustración 3 Capacidad pulmonar



Fuente: Portal de Salud Onmenda.es

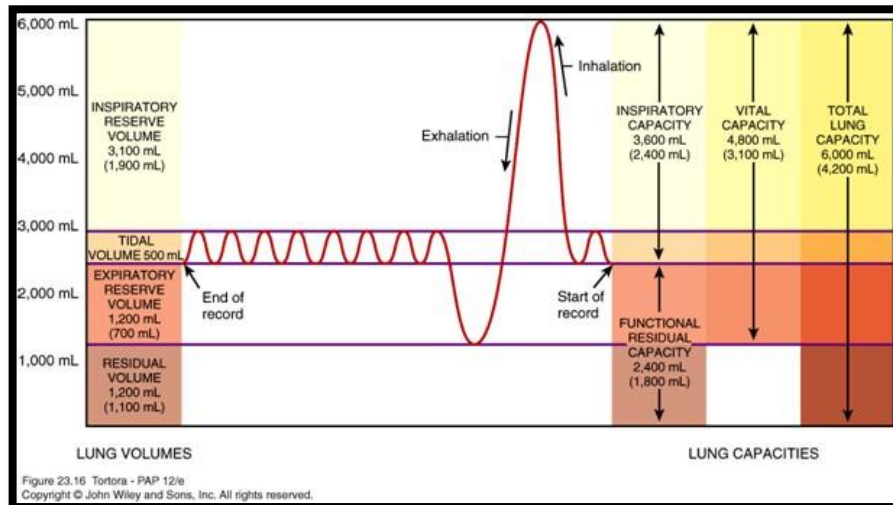
2.2.3 Espirometria

La Espirometria es una prueba médica de tamizaje que mide varios aspectos de la función respiratoria y del pulmón. Se lleva a cabo utilizando un espirómetro, un dispositivo especial que registra la cantidad de aire que un sujeto inhala o exhala así como la velocidad a la cual dicho aire es desplazado hacia fuera o dentro del pulmón. [14]

En este proceso existen varios métodos para estimar la capacidad pulmonar de una persona como se muestra en la guía NIOSH para el entrenamiento en Espirometria, allí se muestran los parámetros básicos como la capacidad vital forzada (CVF), que comprende la capacidad máxima de captar y expulsar aire en condiciones forzadas y el volumen espiratorio forzado en un segundo (VEF_1), que comprende la espiración de un individuo en el primer segundo de actividad, la diferencia porcentual entre estas dos condiciones permiten realizar análisis médicos bajo estándares específicos para determinar cualquier tipo de anomalía pulmonar, los volúmenes de la capacidad pulmonar que se muestran en la gráfica 1 permiten observar detalladamente el proceso de la respiración como herramienta para este tipo de pruebas (ver Grafico 3). [14]



Grafico 3. Tabla de capacidad pulmonar.



Fuente: Spirogram of lung volumes and capacities. [16]

2.2.4 Aposentamiento de PST en árbol bronquial

La diversidad de partículas y sus tamaños en un volumen de aire están asociados a los lugares de origen, pero de manera general el impacto de estos se encuentra asociado al tamaño de partículas, que a través del sistema respiratorio se filtran naturalmente a medida que ingresan, es decir el tamaño, la forma y la masa de las partículas determinan el lugar dentro del sistema respiratorio donde son depositadas. [14]

En términos generales, una persona puede ver a simple vista partículas tan pequeñas como aquellas de 50 micras de diámetro, Las partículas de un tamaño respirable son menores a 10 micras usualmente y las partículas que son capaces de llegar a los bronquios y alvéolos son las menores a 1 micra, sin embargo las partículas grandes se asocian a problemas como rinitis o afecciones antes del árbol bronquial. [14]



2.3 Partículas suspendidas totales

2.3.1 Características

Las partículas suspendidas totales son el conjunto de partículas sólidas y *gotículas* líquidas que se encuentran en el aire por actividades antrópicas o meteorológicas, siendo clasificadas por tamaños desde lo suficientemente grandes para ser vistas a simple vista hasta mucho más pequeñas que el diámetro de un cabello humano siendo clasificado como PM_{10} con diámetros aerodinámicos menores a 10 micrometros y $PM_{2,5}$ con diámetros aerodinámicos menores a 2,5 micrometros. [17]

La dinámica ambiental de las partículas suspendidas totales está en función de su tamaño, las partículas más finas son capaces de viajar distancias más largas por que logran permanecer en el aire con mayor facilidad que las más grandes que tienden a depositarse por su peso en el lugar de origen, como lo hacen las partículas más gruesas del PM_{10} , estas partículas son de origen primario, emitidas directamente a la atmosfera tanto por eventos antrópicos o naturales, mientras que las partículas $PM_{2,5}$ tienden a componerse de partículas secundarias formadas en la atmosfera a partir de reacciones químicas que entrañan emisiones precursoras como óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y compuestos orgánicos volátiles. [17]

2.3.2 Determinación Gravimétrica

Esta fórmula permite identificar la concentración de masa de partículas en suspensión, obtenida dentro de las muestras a recolectar (ver Ecuacion 1).

Ecuación 1. Concentración en masa de las partículas en suspensión.

$$SPM = \frac{(W_F - W_I) * 10^6}{V_{std}} . [18]$$

Dónde:

SPM= Concentración en masa de las partículas en suspensión (PST o PM_{10}) $Mg/std\ m^3$.

Wi= Peso Inicial del filtro limpio, g.

Wf= Peso final del filtro expuesto, g.

Vstd= Volumen de aire muestreado, convertido a condiciones estándar (25°C Y 760 mm Hg), $std\ m^3$.

10⁶= Conversión Mg.



2.3.3 Problemática en salud pública

El por qué se consideran estas partículas de gran impacto, es porque investigaciones indican que la exposición a la contaminación ocasionada por partículas suspendidas se vincula con miles de casos de defunción y problemas generalizados de salud. Numerosos estudios han encontrado relación entre las partículas y la agravación de enfermedades cardíacas y respiratorias, como asma, bronquitis y enfisema, además de varias formas de cardiopatías. Las partículas finas tienen mayores efectos en la salud que las gruesas porque pueden penetrar los pulmones con más profundidad y, por ende, provocar más daño. Los grupos vulnerables que parecen estar en mayor riesgo ante los efectos de las partículas incluyen a los niños, los adultos mayores y las personas con enfermedades cardiopulmonares, como asma o enfermedades cardíacas congestivas. [17]

Las Guías de Calidad del Aire (GCAs) de la OMS tienen como objetivo su uso a nivel mundial y han sido desarrolladas como guía para establecer estándares nacionales y/o locales de calidad del aire. [19]

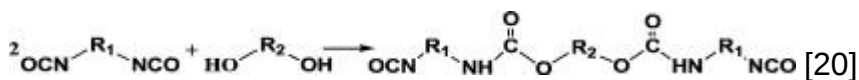
El Clean Air Institute (CAI), trabajando en conjunto con la Iniciativa de Aire Limpio para América Latina¹⁰, advierte la deficiencia de información consistente y disponible sobre concentraciones ambientales en algunas ciudades y naciones de la región. [19]

2.4 Síntesis de espuma de poliuretano flexible

La síntesis de poliuretano se obtiene básicamente por la poli condensación de isocianatos con polioles (éteres y esteres), generando volúmenes requeridos gracias a la liberación de dióxido de carbono en la reacción exotérmica; el isocianato utilizado para espumas de poliuretano flexible (PUF) es el diisocianato de tolueno TDI considerado un componente de alta toxicidad en su estado primario, por lo que existen estándares y límites máximos de manipulación en seguridad ocupacional, como lo es la fabricación del Poliuretano flexible PUF.

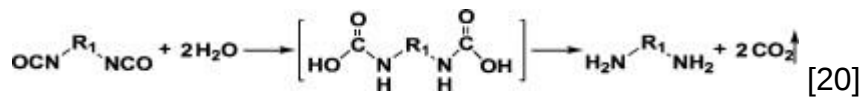
Existe preocupación en la existencia de trazas del diisocianato de tolueno en la matriz polimérica, por lo que se necesita comprender las reacciones que ocurren en la síntesis de poliuretano flexible como se explica a continuación.

Interacción entre el alcohol poli atómico e isocianato conduce a la formación de uretano y lleva a cabo la reacción de extensión de la cadena:

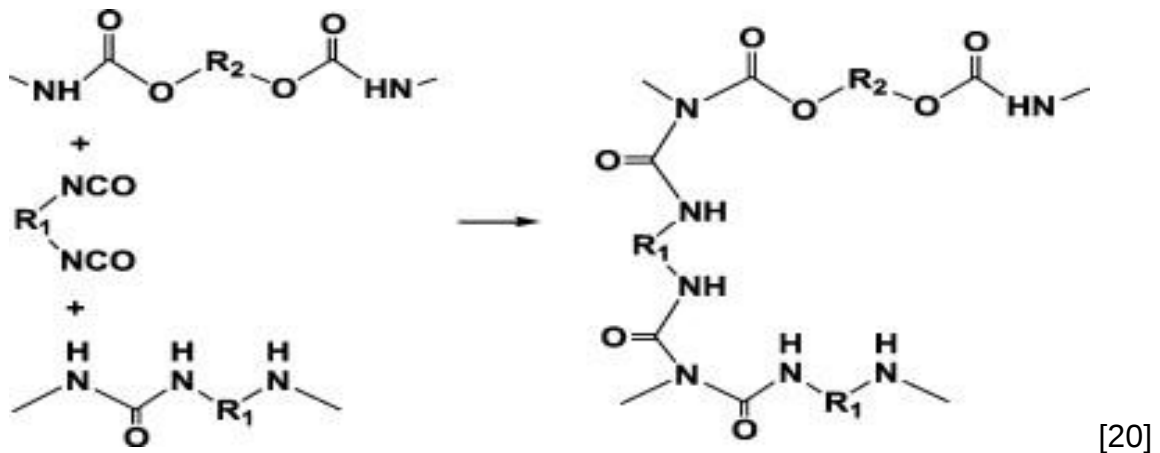




Como el resultado de la interacción de isocianato y el agua se ha formado el ácido carbámico inestable, que se descompone a amina y dióxido de carbono:



La diamina entonces interactúa con el exceso de isocianato presente para la formación de urea. El isocianato reacciona con la urea y el uretano con biuret formando alofanato, respectivamente, lo que conduce a la formación de polímero reticulado:



2.4.1 Proceso filtrante en espumas flexibles de carbón activado.

El proceso de filtración se describe por medio de dos operaciones unitarias básicas asociadas a los dos componentes independientes que constituyen el filtro, la absorción asociada a la matriz polimérica (espuma) y la adsorción asociada al carbón activado.

- **Absorción**

El proceso de absorción se da netamente en la espuma de poliuretano al permitir entrar dentro de su matriz polimérica (espuma) la mezcla de gases, para que simultáneamente por medio del lecho filtrante (Carbón activado) se dé el proceso de adhesión. [21].

- **Adhesión**

Las características relevantes en las que se basan las aplicaciones del carbón activado son dos: Alta capacidad y baja selectividad de retención. La alta capacidad de eliminación de sustancias se da por la alta superficie interna que



contiene, es decir la porosidad y distribución de tamaño de poros que juegan un papel importante. En general, los micro poros (tamaño inferior a 2nm), le confieren la elevada superficie y capacidad de retención, mientras que los meso poros (tamaño comprendido entre 2-50nm) y macro poros (tamaño >50nm), son necesarios para retener moléculas de gran tamaño, como pueden ser colorantes o coloides, y para favorecer el acceso y la rápida difusión de las moléculas a la superficie interna del sólido. [22]

Los factores que influyen en la adsorción de compuestos presentes en el aire de acuerdo al amplio estudio que tiene Lenntech de la Universidad Técnica de Delft quienes desde 1993 realizan estudios acerca de las propiedades de adhesión del carbón activado en agua y aire. [23]

El tipo de compuesto que desea ser eliminado: en general los compuestos de alto peso molecular, baja presión de vapor/alto punto de ebullición y alto índice de refracción son mejor adsorbidos. [23]

La concentración: Cuanto mayor sea la concentración, mayor será el consumo de carbón. [23]

La temperatura: Cuanto más baja sea la temperatura, mejor será la capacidad de adsorción. [23]

Presión: Cuanto mayor sea la presión, mayor será la capacidad de adsorción. [23]

Humedad: Cuanto más baja sea la humedad, mayor será la capacidad de adsorción. [23]

2.5 Turbina como sistema de succión de aire

La turbina de canal lateral de una y dos etapas han sido usadas para impulsar o aspirar aire, gases o mezclas, su funcionamiento es simple, el ventilador está dotado por pequeñas aletas que giran dentro de un estator (ver Ilustración 4).



Ilustración 4. Muestreador PST.



Fuente: Los Autores.

2.5.1 Principio.

Las fuerzas que intervienen dentro de la turbina generan fuerzas centrífugas que crean remolinos de aire que son arrastrados por las paletas de aspiración hacia la descarga. No hay partes en contacto, por lo cual las turbinas no necesitan mantenimiento ordinario, sin embargo, pueden funcionar en continuo solamente dentro de ciertos intervalos de presión. Por este motivo es necesario instalar válvulas de limitación del vacío y de la presión para no dañar el motor. [24]

2.6 Fuentes potenciales de error.

Previamente al desarrollo de todo el proyecto se consideró pertinente establecer los posibles errores que entre las actividades descritas en la metodología podrían suceder con el fin de tener un control relativo, algunos de estos descritos en guías internacionales y otros adaptados a consideración de los autores (ver Tabla 1).

Tabla 2. Fuentes Potenciales de Error

Fuentes potenciales de error	Descripción del proceso
Partículas Volátiles.	Las partículas volátiles recolectadas en los filtros a menudo se pierden durante el envío y/o el almacenamiento de los filtros en forma previa al pesaje posterior al muestreo. Aunque el envío y almacenamiento son algunas veces inevitables, los filtros deberán ser re-pesados tan pronto se elimine la



	cantidad de humedad retenida (24 horas), para minimizar el margen de error.
Manejo del Filtro	Es necesario el manejo cuidadoso de los filtros entre los pesajes del pre muestreo y el pos muestreo, para evitar errores debido a daño de los filtros o pérdidas de partículas recolectadas en los filtros. El uso de bolsa ziploc totalmente herméticas, guantes, pinzas para la manipulación de los filtros puede reducir la magnitud de estos errores.
Variación de la velocidad de flujo	Las variaciones en la velocidad de flujo de operación del muestreador pueden alterar las características de discriminación del tamaño de partícula a la entrada del muestreador. La magnitud de este error dependerá de la sensibilidad de la entrada a las variaciones en la velocidad de flujo por lo que se requiere el uso de un mecanismo de control de flujo (By-Pass), para minimizar este error. [25]
Determinación del volumen de aire	Pueden resultar errores en la determinación del volumen de aire por errores en las mediciones de velocidad de flujo y tiempo de muestreo. El volumen estimado dependerá del tiempo de muestreo por lo que es necesario controlar la medición del tiempo al inicio y al final del muestreo de la manera más exacta posible.
Determinación de volumen total de Espirometria a los usuarios	El cálculo de volumen inspirado en una inhalación por unidad de tiempo permite conocer algunas características propias de la actividad de respiración, como lo es la velocidad de flujo, caudal y volumen en cada inhalación, es por eso que en el área de la medicina se han utilizado varios equipos y técnicas que permiten realizar este cálculo para detectar anomalías en el árbol bronquial y dictaminar una patología. [14]
Humedad colectada	Los filtros de fibra de vidrio son relativamente insensibles a los cambios de humedad relativa, pero la materia particulada recogida puede ser higroscópica. El acondicionamiento de humedad minimiza el error en el procedimiento, pero no se puede eliminar por completo el error debido a la humedad. [26]
Sensibilidad del vacuometro	El éxito y aprobación de los datos dependen en gran medida de los instrumentos de medición y su correcto funcionamiento, como lo es la balanza analítica, quien proporcionara la información respecto al material retenido, por lo que es de gran importancia conocer las condiciones en las que se encuentra, lo anterior suele conocerse a través de métodos de calibración



	utilizados y certificados como el ilustrado por el centro español de metrología, donde se recomienda un protocolo de calibración, lo que permitirá conocer un error medio de la balanza frente a los datos suministrados. [27]
Sensibilidad y calibración de la balanza	Para conocer la incidencia de estos factores de error, se halló por métodos estadísticos el porcentaje de incertidumbre a partir de la distribución de datos en medidas repetitivas del pesaje y la calibración del dispositivo de medición, es decir un rango de error a partir de la desviación estándar en los grupos de los datos.
Colmatación del filtro	Debido al funcionamiento del mecanismo de succión es posible que ante una obstrucción parcial en la entrada de aspiración, las mediciones varíen, por lo que la colmatación del filtro causará esa alteración de condiciones, esto se evidencia en la lectura del vacuometro, observando un cambio en el flujo de succión y por ende el volumen aspirado e inhalado, este posible fenómeno no se corrige, si no que se registra para informar el tiempo de colmatación y así estimar por cuánto tiempo se puede usar un solo filtro.

Fuente: Los Autores

2.7 MARCO LEGAL.

El cumplimiento de la normativa es de gran importancia para el análisis de la problemática y la relación que tiene con el tema de protección y prevención de enfermedades son factores que a través de la normativa ambiental se desarrolla.

Tabla 3. Normas Nacionales.

NORMA	QUIEN LA REGLAMENTA	OBJETIVO
Decreto 948 de 95/ Aplica de forma general a fuentes fijas	Ministerio de Ambiente	Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la



NORMA	QUIEN LA REGLAMENTA	OBJETIVO
		protección de la calidad del aire
Resolución 909 de 2008/ aplicada a fuentes fijas	Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial	Esta Resolución modifica parcialmente la Resolución 005 de 1996. Establece las normas y estándares admisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas.
Resolución 910 de 2008/ aplicada a fuentes móviles	Ministerio de Ambiente	En esta Resolución se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deben cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995, se reglamentan los requisitos y certificaciones a las que están sujetos los vehículos y demás fuentes móviles, sean importadas o de fabricación nacional, y se adoptan otras disposiciones.
Resolución 610 de 2010	Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial	Se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia. Establece niveles máximos permisibles para PSP, PM ₁₀ y establecimiento de contaminantes criterio así como su procedimientos, frecuencias y metodología establecidas en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire que adoptará el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
Resolución 650 de 2010/Aplica en forma		A través de esta Resolución se adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. El



NORMA	QUIEN LA REGLAMENTA	OBJETIVO
general a la calidad del aire	Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial	protocolo establece las directrices, metodologías y procedimientos necesarios para llevar a cabo las actividades de monitoreo y seguimiento de la calidad del aire en el territorio nacional. Este protocolo está compuesto por dos manuales, que forman parte integral de la resolución: Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire y, Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire.
Resolución 651 de 2010/Aplica en forma general a la calidad del aire	Sistema de Información Ambiental Colombiana (SIAC)	Con esta Resolución se crea el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire - SISAIRE - como fuente principal de información para el diseño, evaluación y ajuste de las políticas y estrategias nacionales y regionales de prevención y control de la contaminación del aire; el SISAIRE hace parte del Sistema de Información Ambiental para Colombia SIAC.

Tabla 4. Normativa Bogotá.

NORMA	QUIEN LA REGLAMENTA	OBJETIVO
Resolución 6982 de 2011 del departamento técnico administrativo del medio ambiente – dama/ aplica a fuentes fijas	Secretaría Distrital de Ambiente	En esta resolución se dictan normas sobre prevención y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas y protección de la calidad del aire.
Resolución 1908		Ésta fija los niveles permisibles de



NORMA	QUIEN LA REGLAMENTA	OBJETIVO
de 2006 del dama/aplica a fuentes fijas	Secretaría Distrital de Ambiente	emisión de contaminantes producidos por fuentes fijas en las áreas-fuente de contaminación alta Clase I.
Decreto 174 de 2006 de la Alcaldía Mayor/Aplica tanto a fuentes fijas como móviles	Secretaría Distrital de Ambiente	El Decreto adopta medidas para reducir la contaminación y mejorar la calidad del Aire en el Distrito Capital. En éste se clasifican a las localidades de Puente Aranda, Fontibón y Kennedy, como áreas-fuente de contaminación alta, Clase I, por material particulado menor o igual a 10 micras (PM ₁₀).

Tabla 5. Guías y Métodos Internacionales.

Guías	QUIEN LA REGLAMENTA	OBJETIVO
Guías de calidad de aire de la OMS (2005)	Ofrece orientación sobre la manera de reducir los efectos de la contaminación del aire en la salud.	Establece los nivel máximos posibles para MP, O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , dentro de los límites estándares para la salud de la población.

3. METODOLOGIA

A partir de la estructuración del proyecto se requirieron ciertas fuentes referentes a los temas asociados en estudio, como la elaboración y síntesis de espumas de poliuretanos, propiedades del carbón activado, capacidad pulmonar, ecuación de Renouard, cálculos y conversiones, entre otras adicionales referentes al portafiltro y dimensionamiento nasal que se nombran en el transcurso de la metodología realizada.

3.1 Realización de espumas y selección cualitativa.

De acuerdo a la literatura revisada para la creación de espumas de poliuretano flexible, se requirió la mezcla de tres componentes esenciales, isocianato, poliol y carbón activado previamente pulverizado, que se sometieron a una mezcla a altas revoluciones con un taladro de broca de mezcladora, que proporcionó homogeneidad, este proceso se repitió para cada prueba de dosificación de



componentes químicos (ver Ilustración 4), cada elaboración de espuma fue rotulada debidamente, para posterior selección.

el isocianato requerido para la fabricación de espuma flexible es el diisocianato de tolueno (TDI), en una concentración menor al 2%, el carbón activado se encuentra de manera granular para ser mezclado con el isocianato con el que no tiene ningún tipo de reacción, para posteriormente agregar el polioliol y revolver con un mezclador de altas revoluciones.

Las propiedades cualitativas que se valoraron para la selección de la espuma fueron la porosidad respecto a cantidad de carbón activado, registrando la dosificación usada y alguna caracterización cualitativa de cada una, lo que permitió escoger una de ellas entre 30 dosificaciones distintas (ver Ilustración 5).

Ilustración 5. Espuma preparada.



Fuente: Los autores

Al agregar el polioliol la reacción se da en menos de dos segundos siendo una reacción exotérmica, formándose la espuma lentamente en un molde con la forma requerida, ya que iba a ser usada por fosas nasales, por lo que se pensó en crear un molde en termo formado con las características requeridas (ver ilustración 6), donde se depositó la espuma recién mezclada y se esperó a que terminara su reacción de 5 a 10 minutos, para ser cortadas y adaptadas a porta filtros creados.



Ilustración 6. Molde en termo formado

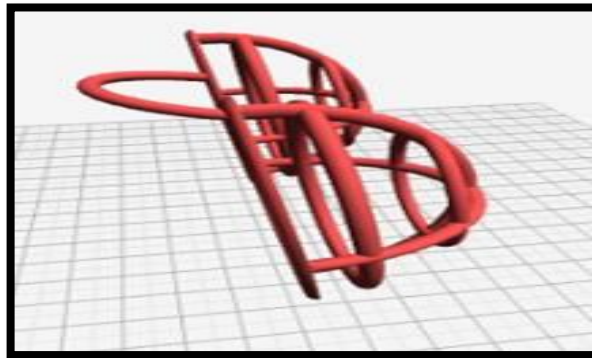


Fuente: Los autores

3.2 Elaboración de porta filtro para usuario.

Como se pensó en el uso del producto al servicio de los usuarios, se propuso un modelo del porta filtro con el fin de tener aislado el filtro de las paredes de las fosas nasales y minimizar materiales externos al encontrado en el aire ambiente, para elaborar el porta filtro como se muestra en la ilustración 7, se realizó el modelo en el software online www.3dtin.com (ver Ilustración 7).

Ilustración 7. Modelo 3D del portafiltro.



Fuente: Los autores

Se creó un molde hecho de material rígido llamado Polietileno HDR, por medio de un torno, al que se le dio la forma requerida para generar Ilustración 8 y obtener varios porta filtros para el uso en las pruebas (ver Ilustración 8).



Ilustración 8. Molde para elaborar porta filtro.



Fuente: Los autores

El material usado para crear el porta filtro es plastisol, un material elástico que permite en estado líquido moldearse y untarse sobre el molde para luego ser retirado y obtener el porta filtro, para el secado y uso de este es necesario introducirlo en el horno con una temperatura aproximada entre 120°C a 150°C por 10 minutos para que el material pueda adoptar la apariencia de un plástico de baja densidad, al retirarlo del horno se debe dejar en reposo entre 2 minutos para su enfriamiento y pueda ser llevado al ensamble con la espuma de poliuretano y posterior uso en las pruebas (ver Ilustración 9).

Ilustración 9. Portafiltro de Plastisol.

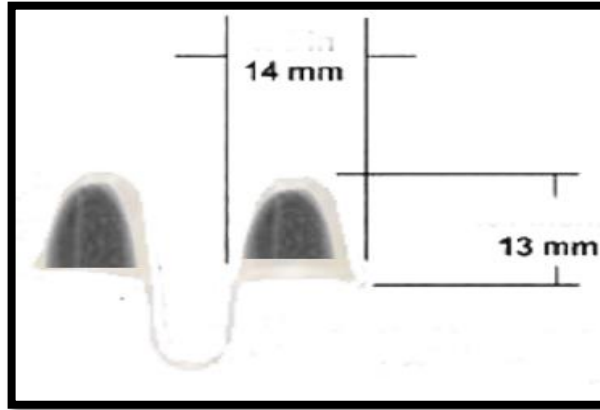


Fuente: Los autores



Las características del porta filtro se muestran en la ilustración 10, medidas que se realizaron a conveniencia de los autores.

Ilustración 10. Dimensiones del portafiltro.



Fuente: Los Autores

Las medidas estándares fueron las registradas en la anterior ilustración, pero por motivos ergonómicos se dispusieron dos medidas más pequeñas entre 2 y 3 mm más de diámetro (ver ilustración 11).

Ilustración 11. Filtros para uso nasal



Fuente: Los autores

3.3 Adaptación de equipo de succión

Se procedió a comprar una turbina de 12 voltios para ser adaptada en pro de la succión, la turbina originalmente estaba en función de sople, por lo que fue

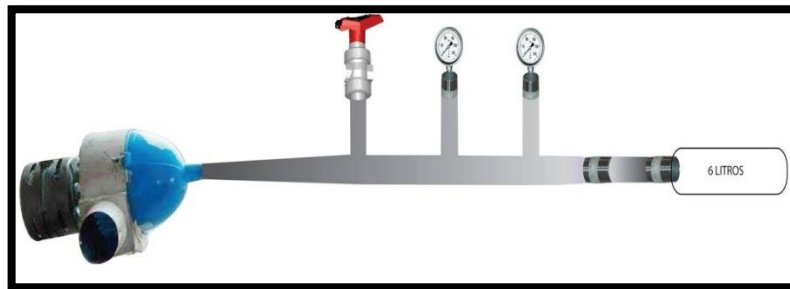


necesario modificarla adaptando un embudo en la zona de aspiración donde se montó la tubería y el filtro.

El proceso de modificación para lograr un sistema de succión tuvo lugar en un taller de metalmecánica familiar donde se encontraban las herramientas necesarias para el trabajo, inicialmente se elaboró un diseño para lograr manipular el flujo de aire que ingresaba en donde se disponía el filtro (ver Ilustración 11), por lo que se procedió inicialmente a comprar una tubería PVC de $\frac{1}{2}$ pulgada, instalación que no fue efectiva para detectar las variaciones de presión, dando así paso a la tubería de cobre de $\frac{3}{8}$ de pulgada, la cual fue utilizada en todos los muestreos.

La turbina se encontró conectada a él tren de muestreo que se constituía por una tubería de cobre de $\frac{3}{8}$ de pulgada con tres orificios perpendiculares al eje de la tubería, el primero en sentido rotor filtro, tenía como función instalar el by-pass y los otros dos siguientes para tomar datos de presión para hallar caudal (ver ilustración 12), donde se contuvo el filtro fue una unión de tubería pvc de $\frac{1}{2}$ pulgada, área aproximadamente equivalente a la de las fosas nasales.

Ilustración 12. Prototipo del sistema de succión



Fuente: Los autores



Ilustración 13. Sistema de succión ensamblado



Fuente: Los Autores

3.4 Instalación de los Equipos

El proyecto se desarrolló inicialmente con la creación de los filtros en los laboratorios de la universidad Santo Tomás, sede principal, ubicada en la ciudad de Bogotá, localidad de Chapinero, en la Cra. 9 # 51 – 11, la segunda etapa tuvo lugar en el balcón de la iglesia nuestra señora de Chiquinquirá de la universidad Santo Tomás de Aquino, donde se realizaron las respectivas pruebas con la bomba, lugar que contempla características importantes por la cercanía a los altos flujos de fuentes móviles donde transitan en gran medida los ciclistas por la ciclo ruta y además se encuentran algunos vendedores ambulantes.

Para la instalación de los equipos de medición, primero se procedió a organizar las herramientas necesarias para el muestreo, la instalación de seis metros de extensión eléctrica, la cámara de video puesta en un trípode a una altura de 1,5 m en posición sur-norte grabando los vehículos que provienen de norte-sur, se conectaron las turbinas a la electricidad, se ubicó la cicla estática lo más cercana a ellas, se ensambló la tubería a la turbina de cobre de 3/8 de pulgada con el filtro previamente listo, todo ensamblado para las pruebas, posteriormente se realizó una calibración previa del sistema de succión, es decir las turbinas, para conseguir el caudal requerido de acuerdo a la tabla realizada con anterioridad (ver anexo 1), al encontrarse en las condiciones necesarias se dispusieron los filtros en la nariz del ciclista y vendedor ambulante a simular, y se encendieron las turbinas al igual que la cámara de video.



3.5 Horno

El proceso de extracción de humedad se realizó más que todo a consideración de los autores debido a que se evidencio alta humedad por la diferencia de peso en los filtros usados por usuarios vendedor y ciclista respectivamente, por lo que existió la facilidad de someterlos a un secado en horno dentro de un frasco Petri gracias a la empresa Fumigar & Servicios Ltda.; por alrededor de 3 horas a una temperatura baja de 40°C, este proceso aunque no consta de veracidad científica para estos casos, es un proceso usado en varios procesos de secado, en caso similares según protocolos de la EPA sugiere mantener temperaturas de 15 a 30°C, es decir se supera en un lapso de tiempo lo exigido por estos protocolos (ver anexo 17).

3.6 Pesaje del Filtro.

Conociendo de antemano que el éxito de las pruebas y la certeza de los datos dependen de los sistemas de medición, el proceso de pesaje del filtro antes y después de las pruebas se realiza como mínimo tres veces para dar un valor promedio veraz.

Los filtros fueron pesados diariamente antes y después de la prueba y al día siguiente después del secado; para retirar la humedad del filtro y así determinar el peso neto (PST).

Una vez ejecutado el muestreo, se realizó el pesaje de los filtros, se pesaron todos 1 hora después de las pruebas y luego se sometieron a un proceso de secado lento, únicamente de los filtros que fueron usados por los usuarios, el secado por alrededor de 3 horas a 40°C a determinación de los autores, 16 horas después de secados se pesan nuevamente para determinar el peso final y la humedad aproximada que contenían, luego se halló el porcentaje de error real entre el flujo de la bomba y el real del usuario.

Para llevar a cabo el pesaje pre-campo y post-campo de los filtros se tuvo en cuenta que los factores como la humedad relativa y la temperatura pueden afectar las concentraciones en las que se encuentra las muestras para esto la EPA 40 CFR 50 apéndice B para PST y 40 CFR 50 apéndice J para PM₁₀ recomienda qué las condiciones en que deben estar los filtros respecto a temperatura esta entre los rangos para PST de 15 a 30 °C, estas condiciones en función del proyecto no se aseguraron con gran efectividad ya que únicamente se hizo el secado en horno a 40°C y las demás 16 horas a temperatura ambiente, pero se aseguró que los



únicos momentos donde tuviera contacto el filtro con el exterior fuese para el secado y pesaje final, por medio del sello hermético de la bolsa, de cierta manera el sello puede aislar tanto la humedad relativa como de material ajeno en el ambiente. [26]

Cada filtro se pesa antes y después de usarlo para determinar el peso neto (masa) ganado debido al PST colectado mas humedad. El volumen total de aire muestreado, corregido a las condiciones de referencia (25 °C, 102.84 KPa↓), se determina a partir del tiempo de muestreo. La concentración másica de PST en el aire ambiente se calcula como la masa total de partículas recolectadas en el intervalo de tamaño de PST dividido por el volumen de aire muestreado y se expresa en microgramos por metro cúbico estándar $\mu\text{g}/(\text{m}^3\text{std})$. [28]

3.7 Aforo vehicular

El aforo vehicular se realizó todos los días, posterior al trabajo de campo, gracias a la cámara de video instalada en el transcurso del muestreo se grabó todo el movimiento vehicular y se cuantifico en las tardes observando las grabaciones.

3.8 Cadena de Custodia.

La cadena de custodia comienza desde que se pesa por primera vez el filtro, una vez registrado su peso, se toma con pinzas para ser empacado herméticamente en una bolsa de sello hermético, se rotula con la inicial de quien dispuso el filtro, del mes y el número del día que se realizó la prueba, en el momento de la prueba se saca de la bolsa con las pinzas y alista en el porta filtro previamente listo, posterior al registro de video y el muestreo se retiran con pinzas los filtros y empacan en las bolsas de sello hermético para ser pesados en la etapa post-campo y sufrir un proceso de secado en horno necesario para su peso final.

La ficha a continuación muestra las fichas usadas para elaborar los protocolos del desarrollo del proyecto (ver Anexo 17).



Tabla 6. Ficha de protocolos de metodología

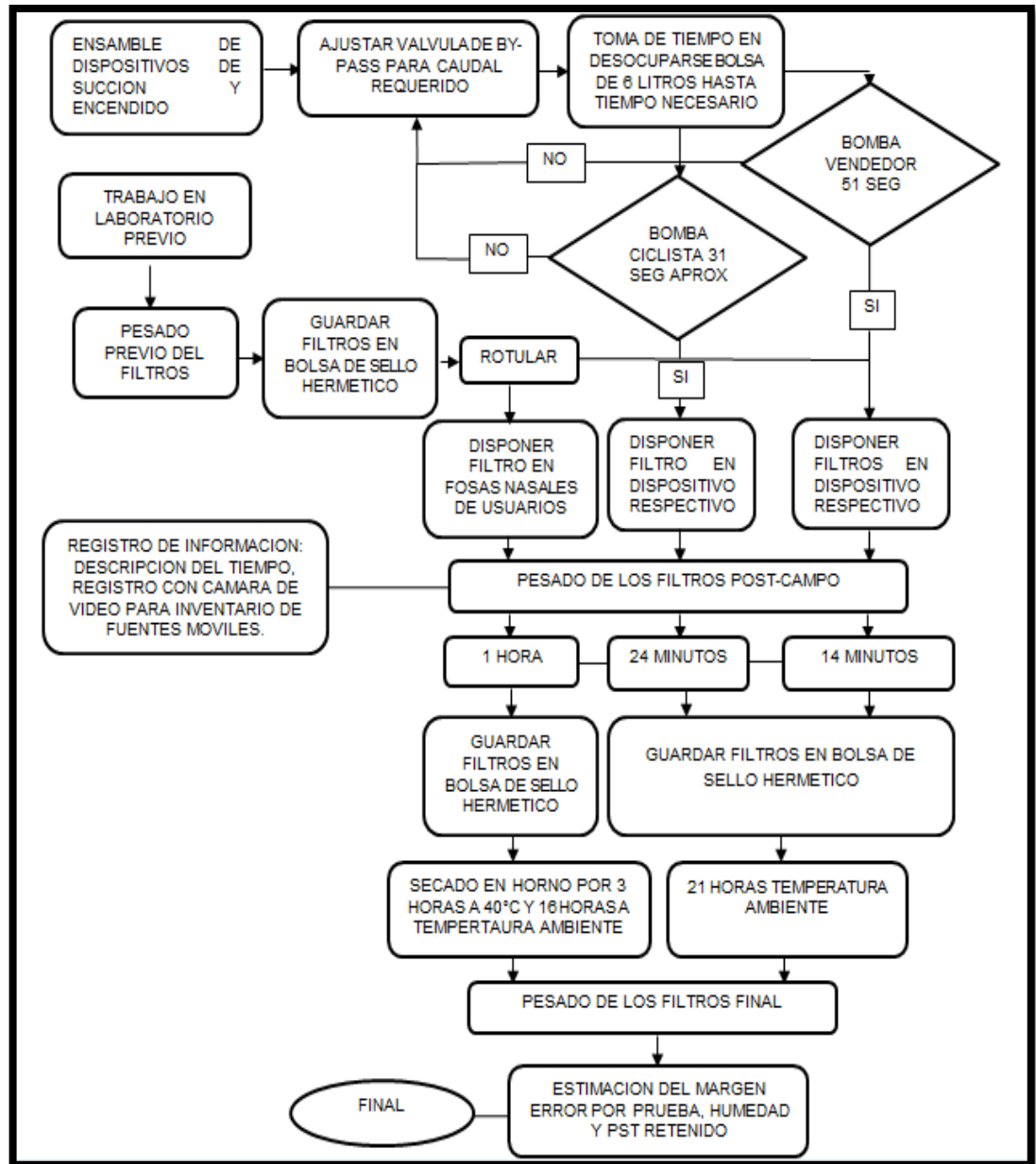
TITULO DE PROTOCOLO	
 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA F U N J A <i>Experiencia y Calidad</i>	FACULTAD
DESCRIPCIÓN GENERAL	
PROCESO, PROCEDIMIENTO Y FUNCIONAMIENTO	
EQUIPOS	
Elaborado por:	

Fuente: Los autores



3.9 Diagrama de flujo proceso de muestreo.

Ilustración 13. Diagrama de flujo del desarrollo del muestreo



Fuente: Autores.

En la Tabla 7 se muestran las características generales del lugar y hora del muestreo.

Tabla 7. Características del muestreo.

Punto de Aforo: Av. Cr 13 N° 51-14 Iglesia nuestra señora de Chiquinquirá			
Coordenadas X	530765.51	Longitud	-74 ⁰ 06' 52,86''
Coordenadas Y	8212296.17	Latitud	04 ⁰ 63' 16,28''
Coordenadas, Longitud y Latitud Acceso Norte			
DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO			
Horario del muestreo bomba ciclista		09:00-09:24	
Horario muestreo bomba vendedor		09:00-09:14	
Horario muestreo ciclista		09:00-10:00	
Horario muestreo vendedor ambulante		09:00-10:00	
No. de días tomados		25	
Horario de la toma de información		09:00-10:00	
No. de equipos utilizados (personal)		2	

Fuente: Los autores



4. RESULTADOS

4.1 Selección de la espuma a evaluar

A partir del proceso de síntesis de espuma de poliuretano con carbón activado, se observaron varias características relevantes para escoger la más apropiada, primeramente se observó la porosidad de la espuma relacionada con su resistencia, es decir cuando se agregó más poliol que el estándar, la espuma tendió a tener poros más cerrados, mayor resistencia y densidad, cuando se agregó más isocianato que el estándar, la espuma tendió a tener los poros más abiertos, menor resistencia pero el olor era un poco más fuerte, técnicamente la prueba numero 13 arrojó un tipo de espuma con las características necesarias para el propósito del proyecto, una cantidad de 5 ml de isocianato, 20 ml de poliol y un gr de carbón activado. (ver Anexo 12).

4.2 Selección de portafiltro

Posterior a la realización del portafiltro como se muestra en la sección 3.2 se introdujo la espuma al portafiltro, quedando en sí, los filtros nasales que se dispusieron en las fosas de la nariz de los usuarios mencionados, estableciendo un tamaño del portafiltro de 6 mm de radio, el propuesto era de 7 mm de radio, esta selección se dio cualitativamente por la ergonomía de los autores.

4.3 Estimación de caudales a operar

Para asegurar que las condiciones de succión de las turbinas y las de la respiración humana sean iguales se realizaron una serie de cálculos básicos que permitieron dar solución a un factor de error que era, la velocidad de flujo de gas de la persona y el dispositivo, lo que se buscó, fue encontrar en condiciones de área y caudal una velocidad de flujo parecida en los tratamientos por parejas, considerando que es un factor importante en la retención de PST como se considera en otros sistemas de muestreo.

Los cálculos realizados inicialmente fueron, el cálculo de volumen por inhalación que es alrededor de 500ml y la cantidad promedio de inhalaciones por minuto bajo las condiciones de un ciclista y condiciones en reposo, por lo que se estableció un patrón de alrededor de 14 respiraciones por la persona que representa el vendedor ambulante y 24 por el que representa un ciclista, siempre con tiempos de inhalación de un segundo más o menos 0.3 segundos en los dos casos, es



decir que en el caso del ciclista de los 60 segundos de un minuto, 24 son inhalaciones y los otros 36 corresponden a exhalaciones y pausas y en el caso del vendedor 14 son inhalaciones y los otros 46 pertenecen a exhalaciones y pausas,

La velocidad de flujo bajo las condiciones anteriormente establecidas que son promedio en las gráficas espirométricas encontradas, es de 1,29 m/s en sección de tubería de 19 mm de diámetro y un caudal de 12 L/min para el caso del ciclista, y las mismas condiciones para el vendedor ambulante pero con un caudal de 7 litros por minuto, lo que conlleva naturalmente a conocer los tiempos de muestreo que son distintos para la bomba y los usuarios a fin de igualar las velocidades de flujo de inhalación en el transcurso del tiempo (ver anexo 1).

4.4 Calibración del equipo de succión

4.4.1 Proceso de calibración

El proceso de calibración de la turbina como dispositivo de medición no se desarrolla en función de una ficha técnica u hoja de vida del dispositivo, este proceso se realiza mediante el registro de la pérdida de presión en cuatro caudales distintos mediante el ajuste del by-pass, lo que permite modificar el flujo que ingresa por el orificio donde se dispone el filtro, estos valores (pérdida de presión VS caudal) se registran y correlacionan para conocer la linealidad del sistema.

Para conocer el caudal teórico se utiliza la fórmula de Renouard quien bajo los principios de la continuidad de gases considera las variables presión, diámetro de la tubería, longitud entre dos puntos de medición, caudal y la densidad del gas. [29]

Ecuación 2. Formula de renouard lineal ($P < 50\text{mbar}$)

$$P_2^2 - P_1^2 = \frac{25,076 \times G \times Le \times Q^{1.82}}{D^{4.82}} \quad \text{Dónde:}$$

$$Q = \sqrt[1.82]{\frac{D^{4.82}(P_2^2 - P_1^2)}{25,076 \times G \times Le}}$$

G = Densidad relativa del gas

Le = Longitud equivalente de tramo de tubería

Q = caudal estándar en condiciones normales



D = Diámetro interior del tramo de tubería

P1 = Presión absoluta del gas al inicio del tramo de la tubería

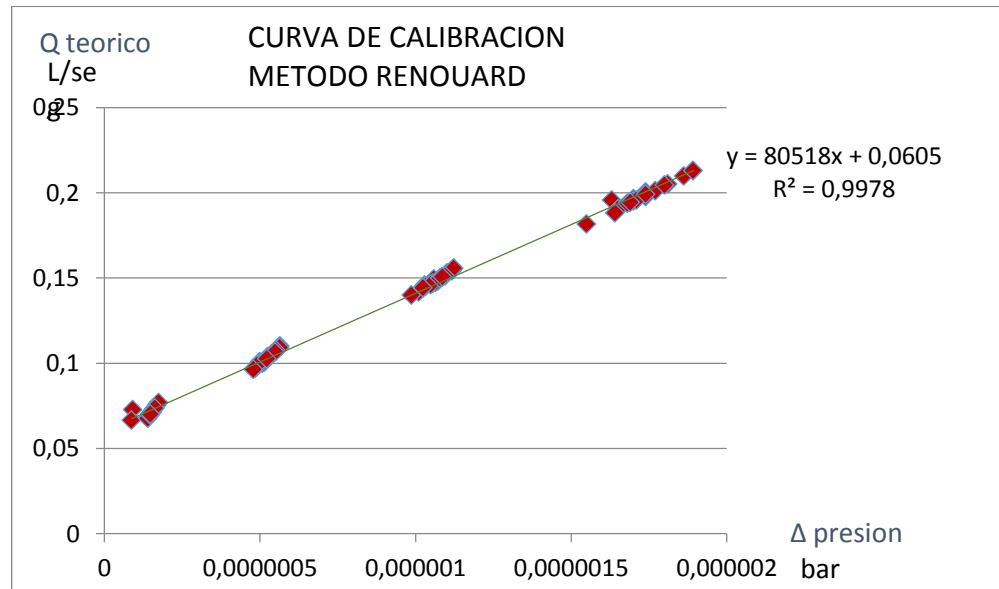
P2 = Presión absoluta del gas al final del tramo de la tubería

▪ Curva de calibración del dispositivo de medición (turbina)

Para asegurar que la sensibilidad del bay-pass y la potencia de la turbina se comportan de manera lineal se realizaron una serie de ensayos registrando la presión en los dos puntos de medición y se calculó el caudal que ingresaba bajo esas condiciones en cuatro posiciones de la válvula by-pass, es decir cuatro distintos grados de abertura desde su cierre (15°, 25°, 35° y 45°), la cantidad de pruebas por cada abertura se realizaron 20 veces, es decir en total 80 pruebas para su calibración (ver Anexo 14).

Los datos de la pérdida de presión respecto al caudal ingresado en las cuatro posiciones de la válvula by-pass se correlacionan mostrando la linealidad del sistema (ver Grafico 4).

Grafico 4. Curva de Calibración método formula de renouard.

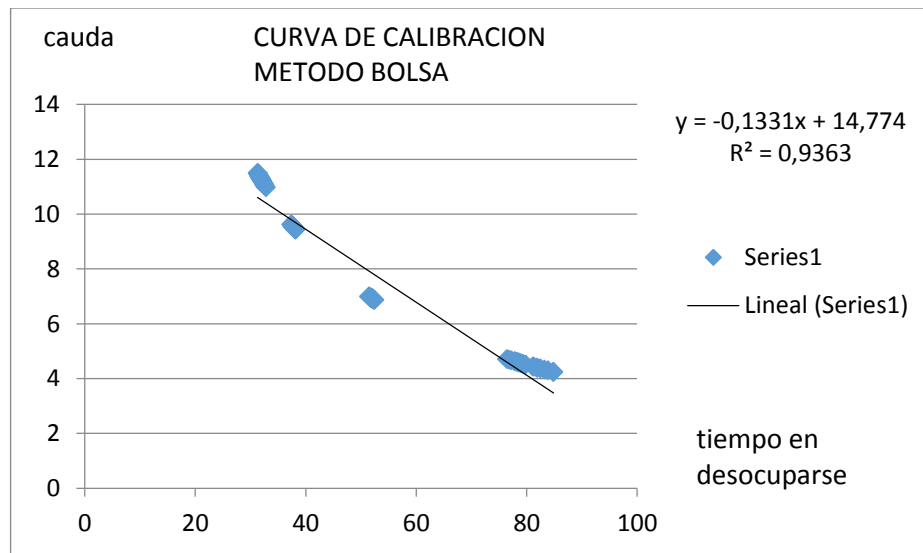


Fuente: Los autores

Debido a la sensibilidad del vacuometro se tuvieron que realizar otros métodos para detectar el flujo de aspiración de la bomba por medio de una técnica empírica que consiste en llenar una bolsa de 6 litros de aire y conectarla a la entrada donde

se dispone el filtro y encender la turbina para poder registrar el tiempo en que se desocupa por cada una de las posiciones mencionadas anteriormente, al igual que en las pruebas anteriores se tomaron 20 pruebas por las cuatro posiciones de abertura de la válvula (ver Grafico 5), para sacar un promedio y contrastarlo con lo registrado por la fórmula de Renouard mostrado en los (ver anexo 15).

Grafico 5. Curva de calibración método bolsa.



Fuente: Los autores

Teniendo en cuenta los cálculos mencionados se procedió a establecer la posición del by-pass, con el fin de mantener el caudal de las turbinas estándar para todos los muestreos a pesar de la calibración diaria que se realiza, siendo la posición del by-pass para el caso del ciclista de 15° de abertura, donde se encontró un caudal de 11.27 L/min en promedio con un porcentaje de incertidumbre de 1,27% bajo la calibración con el método bolsa creado para el estudio. La posición del by-pass para el caso del vendedor es de 35° de abertura donde se encontró un caudal de 6,92 L/min en promedio y un porcentaje de incertidumbre de los datos de 0,45%.

De acuerdo a la modificación del sistema de succión, se procuró tener las condiciones de succión lo mayor mente parecidas a las de la capacidad pulmonar y por ende también al área de las fosas nasales, con el fin de asegurar una misma velocidad de flujo que atraviesa a el filtro, es decir el área equivalente donde se dispone el filtro en las fosas nasales es de 23 mm² asumiendo las fosas nasales como circulares de un radio de 6mm; es por esto que en los dos sistemas de succión se dispone el filtro en una unión de PVC de ½ pulgada que su área equivalente equivale a 25mm².



Conociendo las variables básicas halladas con anterioridad como el caudal y el diámetro del lugar donde se dispone el filtro se puede hallar la velocidad de flujo con la ecuación 3, que de cierta forma es de vital importancia para no discriminar partículas.

Ecuación 3. Calculo de velocidad de flujo en condiciones dadas.

$$V = \frac{Q}{60 * \pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

V = Velocidad del aire (m/s)

D = Diámetro interno de la tubería (m)

Q = Caudal de aire (m³/s)

4.5 Proceso de toma de datos post-campo

4.5.1 Eliminación humedad colectada por los usuarios en la actividad de exhalación.

La técnica para estimar las partículas suspendidas totales captadas por el filtro se basa en métodos gravimétricos, es decir por la diferencia de peso antes y después de la prueba, los resultados del filtro usado por el usuario contendría un porcentaje de humedad mayor que el filtro de la bomba debido a la actividad de exhalación, esto se sabe en el pesaje post-campo, por esta razón se toma la decisión de someter el filtro del usuario a un secado en horno a una temperatura de 40°C por un lapso de 3 horas, este secado lento asegura una evaporación de la humedad sin afectar las partículas colectadas y así la diferencia entre el filtro del usuario y el de la bomba sea mínimo.

4.5.2 Estimación de porcentaje de PST retenido

Al igual que en el proceso anterior, se estima el porcentaje de PST retenido dividiendo la diferencia de peso inicial con el peso final sobre el peso inicial como se muestra en la ecuación 4. (ver Anexo1)



Ecuación 4. Porcentaje de PST retenido

$$\% PST = \frac{(peso\ final - peso\ inicial) * 100}{peso\ inicial}$$

Fuente: Los autores

4.5.3 Estimación de porcentaje de humedad

Para calcular el porcentaje de humedad se realizó un cálculo sencillo el cual consiste en obtener la diferencia entre el peso postcampo y el peso final y hallar la respectiva equivalencia respecto al peso del filtro sin uso, como se muestra en la ecuación 5.

Ecuación 5. Porcentaje de humedad

$$\% Humedad = \left(\frac{Peso\ postcampo - peso\ final}{peso\ inicial} \right) * 100$$

Fuente: Los autores

4.5.4 Concentración de PST retenido

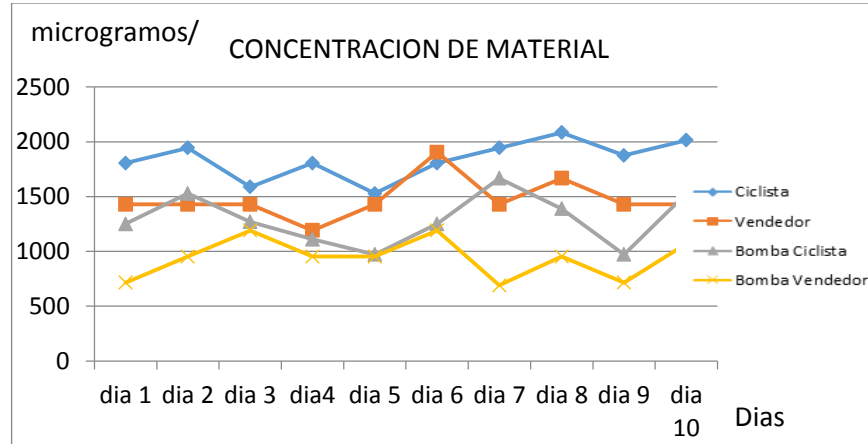
Los resultados obtenidos en las pruebas evidencian un porcentaje de diferencia alto entre los sistemas de medición y los usuarios, ciclista y vendedor ambulante, como se muestra en la gráfica 9, evidenciándose siempre un mayor porcentaje de retención de PST en los filtros usados por los usuarios.

La grafica 6 muestra que el usuario ciclista registra las mayores concentraciones de PST con un promedio en la primera fase de 1839 M/m³ y un porcentaje de incertidumbre de los datos de 9,05%, seguido del usuario vendedor con un promedio de 1476 M/m³ y un porcentaje de incertidumbre de 12,06%, luego la bomba ciclista con 1293 M/m³ y una incertidumbre 17,32%, por último la menor



concentración la obtuvo la bomba vendedor con 938 M/m³ y una incertidumbre de 18,69%.

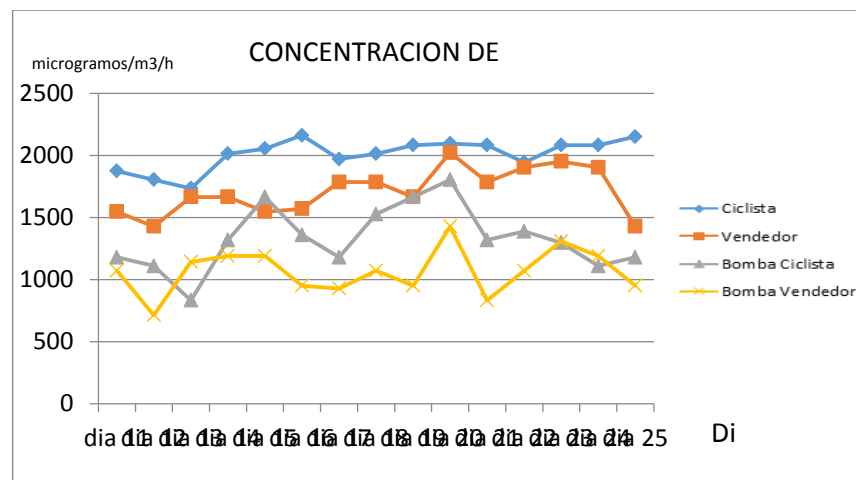
Grafico 6. Concentración de material retenido primera fase.



Fuente: Los autores

La grafica 7 muestra que el ciclista registra un promedio de 2010,83 M/m³ en la concentración de material retenido con una incertidumbre de 5,962397, siendo el grupo de mayor PST retenido, seguido del vendedor con 1711 M/m³ en la retención de PST y una incertidumbre de 10,52211, luego la bomba ciclista con 1527 M/m³ y una incertidumbre de 20,65%, por último la de menor concentración fue la bomba vendedor con 1066 M/m³ con incertidumbre estadística de 16,74% (ver Anexo 3).

Grafico 7. Concentración de material retenido segunda fase.



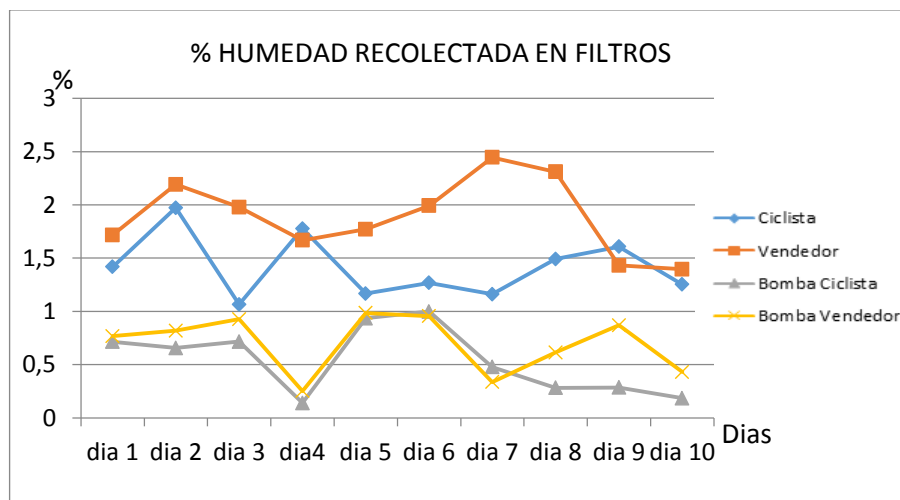
Fuente: Los autores



4.5.5 Humedad recolectada en los filtros

En la gráfica 8 se observan los valores en porcentajes de la humedad hallada como se muestra en la ecuación 5, se evidencia que la mayor humedad la tienen los filtros usados por el usuario vendedor con un valor promedio de 1,89%, seguido del ciclista con un porcentaje de 1,41%, luego bomba vendedor con 0,69% y por ultimo bomba ciclista con 0,53%, estos valores para la primera fase.

Grafico 8. Porcentaje de humedad recolectado primera fase.

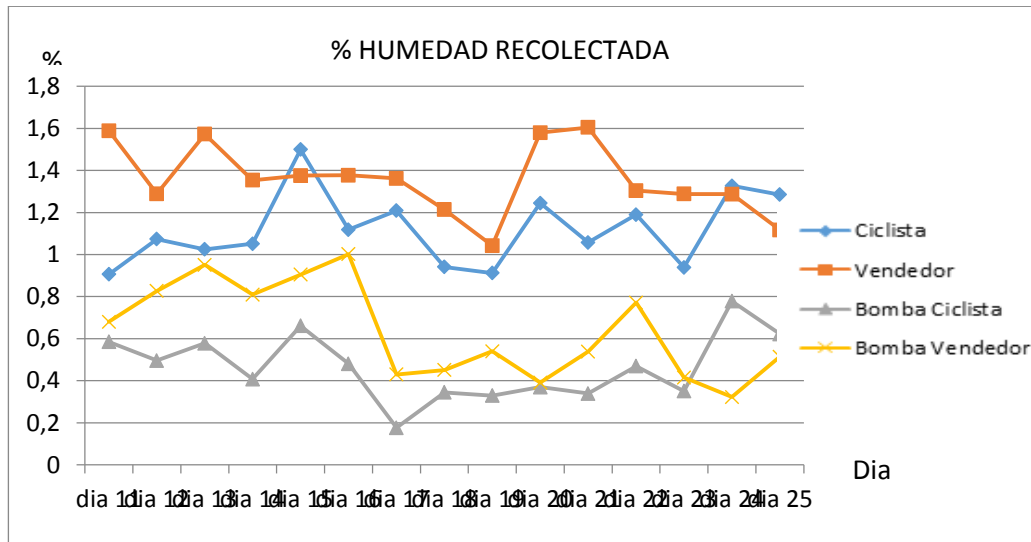


Fuente: Los autores

Para la segunda fase la mayor humedad se encontró en el filtro usado por el vendedor con un promedio de 1,35%, seguido del filtro usado por el usuario ciclista con 1,11%, luego el filtro de la bomba vendedor con 0,63% y por ultimo el filtro dispuesto en la bomba ciclista con 0,46%. (ver grafica 9)



Grafico 9. Porcentaje de humedad recolectada en segunda fase.

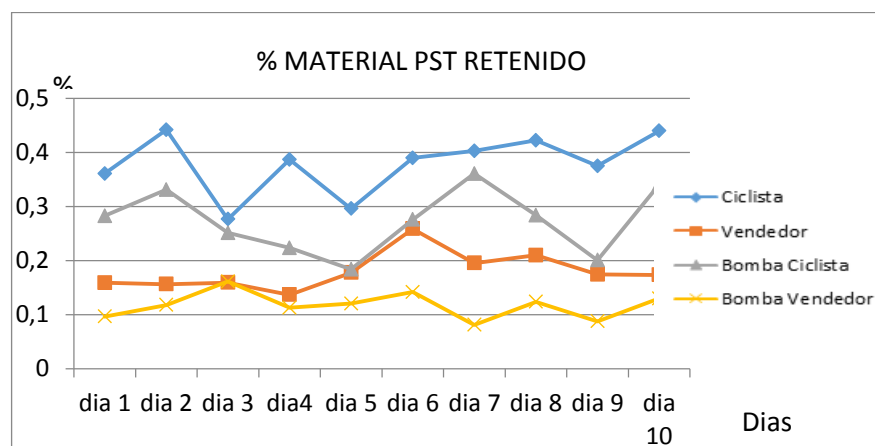


Fuente: Los autores

▪ **Porcentaje de material PST retenido**

En la gráfica 10 y 11 se muestra la igualdad del comportamiento con el de la gráfica 6 y 7 de concentración de PST retenido, solo que en esta se muestra el porcentaje respecto al peso total del filtro cuando se acababa de usar, es decir se muestra la resta del porcentaje de humedad sobre el pesado con humedad, este comportamiento de similitud se evidencia en las dos fases.

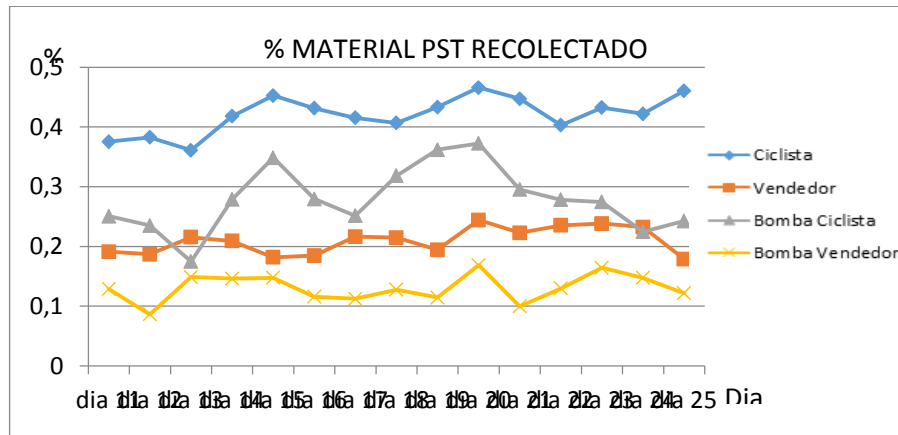
Grafico 10. Porcentaje material retenido respecto al peso total primera fase.



Fuente: Los autores



Grafico 11. Porcentaje de material retenido respecto al filtro segunda fase.

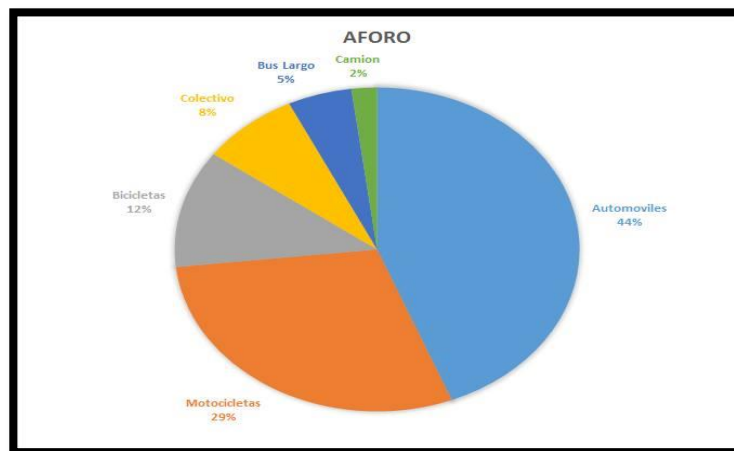


Fuente: Los autores

4.5.6 Aforo vehicular y de ciclistas en la intersección de la Av Kr 13 N° 52

El punto de aforo se localizó en la Av. Cr 13 entre calles 52 y 51 más exactamente en el balcón de la iglesia Nuestra Señora de Chiquinquirá, ubicadas en el nororiente de la ciudad, lugar regulado por semaforización. La Av. Cr 13, está conformada por una calzada para tráfico mixto sin separador central con Transporte Público Colectivo (TPC), permite la circulación en sentido Norte-Sur. La avenida carrera 13. El aforo se realizó en el punto de estudio, grabando video diariamente a la misma hora (9:00 a.m. hasta 10:00 a.m.), durante los 25 días de pruebas de investigación (ver grafico 12).

Grafico 12. Porcentajes promedio del aforo con cámara.

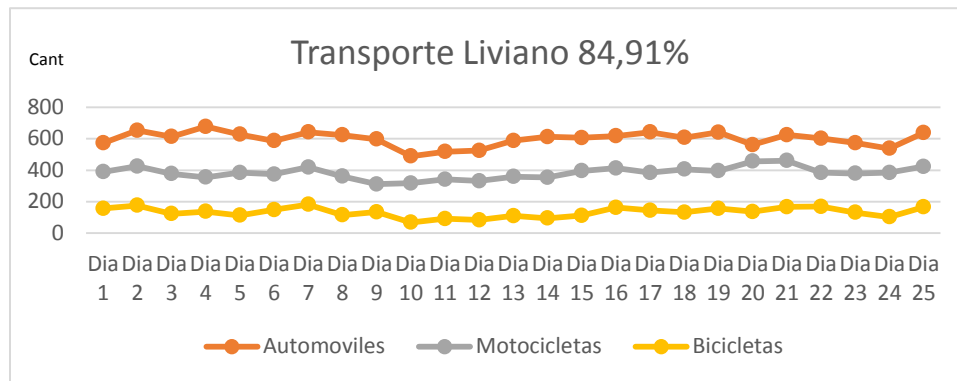


Fuente: Los autores



Las gráficas 13 y 14 muestran la cantidad de fuentes móviles que se encontraron circulando sobre la Cra. 13 # 51-38, clasificadas por su actividad socioeconómica, estas fuentes móviles con frecuencia afectan la calidad del aire de la localidad de Chapinero; por medio de videocámara, se evidencia como los automóviles son los que más circulan con las motocicletas en esta zona, siendo el transporte liviano el más concurrente con un 84,91%, no obstante el transporte público aporta una alta cantidad de emisiones a este sector junto a los camiones, debido al combustible que usan, este sector se encuentra con un 15,96% de concurrencia de circulación, por último en la zona, las bicicletas no tienen una tendencia muy alta de circulación en relación al transporte general, y son el único medio de transporte que no emite contaminantes criterio a la calidad del aire (ver Anexo 6).

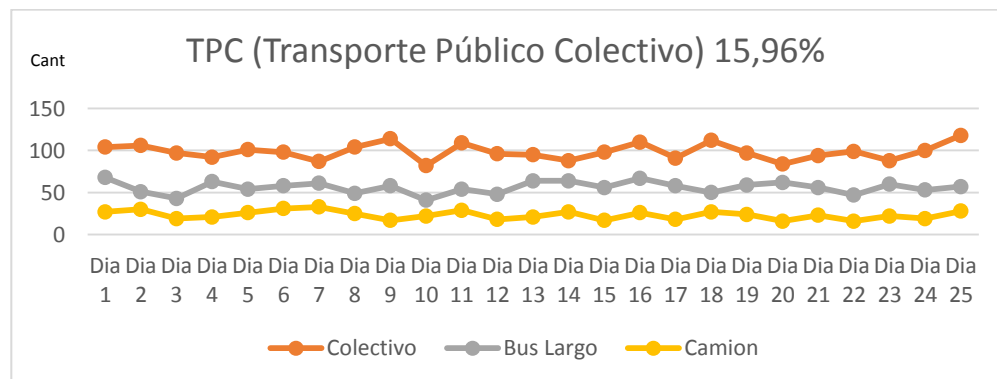
Gráfico 13. Aforo vehículos, motos y ciclas.



Fuente: Los autores

En la gráfica 14 se evidencia la cantidad de transporte público que en mayor cantidad, son colectivos, de antemano se conoce que la mayoría de estos buses utilizan combustible menor procesado y las cargas contaminantes que emiten a simple vista son mucho más pronunciadas que las de los automóviles o transporte liviano.

Gráfico 14. Aforo transporte público.



Fuente: Los autores

4.5.7 Dificultades encontradas en el desarrollo del proyecto

Considerando que la investigación es de carácter innovador, la investigación se vio sujeta a varias pruebas técnicas con estudios previos de ingeniería, es decir que se plantearon procedimientos a criterio del conocimiento adquirido en el transcurso de la carrera, bajo consultas de docentes y bibliografías, que posteriormente dieron resultados positivos pero con obstáculos técnicos más que todo en términos de verificación de las condiciones naturales bajo condiciones artificiales, las cuales se expondrán a continuación.

- **Localización**

Inicialmente se pensó en realizar el muestreo en el sector de la facultad de psicología, por las facilidades y cercanía a la carrera 13, situación que se replanteo debido al acceso al lugar, ya que el traslado de la bicicleta se tornó tedioso, dando así como punto de muestreo el balcón de la iglesia, Nuestra Señora de Chiquinquirá, donde el personal de vigilancia del momento nos permitió realizar el muestreo.

- **Diseño del filtro y porta filtró**

Con el fin de contemplar el menor margen de error y tratando de asimilar las condiciones naturales de la nariz a condiciones artificiales, se pensó en realizar el filtro de la manera más ergonómica posible sin que afectara la investigación, por lo que se pensó primeramente en la forma de los filtros, que deberían ser cónicos, dando como solución la elaboración por termo formado a un molde bajo las dimensiones establecidas, posteriormente también se pensó en elaborar un porta filtro con el fin de que al momento del pesaje las espumas no contuvieran material propio de las fosas nasales, dando como solución un molde de polietileno de HDR formado por medio de torno con las mismas dimensiones del filtro y así insertar los filtros dentro del porta filtro; la ergonomía del primer portafiltro propuesto no fue la mejor, por lo que se realizaron otros dos mas pequeño escogiendo el de 6 mm de radio.



▪ Creación del mecanismo de succión

Al momento de conseguir la bomba, nos informaron que para el uso que le íbamos a dar, era más conveniente una turbina, que tiene las características suficientes para succionar bajo periodos de tiempo bastante largos sin preocupación a recalentamientos, pero teníamos que realizar una modificación para que funcionara a manera de succión, es decir instalar un embudo en la parte donde recoge el aire y a este instalar la tubería con el circuito by-pass.

Inicialmente usamos tubería de PVC de $\frac{1}{2}$ pulgada instalando tres T's en línea, una para la válvula by-pass y las otras dos para el punto de muestreo, sistema que no funcionó debido a que el manómetro no registraba ningún valor, esto se le atribuyó al diámetro de la tubería que era muy grande respecto al caudal de aire que circulaba, por lo que se procedió a cambiar toda la tubería a una de cobre de $\frac{3}{8}$ de pulgada, sistema que sí permitió medir valores de presión, aunque para la solución a la fórmula de Renouard se requería hallar una pérdida de presión entre los dos puntos de muestreo, variable muy difícil de percibir en el vacuómetro debido a la sensibilidad en la escala de medida que se encontraba en bares, fue por este motivo que fue necesario corroborar el caudal que ingresaba por medio del método bolsa creado empíricamente a modo de solución de este problema.

▪ Eliminación de humedad

Al considerar una humedad mayor en los filtros usados por los usuarios que en los filtros usados por los sistemas de succión y conociendo teóricamente la metodología de manejo de filtros en monitoreo de calidad del aire, se propuso un secado en horno a una temperatura relativamente baja para no dañar las muestras (40°C), por un periodo de tiempo de 3 horas, consideración tomada bajo la lógica del caso, pero situación que no aseguraría una eliminación total de la humedad, lo que dio cavidad a atribuir las grandes concentraciones de los filtros usados por el ciclista y vendedor a esta humedad, esta forma de eliminación de humedad se dio por facilidad del proyecto, pero se considera que es mejor usar un desecador con silica gel.



5. Análisis de resultados

5.1 Concentración de PST retenido

Aunque la diferencia entre los cuatro involucrados (ciclista, vendedor y sus respectivos sistemas de succión, es representativa, se puede observar la simetría entre los valores en el transcurso de los días, que puede ser coherente conociendo que las condiciones ambientales en cada día varían, ya sea por la cantidad y tipo de vehículo, causas naturales o sinergia en el procedimiento de custodia.

También se evidencia que los datos de concentración de PST, obtenidos al pesar luego de eliminar la humedad, son altos, esto puede deberse a que el muestreo se realiza a nivel de las fuentes de emisión o el tiempo de secado en el horno no fue suficiente para evaporar algunas *gotículas* retenidas por las partículas de carbón activado que se contiene, en efecto puede que parte de este PST contenga humedad.(ver anexo 8,9,10 y11)

Al considerar que la bomba ciclista opero a mayor caudal, que la del vendedor, en efecto las diferencias entre parejas no se debe en gran medida a cambios en el volumen muestreado, si no a condiciones nasales como la acumulación de sales en el filtro por el efecto de respiración o simplemente es pertinente asociar este comportamiento a la no eliminación total de la humedad (ver Anexo 2).

El comportamiento de los datos se manifiesta de manera similar, con homogeneidad en el transcurso de los días para la primera y segunda fase, entre la bomba ciclista y el usuario vendedor, se evidenció que usuario vendedor tiene un aumento en la concentración de PST retenido mayor que la bomba ciclista a pesar que esta opero a mayor caudal, lo que sugiere que este aumento se debe a la humedad no eliminada en su totalidad.

En las gráficas 6 y 7, se evidencia que la influencia que tiene el caudal y volumen muestreado sobre la variable dependiente, "PST retenido" es notable; también se puede inferir que la diferencia entre parejas (ciclista-Bombaciclista y Vendedor-Bombavendedor) se puede deber a la sinergia entre la diferencias ambientales en las que fueron sometidos los filtros, sin embargo el comportamiento entre parejas es muy parecido.



5.2 Humedad recolectada en los filtros

En las graficas 8 y 9 se muestra el porcentaje de humedad recolectado en los respectivos tiempos de muestreo, a diferencia que las graficas de concentración, los porcentajes de humedad más altos los tiene el usuario vendedor, de lo cual se puede deducir que la humedad recolectada en los filtros usados por los usuarios se debe a la actividad de exhalación y como la mayor parte de las exhalaciones del ciclista se realizan por la boca debido a la fatiga del ejercicio, en efecto la humedad es menor que la del vendedor aunque sea mayor el caudal aspirado por el usuario ciclista, en cambio la humedad recolectada por los filtros dispuestos en las bombas es mucho menor al de los usuarios, se puede decir que esta humedad se debe a la humedad relativa.

La humedad recolectada por los sistemas de medición turbinas, aunque son bajas respecto a los usuarios, demuestran que el filtro es capaz de retener algunas *gotículas* no visibles o partículas con humedad, que aunque no fueron sometidos al horno, se dispusieron en el techo del horno en ambiente cálido, con esto se evidencio la eliminación de humedad en el tercer pesaje.

5.3 Porcentaje de material retenido

Lo que se puede deducir del comportamiento de las gráficas de acuerdo a los porcentajes de humedad respecto a los porcentajes de PST retenido, indican que el filtro retiene en los usuarios vendedor y ciclista más humedad que en las bombas, indicador de la actividad de exhalación y con mayor frecuencia en el vendedor que tiende a exhalar por la nariz, en cambio el ciclista por la demanda de oxigenación exhala por la boca con cierta frecuencia; Las bombas a diferencia retienen menor humedad bajo los mismos caudales.

Uno de los análisis más importantes encontrados en las gráficas anteriores se observa en la diferencia entre las gráficas 5 y 9, concentración y porcentaje de material retenido respectivamente, aunque se asume que el comportamiento debe ser igual muestra que el orden de mayor a menor cambian entre el vendedor y la bomba ciclista, porque los filtros de la bomba ciclista no contiene tanta humedad como los del vendedor, lo que inducen que las gráficas en conjunto demuestran las hipótesis planteadas acerca de la influencia del caudal inhalado y la humedad no eliminada de los filtros usados por los usuarios.



5.4 Correlación de variables

El coeficiente de correlación de Pearson es una prueba estadística para analizar la relación entre dos variables medidas en un nivel por intervalos o de razón, en la tabla 6 se muestra la correlación de la concentración que se obtuvo en el filtro usado por el usuario ciclista y las variables, temperatura en sitio, velocidad del viento y cantidad de vehículos a circular, esta tabla de correlaciones se manifiesta de igual manera para las demás concentraciones de los demás filtros usados (vendedor y las dos bombas) (ver Anexo 8, 9, 10 y 11).

Lo que permite analizar esta tabla es que la variable que más influye sobre la concentración de PST que retuvieron los filtros es la temperatura ambiente, es decir que de cierta manera si aumenta la temperatura aumenta la concentración, pero observando detalladamente el comportamiento en parejas de estas variables para todas las concentraciones no es muy frecuente la tendencia mencionada, por lo que se comprende que existen más externalidades que se deben tomar en cuenta para relacionar las concentraciones.

Tabla 8. Correlación de variables

Correlaciones					
		Conc_Ciclista	Temp_Amb	Vel_Viento	Vehiculos
Conc_Ciclista	Correlación de Pearson	1	,698**	-,220	,210
	Sig. (bilateral)		,000	,292	,313
	Suma de cuadrados y productos cruzados	669573,670	9749,829	-1934,187	87166,547
	Covarianza	27898,903	406,243	-80,591	3631,939
	N	25	25	25	25
Temp_Amb	Correlación de Pearson	,698**	1	-,158	,432*
	Sig. (bilateral)	,000		,451	,031
	Suma de cuadrados y productos cruzados	9749,829	291,382	-28,992	3730,340
	Covarianza	406,243	12,141	-1,208	155,431
	N	25	25	25	25
Vel_Viento	Correlación de Pearson	-,220	-,158	1	-,086
	Sig. (bilateral)	,292	,451		,684
	Suma de cuadrados y productos cruzados	-1934,187	-28,992	115,914	-466,060
	Covarianza	-80,591	-1,208	4,830	-19,419
	N	25	25	25	25
Vehiculos	Correlación de Pearson	,210	,432*	-,086	1
	Sig. (bilateral)	,313	,031	,684	
	Suma de cuadrados y productos cruzados	87166,547	3730,340	-466,060	256174,000
	Covarianza	3631,939	155,431	-19,419	10673,917
	N	25	25	25	25

**. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).
*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Fuente: Los autores.



5.5 Análisis de varianza de las concentraciones por tipo de succión.

Antes de comenzar a realizar un estudio multivariante de nuestros datos es necesario conocer el comportamiento que tiene cada una de las variables individualmente mediante la estadística descriptiva.

En el gráfico de descriptivos realizados en el programa SPSS se muestra la descripción estadística de los datos ingresados por tipo de succión siendo el 1 la prueba al ciclista, 2 la prueba a vendedor, 3 prueba con bomba ciclista y 4 prueba con bomba vendedor, se evidencia que la media de las concentraciones más alta la tiene el tratamiento 1 y la menor el tratamiento 4 mostrándose la mayor desviación típica de los datos en la succión 3, es decir la dispersión de los datos en este tratamiento es alta, lo que induce que en este tipo de succión la incertidumbre es mayor que en los demás casos.(Ver Tabla 9)

Tabla 9. Análisis descriptivo.

Descriptivos								
Concentraciones								
	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%			
					Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
1,00	25	1942,2143	167,02965	33,40593	1873,2678	2011,1607	1527,78	2162,50
2,00	25	1617,1429	217,45018	43,49004	1527,3838	1706,9019	1190,48	2023,81
3,00	25	1315,4603	243,01021	48,60204	1215,1506	1415,7700	833,33	1805,56
4,00	25	1015,2381	192,06677	38,41335	935,9568	1094,5194	690,48	1428,57
Total	100	1472,5139	401,88476	40,18848	1392,7712	1552,2565	690,48	2162,50

Fuente: Los autores

El análisis de varianza (ANOVA) de un factor nos sirve para comparar varios grupos en una variable cuantitativa. Esta prueba es una generalización del contraste de igualdad de medias para dos muestras independientes. Se aplica para contrastar la igualdad de medias de tres o más poblaciones independientes y con distribución normal. Supuestas k poblaciones independientes, las hipótesis del contraste son siguientes [30]:

1. **H0:** $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$ Las medias poblacionales son iguales.
2. **H1:** Al menos dos medias poblacionales son distintas.

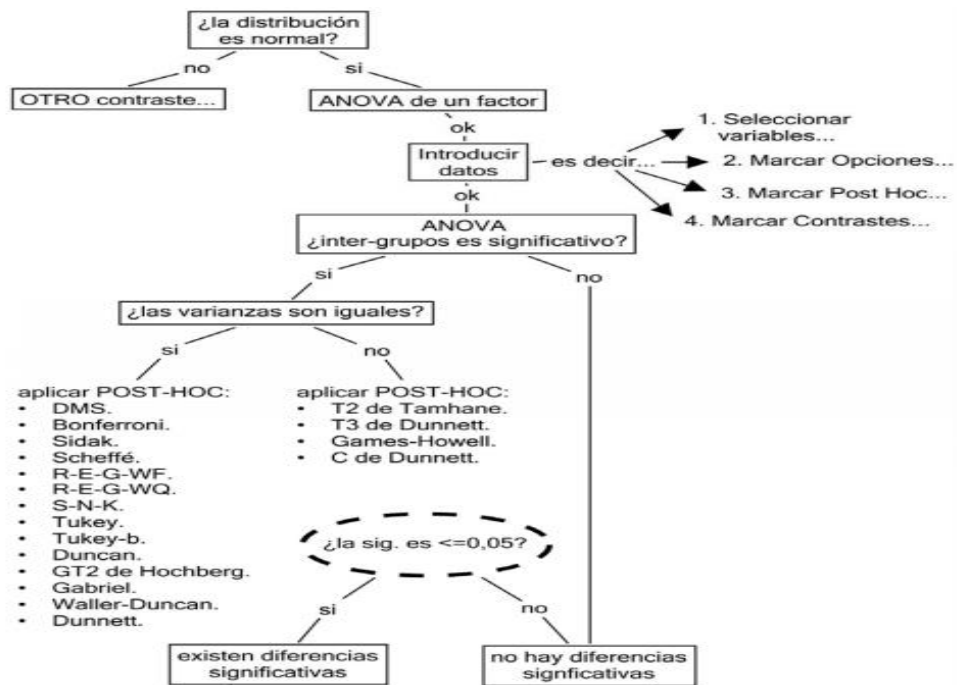


Para realizar el contraste ANOVA, se requieren k muestras independientes de la variable de interés. Una variable de agrupación denominada Factor y clasifica las observaciones de la variable en las distintas muestras [30].

Suponiendo que la hipótesis nula es cierta, el estadístico utilizado en el análisis de varianza sigue una distribución F de Fisher-Snedecor con k-1 y n-k grados de libertad, siendo k el número de muestras y n el número total de observaciones que participan en el estudio. [30]

El protocolo para realizar un análisis de varianza se muestra en la ilustración 14.

Ilustración 14. Protocolo para realizar análisis de varianza

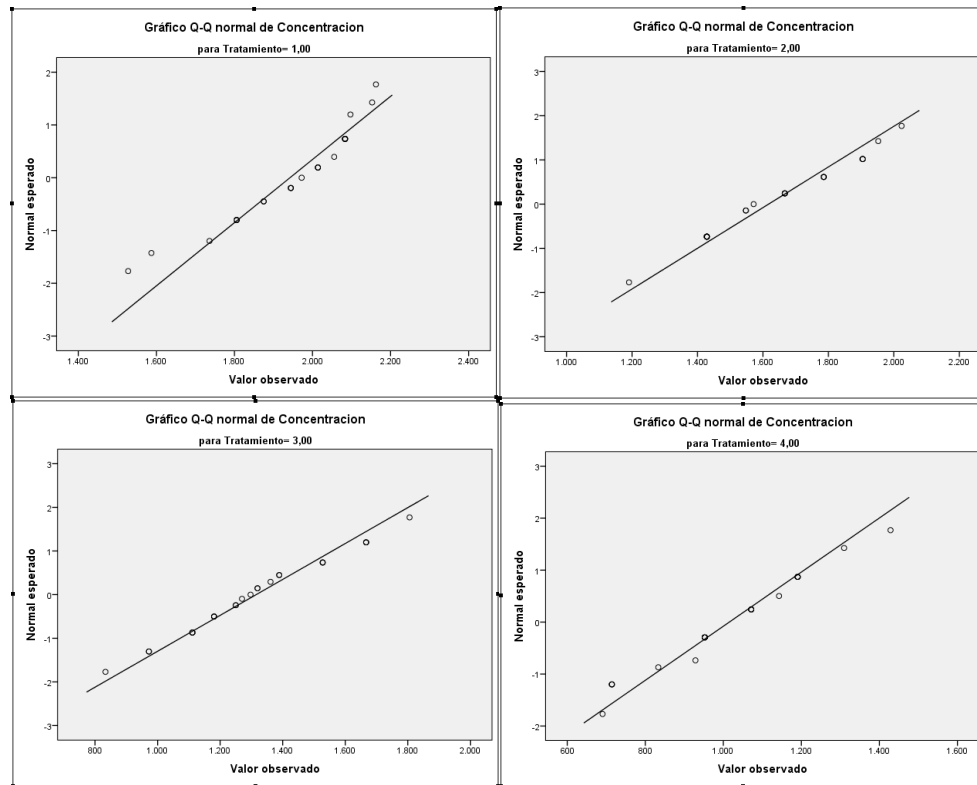


Fuente: innovaMIDE

Para conocer si es factible realizar un anova. Se realiza un test de normalidad de cada caso en estudio para conocer si los datos cumplen con la normalidad, utilizando la prueba de normalidad, por lo que se utilizó las gráficas Q-Q normal que representa los datos de las variables frente a los datos esperados si la distribución fuera normal, si los puntos están cerca de la diagonal se infiere que la distribución es normal.(Ver Tabla 10)



Tabla 10. Prueba de normalidad



Fuente: Los autores

Observando la normalidad de los datos ya se puede realizar un anova de un factor para visualizar la significancia intergrupos. En la tabla anova de un factor se muestra que la razón F es significativa, la diferencia de las medias cuadráticas es alta y por ende los efectos entre tratamientos es diferente, es decir en este caso bajó un nivel de confianza del 5% se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, para la comparación de medias de todos los tipos de tratamiento, las concentraciones se encuentran fuera de la zona de aceptación (ver tabla 11).



Tabla 11. Anova de factor general.

ANOVA de un factor					
Concentraciones					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	11882574,43	3	3960858,143	92,583	,000
Intra-grupos	4107050,201	96	42781,773		
Total	15989624,63	99			

Fuente: Los autores

Esta respuesta se puede deber a que las cuatro succiones reflejan concentraciones diferentes ya que los caudales usados por tratamiento solo son iguales para los tratamientos 1-3 y 2-4, es decir que se recomienda realizar dos anova, por cada pareja con los mismos caudales.(Ver Tabla 12)

Tabla 12. Correlaciones de Muestras relacionadas.

Correlaciones de muestras relacionadas				
		N	Correlación	Sig.
Par 1	Ciclista y BCiclista	25	,532	,006
Par 2	Vendedor y BVendedor	25	,592	,002

Fuente: Los autores

En las tablas 13 y 14 se muestran los valores descriptivos como se mostraron anteriormente, pero aquí se encuentra por parejas para mostrar con detalle.

Tabla 13. Descriptivos Ciclista-Bomba Ciclista.

Descriptivos								
Concentraciones								
	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%			
					Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
1,00	25	1942,2143	167,02965	33,40593	1873,2678	2011,1607	1527,78	2162,50
3,00	25	1315,4603	243,01021	48,60204	1215,1506	1415,7700	833,33	1805,56
Total	50	1628,8373	377,88686	53,44127	1521,4430	1736,2316	833,33	2162,50

Fuente: Los autores



En esta tabla de descriptivos se decidió agrupar los tratamientos 1-3 y 2-4, es decir la agrupación por tipo de tratamiento con las concentraciones obtenidas en las pruebas del ciclista con la bomba ciclista y vendedor con la bomba vendedor, se representó básicamente que para 1-3 la mayor desviación y por ende incertidumbre es el tipo de succión 3, y para 2-4 la mayor desviación la obtuvo el tipo de succión 2, lo que quiere decir que para los caudales altos como el del ciclista y su respectivo sistema de succión se encuentran mayor dispersión en los datos del sistema de succión y para los caudales bajos se encuentra inconsistencias en la dispersión de los datos del vendedor ambulante.

Tabla 14. Descriptivos Vendedor-Bomba vendedor.

Descriptivos								
Concentraciones								
	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%			
					Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
2,00	25	1617,1429	217,45018	43,49004	1527,3838	1706,9019	1190,48	2023,81
4,00	25	1015,2381	192,06677	38,41335	935,9568	1094,5194	690,48	1428,57
Total	50	1316,1905	365,58028	51,70086	1212,2937	1420,0872	690,48	2023,81

Fuente: Los autores

La diferencia de los efectos en los tratamientos mostrados en las tablas 15 y 16 pueden deberse a tres fuentes de variación a la variación entre grupos, variación dentro de los grupos y la variación total. Para el caso de estudio se evidencia que la fuente de variación principal es entre grupos, es decir que la diferencia de las medias entre las parejas de tratamientos es alta, sin embargo la distribución entre sus valores no tiene comportamientos lejanos, es decir que a pesar de su distancia numérica se evidencian comportamientos relativamente parecidos.

Tabla 15. Anova de factor Ciclista.

ANOVA de un factor					
Concentraciones					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	4910256,707	1	4910256,707	112,941	,000
Intra-grupos	2086868,796	48	43476,433		
Total	6997125,503	49			

Fuente: Los autores



Tabla 16. Anova de factor Vendedor.

ANOVA de un factor					
Concentraciones					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	4528616,786	1	4528616,786	107,601	,000
Intra-grupos	2020181,405	48	42087,113		
Total	6548798,191	49			

Fuente: Los autores

5.6 Estrategias de Plan pos consumo residuos de espuma de carbón activado.

El manejo de los residuos se ha convertido en una de las prioridades del Plan Nacional para el Impulso de la Política de Residuos del Ministerio del Medio Ambiente, con el fin de formular Programas de Gestión Integral de Residuos Biológicos, en el cual se quiere prevenir y disminuir los impactos ambientales y sanitarios. Se plantea una solución efectiva para el residuo del filtro dando como principio un plan post consumo de recolección por parte del mismo usuario ya que no tienen el debido conocimiento de la eliminación del residuo biológico, hospitalario y similar. Por ello, buscando mejorar las condiciones ambientales y disminuir el riesgo entre el medio ambiente y el usuario para que así se pueda evitar propagaciones virales. [31]

El plan post consumo es hecho con el fin de proteger el ambiente con diferentes salidas para disponer los desechos residuales de la manera adecuada, teniendo en cuenta las áreas presentes en las que estará el filtro se propone dejar puntos establecidos para la debida disposición del mismo.

En este orden de ideas se hace posible plantear este plan post consumo luego de realizar una investigación bibliográficamente pertinente sobre el tema que evidencia que el manejo de los residuos es el adecuado, demostrando la necesidad de plantear una solución al consumo y la cantidad de residuos, la acumulación de estos en un mismo punto de almacenamiento empeora la situación y con este inicia uno de los efectos de la contaminación que se encarga de la proliferación de microorganismos. Por lo que pretende el plan post consumo es manejar de forma adecuada y útil los residuos. [31]

Posterior a la búsqueda de antecedentes investigativos y mediante la elaboración de este proyecto se determinó que existe un proceso de evacuación de los desechos como se le realizan a los residuos biológicos, hospitalarios y similares.



Por este motivo se propone implementara una guía ambiental al usuario, que le permita conocer la afectación que tendría al no saber disponer el residuo, ya que es importante que el usuario haga la devolución correcta de los filtros usados considerando su importancia en temas de salud y para un entorno con mayor calidad.

En segundo plano, luego del pos consumo y con el fin de ayudar a contribuir con el medio ambiente se plantea:

Como primera alternativa la reutilización del filtro bajo previa desactivación de patógenos en horno, teniendo en cuenta la información sobre el uso de carbones activados en el tratamiento de aguas residuales como filtración primaria, debido a su gran capacidad de adsorción de diversos elementos, sumado a la posibilidad de limpieza del lecho filtrante con gran facilidad y rapidez, así como a la capacidad de regeneración del mismo.

En el ámbito del tratamiento de aguas, estos procesos se emplean para depuraciones de agua subterránea, purificaciones del caudal final de las Estaciones de Tratamiento de Agua Potable ETAP, decloraciones del agua, depuración de aguas para piscinas, refinamiento de las aguas residuales tratadas, etc. [32]

El carbón activo se compone en un 75-80% de carbono y un 5-10% de cenizas. El filtro contiene el 5 % de su densidad total físicamente se presenta en grano. Existen varios tipos de carbón activo, según la materia prima, el tipo de activación y la duración del proceso de activación, pero, en cualquier caso, se caracteriza por su pequeño y homogéneo calibre y su estructura interna, formada por un gran número de poros de tamaños similares que puede alcanzar una superficie interna entre 500 y 1.500 m²/g. Estos poros se dividen según su tamaño en macro poros, con un radio mayor a 25 nm, meso poros, entre 25 y 1 nm y, micro poros, con radio inferior a 1 nm. [33]

Los filtros a base de carbón activo se a copilaran en columnas de filtrado, en combinación con filtros de arenas, actuando como adsorbente de uso multifuncional. [33]

La adsorción con los filtros de carbón activo consiste en retirar del agua las sustancias solubles mediante el filtrado a través de un lecho de este material, consiguiéndose que los oligominerales pasen a través de los microporos, separando y reteniendo en la superficie interna de los gránulos los compuestos más pesados. [32]

Este proceso retiene sustancias no polares como aceite mineral, polihidrocarburos aromáticos, cloro y derivados, sustancias halogenadas como I, Br, Cl, H, F, sustancias generadoras de malos olores y gustos en el agua, levaduras, residuos



de la fermentación de materia orgánica, microorganismos, herbicidas, pesticidas, etc., todo ello sin alterar la composición original del agua, respetando los oligominerales y sin generar residuos contaminantes hasta la terminar la capacidad de retención del filtro [33].

Como segunda alternativa igualmente luego de la previa desactivación de patógenos por horno y gracias al carbón activado los filtros residuales serán utilizados para adsorber consiste en un fenómeno físico en el que un sólido, llamado adsorbente, atrapa en sus poros a cierto tipo de moléculas, llamadas adsorbatos, que están contenidas en un líquido o en un gas.

Los procedimientos de adsorción son ampliamente utilizados en la desodorización, siendo el carbón activado el soporte adsorbente más utilizado.

En función del producto a adsorber y de la fase en que se encuentre, líquido o gas, se elige el tipo adecuado de carbón activo. En determinadas ocasiones se emplean carbones impregnados, con características adsorbentes potenciadas.

Las torres de adsorción se construyen íntegramente en plásticos técnicos adecuados a las condiciones de trabajo. En la entrada de gases puede disponerse un prefiltro para evitar que partículas de polvo obturen el granulado del carbón. La adsorción de estos gases se realiza a través de uno o varios lechos de carbón activo. Admiten caudales de hasta 40.000 m³/h y son especialmente utilizados en la eliminación de H₂S con eficacias de hasta el 99,5%. [21]

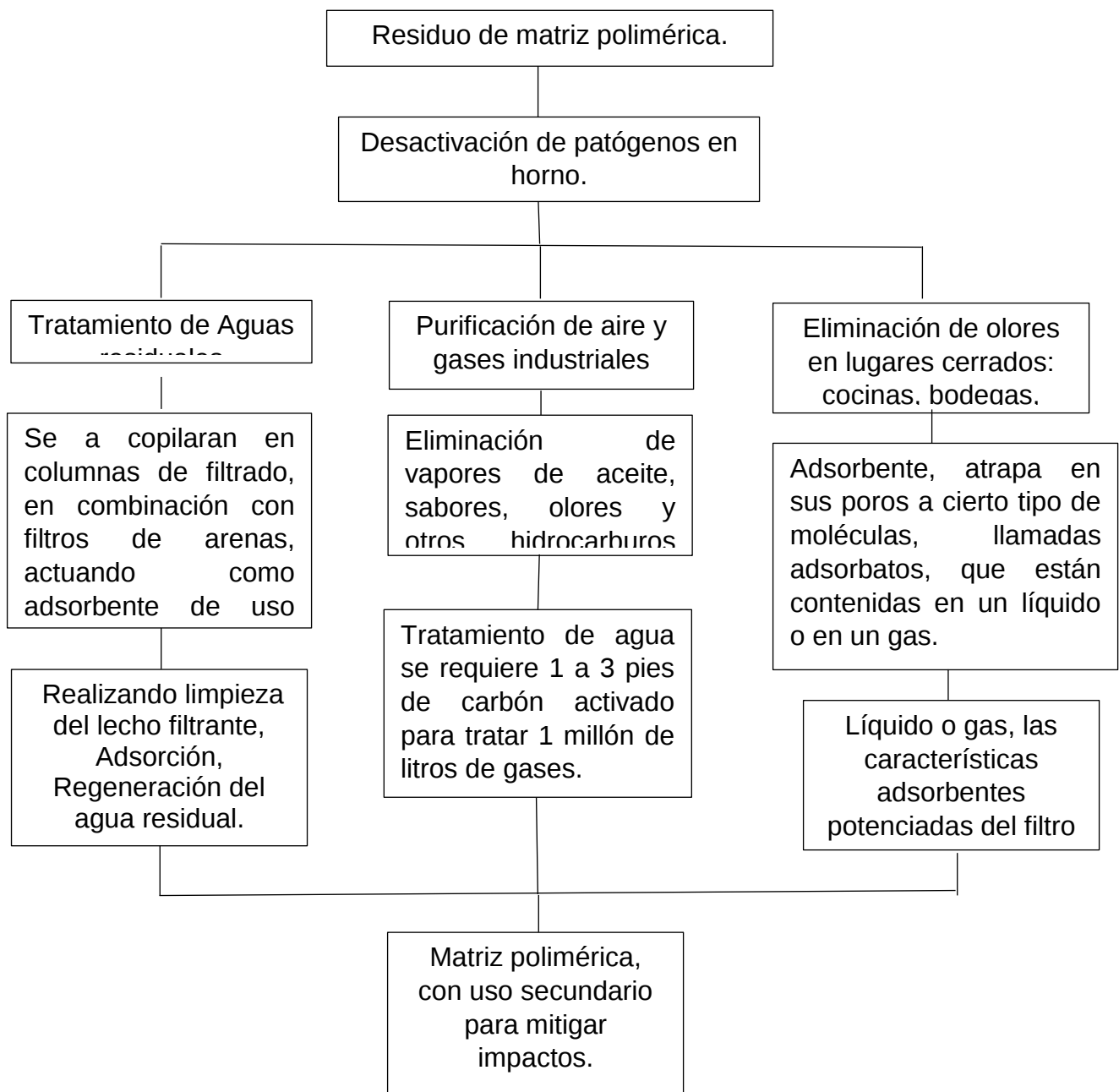
Como tercera alternativa con el mismo proceso de desestabilización que en los anteriores casos se utilizara el carbón activado como agente de purificación de aire, agua y gases, para quitar vapores de aceite, sabores, olores y otros hidrocarburos del aire y de gases comprimidos. Son comúnmente utilizados de una o de dos etapas, donde el carbón activado se introduce como medio filtrante. Un ejemplo puede ser el filtro que llevan los cigarrillos. También tiene uso para purificación del agua de lluvias en zonas donde esta es usada para usos domésticos. Para su aplicación en tratamiento de agua se requiere 1 a 3 pies de carbón activado para tratar 1 millón de litros de gases. A los que se les agrega plata para que no se desarrollen bacterias en él, circunstancia no verifica de manera independiente. [34]

Los filtros con partículas más pequeñas de carbón activado tienen generalmente una mejor tasa de adsorción. Por otro lado, la acidez y temperatura del agua a filtrar influyen en el desempeño del filtro de carbón activado. A mayor acidez y menor temperatura del agua, el desempeño de los filtros de carbón activado mejora. El asbesto no puede ser eliminado del agua a través de un filtro de carbón activado.



El residuo del filtro de carbón activado debe ser reemplazado entre cada 2,800 y 3,750 litros de agua filtrada, lo cual es solo un referente pues la capacidad de filtración y vida del filtro dependerán de la calidad del agua que se filtra. El tamaño del poro del carbón activado y el tamaño de las partículas a filtrar también influyen en la vida y capacidad de filtración del filtro de carbón. Por lo que la única forma de saber si un filtro de carbón activado ha dejado de funcionar es hacer un análisis del agua resultante del filtro, pues ni el sabor u olor pueden ser un referente certero. [34]

Ilustración 15. Plan Post consumo del residuo.





5.7 Impacto Social, Humanístico y Ambiental del proyecto

Este proyecto describe aspectos de la ingeniería abarcando el marco de la política ambiental para la evaluación y gestión de los impactos del recurso aire y da una alternativa de mitigación a esta problemática en la ciudad de Bogotá.

El proyecto investigativo á adoptado diversos enfoques en la evaluación y gestión de impactos sociales al igual de cómo controlarlos. Este no intenta proporcionar un producto si no una solución a una problemática social, ni debe usarse como método definitivo de una solución para los requerimientos de la jurisdicción, Por el contrario, el proyecto resalta la iniciativa ambiental de disminuir el impacto de la exposición de contaminantes en los trabajadores, usuarios y grupos sociales como lo son los transeúntes de la ciudad, que se ven impactados por los contaminantes de la misma.

La investigación empieza con el diseño de filtros nasales con componentes químicos que permiten el desarrollo de un recurso innovador en pro de una problemática muy importante.

El impacto social de la inclusión de los filtros en la población de Bogotá en términos de costo-beneficio es positivo, comprendiendo que a través del desarrollo de la investigación se conocieron los costos aproximados para su producción, los cuales fueron muy económicos relacionándolos con la cantidad a producir y además evidenciaron una retención del contaminante estudiado, indicador que permite asegurar que el impacto social positivo es mayor que el impacto ambiental negativo al crear un producto y manejar sus residuos.

El impacto ambiental se ve representado en el agotamiento del recurso suelo ya que el mayor impacto se da en la generación de residuos de este material, conociendo que los residuos sin un plan post consumo alteran los bienes ambientales, es por eso que dentro del proyecto este tema fue de gran importancia, no solo, para la solución del ciclo de vida del producto, si no también, para la creación de alternativas.



6. CONCLUSIONES

El presente estudio permitió observar que los filtros son capaces de retener gran cantidad de material, donde en gran porcentaje es humedad recolectada por la actividad de exhalación, mientras que, en condiciones no nasales la humedad es mucho menor y se evidencia buena absorción de partículas, tal vez adsorción de gases por parte del carbón activado, fenómeno de posible estudio posterior.

El análisis detallado día a día del comportamiento de las concentraciones de PST recolectadas por parejas de estudio (Cilcista-Bombaciclista y Vendedor-Bombavendedor) independientemente de su notable diferencia, induce que existieron claramente días de mayor exposición que otro, las diferencias entre parejas se pueden atribuir a las condiciones ambientales en el tiempo que no muestrearon las bombas y los usuarios si.

La calibración del sistema de succión con el método bolsa permitió conocer lo más cercano posible el caudal a funcionar de las turbinas, es decir que las diferencias entre parejas no se le atribuye en una parte a diferencias volumétricas, si no, a condiciones netamente del usuario o muestreo, como la producción de sales mucosas en el filtro o la retención de humedad.

El estudio devela que la condición en la que se retiene mayor humedad es en estado de reposo como la del vendedor, debido a la actividad de exhalación nasal, actividad mayormente realizada por el ciclista, pero por la boca, debido a la mayor demanda de inhalaciones, efecto experimentado por los autores, es decir, en estado de ejercicio se tiende a exhalar más por la boca.

De acuerdo a las tablas de correlaciones entre las concentraciones, el aforo vehicular, la velocidad del viento y la temperatura ambiente, se concluye que la hipótesis en que la influencia de los vehículos fuese la mas fuerte, es errónea, debido que la tabla muestra que la variable que más aporta a las concentraciones de PST retenido, es la temperatura ambiente seguido del aforo vehicular.

El estudio del filtro creado bajo la dosificación mencionada de isocianato, poliol y carbón activado, a consideración cualitativa y teniendo en cuenta el diseño del filtro y porta filtro, se concluye que es de total comodidad ergonómica y permite aspirar apropiadamente en el caso del vendedor, mientras que en el caso del ciclista se puede afirmar, que no es recomendable este filtro ya que la porosidad no es apropiada para la demandada de inhalaciones hechas en actividad de ejercicio, en conclusión es un producto con alta eficacia para una persona en estado sedentario.



Aunque las diferencias encontradas en los resultados de material PST retenido bajo el mecanismo de succión utilizado y la respiración humana real, fueron altas, se concluye de antemano que las externalidades o el diseño experimental bajo la metodología investigativa producen cambios en la respuesta de la variable PST retenido.



7. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar el mismo estudio u otra metodología investigativa que permita conocer las propiedades de retención de PST del filtro nasal bajo la referencia de un muestreo con otros dispositivos más exactos como lo son el hi-vol, para obtener información bajo referentes más exactos.

De acuerdo la eficacia relativa que tuvo el filtro, al someterlo a dos tipos de caudales distintos y tiempos diferentes, se recomienda indagar la posible funcionalidad en condiciones de seguridad industrial.

Se recomienda realizar estudios similares que evalúen el aporte del uso de filtros nasales como dispositivo eficaz en retención de PST, bajo valoraciones espirométricas antes y después de su uso, para conocer las afecciones que puedan tener las personas expuestas a PST.

Se recomienda indagar al respecto de materiales con propiedades porosas, que permitan depositar carbón activado en su estructura para ser evaluados en otro tipo de condiciones como emisiones específicas, conociendo que ante el estudio realizado existe una retención potencial de PST en ambientes urbanos.

Teniendo en cuenta la extensa bibliografía referente a las propiedades fisicoquímicas del carbón activado, y conociendo su uso en extracción de olores, se recomienda realizar estudios para determinar la eficacia en la retención de gases específicos.

De acuerdo a que los límites establecidos en el estudio fueron pertinentes en cuestión de tiempo, se recomienda realizar el análisis en la eficacia de retención del filtro por un periodo de tiempo más prolongado.

Se recomienda realizar estudios con técnicas más avanzadas para encontrar la respuesta al porqué de las concentraciones de PST tan altas encontradas en los muestreos.

Se recomienda estudiar el tiempo de vida útil que pueden tener los filtros nasales, en cuestión de dinámica de flujo e higiene, debido a que la humedad en una hora de muestreo fue un factor importante de incertidumbre y analisis.



8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. L. Pinto, J. Pires, A. P. C. M. B. y J. C. Bordado, «Caracterización de materiales adsorbentes soportado en espumas de poliuretano por adsorción de nitrógeno y tolueno,» *ELSEVIER*, vol. 80, pp. 253-252, 2005.
- [2] Instituto de desarrollo, «Localidad de chapinero,» Alcaldia Mayor de bogota, Bogota, 2013.
- [3] Alcaldia Mayor de Bogota,, «Encuesta multiproposito de Bogota,» ExpreCard's S.A.S., Bogota, 2014.
- [4] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, «Determinacion de Bromoformo en aire - Metodo de adsorcion en Carbon Activado/ Cromatografia de gases,» Centro nacional de verificacion de maquinaria, Baracaldo, 2006.
- [5] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, «Determinación de tetrahidrofurano en aire - Método de adsorción en,» Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España, Baracaldo, 2006.
- [6] Anjaneyulu, Marayya y TH Rao, «Estudios sobre tio-sustituido espuma de poliuretano (T-PUF) como un nuevo medio de separación eficiente para la eliminación de mercurio inorgánico / orgánico a partir de efluentes industriales y residuos sólidos,» *ELSEVIER*, vol. 79, nº 3, 1993.
- [7] Alcaldia mayor de Bogota D.C., «99 Chapinero,» Departamento Administrativo de Planeacion Distrital, Bogota D.C., 2015.
- [8] Camara de comercio de Bogotá D.C., «Movilidad en bicicleta en Bogotá D.C.,» Bogotá D.C., 2009.
- [9] REDACCION EL TIEMPO ZONA, «Ventas ambulantes invadieron el norte de Bogotá,» *EL TIEMPO*, 2015.
- [10] O. Ambiental, «Reporte Analisis del Viento,» Alcaldia Mayor de bogota,] Bogota D.C., 2016.
- [11] Alcaldia Mayor de Bogota secretaria de hacienda, «Recorriendo chapinero,»] Bogota, 2014.
- [12] HOSPITAL CHAPINERO E.S.E., «BOLETÍN EPIDEMIOLOGICO MENSUAL DE LA LÍNEA DE AIRE, RUIDO Y RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA



-] "CHAPINERO RESPIRA Y ESCUCHA".,» Hospital de Chapinero Empresa Social del Estado, Bogotá D.C., 2015.
- [13 Secretaria Distrital de Ambiente, «Alcaldia Mayor de Bogotá,» 2012. [En
] línea]. Available:
http://www.ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=b96563a5-edd2-452e-8a98-71d8cb910e7a&groupId=55886. [Último acceso: 22 02 2016].
- [14 CDC/ CENTROS PARA EL CONTROL Y LA PREVENCIÓN DE
] ENFERMEDADES, «GUÍA DE NIOSH SOBRE ENTRENAMIENTO EN ESPIROMETRÍA,» EL INSTITUTO NACIONAL DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS, México DF, México , 2007.
- [15 Redaccion Onmenda, «Onmenda.es,» 12 11 2015. [En línea]. Available:
] http://www.onmenda.es/anatomia/anatomia_pulmon-volumen-respiratorio-1395-5.html. [Último acceso: 12 11 2015].
- [16 Sons, John y Wiley, «Spirogram of lung volumes and capacities,» *wiley publishers since 1807*, 2009.
- [17 Comisión para la Cooperación Ambiental, «El mosaico de América del Norte: panorama de los problemas ambientales más relevantes,» cec. org, 2008.
- [18 Instituto Hidrologico Metereologico y Estudios Ambientales , «Protocolo para
] Vigilancia y Seguimiento del Modulo aire del Sistema de Informacion Ambiental,» COLOMBIA , 2005.
- [19 Clean Air Institute, «La Calidad del Aire en America Latina,»
] <http://www.cleanairinstitute.org/calidaddelaireamericalatina/cai-report-spanish.pdf>, 2012.
- [20 Yuri Savelyev, Vitali Veselov y Ludmila Markovskaya, «Preparación y
] caracterización de nuevas espumas de poliuretano biológicamente activos.,» *Elsevier*, vol. 45, pp. 127- 135, 2014.
- [21 J. M. M. Martinez, «ADSORCIÓN FÍSICA DE GASES Y DE VAPORES POR
] CARBONES,» Espagrafi, Alicante, 2014.
- [22 Sabio , M. Molina y Rodríguez Reinoso , «El CARBÓN ACTIVADO EN
] PROCESOS DE DESCONTAMINACIÓN,» de *Departamento de Química Inorgánica. Universidad de Alicante. España.*, Alicante España, p. 163.168.
- [23 Engineering; , «Lenntech,» Lenntech, 1991. [En línea]. Available:



-] <http://www.lenntech.es/adsorcion.htm>. [Último acceso: 1 Marzo 2016].
- [24 C. C. Amor, «Ec2Egara,» 05 2014. [En línea]. Available:
] http://www.cr2egara.es/v_soplantes.html. [Último acceso: 30 10 2015].
- [25 TVL Compañía especialista en vapor, «Válvulas de Bypass,» 12 2015. [En
] línea]. Available: <http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/bypass-valves.html>. [Último acceso: 14 12 2015].
- [26 environmental protection agency, «40 CR PARTS 50 APN B,» USA, 1983.
]
- [27 Ministerio de industria, energia y turismo, «PROCEDIMIENTO ME-005 PARA
] LA CALIBRACIÓN,» Centro Español de Metrología, Madrid, España, 2013.
- [28 Manuel Ignacio Amaya, Alvaro Martinez y Amilcar Riz, «Protocolo para el
] monitoreo y seguimiento de la calidad del aire,» Ministerio de Ambiente
vivienda y desarrollo territorial, Bogota, 2008.
- [29 Sopeña y Jose Emilio Lopez, «Manual de Instalaciones GLP,» CEPSA ELF
] GAS, S.A., España, madrid, 2001.
- [30 Bakieva, M, González Such y y Jornet, «SPSS: Anova de un Factor,» Grupo
] de Innovacion Educativa Universitat de Valencia, Valencia, Bakieva, M.,
González Such, J. y Jornet, J.
- [31 Carlos Santos, «guia manejo ambiental residuos biologicos,» Secretaria de
] Salud, Ciudad de Mexico, 2003.
- [32 José Miguel Ramírez y Corrales, «APLICACIÓN Y USO DEL CARBÓN
] ACTIVADO EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL,»
Evolucion, vol. 2, nº 2, p. 12, 2007.
- [33 F. d. Chile, «TECNOLOGÍAS DE ADSORCIÓN CON CARBON ACTIVADO,»
] Gobierno de CHile, Santiago de Chile, 2014.
- [34 V. Eduardo, «PROYECTO Fittema,» Antena de transferencia de tecnología,
] 2013.
- [35 Ecured, «Conocimiento con todos y para todos,» 14 12 2015. [En línea].
] Available: <http://www.ecured.cu/Vacu%C3%B3metro>. [Último acceso: 14 12
2015].
- [36 i. v. Bogota, «FORMULACIÓN DEL PLAN MAESTRO DE MOVILIDAD PARA



] BOGOTÁ D.C.,» Alcaldia mayor de bogota, Bogota, 2014.

[37 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ, «Diagnostico localidad de Los Mártires
] sector habitat,» Bogotá, 2011.