

SISTEMA DE BIOFILTRO CON MATERIALES ORGÁNICOS PARA RESTABLECER LA
CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN VIVIENDAS / CASO DE ESTUDIO: LOCALIDAD DE
KENNEDY – BOGOTA D.C

DIANA LORENA CASTILLO RODAS



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA

TECNOLOGIA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTONICAS

BOGOTA

JUNIO DE 2020

Sistema de biofiltro con materiales orgánicos para restablecer la calidad del aire interior/ caso de
estudio: localidad de Kennedy – Bogotá D.C

Diana Lorena Castillo Rodas

Tecnólogo en construcciones arquitectónicas

Director de proyecto

Arq. Melisa Gálvez Bohórquez



Universidad la gran Colombia

Facultad de arquitectura

Tecnología en construcciones arquitectónicas

Bogotá D

Dedicatoria

A mis sobrinos Julia Margarita y Sebastián Andrés, quienes desde la inocencia de su infancia me han enseñado, a ofrecer lo mejor de mí, superar las adversidades con amor y aprender de ellas, a mis hermanas Julieta, Andrea y Angela, con las cuales he crecido en todos los aspectos, y a mis padres José Antonio y María Consuelo, de los que he recibido el apoyo incondicional todas las etapas de mi vida.

Gracias.

Agradecimientos

En primera instancia quiero agradecer a mi familia y amigos más cercanos por su apoyo incondicional durante esta etapa universitaria, a mis padres por su ayuda en este proceso, a mis compañeros de carrera con los que emprendimos este camino que hoy culminamos con satisfacción, a la Universidad la gran Colombia a sus docentes por sus esfuerzos y vocación al ejercer en este oficio, especialmente al docente y arquitecto Jorge Cárdenas, el que me enseñó a amar un poco más esta profesión, y al también docente, arquitecto y laboratorista Jonathan Ruiz, por acompañarme, guiarme, en este trabajo investigativo, por su paciencia y dedicación.

Gracias a cada uno de ustedes por ser parte de este proceso.

Tabla de contenido

Tabla de contenido	5
Resumen	12
Abstract	13
1. Introducción	14
2. Problema	18
3. Pregunta	20
4. Objetivos	21
4.1 Objetivo General	21
4.2 Objetivos Específicos	21
5. Hipotesis.....	22
6. Justificación	23
7. Marco referencial	24
7.1 Antecedentes.....	24
7.2 Referentes	28
7.2.1 Solución actual	28
7.3 Biofiltración	34
7.3.1 Tipos de biofiltración	36

SISTEMA DE BIOFILTRO CON MATERIALES ORGANICOS

	6
7.4 Materiales	40
7.5 Materiales biofiltrantes del prototipo	42
7.5.1 Norma ASHRAE	44
7.5.2 Fórmulas para hallar el caudal requerido de ventilación	44
7.5.2 Ley exponencial de Hellmann	47
7.6 Estudio climatología de Bogotá D. C.....	49
7.7 Programas de simulación	52
8. Metodología	53
8.1 Aspectos metodológicos	53
8.2 Enfoque de Investigación	53
8.3 Tipo de Investigación	54
8.4 Diseño Metodológico	54
8.5 Materiales	54
8.6 Fases de la investigación	55
9. Estudio de percepción de la zona.....	59
10. Diseño de biofiltro	68
10.1 Selección de materiales	83
11. Análisis de software.....	88
11.1 Variable de velocidad	89

SISTEMA DE BIOFILTRO CON MATERIALES ORGANICOS

7

11.2 Variable de caudal del flujo	91
12. Análisis de costos.....	93
13. Conclusiones y Recomendaciones	94
Conclusiones	94
Lista de Referencia o Bibliografía	96

Lista de Tablas

Tabla 1 Identificación de las variable e identificadores.....	22
Tabla 2 Calidad del aire en Colombia.....	26
Tabla 3 Tipos de biofiltración.....	36
Tabla 4 Análisis meteorológico de Bogotá del 2010 al 2020	49
Tabla 5 Rosa de los vientos, distribución de la dirección y fuerza del viento de Bogotá D.C	50
Tabla 6 Tabla 6 - 1ASHRAE item hotels, moteles, condominiosy dormitorios.....	69
Tabla 7 Recopilación de datos casos de estudio	83
Tabla 8 Diámetros de tubería hidráulica de 4"	83
Tabla 9 Análisis de costos del biofiltro.....	93

Lista de Figuras

Figura 1 Concentración de PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de algunas localidades de Bogotá.....	19
Figura 2 Efecto de intercepción filtro HEPA.....	29
Figura 3 Efecto de impacto filtro HEPA.....	30
Figura 4 Efecto difusión filtro HEPA	31
Figura 5 Funcionamiento del filtro HEPA.....	31
Figura 6 Funcionamiento Breathe Brick.....	33
Figura 7 Biofiltro de lecho fijo	37
Figura 8 Biofiltro de lecho escurrido	38
Figura 9 Biolavadores	39
Figura 10 Humidificador natural Hrph Verde Ecológico	41
Figura 11 Rosa de los vientos Bogotá D.C	51
Figura 12 soluciones actuales	56
Figura 13 Metodología general de recolección de información	57
Figura 14 Pregunta 1 de la encuesta de percepción	60
Figura 15 Pregunta 2 de la encuesta de percepción	61
Figura 16 Pregunta 3 de la encuesta de percepción	61

SISTEMA DE BIOFILTRO CON MATERIALES ORGANICOS

	10
Figura 17 Pregunta 4 de la encuesta de percepción	61
Figura 18 Pregunta 5 de la encuesta de percepción	62
Figura 19 Pregunta 6 de la encuesta de percepción	63
Figura 20 Pregunta 7 de la encuesta de percepción	63
Figura 21 Pregunta 8 de la encuesta de percepción	64
Figura 22 Pregunta 9 de la encuesta de percepción	64
Figura 23 Pregunta 10 de la encuesta de percepción	65
Figura 24 Pregunta 11 de la encuesta de percepción	66
Figura 25 Pregunta 12 de la encuesta de percepción	66
Figura 26 humidificador natural	84
Figura 27 paños de microfibra utilizados en humidificadores naturales.	85
Figura 28 Fibra de coco deshidratada	86
Figura 29 Carbón activado	87
Figura 30 Rejilla de lamas fijas o efecto antilluvia.....	87
Figura 31 Prototipo de biofiltro renderizado	88
Figura 32 Simulación 1 de velocidad.....	89
Figura 33 Grafico evaluativo de las variables de la simulación 1	90
Figura 34 Simulación 2 de caudal del flujo	91

SISTEMA DE BIOFILTRO CON MATERIALES ORGANICOS

11

Figura 35 Grafico evaluativo de las variables de la simulación 2	91
--	----

Resumen

De acuerdo con un reporte publicado por la Organización Mundial de la Salud en 2005, la calidad del aire es la causa directa de numerosas enfermedades y muertes prematuras, especialmente en espacios cerrados. En promedio, se pasa alrededor del 80% del tiempo en espacios cerrados, por lo cual es importante que la calidad del aire sea optima. Deficientes prácticas en construcción, baja calidad en los procesos y contacto con aire externo pueden causar condiciones constructivas que probablemente generen contaminación atmosférica interna. Kennedy es una de las localidades más afectadas por este fenómeno en Bogotá debido a sus fábricas y grandes zonas industriales (Secretaria de ambiente de Bogotá, s.f).

Actualmente, existen algunos filtros en el mercado que intentan mejorar la calidad del aire, pero no lo logran dado que son costosos, contienen materiales peligrosos para la salud humana y no son manejados con responsabilidad social. De la misma manera, los mismos no están diseñados para ser implementados en viviendas. Todos estos factores hacen necesario el desarrollo de un biofiltro a partir de materiales orgánicos. (Justavino, 2013).

Esta situación representa un desafío en términos de innovación y creatividad. Ahora más que nunca es necesario prestar atención a la contaminación atmosférica interna de manera inteligente. Por este motivo el propósito de este trabajo de investigación es desarrollar un sistema de biofiltro económico y de fácil implementación en viviendas independientemente de su ubicación geográfica.

Palabras claves: Contaminación atmosférica, síndrome del edificio enfermo, contaminación del aire interior, biofiltro, biofiltración.

Abstract

According to a 2005 report from The WHO (World Health Organization) the quality of air is a direct cause of various illnesses and even premature death, especially in enclosed spaces. On average, we spend 80% of our time indoors, therefore it's important for the quality of air to be optimal. Subpar construction practices, low quality procedures and external air contact could cause structural issues that may lead to indoor air pollution. Kennedy is one of the most affected boroughs by this phenomenon in Bogotá, due to their factories and large industrial areas. (Secretaria de ambiente de Bogotá, s.f).

Nowadays, there are some air filters in the market that attempt to improve the quality of air indoors, but fall short due to their cost, hazardous materials for human health and lack of social responsibility. At the same time, they aren't designed to be implemented in housing. All these factors make necessary to develop a biofilter from organic materials.; (Justavino, 2013).

This situation represents a challenge in terms of innovation and creativity. Now more than ever it's necessary to address indoor pollution in a smart way. That's why the purpose of this research work is to develop an affordable biofilter system from organic materials easy to implement in housing independently of its geographic location. (INECC, 2019)

Key words: Atmospheric Pollution, sick building syndrome, Indoor air pollution, biofilter, biofiltration.

1. Introducción

La contaminación atmosférica es uno de los problemas más relevantes actualmente para la salud del continente americano (World Health Organization [WHO], 2016), esta se puede generar de diferentes maneras, entre los cuales se evidencian dos ya sea producto de la acción humana (antropogénico) o por causas de la naturaleza (telúrico), aunque la segunda forma de contaminación se produce en mayor escala cabe señalar que es la primera la que genera mayores repercusión y daños en la salud (Elsom, 1990); (Graedel & Grutzen, 1989).

Actualmente las cifras arrojadas por la OMS son alarmantes frente a los fallecimientos prematuros como consecuencia de la contaminación atmosférica puesto que se presenta alrededor de 7 millones de casos a nivel mundial anualmente y 2 millones de dichos casos son consecuencia del aire interior (OMS, 2005).

Para el caso de Colombia las defunciones superan los 10 mil casos y las enfermedades relacionadas alcanzan los 67, 8 millones (IDEAM -Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2020). Para el caso de Bogotá según la secretaria de salud en la localidad de Kennedy la cual resulta ser la más afectada, los datos arrojados por la estación RMCAB (Red de monitoreo de calidad del aire) indican que se presentan aumentos de material particulado PM10 y PM2.5, se define según ecologiastas.org en acción (2008) como:

El material particulado respirable presente en la atmósfera de nuestras ciudades en forma sólida o líquida (polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen, entre otras) se puede dividir, según su tamaño, en dos grupos principales. A las de diámetro aerodinámico igual o inferior a los 10 μm o 10 micrómetros (1 μm corresponde a la milésima parte de un milímetro) se las denomina PM10 y a la fracción respirable más pequeña, PM2,5. Estas últimas están constituidas por aquellas partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a los 2,5 micrómetros, es decir, son 100 veces más delgadas que un cabello humano (párr. 3).

Además que sus niveles de concentración promedio son de 71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ los cuales exceden los valores establecidos a la norma vigente y de los recomendados por la OMS que son de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Secretaria de Ambiente de Bogotá, s.f); (OMS, 2005).

Aunque este parece ser un tema alejado de la construcción, no es así pues cabe señalar que dicha industria es una de las mayores consumidoras de recursos y generadora de desechos. Anualmente se utiliza alrededor de 3000 toneladas de materia prima siendo este un equivalente al 40% a nivel mundial. A esta industria también se le atribuye la generación de agentes contaminantes y como consecuencia de esto, es uno de los sectores principales en la generación de gases de efecto invernadero en gran cantidad de países (WorldGBC, 2008). Citado por (Acevedo, Vásquez, y Ramírez, 2012, pág. 4).

Según (UNEP – United Nation Environment Programme ,2009) “El 40% de las materias primas en el mundo, que equivalen a 3000 millones de toneladas por año, son destinadas para la construcción” citado por (Acevedo, Vásquez, y Ramírez, 2012, pág. 4).

Por esta razón, hoy en día existen varias compañías y proyectos que han contribuido a la mejora de la calidad del aire interior con la generación de diversos filtros como el HEPA (high efficiency particulate air) (Benítez de Lugo, et al, 2018), y hasta sistemas de doble fachada sostenibles como el Breathe Brick (Sung, 2016). Sin embargo, aunque estos son eficientes algunos de sus componentes resultan nocivos para la salud, de igual manera sus costos e implementación resultan difíciles (Benítez de Lugo, et al, 2018); (Justavino, 2013). De ahí que se hace importante y necesario proporcionar una opción viable con respecto a las falencias de los productos anteriormente nombrados.

En consecuencia, de lo anteriormente expuesto se ha realizado una investigación y evaluación tanto de algunos de los productos existentes en el mercado como de diversos materiales orgánicos que ayuden a la absorción de metales pesados y partículas contaminantes la cual arrojo como posibles materiales como la guadua, cascara de coco y obtención de carbón activado a partir del mismo y de acuerdo con los antecedentes que se puede implementar un biofiltro entendiendo por biofiltración un proceso biológico el cual busca controlar los COV (compuestos volátiles orgánicos) ya sean orgánicos o inorgánicos presentes en el aire basados en estos materiales (INECC, 2007). Esto con el fin de brindar diversos beneficios tanto económicos, ecológicos y logísticos puesto que actualmente un filtro tipo HEPA cuesta alrededor de 290 USD

a 620 USD, y tiene tan solo una vida útil de máximo tres años y la puesta en función de un sistema de doble fachada como lo es el ladrillo Breathe Brick requiere de implementación desde la etapa de planeación constructiva además mano de obra calificada lo que aumenta los costos (Benítez de Lugo, et al , 2018); (Sung, 2016).

Dicho biofiltro será ubicado de preferencia en la fachada de dirección noreste, este o sureste con el fin de tener el máximo aprovechamiento de la corriente de viento, pues se sabe que los vientos en Bogotá están dirigidos en su mayoría en dichas direcciones (Windfinder, 2020).

2. Problema

Contaminación y calidad del aire interior en viviendas multifamiliares de la localidad de Kennedy en Bogotá D.C (Secretaria de Ambiente de Bogotá, s.f).

Según la Organización mundial de la salud OMS (2005), anualmente mueren 7 millones de personas como consecuencia de la contaminación atmosférica, de este numero 3,8 millones de estas se dan prematuramente con relación a la calidad del aire, 2 millones exclusivamente de la calidad del aire interior con la cual se relacionan enfermedades como accidentes cerebrovasculares en un 34%, Cardiopatía isquémica 26 %, EPOC (enfermedad pulmonar obstructiva crónica) 22 %. Infecciones agudas de las vías respiratorias en niños 12% y Cáncer de pulmón 6%.

Para el caso de Colombia específicamente la localidad de Kennedy en la ciudad de Bogotá D.C. la secretaria distrital de ambiente cuenta con una red de monitoreo de calidad del aire - RMCAB la cual permite entregar aviso acerca de la concurrencia de contaminantes ya sean generados por el hombre o de manera natural, esta información se recoge en 13 estaciones que están ubicadas a lo largo de la ciudad, para el caso de la localidad de Kennedy los datos arrojados por la estación indican que se presentan aumentos de material particulado (pm10 y pm2.5) además que sus niveles de concentración promedio son de 71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ los cuales exceden los valores establecidos a la norma vigente y de los recomendados por la OMS que son de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Secretaria de Ambiente de Bogotá, s.f); (OMS, 2005).

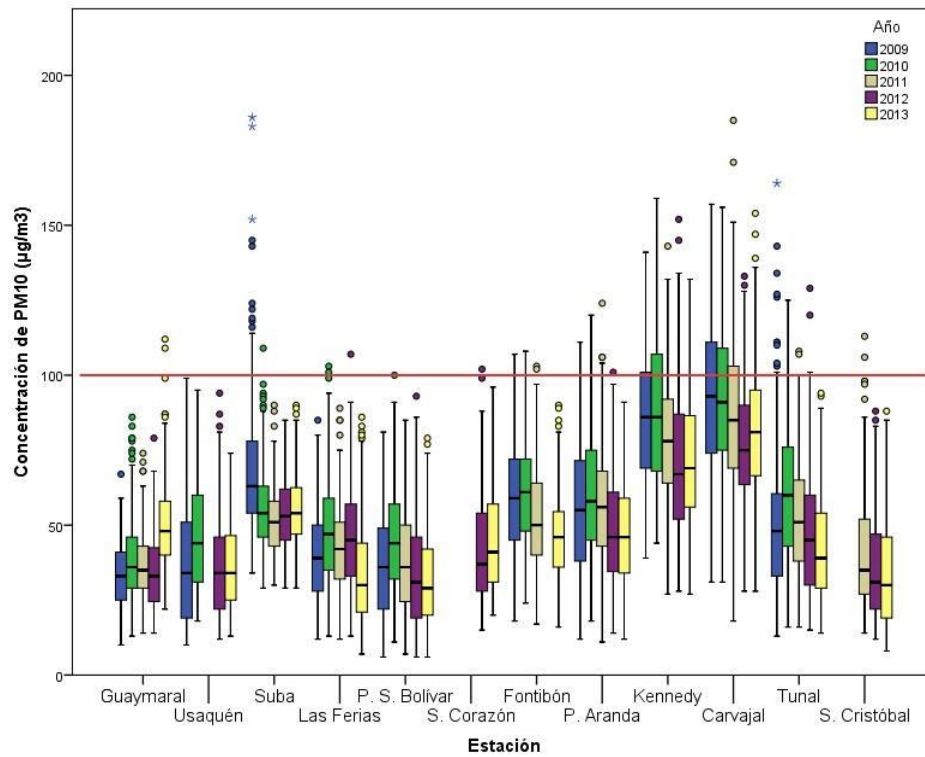


Figura 1 Concentración de PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de algunas localidades de Bogotá. La figura representa los niveles de PM10 de algunas de las localidades de Bogotá. Tomado de: “Red de monitoreo de calidad del aire de Bogota -RMCAB” por Secretaría de Ambiente de Bogotá, 2019, párr. 9. Recuperado: <http://ambientebogota.gov.co/web/sda/red-de-calidad-del-aire>

3. Pregunta

¿Cómo implementar un sistema de biofiltro con materiales orgánicos de fácil acceso que sea eficiente, económico y ecológico que sea aplicable en el muro de la fachada de viviendas en la localidad de Kennedy en Bogotá d. c, con el fin de reducir la contaminación y mejorar la calidad del aire interior?

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Proponer un sistema de biofiltro con materiales orgánicos que sea aplicable al muro de fachada en una vivienda, con el fin de reducir los niveles de contaminación del aire interior y recuperar la calidad de este con relación con las partículas contaminantes del exterior, el cual sea evaluado su diseño con ayuda del software Autodesk CFD y las normas ASHRAE (Ventilación para calidad del aire aceptable).

4.2 Objetivos Específicos

- Estudiar algunos sistemas de filtros ya existentes en el mercado sus componentes y materiales, con el fin de evaluar sus características, propiedades y función.
- Realizar recolección de datos en la zona de estudio con ayuda una encuesta de percepción, para evaluar los conocimientos de manera empírica de la población de caso de estudio
- Diseñar un biofiltro por medio de simulaciones y software con el fin de mitigar la problemática actual cumplido con la promesa de valor: eficiencia, economía y ecología

5. Hipotesis

La implementación de un sistema de filtro con materiales orgánicos influye de manera positiva en la reducción los niveles de contaminación del aire interior y recuperación de la calidad de este con relación con las partículas contaminantes del exterior de las viviendas.

Tabla 1

Identificación de las variable e identificadores

Objetivo	Hipótesis	Variables	Indicadores
Implementar un sistema de biofiltro con materiales orgánicos en una parte del muro de fachada en una vivienda. Con el fin de reducir los niveles de contaminación del aire interior y recuperar la calidad de este con relación con las partículas contaminantes del exterior	La implementación de un sistema de biofiltro con materiales orgánicos influye de manera positiva en la reducción los niveles de contaminación del aire interior y recuperación de la calidad de este con relación con las partículas contaminantes del exterior de las viviendas	Variable independiente: implementación de materiales orgánicos en un filtro para viviendas	Filtros y sistemas tradicionales ya existentes como el HEPA y el ladrillo Breathe Brick Los materiales orgánicos presentan características que ayudan la purificación de airea demás de ser de menor costo
		Variable dependiente: Según la Organización mundial de la salud OMS anualmente mueren 7 millones de personas como consecuencia de la contaminación atmosférica, de este numero 3,8 millones de estas se dan prematuramente con relación a la calidad del aire, 2 millones exclusivamente de la calidad del aire interior con la cual se relaciones enfermedades como accidentes cerebrovasculares	Índices de mortalidad mundial relacionados con la calidad del aire interior con la cual se encuentran enfermedades Accidentes cerebrovasculares en un 34%, Cardiopatía isquémica 26 %, EPOC 22 %. Infecciones agudas de las vías respiratorias en niños 12% y Cáncer de pulmón 6%

Nota: la tabla sirve de apoyo para identificar las variables dependientes e independientes del problema expuesto, con el fin de ayudar en la construcción de la hipótesis. Adaptado de “Gua de calidad del aire” por OMS, 2005. Recuperado de https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/es/

6. Justificación

Según OMS (2005) anualmente se presentan 7 millones de defunciones, en seres humanos como consecuencia de la contaminación atmosférica, de este numero 3,8 millones de estas se dan prematuramente con relación a la calidad del aire, 2 millones exclusivamente de la calidad del aire interior con la cual se relacionan enfermedades como accidentes cerebrovasculares.

Para el caso de Colombia específicamente la localidad de Kennedy en la ciudad de Bogotá D.C. la secretaria distrital de ambiente cuenta con una red de monitoreo de calidad del aire RMCAB la cual permite obtener información acerca de la concentración de contaminantes ya sean generados por el hombre o de manera natural, dicha red arroja que la localidad que más sufre de contaminación del aire es la de Kennedy además que excede los niveles máximos establecidos por la OMS generando así deterioro en la calidad de vida de los habitantes de esta localidad (Secretaria de Ambiente de Bogotá, s.f).

Puesto que actualmente se pasa alrededor del 80 % al 90 % de tiempo en espacios cerrados es importante que la calidad del aire de estos sea optima (Leon, 2019). De no ser así se puede afectar de manera negativa la salud propia como y la de las personas con las que se convive, aumentando el riesgo biológico en relación con enfermedades infectocontagiosas de carácter respiratorio (Secretaria de Ambiente de Bogotá, s.f).

7. Marco referencial

Este capítulo tiene como fin dar a conocer los aspectos y conceptos básicos históricos, técnicos y tecnológicos referentes a la problemática a tratar lo cual permite del desarrollo de los siguientes subtítulos: antecedentes, referentes / solución actual, biofiltración, materiales orgánicos filtrantes.

7.1 Antecedentes

De los primeros registros históricos que se tiene en relación con la contaminación atmosférica es el caso de Meuse Valley en 1930 en el cual fallecieron 60 individuos por emisiones de SO₂, en Donora Pennsylvania en 1948 en el cual murieron 20 personas por emisiones de material particulado, en Londres en 1952 se dieron alrededor de 4000 defunciones por presencia de exceso de material particulado, por esto nace una iniciativa de tomar medidas radicales a nivel mundial en términos políticos y científicos (Nevers, 1998).

Actualmente para el caso de Colombia, más del 70 % de la población considera la contaminación del aire como un problema de salud pública que perjudica en gran medida a los sectores de bajos recursos. Esta situación genera alrededor de 7000 defunciones prematuras anuales (Laner, 2004).

Se identificaron 5 contaminantes criterio que afectan a la salud inmediatamente desde su inhalación: monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), dióxido

de nitrógeno (NO_2), ozono troposférico (O_3) y material particulado con diámetro aerodinámico menor a $10\text{ }\mu\text{m}$ (PM_{10}). Además de éstos, se incluye al CO_2 (dióxido de carbono) por su aporte al efecto invernadero (Rey, 2013, pág. 5).

Para el año 2005 la OMS realizó un muestreo de aire a nivel mundial en el que arrojó que los continentes de Asia y Latinoamérica son los que presentan mayor concentración de material particulado PM_{10} .

El PM son partículas sólidas o líquidas presentes en el aire que tienen la capacidad de penetrar las vías respiratorias. Existe plena evidencia científica de la relación entre la presencia de éstas con enfermedades respiratorias y cardíacas. Los más afectados son la población sensible (niños menores de 5 años y personas de la tercera edad) y su peligrosidad depende del tamaño y con las sustancias que se adhieren a su superficie. Se clasifican en PST (partículas suspendidas totales), partículas con diámetro menor a $10\text{ }\mu\text{m}$ (PM_{10}) y con diámetro menor a $2.5\text{ }\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$) (Rey, 2013, pág. 10).

Según (Environmental Protection Agency - EPA, 2013)

Otros problemas a la salud incluyen muerte prematura en las personas con problemas cardíacos o pulmonares, ataques al corazón, arritmia cardíaca, asma,

aumento en problemas respiratorios como irritación de las vías respiratorias, tos y dificultad para respirar (Citador por Rey, 2013 pág. 10).

Para el caso de Colombia la contaminación aérea está dada por el uso de combustibles fósiles. El 41% de las emisiones se generan en ciudades principales como Bogotá, y sucesivamente Medellín y Cali (Rey, 2013).

Tabla 2

Calidad del aire en Colombia

COLOMBIA		
Contaminante	Nivel máximo permisible [µg/m ³]	Tiempo de exposición
PST	100	Anual
	300	24 horas
PM10	50	Anual
	100	24 horas
PM2.5	25	Anual
	50	24 horas
SO ₂	80	Anual
	250	24 horas
	750	1 hora
NO ₂	100	Anual
	150	24 horas
	200	1 hora
O ₃	80	8 horas
	120	1 hora
CO	10000	8 horas
	40000	1 hora

Nota: La tabla muestra los niveles máximo permisible de contracción de distintos agentes contaminantes expresado en µm/m³ en relación con el tiempo de exposición. Adaptado de: “Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia” Rey, 2013 pág. 22. Recuperado: <https://prosperityfund.uniandes.edu.co/site/wp-content/uploads/Caracterizaci%C3%B3n-de-la-contaminaci%C3%B3n-atmosf%C3%A9rica-en-Colombia.pdf>

Para el caso de Bogotá los resultados arrojados por el RMCAB muestran que el mayor problema respecto a la calidad del aire es el PM10 puesto que sobrepasan los niveles máximos de exposición establecidos en diversas zonas entre las que podemos destacar localidades como Puente Aranda, Bosa y Kennedy (Secretaria de Ambiente de Bogotá, s.f).

El contacto del aire exterior con el interior es lo que resulta nocivo para la salud en los espacios cerrados ya que al rededor del 80 % del tiempo permanecemos entre paredes, las condiciones anteriormente expuestas pueden generar dentro del edificio el SEE o más conocido como síndrome del edificio enfermo que hacer referencia no precisamente a una patología de la edificación si no a un conjunto de síntomas que sufren los ocupantes y son producto en mayor medida por la contaminación del aire en los espacios cerrados (Rey, 2013).

Según la (OMS , 1992)

Se puede hablar SEE cuando el 20% de los ocupantes se ven afectados por síntomas como resfriados, congestión nasal y de los senos frontales, afonía, alteraciones del gusto y el olfato, sequedad e irritación de las vías respiratorias (nariz, garganta), de la piel, de los ojos, cefalea, dificultades en la concentración, fatiga, alergias o hipersensibilidades. Actualmente alrededor del 30% de las edificaciones sufren dicho síndrome. (citado por Mafpre, 2016, párr. 4).

7.2 Referentes

7.2.1 Solución actual

7.2.1.1 Filtros HEPA

Los filtros HEPA (High Efficiency Particulate Air) sirven para la purificación del aire en interiores y cuenta con una eficiencia del 99.97% pues este es el porcentaje de partículas que logra capturar con un tamaño mayor a 0,3 micras, aunque en algunos casos logra atrapar partículas de menor tamaño. (Benítez de Lugo, et al, 2018).

Para lograr retener las partículas el filtro HEPA estos están compuestos por una red de fibras de vidrio que tienen diámetros alrededor de 0.5 a 2.0 micras (una micra es una millonésima parte de un metro.) Existen tres formas en las que el filtro recolecta las partículas que se explicaran a continuación: (Benítez de Lugo, et al, 2018).

Intercepción: “Donde las partículas que siguen a un flujo de aire rozan una fibra y se adhieren a ella. La intercepción predomina en partículas mayores de 0,4 μm ” (Benítez de Lugo, et al, 2018, pág. 14).

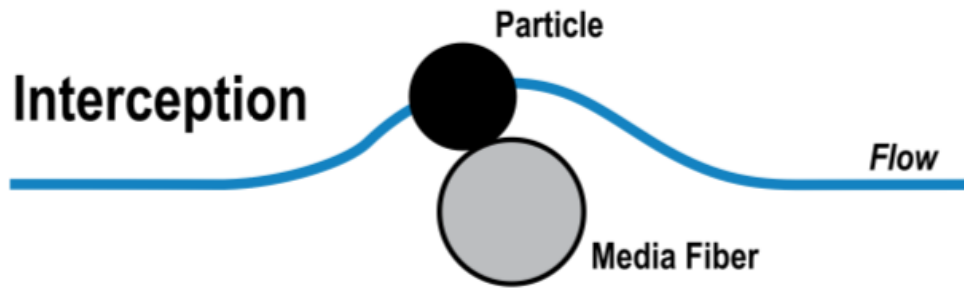


Figura 2 Efecto de intercepción filtro HEPA. La figura muestra el efecto de intercepción en los filtros HEPA y su funcionamiento. Tomado de: “Producción y comercialización de filtros HEPA para centros de salud” por Benítez de Lugo, et al, 2018 pág. 14. Recuperado: <https://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/1674>

Impacto:

Efecto donde las partículas grandes no son capaces de evitar las fibras mientras siguen al flujo de aire y son obligadas a impactar directamente con una de ellas. Este efecto aumenta con la disminución de la separación entre fibras y el aumento de velocidad en el flujo de aire. El impacto predomina en partículas mayores de $0,4\ \mu\text{m}$ (Benítez de Lugo, et al, 2018, pág. 14).

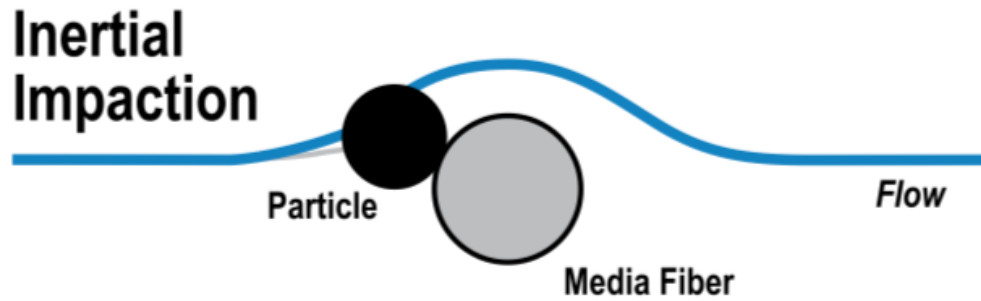


Figura 3 Efecto de impacto filtro HEPA. La figura muestra el efecto de impacto en los filtros HEPA y su funcionamiento. Tomado de: “Producción y comercialización de filtros HEPA para centros de salud” por Benítez de Lugo, et al, 2018 pág. 14. Recuperado: <https://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/1674>

Difusión:

Las partículas más pequeñas, especialmente las menores de $0,1\ \mu\text{m}$, colisionan con las moléculas de gas lo que impide y retrasa su paso por el filtro. La partícula adquiere un movimiento aleatorio dentro del gas, lo que aumenta la probabilidad de que una partícula sea detenida por uno de los dos mecanismos anteriores. Es la más dominante cuando el flujo de aire es lento. La difusión predomina en partículas inferiores a $0,1\ \mu\text{m}$ de diámetro (Benítez de Lugo, et al, 2018, pág. 14)

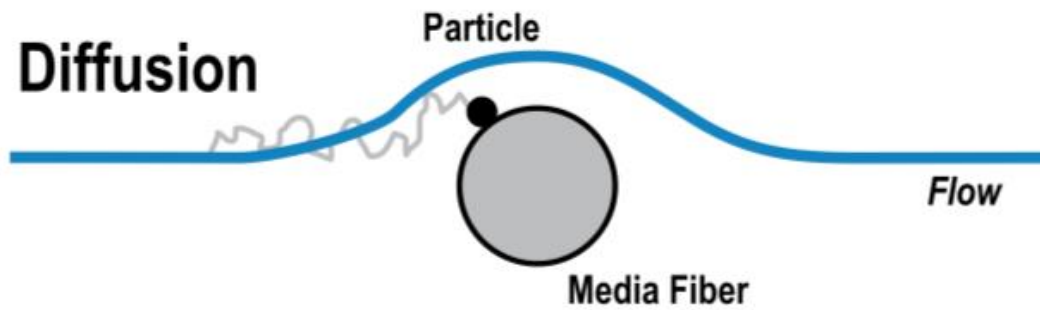


Figura 4 Efecto difusión filtro HEPA. La figura muestra el efecto de difusión en los filtros HEPA y su funcionamiento. Tomado de: “Producción y comercialización de filtros HEPA para centros de salud” por Benítez de Lugo, et al, 2018, pág. 14. Recuperado: <https://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/1674>

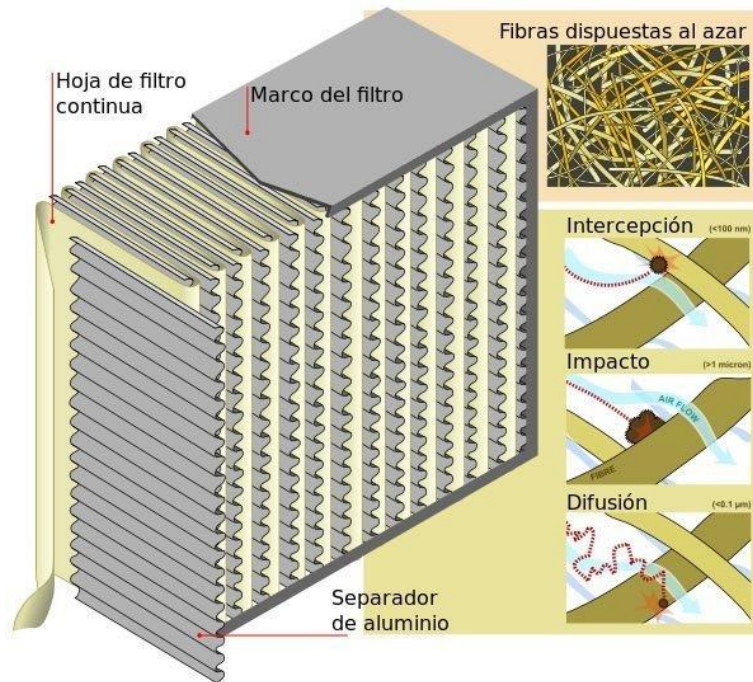


Figura 5 Funcionamiento del filtro HEPA. La figura muestra los efectos conjunto de en los filtros HEPA y su funcionamiento tomado de: “Producción y comercialización de filtros HEPA para centros de salud” por Benítez de Lugo, et al, 2018, pág. 14 Recuperado: <https://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/1674>

Fibra de vidrio: Como ya se mencionó anteriormente los filtros HEPA se hacen con fibras de vidrio que, aunque parecen una gran alternativa para solucionar la calidad del aire interior pues también resulta ser contaminante puesto que la exposición a dicho material puede generar sangrado de narices, expectoración hemoptoica, sibilancias, asma (Justavino, 2013).

7.2.1.1 Breathe Brick

Es un sistema de doble fachada que está diseñado para realizar parte del sistema de ventilación normal del edificio, este compuesto por ladrillos normales y una capa de ladrillos especializados que son los que están dispuestos hacia el exterior (Sung, 2016).

Breathe Brick funciona como un sistema de ventilación mecánica y pasiva, en que el ladrillo provee un flujo de aire filtrado en el medio de la pared; este posteriormente puede ir al interior del edificio por medio de equipo mecánico, este sistema absorbe alrededor de 30 % de las partículas finas y un 100% las partículas gruesas (Sung, 2016).

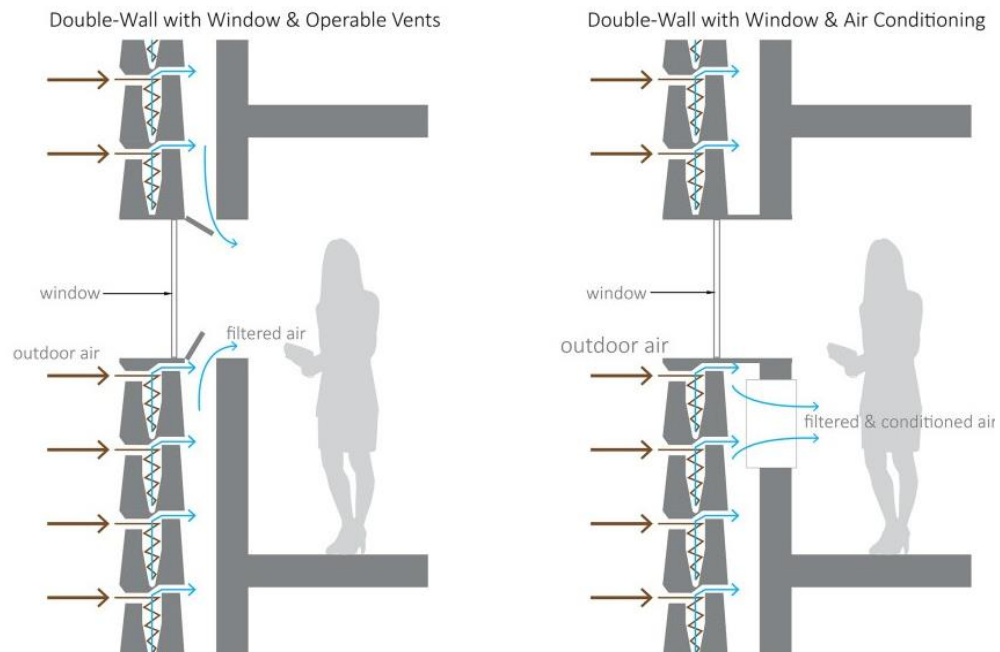


Figura 6 Funcionamiento Breathe Brick. La figura explica el funcionamiento de la doble fachada de los ladrillos Breathe Brick. Tomado de: “A New Look at Building Facades as Infrastructure” Por Sung, 2016 pág. 66. Recuperado: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809916301497?via%3Dihub>

7.3 Biofiltración

La biofiltración es un proceso biológico el cual busca controlar los COV ya sean orgánicos o inorgánicos presentes en el aire (INECC, 2007).

Durante este proceso el aire contaminado pasa por los macroporos del material que hace de filtro, para que el aire sea filtrado este pasa por un medio líquido. De este modo se presenta la descomposición de los agentes contaminantes y se genera productos no peligrosos o nocivos para la salud (INECC, 2007).

El 1923 se presencié la primera aplicación de la biofiltración para la eliminación de azufre proveniente de una planta de tratamiento de aguas residuales. Dichos biofiltros se hacían a partir de un suelo poroso en el cual se instalaban tubos perforados en el suelo y se debajo pasar el aire a través de estos. La primera patente de biofiltros es para la eliminación de olores en el año 1934 pero no es hasta 1950 cuando se hacen públicos en Estados Unidos de América y Alemania occidental los principios o fundamentes de la biofiltración. (Leson & Winer , 1991).

Para la década de los 70 en Alemania y los países bajos se empieza a estudiar y desarrollar biofiltros con mayor alcance a la captación de olores y compuestos volátiles. En este momento se utilizan nuevos materiales de empaque tales como los trozos de madera y mezclas de compostas, estos sistemas seguían siendo abiertos, con la mejora de la distribución del aire para evitar el taponamiento del sistema. Para la siguiente década estos sistemas empiezan a ser

cerrados y algunos tienen el alcance y tecnología de ser computarizados con la novedad de filtrantes inorgánicos entre los que se encuentran carbón activado granular, el poliestireno y las cerámicas (Ottengraf, Meesters, Van den Oever, & Rozema , 1986).

Ya nivel de laboratorio la biofiltración ha tenido grandes alcances para la purificación de los espacios y tratamientos de diversos compuestos volátiles halogenados, no halogenados, con porcentaje de azufre, alcoholes, cetonas entre otros hasta materiales que en algún instante se llegó a pensar que eran difícilmente biodegradables. (INECC, 2007).

7.3.1 Tipos de biofiltración

Los biofiltros se clasifican tres como son biofiltro de lecho fijo (BLF), biofiltro de lecho escurrido (BLE) y biolavadores, esta división con basa con las circunstancias en las que se evidencien los microorganismos en el sistema y su flujo durante su fase líquida (INECC, 2007).

Como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3 Tipos de biofiltración

		Fase líquida	
		En movimiento	Estacionaria
Fase biológica	Dispersa	Biolavador	
	Inmovilizada	Biofiltro de lecho escurrido	Biofiltro de lecho fijo

Nota: En la tabla se muestra la clasificación de los biofiltros en función de la fase líquida y biológica. Tomado de: “INECC – Instituto nacional de ecología y cambio climático” Por: INECC, 2016, párr.8. Recuperado: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/396/biofiltra.html>

7.3.1.1 Biofiltro de lecho fijo (BLF):

Los biofiltros de lecho fijo (BLF) constan de un lecho empacado que se conoce como material filtrante y que puede ser sintético u orgánico, que sirve como soporte para los microorganismos y en el caso de los orgánicos como fuente de nutrientes para el crecimiento microbiano. Ejemplos de materiales filtrantes utilizados en este tipo de filtros son rocas porosas, tierra de diatomeas, perlita, tierra, trozos de maderas, diferentes tipos de compostas, residuos orgánicos tales como cáscaras de cacahuete, de arroz o de coco, fibra de caña de azúcar, entre

otros. El principio de los biofiltros de lecho fijo consiste en hacer pasar la corriente gaseosa saturada de humedad que contiene al contaminante a través del lecho en donde los contaminantes son degradados por los microorganismos (INECC, 2007, párr.9).

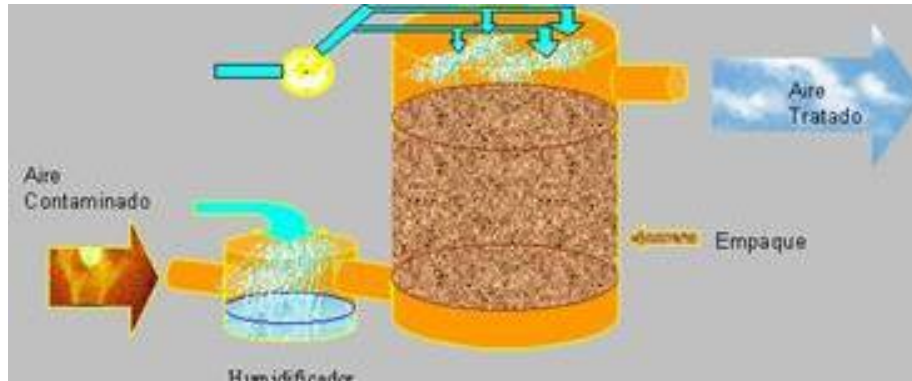


Figura 7 Biofiltro de lecho fijo. La figura muestra el funcionamiento de los biofiltros de lecho fijo. Tomado de: “INECC – Instituto nacional de ecología y cambio climático” Por: INECC, 2016, párr.9 Recuperado: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/396/biofiltra.html>

7.3.1.2 Biofiltro de lecho escurrido (BLE):

El biofiltro de lecho escurrido (BLE) consiste en una columna empacada con un soporte inerte (usualmente de material cerámico o plástico) donde se desarrolla la biopelícula. A través del lecho se alimenta una corriente gaseosa que contiene al sustrato por biodegradar y una corriente líquida que es comúnmente reciclada a través del lecho y que tiene la función de aportar nutrientes esenciales a la biopelícula, así como de remover los productos de degradación de los microorganismos. Estos sistemas se recomiendan para compuestos solubles en agua. (INECC, 2007, párr.10).

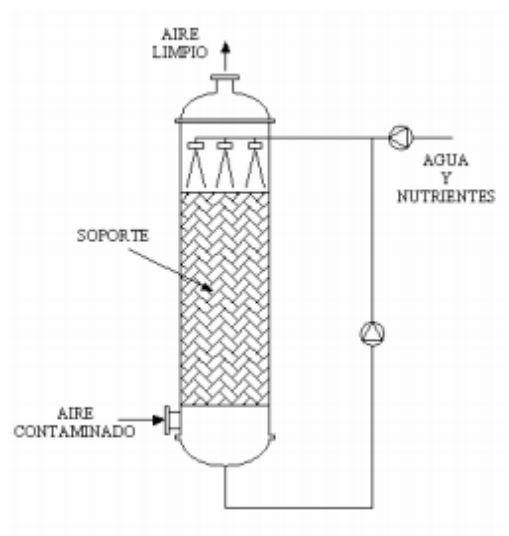


Figura 8 Biofiltro de lecho escurrido. La figura muestra el funcionamiento de los biofiltros de lecho escurrido. Tomado de: “INECC – Instituto nacional de ecología y cambio climático” Por: INECC, 2016, párr.10 Recuperado: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/396/biofiltra.html>

7.3.1.3 Biolavadores:

A diferencia de los biofiltros, en los biolavadores el compuesto a degradar primero es absorbido en la fase líquida localizada en una torre de absorción llena de líquido. La operación consiste en hacer fluir el gas a contracorriente a través del líquido, donde los contaminantes y el O_2 son absorbidos. Posteriormente el líquido es alimentado a un reactor empacado de un material inerte cubierto de la película biológica encargada de degradar al contaminante (INECC, 2007, párr.11).

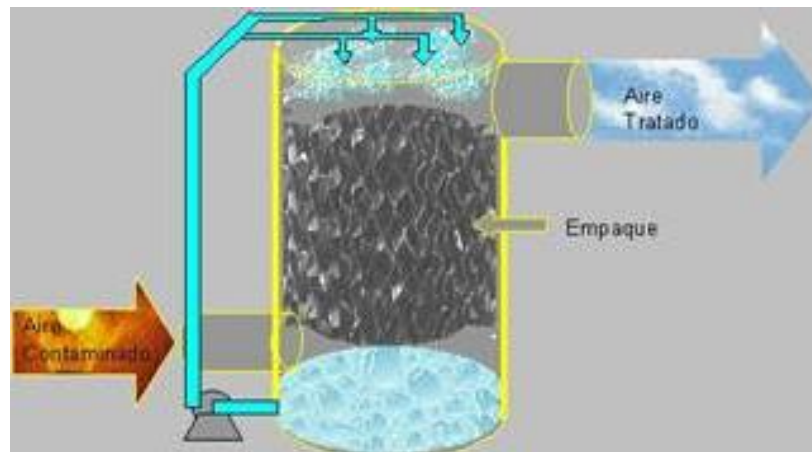


Figura 9 Biolavadores. La figura muestra el funcionamiento de los biolavadores . Tomado de: “INECC – Instituto nacional de ecología y cambio climático” Por: INECC, 2016, párr.11 Recuperado: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/396/biofiltra.html>

7.4 Materiales

Tuberías de PVC: Estas tuberías están compuestas por un material termoplástico compuesto por poli(cloruro de vinilo) aditivos y exento de plastificantes. Estos tubos son sometidos al ensayo de numeral 8.6 que hace referencia a ensayo de determinación de la absorción de agua y no deben presentar un aumento de masa mayor de 0,30% (NTC 1087, 2006).

Rejilla de lamas fijas: Es una rejilla de aluminio extruido que gracias a su diseño además de no permitir la visual hacia el interior genera un efecto antilluvia (Rejillas y difusores S.L, s.f).

Implementación de paños de microfibra en humidificadores naturales: El Hrph Verde Ecológico es un humidificador de forma natural que no usa electricidad, y por medio de un efecto anti gravitatorio con ayuda de los paños de microfibra realiza la acción humidificadora (Amazon EU, S.f).



Figura 10 Humidificador natural Hrph Verde Ecológico. La figura muestra el humidificador natural Humidificador natural Hrph Verde Ecológico el cual maneja un efecto anti gravitatorio por medio de sus paños de microfibra. Tomado: “Los mejores humidificadores” párr. 2. Por: Amazon UE, 2020 Recuperado: <https://humidificador.com.es/hrph>

7.5 Materiales biofiltrantes del prototipo

Fibra de coco: Es un material usado como sustrato que se destaca por su buena capacidad de retención al agua, además cuenta con estabilidad como sustrato orgánico, y bajo costo de adquisición en comparación a otros (INECC, 2007).

Para su utilización en biofiltros se requiere de hidratación, con el fin de este se expanda y aumente su superficie de trabajo (Burés profesional S. A, s.f).

Carbón activado: Desde la vertiente estructural, el carbón activado se describir como un material carbonoso poroso formado a partir de una base de carbón con gases, y en algunas veces con la implementación de químicos, este producto es utilizado en diversos filtros y biofiltros por sus cualidades físicas y mecánicas purificadoras, aunque su costo puede llegar a ser elevado (Luna, Gonzales, Gordon, y Martin, 2007).

Obtención de carbón activado a partir de cascara de coco: “A partir de la cascara de coco es posible obtener diferentes tipos de carbones activados para aplicaciones diversas variando las condiciones de preparación”. (Luna, Gonzales, Gordon, y Martin, 2007, pág. 2).

Estudios y pruebas realizadas en México por investigadores en el área propone una unidad piloto para la obtención de carbón activado a partir de cascara de coco mediante un

proceso de tres partes un molino, un horno rotatorio y una cámara de enfriamiento. (Luna, Gonzales, Gordon, y Martin, 2007).

7.5.1 Norma ASHRAE

ASHRAE es el acrónimo en inglés de *The American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers* fundada en 1894 es una asociación de tecnología para las edificaciones, busca el bienestar de los ocupantes de las diferentes edificaciones a través del uso de tecnologías sostenibles aplicadas al sector de la construcción (ASHRAE, S. f).

Dicha asociación presenta un estándar titulado ANSI/ASHRAE ESTANDAR 62.1-2007, ventilación para calidad del aire aceptable, la cual permite como su nombre lo indica establecer los diseños de ventilación mínimos para tener una calidad de aire aceptable en los distintos espacios de las diversas construcciones, tanto en edificaciones que manejan ventilación unilateral como ventilación cruzada (ASHRAE, 2007).

7.5.2 Fórmulas para hallar el caudal requerido de ventilación

Caudal

$$Q = \left(\left(C_p \times \frac{cfm}{p} \right) + \left(\frac{cfm}{ft^2} \times a \right) \right)$$

- Q: Caudal requerido
- Cp: Cantidad de personas
- cfm: Cantidad de aire expresado en forma imperial
- cfm/p: cfm sobre persona
- cfm/ ft² : cfm sobre pies cuadrados
- a: Área expresada en metros cuadrados

Esta fórmula permite calcular el caudal que es la cantidad de aire que debe transitar por el espacio a tratar en una hora, este es expresado en metros cúbicos sobre hora (ASHRAE, 2007).

Ventilación unilateral

“La ventilación unilateral hace referencia a cuando solo se dispone de una abertura de ventilación” (Fuentes y Rodriguez , 2004, pàrr. 1).

$$Q = 0,025 \times A \times V$$

- Q: Caudal
- A: Área
- V: Velocidad del viento en metros sobre segundos
- 0.025: Factor constante de ventilación

Esta fórmula se utiliza para calcular el caudal en caso de presentar ventilación unilateral expresada en metro cubico sobre hora, posteriormente asumiendo que el área es 1 m² con el fin de conocer la cantidad de aire que pasa por un metro cuadrado y con una regla de tres simple determinar el área requerida (ASHRAE, S. f).

Ventilación cruzada

“La ventilación cruzada se presenta cuando las aberturas en un determinado entorno o construcción se disponen en paredes opuestas o adyacentes, lo que permite la entrada y salida de aire” (archdaily, 2020, pàrr. 1).

$$Q = R \times V \times A \times \text{Sen}$$

- Q: Caudal
- R: Relación de aperturas de ventana
- V: Velocidad del viento en metros sobre segundos
- A: Área
- <Sen: Seno del ángulo de la fachada

De igual manera que en la ventilación unilateral en la ventilación cruzada requerimos de un caudal, para este caso se tiene en cuenta la relación entre aperturas de ventanas y el seno del ángulo de la fachada (ASHRAE, 2007).

$$R = 0,06 \times Fr$$

- R: Relación de aperturas de ventana
- 0,60: Constante
- Fr: Factor de relación

La relación de apertura de ventanas cono su nombre lo dice es la proporción de la ventana de salida con la ventana de entrada (ASHRAE, 2007).

$$Fr = \frac{\left(\left(\frac{Rv}{(1 + Rv^2)^{0.5}} \right) \right)}{< Sen}$$

- Fr: Factor de relación
- Rv: Relación de ventanas entre salida y entrada
- <Sen: Seno del ángulo de la fachada

El factor de relación es la proporción entre las relaciones de ventanas (ASHRAE, 2007).

$$Rv = \frac{As}{Ae}$$

- As: Área de salida
- Ae: Área de entrada

La relación entre la ventana de salida y la ventana de entrada es el producto de la división de estas (ASHRAE, 2007).

7.5.2 Ley exponencial de Hellmann

La velocidad del aire varia con la altura, por ello a menor altura menor velocidad y mayores son los caudales requeridos para ventilar un espacio (Mancilla, Morales, Trujillo, y Garces, 2020).

$$V_{h=10} = v_{10} = \left(\frac{h}{10}\right)^a$$

- V_h : Velocidad de aire a la altura h
- V_{10} : Velocidad del viento a 10 metros
- a = Exponente de Hellmann que varía con la rugosidad
- h = altura

7.6 Estudio climatología de Bogotá D. C

En la siguiente tabla se muestra los datos climáticos de la ciudad de Bogotá D.C desde al año 2010.

Tabla 4

Análisis meteorológico de Bogotá del 2010 al 2020

Valores climáticos medios y totales anuales											
Año	T	TM	Tm	PP	V	RA	SN	TS	FG	TN	GR
2010	13.9	20.4	9.1	-	9.0	255	3	93	91	0	1
2011	13.8	19.9	9.6	-	9.9	252	5	116	86	0	1
2012	13.5	19.5	8.6	-	10.5	227	0	88	73	0	0
2013	13.8	19.8	8.6	-	10.8	193	0	85	83	0	0
2014	13.8	19.6	8.9	-	10.4	214	1	81	60	0	2
2015	14.1	20.0	9.0	512.08	11.2	183	0	48	29	0	1
2016	14.3	20.1	9.0	-	10.2	209	0	67	75	0	0
2017	13.9	20.1	8.9	-	10.1	197	0	68	81	0	1
2018	13.9	19.8	8.9	-	10.1	206	0	72	60	0	4
2019	14.3	20.4	9.5	889.48	10.3	200	0	84	65	0	2
2020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

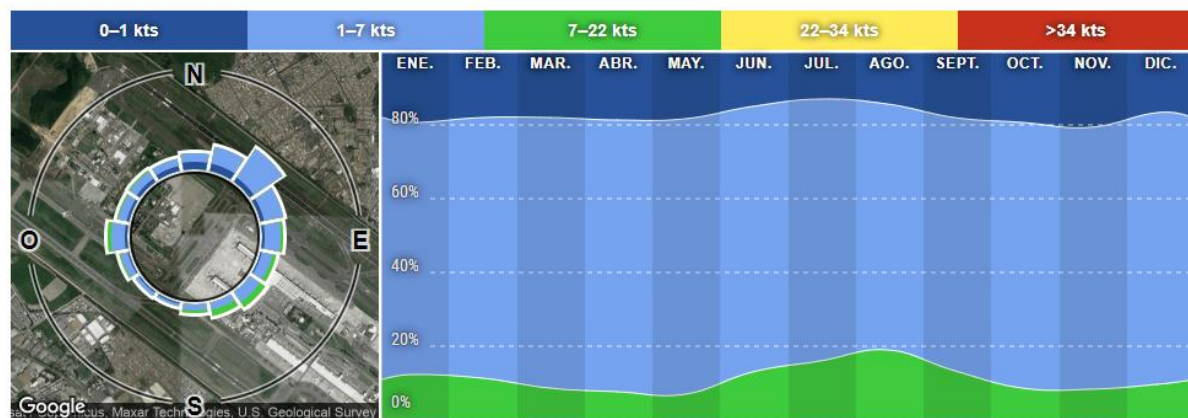
Nota: La tabla muestra un análisis meteorológico de los últimos 10 años en el que muestra los valores promedios de T: temperatura media anual, TM: temperatura máxima media anual, Tm: temperatura mínima media anual, PP: precipitación total anual de lluvia y/o nieve derretida (mm), V: velocidad media anual del viento (Km/h) RA: total días con lluvia durante el año, SN: total días que nevó durante el año, TS: total días con tormenta durante el año, FG: total días con niebla durante el año, TN: total días con tornados o nubes de embudo durante el año, GR: total días con granizo durante el año. Adaptado de: “Clima Bogota / Eldorado” por Tutiempo.net, 2020 párr. 1. Recuperado: <https://www.tutiempo.net/clima/ws-802220.html>

Este análisis permite determinar las fuerzas de los vientos en la ciudad de Bogotá D.C para posteriormente remitirse a la rosa de los vientos mi mirar la dirección de los mismo, lo cual es un elemento clave para la máxima aprovecho y ubicación del futuro biofiltro (Tutiemponet, s.f).

Rosa de los vientos

Tabla 5 Rosa de los vientos, distribución de la dirección y fuerza del viento de Bogotá D.C

Distribución de la dirección y fuerza del viento



Nota: La tabla muestra un estudio estadístico meteorológico de las fuerzas del viento en la ciudad de Bogotá. Tomado de: “Promedios anuales de viento y clima para Bogotá/El Dorado”. Por: Windfinder, 2020, Párr. 1 Recuperado: https://es.windfinder.com/windstatistics/bogota_el_dorado

La rosa de los vientos es un instrumento que permite mostrar la dirección y fuerza de los vientos de cualquier lugar, para el caso de la ciudad de Bogotá como se ve en la anterior imagen los vientos van guiados en su mayoría hacia las direcciones este siendo el noreste el de mayor fuerza (Windfinder, 2020).

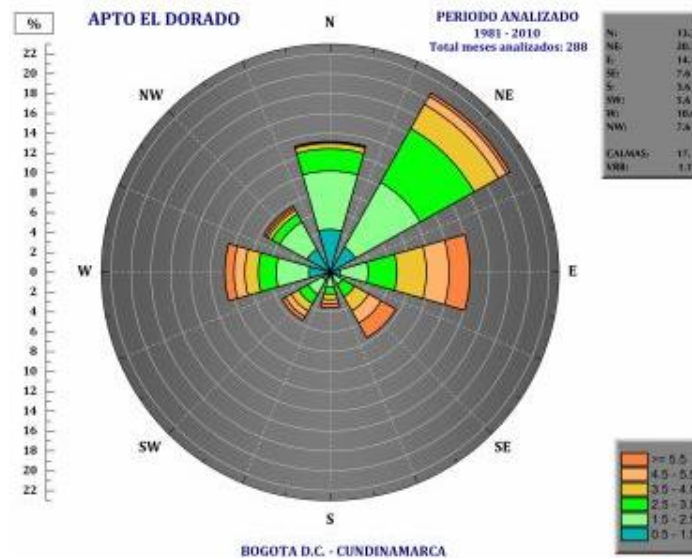


Figura 11 Rosa de los vientos Bogotá D.C. La figura muestra la rosa de los vientos de Bogotá la cual muestra el promedio de velocidad y dirección de los vientos en la ciudad. Adaptado de: “Atlas del viento de Colombia”. Por IDEAM, 2020. Recuperado de: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>

En esta segunda rosa de los vientos de la ciudad de Bogotá D.C adicional a la información de la anterior se muestra los promedios de velocidad de viento donde en la dirección noreste que es la de mayor fuerza presenciamos una velocidad promedio de 3km/h (IDEAM, 2020). Cabe anotar que la velocidad de viento es un factor importante para determinar los caudales de ventilación en espacios cerrados.

7.7 Programas de simulación

Autodesk CFD:

Es un software de autodesk cuyas siglas en ingles son Computational Fluid Dynamics, este programa es una tecnología por ordenador que simula los flujos de aire, la carga aerodinámica, la resistencia aerodinámica, y otros datos importantes para hacer un estudio de los flujos de aire, en pocas palabras es un túnel de viento digital (Formula 1 atmosphere, 2020, párr.1).

8. Metodología

Este capítulo tiene como fin dar a conocer los aspectos metodológicos (Materiales y Métodos), el mismo desarrollo del proyecto desde la metodología y la aplicación de las diversas pruebas por medio de software del prototipo, encuestas y de más procedimientos explicados posteriormente.

8.1 Aspectos metodológicos

En este subcapítulo se expondrá y explicará el enfoque, diseño de método, materiales y fases de la investigación con el fin de dar a conocer el paso de la parte teórica a la práctica.

8.2 Enfoque de Investigación

El enfoque de investigación del proyecto será de tipo mixta, puesto en la parte cuantitativa que se evaluarán diferentes variables como son la calidad de aire interior, la influencia económica de la zona de estudio, los factores de calidad de aire interior que generan enfermedades en habitantes de espacios cerrados y en la cualitativa de investigar acerca de los referentes y antecedentes que permitan llevar a cabo la implementación del biofiltro por medio de métodos de simulación en softwares.

8.3 Tipo de Investigación

El tipo de investigación para la realización del proyecto será experimental, debido a que se evaluarán las características de los factores presentes en la zona de estudio. Esto permitirá proponer una implementación por medio de simulaciones de un biofiltro que ayude a mitigar las afectaciones de la calidad del aire, además a nivel económico permitirá evaluar su factibilidad.

8.4 Diseño Metodológico

De acuerdo con la investigación del marco teórico se determinó que la localidad de Kennedy es la más afectada por la baja calidad de aire, así mismo se evidencia afectaciones en los espacios cerrados de la misma. Por ello en primera instancia se formulara una encuesta de percepción a la zona de estudio en la cual se evaluará factores como noción de la contaminación atmosférica, posibilidad e interés económico respecto al tema y posibles afectaciones de la salud de los habitantes de la zona de estudio posterior a esto se realizará en una casa un estudio de diseño y simulación con ayuda de diversos softwares y la norma ASHRAE (ASHRAE, 2007) para determinar las dimensiones del biofiltro.

8.5 Materiales

- Tubería PVC
- Caja PVC
- Fibra de coco
- Carbón activado obtenido de la cascara de coco

- Paños de microfibra

8.6 Fases de la investigación

Fase I: Planteamiento del problema

- Definición del alcance del proyecto.
- Se dan los argumentos acerca de los motivos de realización el proyecto

Fase II: Recolección de información teórica

- Estudios previos: Para la investigación se requirieron varias fuentes de información, como lo son artículos web, textos científicos, investigaciones previas, referente al problema de la contaminación atmosférica desde lo global a lo específico situándonos en la localidad de Kennedy como la más afectada de la ciudad de Bogotá D.C., además de los antecedentes de afectaciones en la humanidad por la problemática a tratar
- Investigación de referentes o productos actuales del mercado con un análisis de sus características en aspectos económicos, técnico y de salud

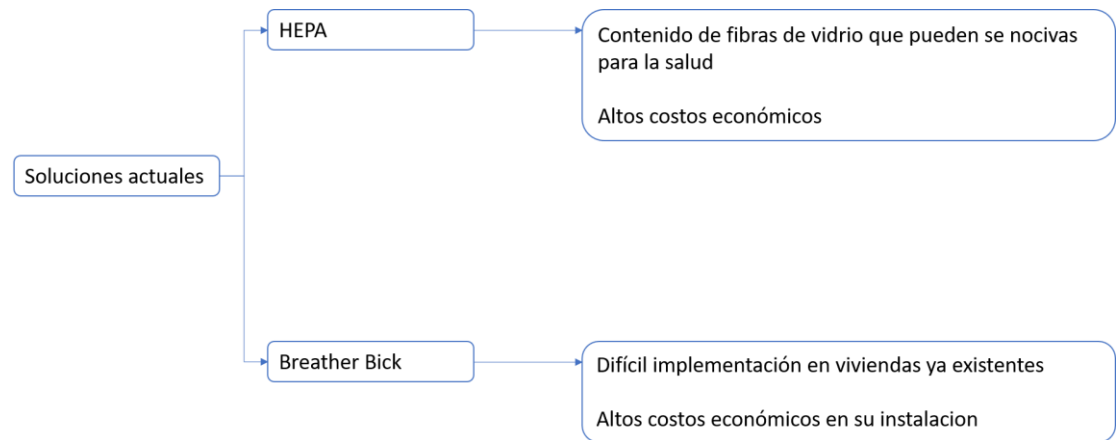


Figura 12 soluciones actuales. La figura es un diagrama de los productos ya existentes en el mercado el cual busca mostrar algunas de sus problemáticas. Elaboración propia

- Investigación referente a la biofiltración teniendo en cuenta los antecedentes, sus tipos e implementación de esta
- Investigación de materiales que hagan posible la implementación del biofiltro en una vivienda dentro de esto encontramos la tubería de PVC, galón, paños de microfibra, la cascara de coco como material de sustrato y caracterizado por su alta retención de humedad, además del carbón activado y la propuesta de obtención de este a partir de un molino, un horno rotatorio, una cámara de enfriamiento

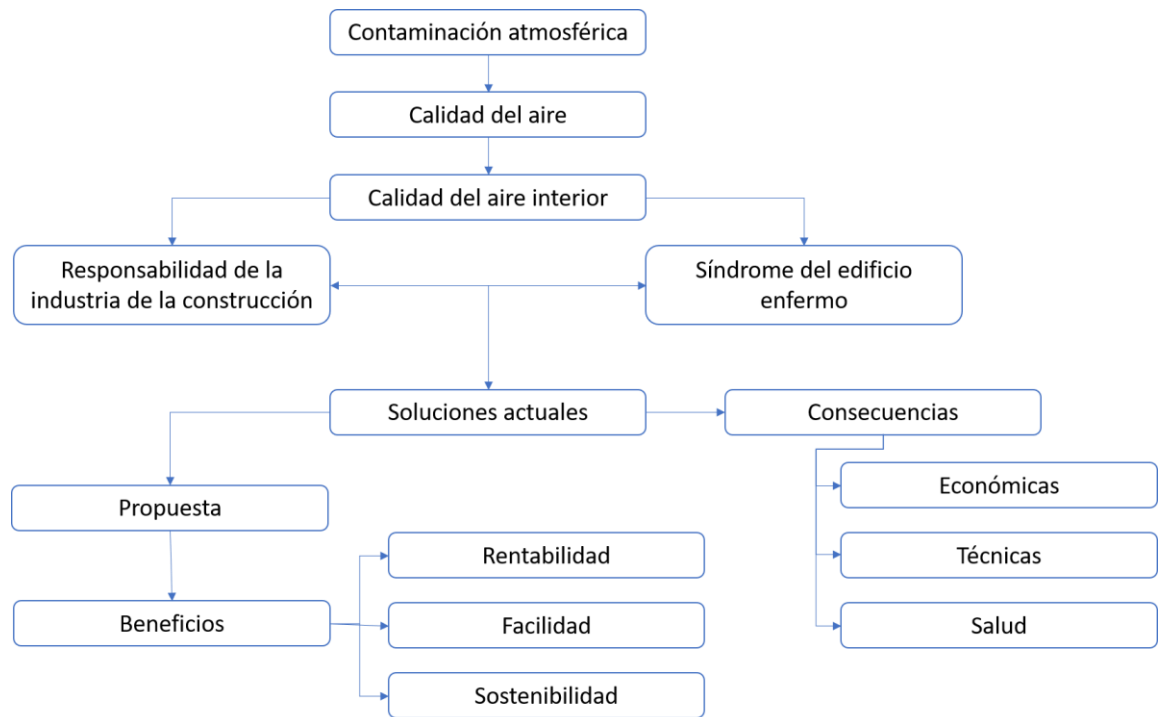


Figura 13 Metodología general de recolección de información. La figura busca resumir y ramificar la información de la problemática actual de contaminación atmosférica. Elaboración propia

- Diseño de encuesta de percepción de calidad de aire y estudio económico respecto a la implementación de un filtro tradicional
- Diseño de un prototipo por medio de softwares que permitirá establecer su diseño y dimensiones (ASHRAE, 2007)

Fase III: Recolección de datos y análisis

- Análisis por medio de gráficos estadísticos de la encuesta de percepción de calidad del aire y estudio económico respecto a la implementación de un filtro tradicional

Fase IV: Diseño del biofiltro por medio de simulaciones

- Diseño estructural: Longitud de la tubería, dimensiones del humidificador, cantidad del material de sustrato (Fibra de coco) y obtención del carbón activado por medio de un molino, horno rotatorio y cámara de enfriamiento de la cascara de coco
- Diseño de implementación: Planimetría estándar para la implementación de un modelo. Evaluando dimensiones tanto del modelo como de la vivienda en la que se busca introducir este con ayuda de estándar ASHRAE (ASHRAE, 2007)

9. Estudio de percepción de la zona

Con el fin de analizar y comprender la percepción de la población respecto a la problemática de calidad del aire interior deficiente en la localidad de Kennedy, el autor del presente trabajo planteo una encuesta con ayuda de la herramienta digital formularios de Google donde se buscaba evaluar diversos factores como tiempo de permanecía en la zona de estudio, conocimientos de presencia de contaminación atmosférica, posibles problemas de salud relacionados, y aceptación de implementación de un futuro biofiltro, por medio de las siguientes 12 preguntas:

- ¿Vive usted en la localidad de Kennedy?
- ¿Cuánto tiempo lleva viviendo en dicha localidad?
- Aparte de vivir en esta localidad usted ¿trabaja, estudia o hace alguna otra actividad que le demande más de ocho horas en dicha zona?
- En promedio diario usted cuanto tiempo permanece en la localidad de Kennedy un rango de
- ¿Cuál siente que es el tipo de contaminación que prevalece en la localidad?
- Califique de la calidad de aire de la localidad de Kennedy siendo 1 muy mala y 5 muy buena
- Actualmente presenta problemas de respiración
- De ser su anterior respuesta sí. Califique su problema de 1 a 5 siendo 1 muy leve y 5 muy complicado
- Cuando presenta algún problema de salud respiratorio (gripa, congestión, alergias etc.) su recuperación normalmente tarda

- Considera usted oportuno el uso de tapabocas en una localidad como Kennedy
- Estaría usted o su familia dispuesto/a a comprar un filtro que mejore las condiciones de la calidad del aire de su vivienda
- De ser su respuesta si en la anterior preguntan, usted estaría dispuesto/a a pagar por un filtro

Dicha encuesta se realizó a un total de 59 personas entre los 14 y los 60 años todos residentes de la localidad de Kennedy y los resultados fueron los siguientes:

¿Vive usted en la localidad de Kennedy?
59 respuestas

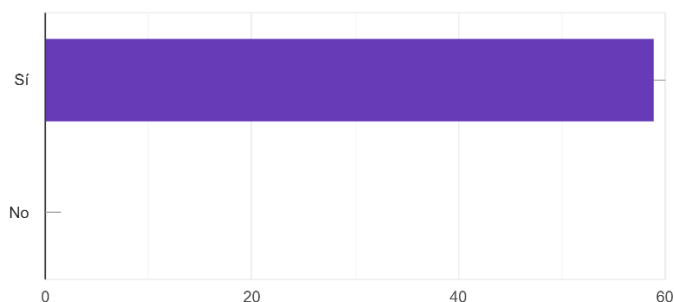


Figura 14 Pregunta 1 de la encuesta de percepción. La figura es el resultado estadístico de la pregunta 1 de la encuesta de percepción. Elaboración propia

En esta primera pregunta se quiere evidenciar que el 100 % de la población encuestada residen en la localidad de Kennedy, que para este caso es la zona de estudio.

¿Cuanto tiempo lleva viviendo en dicha localidad?
59 respuestas

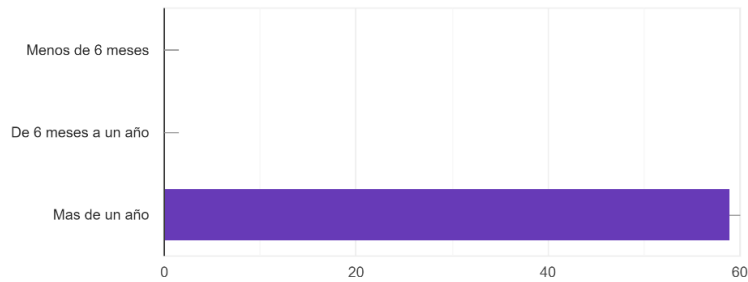


Figura 15 Pregunta 2 de la encuesta de percepción. La figura es el resultado estadístico de la pregunta 2 de la encuesta de percepción. Elaboración propia

Aparte de vivir en esta localidad ¿trabaja , estudia o hace alguna otra actividad que le demande más de ocho horas en dicha zona ?
59 respuestas

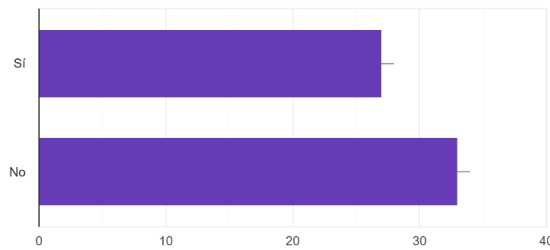


Figura 16 Pregunta 3 de la encuesta de percepción. La figura es el resultado estadístico de la pregunta 3 de la encuesta de percepción. Elaboración propia

En promedio diario usted cuanto tiempo permanece en la localidad de Kennedy un rango de:
59 respuestas

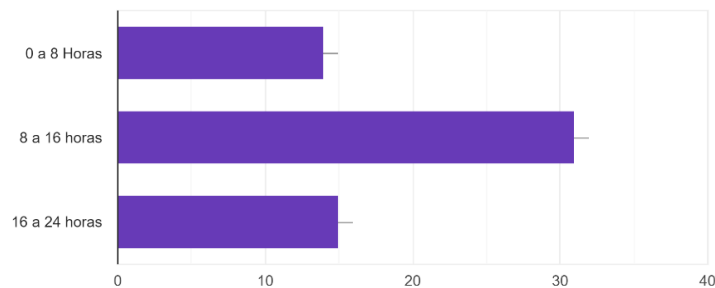


Figura 17 Pregunta 4 de la encuesta de percepción. La figura es el resultado estadístico de la pregunta 4 de la encuesta de percepción. Elaboración propia

En las tres preguntas anteriormente expuestas se muestra el tiempo de exposición de manera cuantitativa y se evidencia que esta es alta. Para el caso de la primera grafica se evidencia que el 100% de las personas encuestadas llevan viviendo más de un año en la localidad de Kennedy, la segunda grafica demuestra que el 45,8 % de los encuestados realizan actividades como estudio, trabajo u otras que demande más de 8 horas en la zona de estudio y por último en la tercera grafica se prueba que el 77,9 % de los participantes permanecen más de una tercera parte del día en la localidad y de dicho porcentaje el 25,4 % , más del 60% del día. Todo lo anterior comprobando una alta exposición a la calidad del aire presente en Kennedy, lo cual puede con llevar a diversos problemas de salud en los ocupantes del lugar.

¿Cual siente que es el tipo de contaminación que prevalece en la localidad ?
59 respuestas

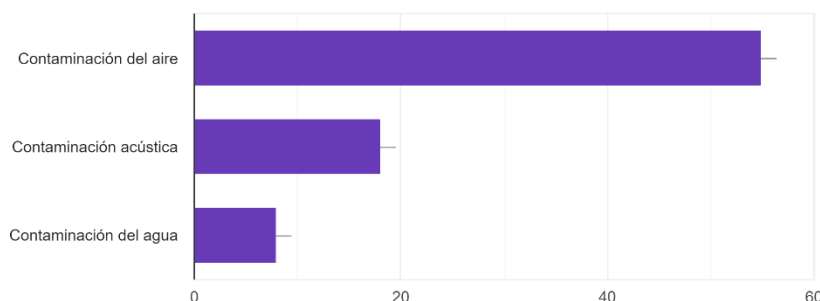


Figura 18 Pregunta 5 de la encuesta de percepción. La figura es el resultado estadístico de la pregunta 5 de la encuesta de percepción. Elaboración propia

Califique de la calidad de aire de la localidad de Kennedy siendo 1 muy mala y 5 muy buena
59 respuestas

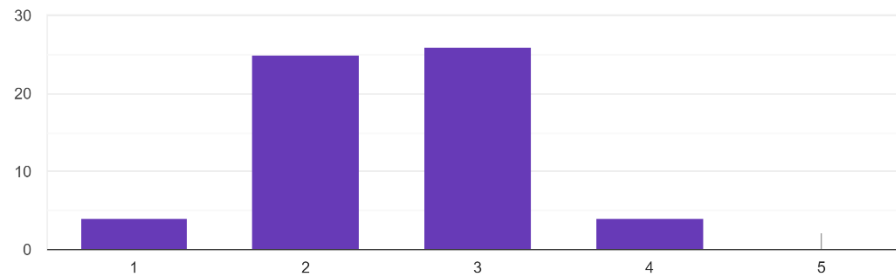


Figura 19 Pregunta 6 de la encuesta de percepción. La figura es el resultado estadístico de la pregunta 6 de la encuesta de percepción. Elaboración propia

Como se muestra en la figura 17 y 18 referentes a la pregunta 5 y 6 de la encuesta de percepción respectivamente la población encuestada de manera empírica reconoce la contaminación atmosférica y la calidad del aire como una problemática puesto que el 93,2 % de las respuestas alegan la contaminación del aire como la de mayor prevalencia y el 93,3 % califica la calidad del aire con una puntuación de 3 o menor.

Actualmente presenta problemas de respiración
59 respuestas

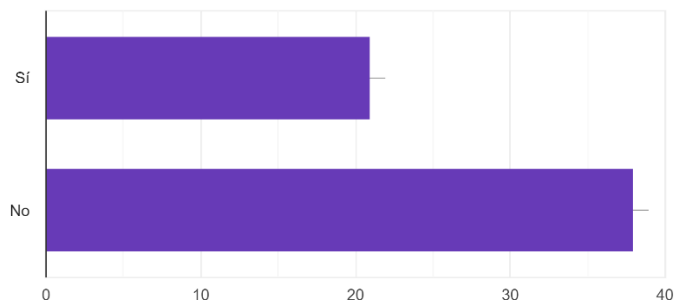


Figura 20 Pregunta 7 de la encuesta de percepción. La figura es el resultado estadístico de la pregunta 7 de la encuesta de percepción. Elaboración propia

De ser su anterior respuesta si. Califique su problema de 1 a 5 siendo 1 muy leve y 5 muy complicado
30 respuestas

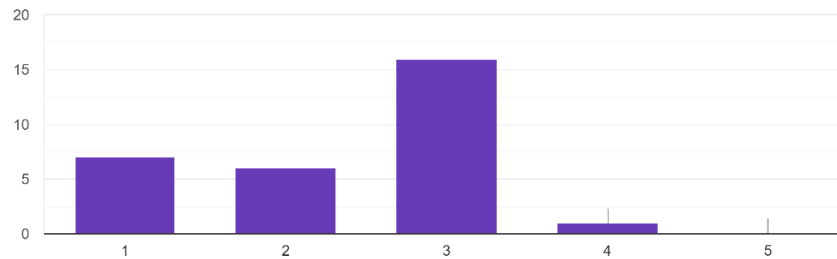


Figura 21 Pregunta 8 de la encuesta de percepción. La figura es el resultado estadístico de la pregunta 8 de la encuesta de percepción. Elaboración propia

Cuando presenta algún problema de salud respiratorio (gripa, congestión, alergias etc) su recuperación normalmente tarda
59 respuestas

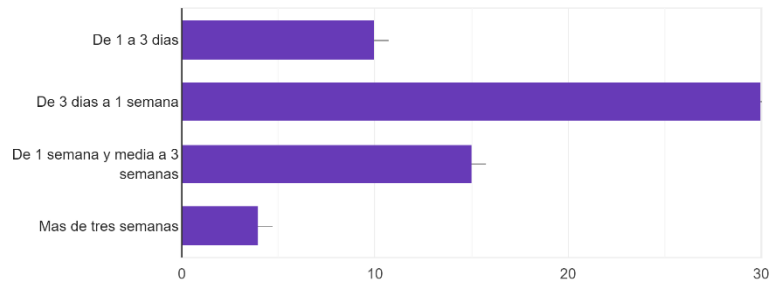


Figura 22 Pregunta 9 de la encuesta de percepción. La figura es el resultado estadístico de la pregunta 9 de la encuesta de percepción. Elaboración propia

En estos tres gráficos se quiere mostrar la incidencia en la salud que puede llegar a estar relacionada con la calidad de aire de la zona, el 35,6 % de los participantes alegan presentar actualmente problemas relacionado con el sistema respiratorio de este porcentaje el 53,3 califica la dificultad de este con un 3 en una escala de 1 al 5.

El 32,2% de los encuestados afirman que duran más de 1 semana en recuperarse generalmente de sus afectaciones relacionadas al sistema respiratorio y de ellos el 6,8 % más de 3 semanas, lo que puede representar deficiencias en el su organismo, puesto que según expertos este tipo de afectaciones en promedio tiene una recuperación de 7 a 10 días (Ormaechea, 2016).

Considera usted oportuno el uso de tapabocas en una localidad como Kennedy
59 respuestas

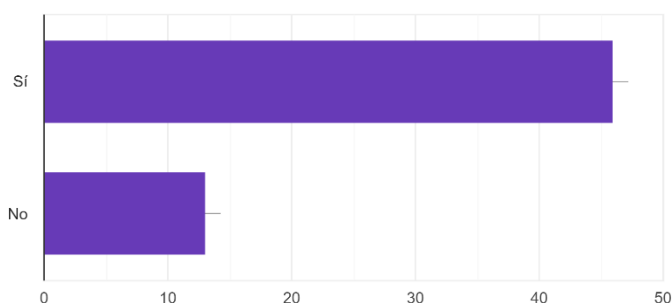


Figura 23 Pregunta 10 de la encuesta de percepción. La figura es el resultado estadístico de la pregunta 10 de la encuesta de percepción. Elaboración propia

En esta pregunta se muestra que las personas de manera directa o indirecta reconoce que hay factores que pueden afectar su salud respiratoria en la zona de estudio y por ello el 78 % de los encuestados consideran importante el uso de tapabocas en la localidad en su diario vivir.

Estaría usted o su familia dispuesto/a a comprar un filtro que mejore las condiciones de la calidad del aire de su vivienda
59 respuestas

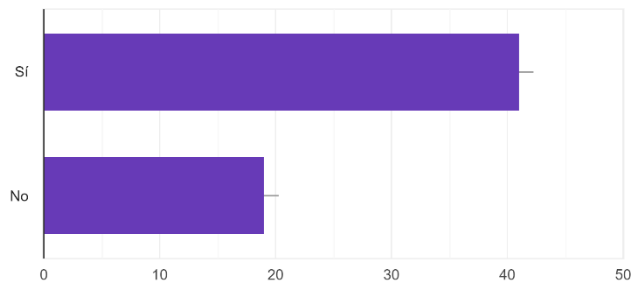


Figura 24 Pregunta 11 de la encuesta de percepción. La figura es el resultado estadístico de la pregunta 11 de la encuesta de percepción. Elaboración propia

De ser su respuesta si en la anterior preguntan, usted estaría dispuesto/a a pagar por un filtro
42 respuestas

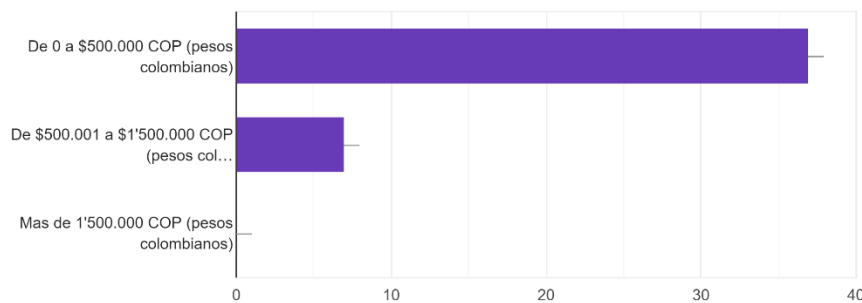


Figura 25 Pregunta 12 de la encuesta de percepción. La figura es el resultado estadístico de la pregunta 12 de la encuesta de percepción. Elaboración propia

Con las dos últimas preguntas se buscó indagar sobre el factor económico y la aceptación de la futura implementación de un biofiltro, a esto se mostró que el 69,5 % de los encuestados están dispuestos a comprar un dispositivo que ayude a mitigar la deficiencia de calidad de aire interior y de este porcentaje el 88,1 % no invertiría más de \$500.000 COP (pesos

colombianos), lo cual demostró que la futura solución debe ser económica en relación a la actual pues un filtro tipo HEPA tiene un costo entre los 290 USD (dólares estadounidenses) y los 620 USD (Benítez de Lugo, Devoto, Franke, & Vitolo, 2018) que al cambio actual son alrededor de \$1'180.000 COP y \$2'500.000 COP.

10. Diseño de biofiltro

A la hora de diseñar el biofiltro de lecho se tuvo en cuenta la norma ASHRAE (ASHRAE, 2007) para evaluar aspectos de diseño respecto a las dimensiones de entrada y salida del aire.

Para este caso se evaluaron dos viviendas de la localidad de Kennedy ubicadas en el barrio Carvajal una que cuenta con ambientes que presentan ventilación unilateral y otra con presencia de ventilación cruzada, ambas con familias compuestas por 4 personas, de las cuales dos personas habitan un cuarto, las otras dos tienen habitaciones separadas y por último todos comparten el espacio de la sala comedor.

Vivienda ventilación unilateral: Este análisis se apoyó de la norma ASHRAE donde se remitió a la *tabla 6 - 1 ratas mínimas de ventilación en zonas de respiración*. Para el caso se utilizó el ítem *Hotels, Moteles, Condominios y dormitorios*.

Tabla 6 Tabla 6 - 1ASHRAE item hotels, moteles, condominiosy dormitoriosos

TABLA 6-1

RATAS MINIMAS DE VENTILACION EN ZONAS DE RESPIRACIÓN

(Esta tabla no es válida aisladamente; debe ser usada en conjunto con las notas que la acompañan.)

Categoría de ocupación	Rata de aire exterior para personas		Rata de aire exterior del área		Notas	Valores por defecto			Clase de aire
	R_p		R_a			Densidad de ocupación	Rata combinada de aire exterior		
	(Ver Nota 4)	(Ver Nota 5)							
	cfm/persona	L/s-persona	cfm/pie ²	L/s-m ²		#/1000 pie ² or #/100 m ²	cfm/persona	L/s-persona	
Hotels, Moteles, Condominios y dormitoriosos									
Alcoba/salon de estar	5	2.5	0.06	0.3		10	11	5.5	1
Áreas de dormitorio, barracas	5	2.5	0.06	0.3		20	8	4.0	1
Áreas de lavandería central	5	2.5	0.12	0.6		10	17	8.5	2
Cuartos de lavandería con unidades compartidas	5	2.5	0.12	0.6		10	17	8.5	1
Vestibulo / pasillo de antesala	7.5	3.8	0.06	0.3		30	10	4.8	1
Asambleas multi -propósito	5	2.5	0.06	0.3		120	6	2.8	1

Nota: La tabla muestra aspectos relevantes para evaluar las ratas mínimas de ventilación en zonas de respiración, dichas valores se aplican tanto en la ventilación unilateral como cruzada Adaptado de: ASHRAE, 2007, pág. 11. Por: Estandar ASHRAE. Recuperado: <https://www.ashrae.org/>

En este punto se hizo el cálculo de cada uno de los espacios a tratar en los cuales tomamos una habitación con uno, dos habitantes y la sala comedor ya que para ambos casos es un mismo espacio.

Habitación un ocupante

Habitación con un ocupante que mide 2,5 m por 2,85 m.

Caudal

En primera instancia se halla el área y posteriormente se pasa a pies cuadrado con esa área se procede a reemplazar los valores en la fórmula de caudal.

$$\begin{aligned}A &= L \times L \\A &= 2,5 \, m \times 2,85 \, m \\A &= 7,125 \, m^2 \\Factor \, de \, conversi3n \, de \, m^2 \, a \, ft^2 &= 10,764 \\7,125 \, m^2 \times 10,764 &= 76,7 \, ft^2\end{aligned}$$

Con el dato del área en pies cuadrados se procede a remplazar los datos de la fórmula de caudal, con el fin de encontrar el caudal requerido para esta habitación en específico.

$$Q = \left(\left(C_p \times \frac{cfm}{p} \right) + \left(\frac{cfm}{ft^2} \times a \right) \right)$$

$$Q = \left(\left(1 \cancel{p} \times 2,5 \frac{cfm}{\cancel{p}} \right) + \left(0,06 \frac{cfm}{\cancel{ft^2}} \times 76,7 \cancel{ft^2} \right) \right)$$

$$Q = (2,5 cfm) + (4,6 cfm)$$

$$Q = 7,1 cfm^2$$

$$\text{Factor de conversión de } cfm^2 \text{ a } \frac{m^3}{h} = 1,69$$

$$7,1 cfm^2 \times 1,69 = 11,9 \frac{m^3}{h}$$

Ahora se procede a realizar la ecuación de caudal para ventilación unilateral en un área de 1 metro cubico y posteriormente una regla de 3 simple con el valor requerido especifico de esta habitación con ello determinar el área de ventilación requerida para una ventilación optima.

$$Q = 0,025 \times a \times v$$

$$Q = 0,025 \times 1 \text{ m}^2 \times 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q = 0,025 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Factor de conversion de } \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{ a } \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}$$

$$Q = 0,025 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 90 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Regla de 3 simple para determinar el area requerida

$$90 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow 1 \text{ m}^3$$

$$11,9 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow a$$

$$a = \frac{90 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 1 \text{ m}^2}{270 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

$$a = 0,33 \text{ m}^2$$

Habitación dos ocupantes

Habitación con dos ocupantes que mide 3,6 m por 2,6 m.

Caudal

En primera instancia se halla el área y posteriormente se pasa a pies cuadrado con esa área se procede a reemplazar los valores en la fórmula de caudal.

$$\begin{aligned}
 A &= L \times L \\
 A &= 3,6 \text{ m} \times 2,6 \text{ m} \\
 A &= 9,36 \text{ m}^2 \\
 \text{Factor de conversión de } \text{m}^2 \text{ a } \text{ft}^2 &= 10,764 \\
 9,36 \text{ m}^2 \times 10,764 &= 100,75 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

Con el dato del área en pies cuadrados se procede a remplazar los datos de la fórmula de caudal, con el fin de encontrar el caudal requerido para esta habitación en específico.

$$\begin{aligned}
 Q &= \left(\left(Cp \times \frac{\text{cfm}}{p} \right) + \left(\frac{\text{cfm}}{\text{ft}^2} \times a \right) \right) \\
 Q &= \left(\left(2 \cancel{p} \times 2,5 \frac{\text{cfm}}{\cancel{p}} \right) + \left(0,06 \frac{\text{cfm}}{\cancel{\text{ft}^2}} \times 100,75 \cancel{\text{ft}^2} \right) \right) \\
 Q &= (5 \text{ cfm}) + (6,045 \text{ cfm}) \\
 Q &= 11,045 \text{ cfm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Factor de conversión de } \text{cfm}^2 \text{ a } \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 1,69$$

$$11,045 \text{ cfm}^2 \times 1,69 = 18,7 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Ahora se procede a realizar la ecuación de caudal para ventilación unilateral en un área de 1 metro cubico y posteriormente una regla de 3 simple con el valor requerido especifico de esta habitación con ello determinar el área de ventilación requerida para una ventilación optima.

$$Q = 0,025 \times a \times v$$

$$Q = 0,025 \times 1 \text{ m}^2 \times 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q = 0,025 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Factor de conversion de } \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{ a } \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}$$

$$Q = 0,025 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 90 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Regla de 3 simple para determinar el area requerida

$$90 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow 1 \text{ m}^3$$

$$18,7 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow a$$

$$a = \frac{18,7 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 1 \text{ m}^2}{90 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

$$a = 0,20 \text{ m}^2$$

Sala comedor

Espacio compartido por la familia compuesta por 4 personas que mide 4,6 m por 2,7 m

Caudal

En primera instancia se halla el área y posteriormente se pasa a pies cuadrado con esa área se procede a reemplazar los valores en la fórmula de caudal.

$$\begin{aligned}
 A &= L \times L \\
 A &= 4,6 \text{ m} \times 2,7 \text{ m} \\
 A &= 12,42 \text{ m}^2 \\
 \text{Factor de conversión de } \text{m}^2 \text{ a } \text{ft}^2 &= 10,764 \\
 12,42 \text{ m}^2 \times 10,764 &= 133,69 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

Con el dato del área en pies cuadrados se procede a remplazar los datos de la fórmula de caudal, con el fin de encontrar el caudal requerido para esta habitación en específico.

$$\begin{aligned}
 Q &= \left(\left(Cp \times \frac{cfm}{p} \right) + \left(\frac{cfm}{ft^2} \times a \right) \right) \\
 Q &= \left(\left(4 \cancel{p} \times 2,5 \frac{cfm}{\cancel{p}} \right) + \left(0,06 \frac{cfm}{\cancel{ft^2}} \times 133,69 \cancel{ft^2} \right) \right) \\
 Q &= (10 \text{ cfm}) + (8,02 \text{ cfm}) \\
 Q &= 18,02 \text{ cfm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Factor de conversión de } \text{cfm}^2 \text{ a } \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 1,69$$

$$18,02 \text{ cfm}^2 \times 1,69 = 30,45 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Ahora se procede a realizar la ecuación de caudal para ventilación unilateral en un área de 1 metro cubico y posteriormente una regla de 3 simple con el valor requerido especifico de esta habitación con ello determinar el área de ventilación requerida para una ventilación optima.

$$Q = 0,025 \times a \times v$$

$$Q = 0,025 \times 1 \text{ m}^2 \times 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q = 0,025 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Factor de conversion de } \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{ a } \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}$$

$$Q = 0,025 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 90 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Regla de 3 simple para determinar el area requerida

$$90 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow 1 \text{ m}^3$$

$$30,45 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow a$$

$$a = \frac{30,45 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 1 \text{ m}^2}{90 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

$$a = 0,33 \text{ m}^2$$

Vivienda ventilación cruzada: Este análisis se apoyó de la norma ASHRAE donde se remitió a la *tabla 6 - 1 ratas mínimas de ventilación en zonas de respiración*. Para el caso se utilizó el ítem *Hotels, Moteles, Condominios y dormitorios*. (ver tabla 6).

Habitación un ocupante

Habitación con un ocupante que mide 3,7 m por 2,85 m.

Caudal

En primera instancia se halla el área y posteriormente se pasa a pies cuadrado con esa área se procede a reemplazar los valores en la fórmula de caudal.

$$\begin{aligned}
 A &= L \times L \\
 A &= 3,7 \text{ m} \times 2,85 \text{ m} \\
 A &= 10,545 \text{ m}^2 \\
 \text{Factor de conversión de } \text{m}^2 \text{ a } \text{ft}^2 &= 10,764 \\
 10,545 \text{ m}^2 \times 10,764 &= 113,506 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

Con el dato del área en pies cuadrados se procede a remplazar los datos de la fórmula de caudal, con el fin de encontrar el caudal requerido para esta habitación en específico.

$$\begin{aligned}
 Q &= \left(\left(Cp \times \frac{cfm}{p} \right) + \left(\frac{cfm}{ft^2} \times a \right) \right) \\
 Q &= \left(\left(1 \cancel{p} \times 2,5 \frac{cfm}{\cancel{p}} \right) + \left(0,06 \frac{cfm}{\cancel{ft^2}} \times 113,506 \cancel{ft^2} \right) \right) \\
 Q &= (2,5 \text{ cfm}) + (6,81 \text{ cfm}) \\
 Q &= 9,31 \text{ cfm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Factor de conversión de } \text{cfm}^2 \text{ a } \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 1,69$$

$$9,31 \text{ cfm}^2 \times 1,69 = 15,73 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Ahora se procede a realizar la ecuación de caudal para ventilación cruzada en un área de 1 metro cubico y posteriormente una regla de 3 simple con el valor requerido especifico de esta habitación con ello determinar el área de ventilación requerida para una ventilación optima.

$$Q = R \times V \times A \times \text{sen}$$

$$Q = 0,6 \times 1 \text{ m}^2 \times 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \text{Sen } 96$$

$$Q = 0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Factor de conversion de } \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{ a } \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}$$

$$Q = 0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 216 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Regla de 3 simple para determinar el area requerida

$$216 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow 1 \text{ m}^3$$

$$15,73 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow a$$

$$a = \frac{15,73 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 1 \text{ m}^2}{216 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

$$a = 0,07 \text{ m}^2$$

Habitación dos ocupantes

Habitación con dos ocupantes que mide 3,7 m por 2,85 m.

Caudal

En primera instancia se halla el área y posteriormente se pasa a pies cuadrado con esa área se procede a reemplazar los valores en la fórmula de caudal.

$$\begin{aligned}
 A &= L \times L \\
 A &= 3,7 \text{ m} \times 2,85 \text{ m} \\
 A &= 10,545 \text{ m}^2 \\
 \text{Factor de conversión de } \text{m}^2 \text{ a } \text{ft}^2 &= 10,764 \\
 10,545 \text{ m}^2 \times 10,764 &= 113,506 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

Con el dato del área en pies cuadrados se procede a remplazar los datos de la fórmula de caudal, con el fin de encontrar el caudal requerido para esta habitación en específico.

$$\begin{aligned}
 Q &= \left(\left(Cp \times \frac{cfm}{p} \right) + \left(\frac{cfm}{ft^2} \times a \right) \right) \\
 Q &= \left(\left(2 \cancel{p} \times 2,5 \frac{cfm}{\cancel{p}} \right) + \left(0,06 \frac{cfm}{\cancel{ft^2}} \times 113,506 \cancel{ft^2} \right) \right) \\
 Q &= (5 \text{ cfm}) + (6,81 \text{ cfm}) \\
 Q &= 11,81 \text{ cfm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Factor de conversión de } \text{cfm}^2 \text{ a } \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 1,69$$

$$11,81 \text{ cfm}^2 \times 1,69 = 19,95 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Ahora se procede a realizar la ecuación de caudal para ventilación cruzada en un área de 1 metro cubico y posteriormente una regla de 3 simple con el valor requerido especifico de esta habitación con ello determinar el área de ventilación requerida para una ventilación optima.

$$Q = R \times V \times A \times \sin$$

$$Q = 0,6 \times 1 \text{ m}^2 \times 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \sin 96$$

$$Q = 0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Factor de conversion de } \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{ a } \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}$$

$$Q = 0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 216 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Regla de 3 simple para determinar el area requerida

$$216 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow 1 \text{ m}^3$$

$$19,95 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow a$$

$$a = \frac{19,95 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 1 \text{ m}^2}{216 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

$$a = 0,09 \text{ m}^2$$

Sala comedor

Espacio compartido por la familia compuesta por 4 personas que mide 2,8 m por 5,3 m.

Caudal

En primera instancia se halla el área y posteriormente se pasa a pies cuadrado con esa área se procede a reemplazar los valores en la fórmula de caudal.

$$\begin{aligned}
 A &= L \times L \\
 A &= 2,8 \text{ m} \times 5,3 \text{ m} \\
 A &= 14,84 \text{ m}^2 \\
 \text{Factor de conversión de } \text{m}^2 \text{ a } \text{ft}^2 &= 10,764 \\
 14,84 \text{ m}^2 \times 10,764 &= 159,74 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

Con el dato del área en pies cuadrados se procede a remplazar los datos de la fórmula de caudal, con el fin de encontrar el caudal requerido para esta habitación en específico.

$$\begin{aligned}
 Q &= \left(\left(Cp \times \frac{cfm}{p} \right) + \left(\frac{cfm}{ft^2} \times a \right) \right) \\
 Q &= \left(\left(4 \cancel{p} \times 2,5 \frac{cfm}{\cancel{p}} \right) + \left(0,06 \frac{cfm}{\cancel{ft^2}} \times 159,74 \cancel{ft^2} \right) \right) \\
 Q &= (10 \text{ cfm}) + (9,58 \text{ cfm}) \\
 Q &= 19,58 \text{ cfm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Factor de conversión de } \text{cfm}^2 \text{ a } \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 1,69$$

$$19,58 \text{ cfm}^2 \times 1,69 = 33,09 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Ahora se procede a realizar la ecuación de caudal para ventilación cruzada en un área de 1 metro cubico y posteriormente una regla de 3 simple con el valor requerido especifico de esta habitación con ello determinar el área de ventilación requerida para una ventilación optima.

$$Q = R \times V \times A \times \sin$$

$$Q = 0,6 \times 1 \text{ m}^2 \times 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \sin 96$$

$$Q = 0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Factor de conversion de } \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{ a } \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}$$

$$Q = 0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 216 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Regla de 3 simple para determinar el area requerida

$$216 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow 1 \text{ m}^3$$

$$33,09 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow a$$

$$a = \frac{33,09 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 1 \text{ m}^2}{216 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

$$a = 0,15 \text{ m}^2$$

Recopilación de datos caso de estudio

Tabla 7

Recopilación de datos casos de estudio

Caso de estudio							
Información de vivienda		Espacios estudiados					
N° vivienda	Tipo de ventilación	Habitación 1: un ocupante		Habitación 2: dos ocupantes		Sala comedor	
		Caudal de ventilación (m³ / h)	Área requerida de ventilación (m²)	Caudal de ventilación (m³ / h)	Área requerida de ventilación (m²)	Caudal de ventilación (m³ / h)	Área requerida de ventilación (m²)
1	Unilateral	11,9	0,13	18,7	0,20	28,42	0,31
2	Cruzada	15,73	0,07	19,95	0,09	33,09	0,15

Nota: La tabla busca resumir los resultados de las dos casas estudiadas, haciendo a su vez un comparativo. Elaboración propia

10.1 Selección de materiales

Tubería de PVC: Para escoger la tubería de PVC se midió el área de la circunferencia de un tubo sanitario de 4 pulgadas.

Tabla 8

Diámetros de tubería hidráulica de 4"

Diámetro nominal	Diámetro exterior		Diámetro interior	
in	in	mm	in	mm
4"	4,5	114,3	3,998	101,6

Nota: La tabla busca extraer la información de los diámetros de la tubería hidráulica de 4 pulgadas con el fin de calcular si área y garantizar las áreas requeridas de ventilación de los casos de estudio. A daptado de: “tubos monterrey tu futuro, nuestro compromiso”. Por: Tubos Monterrey, 2020, párr. 1. Recurado: <http://www.tubosmonterrey.com.mx/home/productos/tuberia/tuberia-de-pvc/pvc-hidraulico/>

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi(5,08)^2$$

$$A = 81,07 \text{ cm}^2$$

Puesto que las áreas requeridas están entre los 7 y 31 centímetros cuadrados, la utilización de una tubería de 4 pulgadas es pertinente pues su área es de 81,07 centímetros cuadrados.

Diseño de caja de PVC

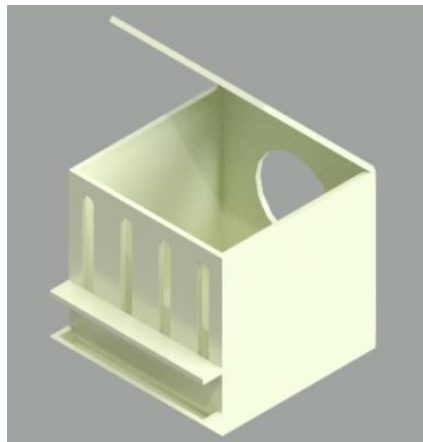


Figura 26 humidificador natural. La figura muestra el diseño del purificador natural del biofiltro. Elaboración propia

Para la parte del humidificador se diseñó una caja de 20 x 20 cm en PVC de 6mm de espesor la cual en su cara frontal cuenta con cuatro ranuras para permitir el ingreso del aire, en esta misma cara en la parte inferior posee una inclinación de 45 grados la cual permite el ingreso de agua lluvia y una respectiva tapa para evitar la saturación de agua en el humidificador, la cara superior es removible y tiene dispuesta pequeños sistemas de agarre los cuales sostienen los paños de microfibra, por último en la parte posterior hay una abertura circular en la que encaja perfectamente el tubo de tubería sanitaria de 4 pulgadas.

Paños de microfibra



Figura 27 paños de microfibra utilizados en humidificadores naturales. La figura muestra el material humidificador natural, los cuales son años de microfibra. Tomado de: “Los mejores humidificadores Hrph” Por: Amazon EU, 2020, párr. 2 Recuperado: <https://humidificador.com.es/hrph>

Estos se ubicaron directamente en la tapa superior del humidificador para recolectar el agua a humidificar mediante un proceso anti gravitatorio.

Fibra de coco



Figura 28 Fibra de coco deshidratada. La figura muestra el material biofiltrante el cual es la fibra de coco antes de ser hidratado Tomado de: “biofiltro fibra de coco”. Por: Burés profesional S.A, 2020, párr. 1. Recuperado: <https://www.burespro.com/product/biofiltro-de-fibra-de-coco/>

Este es el principal material de sustrato, antes de ser implementado en el empaque (tubo horizontal) del biofiltro pasa por un proceso sencillo de hidratación que posteriormente se mantiene con ayuda de humidificador.

Carbón activado

Como segundo material de sustrato que puede ser de uso opcional con el fin de potencializar la función de la fibra de coco, se implementó también en el empaque del biofiltro, este puede ser comprado u obtenido a partir de la cascara de coco.



Figura 29 Carbón activado. La figura muestra el material biofiltrante el cual es el carbón activado. Tomado de: “Usos del carbón activado para la salud” Por: KOTB, 2020, párr. 1. Recuperado: <https://www.kotb.com/usos-del-carbon-activado-la-salud/>

Rejilla de lamas fijas

Esta fue dispuesta en la cara frontal de humidificador natural con el fin de evitar la entrada de agua lluvia por las ranuras del aire.

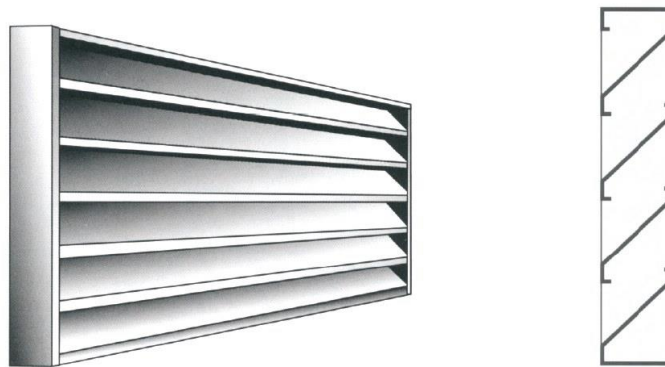


Figura 30 Rejilla de lamas fijas o efecto antilluvia

La figura muestra una rejilla antilluvia, la cual busca evitar la saturación por efecto de lluvia en el humidificador. Tomado de: “Ventana lamas fijas”. Por: incoperfil, 2020, párr.1. Recuperado: <https://www.incoperfil.com/ventana-lamas-fijas-cms-1-50-51/>

11. Análisis de software

En este punto después de realizar el modelado en AutoCAD con las dimensiones establecidas en la selección de materiales se procedió a evaluar, la velocidad de aire que pasa por el biofiltro y a verificar el caudal de acuerdo con la norma ASHRAE y los cálculos anteriormente expuestos, con ayuda del software Autodesk CFD.

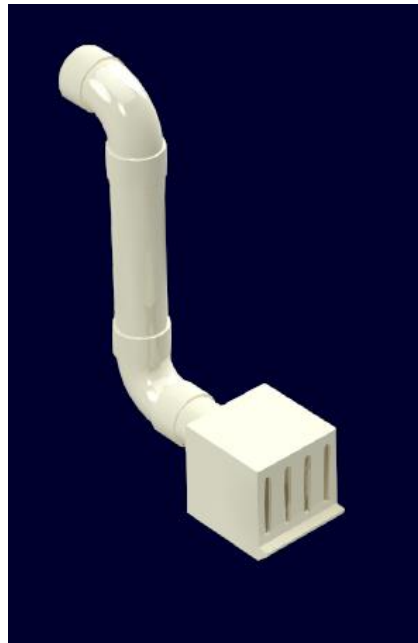


Figura 31 Prototipo de biofiltro renderizado. La figura muestra el prototipo de biofiltro establecido de acuerdo con la selección de materiales y el factor de relación a tratar que es la contaminación del exterior con respecto al interior. Elaboración propia

11.1 Variable de velocidad

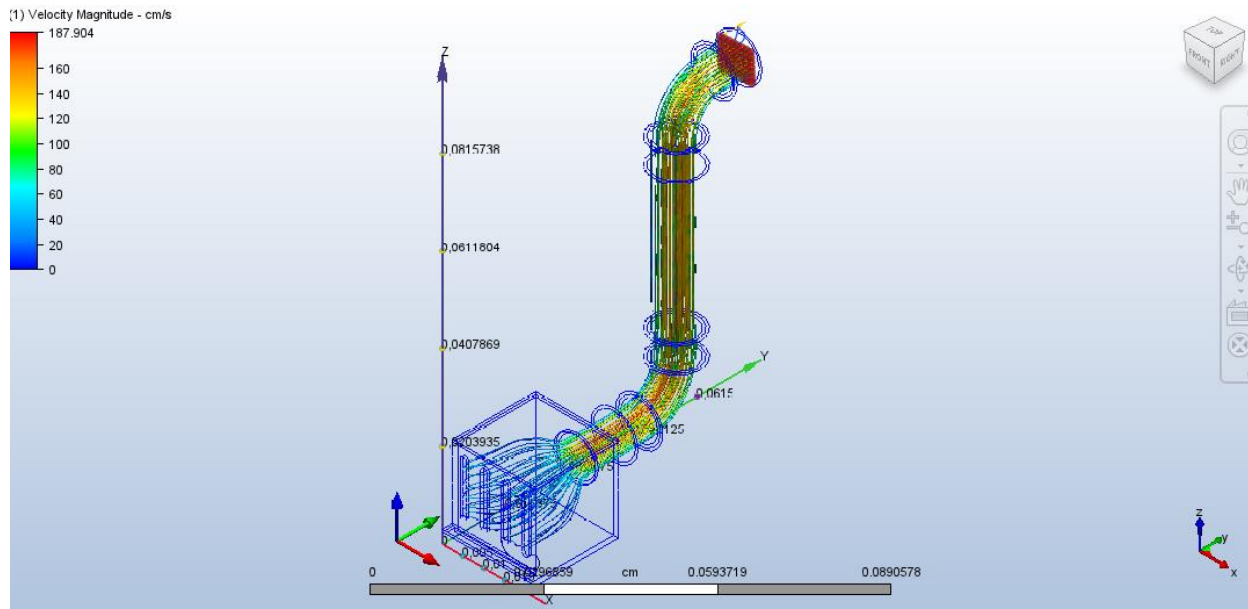


Figura 32 Simulación 1 de velocidad. La figura es una representación gráfica de la velocidad del aire que transita por el biofiltro, teniendo en cuenta el material envolvente que para este caso es PVC. Elaboración propia

Para la elaboración de la simulación de velocidad, primero se tuvo en cuenta el material envolvente (PVC), y el fluido a tratar (aire). El objetivo principal de esta simulación era evidenciar que el humidificador puedes ser natural, no necesita de elementos externos como un ventilador para el empuje del aire en su interior, esto debido a su ubicación, la cual está orientada hacia el noreste que es la dirección en que mayormente soplan los vientos de la ciudad de Bogotá.

La velocidad promedio que aventó la rosa de los vientos en relación con la dirección noreste es de 3 m/s, pero para aplicarla en este caso, se tuvo en cuenta el principio de la ley

exponencial de Hellmann, la cual expone que a la velocidad del aire es inversamente proporcional a la altura, es por lo que para este caso se utilizó una velocidad de 1 m/s.

Además, esta primera simulación también muestra la velocidad máxima que alcanza el aire interior del biofiltro, el cual alcanza una velocidad máxima de 187,9 cm/s, la representación gráfica del flujo al interior muestra el comportamiento que tiene la velocidad al interior, esta entra con un valor entre 0 – 20 cm/s y hacia el centro de la tubería aumenta llegando a un máximo de 187,9 cm/s.

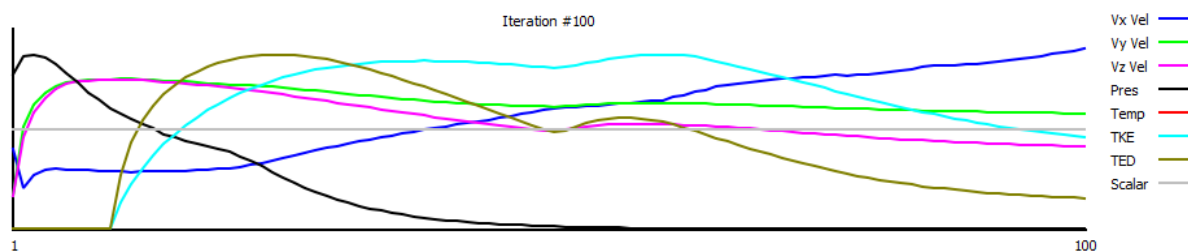


Figura 33 Grafico evaluativo de las variables de la simulación 1. La figura muestra el comportamiento de diversas variables de la simulación 1 la cual corresponde a la simulación de velocidad del aire. Elaboración propia

Por último, esta primera simulación arrojo el grafico (figura 33) el cual muestra los comportamientos de distintas variables como son las velocidades en los distintos ejes, la presión y temperatura.

11.2 Variable de caudal del flujo

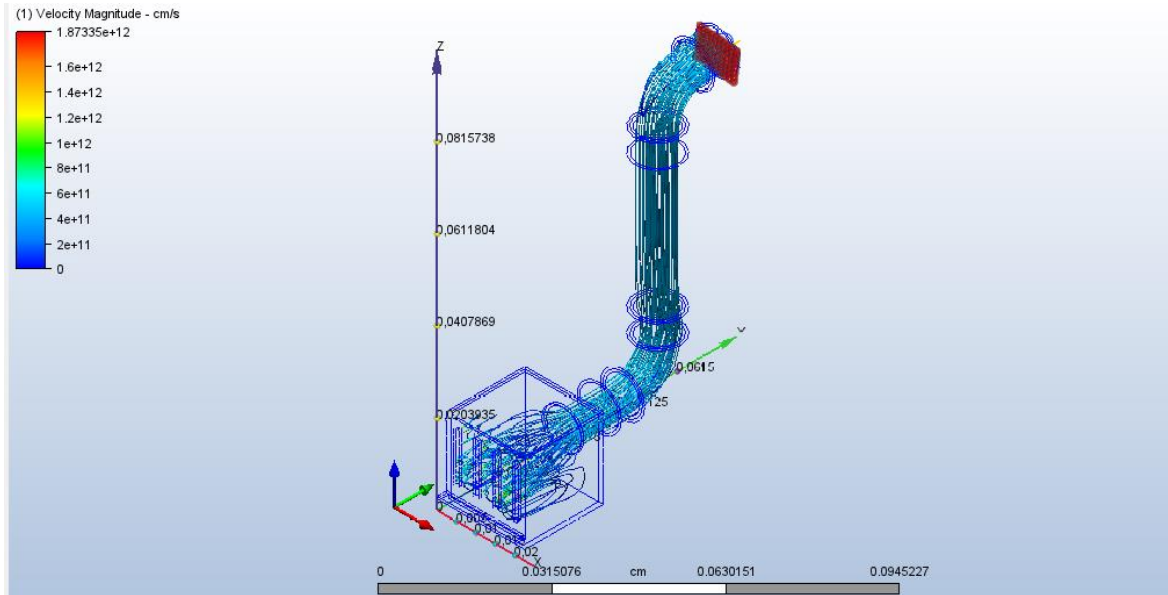


Figura 34 Simulación 2 de caudal del flujo. La figura muestra el comportamiento del flujo y las presiones a las que están sometida. Elaboración propia

Esta simulación busca mostrar cómo se comporta el caudal al interior del biofiltro a su interior, y las presiones a las cuales está sometido, evidenciando que es baja la presión, y el flujo se adapta al material envolvente

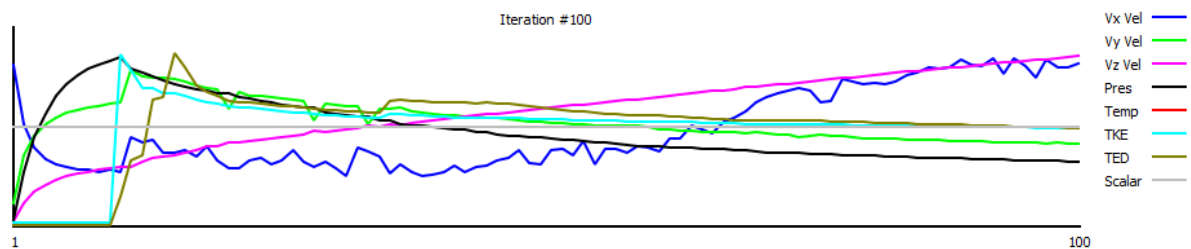


Figura 35 Grafico evaluativo de las variables de la simulación 2. La figura muestra el comportamiento de diversas variables de la simulación 2 la cual corresponde a la simulación de Caudal del flujo. Elaboración propia

Por último, esta primera simulación arrojo el grafico (figura 35) el cual muestra los comportamientos de distintas variables como son las velocidades en los distintos ejes, la presión y temperatura.

12. Análisis de costos

Es recomendable el cambio de los materiales biofiltrantes en un periodo de 3 a 5 años
(Carbón activado, fibra de coco)

Tabla 9 Análisis de costos del biofiltro

Material	Precio en pesos colombianos	Cantidades requeridas	Precio en pesos colombianos de las cantidades requeridas
Humidificador	40.000 – 56.000	1 unidad	40.000 – 56.000
Tubería PVC 4” 3 metros	45.900	1 unidad de 45 cm 1 unidad de 15 cm	7.650
Accesorios Tubería PVC 4”	7.200	2 unidades	14.400
Paños de microfibra 1 x 1,50 m	6.000	2 unidades de 15 x 15 cm	1.200
Carbón activado 1 kg (opcional)	240.000	5 gr	2.400
Rejilla antilluvia de PVC de 15 x 15 cm	12.000	1 unidad	12.000
Aislante de neopreno 1m	28.000	1 unidad de 15cm	4.700
Angulo de instalación	24.000	1 unidad	24.000
Fibra de coco	20.000 aprox.	500 gr	20.000 aprox.
TOTAL	423,100 – 439,100	-----	102.350 - 118.350

Nota: la tabla muestra la totalidad de materiales del biofiltro como los de instalación y busca sacar el costo de un biofiltro. Elaboración propia

13. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

La biofiltración es una alternativa que puede ayudar a la mitigación de la actual problemática de calidad del aire en la localidad de Kennedy además ofrece aspectos importantes de eficiencia, es económicamente asequible y cuenta con ser una propuesta ecológica

La población Kennedy además de ser la localidad más contaminada de la ciudad de Bogotá D.C, presenta altos porcentajes de exposición a la calidad de aire, respecto al tiempo que habita el lugar de estudio anteriormente nombrado

Los habitantes de la localidad de Kennedy de manera empírica reconocen la contaminación atmosférica (aire) y la calidad del aire como una problemática grave en la zona

La contaminación atmosférica o del aire puede estar incidiendo de manera negativa en la salud respiratoria de los habitantes de la zona de estudio

Si se busca mitigar la problemática actual respecto a la calidad del aire en la localidad de Kennedy, la solución de esto debe ser económica, puesto que la mayoría de la población no está dispuesta o no quiere pagar por un dispositivo un costo mayor a \$500.000 COP

En cualquier edificación resulta más eficiente la contaminación cruzada, puesto que de acuerdo con los cálculos las áreas requeridas de ventilación son menores

Los caudales y áreas requeridas se ven directamente afectadas por el número de ocupantes de una habitación y su área, además del tipo de ventilación presente en la vivienda o espacio a tratar

Se puede comprobar el funcionamiento del biofiltro mediante simulaciones de velocidad, y caudal del flujo, estas además permiten mirar el comportamiento que tiene el aire al interior

Es posible la implementación del biofiltro, con los materiales propuestos, esto requiere de un estudio de la vivienda o espacio a tratar, en el cual se tiene en cuenta el tipo de ventilación, el área, en el caso de la ventilación cruzada, el ángulo de la fachada con respecto a la dirección hacia donde soplan con mayor intensidad los vientos, además que se pueden hacer estudios previos del comportamiento del biofiltro mediante simulaciones

Se recomienda el cambio de los materiales biofiltrantes en un periodo de 2 a 3 meses (fibra de coco y carbón activado)

El biofiltro cumple con las características de eficiencia, economía y ecología

Lista de Referencia o Bibliografía

- Amazon EU . (s.f) . Los mejores humidificadores. Recuperado:<https://humidificador.com.es/hrph>
- archdaily.com (14 de febrero de 2020). Ventilación cruzada, efecto chimenea y otros conceptos de ventilación natural: Recurado de: <https://www.archdaily.co/co/889075/ventilacion-cruzada-efecto-chimenea-y-otros-conceptos-de-ventilacion-natural>
- ASHRAE . (s. f). ASHRAE Publica estandar para data center Recuperado de:
<http://colombia.ashraechapters.org/es/ashrae-publica-estandar-para-data-center>
- ASHRAE. (2007). Ventilacion para una calidad aceptable de aire interior . En Atlanta (Ed.) 1791 Tullie Circle NE Recuparado de:
http://www.ditar.cl/archivos/Normas_ASHRAE/T0120ASHRAE-62.1-2007-sp-Ventil-p-CAAI.pdf
- Acevedo. H, Vásquez. A, y Ramírez. D (2012) *Sostenibilidad: Actualidad y necesidad en el sector de la construcción en colombia. Gestion y Ambiente* 15(1) 105-118. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/30825/39307>
- Benítez de Lugo. M, Devoto. M, Franke. M y Vitolo. N. (2018). Producción y comercialización de filtros HEPA para centros de salud. (trabajo de grado, Instituto Tecnológico de Buenos Aires) Recuperado de: <https://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/1674>
- Burés profesional S. A. (s.f). Biofiltro de fibra de coco. Recuperado de:
<https://www.burespro.com/product/biofiltro-de-fibra-de-coco/>

Ecologiactas en accion. (2008) ¿Qué son las PM2,5 y cómo afectan a nuestra salud?. Recuperado de: <https://www.ecologistasenaccion.org/17842/que-son-las-pm25-y-como-afectan-a-nuestra-salud/>

Elsom. (1990). *La contaminacion atmosferica*, Madrid; España ed. Catedra.

Formula 1 atmosphere. (s.f). Recuperado de :

<https://www.formula1atmosphere.com/aerodinamica/cfd-computational-fluid-dynamics/>

Fuentes.V, y Rodriguez. M . (2004). Ventilacion natural calculos basicos para arquitectura .

Recuperado de:

http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/1243/ventilacion_natural_calculos_basicos_para_arquitectura_bajo.pdf?sequence=1

Graedel TE, y Grutzen PJ. (1989). *Una atmósfera cambiante. investigación y ciencia* (Ed). edición española

Instuto de Hidrologia metereologia y estudios ambientales IDEAM. (s.f.). Atlas ideam .

Recuperado de : <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>

Instuto de Hidrologia metereologia y estudios ambientales IDEAM. (s.f). Calidad del aire. Recuperado de : <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>

incoperfil.com (s.f). *incoperfil ingenieria y construccion del perfil* . Recuperado de :

<https://www.incoperfil.com/ventana-lamas-fijas-cms-1-50-51/>

Instituto nacional de ecologia y cambio climatico INECC. (2007). Biofiltración Recuperado de:

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/396/biofiltra.html>

Inspiration. (s.f). Efectos de la contaminacion. Recupardo de :

<https://www.inspiration.org/cambio-climatico/contaminacion/efectos-de-la-contaminacion>

Justavino. J. (2013). La fibra de vidrio en su estado contaminante. *Mente y material UTP*, vol.4

pág. 10 - 11. Recuperado de: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/mente-y-materia/article/view/333>

KOTB. (2017). *KOTB kids y blocks en estado esencia* . Recuperado de:

<https://www.kotb.com/usos-del-carbon-activado-la-salud/>

Laner. B. (2004). Cost of Environmental Damage: A socio-economic and Environmental

HealthRisk Assessment. Recuperado de:

<https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1454644>

Leson, G., y Winer, A. M. (1991). Biofiltration: an innovative air pollution control technology

for VOC emissions. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 41(8), 1045–

1054. <https://doi.org/10.1080/10473289.1991.10466898>

Luna. D, Gonzales. A, Gordon. M, y Martin. N. (2007) Carbón activado a partir de la cáscara de

coco.. Recuperado de: <https://studylib.es/doc/5016602/obtenci%C3%B3n-de-carb%C3%B3n-activado-a-partir-de-la-c%C3%A1scara-de-co...>

Mancilla. A, Morales. M, Trujillo. Y, y Garces. C. (s.f). Estadística descriptiva. Recuperado de:

<https://energiaeolica201.blogspot.com/p/estadistica-descriptiva.html>

Nevers, D. (1998). *Ingeneria de control de la contaminacion del aire* . Mexico: Mcgraw-Hill /

Interamericana de Mexico.

NTC 1087 . (28 de Junio de 2006). Norma tecnico colombiana Recuperado de:

<https://es.slideshare.net/94504225/ntc-1087-tuberias-pvc>.

Organización Mundia de la Salud OMS. (2005). Guías de calidad del aire - actualización mundial 2005 Recuperado de:

https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_agg/es/

Ormaechea. E. (2016). ¿Qué es la gripe y qué es el resfriado?. Recuperado de:

<https://www.salud.mapfre.es/enfermedades/reportajes-enfermedades/resfriado-y-gripe-como-diferenciarlos/>

Ottengraf. H, Meesters. B, Van den Oever. R, & Rozema. N . (1986). Biological elimination of volatile xenobiotic compounds in biofilters. Recuperado de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166111608706939>

Rejillas y difusores S.L .(s.f). Rejillas y difusores . Recuperado de:

http://www.rejillasydifusores.com/REDI%20Rejillas%20y%20Difusores%20S.L._archivos/Page591.htm

Rey. N. (2013). *Caracterizacion de la contaminacion atmosferica en Colombia* . Recuperado de:

<https://prosperityfund.uniandes.edu.co/site/wp-content/uploads/Caracterizaci%C3%B3n-de-la-contaminaci%C3%B3n-atmosf%C3%A9rica-en-Colombia.pdf>

Sung D. (2016). A New Look at Building Facades as Infrastructure. vol. 2 pág. 65 - 66.

Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809916301497>

Secretaria de Ambiente de Bogotá. (s.f). Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá -

RMCAB. Recuperado de : <http://ambientebogota.gov.co/red-de-calidad-del-aire>

Tubos monterrey . (s.f). Tubos monterrey Tubería de PVC Hidráulico: .Recuperado de:

<http://www.tubosmonterrey.com.mx/home/productos/tuberia/tuberia-de-pvc/pvc-hidraulico/>

Tutiemponet. (s.f). Datos climaticos. Recuperado de: <https://www.tutiempo.net/clima/ws-802220.html>

WHO. (2016). Preventing disease through. *World Health Organization*, 47 - 115 .

Windfinder. (2 de Marzo de 2020). Distribución de la dirección y fuerza del viento informe diario de Bogotá. Reecuperado de https://es.windfinder.com/windstatistics/bogota_el_dorado