

Control de material particulado en espacios cerrados (laboratorio, preclínica y oficinas) a través de la utilización de un filtro portátil.



Cristian Alejandro Alarcón Hernández, Juan Sebastián Poveda Guarín

Abril, 2021.

Universidad Antonio Nariño.
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Industrial

Control de material particulado en espacios cerrados (laboratorio, preclínica y oficinas) a través de la utilización de un filtro portátil HEPA

Cristian Alejandro Alarcón Hernández, Juan Sebastián Poveda Guarín

Abril, 2021.

Universidad Antonio Nariño.
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Industrial

Notas del autor

Cristian Alejandro Alarcón Hernández, Facultad de Ingeniería Industrial,
Universidad Antonio Nariño, Villavicencio.

Juan Sebastián Poveda Guarín, Facultad de Ingeniería Industrial,
Universidad Antonio Nariño, Villavicencio.

Nota de Aceptación

Ramiro Hernán Polanco Contreras

Nancy Esperanza Saray Muñoz

Nancy Esperanza Saray Muñoz

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo de tesis ante todo a dios por darnos la oportunidad de llegar a este punto tan importante para nuestras vidas, a nuestros padres que nos dieron la oportunidad de con su ejemplo ser personas de bien para la sociedad en la que trabajamos día a día por un bien común, y el acompañamiento que nos brindan porque sin ellos nada de esto sería posible, les damos gracias a todas las personas que por motivos de alguna enfermedad ya no se encuentran físicamente con nosotros, desde el cielo siempre nos cuidaran para que todo salga bien y a sus memorias podemos dedicar este trabajo a nombre de ellos y decirles que dejan un vacío inmenso en nuestro corazón y que gracias a todos estas personas que ayudaron en el proceso de formación académica dejan muy buenos ingenieros para un futuro.

Agradecimientos

Queremos agradecer ante todo a dios por brindarnos la oportunidad de vivir toda esta etapa de formación académica llena de gratos recuerdos, agradecer a todas las personas que estuvieron presentes durante todo el proceso de formación, así mismo agradecemos a la universidad Antonio Nariño sede Villavicencio la cual a través de sus profesionales, colaboradores y capacidad formativa contribuyo de nuestra formación profesional e integral, un agradecimiento especial a las ingenieras Nancy Saray y Daniela Saldaña Requiniva por el apoyo que nos ofrecieron durante toda nuestra carrera, es muy grato conocer a docentes de tan gran magnitud, por todo lo aprendiendo tanto lo académico como personal y así permitirnos desarrollar esta investigación.

Resumen

La contaminación por altos niveles de material particulado es un problema en recintos interiores y otros espacios cerrados, ya que en muchos casos se desconoce el nivel de concentración presente en estos sitios debido a que no se realizan mediciones de manera periódica y los métodos usados en estas no son del todo eficaces y no se ajustan a sus necesidades a la hora de mitigar este problema, por esta razón se implementó un Control de material particulado PM_{2.5} y PM₁₀ en recintos cerrados de la Universidad Antonio Nariño en Villavicencio, mediante un filtro portátil HEPA, que permita controlar el nivel de material particulado en los espacios cerrados; para esto fue necesario realizar el reconocimiento y caracterización de los recintos que fueron objeto de estudio, los cuales tuvieron que ser transitados y concurridos para poder reflejar una situación real, además, se estableció el método de muestreo a utilizar, así como los elementos electrónicos usados para realizar las mediciones, dichas mediciones fueron efectuadas durante 15 días para poder evidenciar la realidad de cada recinto en las diferentes variables evaluadas; por último, se describieron los elementos y las herramientas adicionales que fueron usadas para la elaboración del filtro, dicho filtro fue instalado en uno de los recintos previamente seleccionados, con el fin de evidenciar los cambios en la cantidad de material particulado que allí se presentaron.

Palabras clave: Material particulado, calidad del aire, filtro portátil, método de muestreo, recintos cerrados.

Abstract

Pollution by high levels of particulate matter is a problem in indoor enclosures and other enclosed spaces, since in many cases the level of concentration present in these sites is unknown because measurements are not performed periodically and the methods used in these are not entirely effective and do not meet their needs when mitigating this problem, for this reason it was implemented a Control of particulate matter PM_{2.5} and PM₁₀ in enclosed areas of the Antonio Nariño University in Villavicencio, by means of a portable HEPA filter, which allows controlling the level of particulate matter in enclosed spaces; for this it was necessary to recognize and characterize the areas that were the object of the study, which had to be transited and frequented in order to reflect a real situation, in addition, the sampling method to be used was established, as well as the electronic elements used to make the measurements, these measurements were made during 15 days to be able to evidence the reality of each area in the different variables evaluated; Finally, the elements and additional tools that were used for the elaboration of the filter were described. This filter was installed in one of the previously selected enclosures, in order to demonstrate the changes in the amount of particulate matter that occurred there.

Key words: Particulate matter, air quality, portable filter, sampling method, closed enclosures.

Tabla de Contenido

Introducción	1
Planteamiento del Problema	2
Descripción del Problema	3
Formulación del Problema	5
Justificación	5
Objetivos	7
General	7
Específicos	7
Marco Referencial	8
Antecedentes	8
Marco Teórico	17
Contaminación atmosférica	19
Material Particulado	19
Características de las partículas	20
Contaminación del aire en interiores	21
Afectaciones en la salud	21
Enfermedades alérgicas asociadas con la contaminación interior del aire	23
Sensores de material particulado	24
Filtro HEPA	24
Marco Conceptual	27
Calidad del aire interior	27
Contaminación	27
Contaminación del aire	28
Concentración de contaminantes.	27
Fuentes móviles.	28
PM 10	28
PM 2.5	28
Marco Geográfico	29
Marco Legal	30
Diseño Metodológico	33
Variables de Medición	33
Recolección y Análisis de Datos	34
Desarrollo del Proyecto	37
Etapa 1. Caracterización de las áreas donde se realizarán las mediciones de calidad del aire en la universidad Antonio Nariño	37
Etapa 2. Realización de una parametrización del material particulado, así como la descripción técnica de los equipos utilizados y seleccionados	44
Métodos de muestreo de material particulado en recintos cerrados.	44
Medición de partículas PM2.5 y PM10, por muestreo automático mediante dispositivos electrónicos.	46

Descripción técnica de los equipos a usar.....	47
Medidor de partículas- TEMTOP P200 – Elitech Technology	47
Parámetros de medición de PM2.5 y PM10.....	49
Termo-Anemómetro – AN100 – Extech Instruments Technology.....	52
Parámetros de medición de temperatura.	53
Higrómetro – B07X38XH99 – PEAKEEP.....	55
Parámetros de medición de humedad relativa	56
Resultados de las mediciones.....	57
Laboratorio de Microbiología.....	58
Sala de Preclínica Odontológica.	63
Oficina de Ingeniería Industrial.	68
Etapa 3. Implementación del control de material particulado en un recinto cerrado de la Universidad Antonio Nariño utilizando un filtro portátil.	74
Resultados de las mediciones después de la instalación del filtro.	79
Conclusiones.....	86
Recomendaciones	88
Lista de referencias	90
Anexos	97

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Características de partículas de tamaño entre 2.5 y 10 micras</i>	21
Tabla 2. <i>Marco Legal</i>	30
Tabla 3. <i>Variables</i>	33
Tabla 4. <i>Métodos de medición de la calidad del aire</i>	44
Tabla 5. <i>Punto de Corte ICA (Índice de Calidad del Aire) a nivel nacional</i>	50
Tabla 6. <i>Descripcion general del Índice de Calidad del Aire</i>	50
Tabla 7. <i>Requerimientos para la ubicacion de un sistema de vigilancia de Material Particulado</i>	51
Tabla 8. <i>Interpretación de los rangos del IC y sus síntomas</i>	55
Tabla 9. <i>Registro de mediciones en el laboratorio de microbiología</i>	59
Tabla 10. <i>Registro de mediciones en sala de preclínica odontológica</i>	64
Tabla 11. <i>Registro de mediciones en la oficina de Ingeniería Industrial</i>	69
Tabla 12. <i>Registro de mediciones en sala de preclinica odontologica con el filtro HEPA instalado</i>	80

Lista de Figuras

Ilustración 1. <i>comparacion de tamaño de las particulas de PM</i>	19
Ilustración 2. <i>sedimento de particulas de distinto diametro en el sistema respiratorio</i>	22
Ilustración 3. <i>mapa municipio de villavicencio</i>	29
Ilustración 4. <i>formato de diario de campo de coordinacion de ingenieria industrial</i>	38
Ilustración 5. <i>formato de diario de campo del laboratorio de microbiologia</i>	39
Ilustración 6. <i>formato de diario de campo de la sala de preclinica de odontologia</i>	40
Ilustración 7. <i>formato de caracterizacion de la oficina de ingenieria industrial</i>	41
Ilustración 8. <i>formato de caracterizacion del laboratorio de microbiologia</i>	42
Ilustración 9. <i>formato de caracterizacion de la sala de reclinica odontologica</i>	43
Ilustración 10. <i>principio optico de funcionamiento del medidor de particulas</i>	47
Ilustración 11. <i>ficha de caracterizacion del medidor de particulas Temtop P200</i>	49
Ilustración 12. <i>ficha de caracterizacion del termo-anemometro</i>	53
Ilustración 13. <i>rangos del indice de calor</i>	54
Ilustración 14. <i>ficha de caracterizacion del higrometro</i>	56
Ilustración 15. <i>nivel optimo de % de la humedad relativa en espacios interiores</i>	57
Ilustración 16. <i>variacion de temperatura en el laboratorio de microbiologia</i>	60
Ilustración 17. <i>variacion de la humedad relativa en el laboratorio de microbiologia</i>	61
Ilustración 18. <i>variacion de la concentracion de pm2.5 y 10 en el laboratorio de microbiologia</i>	62
Ilustración 19. <i>variacion de temperatura en la sala de preclinica odontologica</i>	65
Ilustración 20. <i>variacion de humedad relativa en la sala de preclinica odontologica</i>	66
Ilustración 21. <i>variacion de la concentracion de pm2.5 y 10 en la sala de preclinica</i>	67
Ilustración 22. <i>variacion de la temperatura en la oficina de ingenieria industrial</i>	70
Ilustración 23. <i>variacion de humedad relativa en la oficina de ingenieria industrial</i>	71
Ilustración 24. <i>variacion de la concentracion de pm2.5 y 10 en la oficina de ingenieria</i>	72
Ilustración 25. <i>ficha tecnica de la impresora Ender-3D</i>	75
Ilustración 26. <i>ficha tecnica del extractor de cocina 110v</i>	76
Ilustración 27. <i>ficha tecnica del filtro HEPA</i>	77
Ilustración 28. <i>diagrama de flujo de la elaboracion del filtro portatil HEPA</i>	78
Ilustración 29. <i>variacion de la temperatura en la sala de preclinica odontologica con el filtro</i> ..	81
Ilustración 30. <i>variacion de la humedad relativa en la sala de preclinica con el filtro</i>	82
Ilustración 31. <i>variacion de la concentracion de pm2.5 y 10 en la sala de preclinica</i>	84

Lista de Anexos

Anexo A.	<i>imagen del diseño de la tapa del filtro HEPA 13</i>	97
Anexo B.	<i>imagen del diseño del acople del filtro portatil HEPA 13</i>	97
Anexo C.	<i>imagen de la impresion de la tapa del filtro</i>	98
Anexo D.	<i>imagen de la impresion del acople del filtro porttil</i>	98
Anexo E.	<i>imagen del filtro portatil HEPA 13</i>	99

Introducción

La presente investigación se refiere al tema del control de material particulado en espacios cerrados a través de la utilización de un filtro portátil HEPA 13 que posibilita el aprendizaje de los métodos de estudio sobre la toma de muestras de material en PM10 y PM2.5 este material particulado es una compleja mezcla de partículas suspendidas en el ambiente, las cuales se diversifican en tamaño y estructura dependiendo de las fuentes de que sean emitidas, las partículas sólidas se presentan en un amplio rango de medidas, según el punto de la medicina y el cuidado de la salud humana, las que mayor preocupación generan son las partículas con diámetros menores a 10 micrómetros (PM10) ya que estas pueden ser inhaladas y acumuladas en el sistema respiratorio; dentro de ellas, también requieren especial atención las partículas menores a 2.5 micrómetros de diámetro (PM 2.5), por esta razón indispensable llevar un control de monitoreo para reducir la contaminación del medio ambiente para nuestras futuras generaciones esta actividad es esencial para la adquisición de nuevos conocimientos.

Este trabajo de investigación busca dar una posible solución a un grave problema que ha afectado la universidad Antonio Nariño, esta investigación se lleva a cabo en la oficina de coordinación de ingeniería industrial, los laboratorios de microbiología y preclínica de odontología.

El objetivo general que se planteó en el presente trabajo fue realizar el control de material particulado en recintos cerrados de la Universidad Antonio Nariño a través de la utilización de un filtro portátil para mejorar la calidad del Aire como lo establecen los estándares de calidad Ambiental.

Planteamiento del Problema

La calidad ambiental se define como la armonía de componentes térmicos, sonoros, luminosos y del aire que es respirado, el cual no debe suponer peligro alguno para la salud y ha de ser fresco y agradable, el ambiente interior de una vivienda o edificio no debe contener contaminantes en concentraciones superiores a las que puedan perjudicar la salud y causar malestar a sus ocupantes, actualmente las actividades de la vida diaria hacen que las personas pasen más del 80% de su tiempo en espacios interiores como oficinas, colegios, hospitales, guarderías, centros comerciales y viviendas entre otros; por ello, la calidad del aire que allí se respire es capaz de afectar la salud de sus habitantes. (Carazo Fernández, Fernández Alvarez, González-Barcalac, & Rodríguez Portal, 2013)

La calidad del aire es un derecho elemental para el bienestar del ser humano, no obstante, constituye una constante amenaza debido a que la emisión de diversos contaminantes atmosféricos en altas concentraciones es causante de cambios de las características morfológicas, físicas, químicas y termodinámicas del planeta tierra, lo cual ha afectado la población humana desde siempre, relacionada hasta con 6,5 millones de muertes en todo el mundo y 4,2 millones de muertes prematuras mundialmente por año; esta mortalidad es producida por la exposición a partículas de 10 micrones o menos, las cuales pueden ocasionar afectaciones cardiovasculares, respiratorias y cáncer, las cuales permanecen asociados a la alta exposición de este material particulado. (Organización Mundial de la Salud, 2018)

La contaminación del aire interior es el término usado para caracterizar la exposición a ciertas sustancias encontradas en viviendas, instituciones educativas, medios de

transporte y estaciones de metro, dentro de esas sustancias que contaminan, se encuentran los hongos, virus y bacterias, es decir patógenos, causantes de la gran mayoría de las infecciones, especialmente la de moda en la actualidad el **SARS-CoV-2**, la cual se produce en espacios interiores, la mayor parte por la aspiración de partículas en el aire que contienen el patógeno infectante, las mascarillas hacen un trabajo idóneo a la hora de evitar que el virus se prolifere por el ambiente, pero si una persona infectada está dentro de un edificio, es inapelable pensar que algunas partículas del virus se escapen por el aire. (Magnet, 2020)

La universidad Antonio Nariño sede de Villavicencio es un campus universitario que presenta espacios abiertos y cerrados, dentro de estos están las áreas de laboratorios (odontológicos, físicos, químicos y biológicos) y/o oficinas las cuales muchas de ellas se consideran espacios cerrados, donde la afluencia de estudiantes en época de no pandemia es alta, en dichas áreas no se conoce la calidad del aire ni las concentraciones de material particulado existente.

Descripción del Problema

La universidad Antonio Nariño, sede Villavicencio, está ubicada en el kilómetro uno, vereda la Cecilia, sobre la vía que de Villavicencio, conduce al municipio de Puerto López, cuenta con un total de 802 estudiantes entre los diversos programas académicos que ofrece como Ingeniería Industrial, Ingeniería Electrónica, Odontología, Comercio Internacional, Administración de empresas y Contaduría entre otros; tiene una infraestructura para el estudio de carreras de pregrado las cuales necesitan en su metodología educativa una formación teórico-práctica, que brinde a los alumnos la

posibilidad de aplicar todo su conocimiento teórico a través de actividades prácticas, como son los laboratorios en los cuales se desarrollan múltiples actividades que corresponden al aprendizaje de asignaturas asociadas a Química, Física y Biología, que requieren para su desarrollo, el manejo de sustancias e insumos que, al someterse a procesos operativos requeridos por la actividad experimental, generan residuos sólidos y líquidos, olores, humos y partículas suspendidas en el aire, lo cual es una mezcla de sólidos microscópicos y gotas líquidas, que en altas concentraciones afectan la calidad del aire interior y por ende al medio ambiente, siendo importante conocer las concentraciones de material particulado, especialmente en lo que respecta al PM10 y PM2.5 y para ello, utilizar mecanismos que permitan mejorar la calidad del aire.

Las partículas en suspensión, son los componentes principales de las brumas, humos y polvo en suspensión, los cuales suponen serios problemas de calidad para el aire, esta contaminación es conocida como material particulado y está hecho de múltiples contaminantes como ácidos (como los nitratos y sulfatos), amoníaco, cloruro sódico, insumos químicos orgánicos, metales, el suelo o partículas de polvo y alérgenos (como fragmentos de esporas de polen o moho) y agua, lo que se resume en una mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el ambiente. (Barraza Villarreal & Sánchez Quintero, 2019)

Las exposiciones a partículas bajo un corto y largo plazo se han relacionado con inconvenientes y afectaciones de salud, la magnitud de las partículas está directamente relacionado con su potencial dañino que pueda llegar a provocar problemas de salud, lo preocupante son las partículas de 10 micras de diámetro o menos, porque son las

partículas que ingresan por medio de la garganta y la nariz y entran en los pulmones, logrando inclusive entrar en el torrente sanguíneo y una vez inhaladas, estas partículas tienen la capacidad de afectar el corazón y los pulmones y provocar efectos graves para la salud. (Ministerio del Medio Ambiente, 2015)

Formulación del Problema

¿ Cómo mitigar el nivel de concentración de material particulado en los espacios cerrados de los laboratorios utilizando mecanismos físicos?

Justificación

En Colombia no se ha regulado sobre los contaminantes que se encuentran en el interior de las viviendas, instituciones educativas, edificios, hospitales, oficinas, locales de ocio, sobre el mejoramiento de la calidad del aire en ambientes de interiores no industriales, en Colombia, existe investigaciones, las cuales han mostrado que la utilización de mecanismos físicos como la utilización de un filtro portátil de HEPA, han permitido una eficiente recolección de partículas submicrométricas (Muñoz Calle, 2015)

Se poseen datos de precios por muertes y patologías asociadas a la degradación ambiental en Colombia, los cuales son superiores a los \$20,7 billones de pesos que equivalen al 2,6% del PIB del año 2015, y especialmente para el factor de contaminación del aire interior expresado en un estudio realizado por el Departamento Nacional de Planeación, muestra que se le atribuyen 2.286 muertes y 1,2 millones de casos de afecciones, dichos aspectos generan costos por mortalidad prematura y atención de enfermedades que sobrepasan los \$3 billones de pesos, siendo un valor semejante al 0,38% del PIB del año 2015 (DNP, 2017)

La ventilación y la purificación mediante filtrado del aire a niveles micrométricos, es un mecanismo que permite la captura los aerosoles donde viajan los virus y por ende el material particulado y uno de ellos es el filtro HEPA, está constituido por un lecho de microfibras de vidrio sintéticas, entre ellas la microfibra de boro silicato, ubicadas de manera aleatoria, de tal manera su diminuto diámetro de fibras y la alta densidad del medio filtrante no limita el transporte de las partículas a través del espacio comprendido entre las fibras, sino que altera la dirección en la que aire fluye, este se desplazará alrededor de las fibras, por lo cual no cambiará su dirección tan rápidamente como resultado de su inercia al impactar sobre las fibras, sino que se adherirá a ellas y una vez atrapadas, las partículas no volverán al flujo de aire, por lo que el filtro aumentará su eficiencia. (Rodriguez Martín, 2019)

Existen mecanismos físicos que se pueden mezclar con tecnologías aditivas, como lo es el caso del filtro HEPA, el cual puede ofrecer a los estudiantes y/o docentes un ambiente saludable al momento de cumplir con sus actividades diarias, además de protegerlos contra posibles afecciones, enfermedades, virus y bacterias de modo que se garantice una buena calidad de aire; los beneficiados directos de esta investigación serán primordialmente las personas que forman parte en su totalidad de la comunidad educativa de la universidad Antonio Nariño, se pretende con la utilización del filtro portátil HEPA, mejorar la calidad de aire en el sitio instalado; adicionalmente, este trabajo presenta un beneficio al ser un aporte bibliográfico de consulta innovador y en la utilidad práctica se ofrecerá una iniciativa de solución a la problemática de las condiciones del medio ambiente generadas por el material particulado en la universidad Antonio Nariño.

Objetivos

General

Realizar el control de material particulado en recintos cerrados de la Universidad Antonio Nariño a través de la utilización de un filtro portátil.

Específicos

- Caracterizar las áreas donde se realizarán las mediciones de calidad del aire en la universidad Antonio Nariño.
- Realizar una parametrización del material particulado, así como la descripción técnica de los equipos seleccionados y utilizados.
- Implementar el control de material particulado en un recinto cerrado de la Universidad Antonio Nariño utilizando un filtro portátil.

Marco Referencial

Antecedentes

(Alarcón V, 2017) Spatial study of the health risk index by inhalation of PM_{2.5} during the dry season in the metropolitan area of the Toluca Valley. El área metropolitana del Valle de Toluca, donde se están midiendo partículas menores a 2.5 micrómetros durante la estación seca. Para realizar el estudio se seleccionaron 4 sitios de muestreo considerando los códigos de referencia de la USA-EPA: San Mateo Atenco, Ceboruco, Nueva Oxtotitlán y San Cristóbal Huichochitlan, donde se encuentran las estaciones de monitoreo atmosférico de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de Toluca. y se colocaron dos colectores en los sitios de Zinacantepec y San Lorenzo Tepatlán, con un total de 6 estaciones de muestreo que permitió determinar PM 2.5.

(Arrieta Fuentes, 2016) Dispersión de material particulado (PM 10), con interrelación de factores meteorológicos y topográficos, debido a actividades minero-industriales realizadas por acción antrópica, donde la afectación de la calidad del aire generada por la proliferación de contaminantes atmosféricos, siendo objeto de análisis el material particulado menor a 10 micrómetros (PM10) con relación a los componentes meteorológicos y topográficos. Los escenarios analizados en el estudio requirieron tiempos de exposición diario y anual de PM10, para los cuales se logró la modelación con el aplicativo AERMOD View.

Segun (Baena Salazar, Jiménez, Zapata, & Ramírez Cardona, 2019) Artificial neural network applied for the forecast of critical PM2.5 events in the Aburrá Valley. En esta investigación, se ha desarrollado y puesto a prueba un modelo de Redes Neuronalesficiales (RNA) para predecir el nivel de concentración diaria del material particulado inferior a 2.5 micrómetros (PM2.5) en el Valle de Aburrá (Colombia), por medio de información suministrada por tres estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire del Área Metropolitana.

(Barrera Torres, 2018) Evaluación de la calidad del aire interior mediante indicadores ecológicos y sociales asociados a la inmisión de material particulado (PM10) en el área de madera del taller de diseño industrial, Universidad el Bosque, sede Usaquén, periodo 2018-2. Teniendo presente que el trabajo con maderas es causante de la generación de polvos de madera, los cuales poseen múltiples diámetros de partícula, considerados material particulado de tipo PM2,5 y PM10, se desarrolló por medio una encuesta de percepción dirigida a la comunidad estudiantil, de los programas de diseño industrial y artes plásticas, continuando con el indicador ecológico, se elaboró un sensor “low-cost”, para medir la concentración de PM10, a lo largo de dos semanas, comprendidas entre septiembre y octubre de 2018 de la forma más rigurosa posible a través de la calibración del sensor GPY con el sensor de calidad del aire de la Universidad, se concluyó que existe una relación entre los diferentes componentes de peligro a causa del trabajo con maderas y las molestias que aparecen en los estudiantes, ya que estos utilizan aproximadamente dos horas diarias el área de maderas del taller, donde alrededor del 10% de la población de muestra, no se ha efectuado exámenes médicos.

(Beleño, Quijano P, & Meléndez G, 2013). Actividad mutagénica y genotóxica del material particulado PM2.5 en Cúcuta, Colombia. Determinar la actividad mutagénica y genotóxica del material particulado PM2.5, captado cerca de una vía de alto flujo vehicular en Cúcuta, Colombia. Entre Enero -Julio de 2011, el PM2.5 fue monitoreado con un equipo Partisol 2025 Plus usando filtros de cuarzo Palmflex. En el ensayo mutagénico se usó la cepa TA 100 de Salmonella Typhimurium para diagnosticar el daño genotóxico, se usaron linfocitos de sangre periférica. Los resultados presentan actividad mutagénica en la cepa de Salmonella Typhimurium TA-100 y genotoxicidad en linfocitos humanos de sangre periférica, en las mediciones tomadas del material particulado PM2.5 de la ciudad de Cúcuta se encuentran compuestos que inducen mutaciones, así como compuestos que tienen la posibilidad de penetrar hasta la célula e inducir daño en su ADN, lo que puede representar un peligro en la aparición de patologías como por ejemplo el cáncer, presentes en la población expuesta.

(Carrión Esparza, 2020). Diseño de un sistema de filtración sustentable para disminuir el riesgo ambiental en la empresa Espatex. Se propone un diseño que consta de la caracterización del aire, el cual consiste implementar un no tejido utilizándolo como filtro para que no permita el paso de material particulado, desarrollado mediante el programa de diseño CAD 3D Solidwork 2019. Seguidamente se realizó el análisis de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos de la empresa. Posterior a la caracterización del aire en el área de producción, se obtuvo como resultado una mejora de la calidad del aire, permitiendo el cumplimiento de la normatividad.

(Casallas, Celis, Ferro, & al., 2020) Validación de alerta temprana PM 10 y PM 2.5 en Bogotá, Colombia, a través del software de modelado WRF-CHEM. Desde 2016, la calidad del aire en la ciudad de Bogotá se mide a través del Índice de Calidad del Aire de Bogotá (IBOCA) que funciona como un indicador de riesgo ambiental por contaminación atmosférica. Sin embargo, las herramientas tecnológicas disponibles en Bogotá no son suficientes para generar alertas tempranas por PM 10 y PM 2.5.

(Castiblanco Avendaño & Cañón Alfonso, 2019). Prototipo de bajo costo para monitoreo de calidad del aire en ambientes interiores. El presente Trabajo relaciona la contextualización, diseño y utilización de un primer ejemplar de costo reducido para el monitoreo de la calidad del aire en ambientes interiores. Por lo tanto, se relacionan los criterios técnicos que definen la calidad del aire en ambientes interiores y los mecanismos elegidos para medir las variables más importantes de calidad del aire en ambientes interiores, así como la arquitectura del sistema de monitorización y plataforma seleccionada para la transmisión de información y por último se evalúa el sistema de monitorización diseñado e implementado.

(Castillo Rodas, 2020). Sistema de bio-filtro con materiales orgánicos para restablecer la calidad del aire interior y Kennedy es una de las localidades más perjudicada por este fenómeno en Bogotá por la incidencia de sus fábricas y grandes zonas industriales. Actualmente, se encuentran algunos filtros en el mercado que buscan mejorar la calidad del aire, pero no cumplen con su objetivo dado que tienen precios muy elevados, contienen materiales dañinos para la salud humana y no son usado con responsabilidad social. Por este motivo el objetivo de este trabajo de investigación es desarrollar un

sistema de biofiltro económico y de fácil manejo en viviendas independientemente de su localización geográfica.

(Córdova Suárez & Gavilánez Barrionuevo, 2021) Estimación de la calidad del aire en ambientes interiores en laboratorios químicos de la Universidad Técnica de Ambato utilizando redes neuronales artificiales. Las mediciones se realizaron a 25 laboratorios con altos índices de salida de dióxido de carbono, se utilizó un equipo MX6 iBRID para la medición directa de monóxido de carbono y dióxido de carbono, el Extech HT30 para la medición de temperatura y humedad y para la medición de material particulado el contador de partículas portátil Aerocet 831. Este modelo podrá ser adaptado para el pronóstico de otros contaminantes del aire ya sean químicos o material particulado con buena precisión y de forma sencilla.

(Escobar Jiménez & Vivas Moreno, 2019) Evaluación De Las Concentraciones De Material Particulado PM10 Y PM2.5 En El Casco Urbano Del Municipio De Vives, Valle Del Cauca. Este estudio presenta una valoración de los niveles atmosféricos de material particulado de 10 micrómetros (PM 10) y 2,5 micrómetros (PM 2,5) supervisadas en cuatro ubicaciones del área urbana del municipio de Vives durante los meses correspondientes a mayo, junio y julio durante el año 2019. Los dispositivos utilizados en las mediciones fueron sensores ópticos Shinyei previamente calibrados contra equipos DAGMA, estación meteorológica Davis Vantage y software correspondiente. Las conclusiones expresaron que las concentraciones medias de PM 10 y PM 2,5 están por debajo del valor máximo permisible de acuerdo con la Resolución 601/2006.

Según (Gil, Cáceres Lillo, Quiñones Sepúlveda, & Adonis Parraguez, 2017) la Contaminación del aire en espacios exteriores e interiores en la ciudad de Temuco. Estudio preliminar efectuado en Temuco revela que el mal de la contaminación atmosférica en Chile no es exclusivo de la ciudad de Santiago. Los resultados de las mediciones mostraron una alarmante concentración de partículas que pueden ser inhaladas al interior de las viviendas, por otra parte, en el exterior se presentaron diariamente mediciones que en promedio superaron en 2,5 el rango de la norma con índices diarios, que en Santiago forzaría a declarar situación de emergencia.

(Isaza Domínguez, Hernández Alonso, Cuellar Guarnizo, Arango Carrillo, & Vargas Guativa, 2019) Monitoreo de material particulado PM10 y PM2.5 en la ciudad de Villavicencio. Actualmente está realizando muestreos de PM10 y PM2.5, en dos ubicaciones estratégicas; uno en la carretera vieja a Bogotá y el otro en la Universidad Cooperativa de Colombia. El monitor utilizado es "DustTrak DRX Aerosol Monitor 8533". Los resultados corresponden al monitoreo del mes de octubre de 2018 y se comparan con la normativa colombiana vigente y las variables atmosféricas como temperatura ambiente (TA), humedad relativa (RH) y radiación solar (RS). Se realizó un análisis correlacional.

(Jara Hernández & Piraquive Mórtoles, 2016). Determinación de la calidad de aire intramural en la clínica veterinaria, Universidad de La Salle. La siguiente exploración consistió en diagnosticar la calidad de aire intramuros por medio de la definición de bacterias a través de mediciones con el dispositivo MAS-100 además de los implementos, dispositivos, mesones, consultorios, salas de espera y quirófano de la Clínica Veterinaria

de la Universidad de La Salle antes y después del proceso de esterilización. Luego, se efectuó el reconocimiento bioquímico de los microorganismos aislados mediante VITEK®, tal análisis reveló la presencia de los grupos bacterianos Bacillus y Staphylococcus, siendo estos géneros los más comunes en las áreas sujetas a estudio; en cuanto a las especies se detectaron Bacillus circulans y Staphylococcus intermedius catalogadas como las bacterias de mayor infecciosidad. Con los resultados hallados se estableció la calidad del aire presente en la Clínica y se procedió a realizar las recomendaciones y cambios pertinentes a los procedimientos de asepsia y bioseguridad de la Clínica.

(Medina Ramírez, 2018) La calidad del aire en espacios interiores para la vivienda de interés social en la ciudad de Bogotá, D.C. El proceso de indagación hecho acerca de la calidad del aire en espacios interiores para la VIS llevó a la necesidad de establecer un recurso participativo que permita de una forma práctica y recursiva a los gestores, constructores, promotores y usuarios finales el conocimiento, detección, prevención y monitoreo de los múltiples agentes contaminantes que perjudican la calidad del aire interior en los espacios habitacionales para que alcancen una integralidad de confort y bienestar sostenible, debido a que al interior de la vivienda existen diversos grupos de contaminantes del aire que para detectarlos y medirlos se necesita de algunos métodos tediosos, técnicos y no muy precisos.

(Segura Contreras & Franco, 2015). Pedestrian exposure to air pollution on routes with heavy vehicular traffic. Este estudio determinó la contaminación del aire a la que están expuestos los transeúntes en los alrededores de tres vías con elevado tráfico vehicular en

la ciudad de Bogotá, para ello se usó el carbono elemental (BC), ya que es un compuesto identificado un agente vigilante de las emisiones provenientes de fuentes móviles, las concentraciones de BC fueron medidas de forma continua y en tiempo real con un Micro Aethalometro portátil Modelo AE51, donde se dio la necesidad de relacionar la variable calidad del aire al momento de diseñar infraestructura enfocada a medios de transporte no motorizados.

(Sosa, Porta, Colman Lerner, Banda noriega, & Massolo, 2017) Human health risk due to variations in PM₁₀-PM_{2.5} and associated PAHs levels. El presente estudio determinó los niveles de PM e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) asociados en el aire exterior, se identificó sus posibles fuentes de emisión y los riesgos para la salud en la ciudad de Tandil (Argentina). Las muestras de PM₁₀ y PM_{2.5} se recolectaron utilizando un muestreador de bajo volumen (MiniVol TAS) en tres áreas: centro de la ciudad, industrial y residencial, las cuales se determinaron mediante métodos gravimétricos y el contenido de HAP de prioridad 16 de la EPA de EE. UU y mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

(Trujillo & Caballero, 2019) Determinación de las concentraciones de metales pesados presentes en el material particulado PM₁₀ del municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander. La calidad del aire se vigila en el municipio de Cúcuta con el objetivo de observar los niveles de contaminación por material particulado (PM₁₀) en distintas áreas que llegarían ser influenciadas por fuentes como tráfico vehicular y actividades industriales, para ello se tienen tres estaciones de observación con dispositivos Hi-Vol. para PM₁₀ y se definieron los metales pesados existentes en las muestras de material

particulado PM10, usando el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica en el laboratorio de Control y Calidad de la Universidad de Pamplona, donde se determinaron trazas de Plomo, Zinc, Manganeso, Cobre y Cromo en los filtros de material particulado PM10, apareciendo el cobre como el que presentó las más elevada concentración, detectándose los valores máximos en la estación Panamericana, diferenciándose de la estación Cinera la cual presentó concentraciones inferiores.

(Vásquez Bedoya & Arroyavé Maya, 2019) el Valle de Aburrá ha presentado altos niveles de material particulado en el aire (MP) que exceden los rangos dispuestos por la Norma Colombiana de Calidad del Aire y por la Organización Mundial de la Salud (OMS), se elaboró una lista de las 100 especies arbóreas más frecuentes en Valle de Aburrá que sobresalen a la hora de supervisar el MP, a partir de sus atributos funcionales las cinco especies nativas con el mayor potencial de remoción, al encontrarse por arriba del promedio 17.8 en la clasificación se estimaron los planes de siembra enfocados a mejorar la calidad del aire al interior del Valle de Aburrá.

(Wasim Javed, Wexler Ghulam, Hamaad, Ahmad R, & M.A, 2015) Spatial, temporal and size distribution of particulate matter and its chemical constituents in Faisalabad, Pakistan. Se indagaron las alteraciones espaciales y temporales de aerosoles de material particulado (PM, por sus siglas en inglés) en Faisalabad, Pakistán, de junio de 2012 a abril de 2013 para identificar la estructuración de factores químicos y fracciones granulométricas en todas las temporadas del año. Se vigilaron cuatro fracciones de PM (partículas totales en suspensión [TSP, por sus siglas en inglés], PM₁₀, PM₄ y PM_{2.5}) en nueve estaciones de muestreo y de manera paralela se colectaron muestras de TSP en

filtros de fibra de vidrio usando un aparato de alto volumen para captación de muestras de aire.

Marco Teórico

Dentro de este marco se muestran algunas teorías, las cuales proporcionan bases fundamentales para el desarrollo eficiente de este trabajo, indicando una terminología que permita el fácil entendimiento de todos los temas expuestos en el mismo.

Descripción del contaminante

Actualmente existen una gran cantidad de contaminantes en la atmósfera, que han tenido un gran impacto sobre el medio ambiente y la salud humana, en este grupo de contaminantes se encuentran las partículas, según el autor (Sbarato, Sbarato & Ortega, 2007), son conocidas como partículas suspendidas, Aero partículas o material particulado, son expresiones usadas para dar nombre una mezcla de compuestos microscópicos o diminutos en forma líquida o sólida, procedentes de fuentes naturales y artificiales. Las partículas se pueden clasificar según (inecc.gob., 2016) de distintas formas de acuerdo con múltiples perspectivas; los más comunes se reseñan a continuación:

Según su origen

Esta corresponde a una clasificación básica del material particulado en la cual se subdividen en partículas primarias y secundarias.

Primarias: son aquellas que se despiden directamente en atmósfera por diversos tipos de fuentes, Como ejemplo, la combustión de carburantes fósiles, generados por el tráfico los cuales pueden producir diversas tipas de partículas por la liberación de materiales

inquemados (cenizas volátiles) y partículas finas compuestas por la concentración de materiales vaporizados por medio de la combustión, además de fuentes naturales como el polvo o polen.

Secundarias: Hace referencia a las que se forman a nivel atmosférico debido a distintas reacciones químicas resultantes de componentes gaseosos llamados precursores. Los principales gases precursores de las partículas son, el dióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los compuestos orgánicos volátiles (COV) y el amoníaco (NH₃), estos crean partículas de sulfatos y nitratos primordialmente, también partículas suspendidas secundarias orgánicas provenientes de la oxidación fotoquímica de los elementos orgánicos.

Según su tamaño.

El tamaño de las partículas puede clasificarse con una medida de diámetro aerodinámico, como un indicador de tamaño, esta clasificación permite determinar las técnicas de remoción en el aire, en superficies y el recorrido de las partículas al interior del sistema respiratorio y su impacto sobre la salud. (Agencia de Protección Ambiental en Español, 2018), en la ilustración 1 se observa la comparación de un cabello humano respecto al tamaño del tamaño del material particulado.

Ilustración 1.

Comparación de tamaño de las partículas de PM.



Nota: se observa la diferencia de tamaño entre las partículas de PM₁₀ y PM_{2.5} imagen tomada por la Agencia de Protección Ambiental en español

Contaminación atmosférica

Según el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), la contaminación atmosférica es la acumulación y condensación de fenómenos físicos o sustancias o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso en la atmósfera, causantes de factores adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la vitalidad humana, en Colombia y en todo el mundo han sido determinados como referencia de los problemas de contaminación atmosférica los niveles de emisión e inmisión del Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), del dióxido de azufre (SO₂), del dióxido de nitrógeno (NO₂), del ozono troposférico (O₃) y del monóxido de carbono (CO), también conocidos como contaminantes criterio.

Material Particulado

El material particulado está conformado por partículas sólidas, suspendidas y difundidas en el aire, el cual se ha caracterizado en términos de diámetro, ya que presenta tamaño y estructura cambiante; por ello se agrupa en partículas finas y gruesas. Las

partículas finas son aquellas que tienen un diámetro menor o igual a $2,5 \mu\text{m}$ (PM_{2.5}); y las partículas gruesas, cuyo diámetro oscila alrededor de las $10 \mu\text{m}$, (PM₁₀) (Sánchez, 2016).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), el material particulado es considerado uno de los contaminantes atmosféricos más dañinos en el mundo, siendo el sector maderero el causante de grandes alteraciones en el ambiente, al ser una de las actividades humanas que más genera este tipo de materia, ocasionando así el deterioro de la calidad del aire.

Las PM₁₀, se pueden definir como dichas partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, difundidas en la atmósfera, y cuyo diámetro oscila entre $2,5$ y $10 \mu\text{m}$, están compuestas primordialmente por elementos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados entre otros, y material orgánico relacionado a partículas de carbono (hollín) y se diferencian por tener un pH básico producido por la combustión no controlada de elementos varios.

Generalmente, la parte voluminosa de las PM₁₀ se compone en su mayoría de partículas primarias despedidas directamente a la atmósfera tanto por fenómenos naturales (conflagraciones forestales o erupciones volcánicas) como por las actividades antrópicas (actividades agrícolas o de construcción, re suspensión en de polvo, procesos industriales, etc.). (Valbuena Zambrano & Díaz Vallejo, 2019)

Características de las partículas

Estas partículas pueden ser removidas de la atmósfera por procesos como la sedimentación y la precipitación, dependiendo del tamaño de estas y de ciertos factores

termodinámicos, además, es importante tener en cuenta las siguientes características propias de las partículas que abarcan un tamaño entre 2.5 y 10 micras (Mejía y Páramo, 2011).

Tabla 1.

Características de partículas de tamaño entre 2.5 y 10 micras.

Característica	Descripción
Solubilidad	Muy insolubles
Vida promedio atmosférica	Minutos a horas
Proceso de Remoción	Precipitación en seco. Eliminación por gotas de agua
Distancia de recorrido	Desde menos de un kilómetro a decenas de kilómetros

Nota: se observa las características y la descripción de tamaño de partículas de pm 10 y pm 2.5 tomado por Mejía y Páramo, 2011

Contaminación del aire en interiores

En términos de contaminación del aire esta se divide en dos niveles: la contaminación del aire exterior que se da por fuentes fijas y móviles y contaminación del aire interior que se da en espacios cerrados; la EPA (Environmental Protection Agency) estima que las personas sufren el 72% de la exposición a los contaminantes químicos cuando están en espacios interiores; sin embargo, algunos de ellos suelen proceder del exterior, los cuales pueden generar grandes riesgos en términos de vulnerabilidad en la salud.

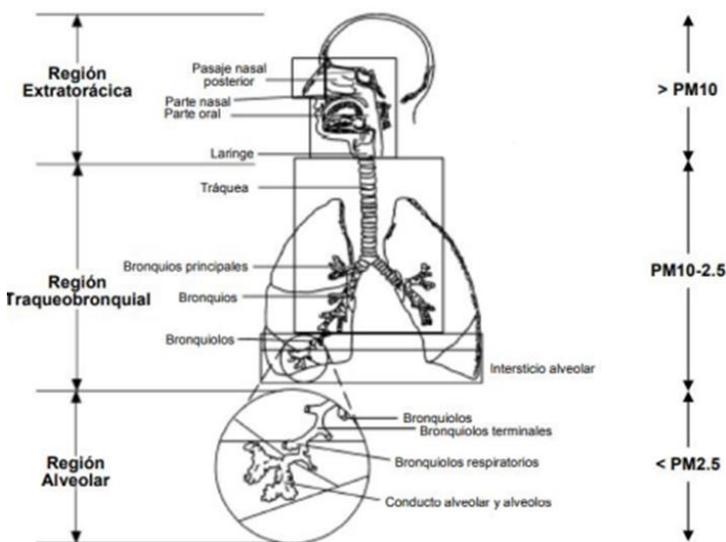
Afectaciones en la salud

Con base en la Organización Mundial de la Salud (OMS), el material particulado está relacionado al aumento de mortandad y morbilidad. Además, la exposición repetida se ha visto vinculada a serios inconvenientes en la salud humana (Vivar Martínez, 2014), de

hecho, las más difíciles de diagnosticar y curar. Estas enfermedades se presentan mayoritariamente debido a la penetración y suspensión de éstas en diferentes tramos del sistema respiratorio como se ve en la Figura 2, y la respuesta biológica a los materiales sedimentados (Contreras Carrillo,2012).

Ilustración 2.

Sedimento de partículas de distinto diámetro en el sistema respiratorio.



Nota: se observan partículas de distinto diámetro dentro del sistema respiratorio tomado por EPA, 2013

Las partículas pequeñas se depositan sin esfuerzo en los pulmones, como las partículas de diámetro inferior a $2,5 \mu\text{m}$, incluyendo las nanopartículas, que son capaces de acceder internamente a los alvéolos pulmonares (Regalado Contreras, 2015). Cuando las partículas decrecen en tamaño ($<0,01 \mu\text{m}$) actúan de manera semejante a un gas de alta volatilidad y se dispersan hacia las paredes de la vía aérea decantándose (Harber et al., 1996).

Otro criterio que afecta la sedimentación de partículas higroscópicas, es el ambiente húmedo y tibio del tracto respiratorio, que facilita una modificación en su diámetro, así como su suspensión de manera inicial para aerosoles higroscópicos comparados con los aerosoles no hidroscópicos (Harber et al., 1996), la decantación total en el pulmón del ser humano es aproximadamente del 60% para partículas con tamaño $<0.1 \mu\text{m}$, decreciendo hasta a un 20% para el diámetro $0.1 - 1 \mu\text{m}$ e y aumentando a un 80% a partículas de $5 \mu\text{m}$.

La sedimentación nasal de partículas en el rango de $1-3 \mu\text{m}$ ha sido estimada aproximadamente en un 20% para adultos en quietud, aumentando entre 30 y 40% durante el ejercicio, y con valores menores entre 10 – 20% en niños con edades entre los 5- 15 años (Harber et al.,1996).

Enfermedades alérgicas asociadas con la contaminación interior del aire

Los alérgenos del aire interior se han relacionado con las siguientes manifestaciones alérgicas según (Junta de Andalucía; Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía, 2016):

- Rinitis con síntomas de fiebre del heno: congestión nasal, filtración nasal, estornudos, conjuntivitis y secreción lagrimal.
- Asma con problemas respiratorios, estrechamiento de tórax y falta de aliento.
- Alveolitis alérgica extrínseca con brotes crónicos de fiebre, tos, agarrotamiento del pecho e infiltraciones en los pulmones o desarrollo crónico de tos, falta de aliento.
- Fiebre, escalofríos, aflicción muscular y malestar, pero sin efectos respiratorios notables.

Sensores de material particulado

Son una herramienta que tiene como función principal detectar el material particulado. Estos sensores permiten realizar mediciones de la composición de las partículas en suspensión inhalables. Son elementos electrónicos que, con la sola presencia del elemento a detectar, varían la señal de salida. No hace falta que hagan contacto físico con dicho elemento.

Su elección depende del material del objeto a detectar, el entorno y el ambiente donde van a ser instalados. Dichos sensores se pueden dividir en diferentes tipos. Dentro de los más usuales encontramos los siguientes: inductivos, capacitivos, ópticos, magnéticos y ultrasónicos. (Barrera Torres, 2018)

Filtro HEPA

El filtro de aire HEPA (del inglés "High Efficiency Particle Arresting", o "recogedor de partículas de alta eficiencia") puede eliminar casi todo tipo de partículas nocivas, incluyendo las esporas generadas por hongos, el polvo, los ácaros del polvo, la caspa de mascotas y otros alérgenos irritantes en el aire. Junto con otros procedimientos para disminuir los alérgenos, como limpiar el polvo frecuentemente, la utilización del sistema de filtro HEPA puede ser una ayuda eficaz para la vigilancia del número de alérgenos circundantes en el aire. Es posible hallar los filtros HEPA en la mayoría de los renovadores de aire, que generalmente son pequeños y portables. (Muñoz Calle, 2015)

Los filtros portátiles se definen como una caja con un ventilador que extrae aire por medio de éste filtro y luego, lo expide completamente limpio al exterior de la estancia en la que se esté ubicado, se encuentra formado por una malla de fibras posicionadas

arbitrariamente, que por lo general son capas de celulosa, fibra sintética o fibras de vidrio y se ubican simulando un acordeón, ya que de esta manera poseen mayor capacidad de captar las partículas, y suprimir rápidamente los patógenos de más de 0,3 micrómetros, mediante los mecanismos de choque e interrupción, y también las partículas más pequeñas de ese tamaño, por medio de difusión. (Rodríguez Martín, 2019)

Qué significa la numeración de los filtros de alta eficacia

De acuerdo con lo anteriormente descrito, los filtros son más o menos eficaces. De la siguiente manera:

Los filtros HEPA 10 están constituidos para poder retener más de un 85% de las partículas con un tamaño superior a 0,3 micrómetros, lo cual quiere decir que de cada 100.000 partículas, capta más de 85.000.

Además, los HEPA 11, captan alrededor de un 95% (de cada 100.000, más de 95.000).

Por su lado, los HEPA 12 atrapan cerca de un 99,5% (de cada 100.000, más de 99.500).

Los H13 retienen casi un 99,95% (sólo permiten el paso a 50 de cada 100.000) y,

finalmente, los H14, atrapan más de un 99,995% (sólo permiten ser atravesados por 5 de cada 100.000). (Trusens, 2020)

Los filtros se ordenan según la efectividad en el atrapado de partículas, en cuanto a los los filtros HEPA y ULPA, se calcula también el porcentaje de penetración de las partículas; para determinar la penetración, se cuantifican sus valores en función a seis tamaños diferentes de partículas. Sin embargo no es posible con partículas cualesquiera, sino solamente con las llamadas MP (Rodríguez Martín, 2019)

¿Cómo funcionan los filtros HEPA?

Según (Rodríguez Martín, 2019), estos filtros con capaces de atrapar partículas de diferentes tamaños llegando incluso a impedir el paso de partículas inferiores a 0,3 micras, cada una de estas las atrapa de una forma diferente:

Por impacto: solo las partículas más grandes (ciertos tipos de polvo, moho y polen) chocan directamente contra la fibra quedando atrapada contra ella.

Tamizado: el aire transporta las partículas entre dos fibras más pequeñas que el tamaño de la propia partícula, quedando atrapada en el filtro.

Intercepción: debido a la inercia las partículas continúan su trayectoria quedando adheridas a los lados de las fibras.

Difusión: las partículas más pequeñas se mueven más enérgicamente que las grandes por lo que tienden a chocar y pegarse a las fibras. De esta forma fibras inferiores a 0,1 micras quedan atrapadas.

Marco Conceptual

Los siguientes términos corresponden a aquellos que son relevantes para el desarrollo del presente proyecto

Calidad del aire interior:

El significado de calidad del aire varía, y es frecuentemente sinónimo de pureza microbiana o ausencia de particular microbianas en el aire.

Concentración de contaminantes:

Es la proporción de contaminante por unidades volumetricas. La concentración de los múltiples agentes contaminantes en la atmósfera se representa normalmente en dos clases de unidades: Unidades volumen/volumen: cm^3/m^3 (ppm) o mm^3/m^3 (ppb), Unidades de masa/volumen: mg/m^3 o $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Es necesario tener en cuenta que para transformar ciertas unidades en otras es imprescindible optar a la ecuación de estado de los gases ideales por lo que será necesario tener en cuenta no solo el peso molecular del contaminante determinado, sino también la presión y la temperatura bajo las cuales se han realizado las mediciones. (Orozco, Pérez, Gonzales, & Rodríguez, 2003)

Contaminación:

La contaminación es la introducción de cualquier tipo de sustancia o energía que atentarán contra normal desempeño y armonía que ostentaba el medio inicialmente, ocasionando también un mal casi irreversible. (Ministerio del Interior, 2015)

Contaminación del aire:

La contaminación del aire es la variación dañina del estado normal de un medio como resultado de la introducción de un agente enteramente externo a dicho medio (contaminante), ocasionando inestabilidad, desorden, afectación o malestar en un ecosistema, en el medio físico o en un ser vivo, la contaminación del aire principalmente se relaciona a los contaminantes producidos por las ocupaciones humanas (contaminantes antropogénicos). (González, 2009).

Fuentes móviles:

Las fuentes móviles son las que en su mayoría contaminan las zonas urbanas, éstas están integradas por los vehículos, los aviones, los barcos y los ferrocarriles, es decir los medios de transporte motorizados por combustión. (Bravo & Sosa, 2010).

PM 10:

Serie de partículas gruesas o las llamadas partículas inhalables, las cuales tienen un diámetro de 10 micrómetros, están constituidas por materiales líquidos y sólido con una diversa composición y tamaño, son generadas de fuentes fijas y móviles de manera natural o antropogénica. Por otra parte, estas partículas se encuentran asociadas a procesos de combustión por uso de diésel, industrias de fundición, pinturas, cerámica y generación de energía (Canales, Quintero, Castro, y García, 2014).

PM 2.5:

Son partículas con un diámetro de 2.5 micrómetros, tienen un tamaño menor al grosor de un cabello humano, lo que las caracteriza como una de las partículas más pequeñas en el aire y una de las más peligrosas para la salud pública. Son generadas por vehículos,

fábricas, quema de madera, entre otras actividades y pueden causar la reducción de la capacidad pulmonar, agravar los ataques de asma, muerte prematura de personas con problemas pulmonares e irritación de las vías respiratorias (EPA, 2017).

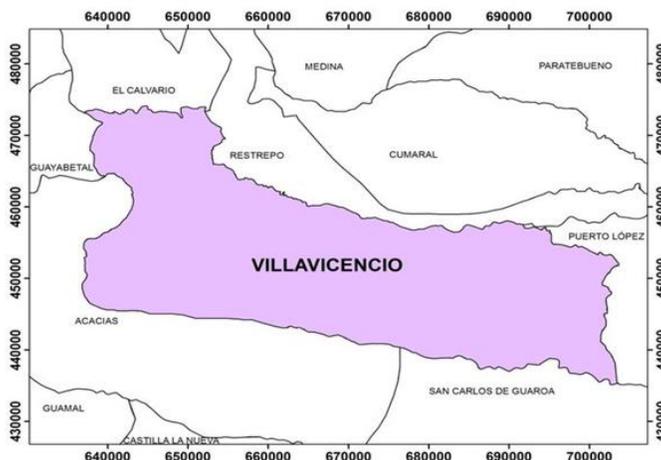
Tecnologías de fabricación digital aditivas:

Son un conjunto de tecnologías que permiten la materialización de un objeto, modelo determinado, fundamentadas en un proceso de adición de capas de un material en específico, las cuales se van adhiriendo una tras de otra, hasta obtener la representación física que corresponda al diseño de un documento CAD 3D, elaborado y enviado previamente desde una computadora. (Torreblanca Díaz, 2016)

Marco Geográfico

Ilustración 3.

Mapa municipio de Villavicencio.



Nota: se observa la localización de la ciudad de Villavicencio donde se encuentra la universidad Antonio Nariño imagen tomada por IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi

El proyecto se desarrolló en la Vereda la Cecilia, donde se encuentra la universidad Antonio Nariño, la cual está ubicada a un kilómetro de la vía principal que conduce del municipio de Villavicencio al municipio de Puerto López, es una sede campestre que cuenta con una infraestructura acorde a las exigencias de la región, organizada mediante bloques, cuenta con un edificio principal de cinco pisos donde funcionan el área administrativa, la biblioteca y la mayor parte de las aulas de clase, frente a este edificio se encuentra un bloque con oficinas de dos programas académicos como Ingeniería industrial y Comercio exterior, en este también se encuentran los laboratorios de física, química y microbiología, junto a este, existe otro bloque en cual se ubican las salas de preclínica y clínica odontológica, además de algunas aulas de clase especializadas para el desarrollo de las actividades académicas previstas.

Marco Legal

A continuación, se detallan y describen las diferentes normas legales nacionales e internacionales que son relevantes para el desarrollo del proyecto. En primer lugar, se pueden observar las normas nacionales en cuanto a la calidad del aire.

Tabla 2.

Marco Legal.

Tipo	Número y fecha	Nombre y entidad que la expide	Artículo	Impacto en el proyecto
	Constitución Política de Colombia de 1991.	Congreso de la República	79	Todas las personas tienen derecho a gozar de un medio ambiente sano (Const., 1991, art. 17).
	Decreto 2811	Código Nacional	75	Se dictan las disposiciones para

de 1974	de los Recursos Naturales Renovables y Protección del Medio Ambiente. Presidencia de la República		prevenir la contaminación atmosférica en cuanto a la calidad del aire (Secretaría General del Senado, 1974).
Ley 9 de 1979.	Dicta las medidas sanitarias que son indispensables en el marco de la salud pública del país. Congreso de la República	Título I. De las emisiones atmosféricas. Art. 41 y Art. 42	Art. 41 - El Ministerio de Salud fijará las normas sobre calidad del aire. Art. 42 - El Ministerio de Salud fijará las normas de emisión de sustancias contaminantes
Ley 99 de 1993. Se crea el Ministerio de Medio Ambiente y el Sistema Nacional Ambiental (SINA).	Se crea el Ministerio de Medio Ambiente y el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Congreso de la República	Art 5, 31	Art. 5 - Establece las funciones y responsabilidades del Ministerio del Medio Ambiente entre ellas formular la política nacional en relación con el medio ambiente. Art. 31 - Delega las funciones de las Corporaciones Autónomas Regionales como ejercer las funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental del aire y demás recursos
Resolución 610 de 2010.	Se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia. Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial	Art 10	Se declaran los niveles de prevención, alerta y emergencia por contaminación del aire para PM10, en un tiempo de exposición de 24 horas.

Resolución 2154 de 2010.	Se ajusta el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial	Reglamenta y establece todo lo necesario para implementar un sistema de monitoreo y seguimiento de la calidad del aire.
Resolución 2254 de 2017.	Se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Art 2 Se establecen los niveles máximos permisibles de material particulado en un período anual y de 24 horas, además brinda los valores ICA (índice de calidad ambiental)

Nota: se observan todos los artículos y resoluciones del marco legal en Colombia para el control de material particulado

Diseño Metodológico

Es una investigación descriptiva porque busca especificar las propiedades, características y cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis, es decir en la recolección de la información de tal manera que se toman datos del problema que se investiga, se miden y evalúan para describir una situación, como sucede en el proyecto donde se realizó la construcción de un filtro HEPA con acoples realizados en tecnología aditiva y se mostró el paso a paso del mismo, así como su efectividad en el control de partículas MP (Hernández Ramírez ,2010).

El enfoque en el cual se desarrolló el presente trabajo es de tipo cuantitativo por la toma de datos para analizar la variación o no de dichos datos, lo cual permitió mostrar la utilidad del filtro en el control del material particulado y la retención de microorganismos (Fidias G. Arias, 2012).

Variables de Medición

Dentro de las variables seleccionadas para la realización de esta investigación, se encuentra en su mayoría variables de tipo cuantitativo

Tabla 3.

Variables.

Nombre	Clasificación	Tipo	Unidad de medida	Descripción
Temperatura	Independiente	Cuantitativa Continua	C°	Grado o nivel térmico de un cuerpo o de la atmosfera

Nombre	Clasificación	Tipo	Unidad de medida	Descripción
Humedad	Dependiente	Cuantitativa Continua	% HR	Cantidad de agua o vapor de agua que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo o en el aire
Concentración de partículas	Dependiente	Cuantitativa continua	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cantidad total de partículas suspendidas en el aire ambiente en un espacio determinado.

Nota: se observan las variables del proyecto de investigación.

Recolección y Análisis de Datos

Técnicas para la recolección de información y análisis de resultados

Para el registro de información recolectada para el correcto desarrollo del presente proyecto, se utilizaron diferentes herramientas y métodos de medida, los cuales se obtuvieron de otras investigaciones similares a la propuesta en este proyecto, estas se reflejaron en las siguientes tres etapas consideradas para llevar a cabo la investigación:

Etapa 1. Caracterización de las áreas donde se realizarán las mediciones de calidad del aire en la universidad Antonio Nariño.

Se identificaron los recintos cerrados de la universidad que fueron objeto de estudio durante el proyecto y la información se registró a través de un diario de campo, donde se complementó con registro fotográfico; posteriormente se realizó una descripción de los recintos mediante fichas de caracterización, en las que se expresaron datos importantes del área.

Etapa 2. Realización de una parametrización del material particulado, así como la descripción técnica de los equipos utilizados y seleccionados.

Para contextualizar esta etapa, se describieron los diferentes métodos de muestreo de material particulado en recintos cerrado o interiores que son utilizados en la actualidad y se sintetizaron en una tabla para luego seleccionar con sustentos teóricos un único método que tuvo afinidad con el proyecto, posteriormente se realizó la descripción técnica del equipo utilizado y los parámetros seleccionados que se midieron, explicando cada uno de ellos.

Las mediciones de calidad de aire se realizaron en cuanto a PM 10 y PM 2,5, así mismo se tomaron otros parámetros como temperatura y humedad relativa en dichos recintos antes de la instalación del filtro portátil y luego después de instalado, durante 15 días consecutivos, los resultados se mostraron en gráficos de dispersión.

Etapa 3. Implementación del control de material particulado en un recinto cerrado de la Universidad Antonio Nariño utilizando un filtro portátil.

Se realizó la descripción de los componentes utilizados para la construcción del filtro, teniendo en cuenta los acoples necesarios elaborados con tecnología aditiva e impresora 3D para la adecuación del filtro HEPA, caracterizándolos por medio de fichas técnicas, adicionalmente se elaboró un diagrama de flujo donde se muestra paso a paso la construcción del filtro, por último, se colocó en funcionamiento el filtro portátil en el sitio seleccionado para poder medir su efectividad

Desarrollo del Proyecto

Etapa 1. Caracterización de las áreas donde se realizarán las mediciones de calidad del aire en la universidad Antonio Nariño.

Para el desarrollo de esta actividad, se realizó un recorrido guiado al campus donde se visitaron todas las áreas cerradas de la universidad, comprendidas en aulas, laboratorios, salas, auditorios y oficinas, de las cuales se seleccionaron algunas de ellas, destacándose específicamente el laboratorio de microbiología, el laboratorio de preclínica odontología y la oficina administrativa de ingeniería industrial, ya que fueron los espacios que presentaron actividad académica y administrativa casi ininterrumpida a pesar de la poca carga personal debido a la emergencia sanitaria originada por la pandemia del COVID 19. Mediante un formato de diario de campo se registraron los datos de hora de observación, la actividad del recinto cerrado con su correspondiente descripción y el estado actual de los recintos seleccionados para ser objeto de estudio.

El primer formato de diario de campo corresponde a la oficina de la facultad de ingeniería industrial de la universidad Antonio Nariño sede Villavicencio, esta área se dedica a la atención a estudiantes, docencia en algunos casos, sala de profesores, cuenta con internet tanto para estudiantes y docentes, la información recolectada se observa en la siguiente figura.

Ilustración 4.

Formato de diario de campo de la Oficina de Ingeniería Industrial

	FORMATO DIARIO DE CAMPO DE LA OFICINA DE COORDINACION DE INGENIERIA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO.
Responsables=cristian alejandro alarcon hernandez,juan sebastian poveda guarin	
Diario de campo: 01	Fecha: 2/03/2021
Hora de inicio de observacion: 10:00 am	Hora de finalizacion: 1:00 pm
Lugar: universidad antonio nariño sede villavicencio	
Recursos tecnologicos: computador en la oficina e internet en la institucion	
Recurso humano: capacidad de 15 personas contando con profesores y estudiantes en época de clases y en pandemia 5 personas máximo según protocolos de seguridad de la Universidad	
Actividad= Coordinación del Programa Ingeniería Industrial y sala de docentes con atención a estudiantes	
Objetivo: observación del área de trabajo.	
Descripción.	
Haciendo el análisis de la oficina de coordinación de Ingeniería Industrial es un área confinada clase b y de tercera categoría,teniendo en cuenta la clasificación de recintos	
Conclusion: Según los datos registrados es un área en óptimas condiciones tanto para estudiantes como para docentes, de acuerdo a los equipos utilizados	

Nota: área en la que se realiza un estudio de diario de campo en el que se determina las características más importantes de la oficina de coordinación industrial

Por otra parte, el área del laboratorio de microbiología de la universidad Antonio Nariño, está dedicada al estudio de microorganismos, donde se definen, caracterizan y se determinan sus hábitos de vida, esta aula tiene capacidad de 20 a 25 personas contando con profesor y estudiantes y los correspondientes materiales de laboratorio, es un área con todas las condiciones de seguridad para el estudio óptimo de sus estudiantes, la información recolectada se observa a continuación:

Ilustración 5.

Formato de diario de campo del Laboratorio de Microbiología

	FORMATO DIARIO DE CAMPO DEL LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA DE LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
responsables=cristian alejandro alarcon hernandez,juan sebastian poveda guarin	
diario de campo: 01	fecha: 3/03/2021
hora de inicio de observacion: 10:00 a.m	hora de finalizacion: 1:00 pm
lugar: universidad antonio nariño sede villavicencio	
recursos tecnologicos: centrifugadora y microscopios altamente calificados.	
recurso humano: capacidad de 20 a 25 personas contando con profesores y estudiantes en epoca de clases y en pandemia no se ha habilitado sino para dos prácticas por semestre	
actividad=su objetivo es realizar estudio de microorganismos y su importancia, se determina que tipos de microorganismos estan presentes en las diferentes muestras observadas, con el fin de establecer las precauciones o medidas de prevencion necesarias para evitar contaminaciones y tratar de no tener datos erroneos en las muestras a realizar.	
objetivo: observación del area de trabajo.	
descripción.	
haciendo el analisis del laboratorio de microbiologia de la universidad Antonio Nariño, es un area confinada clase c y de segunda categoria teniendo en cuenta la clasificaciòn de recintos.	
conclusion: Según los datos registrados es un área en optimas condiciones tanto para estudiantes como para docentes, de acuerdo a los equipos utilizados	

Nota: area en la que se realiza un estudio de diario de campo en el que se determina las características mas importantes del laboratorio de microbiologia de la universidad antonio nariño.

En cuanto al área del laboratorio de preclínica de odontología de la universidad Antonio Nariño, es un espacio adecuado para los estudiantes de odontología donde tienen como finalidad realizar sus prácticas aplicando los conocimientos adquiridos dentro de su proceso de formación para fortalecer las destrezas y habilidades en el desempeño como futuros profesionales en el área de la salud respetando la ética y la moral de los pacientes que acuden a ellos. Se hace el análisis del área de la zona que se está trabajando y se demostró que es un área confinada, la información recolectada se expresa en la siguiente ilustración.

Ilustración 6.

Formato de diario de campo de la sala de Preclínica Odontológica.

	<p>FORMATO DIARIO DE CAMPO DEL LABORATORIO DE PRECLINICA DE ODONTOLOGIA DE LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</p>
<p>responsables=cristian alejandro alarcon hernandez,juan sebastian poveda guarin</p>	
<p>diario de campo: 01</p>	<p>fecha: 4/03/2021</p>
<p>hora de inicio de observacion: 10:00 a.m.</p>	<p>hora de finalizacion: 1:00 pm</p>
<p>lugar: universidad Antonio Nariño sede villavicencio</p>	
<p>recursos tecnologicos: modelos de estudio o tipodontos</p>	
<p>recurso humano: capacidad de 15 a 18 personas contando con profesores y estudiantes en epoca de clases y en pandemia su capacidad es de 7 personas maximo según protocolos de seguridad de la universidad</p>	
<p>actividad=espacio adecuado para los estudiantes de odontologia donde realizan practicas aplicando los conocimientos adquiridos dentro de su proceso de formacion para fortalecer las destrezas y habilidades en el desempeño como futuros profesionales en el area de la salud respetando la etica y la moral de los pacientes que acudan a ellos.</p>	
<p>objetivo: observación del area de trabajo.</p>	
<p>Descripcion.</p>	
<p>Haciendo el analisis de la oficina de coordinacion de ingenieria industrial es un area confinada clase c y de segunda categoria,teniendo en cuenta la clasificación de recintos</p>	
<p>conclusion: Según los datos registrados es un área en optimas condiciones tanto para estudiantes como para docentes, de acuerdo a los equipos utilizados</p>	

Nota: area en la que se realiza un estudio de diario de campo en el que se determina las características mas importantes del laboratorio de preclinica de odontologia de la universidad antonio nariño.

Para la caracterización de las áreas fue necesario el diseño de un formato que permitiera recolectar y registrar información del espacio seleccionado, con el cual se identificaron los datos más relevantes de las zonas de estudio en la universidad Antonio Nariño(laboratorio de preclínica de odontología, laboratorio de microbiología y la oficina de coordinación de ingeniería industrial), toda la información que se está presentando en los formatos de caracterización fue recopilada mediante visitas a las instalaciones de la universidad Antonio Nariño sede de Villavicencio meta, donde a través de la observación directa, la utilización de la herramienta previamente creada y la ayuda del registro fotográfico, fue posible la caracterización correspondiente a las áreas descritas anteriormente, como se observa en las ilustraciones 7, 8 y 9.

Posteriormente, se caracterizaron cada uno de los tres espacios mediante formatos previamente diseñados, en los cuales se incluyeron datos importantes como el área total de cada uno de ellos, así como la actividad principal a la que es destinada y el número de usuarios antes y después de la pandemia generada por el COVID-19

Ilustración 7.

Formato de caracterización de la oficina de Ingeniería Industrial.

FORMATO DE CARACTERIZACION	
 DATOS DE IDENTIFICACION DE LA OFICINA DE COORDINACION DE INGENIERIA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO	
AREA(A,A)	7,85 metros, 5,85 metros, 3 metros
JORNADA Y HORARIOS	de 7AM a 10PM de lunes a viernes y de 7AM a 5PM los sabados
NUMERO DE USUARIOS POST PANDEMIA	cerca de 15 personas
NUMERO DE USUARIOS PRE PANDEMIA	cerca de 7 personas
FECHA DE OBSERVACION	del 2 de marzo al 23 de marzo
TIPO DE LUZ	natural y artificial
ACTIVIDAD	este espacio esta dedicado a la docencia de profesores y su salon de preparacion de clase ademas de la coordinacion donde se hace el asesoramiento y atencion a estudiantes
REGISTRO FOTOGRAFICO EXTERIOR	
REGISTRO FOTOGRAFICO INTERIOR	

Nota: se determinan las características más importantes en las áreas de estudio para el formato de caracterización de la oficina de ingeniería industrial.

Mediante el registro fotográfico se pudo identificar la oficina de ingeniería industrial, como un espacio totalmente cerrado, en el cual se realizan actividades netamente administrativas y académicas, exceptuando el desarrollo de clases, así mismo se puede apreciar que esta sala no almacena en su interior posibles sustancias y/o reactivos que

puedan generar algún tipo de contaminación que pueda ser dañina para la salud humana, adicionalmente cuenta con mobiliario de oficina en óptimas condiciones.

Ilustración 8.

Formato de caracterización del Laboratorio de Microbiología

FORMATO DE CARACTERIZACION	
 DATOS DE IDENTIFICACION DEL LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA DE LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO	
AREA(LA,S)	7.72 metros, 5.69 metros, 3 metros.
JORNADA Y HORARIOS	de 7AM a 10PM de lunes a viernes y de 7AM a 5PM los sabados
NUMERO DE USUARIOS POST PANDEMIA	cerca de 15 personas
NUMERO DE USUARIOS PRE PANDEMIA	cerca de 7 a 10 personas
FECHA DE OBSERVACION	del 2 de marzo al 23 de marzo
TIPO DE LUZ	natural y artificial
ACTIVIDAD	su objetivo es realizar estudio de microorganismos y su importancia, se determina que tipos de microorganismos estan presentes en las diferentes muestras observadas, con el fin de establecer las precauciones o medidas de prevencion necesarias para evitar contaminaciones y tratar de no tener datos erroneos en las muestras a realizar.
REGISTRO FOTOGRAFICO EXTERIOR	
REGISTRO FOTOGRAFICO INTERIOR	

Nota: se determinan las características más importantes en las áreas de estudio para el formato de caracterización del laboratorio de microbiología.

Por otra parte, el laboratorio de microbiología, que también se cataloga como un área cerrada, almacena en gran medida materiales e insumos que podrían generar contaminación que resulte dañina para el ser humano, adicionalmente cuenta con un sistema de recirculación de aire poco eficiente y obsoleto, su equipamiento está en su mayoría compuesto por mesones de cemento recubiertos de resina especial para la seguridad de los ocupantes y el correcto desarrollo de las actividades.

Ilustración 9.

Formato de caracterización de la sala de Preclínica Odontológica.

FORMATO DE CARACTERIZACION	
	DATOS DE IDENTIFICACION DEL LABORATORIO DE PRECLINICA DE ODONTOLOGIA DE LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
AREA(L,A,A)	6,29 metros,5,66 metros,2,54 metros
JORNADA Y HORARIOS	de 7AM a 5PM de lunes a viernes y de 7AM a 3PM los dias sabados
NUMERO DE USUARIOS POST PANDEMIA	cerca de 15 personas
NUMERO DE USUARIOS PRE PANDEMIA	cerca de 7 a 10 personas
FECHA DE OBSERVACION	del 2 de marzo al 23 de marzo
TIPO DE LUZ	natural y artificial
ACTIVIDAD	espacio adecuado para los estudiantes de odontologia donde ellos tienen como finalidad realizar sus practicas aplicando los conocimientos adquiridos dentro de su proceso de formacion para fortalecer las destrezas y habilidades en el desempeño como futuros profesionales en el area de la salud respetando la etica y la moral de los pacientes que acuden a ellos.
REGISTRO FOTOGRAFICO EXTERIOR	
REGISTRO FOTOGRAFICO INTERIOR	

Nota: se determinan las características más importantes en las áreas de estudio para el formato de caracterización de la sala de preclínica de odontología de la universidad Antonio Nariño.

Finalmente, el laboratorio de preclínica odontología también es un área cerrada, este cuenta con un sistema de ventilación mucho más actual del cual depende completamente, debido a que es un área relativamente nueva, en ella no se almacenan insumos y materiales que resulten contaminantes, pero si se desarrollan actividades que requieren en la mayoría de casos de estos elementos, lo que posiblemente pueda verse reflejado en el nivel de contaminación, su equipamiento es totalmente acorde a las necesidades, de igual manera a ser un laboratorio encontramos recubrimientos de resina especial en las mesas de trabajo, para la seguridad de los ocupantes al momento de realizar las actividades previstas.

Etapa 2. Realización de una parametrización del material particulado, así como la descripción técnica de los equipos utilizados y seleccionados

Para el desarrollo de la siguiente etapa fue primordial reconocer los diferentes métodos de muestreo de material particulado, ya que era importante tener un panorama del funcionamiento de los mismos que permitiera compararlos para poder elegir un único método que se ajustara a las necesidades de los espacios cerrados y que facilitara la medición de las variables anteriormente mencionadas.

Métodos de muestreo de material particulado en recintos cerrados.

La estimación de contaminantes atmosféricos se puede lograr por medio de múltiples métodos que se relacionan de acuerdo a sus principios de medición en (Instituto Nacional de Ecología – INE México, Manual 3):

Tabla 4.

Métodos de medición de la calidad del aire.

Metodología	Descripción	Ventajas	Desventajas	Equipos
Muestreo Pasivo	Se recolecta un contaminante determinado mediante adsorción y/o absorción en un sustrato químico elegido	Reducido costo económico. No necesita de alimentación eléctrica De sencilla manipulación.	No se ha probado en algunos contaminantes. Solo provee promedios semanales o quincenales. Requieren de análisis de laboratorio posterior.	Muestreador pasivo distintivo Colector para polvo sedimentable

Muestreo Activo	Succionar el aire a examinar mediante un mecanismo de captación físico o químico, con ayuda de impactadores o burbujeadores.	Bajo costo operativo. Fáciles de usar. Confiables en operación y funcionamiento.	No se aprecian valores mínimos ni máximos, solo promediados. Requieren de análisis de laboratorio posterior.	Muestreador de alto volumen para PST y PM10
Bioindicadores	Involucra la utilización de ejemplares vivos, como árboles y plantas, donde su superficie funcione como captadora de contaminantes.	Costo más bajo del mercado. Útiles para indicar la presencia y el efecto de algunos contaminantes.	Dificultad para estandarizar la metodología y el procedimiento. En algunos casos se requiere análisis de laboratorio posterior.	Líquenes Musgos Cortezas
Óptico por percepción remota	Utilizan la espectroscopia en forma de haces de luz a una longitud determinada de onda a través de la atmosfera y miden la energía absorbida, también pueden proporcionar mediciones integradas de multicomponentes.	Expresan valores en tiempo real con alta exactitud. Útiles para mediciones multicomponentes y mediciones verticales en la atmósfera.	Costos de adquisición y operación muy elevados. Requiere personal altamente capacitado para su uso y calibración. Sus resultados no son siempre comparables con otros métodos	Equipo DOAS (Espectroscopi o de absorción óptica diferencial) Equipo LIDAR (Detección de luz y alcance)
Muestreo Automático	Eficientes y precisos, fácil al momento de usarse. Permite realizar mediciones continuas, para concentraciones horarias y	Expresan valores en tiempo real con alta precisión, incluyendo concentraciones máximas y mínimas. Guarda un registro histórico de	Costo elevado de adquisición Requiere de personal calificado para su uso Pueden ser susceptibles a problemas	TEOM para PM10, PM2.5 y PM1.0 Monitores de ozono, SO2, CO, NO, y HTC

menores. Son capaces de muestrear PM2.5 y PM10 y algunos gases tóxicos.	mediciones Permite establecer situaciones de alerta para implantar medidas de contingencia.	técnicos por mala utilización.
---	---	--------------------------------

Nota: se expresan varios métodos de medición de la calidad del aire tomado por INE Manual 1. Principios de la medición de la calidad del aire

Medición de partículas PM2.5 y PM10, por muestreo automático mediante dispositivos electrónicos.

Este método, ha tomado fuerza con los nuevos avances científicos y tecnológicos en búsqueda del control y la mitigación de la contaminación atmosférica, y se han fabricado numerosos dispositivos que permitan la estimación aproximada de los niveles de contaminación, dando paso a la aparición del monitor de partículas. El monitor de partículas es cada vez más utilizado en diversos campos, se usa en espacios cerrados con el fin de detectar la concentración de partículas a la que se está expuesto.

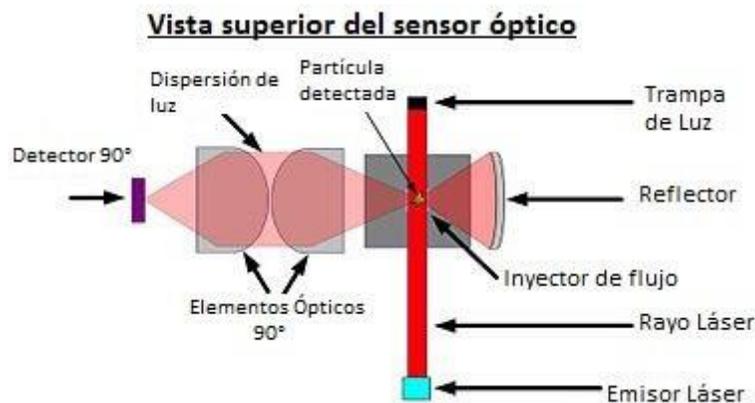
Este medidor es capaz de captar y reconocer partículas PM2.5, que tienen un diámetro aerodinámico de aproximadamente 2.5 μg nominales, y también son capaces de identificar partículas PM10 que tienen un diámetro aerodinámico de aproximadamente 10 μg nominales. Este medidor capta una cierta cantidad de aire y cuenta la cantidad de partículas bajo un principio óptico (ver Figura 3) y analizan en tiempo real con memoria para someter estos datos a estudios posteriores.

Con base a (IDEAM, 2002) , las metodologías para el muestreo de la calidad del aire en interiores, no se diferencian en su totalidad de las usadas en exteriores, aun cuando existen varias como los sensores remotos y las excesivamente ruidosas o voluminosas como los muestreadores de alto volumen y el WRAC, que son por sí mismas inapropiadas, por otra

parte el uso de monitores automáticos no portátiles está limitado por su gran tamaño y el complejo uso de los datos, y son empleados cuando se requiere evaluar secuelas puntuales por exposición a contaminantes.

Ilustración 10.

Principio óptico de funcionamiento del medidor de partículas.



Nota. El gráfico representa el funcionamiento del sensor óptico existente en el medidor de partículas. Adaptado de *Medidor de partículas de alta calidad y precisión* por Tecnometrica, 2017, Tecnometrica (<https://www.tecnometrica.com.mx/Medidores-de-particulas.html>).

Descripción técnica de los equipos a usar

Para llevar a cabo la medición de las variables planteadas en los diferentes recintos seleccionados, se utilizaron diferentes equipos electrónicos para medir y cuantificar los datos esperados con el fin de poder expresar la realidad del comportamiento de la temperatura, la humedad relativa y la concentración de partículas PM_{2.5} Y PM₁₀ en cada uno de los recintos. los elementos electrónicos se presentan a continuación:

Medidor de partículas- TEMTOP P200 – Elitech Technology

Temtop, marca bajo Elitech Technology, Inc. es una empresa tecnológica especializada en la detección ambiental, es la responsable y encargada de la fabricación del TEMTOP P200. Según (Temptop US, 2019) Temtop P200 posee un sensor de partículas láser que puede detectar con precisión la calidad del aire interior y exterior de un ambiente, posee un sensor de partículas láser que transforma directamente la concentración de contaminantes en el aire en datos visuales, es fácil de operar, con configuraciones de sistema muy simples mediante pocos botones de función, cuenta con una pantalla lcd que muestra de forma inteligente los resultados de las pruebas, lo que hace sencilla la manera de lectura de sus resultados; tiene un diseño compacto y liviano lo que permite que sea hace cómodo de llevar, adicionalmente, cuenta con una función de alarma de batería que se activa para indicar el nivel de batería; el tiempo de detección es corto y preciso, no requiere de tiempos previos de adaptabilidad en ningún espacio, adecuado para uso interior y exterior, en diferentes ambientes, las características técnicas y generales del dispositivo se sintetizaron en la siguiente ficha técnica.

Ilustración 11.

Ficha de caracterización del medidor de partículas Temtop P200.

UAN UNIVERSIDAD DEL CAJAMARCA		FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS DE MEDICIÓN	
REALIZADO POR: CRISTIAN ALARCON Y SEBASTIAN POVEDA		FECHA: 18-02-2021	
MAQUINA - EQUIPO	MONITOR DE MP	UBICACIÓN:	UAN - VILLAVICENCIO
FABRICANTE	ELITECH TECHNOLOGY INC	SECCIÓN	UAN - VILLAVICENCIO
MODELO	P200	CODIGO	
MARCA	TEMTOP	INVENTARIO	
CARACTERÍSTICAS GENERALES			
PESO: 280r gr	ALTURA : 16,8 CM	ANCHO: 6,5 CM	LARGO: 3,2 CM
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	FOTO DE LA MAQUINA - EQUIPO		
<p>- Ambiente operativo: Rango de temperatura : 0-40°C Rango de humedad : 15-90% HR Presión de aire: 1 atm</p> <p>-Rango de medida: PM2.5/PM10: 0-999ug/m3</p>			
<p>FUNCIÓN - El detector puede medir la calidad de aire de manera precisa. El sensor laser de partículas permite transformar la concentración de polución en el aire, en datos visuales que permitan establecer una alerta sobre la calidad del aire y para salvaguardar la salud.</p>			

Nota: se expresan las características técnicas del medidor de partículas Temtop P200.

Parámetros de medición de PM2.5 y PM10

Con ayuda de los equipos de monitoreo, se pueden obtener los registros de las concentraciones de los contaminantes en diversas unidades de medida, las cuales se interpretan a través de un indicador que permita visualizar de manera simple, el grado de contaminación del aire, así mismo determinar el nivel según la afectación a la salud humana, actualmente el IDEAM a través del SISAIRES, como entidad encargada de la información y control sobre la calidad del aire, aporta el ICA, (Indicé de Calidad del Aire) de acuerdo a los criterios de medida expresados en la normatividad actual vigente, estos datos son registrados en la siguiente tabla:

Tabla 5.

Punto de Corte ICA (Índice de Calidad del Aire) a nivel nacional.

Índice de Calidad del Aire			Puntos de Corte	
ICA	Color	Categoría	PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24 horas	PM 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24 Horas
0 – 50	Verde	Buena	0 -54	0 - 12
51 – 100	Amarillo	Aceptable	55 - 154	13 - 37
101 – 150	Naranja	Dañina a la salud de grupos sensibles	155 - 254	38 - 55
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud	255 - 354	56 - 150
201 - 300	Purpura	Muy dañina a la salud	355 - 424	151 - 250
301 - 500	Marrón	Peligrosa	425 - 604	251 - 500

Nota. Esta tabla muestra cómo se clasifica el estado de la calidad del aire en diferentes categorías según corresponda Tomado de (SISAIRE, 2020)

Tabla 6.

Descripción general del Índice de Calidad del Aire.

Rango	Color	Estado de la calidad del aire	Efectos
0 - 50	Verde	Buena	La contaminación atmosférica representa un riesgo bajo para la salud.
51 - 100	Amarillo	Aceptable	Probables síntomas respiratorios en grupos poblacionales que puedan ser sensibles
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud de grupos sensibles	Los grupos poblacionales sensibles pueden presentar efectos sobre la salud, las personas con enfermedades pulmonares y cardiacas, niños y adultos mayores deben reducir su exposición a los contaminantes del aire.

151 - 200	Rojo	Dañina a la salud	Todos los individuos pueden comenzar a sufrir efectos en la salud. Los grupos sensibles son capaces de experimentar efectos más graves para la salud.
201 - 300	Purpura	Muy dañina a la salud	Estado de alerta que significa que todos pueden experimentar efectos que logren agravar la salud
301 - 500	Marrón	Peligrosa	Emergencia sanitaria. Toda la población puede sufrir efectos desfavorables graves en la salud humana y permanecen dispuestos a verse dañados por graves efectos sobre la salud.

Nota. La tabla expresa los efectos que se producen en las personas dependiendo del estado de la calidad del aire. Tomado de *SISAIRE – IDEAM, 2020*

De igual manera (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible, 2010) estableció los requerimientos para definir la ubicación del sistema de vigilancia en los recintos cerrados, en este caso el monitor de partículas, bajo la siguiente tabla:

Tabla 7.

Requerimientos para la ubicación de un sistema de vigilancia de Material Particulado.

Contaminante	Requerimientos	Valor
	Distancia desde estructuras de soporte	> 2m
Material Particulado (PM10 Y PM2.5)	Altura sobre el suelo	2 - 15 m
	Distancia arboles	> 10m
	Distancia a la vía principal	5 - 15 m

Nota. Contaminantes en pm10 y pm2.5 Adaptado de: *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible, 2010*

Termo-Anemómetro – AN100 – Extech Instruments Technology

El Termo anemómetro Extech AN100 es adecuado para su uso en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo operaciones de mantenimiento de plantas, análisis ambiental, pruebas de capó de humos y evaluaciones de sistemas HVAC. De acuerdo con (Extech, 2016), cuenta con una gran pantalla retro iluminada que muestra simultáneamente el volumen de aire (CFM), la velocidad del aire y las lecturas de temperatura ambiente (°F o °C), incluso en condiciones de poca luz, además la función de promedio del AN100 se utiliza para promediar múltiples lecturas tanto en los modos FLOW como VELOCIDAD, lo que permite al usuario analizar la eficiencia de un sistema grande. Se pueden promediar hasta 20 lecturas a la vez, tiene un diseño práctico y compacto, con una disposición de botones clara y fácil de usar, lo cual permite navegar en las diferentes opciones de este dispositivo, diseñado para usarse en interiores y exteriores, con múltiples aplicaciones en la industria. las características técnicas y generales del dispositivo se sintetizaron en la siguiente ficha técnica:

Ilustración 12.

Ficha de caracterización del Termo-Anemómetro EXTECH AN100.

		FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS DE MEDICIÓN	
REALIZADO POR: CRISTIAN ALARCON Y SEBASTIAN POVEDA		FECHA: 18-02-2021	
MAQUINA - EQUIPO	TERMO ANEMOMETRO	UBICACIÓN:	
FABRICANTE	FLIR COMPAÑY	SECCIÓN	
MODELO	AN100	CÓDIGO	
MARCA	EXTECH INSTRUMENTS	INVENTARIO	
CARACTERÍSTICAS GENERALES			
PESO: 320 gr	ALTURA : 22,4 CM	ANCHO : 7,5CM	LARGO : 3,6 CM
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	FOTO DE LA MAQUINA - EQUIPO		
-RANGO OPERATIVO : Temperatura ambiente: -10 - 60°C FT/MIN: 80 - 5900ft/min Nudos : 0.8 - 58 knots CMM Y CFM : 0 - 9999 CFM o CMM / min			
FUNCIÓN -Indicacion simultánea de temperatura ambiente y flujo de aire o velocidad de aire -Completo sensor de veleta con rodamiento de baja fricción de 72mm y un cable de 120cm y memoria de hasta 8 areas			

Nota: se observan las características técnicas del equipo de medición de material particulado

Parámetros de medición de temperatura.

Según (Extech, 2016) El índice de calor es la temperatura percibida por los seres humanos en el área geográfica que se encuentren, y al mismo tiempo está relacionado con la humedad relativa, que puede llegar a generar cambios abruptos en la sensación térmica que se pueda experimentar, el cuerpo humano, se refrigera mediante la transpiración de sudor, la cual se evapora para mitigar cierta fracción del calor corporal, no obstante, cuando la humedad relativa es elevada, la tasa evaporativa del medio disminuye, por lo que el calor desaparece del cuerpo a una velocidad menor , haciendo que el cuerpo

mantenga el calor por un periodo de tiempo más largo, de lo que sucedería en condiciones de aire seco.

De acuerdo a esto, se tuvieron en cuenta las mediciones de temperatura y humedad relativa, para poder evidenciar e interpretar los cambios en el índice de calor que se produjeron en el medio, dicha relación entre la temperatura y la humedad, se expresa en la siguiente figura:

Ilustración 13.

Rangos del Índice de calor IC (relación de temperatura del aire y humedad del medio).

	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
42°	48	50	52	55	57	59	62	64	66	68	71	73	75	77	80	82
41°	46	48	51	53	55	57	59	61	64	66	68	70	72	74	76	79
40°	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75
39°	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	66	68	70	72
38°	42	44	45	47	49	51	53	55	56	58	60	62	64	66	67	69
37°	40	42	44	45	47	49	51	52	54	56	58	59	61	63	65	66
36°	39	40	42	44	45	47	49	50	52	54	55	57	59	60	62	63
35°	37	39	40	42	44	45	47	48	50	51	53	54	56	58	59	61
34°	36	37	39	40	42	43	45	46	48	49	51	52	54	55	57	58
33°	34	36	37	39	40	41	43	44	46	47	48	50	51	53	54	55
32°	33	34	36	37	38	40	41	42	44	45	46	48	49	50	52	53
31°	32	33	34	35	37	38	39	40	42	43	44	45	47	48	49	50
30°	30	32	33	34	35	36	37	39	40	41	42	43	45	46	47	48
29°	29	30	31	32	33	35	36	37	38	39	40	41	42	43	45	46
28°	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
27°	27	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
26°	26	26	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37	38	39
25°	25	25	26	27	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37
24°	24	24	24	25	26	27	28	28	29	30	31	32	33	33	34	35
23°	23	23	23	24	25	25	26	27	28	28	29	30	31	32	32	33
22°	22	22	22	22	23	24	25	25	26	27	27	28	29	30	30	31

Nota. La figura establece los rangos del Índice de Calor, dependiendo de la temperatura del aire y la humedad del medio, clasificándolos por colores según la peligrosidad del nivel. Tomado de *Meteo Sant Quirze*, 2018.

De igual manera se clasificaron bajo cuatro categorías para tener claridad acerca de los rangos de cada una de ellas, así como el nombre de su categoría, y los síntomas que se pueden presentar al estar sometido a una exposición prolongada según corresponda, dichos valores son expresados en la siguiente tabla:

Tabla 8.

Interpretación de los rangos del IC y sus síntomas.

Categoría	Clasificación	Rango IC	Síntomas
I	Precaución	27 - 32	Puede llegar a una posible fatiga con exposición prolongada o actividad física.
II	Precaución Extrema	32 - 40	Fatiga, insolación y agotamiento con exposición prolongada y actividad física.
III	Peligro	40 - 55	Insolación, calambres y agotamiento con exposición prolongada.
IV	Peligro Extremo	55 - 82	Golpe de calor o insolación inminente.

Nota. La tabla representa los síntomas que pueden aparecer dependiendo de la clasificación del IC (Índice de calor) a la que se esté expuesto Adaptado de: *Ideam, 1998*

Higrómetro – B07X38XH99 – PEAKEEP

El higrómetro y termómetro digital de exactitud PEAKEEP usa un sensor de tipo profesional SHTC3 importado de Suiza y previamente calibrado. Según (Peakeep, 2019), los límites del monitor de humedad oscilan entre 1% hasta 99% de Humedad relativa con $\pm 3\%$ de permisividad; el rango del medidor de temperatura es de 15,8 °F hasta 122°F (-30°C a 50°C) con $\pm 0,9$ °F (± 0.5 °C). Cuenta con un indicador de bienestar el cual sugiere por medio de la utilización de ayudas gráficas, el grado de confort que se puede sentir en determinado lugar, el indicador de temperatura de humedad se usa para diferentes espacios, además los valores de humedad y temperatura se actualizan en un lapso de 10 segundos, debido a esto tarda algunos minutos o menos en detectar una alteración en la habitación, el higrómetro termómetro para interiores cuenta con registros máximos y mínimos de ambas variables a lo largo de las 24 horas anteriores, lo cual le posibilita saber en qué momento su área dominante de habitación varía fuera de los

límites, además de ello, utiliza una pantalla LCD HD lo que permite que humedad de la temperatura se muestre evidentemente para leer en diferentes ángulos, inclusive a distancia, las características técnicas y generales del dispositivo se sintetizaron en la siguiente ficha técnica:

Ilustración 14.

Ficha de caracterización del higrómetro PEAKEEP B07X38XH99.

		FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS DE MEDICIÓN	
REALIZADO POR: CRISTIAN ALARCON Y SEBASTIAN POVEDA		FECHA: 18-02-2021	
MAQUINA - EQUIPO	HIGROMETRO DIGITAL	UBICACIÓN:	UAN - VILLAVICENCIO
FABRICANTE	PEAKEEP	SECCIÓN	UAN - VILLAVICENCIO
MODELO	B07X38XH99	CÓDIGO	
MARCA	PEAKEEP	INVENTARIO	
CARACTERÍSTICAS GENERALES			
PESO: 170 gr	ALTURA : 8.9 CM	ANCHO : 6.4 CM	LARGO : 2 CM
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	FOTO DE LA MAQUINA - EQUIPO		
<p>El rango del monitor de humedad es de 1% RH – 99% RH con $\pm 3\%$ de tolerancia; el rango del medidor de temperatura es de 15,8 °F – 122°F (-30°C a 50 °C) con $\pm 0,9$ °F ($\pm 0,5$ °C)</p>			
<p>FUNCIÓN Los datos de humedad y temperatura se actualizan cada 10 segundos, por lo que solo tarda unos minutos o menos en representar una habitación cambiada. Cuenta con registros máximos y mínimos durante las 24 horas anteriores para llevar control.</p>			

Nota: se observan las características técnicas de los equipos de medición para temperatura y humedad relativa.

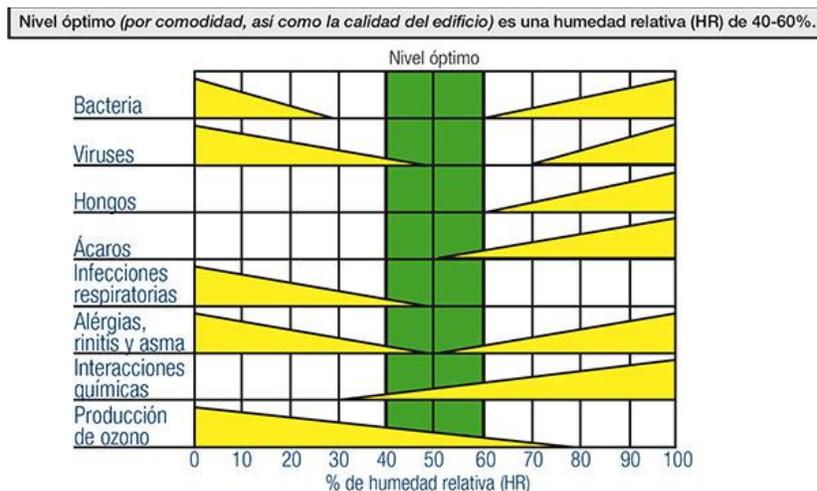
Parámetros de medición de humedad relativa

De acuerdo con (García, 2020) de la misma manera que un nivel bajo de la humedad puede generar efectos dañinos en la salud, un nivel de humedad que exceda un 65% puede llegar a ser nocivo para el medio y los organismos que interactúan en él.

Específicamente en instancias poco ventiladas y con una alta concentración de vapor de agua, que se pueden convertir en el lugar ideal para la proliferación de moho y microorganismos bacterianos, dando paso a la aparición de alergias respiratorias y síntomas asmáticos. Con base a esto, (ASHRAE, 2007) estableció un nivel óptimo de porcentaje de humedad relativa, con el fin de llevar un control en los registros evidenciados procedentes de las mediciones efectuadas en los recintos cerrados. Dicho nivel se expresa en la siguiente figura:

Ilustración 15.

Nivel Óptimo de porcentaje de la Humedad Relativa en espacios interiores.



Nota. La presente figura muestra el nivel óptimo de humedad relativa en recintos cerrados, así como los umbrales de aparición y proliferación de hongos, bacterias e infecciones respiratorias. Tomado de *Diario ASHRAE (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado, 2007.*

Resultados de las mediciones.

Una vez seleccionados y caracterizados los recintos que fueron objeto de estudio, se procedió a realizar las mediciones referentes a temperatura, humedad relativa y concentración de partículas PM2.5 Y PM10 con la ayuda de los dispositivos electrónicos previamente descritos. Es importante aclarar que las mediciones se realizaron en intervalos de 2 horas, específicamente entre las 9am y 11am, puesto que en dicho horario coincidió la realización de actividades y desarrollo de algunas clases, por lo que eso permitió la obtención de datos reales que expresen la realidad de cada recinto. También cabe mencionar que las mediciones fueron hechas de manera que no se interrumpiera el desarrollo normal de las actividades planeadas en los diferentes recintos.

Laboratorio de Microbiología

Este laboratorio está destinado a la realización de múltiples actividades prácticas para la facultad de ingeniería y de odontología. Cuenta con un único acceso, que permanece cerrado antes, durante y después del desarrollo de actividades de tipo investigativo, durante las mediciones este espacio fue el menos frecuentado, a pesar de que, gracias a la admisión de personal limitado en la Universidad Antonio Nariño, para retomar poco a poco el uso de estas instalaciones, las actividades programadas para realizarse allí han sido pocas.

Tabla 9.

Registro de mediciones en el laboratorio de microbiología.

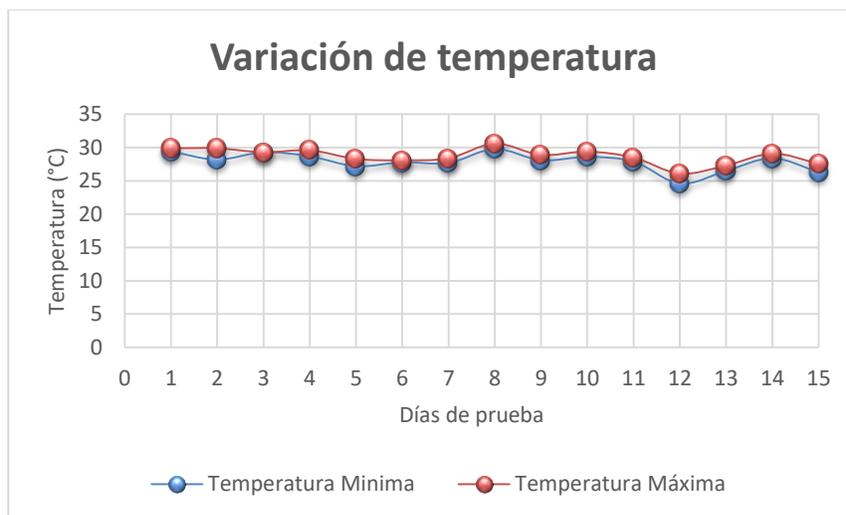
Días de prueba	Temperatura (C°)		%HR	Concentración de material particulado (μ/m^3)	
	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima	Humedad Relativa	P.M 2.5	P.M 10
DÍA 1	29.4	29.9	49%	25	36
DÍA 2	28.2	29.9	45%	30	42
DÍA 3	29.3	29.3	47%	30	40
DÍA 4	28.7	29.6	45%	28	39
DÍA 5	27.2	28.3	41%	12	20
DÍA 6	27.8	28.1	66%	19	27
DÍA 7	27.7	28.4	59%	25	35
DÍA 8	29.8	30.6	55%	26	32
DÍA 9	28.1	28.9	55%	25	35
DÍA 10	28.6	29.4	60%	30	42
DÍA 11	27.9	28.5	57%	29	31
DÍA 12	24.6	26.1	71%	24	33
DÍA 13	26.5	27.3	56%	26	37
DÍA 14	28.4	29.1	55%	25	35
DÍA 15	26.3	27.6	58%	28	39

Nota: se observa la concentración de material particulado en los 15 días de estudio.

Los valores arrojados por las mediciones de temperatura efectuadas durante 15 días en este recinto fueron reseñados en la figura que se denota a continuación:

Ilustración 16.

Variación de temperatura en el Laboratorio de Microbiología.



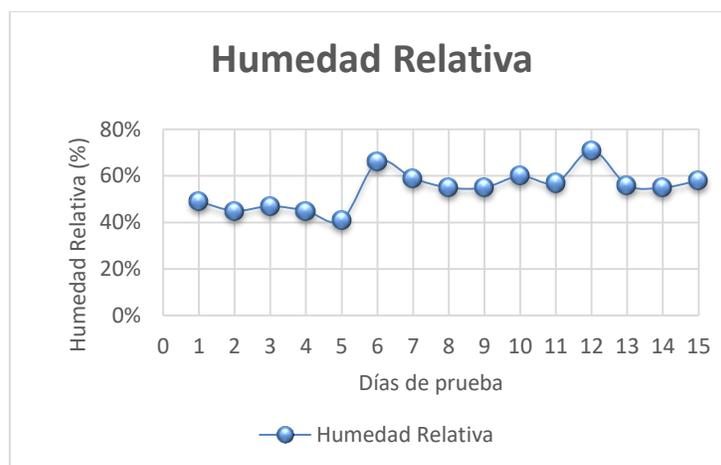
Nota: se observa la variación de la temperatura en los 15 días de estudio.

Como se evidencia en la figura anterior, la temperatura se mantuvo relativamente estable, pero alta sobre los 27°C, alcanzando una temperatura máxima de 30.6°C el día de prueba número 8, este pico de temperatura se debe a que el recinto en los 15 días de prueba realizados, no contaba con algún medio de recirculación de aire encendido, tal como aire acondicionado o extractor, lo que hizo que, en días calurosos, la temperatura del recinto se elevara, hacia el día de prueba número 12, se obtuvo el registro de temperatura más bajo de este espacio, 24,6°C, debido a las fuertes lluvias que se presentaron durante la tarde del día 11 y la mañana del día 12, lo que pudo ocasionar que las paredes de este laboratorio, así como sus ventanas y techo se enfriaran. De acuerdo a los índices de calor expresados por (Meteo Sant Quirze, 2018) (ver ilustración 13) y la clasificación de (IDEAM, 1998) (ver tabla 8), en los días que la temperatura alcanzo los

registros más altos, se tiene un Índice de calor (IC) de 36 para el día 1 ,39 para el día 8, y 37 para el día 10, los cuales se categorizan como PRECAUCIÓN EXTREMA, lo que indica que se pueden presentar escenarios de fatiga y agotamiento si se tiene una exposición prolongada bajo estas condiciones en este recinto, los registros de la humedad relativa se relacionan a continuación

Ilustración 17.

Variación de la humedad relativa en el Laboratorio de Microbiología.



Nota: se observa la variación de la humedad relativa en los 15 días de estudio.

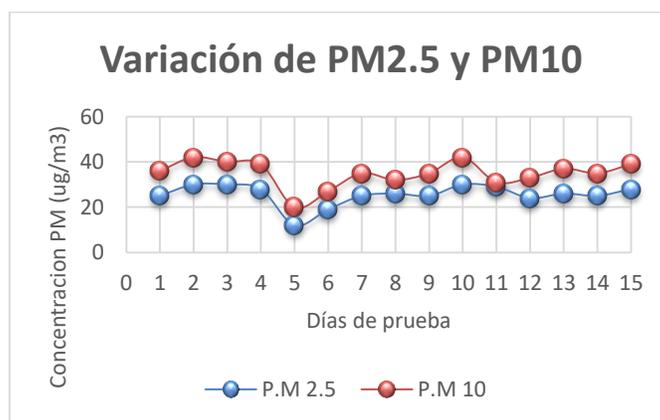
Con base a la ilustración 17, el porcentaje de humedad relativa tuvo algunos cambios drásticos a lo largo de los días de prueba. Inicialmente se tuvo una tendencia decreciente del día 1 al día 5 que tuvieron como punto de partida el día 1 con 49 % de HR (Humedad Relativa), llegando hasta 41% de HR para el día 5, el día 6 se tuvo un cambio notable, llegando hasta un 66% de HR, puesto que durante este día la probabilidad de precipitación estuvo alta; exactamente el día 11 y 12 se dieron condiciones lluviosas, lo que elevó el nivel de vapor de agua concentrado, llegando a un estimado de 71% de HR,

el punto récord durante los días de medición; se concluyó la medición sin ningún otro cambio notable, estableciéndose un 57% de HR aproximadamente. Mediante los niveles óptimos de humedad (ver ilustración 15) proporcionados por, (ASHRAE, 2007), se determinó que la temperatura se mantiene en promedio entre 45% y 59%, se encontraron niveles de 66% y 71%, para los días 6 y 12 respectivamente, lo que puede ocasionar síntomas de rinitis y alergias, así como proliferación de ácaros y bacterias, que puedan causar daños severos a la salubridad del recinto y a quienes interactúan allí.

Por último, las mediciones de la concentración de material particulado son expresadas en la siguiente figura:

Ilustración 18.

Variación de la concentración de PM2.5 Y PM10 en el Laboratorio de Microbiología.



Nota: se observa la Variación de la concentración de PM2.5 Y PM10 en los 15 días de estudio realizado en el laboratorio de microbiología.

Según la ilustración 18, la correlación entre las partículas PM2.5 Y PM10 es evidente, ya que su variación es casi directamente proporcional. Durante la mayoría de los días de prueba se llegaron a observar concentraciones de PM2.5 entre 24 y 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,

estableciéndose 2 cifras récord, uno mínima el día de prueba 5 con $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y otro máxima los días 2 y 10 con $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dichos resultados son posibles en el caso de ser mínima por la poca o nula aparición de partículas diminutas de polvo, que se evidencian gracias a que el día 5 no hubo actividad alguna en este laboratorio, además, el día 2 y el día 10, llegó a su cifra máxima, ya que durante la jornada se hicieron algunos cambios en el orden de los equipos situados allí, así como el remplazo de muchos elementos y reactivos usados en las prácticas de laboratorio, simultáneamente, las medidas en cuanto a partículas PM10, se comportaron de manera similar a las anteriormente mencionadas con un promedio entre $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, obteniéndose también 2 cifras récord, una mínima el día 5 con $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gracias a la poca actividad en el laboratorio y una máxima los días 2 y 10 con $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$, debido a cambios de sitio y remplazos de algunos elementos del laboratorio. La información del IDEAM, a través de (SISAIRE, 2020), La calidad del aire se clasifica (ver tabla 5) en el caso de concentración de PM2.5 como buena y aceptable (ver tabla 6), ya que sus valores no exceden los $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$, aunque puede llegar a ocasionar síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles, por otro lado, en el caso de PM10, la calidad del aire es buena y no excede los $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sala de Preclínica Odontológica.

Este espacio es de vital importancia para el desarrollo de actividades prácticas claves en la formación profesional de los estudiantes de la facultad de Odontología de la universidad, se realizan tareas de reconocimiento y procedimientos manuales quirúrgicos y estéticos sobre modelos de yeso, y otros materiales, los cuales permiten fortalecer las actividades motrices y mejorar los métodos de trabajo y sus resultados, es pertinente

resaltar que esta sala siempre estuvo en constante actividad y con un flujo de personas considerable; los resultados de las mediciones fueron registrados y expresados en la siguiente tabla:

Tabla 10.

Registro de mediciones en sala de preclínica odontológica.

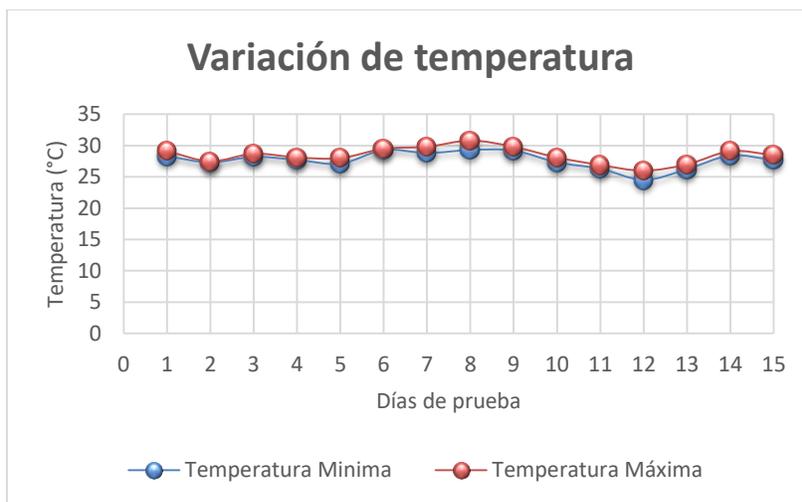
Días de prueba	Temperatura (C°)		%HR	Concentración de material particulado (μ/m^3)	
	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima	Humedad Relativa	P.M 2.5	P.M 10
DÍA 1	28.3	29.1	40%	43	53
DÍA 2	27.3	27.5	36%	35	46
DÍA 3	28.2	28.7	33%	38	50
DÍA 4	27.7	28.1	35%	42	58
DÍA 5	27.1	28	41%	87	130
DÍA 6	29.3	29.5	60%	80	135
DÍA 7	28.8	29.8	52%	27	43
DÍA 8	29.3	30.8	51%	58	85
DÍA 9	29.2	29.8	50%	24	35
DÍA 10	27.3	28.1	60%	53	74
DÍA 11	26.3	26.9	65%	25	30
DÍA 12	24.5	26	44%	62	87
DÍA 13	26.2	27	60%	40	56
DÍA 14	28.4	29.1	52%	38	44
DÍA 15	27.7	28.5	42%	46	54

Nota: se observó el Registro de mediciones en sala de preclínica odontológica durante los 15 días de estudio.

Las mediciones de temperatura fueron sintetizadas y analizadas y se enuncian a continuación por medio de la siguiente figura:

Ilustración 19.

Variación de temperatura en la Sala de Preclínica Odontológica.



Nota: variación de la temperatura en la sala de preclínica de odontología durante los 15 días de estudio.

A pesar que esta sala cuenta con un sistema de circulación de aire como lo es el aire acondicionado, la cantidad de personas circundantes que interactúan en este medio hace posible que la temperatura ambiente se mantenga en niveles relativamente estables como se puede ver en la ilustración 19. Durante los días de prueba se encontró que la temperatura oscilo normalmente entre 27.1°C hasta los 29.1°, a excepción de los días 8 y 12 donde se registró el pico más alto y más bajo respectivamente, el día 8 llegando a los 30.8°C y el día 12, descendiendo hasta 24.5, se tuvo en cuenta que los días 11 y 12 fueron de condiciones lluviosas lo que propiciaron una baja de temperatura general, teniendo en cuenta el Índice de Calor (ver ilustración 13), y su interpretación (ver tabla 8), se tiene un IC entre 33 y 39 puntos que se cataloga como un ambiente de PRECAUCIÓN EXTREMA, el cual puede producir fatiga y agotamiento en una exposición prolongada en este recinto. Posteriormente se ilustraron los diferentes valores

obtenidos de humedad relativa a lo largo de las mediciones, dichos valores se expresan a continuación:

Ilustración 20.

Variación de humedad relativa en la Sala de Preclínica Odontológica.



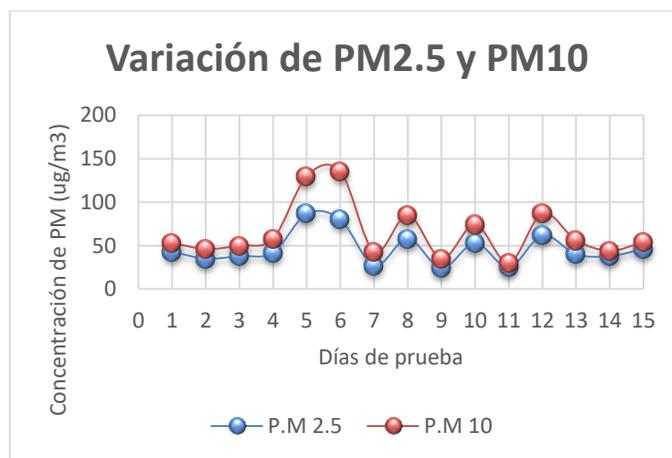
Nota: se observa la variación de la humedad relativa en la sala de preclínica de odontología durante los 15 días de estudio.

A comparación de las medidas obtenidas acerca de la variación de la humedad relativa previamente en el Laboratorio de Microbiología (ver ilustración 17), la sala de Preclínica odontológica arrojó datos totalmente diferentes (ver ilustración 20). Inicialmente el día 1 marco una tendencia negativa desde el 40% de HR hasta el 33% de HR en el día 3, dicho registro fue el más bajo obtenido en los días de prueba, a partir de ahí hasta el día 6, se mostró un patrón ascendente llegando al 60% de HR, que para el 11 se convirtió en un 65% de HR, gracias a las condiciones lluviosas y al funcionamiento del aire acondicionado, que permitía el ingreso de todo el vapor de agua mediante su mecanismo, abruptamente descendió para el día 12 a 44% de HR, a pesar de que ese mismo día

también se presentaron lluvias, la temperatura ambiente fue agradable y permitió la realización de las actividades sin el uso de aire acondicionado, lo que impide la entrada adicional de vapor de agua al recinto. Con base al nivel óptimo de la humedad relativa (ver ilustración 15), se deduce que si bien el recinto maneja unos valores constantes de humedad entre 40% y 52% de HR (Humedad Relativa), también se registraron valores muy por debajo (30% HR) y algunos por encima (65% HR) del umbral óptimo, lo que puede facilitar la proliferación de ácaros, bacterias y la aparición de síntomas de rinitis y asma, de igual manera, esos niveles de humedad contribuyen a la aparición de infecciones respiratorias por virus, lo que puede generar unas condiciones salubres precarias en el medio, teniendo en cuenta que es un área donde se realizan múltiples prácticas médicas. Finalmente se muestran los valores de concentración de partículas PM2.5 y PM10 obtenidos en la Preclínica en la siguiente figura

Ilustración 21.

Variación de la concentración de PM2.5 Y PM10 en la sala de Preclínica Odontológica.



Nota: variación de PM 2.5 Y PM 10 en la sala de preclínica de odontología.

En los resultados obtenidos acerca de la cantidad de concentración de PM2.5 y PM10 (ver ilustración 21), se evidenciaron resultados normalmente altos, empezando el registro en el día 1 con $43 \mu\text{m}/\text{m}^3$ en PM2.5 y $53.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$, inusualmente el día 5 y 6 arrojaron dos de los tres registros más altos obtenidos durante el estudio, llegando a una estimación de $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM2.5 y $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 en el día 5 y $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM2.5 y $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 para el día 6, dichos registros se obtuvieron gracias a la manipulación de diferentes elementos en esos días, la fabricación de prótesis con yeso, el uso de dientes reales para practicar tareas estéticas, y el uso de fresadoras con las que se perfilaban algunas de estas prótesis, las cuales desprendían material particulado al ambiente generando picos altos de contaminación, posteriormente el día 9 se obtuvo el registro más bajo de este recinto con $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM2.5 y $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM10, finalmente, los niveles tomaron un patrón estable, el cual finalizó el día 15 con $46 \mu\text{m}/\text{m}^3$ de PM2.5 y $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10. Según el Índice de Calidad del Aire y sus puntos de corte establecidos (ver tabla 5), la calidad de aire en cuanto a la concentración de PM2.5 se clasifica como Dañina a la salud (ver tabla 6), ya que algunos niveles exceden los $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que puede generar efectos negativos en la salud, los grupos sensibles pueden experimentar efectos aún más graves, por otra parte, la concentración de PM10 arroja una clasificación de Aceptable, ya que numerosas medidas exceden los $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que puede ocasionar la aparición de síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles.

Oficina de Ingeniería Industrial.

Este espacio está destinado como lugar de trabajo de los docentes de la facultad y donde se realiza la atención a estudiantes, aunque por cuestiones de salubridad y

protocolos de bioseguridad no se está ateniendo público, durante la toma de los registros, se encontraron algunos estudiantes realizando tareas académicas en la oficina, lo que arrojó datos consistentes, los valores de las mediciones efectuadas se registraron en la tabla que se expresa a continuación.

Tabla 11.

Registro de mediciones en la oficina de Ingeniería Industrial.

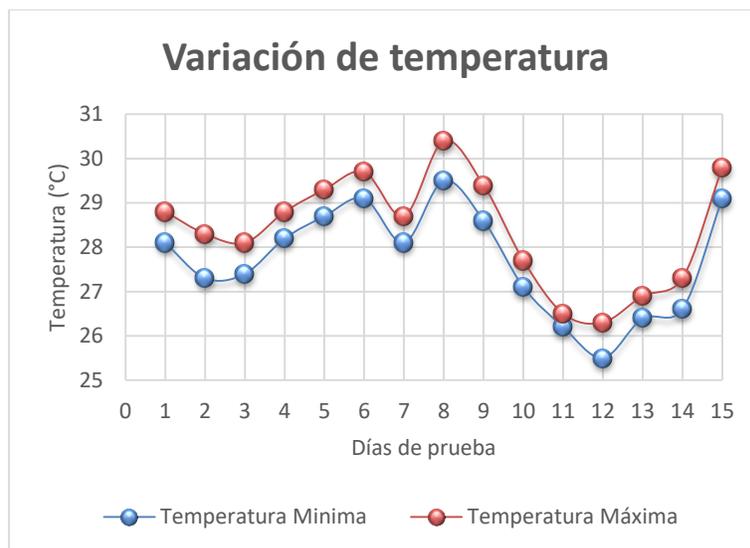
Días de prueba	Temperatura (C°)		%HR	Concentración de material particulado (μ/m^3)	
	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima	Humedad Relativa	P.M 2.5	P.M 10
DÍA 1	28.1	28.8	40%	37	48
DÍA 2	27.3	28.3	45%	75	114
DÍA 3	27.4	28.1	38%	85	120
DÍA 4	28.2	28.8	45%	95	137
DÍA 5	28.7	29.3	44%	20	30
DÍA 6	29.1	29.7	68%	28	38
DÍA 7	28.1	28.7	50%	35	50
DÍA 8	29.5	30.4	56%	23	33
DÍA 9	28.6	29.4	60%	27	30
DÍA 10	27.1	27.7	56%	30	41
DÍA 11	26.2	26.5	75%	20	25
DÍA 12	25.5	26.3	77%	25	30
DÍA 13	26.4	26.9	70%	27	34
DÍA 14	26.6	27.3	68%	28	35
DÍA 15	29.1	29.8	53%	24	32

Nota: registro de mediciones de los 15 días de estudio en la oficina de ingeniería industrial.

En la siguiente figura, se ilustran los resultados de los valores obtenidos en la medición de la temperatura en este recinto:

Ilustración 22.

Variación de la temperatura en la Oficina de Ingeniería Industrial.



Nota: se observa la variación de la temperatura durante los 15 días de estudio.

Como últimos registros evidenciados se apreció que entre los días 1 y 6 se marcó un patrón positivo en el aumento de la temperatura, teniendo como temperatura mínima en esos días 27.3° para el día 2, llegando hasta 29.7°C el día 6 como temperatura máxima de este intervalo, durante los días 7, 8 y 9 se vieron cambios drásticos, provocados por la irregularidad de funcionamiento del aire acondicionado que opera allí, dichos cambios mostraron temperaturas mínimas como la del día 7, a 28.1 que llego hasta 30.4°C el día 8, para empezar a descender hasta el día 12, con 25.5°C, este descenso se ve provocado por la presencia de condiciones lluviosas durante estos días. Se finalizaron los registros con un aumento hasta el día 15, que finalizó en 29.8°C. En este caso, el Índice de Calor (ver ilustración 13) se situó entre 32 y 37 IC, catalogado como PRECAUCIÓN EXTREMA, lo que implica que se puede generar fatiga y agotamiento en las personas

que tengan una exposición prolongada en este recinto. A continuación, se expresan las medidas obtenidas de la humedad relativa existente en este espacio

Ilustración 23.

Variación de humedad relativa en la Oficina de Ingeniería Industrial.



Nota: se observa la variación de la humedad relativa durante los 15 días de estudio.

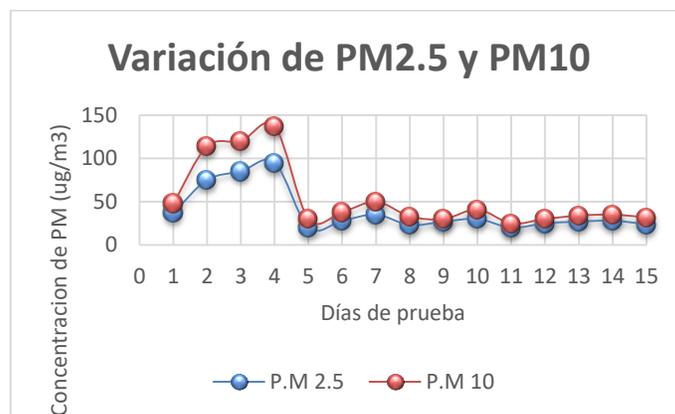
En el caso de la humedad relativa, del día 1 al día 5 se mantuvo una humedad relativa estimada en 42% de HR, ya que el día 6, ascendió a su primer pico correspondiente a 68% de HR, que se produjo por la falta de recirculación de aire, y las condiciones climatológicas de ese día, que fueron calurosas, nuevamente los segundos picos se reflejaron durante los días 11 y 12, con 75% de HR y 77% de HR respectivamente, esto por las condiciones de lluvia presentadas durante esos días que desaparecieron el día 15, para finalizar con 53% de HR en el recinto. Según los criterios del Nivel óptimo de humedad (ver ilustración 15), la mayoría de los niveles registrados se mantiene en el umbral de nivel óptimo, aunque algunas medidas están por debajo de 40% de HR (Humedad Relativa) y otras por encima de 65% lo que supone la posible proliferación

bacterias y ácaros, así como la aparición de infecciones respiratorias por virus y la agravación de alergias y rinitis preexistentes, también pueden darse la aparición de hongos en este lugar, que degradaría las condiciones salubres de este recinto y la de quienes interactúan en él.

Por último, se muestran los registros obtenidos en las mediciones de la concentración de material particulado de PM2.5 y PM10

Ilustración 24.

Variación de la concentración de PM2.5 Y PM10 en la Oficina de Ingeniería Industrial.



Nota: se observa la variación de la concentración de material particulado durante los 15 días de estudio.

Durante los registros obtenidos en la medición de la calidad del aire de este recinto se obtuvo tres mediciones inusualmente altas; el día 1 de medición arrojó 37.87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM2.5 y 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM10, el cual ascendió para el día 2 a 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM2.5 y 114 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM10, esto se produjo a estudiantes de la facultad se encontraban realizando trabajos didácticos, usando la impresora 3D de la Universidad, adicional a esto, el recinto llevaba bastante tiempo sin abrirse, lo que posiblemente pudo ocasionar que se

almacenaran grandes cantidades de polvo y tierra, ya que no se había hecho el aseo pertinente de este espacio en el tiempo que duro cerrado.

Los días 3 y 4 marcaron altas mediciones de concentración de partículas, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM2.5 y $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM10 para el día 3 y $95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM2,5 y $137 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM10 para el día 4, siendo este último, el par de datos más alto durante la medición en todos los espacios, posteriormente el día 5 se obtuvieron datos mucho menores como $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM2.5 y $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM10, el día 7 los valores volvieron a aumentar a $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM2.5 y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM10 como consecuencia del tránsito de personas durante la medición, a partir de allí, los valores tomaron un patrón estable que se estimó entre 25-28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM2.5 y 30-35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM10, el día 15 se finalizó la medida de este espacio con resultados de 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM2.5 y 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10. Teniendo en cuenta el índice de calidad del aire y sus puntos de corte (ver tabla 5), se pudo catalogar la calidad del aire como Aceptable (ver tabla 6), ya que en promedio las mediciones ocuparon un rango entre 13 y 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cabe resaltar que los valores excedentes a este rango, fueron producidos por situaciones totalmente ajenas a la finalidad del recinto, y no reflejan la normalidad de este. Por otra parte, en cuanto a PM10 se catalogó la calidad del aire como Buena, debido a que en promedio las mediciones oscilaron entre 0 y 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, como se mencionó anteriormente, los valores obtenidos fuera de este rango fueron producto de situaciones diferentes a la finalidad de este recinto, por lo que no expresan la realidad de este en su totalidad.

Etapa 3. Implementación del control de material particulado en un recinto cerrado de la Universidad Antonio Nariño utilizando un filtro portátil.

Se realizó la descripción de los componentes utilizados para la elaboración del filtro, caracterizándolos por medio de fichas técnicas, Finalmente se construyeron con ayuda de tecnología de fabricación aditiva con la utilización de la impresora 3D los acoples necesarios para el filtro HEPA a utilizar para concluir con la elaboración del filtro se realizó un diagrama de flujo donde se evidencio el proceso de construcción del filtro, es de vital importancia conocer las características y el funcionamiento de cada una de las piezas que se utilizaron para la elaboración del filtro.

Se colocó el filtro portátil en el sitio seleccionado y se realizó las tomas de calidad de aire al sitio durante 15 días una vez que él filtro este instalado.

Ilustración 25.

Ficha técnica de la impresora Ender-3D.

		FICHA TECNICA DE ELEMENTOS USADOS PARA LA ELABORACION DEL FILTRO	
REALIZADO POR: CRISTIAN ALARCON Y SEBASTIÁN POVEDA		FECHA: 18-03-2021	
MAQUINA - EQUIPO	IMPRESORA 3D	UBICACIÓN:	UAN - VILLAVICENCIO
FABRICANTE	CREALITY 3D	SECCIÓN	UAN - VILLAVICENCIO
MODELO	ENDER 3 3D	CODIGO	
MARCA	CREALITY 3D	INVENTARIO	
CARACTERISTICAS GENERALES			
PESO: 10 kg	ALTURA : 60 CM	ANCHO : 35 CM	LARGO : 16 CM
CARACTERISTICAS TÉCNICAS	FOTO DE LA MAQUINA - EQUIPO		
-Tipo de extrusión: FDM (Sistema Bowden). -Volumen de construcción: 220 x 220 x 250 mm -Diámetro filamento: 1,75 mm -Temperatura máxima extrusor: 255°C -Formatos modelo 3D: STL, OBJ, G-Code -Entrada: AC 100-265V 50-60Hz.- -Salida DC 24V 15A 360W			
FUNCIÓN Este modelo de impresora 3D Open Source , permite imprimir de forma asequible numerosos tipos de filamento : PLA, ABS, PETG, flexible, entre otros en un volumen de impresión por encima del estándar, con un diseño innovador , muy fácil de manipular para realizar cualquier cambio de pieza o mejora, y para trabajar con ella.			

Nota: se observa las características técnicas de la impresora Ender 3D.

Con esta impresora 3D se realizó la fabricación de los acoples para la unión del filtro con el extractor, ya que las partes que conforman el filtro, no coinciden exactamente, por lo que es necesaria la construcción de unos accesorios a medida que puedan complementar el funcionamiento de este. También se puede observar el volumen total que se presenta para la construcción de tecnología aditiva, esta impresora recibe 1.75 mm de diámetro de filamento y su temperatura máxima del extrusor llega a 255 grados centígrados, esta impresora 3D es de imprimir de forma asequible numerosos tipos de filamentos entre lo que se encuentran, PLA, ABS, PETG, FLEXIBLE, estos materiales

presentan un diseño innovador muy fácil de manipular para realizar cualquier cambio de pieza o mejora.

Ilustración 26.

Ficha técnica del extractor de Cocina 110v.

		FICHA TECNICA DE ELEMENTOS USADOS PARA LA ELABORACION DEL FILTRO	
REALIZADO POR: CRISTIAN ALARCON Y SEBASTIAN POVEDA		FECHA: 18-03-21	
MAQUINA - EQUIPO	EXTRACTOR	UBICACIÓN:	UAN - VILLAVICENCIO
FABRICANTE	BROAN	SECCIÓN	UAN - VILLAVICENCIO
MODELO	AN100	CODIGO	
MARCA	BROAN	INVENTARIO	
CARACTERISTICAS GENERALES			
PESO: 750 gr	ALTURA : 18,8 CM	ANCHO : 18,8 CM	LARGO : 12,8 CM
CARACTERISTICAS TÉCNICAS		FOTO DE LA MAQUINA - EQUIPO	
-RANGO OPERATIVO : Capacidad de extracción: 150 m3/hora Nivel de Ruido: 45 dB Conexión a red eléctrica : 110V Consumo eléctrico: 19 Watts Diametro del ducto de evacuación: 125 mm			
FUNCIÓN -Destinado a aspirar y renovar el aire de una estancia, elimina el calor, la humedad, el olor y el polvo. Permite una rápida reducción de los niveles de humedad y evita el crecimiento de moho. El diseño desmontable es conveniente para limpiar fragmentos o suciedad grasa regularmente para aumentar la vida útil.			

Nota: se observa las características técnicas del extractor de cocina de 110v.

El extractor se utilizó como pieza fundamental para poder elaborar el filtro portátil, la función de este extractor es de aspirar y renovar el aire de una estancia, eliminar el calor, la humedad, el olor y el polvo permite una rápida reducción de los niveles de humedad y evita el crecimiento de moho.

Ilustración 27.

Ficha técnica del filtro HEPA.

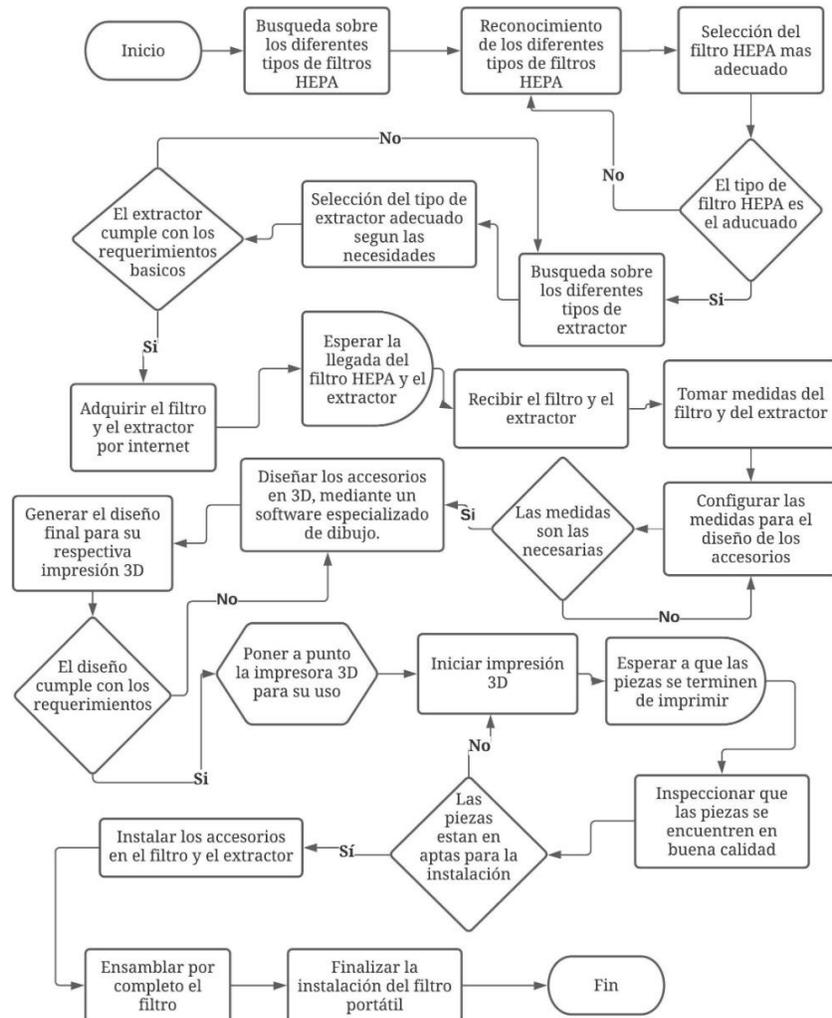
		FICHA TECNICA DE ELEMENTOS USADOS PARA LA ELABORACION DEL FILTRO	
REALIZADO POR: CRISTIAN ALARCÓN Y SEBASTIAN POVEDA		FECHA: 18-03-2021	
MAQUINA - EQUIPO	REPUESTO DE FILTRO	UBICACIÓN:	UAN - VILLAVICENCIO
FABRICANTE	RENPHO	SECCIÓN	UAN - VILLAVICENCIO
MODELO	B082XH4M5Q	CODIGO	
MARCA	RENPHO	INVENTARIO	
CARACTERISTICAS GENERALES			
PESO: 448 gr	ALTURA : 15,7 CM	ANCHO: 19,3 CM	LARGO: 19,3 CM
CARACTERISTICAS TÉCNICAS	FOTO DE LA MAQUINA - EQUIPO		
-Sistema de filtrado de 4 etapas: prefiltro, filtro HEPA verdadero y filtro de carbón activado y filtro de red -Seguro y certificado: sin UV-C, sin ozono dañino.			
FUNCIÓN -Elimina eficazmente el 99,95% de contaminantes transportados por el aire como caspa de mascotas, polvo, olores domésticos, humo de cigarrillos, humo de incendios forestales, polen, alérgenos y partículas pequeñas.			

Nota: se observa las características técnicas de el filtro HEPA13.

El filtro HEPA 13, tiene como función eliminar eficazmente el 99.95% de contaminantes transportados por el aire como caspa de mascotas, polvo, olores domésticos, humo de cigarrillo, humo de incendios forestales, polen, alérgenos y partículas pequeñas, dentro de sus características técnicas tiene un sistema de filtrado de 4 etapas (prefiltros, filtro HEPA verdadero, filtro de cartón activado y un filtro de red).

Ilustración 28.

Diagrama de flujo de la elaboración del filtro portátil HEPA.



Nota: se observa el paso a paso de la construcción del filtro portátil HEPA 13.

En el anterior diagrama de flujo se puede observar el paso a paso de la construcción del filtro portátil, para empezar con la construcción se realiza una investigación sobre la importancia de los diferentes tipos de filtros HEPA que se encuentran en el mercado actualmente, después se hace el reconocimiento de los diferentes tipos de filtros HEPA

para la selección del HEPA 13 que es el filtro más eficiente que se encontró en el mercado, se realizó de manera simultánea, la búsqueda de los diferentes tipos de extractor el cual debe cumplir con los requerimientos básicos para la creación del filtro portátil, estos dos productos se adquirieron por compras en línea los productos duraron 7 días hábiles en ser entregados, cuando se recibió los productos se inicia la adecuación física del filtro, lo primero que se hizo es tomar las medidas de cada uno de ellos para realizar las fichas técnicas que se presentaron anteriormente.

Se diseñaron los accesorios de acople en 3D mediante un software especializado de dibujo Tinkercad, y se realizó la impresión, en la impresora de tecnología aditiva(Anexo G y Anexo H), una vez impresos los acoples(Anexo I y Anexo J) se da la instalación con el filtro y el extractor para la culminación del filtro portátil(Anexo K) que se encarga de la retención de material particulado dentro del recinto del laboratorio de preclínica de la universidad Antonio Nariño de la sede de Villavicencio.

Resultados de las mediciones después de la instalación del filtro.

Luego de ensamblado el filtro se procedió a instalarlo en un recinto para poder comprobar su efectividad de funcionamiento frente a las variables evaluadas, el recinto seleccionado fue la sala de Preclínica Odontológica, como se mencionó anteriormente este espacio es muy importante, en el cual se desarrollan actividades claves de la facultad de odontología, además fue allí donde se obtuvieron los registros bajos en cuanto a las variables de humedad y concentración de material particulado PM2.5 y PM10, por lo cual se decidió realizar las mediciones en dicha sala para poder comprobar los cambios a la

hora del funcionamiento del filtro, cabe resaltar que las mediciones se realizaron por otros 15 días, y los registros obtenidos se relacionan a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 12.

Registro de mediciones en sala de preclínica odontológica con el filtro HEPA instalado.

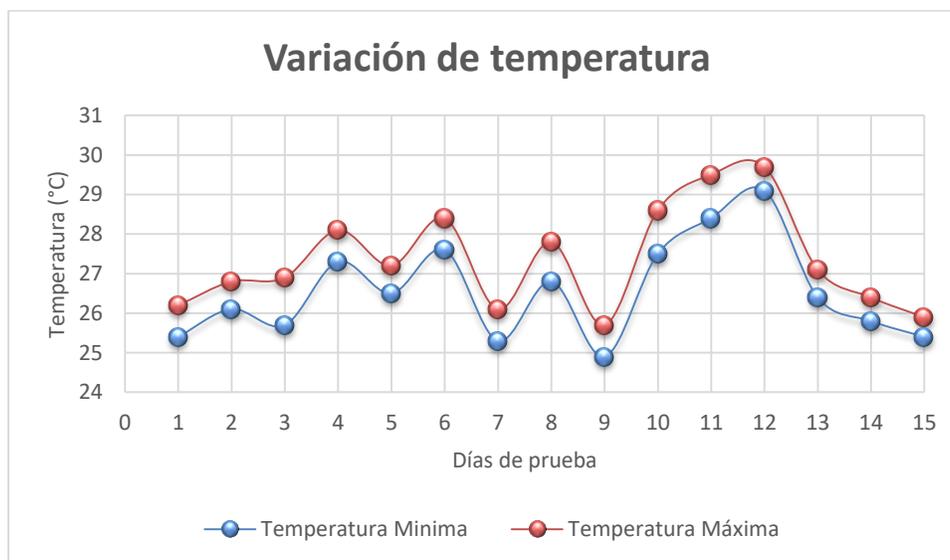
Días de prueba	Temperatura (C°)		%HR	Concentración de material particulado (μ/m^3)	
	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima	Humedad Relativa	P.M 2.5	P.M 10
DÍA 1	25.4	26.2	43%	27	39
DÍA 2	26.1	26.8	38%	40	55
DÍA 3	25.7	26.9	35%	38	46
DÍA 4	27.3	28.1	39%	25	35
DÍA 5	26.5	27.2	40%	20	31
DÍA 6	27.6	28.4	43%	45	60
DÍA 7	25.3	26.1	52%	22	37
DÍA 8	26.8	27.8	51%	19	26
DÍA 9	24.9	25.7	48%	30	45
DÍA 10	27.5	28.6	49%	37	54
DÍA 11	28.4	29.5	53%	29	34
DÍA 12	29.1	29.7	51%	54	62
DÍA 13	26.4	27.1	37%	18	32
DÍA 14	25.8	26.4	42%	21	36
DÍA 15	25.4	25.9	45%	31	47

Nota: se observa el registro de mediciones después de la instalación del filtro portátil HEPA 13.

Con base a estas lecturas y por medio de la siguiente figura, se ilustra la variación de temperatura en el recinto a lo largo de las mediciones con el filtro instalado

Ilustración 29.

Variación de la temperatura en la sala de Preclínica odontológica con el filtro HEPA instalado.



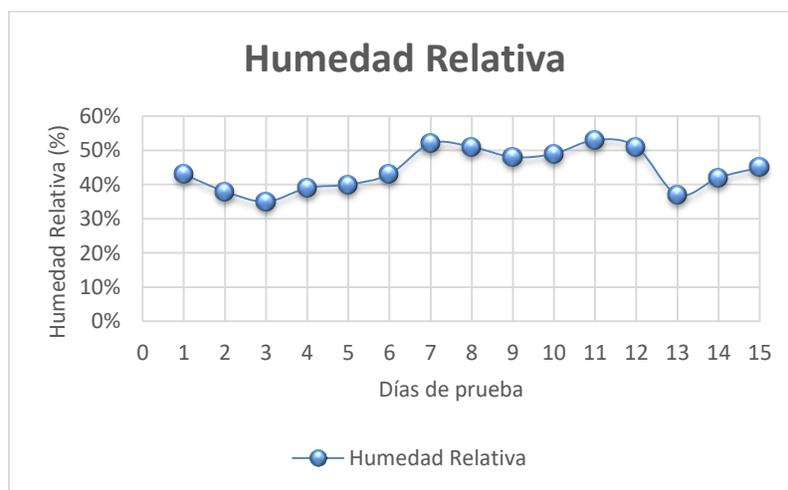
Nota: se observa la variación de la temperatura después de la instalación del filtro.

Inicialmente del día 1 al 4, se presentó un patrón ascendente, partiendo de los 25.4 °C llegando a los 28.1 °C, posteriormente entre los días 5 y 9 se presentaron altas y bajas constantes en la temperatura debido a la presencia de días soleados, los días 6 y 8, con 28.4° C para el día 6 y 27.8 °C para el día 7, también a la presencia de días lluviosos los cuales fueron los días 5,7 y 8, con 26.5 °C el día 5, 25.3 °C para el día 7 y como récord mínimo el día 8 con 24.9 °C, siendo este último fue el dato de la menor temperatura registrada durante las mediciones con el filtro instalado, finalmente se mostró un aumento para los días 10,11 y 12, llegando hasta 29.7 °C el día 12 como récord máximo durante dicha medición, se concluyeron las

mediciones con una disminución de la temperatura notable, descendiendo para el día 15 hasta 25.4 °C, gracias a las condiciones lluviosas de los últimos días de prueba. Con ayuda del Índice de Calor (ver ilustración 13), se pudo catalogar un rango entre 28 y 36 IC (Índice de Calor), lo que puede llegar a clasificarse como PRECAUCION EXTREMA, si bien la mayoría de valores están por debajo de los 32 IC, algunos exceden este umbral, por lo que puede llegar a presentarse fatiga y agotamiento en una exposición prolongada a estas condiciones en el recinto; también se pudo evidenciar cambios en la humedad del medio, los cuales fueron ilustrados en la siguiente figura

Ilustración 30.

Variación de la humedad relativa en la sala de Preclínica odontológica con el filtro HEPA instalado.



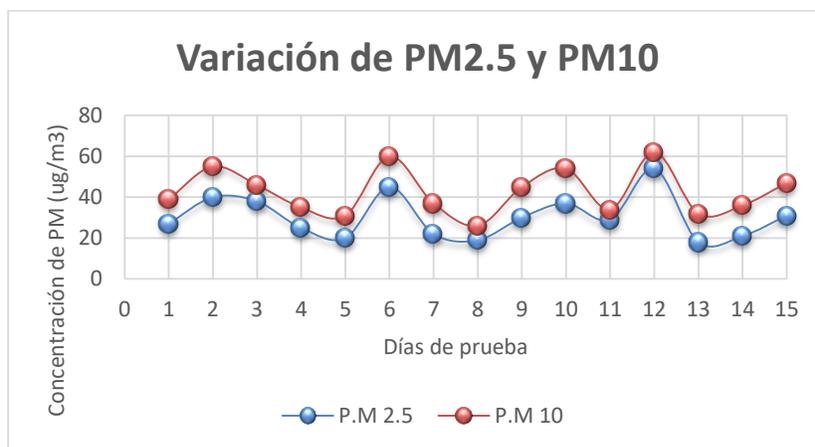
Nota: se observa la variación de la humedad relativa en la sala de preclínica odontológica después de la instalación del filtro.

En el caso de la humedad relativa, los valores fueron mucho más estables y se mantuvieron en un rango entre 35% y 52% de HR (humedad relativa) y se desarrollaron de la siguiente manera, entre los días 1 y 3 se marcó un patrón descendente de 43% a 35% de humedad relativa, posterior a eso los días 4, 5 y 6 se mostraron más estables con 39%, 40% y 43% respectivamente, el día 7 se dio uno de los puntos más altos registrados en esta medición, con un 52% de HR, entre los días 8 y 10, el nivel de humedad se mantuvo casi en 50% HR y repunto a 53%HR el día 11 como el punto de mayor cantidad de vapor de agua registrado en la medición con el filtro instalado, finalmente los días posteriores se registró una disminución de la humedad relativa, con 37% HR para el día 13, 42%HR para el día 14 y 45%HR el día 15. Según el nivel de humedad optimo establecido previamente (ver ilustración 15), la mayoría de registros tomados se ubican en el umbral de humedad optima, en el cual se conservan los niveles de salubridad, aunque algunos datos precisos están por debajo de 40% HR lo que en algún caso probable pueda dar paso a la aparición de ácaros y bacterias y a la complicación de alergias y rinitis.

Por último, se tuvieron las medidas de concentración de partículas en PM2.5 y PM10, las cuales se expresan a continuación por medio de la figura:

Ilustración 31.

Variación de la concentración de PM_{2.5} Y PM₁₀ en la sala de Preclínica Odontológica con el filtro HEPA instalado.



Nota: se observa la variación de Pm 2.5 y Pm 10 en los 15 días de estudio después de la instalación del filtro.

Finalmente se obtuvieron las mediciones de concentración de material particulado en PM_{2.5} y PM₁₀, en las cuales se observó una disminución notable en comparación a las tomas previamente obtenidas sin el filtro (ver ilustración 21), para el día 1 se tuvieron lecturas de 27 µg/m³ en PM_{2.5} y 39 µg/m³ en PM₁₀, muchos menores a las obtenidas en el primer día de mediciones en el mismo recinto sin la utilización del filtro, el día 2 mostraron un aumento a 40 µg/m³ PM_{2.5} y 55 µg/m³ PM₁₀, para descender hasta 20 µg/m³ PM_{2.5} y 31 µg/m³ PM₁₀ el día 5, el día 6 se evidencio un aumento considerable con 45 µg/m³ en PM_{2.5} y 60 µg/m³ en PM₁₀, dichos niveles siguieron descendiendo hasta el día 8 hasta 19 µg/m³ PM_{2.5} y 26 µg/m³ PM₁₀, entre el día 9 y 10 los valores fueron relativamente estables, entre 30 y 37 µg/m³ PM_{2.5} y 45 y 54 µg/m³ PM₁₀, el día 11 los valores fueron bajos también con 29 µg/m³ PM_{2.5} y 34 µg/m³ PM₁₀, el último aumento notable se dio el día 12 con 54 µg/m³ PM_{2.5} y 62 µg/m³ PM₁₀, finalmente los

valores fueron disminuyendo y para el día 15 se culminaron las mediciones con $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{2.5} y $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM₁₀. Mediante el Índice de calidad del aire (ver tabla 5), se pudo categorizar la calidad del aire como Dañina a grupos sensibles en cuanto a concentración de PM_{2.5}, y Aceptable referente a la concentración de PM₁₀ (ver tabla 6), lo que puede dar paso a la aparición de posibles síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles, y las personas con enfermedades cardíacas y pulmonares pueden ver agravados sus síntomas también.

Conclusiones

Se realizó un estudio con formatos de diario de campo y de caracterización de áreas para evaluar las zonas más relevantes de la universidad Antonio Nariño sede Villavicencio, realizando una visita a las instalaciones y además se identificaron los componentes más importantes de la áreas a tratar, todo este estudio se realizó para poder priorizar las áreas de estudio que más benefician a los estudiantes mediante este proyecto de investigación como lo son la oficina de coordinación de ingeniería industrial, el laboratorio de preclínica de odontología y el laboratorio de microbiología cabe recalcar que este laboratorio es muy importante debido a que la materia que se presenta es de uso obligatorio para la sede de Villavicencio meta.

Al finalizar las mediciones sin el filtro instalado, se observó que la calidad del aire en general no es la mejor y puede causar problemas respiratorios y alergias a largo plazo bajo lapsos largos de exposición, además los niveles de humedad relativa encontrados pueden dar paso a la aparición de numerosos tipos de malestares y enfermedades, debido a que se propicia un ambiente ideal para la proliferación de ácaros y bacterias, también, dichos son lugares altamente nocivos para personas con complicaciones cardio-respiratorias previas, lo que hace difícil el uso cómodo y adecuado de estas áreas para el público en general

Finalmente, luego de la instalación del filtro en la sala de Preclínica Odontológica, se pudo notar una disminución en la concentración de material particulado PM_{2.5} de 34.67% y en PM₁₀ de 34.8%, que posiblemente se debió a la alta eficiencia del filtro utilizado que permite atrapar un gran número de partículas circulantes en el

medio, lo cual indica una mejoría notable en la calidad del aire y una reducción importante en la contaminación de material particulado, sin embargo, durante la medición de dichos aspectos, se obtuvieron valores que clasifican el estado del aire como negativo, de lo cual se puede deducir que serán necesarios métodos aún más efectivos para la reducción y control del material particulado.

Recomendaciones

Teniendo en cuenta lo observado en las visitas que se realizaron a la universidad Antonio Nariño sede Villavicencio se aconseja realizar un estudio de acondicionamiento físico en la instalación para cumplir con las buenas prácticas que deben realizar los estudiantes en sus respectivas actividades.

En la realización de este proyecto siempre busco que hubiera una mejora continua, por lo tanto, se recomienda a futuros estudiantes que tengan interés en el proyecto para la complementación del estudio bajo diferentes métodos y el análisis de diferentes zonas que no fueron trabajadas, pero que son de vital importancia para la comunidad de la universidad Antonio Nariño.

Es de vital importancia mantener una temperatura y una humedad relativa constante, especialmente en estos recintos, ya que en ellos se llevan actividades de larga duración y es indispensable mantener un ambiente cómodo y al mismo tiempo libre de contaminación y alérgenos que puedan comprometer la salud de quienes utilizan estos espacios

El uso de métodos de control de material particulado debe ser una constante en espacios cerrados que no cuenten con sistemas de recirculación del aire, ya que el aire recirculado dentro del recinto se tornaría nocivo para las personas en él, llegado a afectar el nivel de salud de sus ocupantes, dependiendo del espacio es recomendable usar 1 o más métodos de control de material particulado en un mismo recinto

Se recomienda a los funcionarios de la universidad Antonio Nariño y al personal encargado de área administrativa el cambio del repuesto de filtro cada 12 meses para el

correcto funcionamiento del filtro portátil HEPA13, puesto que realizarle mantenimiento de otra manera puede comprometer sus propiedades físicas, las cuales son indispensables para el funcionamiento del mismo y el control del material particulado suspendido en el ambiente.

Lista de referencias

- Agencia de Protección Ambiental en Español. (22 de Mayo de 2018). *EPA en Español*.
Obtenido de <https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>
- Alarcón V, L. (2017). Spatial study of the health risk index by inhalation of PM2.5 during the dry season in the metropolitan area of the Toluca Valley. *IAEA*, 58.
- American Psychological Association. (2010). *Manual de Publicaciones de la American Psychological Association* (6 ed.). (M. G. Frías, Trad.) México, México: El Manual Moderno.
- Arciniégas Suárez, C. A. (2012). DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO: PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES Y FRACCIÓN RESPIRABLE PM10*. *Luna Azul*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a12.pdf>
- Arrieta Fuentes, A. J. (2016). Dispersión de material particulado (PM 10), con interrelación de factores meteorológicos y topográficos. *Revistas Uptc*, 8.
- ASHRAE. (2007). *Ventilacion para una Calidad Aceptable de Aire Interior*. Atlanta.
Obtenido de http://www.ditar.cl/archivos/Normas_ASHRAE/T0120ASHRAE-62.1-2007-sp-Ventil-p-CAAI.pdf
- Baena Salazar, D., Jiménez, J. F., Zapata, c. E., & Ramírez Cardona, A. (2019). Artificial neural network applied for the forecast of critical PM2.5 events in the Aburra Valley. *Dyna*, 7.

- Barraza Villarreal, C. A., & Sánchez Quintero, L. M. (2019). *Evaluación de la concentración de material particulado PM10 en la región Norte Centro histórico de la ciudad de Barranquilla*. Barranquilla: Unicosta.
- Barrera Torres, D. C. (2018). *Evaluación de la calidad del aire interior mediante indicadores ecológicos y sociales asociados a la inmisión de material particulado (PM10) en el área de madera del taller de diseño industrial, Universidad el Bosque, sede Usaquén, periodo 2018-2*. Bogotá: Universidad el Bosque.
- Beleño, R., Quijano P, A., & Meléndez G, I. (2013). Actividad mutagénica y genotóxica del material particulado PM2.5 en Cúcuta, Colombia. *MVZ Córdoba*, 14.
- Bustos, C. (2004). *APLICACIÓN DE MODELOS DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA EN LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL: ANÁLISIS DEL PROCESO*. Santiago de Chile: Universidad de Chile. Obtenido de <http://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Bustos,%20Cristian.pdf>
- Carazo Fernández, L., Fernández Alvarez, R., González-Barcalac, F. J., & Rodríguez Portal, J. A. (26 de Enero de 2013). *Archivos de Bronconeumología*. Obtenido de Archivos de Bronconeumología: <https://www.archbronconeumol.org/es-contaminacion-del-aire-interior-su-articulo-S0300289612001196>
- Carrión Esparza, S. M. (2020). *Diseño de un sistema de filtración sustentable para disminuir el riesgo ambiental en la empresa Espatex*. Ecuador: Universidad Técnica del Norte.

- Casallas, A., Celis, N., Ferro, C., & al., e. (2020). Validación de alerta temprana PM 10 y PM 2.5 en Bogotá, Colombia, a través del software de modelado WRF-CHEM. *Environ Sci Pollut Res*, 15.
- Castiblanco Avendaño, C., & Cañón Alfonso, N. (2019). *Prototipo de bajo costo para monitoreo de calidad del aire en ambientes interiores*. Bogotá: Unipiloto.
- Castillo Rodas, D. L. (2020). *Sistema de biofiltro con materiales orgánicos para restablecer la calidad del aire interior*. . Bogotá: Universidad la Gran Colombia.
- Córdova Suárez, M. A., & Gavilánez Barrionuevo, C. S. (2021). *Estimación de la calidad del aire en ambientes interiores en laboratorios químicos de la Universidad Técnica de Ambato utilizando redes neuronales artificiales*. Ecuador: Universidad de Ambato.
- Escobar Jiménez, L., & Vivas Moreno, J. J. (2019). *Evaluación De Las Concentraciones De Material Particulado PM10 Y PM2.5 En El Casco Urbano Del Municipio De Vijesvalle Del Cauca*. Calí: IEEE.
- Extech. (28 de Julio de 2016). *Extech*. (FLIR Company) Obtenido de Extech:
<http://www.extech.com/products/AN100>
- Garcia, C. (16 de Enero de 2020). *Airalia.es*. Obtenido de Airalia.es:
<https://www.airalia.es/blog/los-efectos-de-la-humedad-excesiva-en-la-salud/>
- Gil Carvajal, M. P., & Molina Castellanos, A. C. (2020). Diseño y construcción de un prototipo de columna de lavado destinado al control de material particulado para una vivienda. *Ciencia Unisalle*, 3.

- Gil, L., Cáceres Lillo, D., Quiñones Sepúlveda, L., & Adonis Parraguez, M. (2017). *Contaminación del aire en espacios exteriores e interiores en la ciudad de Temuco*. Chile: Universidad de Chile.
- IDEAM. (2002). Inducción al monitoreo atmosférico.
- Isaza Domínguez, L. G., Hernández Alonso, E. J., Cuellar Guarnizo, J. A., Arango Carrillo, J., & Vargas Guativa, J. A. (2019). Monitoreo de material particulado PM10 y PM2.5 en la ciudad de Villavicencio. *IEEEExplore*, 12.
- Jara Hernández, E. L., & Piraquive Mórtoles, J. S. (2016). *Determinación de la calidad de aire intramural en la clínica veterinaria, Universidad de la Salle*. Bogotá: Universidad de la Salle.
- Junta de Andalucía; Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía. (2016). *Calidad del Aire Interior*. España: Unión Europea.
- Magnet. (15 de Agosto de 2020). *Magnet*. Obtenido de <https://magnet.xataka.com/en-diez-minutos/como-usar-sistemas-ventilacion-purificadores-para-prevenir-contagios-interiores>
- Medina Ramírez, D. (2018). *La calidad del aire en espacios interiores para la vivienda de interés social en la ciudad de Bogotá, D.C.* Bogotá: Universidad Católica.
- Meteo Sant Quirze. (11 de Septiembre de 2018). *Meteo Sant Quirze*. Obtenido de Meteo Sant Quirze: <https://www.meteosantquirze.com/utilidades.htm>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible. (2010). *Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire*. Bogotá. Obtenido de

https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/aire/res_2154_021110_manual_diseno.pdf

Ministerio del Interior. (2015).

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjv8mYm-XwAhXeQjABHSjIB_EQFjAEegQIBBAD&url=https%3A%2F%2Fwww.mininterior.gov.co%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fguia_ambiental_gr-rag1.doc&usg=AOvVaw00hjneSeQlWYsLkVat8Xqz. Bogotá. Obtenido de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjv8mYm-XwAhXeQjABHSjIB_EQFjAEegQIBBAD&url=https%3A%2F%2Fwww.mininterior.gov.co%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fguia_ambiental_gr-rag1.doc&usg=AOvVaw00hjneSeQlWYsLkVat8X

Ministerio del Medio Ambiente. (2015). *Informe del estado de la calidad del aire*.

Bogotá: Ideam.

Muñoz Calle, M. (2015). *Diseño Mecatrónico de un purificador de aire*. Pereira.

Organización Mundial de la Salud. (2018). *10 amenazas a la salud mundial en 2018*.

Febrero.

Peakeep. (Octubre de 2019). *Amazon*. Obtenido de Amazon: https://www.amazon.com/-/es/Peakeep-Hygrometer-Thermometer-Temperature-Indicator/dp/B07X38XH99/ref=cm_cr_arp_d_product_top?ie=UTF8

- Rodriguez Martín, I. (2019). *Diseño y Construcción en las Aulas de un Purificador de Aire con FiltroHEPA (H13)*.
- Segura Contreras, J. F., & Franco, J. F. (2015). Pedestrian exposure to air pollution on routes with heavy vehicular traffic. *Revista Salud Pública*, 6.
- SISAIRE. (27 de Enero de 2020). IDEAM. Obtenido de IDEAM:
http://sisaire.ideam.gov.co/ideam-sisaire-web/aprendizaje.xhtml?de=INDICE_CALIDAD
- Sosa, B., Porta, A., Colman Lerner, J. E., Banda noriega, R., & Massolo, L. (2017). Human health risk due to variations in PM10-PM2.5 and associated PAHs levels. *Atmospheric Environment*, 8.
- Temptop US. (14 de Marzo de 2019). *Temptop US*. Obtenido de Temptop US:
<https://temptopus.com/collections/temptopus-pm2-5-pm10-monitor/products/temptop-p200-air-quality-detector-real-time-display-high-accuracy-pm2-5-pm10-monitor>
- Torreblanca Díaz, D. (Enero de 2016). Tecnologías de Fabricación Digital Aditiva, ventajas para la construcción de modelos, prototipos y series cortas en el proceso de diseño de productos. *Iconofacto*, 12(18). Obtenido de
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6302021>
- Trujillo, J. E., & Caballero, J. E. (2019). *DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS PRESENTES EN EL MATERIAL PARTICULADO PM10 DEL MUNICIPIO DE SAN JOSÉ DE CÚCUTA, NORTE DE SANTANDER*. Cúcuta: Universidad de Pamplona.

Trusens. (10 de Septiembre de 2020). *Trusens*. Obtenido de <https://www.trusens.com/es-mx/news/blog/gu%C3%ADa-de-filtros-hepa-qu%C3%A9-son-y-c%C3%B3mo-funcionan/>

Valbuena Zambrano, D. C., & Díaz Vallejo, Y. G. (2019). *Lineamientos de la medición de la calidad del aire en cuanto Material Particulado (PM10) y su implementación en programas de seguimiento y monitoreo*. Bogotá: Universidad Francisco José de Caldas.

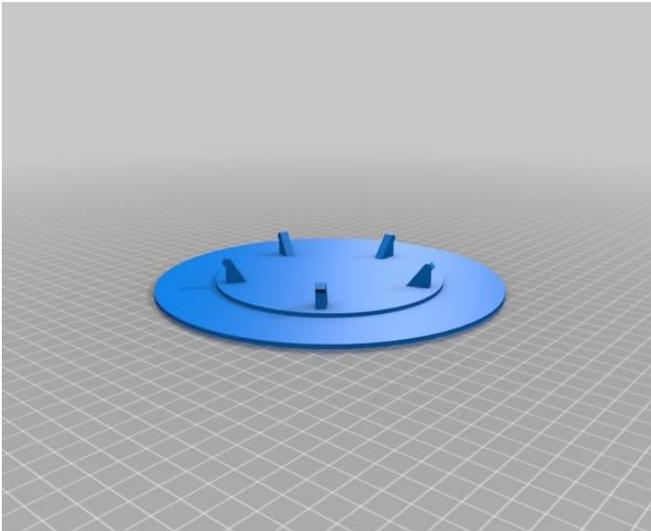
Vásquez Bedoya, M., & Arroyavé Maya, M. d. (2019). Ranking Of Tree Species According To Their Ability To Remove Air Particulate Matter In The Aburrá Valley. *EIA*, 12.

Wasim Javed, A. S., Wexler Ghulam, M., Hamaad, Ahmad R, S., & M.A, B. (2015). Spatial, temporal and size distribution of particulate matter and its chemical constituents in Faisalabad, Pakistan. *Atmósfera*, 17.

Anexos

Anexo A.

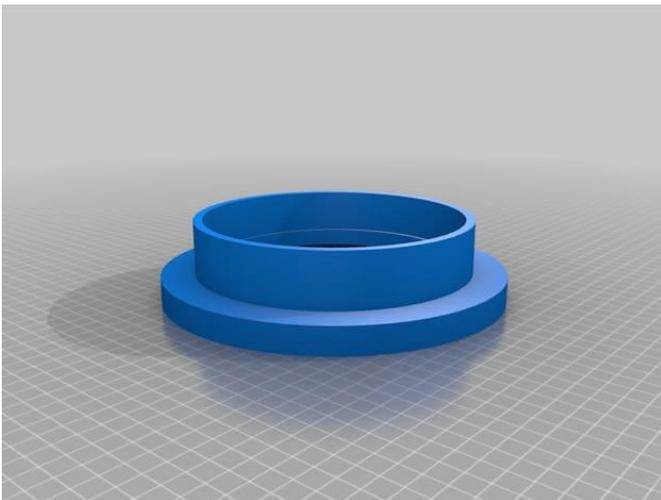
Imagen del diseño de la tapa del filtro HEPA 13.



Fuente: propia

Anexo B.

Imagen del diseño del acople del filtro portátil HEPA 13.



Fuente: propia

Anexo C.

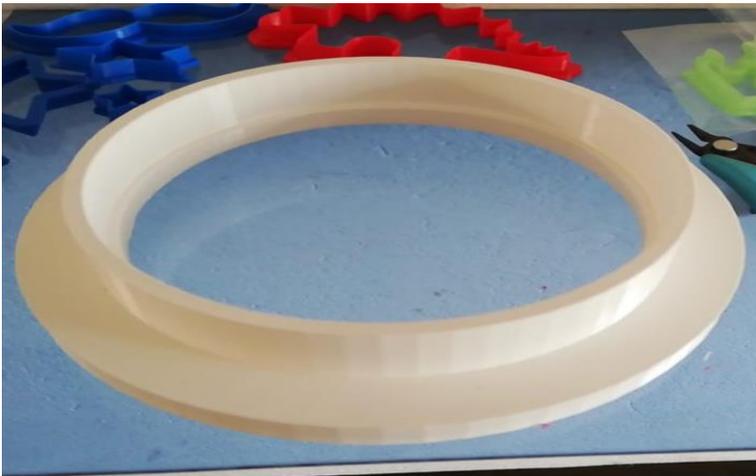
Imagen de la impresión de la tapa del filtro.



Fuente: propia

Anexo D.

Imagen de la impresión del acople del filtro portátil.



Fuente: propia

Anexo E.

Imagen del filtro portátil HEPA 13.



Fuente: propia