

DISEÑO DE UN SISTEMA DE PURIFICACIÓN DE AIRE EN UN CASCO PARA  
CICLISTA

DAVID PÉREZ ROJAS  
DIEGO FERNANDO TORRES SALCEDO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2020

DISEÑO DE UN SISTEMA DE PURIFICACIÓN DE AIRE EN UN CASCO PARA  
CICLISTA

DAVID PÉREZ ROJAS  
DIEGO FERNANDO TORRES SALCEDO

Proyecto Integral de grado para optar al Título de  
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2020

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Bogotá, 05 de Julio de 2019

## DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCIA- PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Secretaria General

Dra. ALEXANDRA MEDINA GUZMAN

Decano General Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CESAR FIENTES ARISMENDI

Director del Programa Ingeniería Mecánica

Ing. CARLOS MAURICIO VELOZA VILLAMIL

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por las ideas y conceptos emitidos en el presente documento.

Estos corresponden únicamente a los autores.

Los autores expresan sus agradecimientos a:  
Nuestras familias, por su comprensión y ayuda.

## CONTENIDO

	pág.
1. CARACTERÍSTICAS DEL AIRE EN BOGOTÁ	20
2. REQUISITOS Y PARÁMETROS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO	27
2.1 SISTEMA ESTRUCTURAL	29
2.1.1 Adaptabilidad a los subsistemas B, C, D y E	29
2.1.2 Norma Técnica Colombiana 5239 (NTC 5239)	29
2.2 SISTEMA DE CAPTACIÓN	33
2.2.1 Velocidad de entrada del viento	34
2.2.2 Velocidad que alcanza un ciclista promedio	34
2.2.3 Sistema desechable y rompimiento fácil	35
2.2.4 Sistema de adhesión del dispositivo al casco	36
2.2.5 Cantidad de aire que respira un humano	36
2.3 SISTEMA DE PURIFICACIÓN	37
2.3.1 Partículas por remover	38
2.3.2 Restricción de flujo de aire generada por los filtros	38
2.4 SISTEMA DE TRANSPORTE	39
2.5 SISTEMA DE SUMINISTRO	40
2.5.1 Medidas estándar de morfología de la máscara y el casco	41
3. DISEÑO CONCEPTUAL Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	42
3.1 SISTEMA ESTRUCTURAL	42
3.1.1 Subsistema de Soporte	42
3.1.2 Subsistema de Acople	45
3.2 SISTEMA DE CAPTACIÓN	48
3.2.1 Geometría Circular	49
3.2.2 Geometría Ovalada	49
3.2.3 Geometría Semi-circular	50
3.3 SISTEMA DE PURIFICACIÓN	54
3.3.1 Filtro Seco	54
3.3.2 Filtro de Carbón activado	57
3.4 SISTEMA DE TRANSPORTE	58
3.4.1 Manguera	59
3.4.2 Acople entre manguera y sistema de captación	60
3.5 SISTEMA DE SUMINISTRO	62
4. DESARROLLO DEL SISTEMA DE PURIFICACIÓN DE AIRE	69
4.1 SISTEMA ESTRUCTURAL	69
4.2 SISTEMA DE CAPTACIÓN	72
4.3 SISTEMA DE PURIFICACIÓN	77
4.4 SISTEMA DE TRANSPORTE	85
4.5 SISTEMA DE SUMINISTRO	86

5. SIMULACIÓN	88
6. PLANOS	100
7. MANUAL GENERAL DEL USUARIO	103
7.1 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA	103
7.2 SEGURIDAD	105
7.3 INSTALACIÓN	107
7.4 OPERACIÓN	109
7.5 MANTENIMIENTO	111
8. IMPACTO AMBIENTAL	113
9. COSTOS DEL PROYECTO	115
10. CONCLUSIONES	119
11. RECOMENDACIONES	121
BIBLIOGRAFIA	122
ANEXOS	124



## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Aumento de material particulado y casos de crisis respiratorias	21
Gráfica 2. Mapa de distribución de material particulado	23
Gráfica 3. Imagen de rosa de Vientos	34
Gráfica 4. Presión atmosférica reportada en base aeropuerto El Dorado	79
Gráfica 5. Gráfica de Velocidades al interior del túnel	92

## LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Relación de tamaño de las partículas PM	22
Imagen 2. Lugar de afectación en el cuerpo humano	24
Imagen 3. Bosquejo del subsistema de acople tipo riel	46
Imagen 4. Bosquejo del subsistema de acople tipo riel con curvatura	46
Imagen 5. Bosquejo del subsistema de acople tipo riel recto	47
Imagen 6. Sistema de captación con entrada circular	49
Imagen 7. Sistema de captación con entrada ovalada	50
Imagen 8. Sistema de captación con entrada semi-circular	50
Imagen 9. Geometría Final	53
Imagen 10. Catalogo 3M	55
Imagen 11. Filtro de partículas P3 R, 5935	56
Imagen 12. Sistema purificador	58
Imagen 13. Sistema purificador	60
Imagen 14. Bosquejo acople geometría circular	61
Imagen 15. Bosquejo acople geometría ovalada	61
Imagen 16. Bosquejo Acople geometría semi-circular	62
Imagen 17. Máscara BASE CAMP Urban	63
Imagen 18. Máscara BASE CAMP SPY	63
Imagen 19. Máscara BASE CAMP Dust mask 1	64
Imagen 20. Sistema estructural	69
Imagen 21. Casco, sistema estructural	70
Imagen 22. Cinta VHB 5952	70
Imagen 23. Diseño final Riel Curvo	71
Imagen 24. Sistema de Captación.	72
Imagen 25. Sistema de Purificación	77
Imagen 26. Ubicación de las variables	78
Imagen 27. Diagrama ubicación de puntos sobre el sistema de captación	80
Imagen 28. Esquema de fuerzas sobre sistema de captación	81
Imagen 29. Coeficientes de arrastre simplificados según geometría	82
Imagen 30. Catálogo de Resortes	83
Imagen 31. Resorte Seleccionado	83
Imagen 32. Riel modificado	84
Imagen 33. Sistema de Transporte	85
Imagen 34. Manguera	85
Imagen 35. Sistema de Suministro	86
Imagen 36. Adaptación con ultrasonido al sistema de suministro	87
Imagen 37. Vista en corte de sistema estructural y de captación	89
Imagen 38. Enmallado del Sistema	89
Imagen 39. Gráfica de Vórtices generados por el sistema estructural	91
Imagen 40. Puntos de muestreo	91
Imagen 41. Plano Túnel de viento	100

Imagen 42. Plano explosionado del sistema	101
Imagen 43. Plano Riel	102
Imagen 44. Vista Lateral	103
Imagen 45. Vista Superior	104
Imagen 46. Antihumedad	105
Imagen 47. Limpieza	105
Imagen 48. Acople manguera con máscara	105
Imagen 49. Manguera limpia	106
Imagen 50. Túnel libre de obstrucción	106
Imagen 51. Acople manguera con túnel de viento	106
Imagen 52. Ubicación riel en el casco	107
Imagen 53. Ensamble riel-túnel del viento	107
Imagen 54. Instalación portafiltro	108
Imagen 55. Orificio de salida del flujo de aire	108
Imagen 56. Conexión mangueras con máscara	108
Imagen 57. Ubicación del sistema	109
Imagen 58. Sistema de sujeción de la máscara	109
Imagen 59. Cambio de filtro	110

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Atributos IBOCA	23
Tabla 2. Tallas de Cabezas de Ensayo	31
Tabla 3. Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana	41
Tabla 4. Características del filtro Isoprefil	58
Tabla 5. Caracterización según cada tipo de manguera	59
Tabla 6. Factor de usuario	74
Tabla 7. Cambio de Diámetro	74
Tabla 8. Pérdida de carga por acoples	74
Tabla 9. Factor pérdida de carga	75
Tabla 10. Factor de dinámica climática	75
Tabla 11. Parámetros de velocidad de entrada del aire para simulación	88
Tabla 12. Elementos necesarios para la simulación	90
Tabla 13. Número de elementos y nodos	90
Tabla 14. Solver	92
Tabla 15. Datos resultantes de simulación en punto 1 (Entrada)	93
Tabla 16. Datos resultantes de simulación en punto 2 (Pre Filtro)	94
Tabla 17. Datos resultantes de simulación en punto 3 (Post Filtro)	95
Tabla 18. Datos resultantes de simulación en punto 4 (Salida)	96
Tabla 19. Eficiencia	98
Tabla 20. Comparación con respiración natural	99
Tabla 21. Matriz Leopold	113
Tabla 22. Análisis financiero caso 1	116
Tabla 23. Análisis financiero caso 2	117

## LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Requisitos y parámetros fundamentales para el diseño	28
Cuadro 2. Tabla requisitos y parámetros fundamentales sistema estructural	29
Cuadro 3. Tabla requisitos y parámetros fundamentales sistema de captación	33
Cuadro 4. Tabla requisitos y parámetros fundamentales sistema purificación	37
Cuadro 5. Tabla requisitos y parámetros fundamentales sistema transporte	39
Cuadro 6. Tabla requisitos y parámetros fundamentales sistema suministro	40
Cuadro 7. Subsistemas del Sistema Estructural	42
Cuadro 8. Tipos de cascos de ciclista según disciplina	43
Cuadro 9. Parámetros de diseño por cada tipo de casco	45
Cuadro 10. Parámetros de diseño por cada tipo de riel	48
Cuadro 11. Tipos de geometría del S. Captación	49
Cuadro 12. Caracterizaciones alternativas Sistema de captación	51
Cuadro 13. QFD selección de geometría S. Captación	52
Cuadro 14. Factores sistema de purificación	54
Cuadro 15. Resumen Norma UNE- EN 143	54
Cuadro 16. Generalidades del carbón activado	57
Cuadro 17. Subsistemas Sistema de transporte	59
Cuadro 18. Caracterización según cada tipo de máscara	66
Cuadro 19. Características Máscara BASE CAMP URBAN.	66
Cuadro 20. Tabla resumen de alternativas de solución	67
Cuadro 21. Lista de partes, vista lateral.	103
Cuadro 22. Lista de partes, vista superior.	104
Cuadro 23. Tabla de fallas	111
Cuadro 24. Impacto Ambiental	114

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Plano Acople	126
Anexo B. Plano Túnel de Viento	127
Anexo C. Plano Explosionado	128
Anexo D. Plano Porta Filtro	129
Anexo E. Plano Riel	130

## **GLOSARIO**

**CASE:** elemento del sistema de purificación que soporta la unidad de filtración y purificación.

**FILTRACIÓN:** impedir el paso de partículas sólidas a través de un proceso.

**PM10:** partículas sólidas suspendidas en el aire cuyo tamaño de partícula es igual o inferior a 10 micras.

**PM2,5:** partículas sólidas suspendidas en el aire cuyo tamaño de partícula es igual o inferior a 5 micras.

**PURIFICACIÓN:** eliminar las impurezas que se encuentran en el aire

## RESUMEN

La calidad del aire es un tema profundamente hablado en la población colombiana, en especial por los usuarios de bicicleta que se transportan diariamente hacia su trabajo en la ciudad de Bogotá. El trabajo de grado está enfocado en la creación de un sistema que purificará el aire que recibe el usuario de bicicleta en la ciudad de Bogotá, donde se realiza un análisis de la calidad del aire en la capital colombiana para determinar cuáles son las partículas nocivas presentes en el aire y se selecciona la metodología correspondiente para el diseño del sistema purificador, que estará dividido en cinco subsistemas, con el fin de identificar cada función que realiza el sistema purificador de aire; el subsistema estructural, como su nombre lo dice, soportara la estructura total del sistema de purificación de aire compuesto por un dispositivo encargado de recibir y captar el aire para que a su vez el sistema de purificación cumpla su función importante de filtrar y purificar el aire para ser transportado hacia la máscara, delegada para entregar el aire purificado al usuario. Además, se evalúa la eficiencia por medio de la utilización de un software de fluidos, seguido de sus respectivos planos, manuales y una evaluación financiera de lo que costaría la realización y fabricación del proyecto. Por último, se genera un impacto positivo en la salud previniendo enfermedades respiratorias agudas, causadas principalmente por las partículas nocivas suspendidas en el aire en la ciudad de Bogotá.

**Palabras clave:** Filtración, purificación, partículas nocivas, enfermedades respiratorias agudas.



## **Abstract**

Air quality is a topic that is highly discussed by the Colombian population, especially by bicycle users who daily ride their bikes to go to their jobs in the city of Bogotá. The degree work is focused on the creation of a system that will purify the air received by the bicycle user in the city of Bogotá, where an analysis of the air quality in the Colombian capital is carried out to determine which are the nocive particles present in the air and the corresponding methodology is selected for the design of the purification system, which it will be divided into five subsystems, in order to identify each function that the air purification system performs; the structural subsystem, as its name says, will support the whole structure of the air purification system composed of a device in charge to receive and capture the air , then the purification system will accomplish its important function of filtering and purifying the air to be transported to the mask, delegated to deliver the purified air to the user. In addition, the efficiency is evaluated by using a fluid software, followed by their respective planes, manuals and a financial evaluation of what it would cost to develop and manufacture the Project. Finally, a positive impact on health is generated by preventing critical respiratory diseases, caused mainly by harmful particles suspended in the air in the city of Bogotá.

**Keywords:** Filtration, purification, hamful particles, critical respiratory diseases

## **INTRODUCCIÓN**

Bogotá está beneficiada por su ubicación geográfica, al encontrarse en la parte superior de una meseta, logra disipar un poco de los contaminantes generados diariamente por la urbe, sin embargo, los vientos que disipan esta nube de gases nocivos no son suficiente para la gran cantidad de agentes contaminantes que diariamente hacen su aporte al ya dañado ambiente de la capital de los colombianos.

Para la mitigación de este inconveniente se plantea una solución adaptable a cualquier casco de ciclista, que genere a partir del propio movimiento de la actividad física la solución al problema mencionado.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema de purificación de aire en un casco para ciclista.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar la calidad del aire actual en la ciudad de Bogotá.
- Determinar requisitos y parámetros funcionales para el diseño.
- Plantear diseño conceptual y alternativas de solución.
- Desarrollar el diseño del sistema purificador de aire.
- Determinar la eficiencia del sistema con un software de modelamiento para fluidos.
- Elaborar planos constructivos.
- Elaborar manuales de instalación, operación, mantenimiento y seguridad.
- Evaluar impacto ambiental del proyecto.
- Realizar evaluación financiera del proyecto.

## 1. CARACTERÍSTICAS DEL AIRE EN BOGOTÁ

Bogotá, durante los últimos años ha percibido un cambio drástico en sus condiciones climáticas y ambientales. Con la proliferación de industrias sin control y la mala calidad de los combustibles que llegan a la capital se ha ido generando unas condiciones poco favorables a la respiración humana.

Las condiciones poco favorables vienen desde la presencia de contaminantes altamente nocivos para la vida humana y llegan hasta a generar cambios en el clima de la capital, dichos cambios ya son perceptibles a simple vista cuando se observa el centro de la capital; lugar donde la polución de la capital comienza a ser más evidente en horas de la mañana, cuando la nube de smog no deja apreciar algunos edificios de la mencionada localidad.

Para determinar la importancia del presente trabajo de grado se pretendió analizar en primera medida, qué tipo de contaminación se puede encontrar en Bogotá, individualizarla y categorizarla por tipo de peligrosidad. Una vez se cumplió con este punto se procedió a ubicarla geográficamente en el mapa de la capital con el fin de conocer la necesidad real de los usuarios finales del proyecto.

Por último, se relaciona en el documento investigaciones afines a impactos reales y documentados sobre la inhalación de los contaminantes que se encontraron en Bogotá y cómo los mencionados terminan generando afectaciones a la salud más peligrosas de lo pensado.

En Bogotá existe un organismo gubernamental que controla el aire de los capitalinos, este ente de control le reporta a la alcaldía de Bogotá todo acerca del aire que respiran los capitalinos y visitantes de la principal ciudad de Colombia.

La secretaria de ambiente de Bogotá es el organismo de control para reglamentar los aspectos relevantes del medio ambiente capitalino, la alcaldía, por medio de este organismo desarrolla medidas basándose en los estudios del aire de la capital.

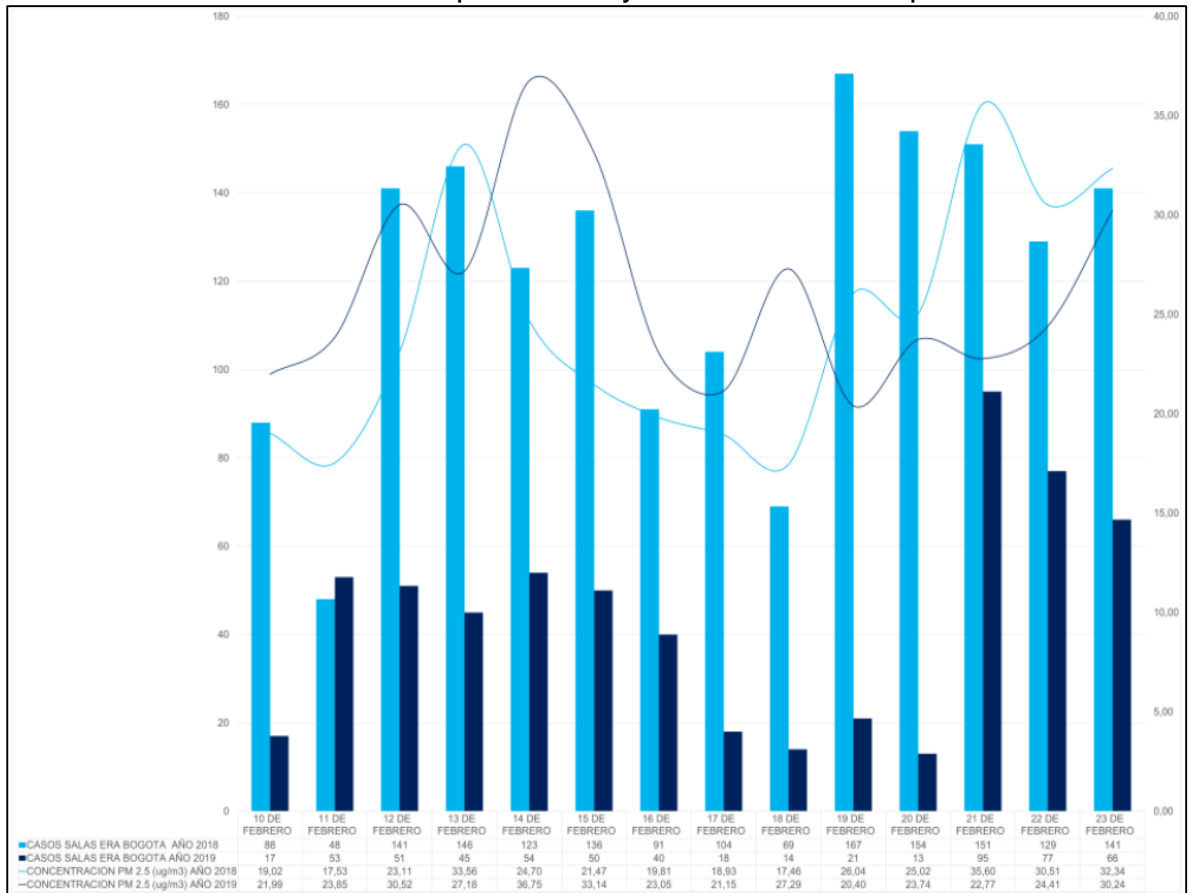
En el estudio del aire de la capital es analizado cada hora mediante unos sensores que se encuentran distribuidos a lo largo y ancho de la capital con más de 150 sensores que analizan los contaminantes presentes en el aire.

El presente trabajo de grado se basa en el estudio del IBOCA, que arrojó, según el estudio de la calidad del aire de lo que lleva del año que en dos oportunidades se ha excedido el nivel de contaminantes permitidos para que la respiración humana no sea riesgosa sin ningún medio externo de filtración. El estudio mencionado titulado ANÁLISIS Y ACTUACIONES EN EL MARCO DE LA ALERTA POR CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN BOGOTÁ relaciona la cantidad de contaminantes particulados y su relación directa con las enfermedades pulmonares reportadas en los principales centros de salud de la ciudad.

El estudio desarrollado por la secretaría de ambiente afirma:

“Las concentraciones de material particulado PM2.5 para los días 15 y 16 de febrero se encontraban entre 33 y 36  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio 24 horas siendo los más altos durante toda la alerta, y se evidencia un aumento de casos atendidos en salas ERA 5 días después (21-23 de febrero), lo cual sugiere una posible relación entre ambos eventos, coherente con la literatura científica que evidencia un atraso de 3 a 7 días entre la exposición a aire contaminado y efectos respiratorios.”

Gráfica 1. Aumento de material particulado y casos de crisis respiratorias



Fuente: ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ Análisis y actuaciones en el marco de la alerta por contaminación del aire en Bogotá. [Consulta: 15 de junio 2019] Disponible en: [http://saludata.saludcapital.gov.co/osb/wpcontent/uploads/2019/03/Boletin\\_por\\_alerta\\_calidad\\_del\\_aire.pdf](http://saludata.saludcapital.gov.co/osb/wpcontent/uploads/2019/03/Boletin_por_alerta_calidad_del_aire.pdf)

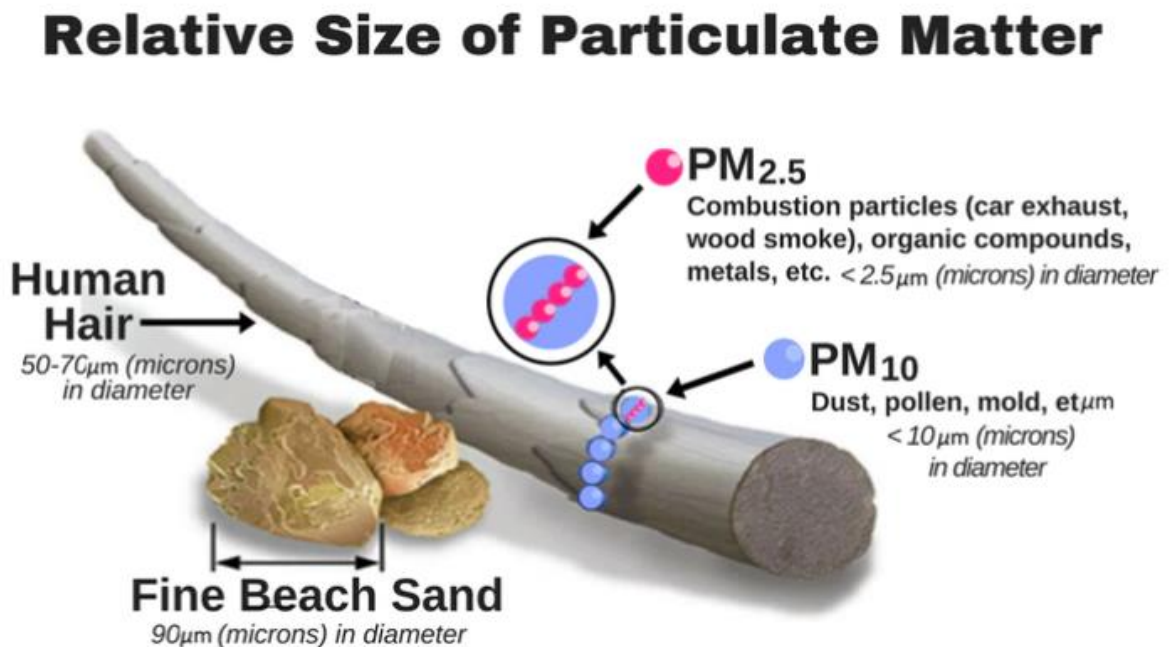
De manera explicativa el estudio mencionado relaciona directamente los casos reportados en salas ERA, con la alerta amarilla emitida 5 días antes, tiempo en el cual el material particulado inhalado durante el mencionado evento ambiental generó alteraciones a la salud de los pacientes.

La descrita relación se puede apreciar en la gráfica 1, esta relación directa de aumento de material particulado y el aumento de casos de crisis respiratorias es la

principal razón del por qué debe tratarse un medio de mitigación de este tipo de material de la respiración de los capitalinos.

Ahora bien, las partículas PM<sub>2.5</sub> no son las únicas nocivas en el ambiente de Bogotá, existen otras partículas como la PM<sub>10</sub> que también afectan la respiración humana, sin embargo, la remoción de las partículas PM<sub>2.5</sub> automáticamente genera la eliminación de las PM<sub>10</sub> del ambiente debido a la filtración por tamaño. Es importante recordar que las partículas mencionadas y su número se debe a su tamaño como se puede apreciar en imagen 1.

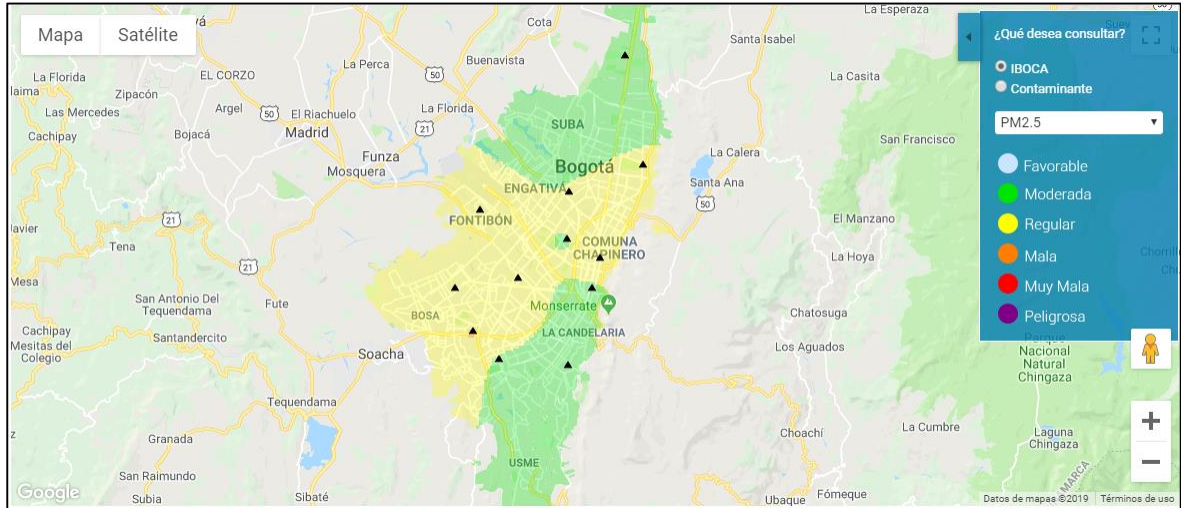
Imagen 1. Relación de tamaño de las partículas PM



Fuente: UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY [sitio web] What is PM, and how does it get into the aire [consulta: Imagen 10 de marzo 2019] Disponible en <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>

A su vez es importante destacar que la concentración del material particulado que relacionan en el mencionado estudio aumenta su concentración en la región sur occidental de la capital (Gráfica 2), principal consecuencia de la instalación de fábricas en la región y al elevado tráfico de camiones impulsados con motores Diesel.

Gráfica 2. Mapa de distribución de material particulado.



Fuente: IBOCA [sitio web] Bogotá. Ambiente Bogotá [consulta: 20 de julio 2019] Disponible en <http://iboca.ambientebogota.gov.co/mapa/>

En la resolución 2410 de 2015 “Por medio de la cual se establece el Índice Bogotano de Calidad del Aire” se da inicio al mencionado IBOCA, el cual a partir de la fecha de expedición de la resolución reglamentó los valores críticos para manejo de crisis medioambientales, estos atributos se pueden apreciar en la tabla 1:

Tabla 1. Atributos IBOCA.

Atributos del IBOCA				Rangos de concentración y tiempo de exposición para cada contaminante <sup>1</sup>					
Rangos numéricos	Color	Estado de calidad del aire	Estado de actuación y respuesta <sup>2</sup>	PM 10, 24h (µg/m³)	PM 2.5, 24h (µg/m³)	O <sub>3</sub> , 8h (µg/m³) [ppb]	CO, 8h (µg/m³) [ppm]	SO <sub>2</sub> , 1h (µg/m³) [ppb]	NO <sub>2</sub> , 1h (µg/m³) [ppb]
0 - 10	Azul claro	Favorable	Prevención	(0-54)	(0-12)	(0-116) [0-59]	(0-5038) [0-4.4]	(0-93) [0-35]	(0-100)
10,1 - 20	Verde	Moderada	Prevención	(55-154)	(12.1-35.4)	(117-148) [60-75]	(5039-10762) [4.5-9.4]	(94-198) [36-75]	(101-188)
20,1 - 30	Amarillo	Regular	Alerta Amarilla	(155-254)	(35.5-55.4)	(149-187) [76-95]	(10763-14197) [9.5-12.4]	(199-486) [76-185]	(189-677) [101-360]
30,1 - 40	Naranja	Mala	Alerta Naranja	(255-354)	(55.5-150.4)	(188-226) [96-115]	(14198-17631) [12.5-15.4]	(487-797) [186-304]	(678-1221) [361-649]
40,1 - 60	Rojo <sup>3</sup>	Muy Mala	Alerta Roja <sup>3</sup>	(355-424)	(150.5-250.4)	(227-734) [116-374]	(17632-34805) [15.5-30.4]	(798-1583) [305-604]	(1221-2349) [650-1249]
60,1 - 100 <sup>4</sup>	Morado	Peligrosa	Emergencia	(425-604)	(250.5-500.4)	(734-938) [374-938]	(34806-57703) [30.5-30.4]	(1584-2630) [605-1004]	(2350-3853) [1250-2049]

Fuente: IBOCA [sitio web] Bogotá. Ambiente Bogotá Disponible en <http://www.icde.org.co/noticias/Indice-Bogotano-de-Calidad-de-Aire-IBOCA> imagen 20 de julio 2019

La información expresada en la tabla 1, permite conocer los parámetros de concentración con los cuales se da una alerta amarilla en Bogotá, como se demostró el pasado 15 de febrero de 2019 en la capital. Estos valores serán importantes a lo largo del estudio pues los casos planteados serán analizados con la peor de las

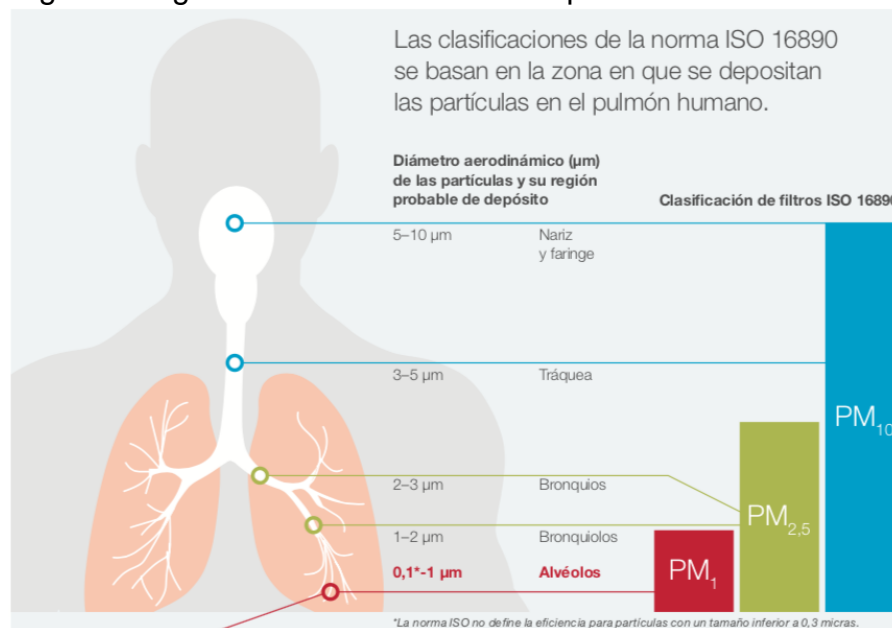
crisis ambientales que ha atravesado la ciudad en los últimos años; cuando la concentración de partículas PM2.5 presentes en el aire superó los 35 µg/m3 y se decretó la alerta amarilla.

## Afectación a la salud

Las partículas PM2.5 mencionadas anteriormente y cuya presencia ha sido comprobada por los diferentes estudios planteados afecta severamente la salud de las personas que las respiran toda vez que el tamaño de sus partículas es tan pequeño que pasa fácilmente a través de las barreras naturales de las vías respiratorias y en algunos casos llegan a pasar hasta el torrente sanguíneo de las personas.<sup>1</sup>

El tamaño de las partículas es el factor fundamental para determinar el grado de afectación al ser humano, es por eso que se presenta la imagen 2, que muestra de manera detallada el lugar de afectación de las partículas mencionadas.

Imagen 2. Lugar de afectación en el cuerpo humano.



Fuente. AAF [Sitio web] Las Clasificaciones ISO 16890 [Consulta: 11 de marzo 2019] Disponible en <https://www.aafintl.com/es-es/commercial/solutions-offered/iso-16890>

<sup>1</sup> Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM). EPA Recuperado de <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm> el día 04/11/2019.



Llevando este escenario a la vida diaria de la capital colombiana, en donde los ciclistas deben hacer desplazamientos de hasta 30 km diarios para ir y volver de sus lugares de estudio/trabajo, encontramos que la exposición a estas partículas puede llegar a desencadenar serias afecciones pulmonares como lo demuestra el estudio de (Weuve et al., 2012), cuyo estudio refleja que el escenario de contaminación planteado puede llevar a enfermedades cardiovasculares<sup>2</sup>, desórdenes respiratorios, enfermedades pulmonares<sup>3</sup> y problemas cognitivos.

La estrecha relación entre estas partículas y las graves condiciones de salud que las acompañan ha sido descrita también por (Gaviria G., Benavides C., & Tangarife , 2011). Quienes, en un estudio sobre la población de Medellín, donde se realizó un balance en las consultas médicas relacionadas a afecciones como asma, bronquitis, infecciones respiratorias y rinitis aumenta en áreas afectadas por fuertes cantidades de material particulado PM 2.5.

Igualmente, del estudio de (Carlos Gaviria et al.) es posible hacer una correlación formal entre la presencia de éstas partículas y las enfermedades respiratorias más severas, hasta se puede suponer que de ser removidas en su totalidad del aire respirado se podría evitar enfermedades de repercusiones mucho mayor como lo es el cáncer pulmonar, por lo que se abre paso a la discusión para la investigación de la hipótesis planteada.

### **Peligrosidad por tamaño**

Para el presente estudio es muy importante analizar y cualificar las partículas que pueden convertirse en un peligro para la salud de los ciclistas, por eso se considera relevante para la continuación del presente diseño el concepto de la relación del tamaño de las partículas y su grado de peligrosidad para los pulmones de los habitantes de las grandes urbes colombianas, donde un estudio explica la relación entre las partículas finas PM 2.5 y respirables PM 10 en la ciudad de Medellín<sup>4</sup>, cómo afectan los contaminantes presentes en el aire diferenciando su peligrosidad por el tamaño de sus partículas, en el artículo de los anteriormente mencionados encontramos que diferencian las partículas así:

“En general aquellas de diámetro aerodinámico mayor de 2 a 5 micrómetros no penetran muy profundamente en los pulmones pues son interceptadas por los pelos nasales o se quedan en las membranas mucosas de los pasajes orales o en la tráquea, y son después tragadas o expectoradas. Las partículas muy pequeñas (menores que 0.1  $\mu\text{m}$ ) tienden a depositarse en el árbol traqueo-bronquial por

---

<sup>2</sup> Middleton et al., 2008; Galimanis et al., 2009; Burnett et al., 2014; Du et al., 2016

<sup>3</sup> Cowie et al., 2010; Song et al., 2014)[5] y hasta problemas cognitivos (Weuve et al., 2012)

<sup>4</sup> (Echeverry Londoño & Maya Vasco, 2008)

difusión, y entonces son removidas de la misma manera que las partículas grandes. Pero las partículas en el intervalo de tamaño de 0.1 a 3  $\mu\text{m}$  pueden penetrar muy profundo en los pulmones y después son depositadas en los bronquiolos respiratorios o en los sacos alveolares. Muchos estudios epidemiológicos indican una alta correlación entre las partículas y enfermedades respiratorias como bronquitis, asma, enfisema, pulmonía y enfermedades cardíacas (Navarro, 1981).

Partículas menores de 10 micrómetros de diámetro (PM10) pueden entrar y quedar atrapadas en las vías respiratorias. Las partículas de diámetro mayor son generalmente producidas por procesos mecánicos de abrasión o fractura de sólidos, y en condiciones de poco viento se precipitan rápidamente al suelo.” (Echeverry Londoño & Maya Vasco, 2008)

Las mismas son las partículas con el potencial más elevado de daño al ser humano según Francisco Manzano-Agugliaro a & Javier Carrillo-Valle quienes en su publicación “Transformación de un precipitador electrostático a un filtro de mangas Pulse Jet en centrales térmicas convencionales”, explican que éstas partículas y las que son de inferior tamaño permanecen más tiempo suspendidas en el aire, por lo mismo pueden ser transportadas largas distancias, además de la facilidad de deposición de gases ácidos y metales sobre la superficie de éstas partículas en extremo finas.<sup>5</sup>

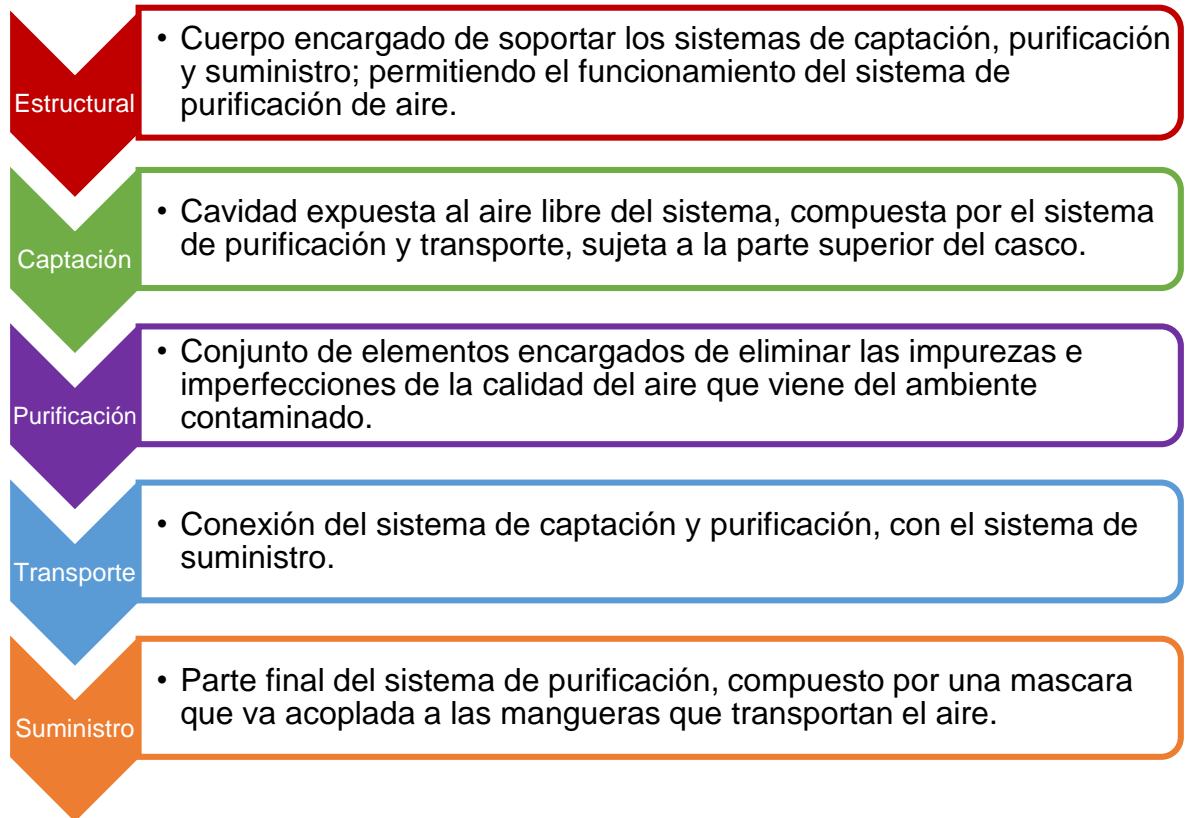
En resumen, debido a la cantidad de las partículas PM2.5 presentes en la atmósfera de la capital colombiana, su capacidad para ser transportadas largas distancias y la comprobada afectación que tiene al ser humano, que se decide diseñar un medio de protección al humano para mitigar la exposición de las vías respiratorias a esta partícula en los recorridos que se hacen por la ciudad mediante el uso de la bicicleta.

---

<sup>5</sup> Transformación de un precipitador electrostático a un filtro de mangas Pulse Jet en centrales térmicas convencionales (Manzano Agugliaro & Carrillo Valle, 2016)

## 2. REQUISITOS Y PARÁMETROS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO

Para los parámetros y requisitos fundamentales para el diseño del sistema de purificación de aire es esencial diferenciar y dividir el diseño del dispositivo en 5 subsistemas, los cuales ayudarán a determinar los distintos requisitos y parámetros que se necesitan para la realización del diseño de cada uno de los sistemas, cumpliendo con cada objetivo y con el objetivo general del proyecto. Con esto, el sistema se divide en los siguientes subsistemas:



Una vez realizada la división del sistema de purificación de aire, se procede a identificar los requisitos y parámetros de diseño que se deben tener en cuenta en cada uno de los subsistemas, para ello, se realiza un cuadro con el objetivo y requisitos y parámetros de cada subsistema, como se puede apreciar en los cuadros 1 y 2 a continuación.


Cuadro 1. Requisitos y parámetros fundamentales para el diseño

Sistema	Objetivo	Requisitos y parámetros
A. Estructural	Mantener la forma y la unidad de la mezcla de los sistemas que lo componen, resistiendo las cargas que resultan de su uso e implementación.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Adaptabilidad a los sistemas B, C, D y E.</li> <li>2. Norma Técnica Colombiana 5239 (Cascos para ciclistas y para usuarios de monopatines y patines de ruedas)</li> </ol>
B. Captación	Recolectar la mayor cantidad de aire posible que choca contra el sistema para posteriormente, ser purificado y transportado.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Presión de entrada de viento.</li> <li>2. Velocidad que alcanza un ciclista.</li> <li>3. Sistema desechable y de rompimiento fácil.</li> <li>4. Sistema de adhesión del dispositivo al casco.</li> <li>5. Cantidad de aire que respira un humano.</li> </ol>
C. Purificación	Eliminar las partículas suspendidas en el aire mediante uso de filtros y componentes que atrapan cada una de estas.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Partículas por remover.</li> <li>2. Restricción de flujo de aire generada por el filtro.</li> <li>3. Remover SMOG, ozono y humo de cigarrillo.</li> <li>4. Filtro Cambiable</li> </ol>
D. Transporte	Transportar el aire purificado mediante mangueras especiales para evitar la restricción del flujo.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Material Atoxico</li> <li>2. Generar la menor cantidad de pérdidas de presión</li> <li>3. Material resistente</li> </ol>
E. Suministro	Distribuir el aire de manera adecuada por las cavidades de la máscara para que el usuario respire aire proveniente del sistema de purificación de aire.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Medidas estándar de morfología de la máscara y el casco en Colombia.</li> <li>2. Cantidad de aire que respira un humano.</li> <li>3. Filtro Cambiable</li> </ol>

Fuente: elaboración propia

## 2.1 SISTEMA ESTRUCTURAL.

Cuadro 2. Tabla requisitos y parámetros fundamentales sistema estructural

A. Estructural	Requisitos y parámetros	Descripción
	<p>1. Adaptabilidad a los sistemas B, C, D y E.</p>	<p>La estructura del dispositivo debe sostener cada uno de los sistemas, garantizando el buen funcionamiento de cada uno de ellos, así mismo, soportando cada una de las cargas que resultan de su uso.</p>
	<p>2. Norma Técnica Colombiana 5239 (Casco para ciclistas y para usuarios de monopatines y patines de ruedas)</p>	<p>La norma enmarca los parámetros fundamentales de diseño (medidas, materiales, peso, ensayos y morfología) que tienen que ver con un casco para ciclista, por lo que es la parte fundamental del presente proyecto.</p>

Fuente: elaboración propia.

2.1.1 Adaptabilidad a los subsistemas B, C, D y E. El sistema estructural es el encargado de soportar las cargas provenientes de los esfuerzos ejercidos por los demás componentes del sistema en general, así mismo, garantizando el buen funcionamiento del mismo, siendo este subsistema la base para cumplir el objetivo general del proyecto.

2.1.2 Norma Técnica Colombiana 5239 (NTC 5239). La Norma Técnica Colombiana 5239 (NTC 5239). Norma europea traída a Colombia y traducida por la NTC, es la norma a trabajar en casos relacionados que tengan que ver con diseño e implementaciones a diseños, como lo es el caso del presente estudio.

La norma enmarca los parámetros fundamentales de diseño (medidas, materiales, peso, ensayos y morfología) que tienen que ver con un casco para ciclista, por lo que es la parte fundamental del presente proyecto y por lo cual va a ser estudiada en el presente capítulo.

De igual manera para la aplicación de la norma es indispensable el uso de la norma NTC 6266, cuyo nombre es, Cabezas de ensayo para utilizarse en los ensayos de cascos de protección y la norma ISO 6487, Road Vehicles. Measurement Techniques in Impact Tests. Instrumentation. (Icontec, Referencias Normativas, 2018)

Los requisitos impuestos por la norma son la parte más esencial del documento ya que abarca toda la parte del diseño del casco, desde medidas, materiales, construcción, factores consecuentes en la capacidad de absorción de impactos y la durabilidad del casco. La norma precisa que un casco debe tener un peso reducido, con el fin de evitar lesiones musculares en el cuello o espalda por el peso del casco, ya que el usuario no se debería sentir esforzado al usarlo; estar ventilados, esto evita que el individuo sufra de dolores de cabeza debido a la temperatura que genera el cuerpo y también evitar incomodidad por el sudor; poder ponerse y quitarse fácilmente ya que la comodidad es un elemento fundamental en el porte del mismo, así mismo, incentivando su uso; poder usarse con gafas, las personas que tienen dificultades de visión no pueden tener ningún impedimento en utilizar el casco; tampoco debe interferir significativamente con la capacidad del usuario para oír el ruido del tráfico, parte esencial en el diseño debido a que la persona portadora del casco debe tener sus cinco sentidos, así evitando un posible accidente en el camino. (Icontec, Requisitos, 2018)

El campo de visión requerido por el individuo es algo muy importante para tener en cuenta, la norma tiene unas especificaciones métricas respecto al diseño de los cascos, sin embargo, es más la necesidad del usuario que del fabricante, por consiguiente, se establecen unas medidas específicamente en milímetros para la fabricación de estos cascos. (Icontec, Campo de visión, 2018)

La seguridad se puede decir que es el factor más relevante para tener en cuenta, por eso se parametrizan unas medidas que debe superar el casco por medio de ensayos que son teóricamente equivalentes a alturas de aproximadamente unos 14 metros. La seguridad está relacionada directamente con la durabilidad del mismo, puesto que entre más durable sea el elemento, más seguro va a ser, ya que con cada ensayo o choque el casco va a mostrar daños que no deben ser significativas y de por sí causar lesiones al usuario. (Icontec, Capacidad de absorción, 2018) (Icontec, Durabilidad, 2018)

El sistema de sujeción, es el encargado de sujetar el casco a la cabeza del usuario, se creería que fuera un elemento con mucha limitación en el diseño, sin embargo, no se requiere de elementos como protector para el mentón, sencillamente pide un grosor no mayor a 15 milímetros, implementar el sistema de sujeción, asegurando la comodidad del usuario, un mecanismo de apertura en color rojo o naranja, que de igual modo debe ser de fácil apertura para ser accionado con una sola mano; así mismo, el casco después de un impacto no se debe desprender de la cabeza. (Icontec, Sistema de sujeción, 2018)

Los ensayos expuestos en la norma fueron realizados teniendo en cuenta diversos parámetros, esto con el fin de determinar materiales, tamaños, sistema de sujeción, masa del casco y demás características para la seguridad del usuario. Sin embargo, la norma no especifica un tamaño y peso en específico para cada casco, esto debido que la información métrica suministrada por la misma está enfocada a los ensayos únicamente, teniendo hasta ocho tallas (Ver tabla 2), cuando en el mercado encontramos 4 o en ocasiones 5.

Tabla 2. Tallas de Cabezas de Ensayo

Designación de la talla (EN 960: 1994 equivalente)	Circunferencia Interior del casco mm
495 (A)	500
515 (B)	520
535 (C)	540
555 (G)	560
575 (J)	570
585 (K)	580
605 (M)	600
625 (O)	620

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN Cascos para ciclistas y para usuarios de monopatines y patines de ruedas, Colombia: Icontec. Cabezas de ensayo, 2018, 6 p.

NOTA. La tabla 2 también indica las letras código de la norma EN 960: 1994 equivalentes a las designaciones de las tallas de la NTC 6266 para las cabezas de ensayo con dimensiones teóricas similares. Estas son las que se indican en el anexo C de la NTC 6266. La designación de la talla de la NTC 6266 corresponde aproximadamente a la circunferencia de la cabeza de ensayo al nivel del plano de referencia, en mm. (Icontec, Cabezas de ensayo, 2018)

El acondicionamiento del casco es un factor relevante a tener en cuenta debido a que, al implementar un sistema adicional al mismo, no debe salir de los límites de temperatura, por lo tanto, el casco se somete a pruebas de alta temperatura de 48°C a 52°C y de baja temperatura de 18°C a 22°C en un periodo de tiempo de 4 horas a 6 horas, donde los cascos no deben verse afectados. (Icontec, Acondicionamiento, 2018)

El equipo de ensayo para probar los cascos debe poseer los siguientes elementos:

- Un yunque de acero plano que debe tener una superficie de impacto circular de 127mm a 133mm de diámetro, rígidamente fijado a la base, donde ninguna de

estas dos partes debe recibir frecuencias externas, esto para prevenir afectación a las mediciones. (Icontec, Equipo de ensayo; Yunques, 2018)

- Un sistema guía de caída libre que además de ser móvil, sus características no deben afectar la medición de la aceleración en el centro de gravedad de la cabeza del ensayo. (Icontec, Sistema móvil y guía, 2018)
- Un sistema móvil que soporte la cabeza de ensayo con el casco donde cualquier punto de impacto se sitúe en el centro del yunque. (Icontec, Descripción, 2018)
- Una cabeza de ensayo metálica provista de un acelerómetro tridireccional que registre aceleraciones de 2000g y un dispositivo de medición que registrara la velocidad de la cabeza de ensayo. (Icontec, Acelerómetro y sistema de medición, 2018)

El procedimiento llevado a cabo para la realización del ensayo parte de una serie de impactos, pruebas de temperatura y radiación. Los impactos deben efectuarse de manera adecuada, por ejemplo, en los sitios más débiles, como en los orificios de ventilación, los anclajes de la sujeción o los soportes de tejido del mismo. (Icontec, Procedimiento, 2018)

De igual manera que el casco, el sistema de sujeción debe ser sometido a pruebas que consten que el casco no se desprenderá de la cabeza, por lo tanto, se tienen en cuenta los siguientes parámetros para su efectividad:

- Un dispositivo para sujetar el casco con la cabeza de ensayo y las cargas. (Icontec, Dispositivo de soporte de carga, 2018)
- Una cabeza de ensayo equipada con un dispositivo de carga que incluya una guía, un dispositivo de frenado y un peso de caída. (Icontec, Cabeza de ensayo, 2018)
- Un dispositivo de medida del alargamiento del sistema de sujeción.

Para la determinación de la efectividad del sistema de sujeción, cada sistema debe superar las pruebas establecidas por la norma, incluyendo la resistencia de la cabeza al momento del impacto.

La norma establece que cada casco debe tener una marcación específica obteniendo la siguiente información:


- El nombre o la marca del fabricante.
- La designación del modelo.
- La designación hacia el usuario.
- La talla del casco.
- El peso del casco.
- El año y el trimestre de fabricación.

Los parámetros funcionales para el proyecto abarcaran medidas y pesos límites, de modo que el diseño del sistema de purificación de aire no rompa los parámetros establecidos de un casco estándar para ciclista, siendo así un casco dentro de la norma legal, cumpliendo con todos los requisitos establecidos por ley.



## 2.2 SISTEMA DE CAPTACIÓN.

Cuadro 3. Tabla requisitos y parámetros fundamentales sistema de captación

B. CAPTACIÓN	REQUISITOS Y PARAMETROS	DESCRIPCIÓN
	1. Presión de entrada de viento.	En los últimos años la velocidad máxima ha alcanzado los 18 m/s y la mínima ha sido de 0 m/s, en el mejor de los casos la velocidad máxima se plantea como el ciclista pedaleando contra corriente y recibiendo toda la velocidad del viento en el artefacto y en el peor de los casos el viento tiene una velocidad de cero y/o el ciclista pedalea en el mismo sentido de la corriente de aire actual.
	2. Velocidad que alcanza un ciclista.	Para la velocidad media, según lo menciona Andrés Felipe Quintero Vega en su publicación del 05 de marzo de 2017 en el artículo llamado “Bici y bus tienen el mismo tiempo de recorrido en Bogotá” del diario La República, la velocidad promedio de un ciclista en la capital es de 12 km/ hora, dato respaldado por el experto en movilidad Darío Hidalgo.
	3. Sistema desechable y de rompimiento fácil.	Se debe tener en cuenta la seguridad que este debe portar debido a su ubicación y, por consiguiente, que tendrá un alto riesgo a ser impactado.
	4. Sistema de adhesión del dispositivo al casco.	El sistema adhesivo que se utilizará para pegar el sistema al casco debe garantizar un alto índice de adhesión al mismo, sin afectar las propiedades mecánicas y previniendo un desprendimiento del sistema.
	5. Cantidad de aire que respira un humano.	Respiración de humano promedio bajo condiciones de reposo. Entre 5 y 6 L/min Respiración de humano promedio bajo condiciones de actividad física. Entre 12 y 80 L/min y en casos extremos 100 L/min

Fuente: elaboración propia.

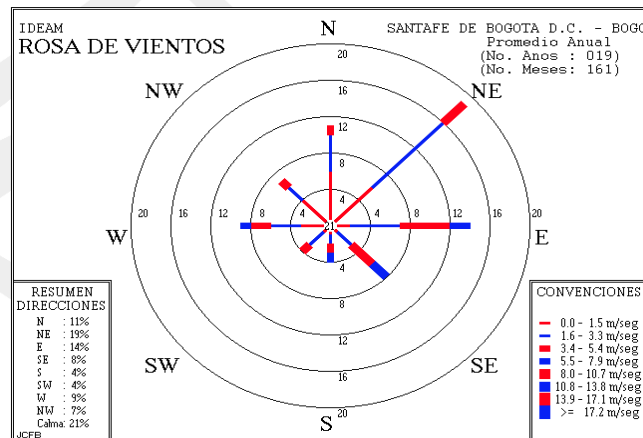
2.2.1 Velocidad de entrada del viento. En un estudio por el IDEAM se obtuvo que en los últimos años la velocidad máxima ha alcanzado los 18 m/s y la mínima ha sido de 0 m/s. En el mejor de los casos la velocidad máxima se plantea como el ciclista pedaleando contra corriente y recibiendo toda la velocidad del viento en el artefacto y en el peor de los casos el viento tiene una velocidad de cero y/o el ciclista pedalea en el mismo sentido de la corriente de aire actual. **(Ideam, 2018)**

En los casos anteriormente planteados es válido recordar que la situación del clima de Bogotá es cambiante y no siempre se tiene una dirección específica ni se mantiene un sentido de pedaleo por lo que las condiciones no serán constantes ni se mantendrán siempre para los mismos casos.

Es por lo anterior que se plantean casos genéricos de análisis bajo estos patrones de optimismo y realismo, para cubrir todas las opciones posibles dentro de la delimitación del proyecto.

En la gráfica 3 se puede apreciar la situación descrita anteriormente con las velocidades del aire en la ciudad de Bogotá:

Gráfica 3. Rosa de Vientos, promedio anual de velocidad de viento en la ciudad de Bogotá



Fuente: IDEAM, Estudio de la caracterización climática de Bogotá y Cuenca Anta del río Tunjuelo [Consulta: 20 de septiembre 2019] disponible en <http://ie.u.unal.edu.co/centrodocumentacion/nuevas-adq/item/82-estudio-caracterizacion-climatica-bogota-cuenca-alta-rio-tunjuelo>

2.2.2 Velocidad que alcanza un ciclista promedio. Para la velocidad media, según lo menciona Andrés Felipe Quintero Vega en su publicación del 05 de marzo de 2017 en el artículo llamado “Bici y bus tienen el mismo tiempo de recorrido en Bogotá” del diario La República, la velocidad promedio de un ciclista en la capital es de 12 km/ hora, dato respaldado por el experto en movilidad Darío Hidalgo. **(Quintero Vega, 2017)**

Sin embargo, se debe tener en cuenta un límite máximo de velocidad, que ha sido establecido por la Secretaría de Movilidad y Ministerio de Transporte, soportado con el Código Nacional de Tránsito con el fin de que los ciclistas a nivel Colombia respeten las normas de movilidad, previniendo riesgos de seguridad tanto para el usuario, como para los transeúntes e incluso vehículos automotores; por lo tanto la Ley 1811 de 21 de octubre de 2016 en el artículo 95 - párrafo segundo, dice que “La velocidad máxima de operación en las vías mientras se realicen actividades deportivas, lúdicas y, o recreativas será de 25 km/h”, de igual manera respetar las normas de tránsito; factor fundamental para tener en cuenta en el diseño del sistema, ya que será el parámetro máximo de velocidad para la evaluación del caudal de aire máximo necesario para un flujo óptimo a estas condiciones.

Ley No 1811 del 21 de Oct de 2016, “Por la cual se otorgan incentivos para promover el uso de la bicicleta en el territorio nacional y se modifica el código nacional de tránsito” (Rojas Giraldo, 2016).

2.2.3 Sistema desechable y rompimiento fácil. Las carcasas de los cascos para ciclistas son fabricadas por lo general en Acrilonitrilo butadieno estireno o ABS, debido a su alta resistencia al impacto, suministrando rigidez, resistencia a químicos, ácidos y a las altas temperaturas generadas por los rayos UV, además de ser un material altamente seguro para su aplicación en diversos proyectos. Teniendo en cuenta las características anteriores y puntos a favor para el diseño del proyecto, el ABS es el material con el que el sistema de aumento de presión será fabricado, agregando que se debe tener en cuenta la seguridad que este debe portar debido a su ubicación y, por consiguiente, que tendrá un alto riesgo a ser impactado. **(Textos Científicos, 2005)**

El ABS, bien conocido como un compuesto de tres sustancias es por lo general utilizado para la industria automotriz, más específico en carrocerías, carcasas para elementos eléctricos y elementos de seguridad como lo es el caso del presente proyecto. Cada uno de los tres monómeros que componen el ABS cumplen con una función especial e importante que caracteriza el ABS como uno de los componentes de uso más comunes. (ABS, 2017)

El acrilonitrilo aporta la cualidad de rigidez, además, resistencia a ataques químicos y resistencia a altas temperaturas y dureza. Así mismo, el butadieno es el monómero que proporciona resistencia a cualquier temperatura, necesario debido a que el sistema se verá sometido a temperaturas bajas donde muchos plásticos se

vuelven quebradizos, siendo el butadieno fundamental para que el ABS pueda resistir comportamientos de ese tipo; el estireno es el monómero aportante del brillo, rigidez, resistencia mecánica y además de eso, proporciona facilidad de procesado para la fabricación del sistema. (ABS, 2017)

Para el termoformado de láminas ABS es indispensable saber que es el proceso del termoformado. El termoformado consiste en alcanzar el punto de deformación aplicando un alza en la temperatura del material para poder darle la forma deseada. Para la realización del proceso, se necesita de un molde, una fuente de calor, la lámina a termoformar e importante, una prensa o mecanismo de presión que ayudara a que la lámina adquiriera la forma deseada. (Gil, 2012)


El módulo de elasticidad del ABS tiene un valor típico para el termoformado y moldeo de inyección de 2030 MPa y de 1681,5 MPa para impresiones 3D en caso tal que se llegue a realizar este proceso para modelar pruebas de ensayo. (ABS, 2017)

2.2.4 Sistema de adhesión del dispositivo al casco. El sistema adhesivo que se utilizará para pegar el sistema al casco debe ser un método altamente efectivo y debe proporcionar un alto índice de adhesión para montajes externos y superficies plásticas, como lo es el caso del proyecto, además, debe resistir humedad, polvo, radiación, tóxicos, debido a que son factores a los que estará expuesto el dispositivo.

2.2.5 Cantidad de aire que respira un humano. El ser humano inspira y expira aproximadamente entre cinco y seis litros de aire por minuto, lo que corresponde diariamente entre 7.200 y 8.600 litros. Al realizar actividades físicas, se sabe que el cuerpo consume más oxígeno y produce más dióxido de carbono, debido a que los músculos trabajan más intensamente y generan una demanda adicional de oxígeno. Durante esta actividad, la respiración aumenta aproximadamente a 15 veces por minuto, lo que equivale a 12 litros de aire cuando se encuentra en reposo y unas 40 a 60 veces por minuto, correspondiente a 100 litros de aire durante la jornada física; de igual manera, la circulación se acelera para responder al sistema circulatorio demandante de oxígeno, como respuesta al movimiento. **(Troosters, Dupont, Bott, & Hansen, 2007)**

## 2.3 SISTEMA DE PURIFICACIÓN

Cuadro 4. Tabla requisitos y parámetros fundamentales sistema purificación

C. Purificación	Requisitos y parámetros	Descripción
	1. Partículas por remover.	El tamaño de partícula a remover debe ser de 2,5 micrómetros; causantes de enfermedades cardiovasculares, desórdenes respiratorios, enfermedades pulmonares y problemas cognitivos.
	2. Restricción de flujo de aire generada por los filtros.	El filtrado de aire requiere de un aporte significativo al usuario, por lo tanto, se debe tener en cuenta la pérdida de presión generada por el filtro y comprobar el buen funcionamiento del mismo.
	3. Remover las partículas nocivas presentes en el aire	Remover las partículas nocivas para la salud es fundamental, por lo tanto, se requiere un dispositivo que atrape todas las impurezas suspendidas en el aire, así mismo, garantizando un aire puro y limpio para el consumo del usuario.
	4. Filtro Cambiable	Se busca que el aire tenga las mejores condiciones antes de ser suministrado al usuario, por esto, se diseñara un dispositivo con el cual el usuario pueda cambiar su filtro de manera fácil y rápida.

Fuente: elaboración propia.

2.3.1 Partículas por remover. Como se puede apreciar en el capítulo 1 del presente trabajo se encontró que el tamaño de partícula a remover debe ser desde 2,5 micrómetros.

2.3.2 Restricción de flujo de aire generada por los filtros. La pérdida de presión generada por los filtros que se emplearán en el diseño del sistema, debe ser de gran importancia para la implementación del mismo, puesto que se requiere que el usuario respire el aire necesario y suficiente para su buen rendimiento durante la actividad física.

La filtración de partículas nocivas para la respiración humana está regulada y la fabricación de los filtros que efectúan esta labor está estandarizada por la normatividad UNE-EN 143, cuyo objeto es:

“Esta norma europea especifica filtros contra partículas para su utilización como componentes de equipos de protección respiratoria no asistidos, exceptuando los equipos de escape y las mascarillas autofiltrantes.

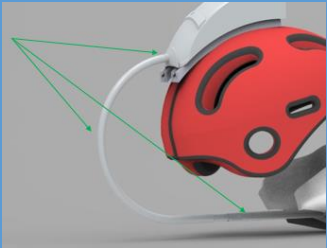
Los ensayos de laboratorio se incluyen para evaluar la conformidad de los resultados con los requisitos exigidos en la norma.

Algunos filtros que cumplen con esta norma pueden utilizarse también con otros tipos de equipos de protección respiratoria y, si es así, necesitarán ser ensayados y marcados de acuerdo con la norma europea correspondiente.”

La mencionada expresa que cada uno de los elementos filtrantes que se produzcan y vendan deben tener características comprobadas en laboratorio de pérdida de carga con diferentes caudales. Razón por la cual se adopta esta norma internacional, para determinar la pérdida de carga que tendrá el elemento filtrante seleccionado.

## 2.4 SISTEMA DE TRANSPORTE.

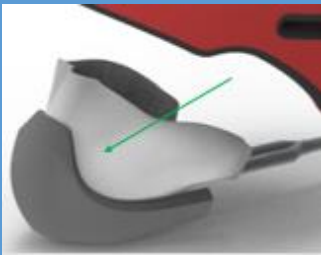
Cuadro 5. Tabla requisitos y parámetros fundamentales sistema transporte

D. Transporte	Requisitos y parámetros	Descripción
	1. Material Atoxico	El material del sistema no puede generarle alguna contraindicación al usuario (alergias, contaminación) debido a que este será el medio de transporte del aire.
	2. Generar la menor cantidad de pérdidas de presión	Se requiere de un sistema de transporte que genere la menor cantidad de pérdidas de presión con el fin de que al usuario le llegue el flujo de aire necesario e indicado para su respiración.
	3. Material resistente	A los rayos del sol, el agua y la contaminación son causantes del deterioro de muchos materiales, por lo tanto se requiere un material resistente a la previa descripción.

Fuente: elaboración propia.

## 2.5 SISTEMA DE SUMINISTRO

Cuadro 6. Tabla requisitos y parámetros fundamentales sistema suministro

E. SUMINISTRO	REQUISITOS Y PARAMETROS	DESCRIPCIÓN
	<p>1. Medidas estándar de morfología de la máscara y el casco en Colombia.</p>	<p>Medidas de cráneo y dimensiones específicas necesarias para el diseño del sistema de careta. Estas medidas son:            Anchura de la cara: 14,1 cm            Anchura transversal de la cabeza: 15,5 cm            Anchura anteroposterior cabeza: 18,8 cm            Perímetro de cabeza: 55,6 cm</p>
	<p>2. Cantidad de aire que respira un humano.</p>	<p>Respiración de humano promedio bajo condiciones de reposo.            Entre 5 y 6 L/min            Respiración de humano promedio bajo condiciones de actividad física.            Entre 12 y 80 L/min y en casos extremos 100 L/min</p>
	<p>3. Filtro cambiable.</p>	<p>Se busca que el aire tenga las mejores condiciones antes de ser suministrado al usuario, por esto, se diseñara un dispositivo con el cual el usuario pueda cambiar su filtro de manera fácil y rápida.</p>

Fuente: elaboración propia.



2.5.1 Medidas estándar de morfología de la máscara y el casco en Latinoamérica. Para la parametrización de las condiciones morfológicas del objetivo del proyecto se profundiza en el estudio hecho por R. Avila Chaurand, L.R. Prado León, E.L. González Muñoz. Titulado “Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana: México, Cuba, Colombia, Chile”, con el cual se obtienen datos importantes de medidas de cráneo y dimensiones específicas necesarias para el diseño del sistema de careta.

Estas medidas son:

Ancho de la cara: 13,2 cm

Ancho transversal de la cabeza: 14,8 cm

Ancho anteroposterior cabeza: 18,0 cm

Perímetro de cabeza: 53,4 cm

Los anteriores parámetros se encuentran en la Ilustración 7, a continuación:

Tabla 3. Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana

Dimensiones		fem. 20 - 59 años (n= 785)					masc. 20 - 59 años (n= 1315)				
		$\bar{x}$	D.E.	Percentiles			$\bar{x}$	D.E.	Percentiles		
				5	50	95			5	50	95
19	Anchura de la cara	13.2	0.56	12.4	13.3	14.3	14.0	0.59	13.1	14.0	15.1
20	Anchura transversal cabeza	14.8	0.54	14.0	14.8	15.8	15.4	0.57	14.5	15.5	16.5
21	Anchura antero-post. cabeza	18.0	0.67	17.0	18.0	19.2	18.9	0.76	17.6	18.9	20.2
31	Anchura de muñeca	4.9	0.30	4.5	4.9	5.5	5.5	0.32	5.0	5.5	6.0
32	Anchura de mano	7.4	0.36	6.9	7.5	8.1	8.4	0.4	7.7	8.4	9.1
35	Anchura de talón	6.2	0.48	5.4	6.2	7.0	6.7	0.48	6.0	6.8	7.6
36	Anchura de pie	9.0	0.52	8.2	9.0	10.0	9.9	0.54	9.1	9.9	10.9
39	Largura de la mano	16.6	0.79	15.5	16.6	18.0	18.3	0.92	16.8	18.3	19.9
40	Largura palma de la mano	9.3	0.51	8.4	9.2	10.1	10.2	0.57	9.3	10.3	11.2
43	Largura planta del pie	22.9	1.04	21.3	22.9	24.7	25.2	1.21	23.2	25.2	27.3
44	Largura de talón	18.5	0.85	17.2	18.5	20.0	20.3	0.96	18.7	20.3	22.0
45	Perímetro de cabeza	53.4	1.51	51.0	53.4	55.8	55.5	1.71	52.8	55.5	58.5
54	Perímetro de la muñeca	14.6	0.80	13.5	14.6	16.0	16.4	0.83	15.1	16.4	17.9
55	Perímetro metacarpial	17.9	0.89	16.5	17.9	19.4	20.3	1.02	18.7	20.3	22.1
61	Perímetro metatarsial	22.4	1.22	20.5	22.3	24.5	24.7	1.26	22.8	24.7	26.9

Fuente. ÁVILA CHAURAND, ROSALÍO; PRADO LEÓN, LILIA ROSELIA; GONZÁLEZ MUÑOZ, ELVIA LUZ. Dimensiones antropométricas de población latinoamericana. Población colombiana, Laboral de 20 a 59 años. 2019, p. 214.

### 3. DISEÑO CONCEPTUAL Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

El diseño de los elementos de los sistemas propuestos está relacionado a la búsqueda de la purificación del aire que inhalará un ciclista en la ciudad de Bogotá. Además, este sistema debe ser compatible con los cascos estándares establecidos por las normas internacionales y debe evitar al máximo ser un factor de pérdida de aerodinámica para el ciclista.

Los sistemas planteados, como se relacionan en el capítulo 2 son:

- A. Sistema Estructural.
- B. Sistema de Captación.
- C. Sistema de Purificación.
- D. Sistema de Transporte.
- E. Sistema de Suministro.

De esta manera se abordan cada uno de los sistemas planteados, en los cuales se cuenta con varias alternativas de diseño que serán evaluadas para determinar las condiciones generales de diseño y de esta manera proceder a los cálculos necesarios para su implementación.

#### 3.1 SISTEMA ESTRUCTURAL

El sistema estructural en dos subsistemas como se muestra en el cuadro 6, con el fin de comprender su finalidad según sus funciones.

Cuadro 7. Subsistemas del Sistema Estructural

<b>A. Sistema Estructural</b>	
1	Subsistema de soporte
2	Subsistema de acople

Fuente: elaboración propia

3.1.1 Subsistema de Soporte El subsistema de soporte, es el casco de ciclista que se encuentra estandarizado por la NTC 5239, norma técnica que habla de las condiciones generales de diseño que debe tener un casco de ciclista estándar de bicicleta; sin embargo, existen una gran cantidad de disciplinas como la urbana, ciclo montañismo, ruta y BMX, que deben tenerse en cuenta al momento de seleccionar un casco para que sea efectivo. En este caso puntual se analizan todos los posibles cascos según el tipo de deporte que se practique.

La mencionada comparación se puede visualizar por medio de la tabla comparativa número 7:

Cuadro 8. Tipos de cascos de ciclista según disciplina.

Ítem	Casco	Disciplina	Características
A		Urbano	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Robusto</li> <li>• Mayor peso</li> <li>• Trayectos cortos</li> <li>• Adecuada ventilación</li> <li>• Bajo precio</li> </ul>
B		Ciclo montañismo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ligero</li> <li>• Buena ventilación</li> <li>• Visera protectora para luz y agua</li> <li>• Gran confort</li> <li>• Trayectos medianos a largos</li> </ul>

Continuación cuadro 8

C		Ruta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los cascos más livianos</li> <li>• Diseño aerodinámico</li> <li>• Mayor ventilación</li> <li>• Ranuras más grandes</li> <li>• Absorbe sudor</li> <li>• Máxima comodidad</li> <li>• Precio elevado</li> </ul>
D		BMX	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revestimiento extra duro</li> <li>• Máximo ajuste a la cabeza</li> <li>• Poca ventilación</li> <li>• Precio moderado</li> <li>• Trayectos muy cortos</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

Para la selección del casco es importante resaltar el enfoque del presente trabajo de grado, que busca desarrollar un sistema adaptable a cualquier casco de ciclista que recorra las calles de la capital, por lo que es necesario identificar que los trayectos serán entre 5km y 10km, el costo no puede ser elevado, el casco debe tener una buena ventilación y debe tener una adecuada protección, con el fin de resistir una velocidad máxima de 20 km/h, que es el límite impuesto por el ministerio de movilidad y las autoridades de tránsito.

Cuadro 9. Parámetros de diseño por cada tipo de casco

CASCO	CALIFICACIÓN	DUREZA	AERODINÁMICA	VENTILACIÓN	AJUSTE	PRECIO	PESO	COMODIDAD	TRAYECTOS
A	ALTA			X					
	MEDIA		X				X	X	X
	BAJA	X			X	X			
B	ALTA		X	X		X		X	X
	MEDIA	X			X				
	BAJA						X		
C	ALTA		X	X		X		X	X
	MEDIA	X			X				
	BAJA						X		
D	ALTA	X			X		X		
	MEDIA		X			X			
	BAJA			X				X	X

Fuente: elaboración propia.

Estos parámetros de diseño dan como mejor resultado el casco de tipo urbano, debido a que su finalidad de ser utilizado en la ciudad y sus características como bajo precio, comodidad, trayectos de 5km a 10km, son las razones de peso por las cuales se selecciona y logra cumplir con todos los requisitos de diseño sin elevar los costos necesarios para su aplicación.

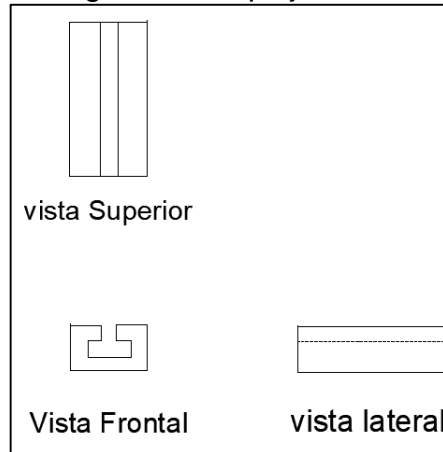
3.1.2 Subsistema de Acople. El subsistema de acople tiene varios ítems que deben ser analizados, pues este sistema tiene como principal función servir de elemento de sujeción del sistema, otorgar un movimiento y a su vez permitir que los elementos que estarán sujetos al mismo puedan ser sustraídos del subsistema de soporte para realizar el mantenimiento adecuado de las piezas móviles y del sistema de purificación.

Es por todo lo anterior que se analizaron las siguientes alternativas para el presente subsistema.

El sistema de riel permite acoplar y desacoplar el sistema de captación, facilita la operación de mantenimiento y desarrolla la posibilidad de otorgarle movimiento al sistema en caso de que se requiera un grado de impacto al viento menor al contemplado.

Como se puede apreciar, en la imagen 4 el sistema de riel que se diseñó contempla la opción de un sistema rectangular que está siendo guiado a través de paredes internas y sirven de frontera para que el sistema de captación no se desajuste.

Imagen 3. Bosquejo del subsistema de acople tipo riel.

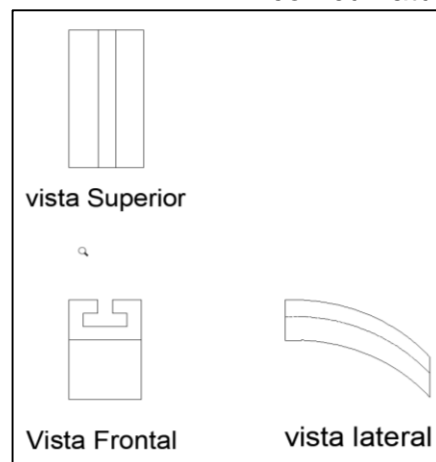


Fuente: elaboración propia.

Para lo anterior se tuvieron en cuenta dos alternativas de rieles entre las que se tienen, un riel con la curvatura del casco y un riel completamente recto; al interior del riel estará un sistema resortado que permitirá el acople y desacople del sistema de captación de una manera fácil y segura.

Riel con curvatura. Esta opción, como se puede apreciar en la imagen 4, mantiene la curva del casco y de esta forma el subsistema de acople siempre llevará la trayectoria del subsistema de soporte.

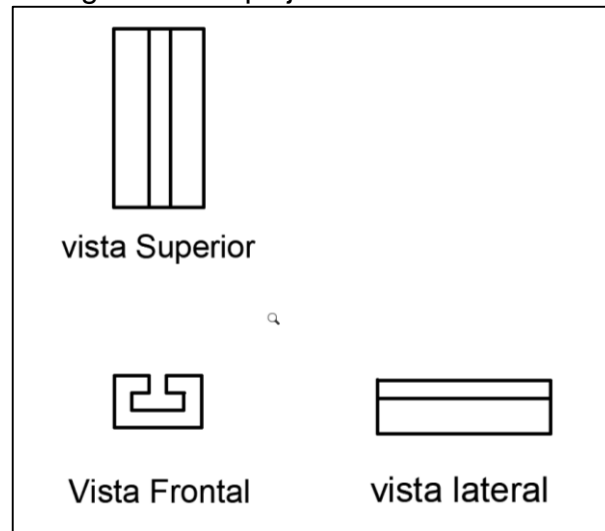
Imagen 4. Bosquejo del subsistema de acople tipo riel con curvatura.



Fuente: elaboración propia.

Riel Recto. Esta opción, como se puede apreciar en la imagen 5, no mantiene la curva del casco y de esta forma el subsistema de acople nunca llevará la trayectoria del subsistema de soporte.

Imagen 5. Bosquejo del subsistema de acople tipo riel recto.



Fuente: elaboración propia

Anclaje directo con velcro. El pegado de una cinta velcro en el casco permite una sujeción estable de los elementos del sistema y a su vez facilita la remoción de las partes instaladas para los procesos de mantenimiento al casco.

Ahora, es importante que el subsistema de sujeción cumpla con las siguientes características:

- Una vez instalado el sistema no tenga movimiento para aprovechar al máximo la entrada de viento provocada por el movimiento del ciclista.
- Fácil desinstalación del sistema cada vez que se inicie la operación de mantenimiento de las partes.
- Diseño ligero.
- Materiales que no afecten la seguridad y protección que ofrece el casco.

Por todos los elementos mencionados se filtra la selección del elemento de ajuste a una cinta 3M doble faz y se procede a analizar las alternativas de riel curvo o recto de acuerdo a la siguiente matriz QFD:

Cuadro 10. Parámetros de diseño por cada tipo de riel.

Importancia para el usuario		Tipo de montaje	Sistema de adhesión	Forma adaptable al casco	Frecuencia de mantenimiento	Curvo	Recto
		Sistema removible	4	5	3	5	0
Estética	4	5	4	5	0	B	R
Seguridad	5	3	5	5	4	B	R
Aerodinámica	2	5	0	5	0	B	R
Facil mantenimiento	5	3	1	3	5	B	R

B: Bueno  
R: Regular  
D: Deficiente

Valores meta		Manual	Completo	Adaptación al contorno	Mantenimiento cada 7 días
Evaluación técnica		Si	Si	Si	7
		Si	No	No	3

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el cuadro 9, se puede apreciar como el riel curvo sale elegido como mejor opción de diseño de las opciones presentadas.

### 3.2 SISTEMA DE CAPTACIÓN

El sistema de captación es el encargado de recibir todo el aire posible del ambiente, aprovechar la geometría y generar el efecto aerodinámico necesario para que el aire a ingresar pase por el sistema de purificación. Por lo anterior, debe a su vez generar el delta de presión necesario para que el aire captado pueda atravesar el mencionado sistema de purificación.



Cuadro 11. Tipos de geometría del S. Captación.

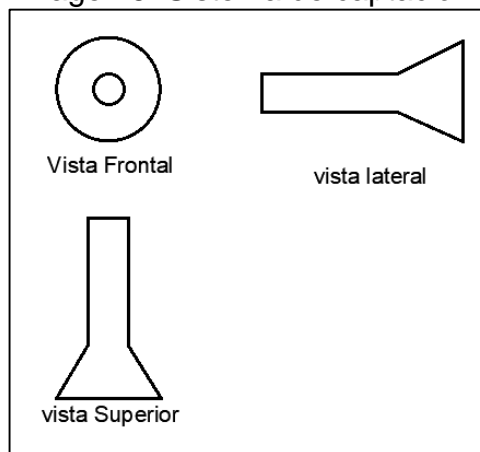
<b>B. Sistema de Captación</b>	
1	Geometría circular
2	Geometría ovalada
3	Geometría semicircular

Fuente: elaboración propia.

3.2.1 Geometría Circular Esta geometría permite el máximo aprovechamiento de aire por ser la geometría que más área de contacto supondría, sin embargo, posee limitantes como la poca adaptabilidad que tiene dicha geometría con la forma ovalada del casco.

Como se puede apreciar en la Imagen 6, el sistema de captación circular compromete la aerodinámica del sistema y del casco:

Imagen 6. Sistema de captación con entrada circular.

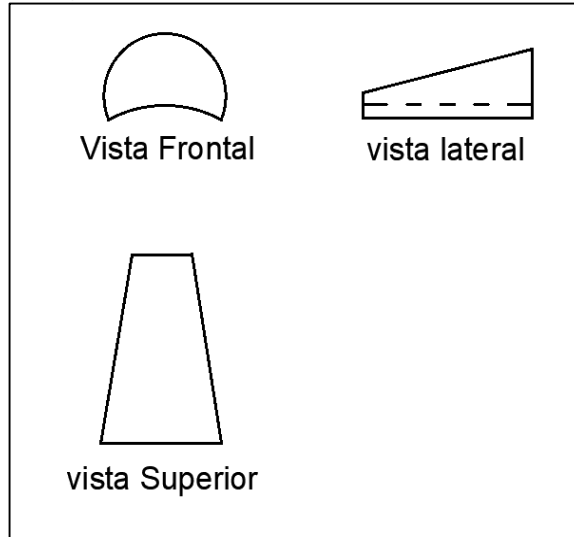


Fuente: elaboración propia

3.2.2 Geometría ovalada. Esta geometría permite un aprovechamiento de aire menor que la geometría circular, sin embargo, facilita la sujeción al sistema de acople y al sistema estructural ya que respeta la forma ovalada del casco y por ende no existe mayor incompatibilidad al momento de realizar el montaje.

Como se puede apreciar en la imagen 7, el sistema de captación ovalado no compromete la aerodinámica del sistema o del casco y permite una sujeción adecuada a los otros sistemas. Sin embargo, en el caso de que se vaya a fabricar mediante termoformado con láminas de ABS, el sistema va a tener una complicación por la curva pronunciada que tiene, lo cual se convierte en un factor clave para su análisis.

Imagen 7. Sistema de captación con entrada ovalada.

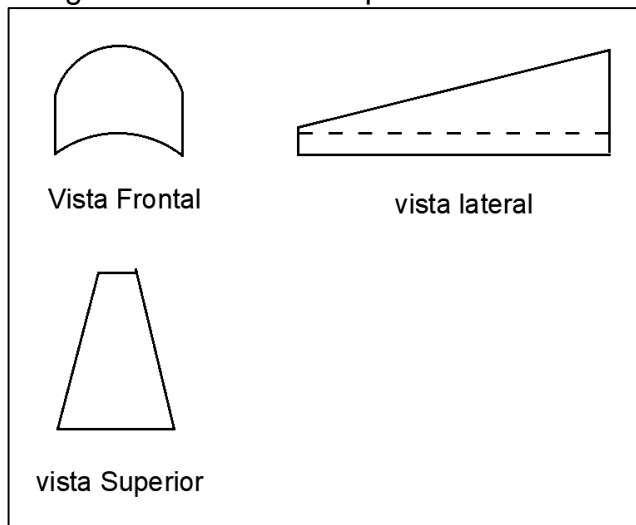


Fuente propia: elaboración propia

3.2.3 Geometría semi-circular Esta geometría mantiene todas las características propias de la geometría ovalada descrita en el anterior numeral y aunque disminuye un poco su capacidad de aprovechamiento de aire, posee la facilidad de poder ser manufacturada por procesos de termoformado con láminas de ABS, lo que lo haría mucho más económico que otras posibles geometrías.

Como se puede apreciar en la imagen 8, el sistema de captación semi-circular no compromete la aerodinámica del sistema o del casco y permite una sujeción adecuada a los otros sistemas.

Imagen 8. Sistema de captación con entrada semi-circular



Fuente: elaboración propia

Ahora, es importante que el sistema de captación cumpla con las siguientes características:

- Aproveche la mayor cantidad de aire posible que pase por encima del casco.
- Fácil adaptabilidad con la geometría del sistema estructural.
- Diseño ligero.
- Costo de fabricación reducido.
- El sistema de captación debe mantener la aerodinámica del sistema y del casco.

Finalmente, se hace un cuadro resumen de las características esenciales de las alternativas del sistema de captación:

Cuadro 12. Caracterizaciones alternativas Sistema de captación.

<b>GEOMETRÍA</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>COSTO FABRICACIÓN</b>	<b>AERODINÁMICA</b>	<b>APROVECHAMIENTO O DE AIRE</b>	<b>ADAPTABILIDAD A OTROS SISTEMAS</b>
<b>CIRCULAR</b>	<b>ALTA</b>	X		X	
	<b>MEDIA</b>				
	<b>BAJA</b>		X		X
<b>OVALADA</b>	<b>ALTA</b>	X			
	<b>MEDIA</b>		X	X	X
	<b>BAJA</b>				
<b>SEMI - CIRCULAR</b>	<b>ALTA</b>		X		X
	<b>MEDIA</b>			X	
	<b>BAJA</b>	X			

Fuente: elaboración propia

Por consiguiente, se evalúan las alternativas de solución por medio de una matriz QFD, donde la geometría selecta para el diseño es la semi-circular:

Cuadro 13. QFD selección de geometría S. Captación.

		Importancia para el usuario						
		Forma adaptable al casco	Facil rompimiento	Frecuencia de mantenimiento	Aprovechamiento del aire	Circular	Ovalado	Semicircular
Bajo costo de fabricación	5	5	5	0	5	D	D	B
Aerodinámico	5	4	0	0	5	R	R	B
Seguridad	5	4	5	0	0	B	B	B
Facil mantenimiento	5	2	0	5	0	B	B	B
Estetica	5	5	4	0	2	R	R	B
Captación de aire.necesario	5	5	3	5	5	R	R	B

B: Bueno  
R: Regular  
D: Deficiente

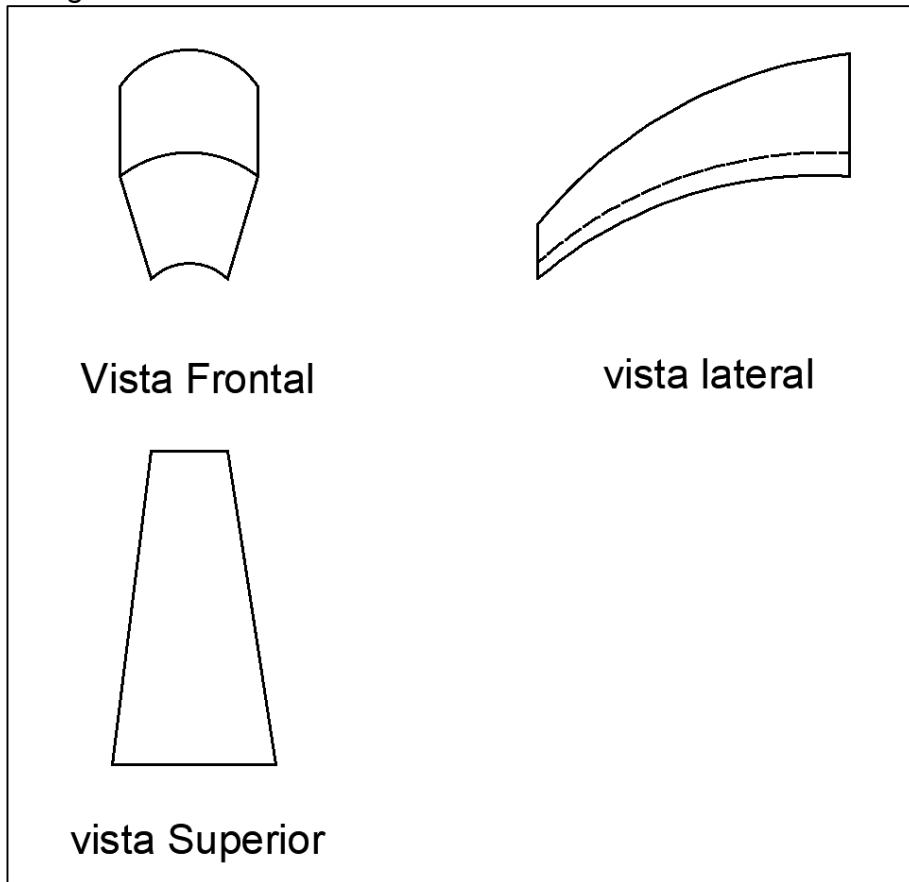
  

Valores meta	Adaptación al contorno				
	Alta	7 días	Alta		
Evaluación técnica	No	Bajo	7	Alta	Circular
	No	Medio	7	Media	Ovalado
	Si	Alta	7	Alta	Semicircular

Fuente: elaboración propia

### Geometría final.

Imagen 9. Geometría Final.



Fuente: elaboración propia

Generalidades del sistema:

El material propuesto para realizar el mencionado sistema de captación será la lámina de ABS con un proceso de termoformado, por lo que se requiere que la lámina tenga un espesor no mayor a 3 mm.

El ABS es seleccionado por sus propiedades resumidas así:

El acrilonitrilo proporciona: Resistencia térmica, resistencia química, resistencia a la fatiga y dureza y rigidez.

El butadieno proporciona: Ductilidad a baja temperatura, resistencia al impacto y resistencia a la fusión.

El estireno proporciona: Facilidad de procesado (fluidez), brillo, dureza y rigidez.

Resumiendo lo anterior, el ABS brinda las propiedades de dureza, resistencia y fragilidad deseada.

### 3.3 SISTEMA DE PURIFICACIÓN

El sistema de purificación es el sistema más importante del presente proyecto pues este es el principal responsable de la adecuada filtración y purificación del aire que es el principal objetivo por desarrollar.

Para purificar el aire es necesario eliminar las impurezas del aire, sin embargo, además de la purificación planteada es importante filtrar el aire que llegará a los pulmones porque, según lo demostrado en el capítulo 1 del presente trabajo de grado, las partículas PM2.5 resultan, en muchos casos, ser más dañinas para el cuerpo humano que otros compuestos presentes en el ambiente.

Para lograr la purificación deseada se tienen varias opciones entre las cuales se tiene:

Cuadro 14. Factores sistema de purificación

Sistema de Purificación	
1	Filtro Seco
2	Filtro de carbón activado

Fuente: elaboración propia

3.3.1 Filtro Seco. La utilización de un filtro seco es el principal requisito a tomar en cuenta debido a que, a diferencia de un filtro húmedo, este aporta la capacidad libre al paso del aire y además disminuye la resistencia al flujo del mismo, adicional a esto se busca un filtro con capacidad de retener partículas (P) de tamaño 2,5 y que sea de gran eficiencia, además de tener la capacidad de ser reutilizable (R).

Un resumen de la norma UNE – EN 143 se puede apreciar en el cuadro 14:

Cuadro 15. Resumen Norma UNE- EN 143.

NORMA UNE - EN 143				
NOMENCLATURA	FUGA AL INTERIOR	FACTOR DE PROTECCIÓN (TLV)*	EFICIENCIA	TAMAÑO DE PARTICULAS
<b>P1</b>	<25 % y <22 %	4	80	PM 10
<b>P2</b>	<11 % y <8 %	10	92	PM 3
<b>P3</b>	<5 % y <2 %	50	99	PM 1

\*TLV es el valor límite umbral recomendado com apto para humano según la norma

Fuente: elaboración propia

Siguiendo lo estandarizado por la norma descrita, se encuentra que la nomenclatura que debe ser utilizada para llegar al elemento filtrante deseado para los fines del presente trabajo de grado es:

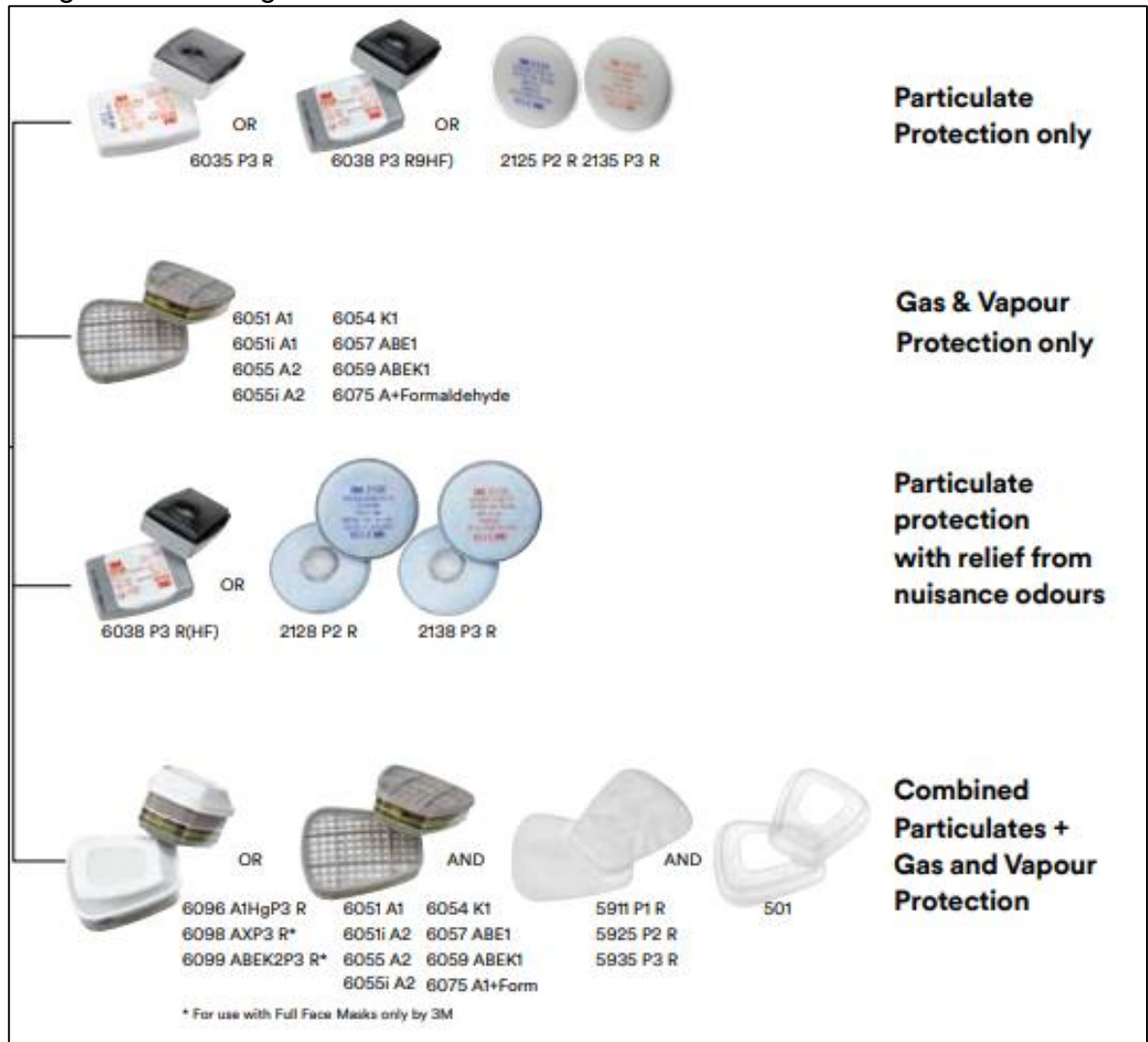
**UNE EN 143 P3 R (N99)**

Lo anterior debido a la necesidad de:

- Filtrar partículas de tamaño PM2.5 o inferior.
- Tener una eficiencia de filtrado cercana al 99%.
- Elemento filtrante reutilizable.

Con la nomenclatura encontrada se procede a analizar el elemento filtrante del catálogo de filtros de la compañía 3M, como se aprecia en la imagen 10:

Imagen 10. Catálogo 3M.



Fuente. 3M [Sitio Web] Catálogo de filtros 3M[Consulta: 15 de abril 2019] Disponible en <http://multimedia.3m.com/mws/media/737831O/proteccion-respiratoria.pdf>

De la imagen 10 se obtiene como elemento seleccionado el filtro 3M™ Filtro de partículas P3 R, 5935 (Imagen 11). Con las siguientes características:

- Aprobado por la CE, EN143: 2000

- Filtración de partículas PM 2,5
- Eficiencia de filtración comprobada en laboratorio de 99%.
- Según UNE EN 143: Pérdida de carga de 120 Pascales para caudales inferiores a  $0,00054 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ .
- Según UNE EN 143: Pérdida de carga de 475 Pascales para caudales superiores a  $0,000791 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ .

Imagen 11. Filtro de partículas P3 R, 5935.

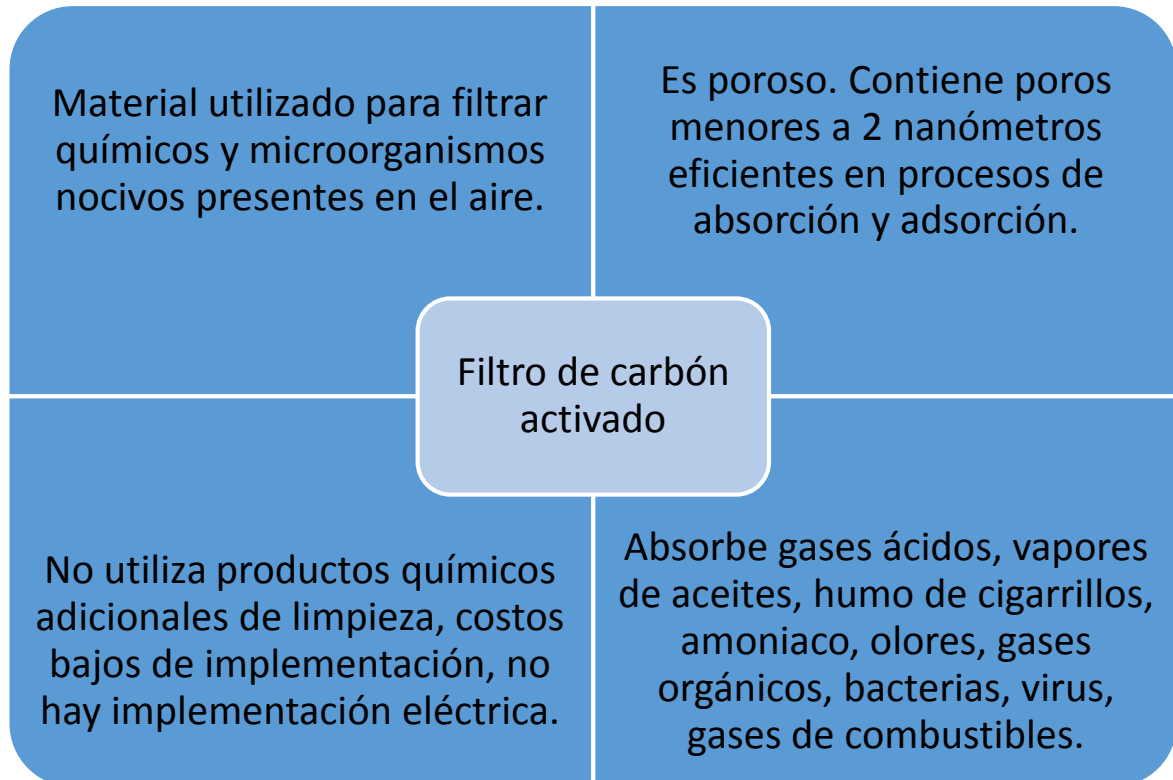


Fuente. 3M [Sitio Web] Catálogo de filtros 3M [Consulta: 15 de abril 2019] Disponible en <http://multimedia.3m.com/mws/media/737831O/proteccion-respiratoria.pdf>



3.3.2 Filtro de carbón activado. Para completar la purificación es necesario adicionar el elemento purificador al sistema, por lo que se escoge un sistema de purificación por filtro de carbono con las siguientes generalidades:

Cuadro 16. Generalidades del carbón activado.



Fuente: elaboración propia

Para la selección del filtro de carbón activado, debido a su baja utilización en elementos no industriales es de gran dificultad encontrar un filtro de carbón activado para la cumplir con las expectativas del proyecto, por lo tanto la marca ISOPREFIL es la única fabricante de cintas sintéticas de poliéster, empleando la adición del carbón activado; cabe resaltar que el carbón activado es comúnmente utilizado para la purificación de aire especialmente en aire acondicionado, sin embargo, es utilizado para diversas aplicaciones, donde su fin siempre es la purificación de diversos fluidos en la industria.

Para el caso del presente proyecto se utilizará un filtro de carbón ISOPREFIL CARB, que es una cinta sintética de poliéster impregnada de carbón activado granulado que adsorbe vapores, olores, además, el carbón pulverizado está impregnado en las fibras del filtro, lo que suministra una efectividad del 60-70% en purificación adsorbiendo gases Diesel, gases ácidos como dióxido de azufre, malos olores como huevo podrido, emisiones de gases contaminantes, humo de cigarrillo, SMOG, desechos orgánicos, aportando propiedades como resistencia a

la humedad, importante para el proyecto en caso tal que se llegue mojar por lluvias o algún otro fluido.

Tabla 4. Características del filtro Isoprefil.

Material	Fibras 100% poliéster impregnada de carbón activo
Espesor Medio	3mm
Peso de la media de poliéster	150 gr/m <sup>2</sup>
Peso del Carbón Activo	150 gr/m <sup>2</sup>
Estabilidad Térmica	90°C

Fuente: elaboración propia

Para resumir el sistema purificador se tiene lo siguiente:

Imagen 12. Sistema purificador.



Fuente: elaboración propia

El case se realizará adaptable a los filtros de carbón activado y P3 R, 5935 de la marca 3M. El presente elemento cuenta con potencial para comercializarse como repuesto del sistema de purificación pues el elemento es extraíble y los elementos filtrantes y purificadores deben ser adaptados a las medidas del case. Según fabricante del elemento filtrante (3M), el mismo debe ser reemplazado de acuerdo al trabajo realizado, en un promedio 50 horas según su catálogo.

### 3.4 SISTEMA DE TRANSPORTE

Será el encargado de transportar el fluido ya purificado desde la boca de salida del sistema de purificación hasta el inicio del sistema de suministro. Este transporte es fundamental en el proceso pues debe presentar la menor cantidad de pérdidas de presión de aire en el sistema y a su vez debe ser un material inerte para que el aire ya purificado, no se contamine.

El sistema de transporte cuenta con los siguientes subsistemas:



Cuadro 17. Subsistemas Sistema de transporte.

Sistema de Transporte	
1	Manguera
2	Acople entre manguera y sistema de captación

Fuente: elaboración propia

3.4.1 Manguera. Es muy importante que el elemento que transporte el fluido purificado no genere nuevos contaminantes al aire que se va a transportar, es por eso que se deben tener en cuenta elementos que ya hayan sido probados para respiración humana. En este caso se utilizará una manguera PVC medicinal ya probada y utilizada en Bogotá y todo el mundo para facilitar la respiración de pacientes con deficiencias respiratorias. Las mangueras que se tuvieron en cuenta para la selección se pueden encontrar en la tabla 5:

Tabla 5. Caracterización según cada tipo de manguera.

MANGUERAS PARA SUMINISTRO DE OXIGENO								
MARCA	FOTO	MATERIAL	PESO (kg)	DIAMETRO (cm)	LARGO (m)	ATOXICO	FLEXIBLE	RESISTE A LA RADIACIÓN SOLAR
WESTMED		PVC MEDICINAL	0,1	1,5	10	SI	NO	NO
BIOLIFE		PVC MEDICINAL	0,07	1	7	SI	SI	NO
ONE LIFE		PVC MEDICINAL	0,05	1	2	SI	SI	SI
ONE LIFE		PVC MEDICINAL	0,03	1	1	SI	SI	SI

Fuente: elaboración propia

Es importante para la selección de las mangueras tener en cuenta que se debe cumplir con los siguientes parámetros:

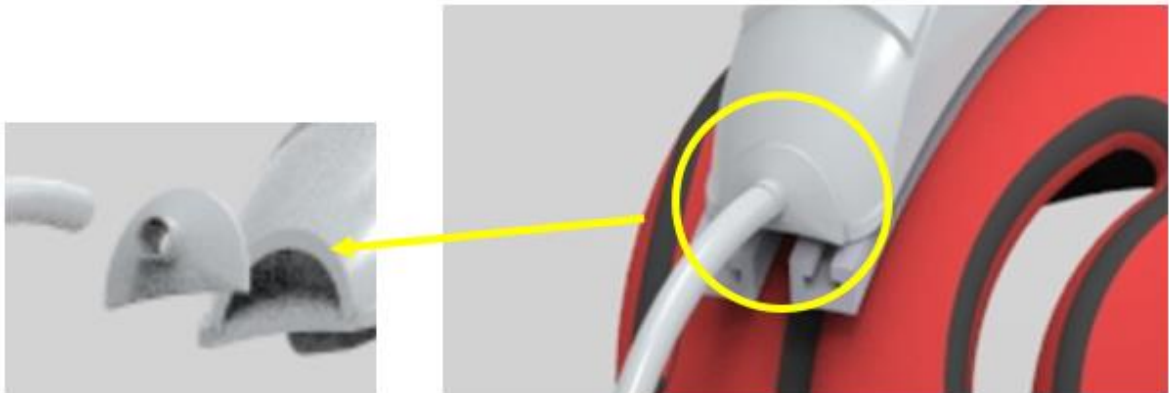
- Manguera con alta resistencia a la exposición directa al sol.
- Manguera con alta resistencia a la degradación térmica.
- Material no tóxico.

Por lo anterior se selecciona la manguera del proveedor ONE LIFE cuyas características generales son:

- Peso 0,3 kg
- Largo 30 cm
- Ancho 1 cm
- Atóxico
- Flexible
- Resistente a la radiación solar

3.4.2 Acople entre manguera y sistema de captación Como el sistema es de creación de los autores del presente trabajo, la salida del sistema de captación no se encuentra estandarizada, por lo que fue necesario el diseño de un acople que tuviera por un lado la forma adaptable al sistema de captación (semi circular ovalado), y por el otro tuviera una forma circular para acoplar la manguera de diámetro seleccionado (Sistema de transporte). La parte mencionada anteriormente puede ser vista en detalle en la imagen 12:

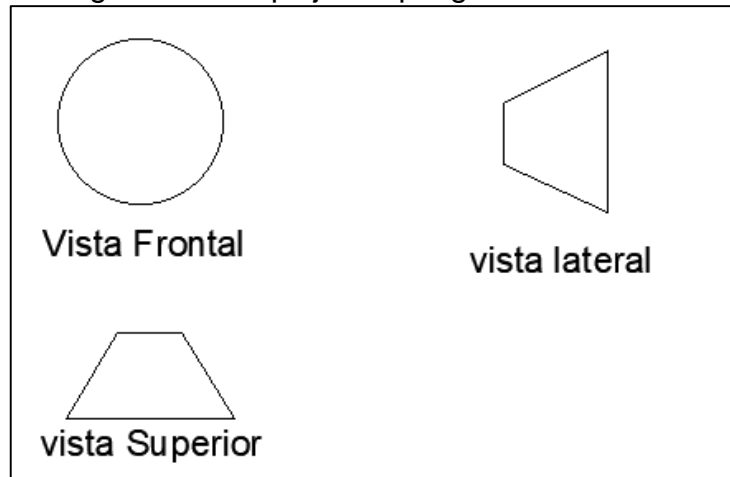
Imagen 13. Sistema purificador.



Fuente: elaboración propia

Para el acople se tuvieron los siguientes diseños:

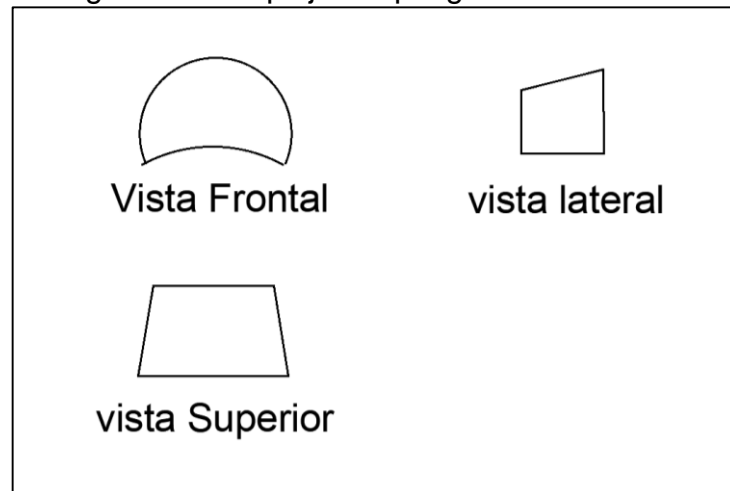
Imagen 14. Bosquejo acople geometría circular.



Fuente: elaboración propia

En la imagen 14 se tiene en cuenta el diseño de un sistema de captación con geometría circular, por lo que el sistema de acople debe tener el mismo tipo de geometría; el diseño circular es efectivo, sin embargo, tiene los mismos problemas del sistema de captación cuando se plantea con forma circular; la incompatibilidad con el sistema estructural.

Imagen 15. Bosquejo acople geometría ovalada.

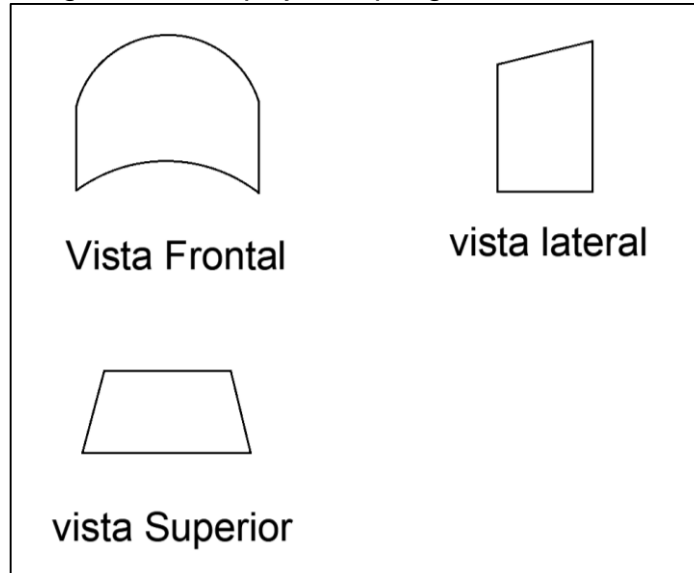


Fuente: elaboración propia

Como se puede ver en la imagen 15, el diseño del acople entre sistemas contempla la segunda alternativa de diseño del sistema de captación, el ovalado, sin embargo, este presenta las mismas fallas de diseño que se observan en la segunda opción de diseño del sistema mencionado; la imposibilidad de generar esta estructura

mediante técnicas de termoformado con láminas de ABS. Este elemento solo puede desarrollarse con técnicas de impresión 3D.

Imagen 16. Bosquejo Acople geometría semi-circular.



Fuente: elaboración propia

Como se puede ver en la imagen 16, el tercer diseño del acople entre sistemas contempla la última alternativa de diseño del sistema de captación, el semi circular, este genera la posibilidad de generar esta estructura mediante técnicas de termoformado con láminas de ABS, siendo este el diseño del acople seleccionado para el sistema de transporte.

### 3.5 SISTEMA DE SUMINISTRO

Este sistema es el encargado de otorgar la protección directa a las vías respiratorias del ciclista, mantener el aire purificado libre de contacto con las impurezas del ambiente y también de suministrar el aire necesario al ciclista en las condiciones en las cuales el ciclista no genera suficiente movimiento y por lo mismo no existe un aporte significativo a su respiración.

Para el análisis de las alternativas del sistema se seleccionó una alternativa comercial entre el catálogo de máscaras que posee la marca Base Camp.

La primera alternativa analizada fue la de BASE CAMP®dust mask URBAN, referenciada en la imagen 16. Esta mascara tiene las siguientes características según su fabricante BASE CAMP:

Imagen 17. Máscara BASE CAMP Urban.



Fuente. BASE CAMP. [Sitio web] Catálogo de productos Base Camp [Consulta: 10 de julio de 2019] Disponible en <https://basecamp.com/catalogodeproductos>

Como segunda opción, de la misma marca se encuentra la BASE CAMP® dust mask SPY, la cual ofrece una gran cantidad de aspectos similares a la URBAN pero con una sola válvula de inhalación y exhalación como se puede apreciar en la imagen 18:

Imagen 18. Máscara BASE CAMP SPY.



Fuente. BASE CAMP. [Sitio web] Catálogo de productos Base Camp [Consulta: 10 de julio de 2019] Disponible en <https://basecamp.com/catalogodeproductos>

Como resumen se puede decir que la máscara BASE CAMP®dust mask SPY posee la siguiente clasificación:

- Lavable
- Adaptable a los otros sistemas A, B, C, D.
- Filtración de partículas PM2.5
- Purificación del aire con el filtro de carbón activado
- Bajo Costo \$130.000 COP
- Filtro cambiable
- Adaptabilidad a morfología colombiana por su ajuste con velcro
- Aplicabilidad a deportes de baja exigencia o inhalación / exhalación moderadas.

Por último, encontramos la BASE CAMP®dust mask 1, que en esencia es la misma BASE CAMP®dust mask URBAN pero el ajuste de esta no rodea la oreja sino que hace apriete alrededor de la nuca pasando por debajo de la oreja, lo cual hace que se pueda perder sujetabilidad en terrenos donde pueda ocurrir vibración de la bicicleta

Imagen 19. Máscara BASE CAMP Dust mask 1.



Fuente. BASE CAMP. [Sitio web] Catálogo de productos Base Camp [Consulta: 10 de julio de 2019] Disponible en <https://basecamp.com/catalogodeproductos>

Como resumen se puede decir que la máscara BASE CAMP®dust mask 1 posee la siguiente clasificación:

- Lavable



- Adaptable a los otros sistemas A, B, C.
- Filtración de partículas PM2.5
- Purificación del aire con el filtro de carbón activado
- Costo medio \$270.000 COP
- Filtro cambiable
- Adaptabilidad a morfología colombiana por su ajuste con velcro
- Aplicabilidad a deportes de alta exigencia o inhalación / exhalación elevadas.
- Baja aplicabilidad al sistema de transporte.

Para la selección de la mejor alternativa de las descritas anteriormente es importante resaltar que para el presente trabajo de grado y teniendo en cuenta lo mencionado en los sistemas A, B, C y D es importante que el sistema de suministro (D) cuente con lo siguiente:

- El sistema de suministro D debe ser compatible con el sistema de transporte C.
- El sistema de suministro debe garantizar que el aire de la capital no ingrese al sistema respiratorio humano sin ser filtrado.
- El sistema de suministro debe ser hermético para evitar pérdidas de carga y contaminación del aire ya purificado.
- El sistema debe permitir el cambio del filtro cada vez que este se deteriore o pierda sus propiedades.
- El sistema debe poder filtrar partículas PM2.5.
- El sistema debe poder ser usado en actividades de alta exigencia física (alta inhalación y exhalación de gran caudal)
- El sistema debe mantener su adherencia en situaciones de alta vibración.
- El sistema debe ser liviano.

Analizando las constantes a las que debe estar sometido el sistema se realiza el siguiente análisis presentado en el cuadro 17, que demuestra que la mejor alternativa es la de seleccionar la BASE CAMP® Urban™.

Cuadro 18. Caracterización según cada tipo de máscara.

MASCARA BASE CAMP® dust mask	CALIFICACIÓN	CAPACIDAD DE REEMPLAZO DE FILTRO	COSTO	PESO	ADAPTABILIDAD A SISTEMAS A,B,C Y	ADAPTABILIDAD A FILTRO PM2.5	ADAPTABILIDAD A HUMANO	HIGIENE	HERMÉTICO	CAUDAL SUMINISTRADO
BASE CAMP® Urban™	ALTA	X			X	X	X	X	X	X
	MEDIA			X						
	BAJA		X							
BASE CAMP® Spy™	ALTA	X			X	X	X	X	X	
	MEDIA									
	BAJA		X	X						X
BASE CAMP® 1™	ALTA	X		X		X		X	X	X
	MEDIA		X		X		X			
	BAJA									

Fuente: elaboración propia.

La máscara BASE CAMP® Urban™ posee las siguientes características:

Cuadro 19. Características Máscara BASE CAMP URBAN.



Válvulas con baja resistencia a la respiración que garantizan a su vez la rápida exhalación con una gran cantidad de orificios. La máscara posee dos válvulas para la respiración, lo que maximiza la respiración sin sacrificar eficiencia de filtrado.



La máscara posee un orificio ajustable para la oreja y un cierre con velcro que hace que sea imposible su desajuste y a su vez es más cómodo su uso. Su sello ajustable en la nariz garantiza el cierre hermético.



Posee una característica de facilidad de limpieza, las válvulas y la coraza de la máscara pueden ser removidas y lavadas cuando se ensucien, además el filtro es reemplazable y logra filtrar el 95% del humo generado por los vehículos, el polen, los químicos y las fuentes contaminantes, así como otros posibles polvos irritantes.

Fuente: elaboración propia

Cuadro 20. Tabla resumen de alternativas de solución.

<b>SELECCIÓN FINAL DEL SISTEMA DE PURIFICACIÓN DE AIRE</b>		
<b>SISTEMA</b>	<b>SELECCIÓN FINAL</b>	<b>ESQUEMA</b>
<b>A. ESTRUCTURAL</b>	Casco para disciplina Urbana	
	Riel con curvatura	
<b>B. CAPTACIÓN</b>	Geometría semi-circular	
<b>C. PURIFICACIÓN</b>	3M™ Filtro de partículas P3 R, 5935	

Continuación cuadro 20

	<p>Filtro de Carbono</p>	
<p><b>D. TRANSPORTE</b></p>	<p>Manguera de PVC Medicinal 1mt de largo y diámetro interno 0,5 cm</p>	
	<p>Acoples para manguera</p>	
<p><b>E. SUMINISTRO</b></p>	<p>Mascara BASE CAMP ® dust mask URBAN ™</p>	

Fuente: elaboración propia.

#### 4. DESARROLLO DEL SISTEMA DE PURIFICACIÓN DE AIRE

Es importante destacar que el sistema de purificación de aire, como se ha demostrado a lo largo del trabajo, es la unión de cinco sistemas que funcionan en común para desarrollar el objetivo de purificación y suministro de aire purificado al usuario de bicicleta en Bogotá.

Por lo anterior, se analizan varias constantes de entrada y salida que se deben cumplir, para que el sistema logre el objetivo propuesto, entre las que se encuentran:

##### 4.1 SISTEMA ESTRUCTURAL

Imagen 20. Sistema estructural.



Fuente: elaboración propia

Imagen 21. Casco, sistema estructural.



Fuente: elaboración propia

#### Características del casco

- Es un casco robusto.
- Mayor peso que los otros cascos de la misma disciplina.
- Sirve para trayectos cortos.
- Posee una adecuada ventilación.
- Tiene un menor precio que la competencia.

El sistema adhesivo que se utilizará para pegar el sistema al casco será una cinta adhesiva marca 3M, en específico Cinta VHB 5952, debido a que sus características proporcionan un alto índice de adhesión para montajes externos, se adapta a la deformación de las superficies y es especial para unir superficies plásticas, como lo es el caso del proyecto.

Imagen 22. Cinta VHB 5952.

Cinta VHB 5952  
Negra

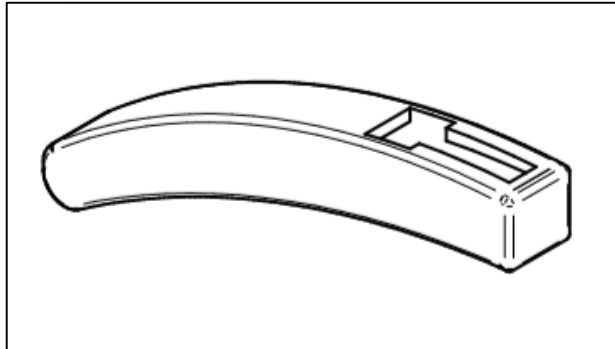


Fuente. 3M. Catálogo Cintas y adhesivos industriales.  
Cinta VHB 5952. 2019, p. 24.

Estas cintas de espuma acrílica de doble cara de alta resistencia le permiten crear de forma rápida y sencilla una unión duradera que construye fuerza con el tiempo, de acuerdo a la información suministrada por el fabricante. Con la capacidad de unirse a una variedad de materiales, incluyendo aluminio, acero, vidrio, plásticos y superficies pintadas y con recubrimiento en polvo, proporcionan soluciones de unión resistentes en casi cualquier cosa.

La cinta mencionada servirá de elemento adhesivo entre el casco y el riel curvo de la imagen 23:

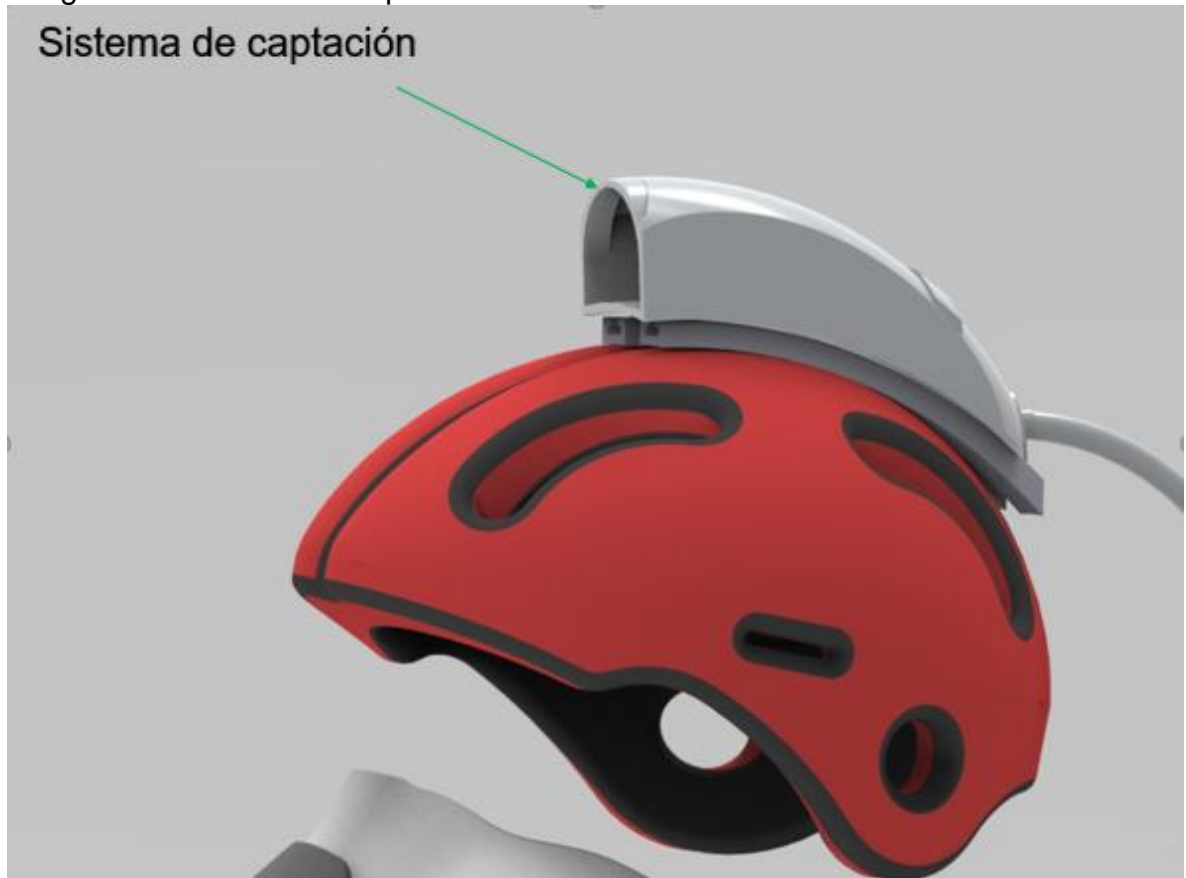
Imagen 23. Diseño final Riel Curvo



Fuente: elaboración propia

## 4.2 SISTEMA DE CAPTACIÓN

Imagen 24. Sistema de Captación.



Fuente: elaboración propia

Para el sistema de captación se asumió el reto de identificar la cantidad de aire requerido para el adecuado funcionamiento del diseño planteado por lo que se precedió a detallar el área mínima requerida para el esfuerzo de un ciclista en condiciones de exigencia extrema y luego con un factor de diseño redimensionar el valor obtenido para de esta manera poder afrontar todos los elementos restrictivos que tendrá el sistema propuesto para el desarrollo del objetivo propuesto.

Primero se determina la fórmula para determinar el área requerida para aportar el aire necesario al usuario:

Ecuación 1

$$Q_{\text{máx}} = A \cdot V$$

Fuente: elaboración propia

Ecuación 2

$$A = \frac{Q_{\text{máx}}}{V}$$

Fuente: elaboración propia



Donde:

- $Q_{\text{máx}}$  es el caudal máximo necesario para el que el usuario respire en condiciones de esfuerzo extremo.
- $V$  es la velocidad máxima con la que el viento entrara en la cavidad del sistema. Luego se procede a realizar las conversiones necesarias, según parámetros y requisitos para el área requerida:

$$V = 26 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}$$
$$V = 2,6 \times 10^6 \frac{\text{cm}}{\text{h}}$$

$$Q_{\text{máx}} = 100 \frac{\text{L}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \cdot \frac{(100 \text{ cm})^3}{(1 \text{ m})^3} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}$$
$$Q_{\text{máx}} = 6 \times 10^6 \frac{\text{cm}^3}{\text{h}}$$

Reemplazando los datos en la ecuación de área:

$$A = \frac{Q_{\text{máx}}}{V}$$
$$A = \frac{6 \times 10^6 \frac{\text{cm}^3}{\text{h}}}{2,6 \times 10^6 \frac{\text{cm}}{\text{h}}}$$
$$A = 2,31 \text{ cm}^2$$

### **Selección del factor de diseño:**

Para el factor de diseño propuesto se diseñó una metodología para seleccionar un factor que permitiera cumplir con el margen de respiración humana deseado, para lo cual se desglosó el mencionado factor en tres categorías que son Factor de Usuario ( $F_u$ ), Factor de geometría e instalación ( $F_g$ ) y finalmente el factor de dinámica climática ( $F_c$ ), cuya fórmula para determinar el factor de diseño se obtiene de la siguiente ecuación:

$$F_D = F_u * F_g * F_c$$

- **Factor de Usuario ( $F_u$ ):**

Mide la heterogeneidad de la población que vaya a usar el sistema proporcionado. Este factor es importante porque los seres humanos, dependiendo de las condiciones climáticas de su procedencia y las condiciones de raza poseen diferentes capacidades respiratorias por lo que se asume un escenario conservador para la tabla 6:

Tabla 6. Factor de usuario.

Factor de usuario (Fu)	
Influencia por más de 10 regiones	1,7
Influencia por entre 5 y 10 regiones	1,5
Influencia por < 5 regiones	1,3

Fuente: elaboración propia

- Factor de Geometría e Instalación (Fg):

Mide los factores que afectan la dinámica interna del flujo de aire en el sistema. Dependiendo de cada uno de los elementos que se van a describir a continuación se realiza una sumatoria para determinar cuál sería el factor que se ajusta a cada una de las categorías:

Cambios de diámetro: Este elemento puede significar una reducción o un aumento en la presión, por lo que en caso de presentarse un aumento del diámetro se generará un efecto de sobredimensionamiento y en caso de reducir el diámetro, aumentando la presión del sistema se debe subdimensionar, como se refleja en la tabla 7:

Tabla 7. Cambio de Diámetro.

Cambio de diámetro (A)	
Aumento > 20%	1,2
Aumento > 50%	1,5
Reducción > 20%	0,8
Reducción > 50%	0,6

Fuente: elaboración propia

El otro elemento para evaluar este factor es el ítem de pérdida por acoples, que debe ser evaluado pues cada acople que tenga el sistema va a generar una pérdida de carga. Lo anterior puede ser descrito según la tabla 8:

Tabla 8. Pérdida de carga por acoples.

Pérdida de carga por acoples (B)	
1-3 Acoples	1,1
3-5 Acoples	1,2
5-7 Acoples	1,3
Más de 7 acoples	1,5

Fuente: elaboración propia

Finalmente, este elemento debe tratarse únicamente para elementos de filtración en la respiración, que es la pérdida de carga asociada directamente al elemento

filtrante. El valor de este elemento se obtiene de la relación de pérdida de carga con el valor inicial de presión y obtiene el valor como lo describe la tabla 9:

Tabla 9. Factor pérdida de carga

Pérdida de carga por filtro (C)	
< 1%	1,2
1% < X < 5%	1,4
5% < X < 10%	1,6
10% < X < 20%	2

Fuente: elaboración propia

Para el cálculo del Factor de Geometría e instalación (Fg) se tiene que:

Ecuación 3

$$F_g = A + B + C$$

Fuente: elaboración propia

Por último, se deben tener en cuenta el factor de dinámica climática (Fc), que es un factor que determina cuan variante es el clima de la región en la que se va a desempeñar el diseño propuesto, por lo cual se planteó la siguiente relación:

Tabla 10. Factor de dinámica climática.

Factor de dinámica climática (Fc)	
Variación velocidad del aire entre 0-3 km/h	1,0
Variación velocidad del aire entre 4-6 km/h	1,2
Variación velocidad del aire entre 7-9 km/h	1,4
Variación velocidad del aire de más de 10 km/h	1,6

Fuente: elaboración propia

Ahora, para el caso del siguiente proyecto se obtienen los siguientes valores:

Fu = 1.7 por ser una zona influenciada por todos los habitantes de Colombia, además por tener inmigrantes de todas partes del mundo. (>10 diferentes departamentos)

En cuanto al Fg se tiene:

A= 0.6 Por contar con una reducción de diámetro de más del 50%

B= 1.1 Por contar con sólo un acople entre sistemas

C= 1.2 Debido a que el elemento filtrante solamente reporta una pérdida de carga de 120 Pascales, lo que sería menos de 0,05 % de pérdida de carga total.

Reemplazando en la ecuación 4, se tiene:

#### Ecuación 4

$$F_g = A + B + C$$

Fuente: elaboración propia

$$F_g = 0.6 + 1.1 + 1.2$$

$$F_g = 2.9$$

Finalmente, para el valor de  $F_c$  se tiene un valor de 1.2 ya que la variación de velocidad de viento en Bogotá oscila entre 0 km/h y 6 km/h por lo que él está en un rango de 6.

Reemplazando los valores obtenidos anteriormente se tiene que:

#### Ecuación 5

$$F_D = F_u * F_g * F_c$$

Fuente: elaboración propia

$$F_D = 1.7 * 2.9 * 1.2$$

$$F_D = 5.916$$

Aproximándolo se obtiene que:

$$F_D = 6$$

Asumiendo el factor de diseño propuesto anteriormente, se procede a multiplicar el área mínima requerida por el mencionado factor y se obtiene:

$$A_{\text{diseño}} = 2,31 \text{ cm}^2 * F_D$$

$$A_{\text{diseño}} = 2,31 \text{ cm}^2 * 6$$

$$A_{\text{diseño}} = 13,86 \text{ cm}^2$$

Por lo tanto el Sistema propuesto debe tener 13.86 cm<sup>2</sup> como área mínima para poder cumplir con el objetivo propuesto.

### 4.3 SISTEMA DE PURIFICACIÓN

Imagen 25. Sistema de Purificación.



Fuente: elaboración propia

Ahora que se conoce la restricción al flujo generada por el sistema de purificación es necesario determinar la disminución necesaria en el área de salida del sistema de captación que generará el diferencial de presión necesario para vencer la mencionada restricción. Para lo cual se requieren las siguientes precisiones:

- El principio de Bernoulli no puede ser utilizado en este caso puntual toda vez que el sistema funcionará con un fluido compresible y la ecuación de Bernoulli establece que la densidad del fluido se mantendrá constante sin importar el cambio en la geometría del sistema.
- Se asumirá el cambio en la temperatura del sistema como nulo, por lo que el proceso será asumido como isotérmico.
- La ecuación que regirá el comportamiento del fluido dentro del sistema será la de Boyle – Mariotte que expresa su ecuación 6:

$$\text{Ecuación 6}$$
$$\frac{P_1 * V_1}{T_1 * n_1} = \frac{P_2 * V_2}{T_2 * n_2}$$

Fuente: elaboración propia

Ecuación 7

$$V = A * h$$

Fuente: elaboración propia

En donde:

$n_1$  = numero de moles entrada(constante)

$n_2$  = numero de moles salida (constante)

$T_1$  = Temperatura del sistema entrada(cte)

$T_2$  = Temperatura del sistema salida(cte)

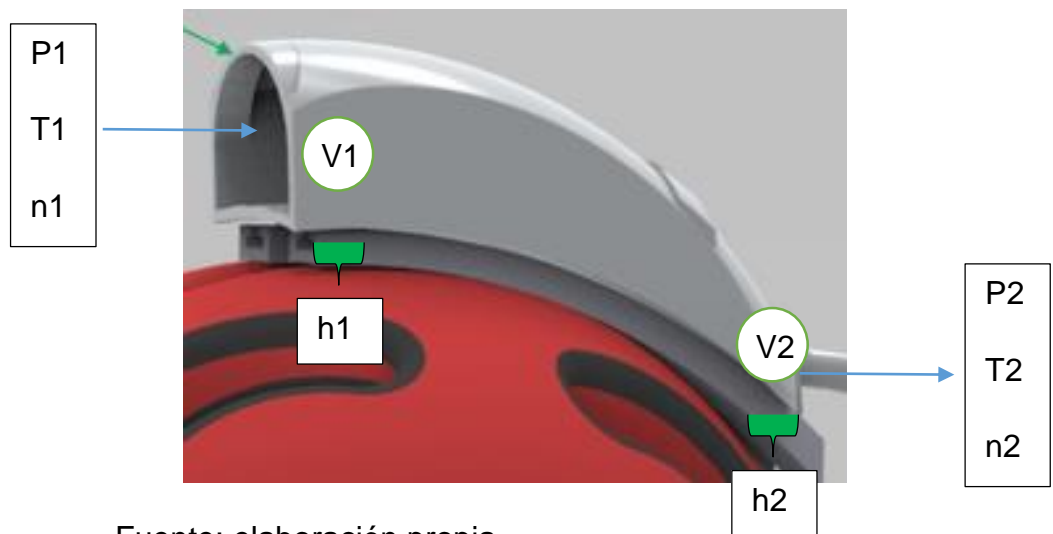
$P_1$  = Presión entrada       $P_2$  = Presión salida

$V_1$  = Volumen entrada       $V_2$  = Volumen salida

$h_1$  = espesor entrada(constante)     $h_2$  = espesor salida(constante)

Para claridad del lector, la imagen 26 identifica cada una de las variables mencionadas y las ubica en el sistema de captación:

Imagen 26. Ubicación de las variables de las ecuaciones 6 y 7 en el sistema de captación.



Fuente: elaboración propia.

Al ser  $n$ ,  $T$  y  $h$  constantes se eliminan de la igualdad por lo que queda expresado de la siguiente forma:

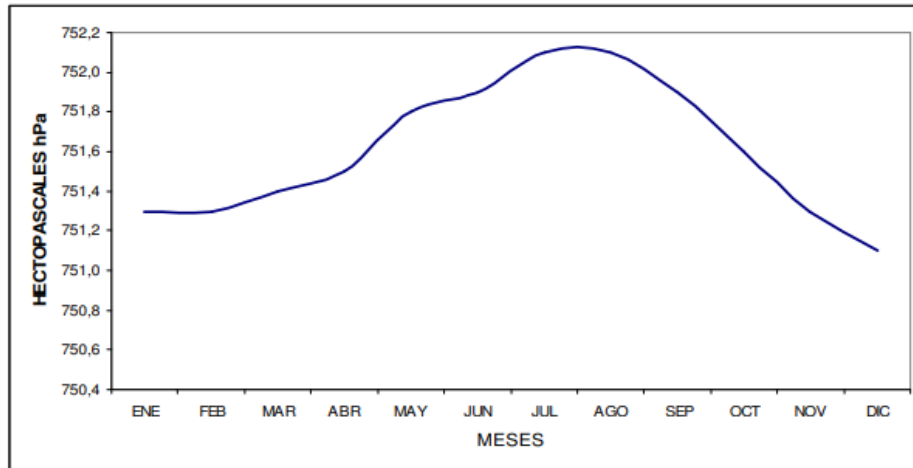
Ecuación 8

$$P_1 * A_1 = P_2 * A_2$$

Fuente: elaboración propia

- Para la medida promedio de la presión atmosférica de Bogotá, se utiliza la medición promedio del año 2018 en la estación meteorológica del aeropuerto El Dorado en donde se aprecian los resultados mes a mes y se pueden apreciar en la gráfica 4:

Gráfica 4. Presión atmosférica reportada en base aeropuerto El Dorado.



Fuente. IDEAM

De la gráfica 4 se puede concluir que el promedio de Presión atmosférica en Bogotá es de 75160 Pa.

Por lo anterior se asume que:

$$P_1 = 75160 \text{ Pa}$$

De los cálculos obtenidos en el sistema de captación se obtiene el Área 1 o de entrada que equivale a:

$$A_1 = 13,86 \text{ cm}^2$$

Como el objetivo de los cálculos presentados es hallar cual es el volumen necesario al cual desea ser comprimido el aire que entra al sistema para contrarrestar la caída de presión originada por el sistema de purificación entonces debe agregarse a los cálculos presentados la caída de presión relacionada a este efecto:

Ecuación 9

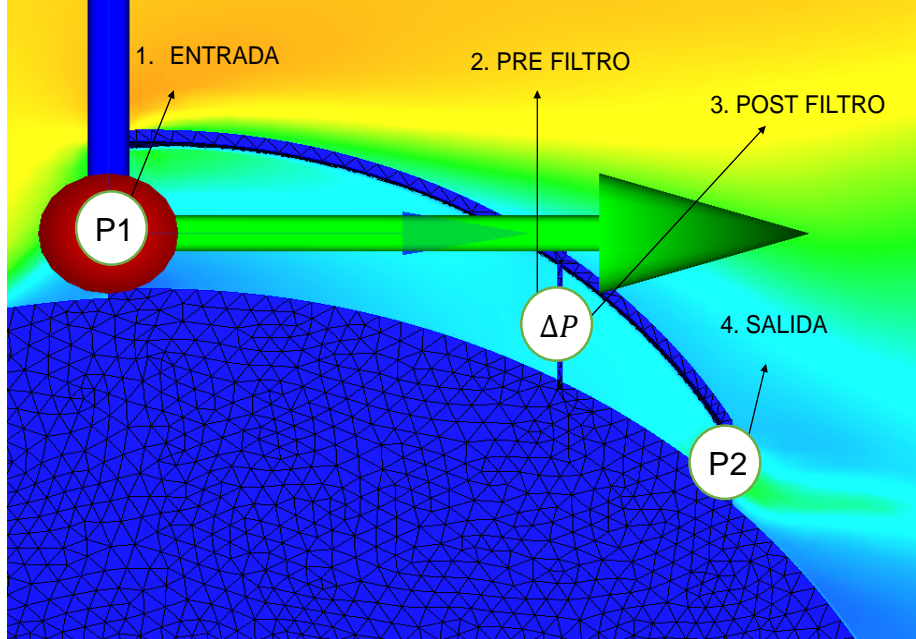
$$P_1 = P_2 + \Delta P$$

$$P_2 = P_1 - \Delta P$$

Fuente: elaboración propia

La ecuación 9 plantea que la presión a la salida del sistema ( $P_2$ ) es equivalente a la presión de entrada menos la caída de presión originada por el sistema de purificación.

Imagen 27. Diagrama ubicación de puntos sobre el sistema de captación.



Fuente: elaboración propia

Se reemplaza la ecuación 9 y el  $\Delta P$  y obtenemos la siguiente igualdad en donde se obtiene el Área de salida ( $A_2$ ).

$$\begin{aligned} \Delta P &= 120 \text{ Pa} \\ \frac{P_1 * A_1}{P_2} &= A_2 \\ \frac{P_1 * A_1}{P_1 - \Delta P} &= A_2 \\ \frac{75160 \text{ Pa} * 13,86 \text{ cm}^2}{75160 \text{ Pa} - 120 \text{ Pa}} &= A_2 \\ 13,8821 \text{ cm}^2 &= A_2 \end{aligned}$$

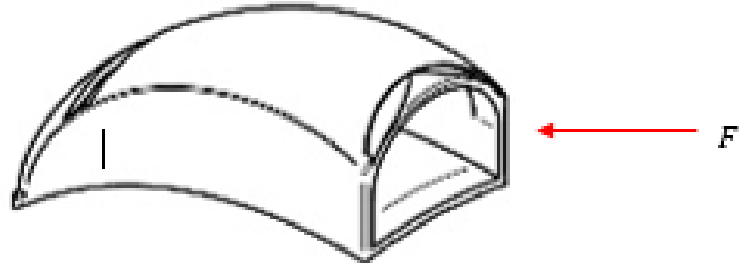
Los resultados obtenidos explican que la diferencia entre el área de salida y el área de entrada no es una variable significativa pues los valores de presión de entrada y presión de salida difieren únicamente entre su segunda cifra decimal. Razón de esto es la escasa reducción de la presión originada por el sistema de purificación.

Esta variable de diseño da vía libre a los autores para generar la presión necesaria para los otros sistemas sin tener en cuenta el sistema de purificación como elemento reductor de presión, por lo que el diámetro de salida del sistema de captación depende únicamente de las necesidades respiratorias del elemento humano y de las exigencias del deporte.



## Selección del resorte

Imagen 28. Esquema de fuerzas sobre sistema de Captación.



Fuente: elaboración propia

La ecuación que representa la fuerza que ejerce el viento sobre el sistema de captación es necesaria para calcular los parámetros de diseño del resorte y se expresa a continuación:

Ecuación 11

$$F = A * P * C_d$$

Fuente: elaboración propia

Donde:  $F$  = Fuerza de Viento (N)       $P$  = Presión dinámica  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}\right)$   
 $C_d$  = Coeficiente de arrastre

Así mismo la ecuación que representa el comportamiento de la presión dinámica del viento es:

Ecuación 12

$$P = \frac{1}{2} * \rho * V^2$$

Fuente: elaboración propia

$$P = \frac{1}{2} * 0,895 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left(7,22 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$
$$P = 23,3418 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}^2}$$

De la imagen 29 y asumiendo el sistema de captación como un cilindro corto se obtiene  $C_d=1,15$

Imagen 29. Coeficientes de arrastre simplificados según geometría.

Shape	Drag Coefficient	Shape	Drag Coefficient
Sphere	0.47	Long Cylinder	0.82
Half-sphere	0.42	Short Cylinder	1.15
Cone	0.50	Streamlined Body	0.04
Cube	1.05	Streamlined Half-body	0.09
Angled Cube	0.80	Measured Drag Coefficients	

Fuente. Gráfica, disponible en: MCCORMICK, BARNES W. Aerodynamics, Aeronautics and Flight mechanics. 2018, p. 86

Se reemplazan los datos en la siguiente ecuación y se obtiene:

Ecuación 13

$$F = A * P * C_d$$

Fuente: elaboración propia

$$F = 0,001386 \text{ m}^2 * 23,34 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}^2} * 1.15$$

$$F = 0.0372 \text{ N}$$

Lo que significa que el resorte seleccionado debe poder soportar (sin presentar ningún tipo de deflexión) un total de 0,0372 N.

Con los elementos obtenidos anteriormente y con la tasa de deflexión deseada se recurrió al catálogo de THE SPRING STORE buscando el resorte que se ajustara a las medidas del riel diseñado y además cumpliera con el factor de deflexión requerida.

Imagen 30. Catálogo de Resortes.

Click for Discount Chart	Stock Part Number	Buy																
\$1.91	PC254-3175-101000-SST-107950-C-N-MM			3.175	2.667	107.950	0.015	82.042	1.187	25.908	0.254	101.000	SST - Stainless Steel 302	C				
\$1.76	PC457-7925-30000-MW-101600-C-N-MM			7.925	7.010	101.600	0.037	87.427	3.245	14.173	0.457	30.000	MW - Music Wire	C				
\$4.77	PC508-4775-42000-SST-101600-C-N-MM			4.775	3.759	101.600	0.184	54.346	9.985	21.844	0.508	42.000	SST - Stainless Steel 302	C				
\$2.01	PC508-7925-27800-MW-92964-C-N-MM			7.925	6.909	92.964	0.063	78.334	4.909	14.630	0.508	27.800	MW - Music Wire	C				
\$1.71	PC584-3962-48500-SST-95250-C-N-MM			3.962	2.794	95.250	0.557	31.590	17.600	28.931	0.584	48.500	SST - Stainless Steel 302	C				
\$6.96	PC635-6350-61000-SST-101600-C-N-MM			6.350	5.080	101.600	0.127	62.230	7.878	39.370	0.635	61.000	SST - Stainless Steel 302	C				

Fuente. THE SPRING STORE. Catálogo de Resortes. 2019, p.34.

Del anterior catálogo se selecciona el siguiente resorte:

Imagen 31. Resorte Seleccionado



Compression Spring Dimensions - MM		
	Stock Part Number	PC1219-7925-30000-MW-101600-C-N-MM
	Outer Diameter (mm)	7.925
	Inner Diameter (mm)	5.486
	Free Length (mm)	101.600
	Solid Height (mm)	37.795
	Wire Diameter (mm)	1.219
	Total Coils	30.000
	Rate (N/mm)	2.592
	Max. Load (N)	83.124
	Max. Deflection (Max. Travel)(mm)	32.065
	Material Type	MW - Music Wire
	End Type	C

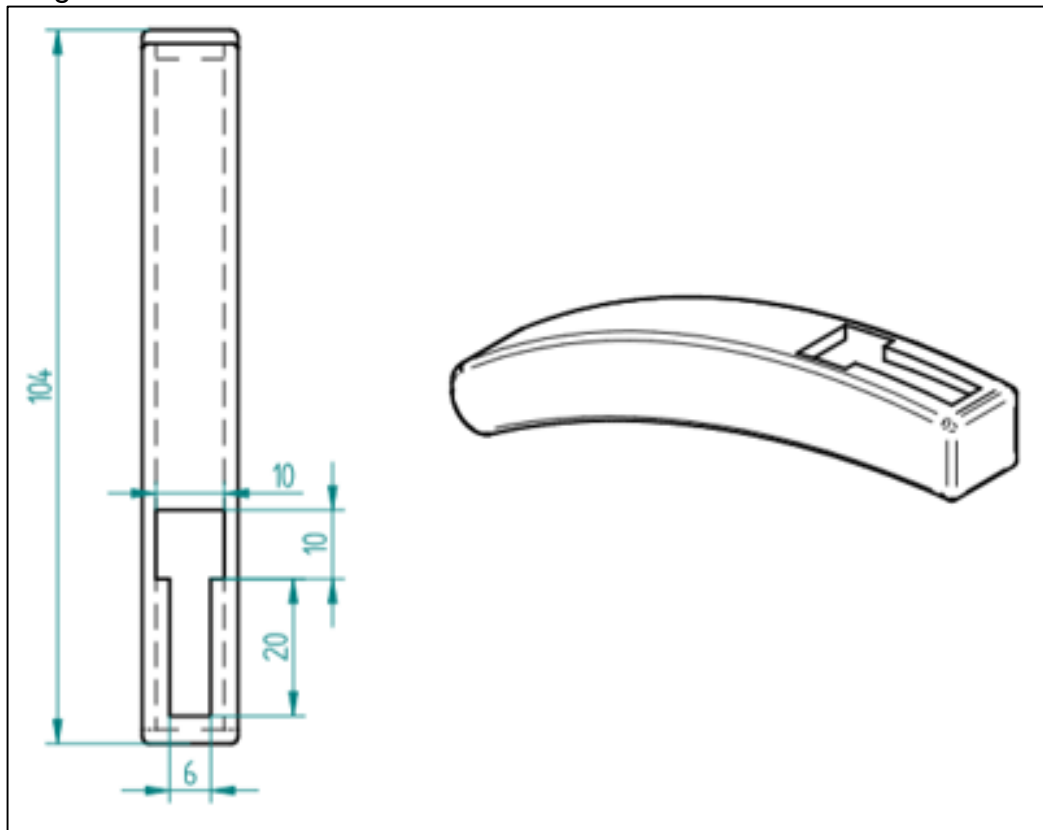
Fuente. THE SPRING STORE. Catálogo de Resortes. 2019, p.38.

El resorte seleccionado será capaz de resistir la presión demostrada del viento a las velocidades propuestas y además tendrá la resistencia adecuada para que la fuerza de cualquier ser humano pueda desprender la zona del riel del sistema de captación y de esta manera el sistema se pueda desacoplar para los pasos de mantenimiento expresados en el capítulo correspondiente.

Redimensionamiento del riel:

Con las medidas del resorte seleccionado se procede a reformar las medidas internas del riel diseñado para cumplir con el diseño propuesto.

Imagen 32. Riel modificado.

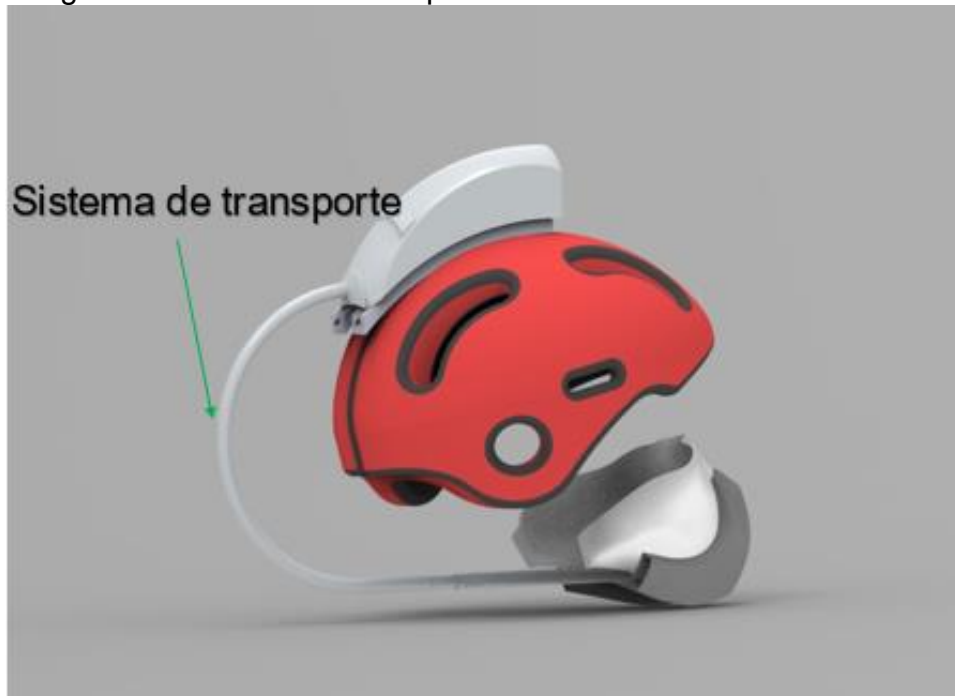


Fuente: elaboración propia

Como se puede apreciar en la imagen 32, se procedió a modificar las medidas del riel para adaptabilidad al resorte propuesto.

#### 4.4 SISTEMA DE TRANSPORTE

Imagen 33. Sistema de Transporte.



Fuente: elaboración propia

Según catálogo de ONE LIFE, las especificaciones de la manguera para respiración humana descrita en la imagen 34 no tienen un coeficiente de fricción al aire significativo en distancias menores a cinco metros.

Imagen 34. Manguera



Fuente. ONE LIFE. Catálogo de mangueras One Life. 2019, p.29

Como la distancia usada por el sistema de transporte del presente proyecto es menor a 30 cm, se entiende como cero el coeficiente de fricción por lo que no se realizan cálculos de pérdida de carga asociado al sistema de transporte.

#### 4.5 SISTEMA DE SUMINISTRO

Imagen 35. Sistema de Suministro.

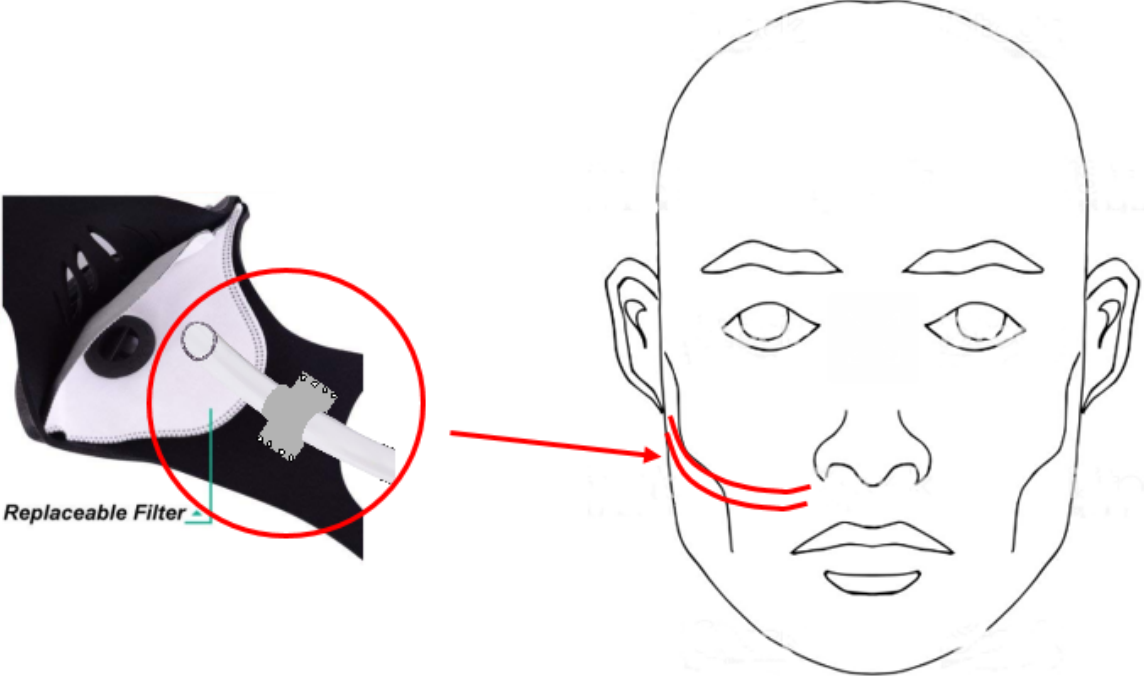


Fuente: elaboración propia

Es necesario contemplar un método de adaptación entre los sistemas de transporte y suministro, por lo que se realiza una pieza de velcro añadida por sistema de ultrasonido (sin costuras) como elemento que permite la unión del sistema de transporte y de suministro como se aprecia en la imagen 44.

De esta manera se asegura que el aire purificado no se contamine y pueda llegar con total efectividad al sistema respiratorio humano.

Imagen 36. Adaptación con ultrasonido al sistema de suministro.



Fuente: elaboración propia

## 5. SIMULACIÓN

Como objetivos de la simulación se plantearon:

- Determinar la eficiencia de filtración
- Determinar la eficiencia del sistema comparado con su funcionamiento ideal.
- Determinar el porcentaje de eficiencia en relación a la respiración normal.

Como datos de entrada para la simulación se tienen dos escenarios; uno optimista y otro pesimista, en el pesimista se analiza un día utópico donde la velocidad del aire en Bogotá está en el cero absoluto y no hay aporte a la velocidad del aire a la entrada del sistema, este caso puntual también puede asumirse como si la velocidad del aire estuviera direccionada en el mismo sentido de recorrido del ciclista, por lo que no hay aporte a la velocidad de entrada del aire.

Tabla 11. Parámetros de velocidad de entrada del aire para simulación.

Velocidad mínima en Bogotá (km/h)	Velocidad Máxima en Bogotá (km/h)	Velocidad Ciclista (km/h)	Velocidad Ciclista (km/h)+ Velocidad máxima viento Bogotá (km/h) "mejor escenario"	Velocidad Ciclista (km/h) + Velocidad máxima viento Bogotá (km/h) "peor escenario"
0	6	0	6	0
0	6	1	7	1
0	6	2	8	2
0	6	3	9	3
0	6	4	10	4
0	6	5	11	5
0	6	6	12	6
0	6	7	13	7
0	6	8	14	8
0	6	9	15	9
0	6	10	16	10
0	6	11	17	11
0	6	12	18	12
0	6	13	19	13
0	6	14	20	14
0	6	15	21	15
0	6	16	22	16
0	6	17	23	17
0	6	18	24	18
0	6	19	25	19
0	6	20	26	20

Fuente: elaboración propia



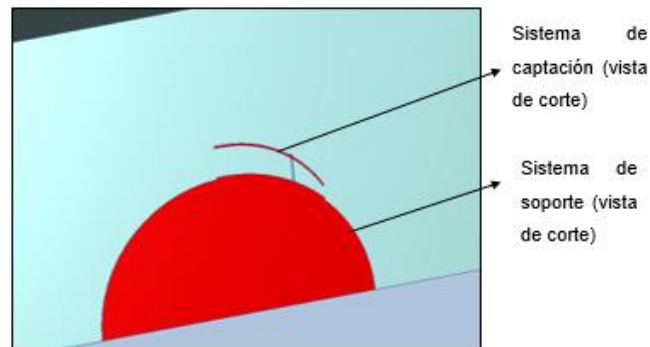
Adicional a eso se diseñó el sistema de captación con las medidas planteadas en el capítulo 4, en donde se obtuvo:

$$A_{\text{diseño}} = 13,86 \text{ cm}^2$$

Como paso siguiente se determinó una reducción de diámetro interno superior a lo expuesto más adelante del mismo capítulo para vencer la restricción al flujo generada por el juego de filtros (120 Pascales).

Finalmente se procedió a llevar los datos de entrada y el modelo elaborado en SolidEdge al software CFD Autodesk como se puede apreciar en la imagen 37.

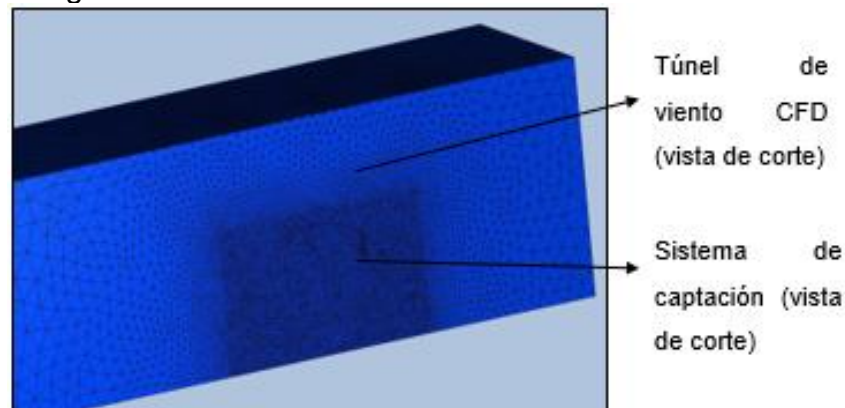
Imagen 37. Vista en corte de sistema estructural y de captación en software CFD.



Fuente: elaboración propia, con base en: Autodesk.

Luego se incluye la combinación de los sistemas mencionados dentro de un túnel de viento en donde se analizará el comportamiento del aire cuando choca con la superficie, razón por la cual se procede a realizar un enmallado de cada uno de los puntos de las superficies de los sistemas y del túnel de viento expuesto como se puede apreciar en la imagen 38:

Imagen 38. Enmallado del Sistema.



Fuente: elaboración propia, con base en: Autodesk.

Cabe resaltar que el software Autodesk realiza un enmallado automático que prioriza los elementos necesarios para la simulación, producto de este enmallado se obtuvo lo siguiente:

Tabla 12. Elementos necesarios para la simulación.

Surface refinement	1
Gap refinement	1
Resolution factor	1.0
Edge growth rate	1.1
Minimum points on edge	2
Points on longest edge	10
Surface limiting aspect ratio	20
Surface growth rate	1.2
Enhancement growth rate	1.1
Refinement length	0.40000000596
Fluid gap elements	1.0
Thin solid elements	0.2

Fuente: elaboración propia

Del anterior enmallado se obtuvieron los siguientes elementos:

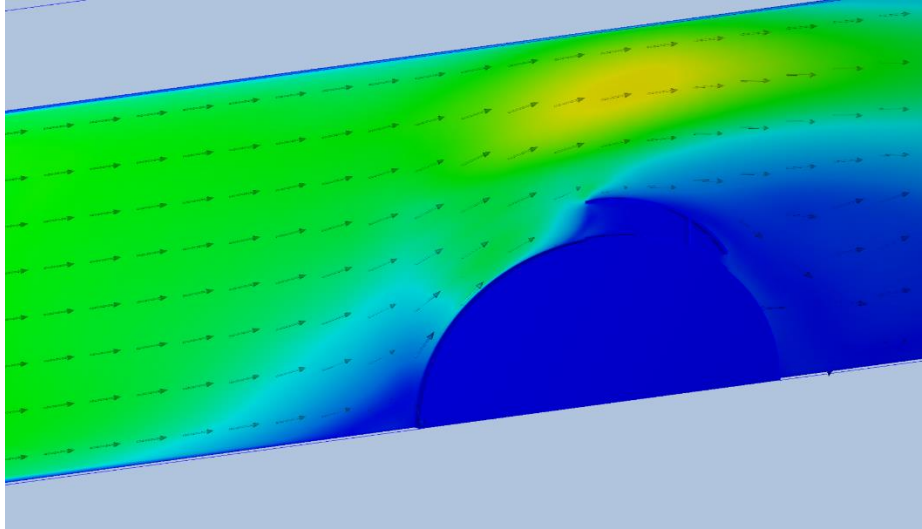
Tabla 13. Número de elementos y nodos

Number of Nodes	340254
Number of Elements	1561207

Fuente Autodesk. Elaboración propia

Es importante resaltar que se diseñó la simulación con la intención de ser lo más ajustada a la realidad, para tal fin se diseñó un prototipo de lo que sería el sistema estructural (casco) en la simulación, lo que introduce el aspecto de la generación de vórtices al contacto con la superficie del casco, tal como se puede apreciar en la imagen 39:

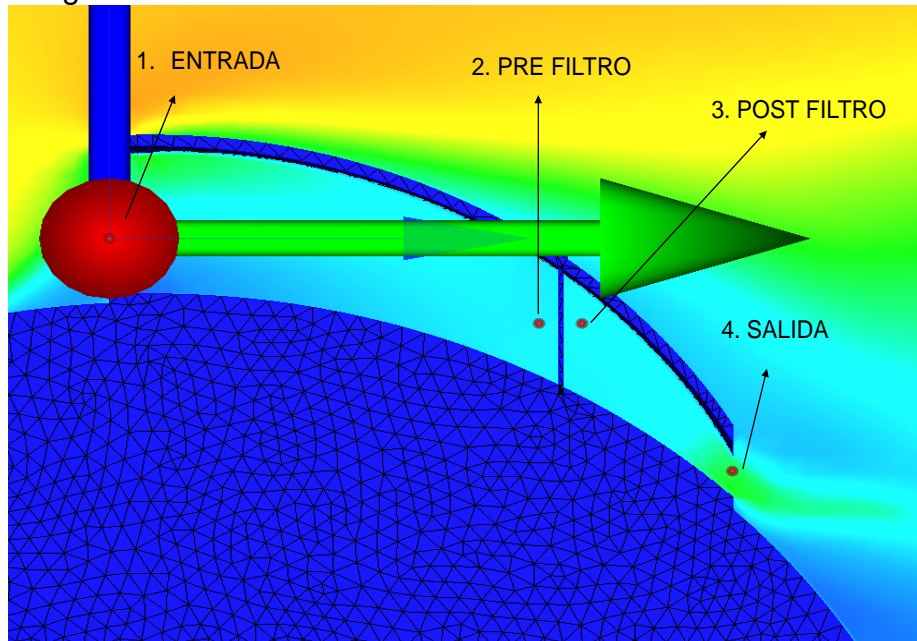
Imagen 39. Gráfica de Vórtices generados por el sistema estructural.



Fuente Elaboración propia, con base en: Autodesk.

Luego del enmallado se procede a realizar las simulaciones con los 26 escenarios teniendo en cuenta cada uno de los puntos de censo que se analizan dentro de la estructura, como se puede apreciar en la imagen 40:

Imagen 40. Puntos de muestreo.



Fuente: Elaboración propia, con base en: Autodesk.

La configuración del Solver fue:

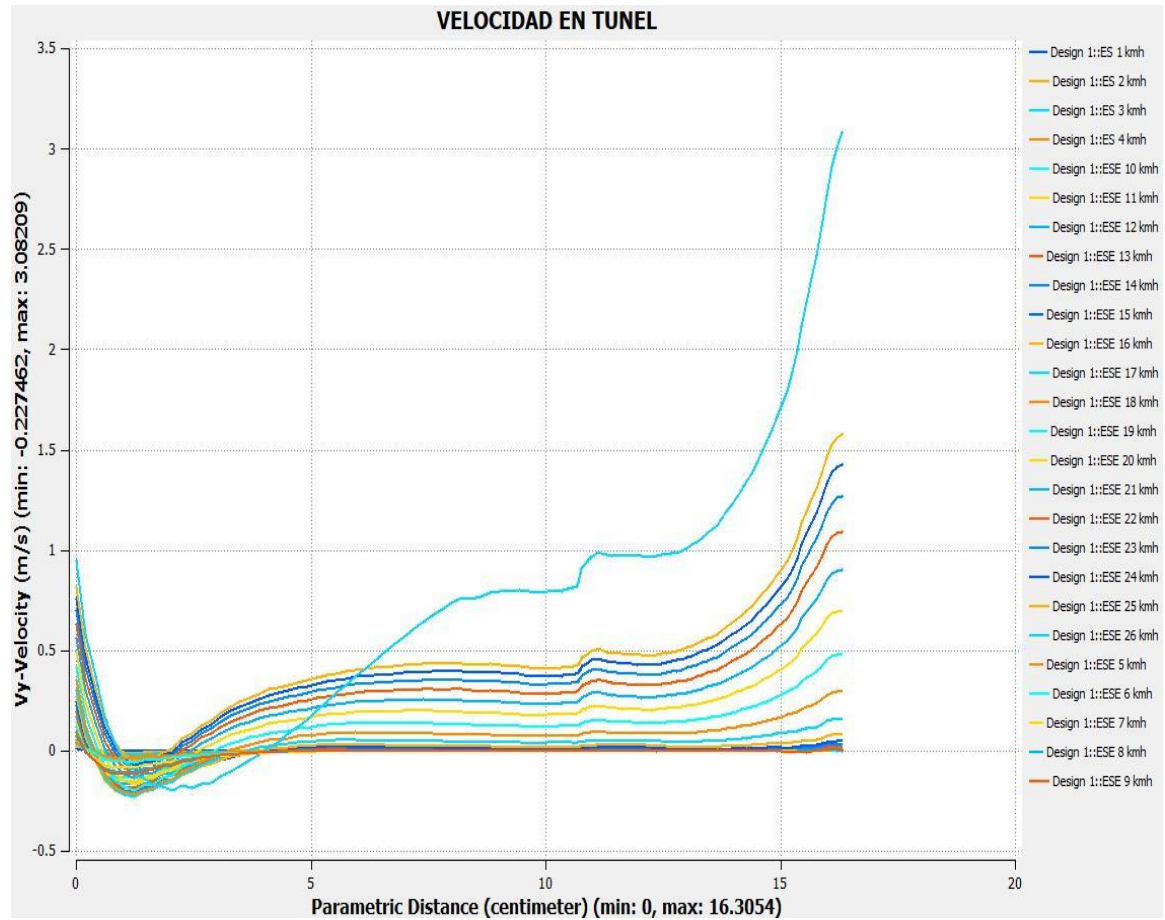
Tabla 14. Solver.

Solution mode	Steady State
Solver computer	MyComputer
Intelligent solution control	On
Advection scheme	ADV 5
Turbulence model	k-epsilon

Fuente Autodesk. Elaboración propia.

Los resultados de velocidad en cada uno de los puntos de censo establecidos arrojaron resultados que demostraron un claro aumento en la salida del túnel, demostrando así la efectividad del diseño planteado:

Gráfica 5. Gráfica de Velocidades al interior del túnel.



Fuente: elaboración propia.

Los datos resultantes de cada uno de los puntos se aprecian en las tablas 15, 16, 17 y 18, que se muestran a continuación, en donde para cada uno de los puntos se determinaron todas las condiciones que tendrá el aire al momento exacto de pasar por el mismo, en las 26 condiciones que se plantearon.

Tabla 15. Datos resultantes de simulación en punto 1 (Entrada).

1. ENTRADA						
Result Quantit y	Density	Static Pressure	Velocity Magnitude	Vx-Velocity	Vy-Velocity	Vz-Velocity
km/h	g/cm3	dyne/cm2	m/s	m/s	m/s	m/s
1	0,00120473	0,103004	0,0163208	-0,00932092	0,011859	0,0035413
2	0,00120473	0,435683	0,0401309	-0,0281894	0,0247444	0,00782271
3	0,00120473	1,03035	0,0673653	-0,0529401	0,0340359	0,0126015
4	0,00120473	1,84522	0,0962785	-0,0804087	0,039762	0,0156022
5	0,00120473	2,84631	0,126197	-0,108406	0,0440292	0,0154237
6	0,00120473	4,0566	0,158173	-0,13732	0,0483625	0,0125029
7	0,00120473	3,55701	0,208397	-0,172442	0,0169596	-0,0360459
8	0,00120473	-0,240732	0,280914	-0,218466	-0,00138973	-0,0926394
9	0,00120473	0,197147	0,319991	-0,252549	0,00694959	-0,104364
10	0,00120473	0,60698	0,364468	-0,288521	0,0148354	-0,118865
11	0,00120473	1,15786	0,409803	-0,324814	0,0233887	-0,133342
12	0,00120473	1,83635	0,454143	-0,359946	0,032339	-0,147157
13	0,00120473	2,67702	0,500773	-0,396525	0,0419933	-0,161262
14	0,00120473	3,64741	0,547811	-0,433046	0,0523058	-0,174954
15	0,00120473	4,63021	0,584647	-0,463661	0,0598609	-0,182116
16	0,00120473	5,58698	0,618462	-0,492867	0,0717882	-0,186397
17	0,00120473	6,61617	0,652901	-0,523176	0,0940877	-0,189087
18	0,00120473	7,2003	0,687368	-0,553626	0,130638	-0,1887
19	0,00120473	7,29543	0,723778	-0,584155	0,179921	-0,185747
20	0,00120473	7,34825	0,763812	-0,614413	0,241113	-0,17943
21	0,00120473	7,54247	0,80554	-0,643196	0,299067	-0,173036
22	0,00120473	8,23539	0,850692	-0,672911	0,35532	-0,166133
23	0,00120473	9,28491	0,896627	-0,702323	0,407389	-0,159718
24	0,00120473	10,4934	0,942791	-0,731506	0,455796	-0,154187
25	0,00120473	11,8059	0,987896	-0,759662	0,501556	-0,148001
26	0,00120473	25,5844	0,910824	-0,413779	0,485282	0,538181

Fuente: elaboración propia

Tabla 16. Datos resultantes de simulación en punto 2 (Pre Filtro).

2. PRE FILTRO						
Result Quantity	Density	Static Pressure	Velocity Magnitude	Vx-Velocity	Vy-Velocity	Vz-Velocity
km/h	g/cm3	dyne/cm2	m/s	m/s	m/s	m/s
1	0,00120473	0,11003	1,64E-06	-1,18E-07	1,01E-06	1,20E-06
2	0,00120473	0,47101	5,41E-06	-5,80E-07	1,64E-06	5,02E-06
3	0,00120473	1,12316	1,31E-05	-1,35E-06	1,87E-06	1,28E-05
4	0,00120473	2,04117	2,71E-05	-2,66E-06	3,07E-06	2,65E-05
5	0,00120473	3,20801	5,87E-05	-7,03E-06	1,82E-05	5,47E-05
6	0,00120473	4,6646	0,000113079	-1,61E-05	6,90E-05	8,65E-05
7	0,00120473	5,03364	0,000289024	-8,31E-05	0,000221116	0,000158832
8	0,00120473	2,35055	0,000778001	-0,00012178	0,000718754	0,000209879
9	0,00120473	3,41568	0,000971047	-9,59E-05	0,000951243	5,99E-05
10	0,00120473	4,69648	0,0015501	-0,000115241	0,00152603	-7,94E-05
11	0,00120473	6,25373	0,00242936	-0,000132033	0,00238224	-0,000318267
12	0,00120473	8,04306	0,0036856	-0,000142248	0,00358973	-0,000691373
13	0,00120473	10,1998	0,00559434	-0,000139764	0,00540627	-0,00129782
14	0,00120473	12,6708	0,00835077	-0,000113038	0,0080057	-0,0022323
15	0,00120473	15,0389	0,0125467	-3,56E-05	0,0119339	-0,00372599
16	0,00120473	17,3788	0,0219363	0,000188861	0,020679	-0,00716096
17	0,00120473	19,8025	0,0434992	0,000740572	0,0406018	-0,0154
18	0,00120473	21,4943	0,0812218	0,00169329	0,0751284	-0,0305673
19	0,00120473	22,3741	0,133183	0,00294787	0,122241	-0,0524733
20	0,00120473	23,0293	0,198137	0,00461986	0,180493	-0,0812546
21	0,00120473	23,9006	0,258925	0,00623692	0,234575	-0,109082
22	0,00120473	25,5971	0,316219	0,00778502	0,285201	-0,135998
23	0,00120473	27,7828	0,368305	0,00919064	0,330889	-0,161127
24	0,00120473	30,2497	0,416483	0,0105217	0,372798	-0,185042
25	0,00120473	32,8651	0,46172	0,0117179	0,411804	-0,208149
26	0,00120473	69,7368	0,960816	-0,00990727	0,793288	-0,54161

Fuente: elaboración propia

Tabla 17. Datos resultantes de simulación en punto 3 (Post Filtro).

1. POST FILTRO						
Result Quantit y	Density	Static Pressure	Velocity Magnitude	Vx-Velocity	Vy-Velocity	Vz-Velocity
km/h	g/cm3	dyne/cm2	m/s	m/s	m/s	m/s
1	0,00120473	-0,137141	3,17E-06	1,23E-06	2,43E-06	1,22E-06
2	0,00120473	-0,413091	1,05E-05	4,15E-06	6,44E-06	5,78E-06
3	0,00120473	-0,836894	2,43E-05	8,94E-06	1,24E-05	1,56E-05
4	0,00120473	-1,45915	5,03E-05	1,17E-05	1,82E-05	3,91E-05
5	0,00120473	-2,28012	0,000122189	1,56E-05	5,76E-05	9,06E-05
6	0,00120473	-3,28219	0,000273846	3,39E-06	0,000166026	0,000178889
7	0,00120473	-3,7459	0,000733989	-0,00024326	0,000417901	0,000428893
8	0,00120473	-6,81762	0,00226839	-9,44E-05	0,00139628	0,00144066
9	0,00120473	-8,65592	0,00237672	0,000116008	0,00180245	0,00118174
10	0,00120473	-10,9062	0,00348841	-6,57E-05	0,00279675	0,0015536
11	0,00120473	-13,4445	0,00505518	4,66E-05	0,00426109	0,00194825
12	0,00120473	-16,2036	0,00715671	0,000229368	0,00629778	0,00227818
13	0,00120473	-19,4114	0,0101961	0,000528235	0,00930728	0,00246289
14	0,00120473	-23,0099	0,0144073	0,00095382	0,013522	0,00229115
15	0,00120473	-26,4824	0,0203027	0,00143478	0,0195373	0,000564294
16	0,00120473	-29,7798	0,03263	0,00210099	0,0312651	-0,00648611
17	0,00120473	-32,5615	0,0609502	0,00345438	0,0558372	-0,0224635
18	0,00120473	-33,9296	0,110826	0,00586672	0,0982432	-0,0489952
19	0,00120473	-33,61	0,179675	0,00925053	0,156898	-0,0844621
20	0,00120473	-31,2238	0,265527	0,0133865	0,230663	-0,127327
21	0,00120473	-28,3227	0,345011	0,0170241	0,299209	-0,166582
22	0,00120473	-25,7402	0,418857	0,0203023	0,363162	-0,202596
23	0,00120473	-23,1804	0,484659	0,0231658	0,420185	-0,234667
24	0,00120473	-20,61	0,544168	0,0257044	0,471749	-0,263737
25	0,00120473	-18,028	0,598836	0,0280781	0,519076	-0,290561
26	0,00120473	22,3447	1,14102	0,0345565	1,0025	-0,532285

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, para determinar la cantidad de aire que llegaría a la nariz del ciclista se realiza la simulación del punto 4 o “salida” del sistema en el que se instalará la manguera y será la presión de aire recibida por el ciclista en cada uno de los 26 casos de velocidad presentados. Todo lo anterior debe ser analizado teniendo en cuenta que se asume una pérdida de presión igual a cero Pascales debido al sistema de transporte que va a la máscara.

Tabla 18. Datos resultantes de simulación en punto 4 (Salida).

2. Salida						
Result Quantity	Density	Static Pressure	Velocity Magnitude	Vx-Velocity	Vy-Velocity	Vz-Velocity
km/h	g/cm3	dyne/cm2	m/s	m/s	m/s	m/s
1	0,00120473	-0,137304	0,00437014	-0,00216828	-6,82E-06	0,00367489
2	0,00120473	-0,41426	0,0198621	-0,00874043	-0,000533623	0,0174175
3	0,00120473	-0,841205	0,0429695	-0,0196436	-0,00176386	0,0374575
4	0,00120473	-1,46967	0,0684655	-0,0331598	-0,00296976	0,0588065
5	0,00120473	-2,3	0,0943296	-0,0476749	-0,00387907	0,0799924
6	0,00120473	-3,31394	0,120253	-0,0627366	-0,00446524	0,100949
7	0,00120473	-3,79082	0,129139	-0,0853454	-0,00185427	0,0949887
8	0,00120473	-6,88811	0,219843	-0,127937	-0,0072017	0,176493
9	0,00120473	-8,77548	0,268861	-0,148148	-0,00458721	0,221905
10	0,00120473	-11,0272	0,303674	-0,1638	-0,00408681	0,253025
11	0,00120473	-13,5472	0,335489	-0,177111	-0,00211093	0,281888
12	0,00120473	-16,2607	0,361913	-0,187187	0,00188269	0,30608
13	0,00120473	-19,382	0,383439	-0,194179	0,0091972	0,325616
14	0,00120473	-22,8433	0,398354	-0,196863	0,0207753	0,338333
15	0,00120473	-26,1702	0,400528	-0,197279	0,0386136	0,33445
16	0,00120473	-29,4277	0,400998	-0,197262	0,0731859	0,318143
17	0,00120473	-32,6126	0,400627	-0,189025	0,148374	0,273427
18	0,00120473	-35,4887	0,419199	-0,157843	0,278951	0,187426
19	0,00120473	-38,3354	0,514041	-0,100014	0,458374	0,0658485
20	0,00120473	-41,2115	0,710705	-0,0159584	0,680085	-0,0941868
21	0,00120473	-44,513	0,932773	0,0572958	0,88284	-0,242534
22	0,00120473	-48,6782	1,15702	0,122583	1,07164	-0,386898
23	0,00120473	-53,1384	1,36698	0,178557	1,24177	-0,520361
24	0,00120473	-57,7676	1,56357	0,228385	1,3978	-0,644648
25	0,00120473	-62,5187	1,74903	0,274548	1,54276	-0,762192
26	0,00120473	-105,106	3,99834	0,778476	3,0398	-2,47626

Fuente: elaboración propia



Para calcular eficiencia de filtración se procedió a determinar la cantidad de partículas removidas por el sistema en los 26 diferentes casos de estudio. Analizando una situación en la que el aire de Bogotá está en alerta amarilla, es decir, exista una concentración de partículas PM 2.5 en aire = 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . A su vez, se asumió una eficiencia de 99% de filtrado (UNE EN 143).

En el primer caso de estudio (tabla 19) se determinó el caudal de aire a la entrada y el caudal de aire a la salida, se determinó cual sería el total de partículas con tamaño PM<sub>2,5</sub> en esa columna de aire y con el escenario planteado y finalmente se determinó por medio del caudal de salida cuantas partículas efectivamente retuvo el filtro propuesto, con lo que se determinó que se pudo obtener una eficiencia del sistema de 10% a una velocidad de 1 km/h y llegó hasta un 16% de eficiencia en el caso de los 26 km/h.

Explicado de otra forma; se compararon dos elementos del sistema, el caudal de entrada del aire y el caudal de salida. Con esa comparación se contrastaron la cantidad de partículas que se podrían remover para cada uno de esos caudales teniendo como marco de referencia una concentración de 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (alerta amarilla). De ese análisis comparativo se obtuvo una diferencia entre el 10% y el 16% entre la cantidad de partículas que se podrían retener (si en efecto se filtrara todo el aire que entra al sistema) y las que efectivamente se filtran o retienen gracias al sistema de purificación.

Este análisis permite analizar también, el efecto que tiene la aerodinámica del sistema propuesto en contraste con el casco estándar para ciclistas pues el efecto aerodinámico es una variable que permitiría la total eficiencia del sistema en caso de que se optimizaran las dos para que trabajaran juntas.

Tabla 19. Eficiencia.

Velocidad de Entrada (km/h)	Velocidad de Entrada (m/s)	Caudal de Entrada (m <sup>3</sup> /s)	Caudal de Salida (m <sup>3</sup> /s)	Contaminación del aire (µg/m <sup>3</sup> )	Partículas a retener (µg/s)	Partículas Retenidas (µg/s)	Eficiencia del sistema (%)
1	0,2778	0,0004	0,00004	35	0,01348	0,0014	10,2000
2	0,5556	0,0008	0,00008	35	0,02695	0,0028	10,4938
3	0,8333	0,0012	0,00012	35	0,04043	0,0043	10,5809
4	1,1111	0,0015	0,00016	35	0,05390	0,0057	10,6250
5	1,3889	0,0019	0,00021	35	0,06738	0,0073	10,8510
6	1,6667	0,0023	0,00026	35	0,08085	0,0090	11,0869
7	1,9444	0,0027	0,00030	35	0,09433	0,0105	11,0869
8	2,2222	0,0031	0,00034	35	0,10780	0,0119	11,0389
9	2,5000	0,0035	0,00039	35	0,12128	0,0135	11,1353
10	2,7778	0,0039	0,00043	35	0,13475	0,0151	11,1842
11	3,0556	0,0042	0,00048	35	0,14823	0,0167	11,2335
12	3,3333	0,0046	0,00053	35	0,16170	0,0185	11,4350
13	3,6111	0,0050	0,00058	35	0,17518	0,0202	11,5384
14	3,8889	0,0054	0,00063	35	0,18865	0,0221	11,6972
15	4,1667	0,0058	0,00070	35	0,20213	0,0245	12,1428
16	4,4444	0,0062	0,00078	35	0,21560	0,0274	12,7182
17	4,7222	0,0065	0,00083	35	0,22908	0,0292	12,7500
18	5,0000	0,0069	0,00090	35	0,24255	0,0316	13,0102
19	5,2778	0,0073	0,00096	35	0,25603	0,0335	13,0769
20	5,5556	0,0077	0,00101	35	0,26950	0,0354	13,1443
21	5,8333	0,0081	0,00107	35	0,28298	0,0374	13,2124
22	6,1111	0,0085	0,00112	35	0,29645	0,0394	13,2812
23	6,3889	0,0089	0,00119	35	0,30993	0,0416	13,4210
24	6,6667	0,0092	0,00131	35	0,32340	0,0458	14,1666
25	6,9444	0,0096	0,00140	35	0,33688	0,0491	14,5714
26	7,2222	0,0100	0,00160	35	0,35035	0,0558	15,9375

Fuente: elaboración propia

En el segundo caso de estudio se determinó de igual forma el caudal de salida y las partículas que retiene el sistema con las condiciones de alerta amarilla planteadas en el caso anterior, sin embargo, en esta oportunidad, se plantea la comparación con el caudal aspirado en un escenario en donde no se tenga ayuda respiratoria del diseño planteado. Se obtiene como resultado que en el menor escenario (1 km/h), se alcanza una eficiencia de hasta 61% y en escenario de 26 km/h la relación de respiración llega a ser hasta 96%.

Tabla 20. Comparación con respiración natural.

Velocidad de Entrada (km/h)	Velocidad de Entrada (m/s)	Caudal de Salida (m <sup>3</sup> /s)	Contaminación del aire (µg/m <sup>3</sup> )	Partículas Retenidas (µg/s)	Caudal de entrada fosas nasales (m <sup>3</sup> /s)	Partículas absorbidas (µg/s)	Relación de respiración sin aditamentos (%)
1	0,2778	0,00004	35	0,0014	6,41667E-05	0,0022	61,1999
2	0,5556	0,00008	35	0,0028	0,000128333	0,0045	62,9628
3	0,8333	0,00012	35	0,0043	0,0001925	0,0067	63,4853
4	1,1111	0,00016	35	0,0057	0,000256667	0,0090	63,7499
5	1,3889	0,00021	35	0,0073	0,000320833	0,0112	65,1062
6	1,6667	0,00026	35	0,0090	0,000385	0,0135	66,5216
7	1,9444	0,00030	35	0,0105	0,000449167	0,0157	66,5216
8	2,2222	0,00034	35	0,0119	0,000513333	0,0180	66,2336
9	2,5000	0,00039	35	0,0135	0,0005775	0,0202	66,8121
10	2,7778	0,00043	35	0,0151	0,000641667	0,0225	67,1051
11	3,0556	0,00048	35	0,0167	0,000705833	0,0247	67,4007
12	3,3333	0,00053	35	0,0185	0,00077	0,0270	68,6097
13	3,6111	0,00058	35	0,0202	0,000834167	0,0292	69,2306
14	3,8889	0,00063	35	0,0221	0,000898333	0,0314	70,1833
15	4,1667	0,00070	35	0,0245	0,0009625	0,0337	72,8570
16	4,4444	0,00078	35	0,0274	0,001026667	0,0359	76,3090
17	4,7222	0,00083	35	0,0292	0,001090833	0,0382	76,4998
18	5,0000	0,00090	35	0,0316	0,001155	0,0404	78,0610
19	5,2778	0,00096	35	0,0335	0,001219167	0,0427	78,4614
20	5,5556	0,00101	35	0,0354	0,001283333	0,0449	78,8658
21	5,8333	0,00107	35	0,0374	0,0013475	0,0472	79,2744
22	6,1111	0,00112	35	0,0394	0,001411667	0,0494	79,6873
23	6,3889	0,00119	35	0,0416	0,001475833	0,0517	80,5261
24	6,6667	0,00131	35	0,0458	0,00154	0,0539	84,9998
25	6,9444	0,00140	35	0,0491	0,001604167	0,0561	87,4284
26	7,2222	0,00160	35	0,0558	0,001668333	0,0584	95,6248

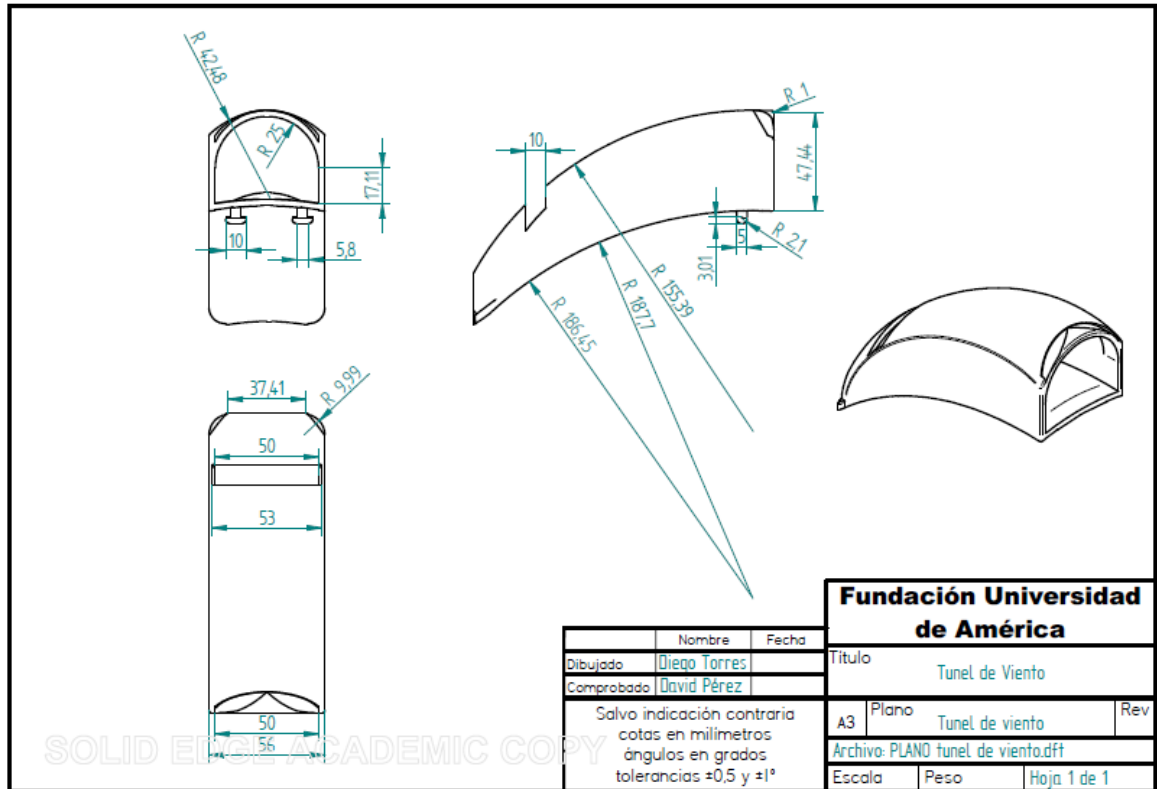
Fuente: elaboración propia

Se puede concluir entonces que:

- El casco afecta ingreso del aire al sistema de purificación.
- Eficiencia del sistema comparado con su funcionamiento ideal está entre el 10% y 16 %, por lo que se identifica gran potencial de mejora.
- El porcentaje de eficiencia en relación a la respiración normal (sin sistema diseñado) está entre el 62% y el 95%.

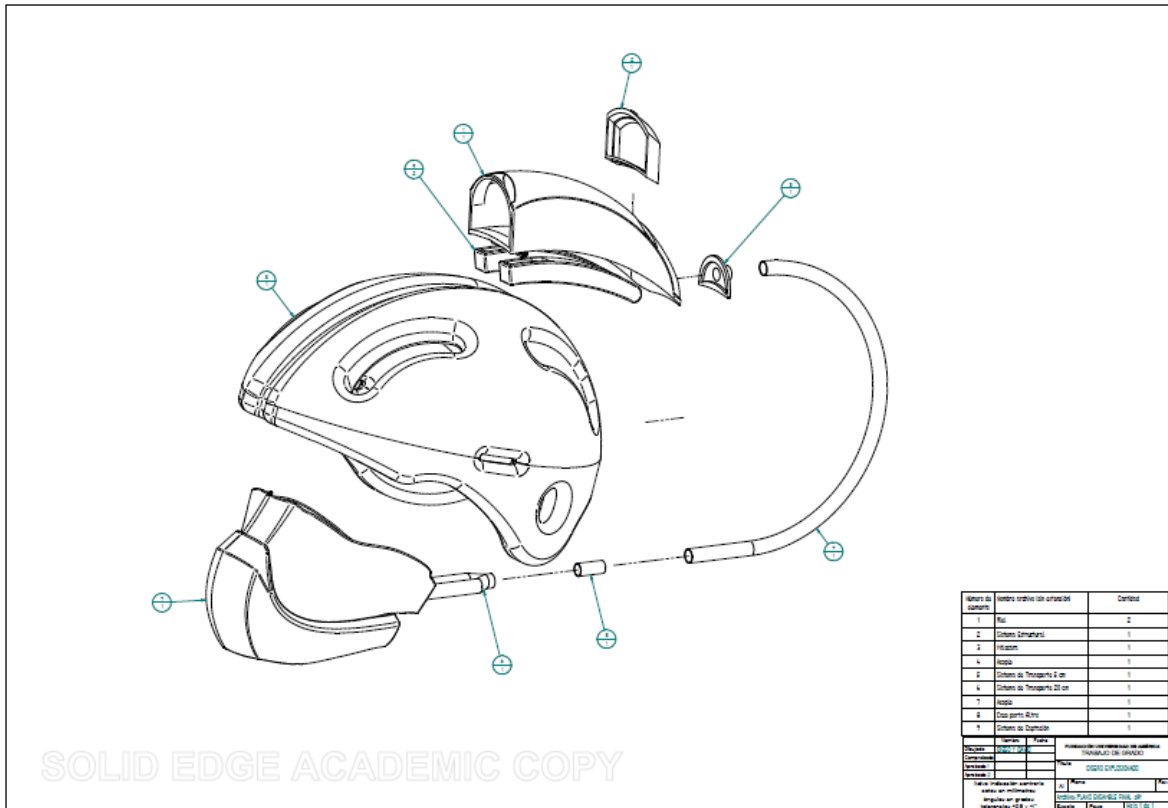
## 6. PLANOS

Imagen 41. Plano Túnel de viento.



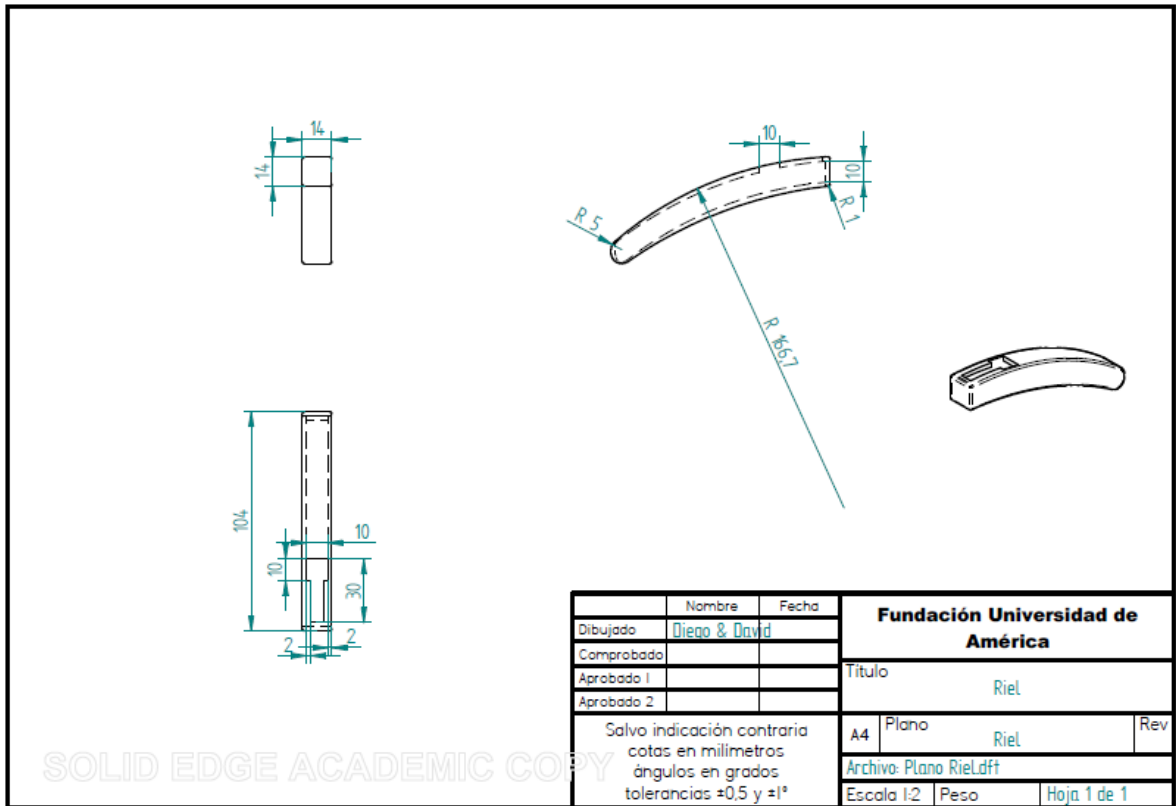
Fuente Elaboración propia

Imagen 42. Plano explosionado del sistema.



Fuente Elaboración propia

Imagen 43. Plano Riel



Fuente Elaboración propia

## 7. MANUAL GENERAL DEL USUARIO

### 7.1 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

#### Dimensiones.

Largo..... 150mm

Ancho..... 56mm

Altura..... 50mm

Recorrido del sistema.... 50mm

Volumen... 78.592 mm<sup>3</sup>

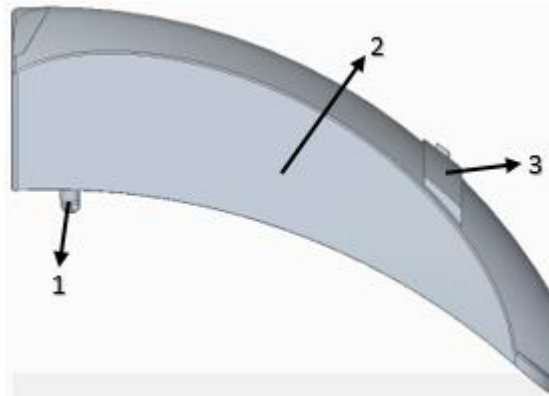
#### Peso.

75,25 gr

**Nota.** Las dimensiones presentadas en el documento son solo de orientación, además las especificaciones del sistema pueden cambiar debido a los procesos de mejoramiento del sistema.

Ubicación de las partes principales del sistema.

Imagen 44. Vista Lateral.



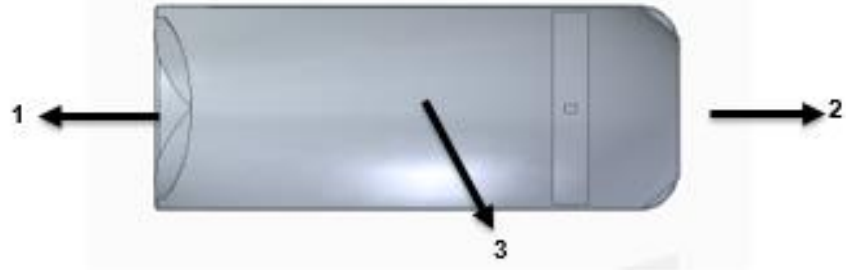
Fuente: elaboración propia

Cuadro 21. Lista de partes, vista lateral.

1. Guía para riel.	2. Cara lateral del túnel de viento.
3. Portafiltro.	

Fuente: elaboración propia

Imagen 45. Vista Superior.



Fuente: elaboración propia

Cuadro 22. Lista de partes, vista superior.

1. Entrada de flujo de aire.	2. Salida de flujo de aire.
3. Cara superior del túnel de viento.	

Fuente: elaboración propia



## 7.2 SEGURIDAD

Para la seguridad se deben tener en cuenta las siguientes indicaciones para prevenir daños en el sistema y, además, prevenir daños a la salud o complicaciones durante el uso del sistema que afecten la integridad del usuario:

i. No utilice el sistema de purificación del aire cuando este bajo condiciones de humedad como lluvias, y evite salpicaduras de agua o algún otro tipo de líquido que intente entrar a la entrada de aire del sistema.

Imagen 46. Antihumedad



Fuente. Imagen. Disponible en <https://www.shutterstock.com/es/search/ícono+decoración+de+eventos> imagen 16 de agosto 2019

ii. Siempre antes de empezar su actividad física verifique que el filtro no este de color oscuro, de lo contrario podría obstruir el paso del aire y, además, podría recibir partículas nocivas en sus pulmones.

Imagen 47. Limpieza



Fuente. Imagen. Disponible en <https://www.shutterstock.com/es/search/ícono+decoración+de+eventos> imagen 16 de agosto 2019

iii. Cerciórese que la manguera quede perfectamente introducida en el orificio destinado de la máscara para cumplir con su propósito.

Imagen 48. Acople manguera con máscara



Fuente: elaboración propia

iv. El estado de las mangueras es fundamental, no pueden estar obstruidas ni con suciedad, por lo tanto, procure siempre almacenar el sistema en un lugar lejos del polvo o donde este expuesto a algún tipo de suciedad; tenga en cuenta que esto puede perjudicar su respiración, y por lo tanto su salud.

Imagen 49. Manguera limpia



Fuente. RAPIN, PIERRE J.;  
JACQUARD, PATRICK.  
Instalaciones frigoríficas,  
Volume 1. Manguera limpia.  
2019, p.21

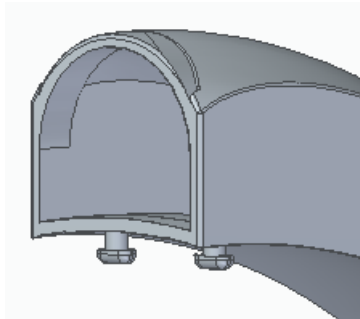
Imagen 51. Acople manguera  
con túnel de viento



Fuente: elaboración propia

v. La entrada del túnel de viento no debe tener ningún tipo de obstrucción, asegúrese que antes de que el sistema empiece a funcionar este libre de cualquier obstrucción.

Imagen 50. Túnel libre de  
obstrucción



Fuente: elaboración propia

vi. Asegure las conexiones de las mangueras en el túnel de viento, como indica la imagen 59, ya que de esto depende la eficiencia de la circulación del aire a través del sistema.

vii. Asegure el casco a su rostro, de acuerdo al sistema de sujeción con el que cuente el mismo.

### 7.3 INSTALACIÓN

La instalación del sistema es la parte más importante para el desarrollo del proyecto, pues de esto depende que cumpla el objetivo y función para la cual está diseñado el sistema de purificación del aire.

Antes de empezar el procedimiento para la instalación, limpie con un trapo húmedo y un poco de jabón la superficie del casco donde va a pegar el sistema de purificación de aire.

Una vez realizada la limpieza del casco, siga los siguientes pasos para la instalación del sistema:

i. Cuidadosamente retire la capa protectora de la cinta doble faz que está adherida al riel, halle bien en el casco la zona donde el dispositivo será ubicado y pegue los rieles de forma que queden derechos en la parte de superior del casco, uno al lado del otro tal cual se muestra en la imagen 60:

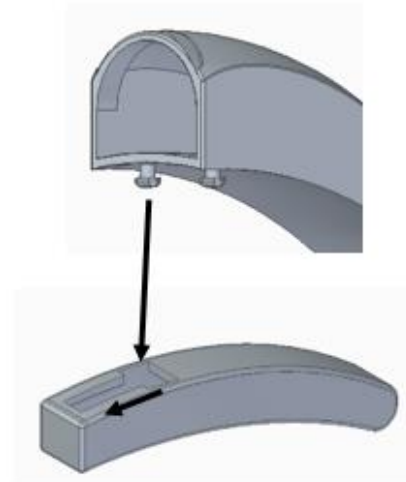
Imagen 52. Ubicación riel en el casco.



Fuente: elaboración propia

ii. Inserte las guías del túnel de viento en las ranuras de los rieles y desplácelo hacia adelante como se muestra en la imagen 53:

Imagen 53. Ensamble riel-túnel del viento.

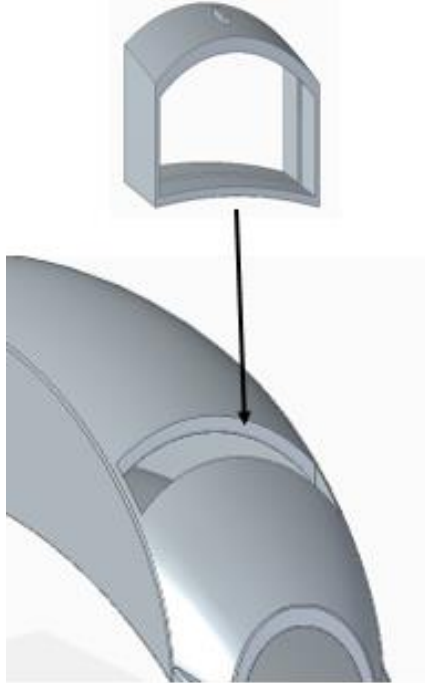


Fuente: elaboración propia

**Nota.** Cerciórese que el movimiento del sistema sobre el riel sea continuo y no tenga alguna interrupción, de lo contrario repita el procedimiento hasta que esta interrupción no este.

iii. Introduzca el portafiltro en el orificio que se encuentra en la parte superior del túnel de viento, como se indica en la imagen 54:

Imagen 54. Instalación portafiltro.



Fuente: elaboración propia

iv. Inserte la manguera en el orificio posterior del túnel de viento y aplique un poco de pegamento a los alrededores de las mismas.

Imagen 55. Orificio de salida del flujo de aire.



Fuente: elaboración propia

v. Por ultimo, inserte los extremos de la manguera en los orificios que se

encuentran al interior de la máscara, como se muestra en la Imagen 56:  
Imagen 56. Conexión mangueras con máscara.



Fuente: elaboración propia.

## 7.4 OPERACIÓN

Para la operación o uso del sistema debe verificar determinados elementos, antes de empezar a realizar actividad física con el dispositivo:

- El libre movimiento del túnel de viento sobre los rieles.
- La entrada de aire debe estar libre de cualquier obstrucción.
- Las mangueras no deben estar húmedas ni partidas.
- El riel debe estar fijo al casco.
- La sujeción de la máscara debe estar firme al rostro.
- El portafiltro debe estar dentro del sistema.
- Las conexiones de la manguera deben estar firmes para evitar pérdidas del aire circulante al interior de ellas.

Para llevar a cabo las anteriores verificaciones, es necesario tener en cuenta los siguientes pasos para completar el proceso y el sistema pueda utilizarse de manera adecuada:

### i. Iniciación.

Verifique que el sistema esté ubicado correctamente en la parte superior del casco, como se muestra en la imagen 65:

Imagen 57. Ubicación del sistema.



Fuente: elaboración propia

**Nota.** Mientras el túnel de viento este en la parte inferior de los rieles y el usuario este en estado de reposo, el sistema no funcionara.

### ii. Mascara.

Luego de colocarse el casco, acomode de manera adecuada los orificios de las orejeras de la máscara, alrededor de sus orejas, asegurando así la máscara a su rostro.

Imagen 58. Sistema de sujeción de la máscara

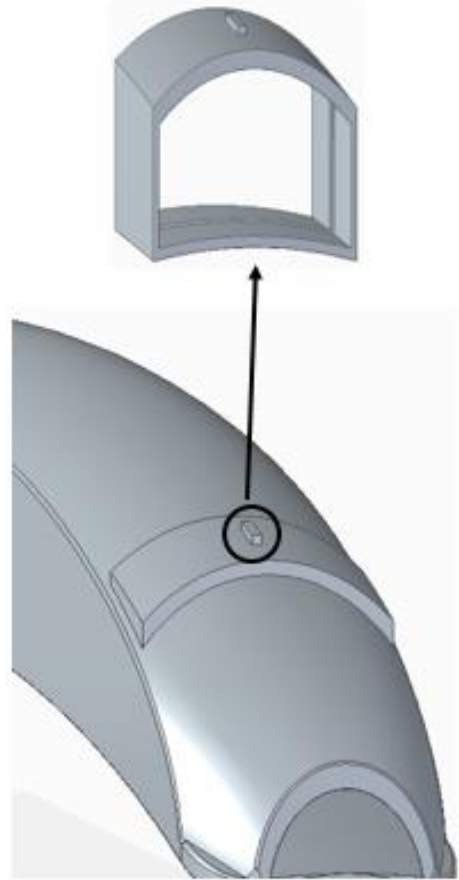


Fuente: elaboración propia

iii. Cambio del filtro.

Retire el portafiltro sujetándolo de la pestaña como se indica en la siguiente ilustración, retírelo y coloque la pieza nueva en el orificio:

Imagen 59. Cambio de filtro.



Fuente: elaboración propia

## 7.5 MANTENIMIENTO

Cuadro 23. Tabla de fallas

Falla	Diagnostico	Solución
<b>Mala circulación de aire</b>	Insuficiencia inusual en la respiración.	Ajustar la conexión de los acoples en cada una de las partes del sistema. Verificar que el filtro no esté obstruido, en caso de estarlo, reemplácelo.
<b>Aire sucio en el sistema de suministro</b>	Malos olores, incomodidad al respirar.	Reemplazar el filtro y verificar las conexiones de la manguera para evitar el ingreso de posibles olores.
<b>Humedad en las mangueras</b>	Percepción visual antes de utilizar el sistema.	Secar el sistema al aire libre. Nota. No utilice un dispositivo de secado.
<b>Humedad en el túnel de viento</b>	Percepción visual antes de utilizar el sistema o ingreso de líquidos durante su utilización.	Secar cuidadosamente el túnel de viento con un paño. Nota. Utilice un paño que no desprenda fibras.
<b>Filtro roto</b>	Inusual aumento de presión de aire en el sistema	Reemplazar el filtro.
<b>Mangueras rotas</b>	Dificultades inusuales al respirar, percepción visual de porosidad o ruptura en la superficie de la manguera.	Reemplazar las mangueras rotas.
<b>Desprendimiento del sistema</b>	Inestabilidad en la sujeción del dispositivo en la parte superior del casco.	Reemplazar la cinta adhesiva. Nota. Contactarse con el fabricante.
<b>Perdidas de presión dentro del sistema</b>	Obstrucción en el filtro por alta suciedad.	Reemplazar el filtro y verificar las conexiones de la manguera para evitar posibles pérdidas en el acople.
<b>Obstrucción por un elemento extraño</b>	Ingreso de elementos extraños al sistema.	Retirar cuidadosamente los elementos con la ayuda de unas pinzas y reemplazar el filtro.
<b>Desacople de la manguera</b>	Perdida de flujo de aire en el sistema de suministro.	Acoplar la manguera nuevamente y si persiste el problema reemplazarla.
<b>Rompimiento del sistema de sujeción de la máscara</b>	Desprendimiento de la máscara.	Reemplazar la máscara.

Fuente: elaboración propia

El programa de mantenimiento para el sistema le ayudara a mantener en un buen estado su sistema de purificación del aire. La frecuencia del mantenimiento debe realizarse de acuerdo a la severidad de la utilización del sistema y de igual modo si el sistema es utilizado en entornos polvorientos.

i. Túnel de viento.

Limpie cuidadosamente la parte interior del túnel con una bayetilla seca retirando todo el polvo y mugre que recoge durante los recorridos.

**Nota.** Antes de limpiar el túnel verifique que no esté mojado o húmedo, en caso de estarlo espere que se seque con la temperatura ambiente.

ii. Filtro de aire.

Cambie el filtro cuando observe que tiene color amarillo oscuro.

**Nota.** Según los datos suministrados por el fabricante de filtros 3M, la vida útil del sistema de purificación será de 50 horas, por lo que se estima que el usuario podrá utilizar el casco con un sistema eficiente de purificación por casi un mes sin necesidad de hacer cambio del mencionado sistema, siguiendo una frecuencia de uso de dos horas por día durante los días laborales (lunes a viernes).

iii. Mangueras.

Limpie cuidadosamente las mangueras en la parte exterior

previniendo impurezas que deterioren el estado de las mismas.

No limpie internamente la manguera, esto solo generara más suciedad de la que tiene y puede afectar el funcionamiento del sistema, en caso tal de observar humedad dejar al aire libre y se secara con la temperatura ambiente.

**Nota.** Siempre manipule cuidadosamente las mangueras, son frágiles y pueden partirse u obtener porosidad fácilmente.

iv. Rieles.

Limpie los rieles con un cepillo retirando el polvo y la suciedad, una vez finalizada la limpieza, lubrique el riel con el aceite lubricante acompañándolo con el movimiento del túnel de viento.

**Nota.** Dosifique la cantidad del lubricante al momento de utilizarlo, pues al aplicar una alta cantidad sobre los rieles entorpecerá el desplazamiento del túnel de viento.

v. Guías para rieles.

Limpie el polvo cuidadosamente con un cepillo de cerdas finas.

**Nota.** Utilice siempre un cepillo suave para evitar romper o fracturar la estructura de la guía del riel.

vi. Resorte.

Inspeccione el resorte realizando pruebas manuales verificando su funcionalidad y procure secarlo cuando se humedezca por alguna razón.



## 8. IMPACTO AMBIENTAL

Tabla 21. Matriz Leopold.

Factores \ Acciones		Diseño	Producción	Operación	Desecho	Evaluación
		<b>Suelo</b>	Basuras		+8 / 9	
<b>Atmosférico</b>	Calidad de aire			+9 / 9	+7 / 9	+16 / 18
<b>Agua</b>	Superficiales		+5 / 8		-8 / 9	-3 / 17
	Subterráneas		+3 / 8		-9 / 9	-6 / 17
<b>Paisaje</b>	Visual			+7 / 7	+8 / 7	+15 / 14
<b>Ser humano</b>	Enfermedades	+8 / 9		+9 / 9		+17 / 18
<b>Evaluación</b>		+8 / 9	+16 / 25	+25 / 25	+38 / 42	<b>53</b> <b>101</b>

Fuente: elaboración propia

Por medio del análisis llevado a cabo con una Matriz Leopold, donde se relacionan los factores ambientales con las acciones que afronta el proyecto, se analizaron los ítems que están directamente relacionados, evaluando la magnitud del impacto y la importancia sobre el factor ambiental (Valor izquierdo y derecho, respectivamente en el recuadro verde de la tabla 21).

Una vez realizada la evaluación el proyecto tiene una magnitud de +53, lo que quiere decir que es un proyecto positivo y altamente beneficioso para el entorno ambiental en cuanto a los factores afectados como se observan en cuadro 23. Adicional a esto, tiene una importancia con una evaluación de 101, que significa que es significativa su implementación, teniendo en cuenta los factores ambientales y las acciones realizadas por el proyecto, donde el ser humano será el mayor favorecido durante la utilización del dispositivo.

Cuadro 24. Impacto Ambiental.

<b>Proceso</b>	<b>Actividad</b>	<b>Aspecto Ambiental</b>	<b>Impacto ambiental</b>	<b>Solución</b>
<b>Atmosférico</b>	Filtración	Uso de aire	Positivo, en el proceso se purifica el aire.	No aplica
<b>Hídrico</b>	Cambio de filtro	Posible vertimiento a fuentes hídricas	Negativo, contaminación a las fuentes hídricas.	Indicar procesos de reciclaje de desechos en el manual

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta que el impacto ambiental es el efecto que produce la actividad humana en el ambiente, no se genera un impacto directo al medio ambiente, debido a que el sistema no emite ni produce emisiones al medio ambiente, sin embargo, la post manipulación del sistema si puede ser consecuente en el medio ambiente ya que el mal trato de los desechos puede ocasionar problemas de descomposición en el medio ambiente, así produciendo efectos negativos en el mismo.

Además de ser indirecto, el efecto del proyecto es positivo debido a que es un incentivo y motivación para utilizar como medio de transporte la bicicleta al ser un sistema 100% ambiental, ya que sus características y objetivo fundamental concuerdan con la tendencia social de cuidar el medio ambiente y por consiguiente disminuyendo los tiempos de traslado dentro de la ciudad de Bogotá, problemática de importancia para los ciudadanos.

## 9. COSTOS DEL PROYECTO

Para el análisis de costos totales de fabricación se analizaron dos escenarios; el primero corresponde al costo de una pieza en una impresora 3D, para reducción de costos se plantea la opción de realizar las partes mencionadas con un molde y así poder hacer muchas piezas al instante con un sistema de termoformado

De acuerdo al software Solid Edge, se analizó la cantidad de material total de todo el sistema, incluyendo todos los sistemas cuya pieza debe ser manufacturada y se encontró que el volumen total del material es de 78.592 mm<sup>3</sup>.

Para el cálculo de la cantidad de material a utilizar se asume la densidad promedio del Acrilonitrilo butadieno como 1,07 g/cm<sup>3</sup> para resultar en un peso de 75,25 g de material.

Los precios del Acrilonitrilo butadieno estireno varía según diferentes proveedores, sin embargo, se toma el promedio de los fabricantes del material y se asume un costo de 3 USD por kilogramo, teniendo en cuenta que es el pedido mínimo que puede hacerse.

Los valores del caso presentado se pueden apreciar en la tabla 23:

Tabla 22. Análisis financiero caso 1.

ITEMS	UNIDAD	\$/UNIDAD	CANT	TOTAL
<b>Talento Humano</b>				
Operador Maquinaria	1	25000	5	125000
Bibliotecario /hora	1	25000	10	250000
<b>Total Talento Humano</b>				<b>375000</b>
<b>Gastos maquinaria y equipo</b>				
Impresora 3D / hora	1	35000	5	175000
Computador	1	20000	10	200000
Software	1	150000	1	150000
<b>Total Maquinaria y Equipo</b>				<b>525000</b>
<b>Fungibles</b>				
ABS	1	9,9	75,25	744,975
Resortes	1	100	2	200
Pegante para ABS	1	5000	0,5	2500
<b>Total Fungibles</b>				<b>2700</b>
<b>Otros Gastos</b>				
Electricidad (kw/h)	10	630	0,2	1260
<b>Total Otros Gastos</b>				<b>1260</b>
<b>TOTAL ANTES DE IMPREVISTOS</b>				<b>903960</b>
<b>Imprevistos 10%</b>				<b>90396</b>
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO (ΣGASTOS)</b>				<b>994356</b>

Fuente: elaboración propia

Como se puede apreciar, en la tabla 23. El costo de fabricación de una pieza con el proceso de impresión 3D es extremadamente costoso e imposibilita la opción de hacer varias piezas al mismo tiempo, razón por la cual la opción 2 toma fuerza y se describe a continuación.

Para el caso No. 2 se analizó la utilización de láminas de ABS como material fundamental y un proceso de termoformado, además de todos los elementos calculados para el caso No. 1, que se demuestra a continuación:

Tabla 23. Análisis financiero caso 2.

ITEMS	UNIDAD	\$/UNIDAD	CANT	TOTAL
<b>Talento Humano</b>				
Operador Maquinaria	1	20000	0,01	200
Diseñadores/ Estudiantes	1	25000	2	50000
<b>Total Talento Humano</b>				<b>50200</b>
<b>Gastos maquinaria y equipo</b>				
Prensa con molde	1	100000	0,01	1000
Molde sistema de acople (Riel)	1	200000	1	200000
Molde sistema de captación	1	250000	1	250000
Molde acople sistemas B + C	1	50000	1	50000
Molde case porta filtros	1	50000	1	50000
Máquina de ultrasonido para costura	1	20000	0,1	2000
<b>Total Maquinaria y Equipo</b>				<b>553000</b>
<b>Fungibles</b>				
ABS en láminas	1	9,9	75,25	744,975
Resortes	1	100	2	200
Cinta 3M	1	25000	0,012	300
Manguera One Life (30 cm)	1	20000	0,3	6000
Máscara Base Camp Dust Mask Urban	1	150000	1	150000
Filtro de partículas P3 R, 5935 Marca 3M	1	25000	1	25000
Filtro de carbón activado	1	5000	1	5000
<b>Total Fungibles</b>				<b>186500</b>
<b>Otros Gastos</b>				
Electricidad (kw/h)	20	630	0,2	2520
<b>Total Otros Gastos</b>				<b>2520</b>
<b>TOTAL ANTES DE IMPREVISTOS</b>				<b>792220</b>
<b>Imprevistos 10%</b>				<b>79222</b>
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO (ΣGASTOS)</b>				<b>871442</b>

Fuente: elaboración propia

Como se puede apreciar el costo de 1 unidad con éste medio de fabricación llega a los \$871.442 COP, sin embargo, de este precio total, solamente \$186.500 COP son costos que debe asociarse a una unidad de producción, por lo que los casi \$600.000 restantes pueden ser reducidos al mínimo en un posible caso de fabricación a mayor volumen con un mercado a escala.

Este proceso lograría reducir el costo de cada uno de los moldes necesarios y amortizaría el costo total de fabricación en la cantidad de piezas creadas.

Además, el rollo de poliéster impregnado con carbón activado tiene unas dimensiones de 0,50x20m, con un espesor de 3mm, del cual salen entre 3.000 y 4.000 filtros, que cada uno tendrá un costo de \$250 (COP).

Es por todo lo anterior que se escoge el segundo caso planteado y se propone, que, en caso de fabricar el presente proyecto, se proceda a analizar la opción inicial de fabricar inicialmente una cantidad no menor a 1000 piezas que garantizaría la amortización de los moldes y de esta manera se vería una reducción ostensible en el costo unitario. En caso de acceder a estas recomendaciones se verá una mejora en el precio de venta lo que hará que el producto sea más difícil de imitar o mejorar.

## 10. CONCLUSIONES

- La calidad del aire en Bogotá va en detrimento, cada vez son más los elementos nocivos en el aire de la capital y es necesario un elemento que obstaculice la entrada de estos contaminantes al sistema respiratorio humano que a su vez no dificulte la respiración de los deportistas que alberga la mencionada ciudad.
- La peligrosidad de las partículas PM2.5 ha sido demostrada por los reportes de las salas ERA, reportes que demuestran la estrecha e inmediata interrelación entre la concentración de las partículas PM2.5 en el aire y las enfermedades respiratorias de los capitalinos reportadas en las mencionadas salas en un lapso menor a 5 días después de la crisis presentadas en el 2019.
- La norma de tránsito colombiana exige que el ciclista no circule por las vías a una velocidad mayor de 20 km/h, razón por la cual se escogió esta velocidad como el límite del mencionado; no obstante que la velocidad que puede adquirir un ciclista dobla la mencionada restricción.
- Es importante resaltar que el uso de una máscara como complemento del sistema es crucial pues es el único medio que sirve para limitar la entrada de contaminantes al sistema respiratorio, cumple las funciones de filtrado y con un medio para su adaptación puede ser compatible con el sistema propuesto.
- La selección del sistema de soporte, que en esta oportunidad es el casco de ciclista está íntimamente ligada a la ubicación de la actividad deportiva que se vaya a realizar y en donde pueda llegar a encontrar las partículas PM2.5, las cuales son las que se pretenden filtrar por medio del presente proyecto. Es por todo lo anterior que se concluye que, de las 4 disciplinas estudiadas y analizadas, la única que tiene potencial para encontrar estas partículas en suspensión es la urbana.
- La purificación del sistema debe realizarse por medio de dos fases; una fase filtrante, encargada de la remoción de las partículas PM2.5 y otra purificante que se encargue de los compuestos tóxicos y cancerígenos que son emitidos de los procesos de combustión de los vehículos y que son igual de perjudiciales para los bici usuarios de la ciudad.
- Fue necesaria la creación de una metodología propia para el cálculo del factor de diseño toda vez que no se encontraron en la literatura elementos aplicables al sobredimensionamiento de elementos necesarios para aumentar el caudal de aire respirable por el humano. Esta metodología utilizó todos los elementos que afectaban la cantidad de aire aprovechable y resultó ser acertada una vez se demostró mediante la simulación, que el caudal generado por la estructura era el adecuado.

- Para la determinación del tamaño del área de salida requerido para el sistema no puede ser utilizado el efecto Bernoulli toda vez que el sistema funcionará con un fluido compresible y la ecuación mencionada establece que la densidad del fluido se mantendrá constante sin importar el cambio en la geometría del sistema; situación contraria en nuestro caso puntual recordando la compresibilidad del aire.
- De la simulación se puede concluir que el casco afecta el ingreso del aire al sistema de purificación generando vórtices que disminuyen la presión de entrada al sistema.
- El porcentaje de eficiencia con relación a la respiración normal (sin sistema diseñado por los autores) está entre el 62% y el 95%, por lo que se puede concluir que sumado a la capacidad de respirar por medio de la máscara, el sistema es perfectamente aprovechable por los ciclistas capitalinos pues mantendrá las condiciones de respiración o incluso las mejorará aparte de suministrar este caudal de aire 100% libre de partículas PM2.5 y de los químicos derivados de la quema de combustibles fósiles.
- El sistema fue diseñado según la técnica POKA YOKE, con la cual se garantizó en los manuales que cualquier persona, sin rango de edad específico, pudiera montar y desmontar el sistema de su propio casco.
- El sistema de purificación expuesto propone una alternativa en la que se eliminan impurezas del ambiente e imposibilita su retorno al ecosistema generando una limpieza a pequeña escala del aire capitalino. Sin embargo, si el sistema propuesto llegase a ser utilizado por todos los usuarios de bicicleta de la ciudad se removerían, en una escala considerable, las impurezas del ambiente garantizando de esta forma una mejor calidad de aire para los capitalinos.
- Del análisis de costos se puede concluir que el costo de fabricación de una unidad por medio del termoformado y agregándole todos los elementos adquiridos llega a los \$871.442 COP, sin embargo, de este precio total solamente \$186.500 COP son costos que deben asociarse exclusivamente a una unidad de producción, por lo que los casi \$600.000 restantes pueden ser reducidos al mínimo en un posible caso de fabricación a mayor volumen con un mercado a escala. Este proceso lograría reducir el costo de cada uno de los moldes necesarios y amortizaría el costo total de fabricación a la cantidad de piezas creadas.



## 11. RECOMENDACIONES

- Aunque la normativa UNE-EN-143 es perfectamente aplicable al caso puntual de la población colombiana en materia de filtros de partículas para respiración, es importante analizar la aplicabilidad de la normativa que emita el ICONTEC cuando importe la norma y la adapte a los escenarios industriales colombianos. Sin embargo, como se menciona, la norma UNE -EN 143 brinda los parámetros esenciales y suficientes para la evaluación de alternativas de filtración del presente trabajo de grado.
- La eficiencia calculada del sistema cuando se comparan los caudales de entrada y salida está entre el 10% y 16 %, entre 1km/h y 26 km/h respectivamente, por lo que se identifica gran potencial de mejora para posibles trabajos de grado desarrollados basados en el presentado por los autores.
- Es importante analizar el efecto que tiene la aerodinámica del sistema propuesto en contraste con el casco estándar para ciclistas pues el efecto aerodinámico es una variable que permitiría la total eficiencia del sistema en caso de que se optimizaran las dos para que trabajaran juntas.
- Utilizar las rutas destinadas para los usuarios de bicicleta, alarga la vida útil de los filtros del sistema de purificación.
- En una eventual producción a escala el costo de los moldes de cada una de las piezas se amortizará y generará un menor costo de producción por pieza, lo que a su vez se traduce en una mayor competitividad del producto final.

## BIBLIOGRAFÍA

3M. Cintas VHB. En Catálogo Cintas y adhesivos industriales (pág. 24). (2016).

AAF INTERNATIONAL. Iso 16890. Disponible en: <https://www.aafintl.com/es-es/commercial/solutions-offered/iso-16890> . (2019).

ABS, Ficha de datos técnicos Ultimaker. Disponible en: <https://ultimaker.com/download/67619/TDS%20ABS%20v3.011-spa-S.pdf>.(2017).

ÁVILA CHAURAND, R., PRADO LEÓN, L., & GONZÁLEZ MUÑOZ, E. Población colombiana, Laboral de 20 a 59 años. En R. Ávila Chaurand, L. R. Prado León, & E. L. González Muñoz, Dimensiones antropométricas de población latioamericana (pág. 214). Ciudad de México: Universidad de Guadalajara. (2007).

ECHEVERRY LONDOÑO, C. A., & MAYA VASCO, G. J. Relación entre las partículas finas (PM 2.5) y respirables PM 10) en la ciudad de Medellín. Ingenierías Universidad de Medellín. (2008).

EPA. Environmental Protection Agency. Disponible en: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>. (2018).

GAVIRIA G., C., BENAVIDES C., P., & TANGARIFE , C. Contaminación por material particulado (pm2,5 y pm10) y consultas por enfermedades respiratorias en. Revista Facultad Nacional de Salud Pública, vol. 29, 241-250. (2011).

GIL, A. Termoformado, Principios y aplicación. Universidad Eafit. Universidad Eafit. (2012).

IBOCA. Contaminación a nivel Bogotá. Bogotá. (2019).

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C: El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.

\_\_\_\_\_. Norma Técnica Colombiana; NTC 5239. Colombia: Icontec. (2018).

IDEAM. Estudio de la caracterización climática de Bogotá y Cuenca Anta del río Tunjuelo. Bogotá. (2018).

MANZANO AGUGLIARO, F., & CARRILLO VALLE, J. Transformación de un precipitador electrostático a un filtro de mangas Pulse Jet en centrales térmicas convencionales. (2016).

MCCORMICK, B. W. Aerodynamics, Aeronautics and Flight mechanics. (2018).

MINISTERIO DE AMBIENTE, v. y. Resolución Número (601). (2006).

PHSSERKONTEN, Purificadores de aire: Características, ventajas principales y tipos. Disponible en: <https://www.phsserkonten.com/sanidad-ambiental/purificadores-de-aire/>.(2017).

QUINTERO VEGA, A. Bici y bus tienen el mismo tiempo de recorrido en Bogotá. La República. (2017).

RAMÍREZ, O., DE LA CAMPA, A. M., AMATO, F., CATACOLÍ, R. A., ROJAS, N. Y., & ROSA, J. D. Chemical composition and source apportionment of PM 10 at an urban background site in a high-altitude Latin American megacity (Bogota, Colombia). Environmental Pollution, 143-155. (2018).

RAPIN, P., & JACQUARD, P. Composición del aire. En P. J. Rapin, & P. Jacquard, Instalaciones frigoríficas, Volume 1 (págs. 427-430). Barcelona: Marcombo. Disponible en: [https://books.google.es/books?id=LAc3sKX0B\\_MC&pg=PA427&dq=aire+composici%C3%B3n&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjLx-\\_Pj5XSAhWJLSAKHWGXC-8Q6AEIJDAB#v=onepage&q=aire%20composici%C3%B3n&f=false](https://books.google.es/books?id=LAc3sKX0B_MC&pg=PA427&dq=aire+composici%C3%B3n&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjLx-_Pj5XSAhWJLSAKHWGXC-8Q6AEIJDAB#v=onepage&q=aire%20composici%C3%B3n&f=false). (1997).

ROJAS GIRALDO, J. E. Ley no. 1811. Bogotá: Código Nacional de Tránsito.(2016).

Salud, S. D. Análisis y actuaciones en el marco de la alerta por contaminación del aire en Bogotá. Bogotá: Icontec. (2019).

SOLER PALAU. Depuración del aire. Filtros Disponible en:  
<https://www.solerpalau.com/es-es/hojas-tecnicas-depuracion-del-aire-filtros/>.(2018)

TEXTOS CIENTIFICOS. ABS. Disponible en:  
<https://www.textoscientificos.com/polimeros/abs>. (2005).

TROOSTERS, T., DUPONT, L., BOTT, J., & HANSEN, K. Los pulmones y el ejercicio. (2007).