



**UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA**

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE UN PROTECTOR FACIAL
CON SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO
DE AIRE PARA PERSONAS CON
ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA
CRÓNICA**

Trabajo final de graduación sometido a la consideración de la

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

como parte de los requisitos
para aspirar al título y grado de

LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA

**Luis Diego Rojas Sánchez
Isaac Villalobos Rodríguez**

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
20 de octubre de 2022

Agradecimientos

- De Isaac: A Dios, mis padres, porque sin ellos esto no hubiera sido posible. Además, a los profesores que, desde kinder, hasta universidad, lo forman a uno como ser humano.
- De Luis: A mis padres por todo el apoyo que me han dado hasta el día de hoy, fueron ellos quienes me enseñaron a persistir hasta triunfar. A mis profesores por sus enseñanzas a lo largo de todo el proceso de formación profesional.

Hoja de tribunal

Este proyecto de graduación fue aceptado por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado y título de Licenciatura en Ingeniería Mecánica.



Director de la Unidad Académica
PhD. Pietro Scaglioni Solano
Director Escuela de Ingeniería Mecánica



Asesor director
Mag. Rodolfo Soto Urbina
Escuela de Ingeniería Mecánica



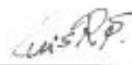
Asesor interno
Lic. Israel Chaves Arbaiza
Escuela de Ingeniería Mecánica




Asesor externo
Lic. José Pablo Coto Solano
Escuela de Ingeniería Mecánica



Coordinador de Trabajos Finales de Graduación
Msc. Juan Gabriel Monge Gapper
Escuela de Ingeniería Mecánica



Ponente
Luis Diego Rojas Sánchez



Ponente
Isaac Villalobos Rodríguez

Índice general

Agradecimientos	i
Índice de ilustraciones	vi
Índice de cuadros	vii
Abreviaturas	viii
Resumen	ix
1. Introducción	1
1.1. Descripción general	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Justificación	2
1.4. Antecedentes	3
1.5. Metodología	3
1.6. Alcance y limitaciones	4
2. Marco teórico	6
2.1. Efectos de la contaminación del aire en la salud humana	6
2.1.1. Situación de la contaminación del aire en Costa Rica	6
2.1.2. Efectos de la contaminación del aire en personas con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)	7
2.1.3. Efectos de la contaminación del aire en el sistema ocular	8
2.2. Sistemas de Acondicionamiento de Aire	10
2.2.1. Normativa ASHRAE	10
2.2.2. Sistemas de ventilación	11
2.2.3. Confort humano	13
2.2.4. Termoelectricidad	15
2.3. Sistemas electrónicos	17
2.3.1. Sensores	17
2.3.2. Sistemas de control	18
2.4. Materiales	21
2.4.1. Materiales hipoalergénicos y ergonómicos	21
2.4.2. Polímeros	21
2.4.3. Filtros	22

3. Metodología	24
3.1. Cálculo de carga térmica	24
3.1.1. Condiciones de diseño	24
3.1.2. Carga sensible por superficie de la piel	25
3.1.3. Carga latente por superficie de la piel	29
3.1.4. Carga sensible y latente por respiración	32
3.1.5. Carga por conducción solar	33
3.1.6. Carga solar	35
3.2. Selección de equipo	37
3.2.1. Ventilador	37
3.2.2. Filtros	38
3.2.3. Placa Peltier	38
3.2.4. Disipadores de calor	39
3.2.5. Sensor de temperatura y humedad relativa	39
3.2.6. Sistema de control	40
3.2.7. Batería	40
3.3. Diseño del sistema electrónico	41
3.4. Dimensiones del protector facial	45
3.5. Materiales	48
3.6. Propuesta de diseño	53
4. Conclusiones	58
5. Recomendaciones	59
Referencias	59
Apéndices	65
Anexos	66

Índice de figuras

2.1. Costa Rica: Mortalidad por enfermedad pulmonar obstructiva crónica, 2013-2017. (Ministerio de Salud, 2019, p. 76)	7
2.2. Costa Rica: Mortalidad por enfermedad pulmonar obstructiva crónica, según provincia, 2013 - 2017. (Ministerio de Salud, 2019, p. 77)	8
2.3. Válvula de exhalación. (EH Product Finder, 2019)	12
2.4. Carta Psicrométrica.(ASHRAE, 2017, p. 1.11)	13
2.5. Cargas sensibles y latentes.(Gallo, 2012)	15
2.6. Celda Peltier.(Gomar, 2018)	16
2.7. Diagrama de bloques de un circuito electrónico. (Las Sabinas, 2011)	17
2.8. Representación esquemática de un sensor.(Eren, 2004, p. 158-2)	18
2.9. Compuertas lógicas. (Ramos, 2013)	20
2.10. Representación de estructura de un polímero.(Walton, 2015)	21
2.11. Productos hechos con polímeros.(Callister & Rethwisch , 2008, p.10)	22
3.1. Condiciones Ambientales Juan Santamaría.(ASHRAE, 2009)	24
3.2. Condiciones Internas.(ANSI/ASHRAE/ASHE, 2017)	25
3.3. Condiciones para cálculo de h_c .(ASHRAE, 2013)	27
3.4. Superficie para cálculo de factor de ángulo .(ASHRAE, 2013)	28
3.5. Factor de ángulo .(ASHRAE, 2013)	29
3.6. Presiones para $p_{sk,s}$ y p_a .(Crane, Desconocido)	30
3.7. Valor de icl .(ASHRAE, 2013)	31
3.8. Tasa metabólica (ASHRAE, 2013)	33
3.9. Valor U (ASHRAE, 2013)	34
3.10. Valor CLTD (ASHRAE, 2013)	34
3.11. Coeficiente de sombra (ASHRAE, 2013)	36
3.12. Ventilador elegido (Pelonis Technologies, Desconocido)	37
3.13. Filtro para partículas PM2.5 (Cherislypy, 2020)	38
3.14. Placa Peltier (Laird Thermal Systems, 2021)	38
3.15. Disipador (Shoptronica, 2022)	39
3.16. Sensor de temperatura y humedad relativa (Aosong Electronics Co, Ltd, Desconocido)	40
3.17. Sistema de control (STM32-base, Desconocido)	40
3.18. Batería elegida (Ebay, Desconocido)	41
3.19. Diagrama de flujo del pseudocódigo. (Elaboración propia, 2022)	42
3.20. Esquema eléctrico del controlador. (Elaboración propia, 2022)	44
3.21. Dimensiones promedio de la cabeza humana. (Farkas et al., 2005)	46

3.22. Divisiones en la cara humana. (Kaya et al., 2019)	47
3.23. Divisiones en la cara humana. (Prendergast, 2011)	47
3.24. Borde estructural de silicon. (Elaboración propia, 2021)	48
3.25. Base nasal de silicon. (Elaboración propia, 2021)	49
3.26. Membrana de válvula de exhalación. (Elaboración propia, 2021)	49
3.27. Pantalla del protector facial. (Elaboración propia, 2021)	50
3.28. Rejilla de la válvula de exhalación. (Elaboración propia, 2021)	50
3.29. Bolso. (Elaboración propia, 2021)	51
3.30. Tuberías. (Deltalab, 2017)	52
3.31. Correas y espalda. (Pedilo, 2018)	52
3.32. Diseño de propuesta del protector facial. (Elaboración propia, 2021)	53
3.33. Usuario utilizando el protector facial. (Elaboración propia, 2021)	54
3.34. Diseño de propuesta del protector facial explosionado. (Elaboración propia, 2021)	55
3.35. Producto completo. (Elaboración propia, 2021)	56
3.36. Producto completo explosionado. (Elaboración propia, 2021)	57
5.1. Plano 1 de 5. (Elaboración propia, 2022)	67
5.2. Plano 2 de 5. (Elaboración propia, 2022)	68
5.3. Plano 3 de 5. (Elaboración propia, 2022)	69
5.4. Plano 4 de 5. (Elaboración propia, 2022)	70
5.5. Plano 5 de 5. (Elaboración propia, 2022)	71

Índice de cuadros

3.1. Carga por conducción solar	35
3.2. Valores SCL	36
3.3. Carga solar	37

Abreviaturas

ANSI American National Standards Institute (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares).

APHA American Public Health Association (Asociación Estadounidense de Salud Pública).

ASHE American Society for Health Care Engineering (Sociedad Estadounidense de Ingeniería del Cuidado de la Salud).

ASHRAE American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado).

CDC Centers for Disease Control and Prevention (Centro para el Control y Prevención de Enfermedades).

EPOC Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica.

GAM Gran Área Metropolitana.

MINAE Ministerio del Ambiente y Energía.

MOPT Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

MS Ministerio de Salud.

NO_x Óxidos de Nitrógeno.

OMS Organización Mundial de la Salud.

PM2.5 Particulate Matter 2.5 (Material Particulado 2.5).

PM10 Particulate Matter 10 (Material Particulado 10).

Resumen

Este trabajo de investigación nació como una solución alternativa a la problemática de personas con padecimientos pulmonares crónicos, específicamente EPOC. La condición se agrava con la exposición a partículas contaminantes desprendidas en el medio ambiente. Es por esto que se propone un dispositivo protector portable que filtre la contaminación del aire mediante un sistema de aire acondicionado que a su vez proporciona comodidad al usuario.

En la zona de la Gran Área Metropolitana (GAM) existen altos niveles de contaminación, que además afectan a personas con padecimientos respiratorios y oculares. A través de un análisis de las condiciones ambientales de esta zona, se determinaron las condiciones más críticas a las que se puede estar expuesta una persona y con base en esto se calcularon los requerimientos para acondicionar el aire de un espacio determinado. De acuerdo a la normativa ASHRAE se calcula la carga térmica que se debe remover y se definen los filtros de partícula más aptos para este fin.

El diseño del protector facial se basó en la forma de una cara con medidas promedio, los bordes son de silicón lo que permite que se acople mejor a diferentes tipos de cara. También cuenta con un dispositivo de medición de temperatura conectado a un bulbo pequeño que proporciona el aire acondicionado ajustándose automáticamente para permitir que el usuario pueda desplazarse sin preocuparse de la contaminación exterior.

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se presenta la fase preliminar del desarrollo de un protector facial para personas con enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Este abarca una descripción general del proyecto, además de los objetivos tanto general como específicos. Se presenta una justificación del porqué es importante llevar a cabo esta iniciativa y qué antecedentes existen hasta el momento en esta temática. Se muestra además los pasos que se han realizado para llegar al punto en que se encuentra el proyecto, junto con el alcance del mismo y las limitaciones que se presentan. Por último, se expone la teoría que envuelve las diferentes áreas del diseño.

1.1. Descripción general

Este proyecto presenta una investigación acerca de las complicaciones y limitaciones que el aire contaminado puede producir en personas con enfermedad pulmonar obstructiva crónica, y de esta manera plantear un diseño de un dispositivo que pueda mitigar esos efectos. La solución propuesta genera condiciones óptimas dentro de un espacio cerrado, incluso si hay contaminantes. Se diseña un dispositivo para ser utilizado en la zona facial, por tanto este debe cumplir con características de comodidad, portabilidad y lavabilidad, esto para promover su uso y asegurar una mejor calidad de vida para esta población.

El diseño del dispositivo responde al resultado de una investigación en varias temáticas relacionadas con el área de Ingeniería Mecánica. Más específicamente se desea investigar sobre sistemas innovadores en el área de filtración, espacios limpios, sistemas de ventilación y acondicionamiento del aire. Además, dispositivos electrónicos para medición de las condiciones del aire y determinación de cambio de filtros, materiales óptimos para garantizar un producto de calidad y sistemas de sujeción confortables.

El desarrollo del diseño sigue una secuencia de pasos empezando por conocer las condiciones del entorno y los requerimientos de acondicionamiento. Se procede con la selección de los elementos que cumplan con los parámetros de diseño y se desarrolla el sistema electrónico que controle el proceso. El siguiente paso es la selección de las dimensiones y definir los materiales a utilizar, que cumplan condiciones de comodidad, portabilidad y lavabilidad. Con lo anterior establecido, se elige el posicionamiento de los sistemas de ventilación. Estos se simulan para verificar que cumplan con el diseño deseado.

En relación a la problemática expuesta, se espera diseñar un protector facial que genere un impacto positivo en la calidad de vida de las personas que padecen problemas respiratorios.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar un protector facial hermético con un sistema de acondicionamiento de aire y dispositivos electrónicos que controlen las condiciones internas del espacio para aplacar los efectos adversos de enfermedades respiratorias.

1.2.2. Objetivos específicos

- Investigar las afectaciones que tiene la contaminación del aire en el sistema visual y en el desarrollo de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica.
- Asignar los materiales más adecuados para la comodidad, portabilidad y lavabilidad del dispositivo.
- Integrar dispositivos electrónicos que controlen las condiciones del aire dentro del espacio.
- Dimensionar un sistema de ventilación encargado de filtrar la contaminación y acondicionar el aire dentro del protector facial.
- Diseñar la propuesta que cumpla todas las condiciones requeridas.

1.3. Justificación

Con el desarrollo de las actividades humanas los niveles de contaminación del aire van en aumento conforme el paso de los años. Esto afecta gravemente el sistema respiratorio de las personas, generando mayores complicaciones principalmente a aquellas con patologías respiratorias. Esta condición implica muchas veces la necesidad de aislarse y limitarse en realizar sus actividades por no exponerse a un ambiente contaminado. Esta problemática crea la necesidad de una protección adicional para la población afectada con estas patologías.

Según el Doctor Arias, un dispositivo que reduzca impurezas en el aire que respira esta población sería de gran beneficio, ya que mitigaría el desarrollo de las patologías pulmonares. De acuerdo con el especialista, las partículas de contaminación presentes en el aire deterioran diversas estructuras del aparato respiratorio, incentivando el desarrollo de enfermedades como fibrosis pulmonar, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), asma, bronquitis, enfisema pulmonar, entre otras. Es aún más perjudicial cuando ya se padece dichas patologías y se continúa respirando el aire contaminado. Otra característica a considerar en el diseño es la de ofrecer una protección para los ojos del usuario, ya que las partículas contaminantes también afectan la vista causando problemas a largo plazo, según explica el especialista. (Arias, comunicación personal, 20 de agosto de 2020)

Debido a lo expuesto anteriormente, se considera necesario un dispositivo que sea portable, ligero y lavable, que también su uso sea cómodo y estéticamente agradable. Además, este debe garantizar las condiciones óptimas del aire respirado en ambientes con cierto nivel de contaminación. Por último, mejoraría la calidad de vida de esta población, ya que podrían realizar actividades al aire libre y en otra condición se verían limitadas.

1.4. Antecedentes

Como consecuencia de los cambios en la sociedad costarricense han aumentado los niveles de contaminación del aire. Actividades humanas como la producción industrial, movilidad urbana y producción de energía mediante combustión, generan contaminantes que se traducen en complicaciones de las patologías respiratorias, ya que estas se asocian con las actividades antes mencionadas. Además de actividades humanas, factores naturales pueden llegar a agravar estas condiciones de salud, tales como erupciones volcánicas, polvo del desierto, incendios forestales y polen. (Romero et al., 2006)

La problemática antes mencionada genera la necesidad de crear un sistema de protección que disminuya el efecto de la contaminación del aire. Actualmente hay una serie de dispositivos que cuentan con filtros del tipo N95 (VYRZ Technologies, 2020), conjuntos de filtros con materiales como fibras PET y nano-fibras (O2 Nano Mask, 2020), filtros FFP2 (Sheth, 2020), carbón activo (CLIU Mask, 2020), filtros cargados electroestáticamente hechos de telas de polipropileno (Breathe99, s. f.), filtros HME (Pedroza, 2020), MERV20+, HEPA y N99 (Redcliffe Healthcare, s. f.) filtros con fibras de plantas y esponjas PP (Joestar, s. f.). Cabe destacar que los filtros antes mencionados cuentan con una vida útil limitada, por tanto, se tienen que cambiar periódicamente.

En adición a lo anterior, los protectores faciales se fabrican con materiales tales como varios tipos de silicón (grado médico y grado alimenticio) los cuales generan un diseño ergonómico y hermético para el usuario. También, para la parte estructural, cuentan con materiales como por ejemplo neopreno, vinilo marino (VYRZ Technologies, 2020), nylon polivinílico, spandex (O2 Nano Mask, 2020) y plásticos sin BPA (CIVILITY, 2020). Estos son considerados resistentes, ligeros y en algunos casos lavables.

Por último, estos dispositivos varían sus características entre sí. En algunos casos se cuentan con ventiladores y sistemas electrónicos que permiten el control del aparato, y en otros más específicos cuentan con conexión Bluetooth (CLIU Mask, 2020). Existen también mascarillas que cuentan con un sistema de esterilización por medio de rayos UV en adición a los filtros (Sheth, 2020).

1.5. Metodología

Para realizar este proyecto se plantea una lista preliminar de temas de interés, dentro de los cuales se escoge el diseño de un protector facial para personas con enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Para la selección y delimitación temática se llevaron a cabo reuniones con el asesor director, Ing. Rodolfo Soto Urbina, para definir los factores principales por investigar. Después de un análisis, cuya finalidad es la fundamentación del diseño, se definen los diferentes dispositivos que se deben implementar.

El desarrollo teórico del proyecto abarca la situación actual de la contaminación del aire así como el impacto de esta en la salud humana. Para esto se sostuvo una reunión con un especialista en patologías respiratorias, el cual aclaró temas médicos relacionados al proyecto. Otra temática son los diferentes sistemas en las áreas de ventilación, filtración y acondicionamiento del aire. Para ello, se consultó al asesor externo, Ing. José Pablo Coto Solano. Además, se contactó al Ing. Israel Chaves Arbaiza para consultas en relación a los sistemas electrónicos para el control de las condiciones.

Antes de empezar a elaborar el diseño, se llevó a cabo una extensa investigación bibliográfica en cada uno de los temas: contaminación del aire y sus efectos en la salud humana, sistemas

de aire acondicionado, sistemas electrónicos y materiales para contar una base de respaldo a los pasos tomados en la etapa de diseño.

El desarrollo del diseño siguió una secuencia de pasos, lo que inició por conocer las condiciones del entorno y los requerimientos de acondicionamiento para el usuario. Esto permitió encontrar los casos críticos de diseño para que el dispositivo propuesto fuera capaz de funcionar correctamente bajo todos los entornos en la zona definida en el alcance de este proyecto (GAM).

Mediante la aplicación de las normas ASHRAE se calculó el flujo de aire para lograr remover el calor del interior del protector facial. Una vez que se tienen los requerimientos mínimos se procedió a investigar los mejores componentes que cumplan los requisitos, y se buscó un controlador electrónico que automatice el sistema según las mediciones de las condiciones del aire exterior.

Se compararon distintos controladores electrónicos programables y se optó por elegir el más apropiado a las necesidades del proyecto. Luego se planteó un diagrama de flujo de como se espera que opere lógicamente la programación del dispositivo. Con esta idea clara, se realizó un diagrama electrónico básico para representar la manera en que se conectarían los principales componentes de manera que funcionen como un conjunto que controle las condiciones del aire interior del protector facial.

Se investigó sobre materiales que sean de uso médico y que no generen alergia al contacto con la piel facial; que sean ligeros y portables así como resistentes al uso constante del dispositivo. Los filtros se escogieron con base en el requerimiento del nivel de partícula que se desea limitar que ingrese dentro del protector.

Una vez que se tuvieron definidos todos estos aspectos mencionados, se definió el mejor lugar para ubicar los sistemas de ventilación; el punto de ingreso y salida de aire del protector. Se decidió la forma de llevar el aire limpio hasta el protector y evitar que se mezcle con el aire sucio exhalado por el usuario. Además, se ubicó el mejor lugar para colocar el sensor de temperatura y el sistema electrónico que automatiza el funcionamiento del protector facial.

Por último, con base en medidas de una cara promedio y con ayuda del software Solid-Works, se dibujaron las distintas partes del ensamble que al unirse conforman el diseño final del protector facial el cual cuenta con un sistema de acondicionamiento de aire, que además lo filtra de contaminantes para mejorar el estilo de vida de personas con enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

1.6. Alcance y limitaciones

Este diseño abarca diversas áreas de la ingeniería mecánica, siendo la principal el tema de sistemas de acondicionamiento de aire. Para realizar esto se filtra el aire ya que se desea contener impurezas. Es necesario incorporar sistemas de ventilación que logren impulsar el aire suficiente. Por último, se implementa un sistema de acondicionamiento del aire para generar condiciones de confort dentro del espacio.

Otro de los temas considerados corresponde a la rama de dispositivos electrónicos, ya que se requiere un sensor para monitorear las condiciones externas del aire y así saber cuanto debe acondicionarse. Además, se coloca un ventilador y una placa peltier, controlados por un circuito que se programa en un microcontrolador capaz de ajustar la temperatura según las condiciones monitoreadas.

En lo concerniente a la temática de materiales constructivos, se considera utilizar aquellos

que cumplan con condiciones de calidad, dureza, comodidad, peso adecuado, lavabilidad y portabilidad. Se excluye una estimación del costo total del dispositivo ya que el precio de los componentes por aparte es muy variable, así como el maquinado de cada uno puede elevar el costo. Por tanto, este análisis queda fuera del alcance de este proyecto de diseño.

Para la concepción del dispositivo se crea un diseño de tamaño promedio según los resultados de investigaciones, ya que existe variedad en la cabeza y cara de las personas. De manera similar, por la variedad de tipos de anteojos que existen en el mercado, se complica personalizar el dispositivo. Por lo tanto, no se contempla el uso de anteojos en conjunto con el protector facial.

Además, se delimita geográficamente el sistema para operar en el gran área metropolitana (GAM), en Costa Rica. Se planea que se utilice en espacios abiertos donde se presente contaminación del aire, tales como espacios públicos.

El dispositivo se concibe para mitigar el avance la enfermedad pulmonar obstructiva crónica ya que esta se ve agravada por la contaminación del aire. Además, para reducir los efectos de la contaminación del aire en el aparato visual.

En relación a las limitaciones que presenta el dispositivo, se encuentra la falta de posibilidades para crear un prototipo en el cual se puedan realizar pruebas físicas, por lo tanto, el proyecto quedará en etapa de diseño.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1. Efectos de la contaminación del aire en la salud humana

2.1.1. Situación de la contaminación del aire en Costa Rica

El Gran Área Metropolitana (GAM) de Costa Rica abarca sectores de las provincias de San José, Alajuela, Heredia y Cartago. Para el año 2013, esta zona contenía 70 % de la flota vehicular, 80 % de la industria y 60 % de la población nacional. Debido a la alta densidad poblacional, comercial e industrial, se origina un incremento en la producción de partículas contaminantes derivadas de los procesos diarios en transporte y producción, los cuales afectan la calidad del aire que se respira (Murillo & Herrera, 2020, p. 13).

Estudios de la calidad del aire han demostrado que los contaminantes primarios son Óxidos de Nitrógeno (NO_x) y Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC). Estos contaminantes también reaccionan al exponerse a luz solar, generando la formación de contaminantes secundarios. Algunos de los compuestos que conforman los contaminantes del aire son los Óxidos de Carbono (CO_x), Óxidos de Azufre (SO_x), Ozono entre otros (MOPT et al., 2016, p. 3). Entre las partículas contaminantes más destacadas en la medición de calidad de aire se encuentran las partículas $\text{PM}_{2,5}$ y PM_{10} , que poseen un diámetro de hasta 2.5 y 10 micrómetros, respectivamente. En el estudio de Cubero (2020), indica que cuanto más pequeñas son las partículas, mayor es su peligrosidad, ocasionando enfermedades pulmonares y cardiovasculares.

Se han realizado estudios en diversos sitios de muestreo distribuidos por el GAM, con la finalidad de cuantificar los contaminantes presentes en el aire. A su vez, estos muestran que el material particulado tipo PM_{10} cumple con normativa nacional, tanto en promedios anuales como en promedio diario. Sin embargo, se encuentra por encima de los niveles recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 8 de 10 sitios del muestreo (MOPT et al., 2016, p. 27).

En el informe mencionado anteriormente, se realizaron mediciones para cuantificar concentraciones de Dióxido de Nitrógeno (NO_2) en distintos puntos del GAM. Para el sector de San José, se obtiene que los diferentes sitios de muestreo están de acuerdo con la normativa nacional que especifica una concentración máxima de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mas no con los criterios de la OMS, la cual indica una concentración máxima de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto mismo sucede para la zona de Belén de Heredia, especialmente en lugares con mayor flujo vehicular y zonas industriales. En el caso de Escazú, las concentraciones de Dióxido de Nitrógeno cumplen tanto la normativa nacional como internacional. Por último, en el caso de Alajuela, de diez puntos de muestreo, solo uno se encuentra bajo incumplimiento según normativa internacional (MOPT

et al., 2016, pp. 57-61).

Los estudios realizados durante el 2012 sobre la calidad del aire, también indican los niveles del material particulado $PM_{2,5}$, los cuales arrojan que de cinco sitios de muestreo solo uno de ellos cumple con la normativa internacional tanto para exposición aguda como crónica. (MINAE et al., 2012, p. 22)

El origen de los contaminantes antes mencionados tienen diversas fuentes, siendo la principal de todas la quema de combustibles fósiles, esto en actividades tales como la utilización de vehículos, generación de energía e industria. Sin embargo, esta no es la única razón de que existan los niveles de contaminación que hay en el GAM ya que volcanes, polvo mineral, caminos pavimentados y no pavimentados, erosión de suelos y cultivos contribuyen a esta problemática. (MOPT et al., 2016, pp. 3-4).

2.1.2. Efectos de la contaminación del aire en personas con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)

Las enfermedades respiratorias crónicas (ERC) se pueden definir como dolencias que ocurren en las vías respiratorias y otras estructuras del pulmón (Pinzón & Carrillo, 2016, p. 194). Dentro de este tipo de enfermedades se encuentra la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), la cual corresponde a un grupo de padecimientos que causan el bloqueo del pasaje del aire hacia los pulmones, además de problemas relacionados con la respiración. Algunas patologías dentro de la clasificación de EPOC incluye enfisema, bronquitis crónica y, en algunos casos, asma. (CDC, s. f.)

La EPOC tiene como causa más común, según American Thoracic Society (2013), el humo del cigarrillo. Sin embargo no es la única, ya que factores ambientales y genéticos pueden desarrollar esta enfermedad. Ejemplos de esto son la exposición prologanda a ciertos polvos en el trabajo, químicos y aire contaminado en ambientes cerrados y abiertos.

La enfermedad pulmonar obstructiva crónica es una problemática real en Costa Rica. Estudios fueron llevados a cabo durante los años 2013 a 2017, donde se tuvo una tasa de mortalidad promedio de 16.2 personas por cada 100 000 habitantes (Ministerio de Salud, 2019, p. 75). En el siguiente gráfico se muestra la mortalidad y número de casos por cada 100 000 habitantes:

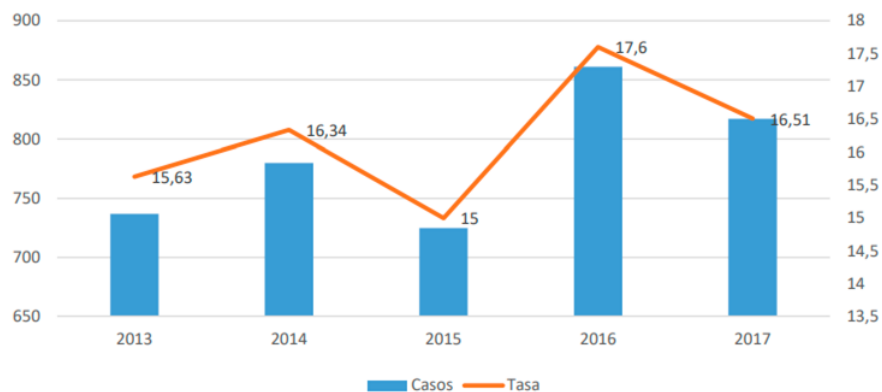


Figura 2.1: Costa Rica: Mortalidad por enfermedad pulmonar obstructiva crónica, 2013-2017. (Ministerio de Salud, 2019, p. 76)

Gracias a estos mismos estudios se conoce la tasa de mortalidad por cada 100 000 habitantes en cada una de las provincias de Costa Rica, esto durante los años 2013 a 2017. Dicha información se presenta en el siguiente gráfico:

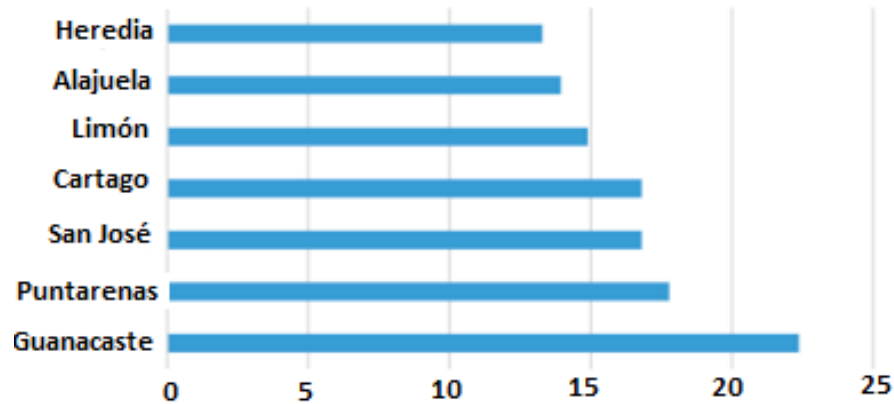


Figura 2.2: Costa Rica: Mortalidad por enfermedad pulmonar obstructiva crónica, según provincia, 2013 - 2017. (Ministerio de Salud, 2019, p. 77)

Como se mencionó anteriormente, la contaminación del aire es uno de los factores desencadenantes de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. No obstante, también es un factor que llega a ser determinante en cómo esta enfermedad se va desarrollando, ya que estudios realizados han demostrado que la exposición a material particulado $PM_{2.5}$ incrementa los riesgos en la salud, especialmente en aquellas personas que padecen enfermedades respiratorias (Liu et al., 2017, p. 135). De hecho, en el estudio de Jiang et al. (2015) se menciona que pacientes con EPOC expuestos a contaminación por partículas usualmente tienen más visitas a cuartos de emergencia, admisión en hospitales o la muerte en algunos casos.

2.1.3. Efectos de la contaminación del aire en el sistema ocular

La contaminación ambiental conlleva problemas en diversos aspectos; trae consigo efectos negativos que modifican el clima, los gases tóxicos del ambiente dañan los cultivos e impacta directamente sobre la salud de las personas. Estar en espacios contaminados afecta las principales vías expuestas hacia el interior del organismo, es decir, los órganos más expuestos son los que se verán más afectados debido a esta causa (Ammasi Krishnan et al., 2019).

La zona facial presenta la mayor relevancia en términos de exposición, ya que es aquí donde se ubican los orificios del sistema respiratorio y se encuentran los ojos, los cuales están expuestos al ambiente del sitio donde se encuentre. Un estudio realizado en India durante el año 2015, demostró que la exposición prolongada a altos niveles de contaminación del aire puede dañar la capa externa de los ojos. Según el estudio de Grupta (2018), la exposición a contaminantes tóxicos en el aire es causante de síntomas que van desde la irritación ocular leve hasta malestar crónico severo. Adicionalmente, se encontró que la contaminación del aire con compuestos de materiales particulados tales como gases tóxicos, humo y productos químicos acarrearán enfermedades oculares graves como cataratas, conjuntivitis, glaucoma y ojo seco.

La problemática de la exposición visual a contaminantes quedó en evidencia en un informe de Kim et al. (2020) con un estudio poblacional en Corea del Sur. Este demuestra el malestar

ocular debido a la exposición de Ozono, $PM_{2,5}$ y PM_{10} . Además, señala la afección que tienen estos contaminantes sobre la Enfermedad de Ojo Seco, demostrando que el aumento a la exposición de PM_{10} afecta la estabilidad de la película lagrimal, la exposición al Ozono reduce la secreción de lágrimas, mientras que a mayor exposición de $PM_{2,5}$ aumenta la secreción de lágrimas.

De manera similar, para el año 2013 en Taiwán se realizó un estudio sobre la incidencia de gases contaminantes en la salud humana. Este estudio recopiló información de dos bases que estudian poblaciones con distinta exposición a contaminantes del aire: la Base de Datos de Investigación de Seguros de Salud Nacional de Taiwán (NHIRD) y la Base de Datos de Monitoreo de la Calidad del Aire de Taiwán (TAQMD). Este analizó la relación del desarrollo de la miopía y la incidencia de los contaminantes del aire, específicamente de las partículas $PM_{2,5}$ y los gases NO_x .

En virtud de los resultados, la incidencia de miopía fue 64 % mayor en personas expuestas a cantidades mayores de partículas $PM_{2,5}$ que en aquellas expuestas a concentraciones menores. Por parte de los gases NO_x , los sujetos expuestos a cantidades mayores tenían un riesgo 2 veces mayor de miopía que los expuestos a concentraciones menores al final del período de seguimiento. Finalmente, el estudio afirmó el perjuicio a la salud debido la exposición de contaminantes $PM_{2,5}$ y NO_x , los cuales aumentan la inflamación de la superficie ocular y posteriormente, la inflamación de la retina, aumentando el riesgo de desarrollo de miopía (Wei et al., 2019).

2.2. Sistemas de Acondicionamiento de Aire

El acondicionamiento de un espacio consiste en modificar las propiedades características del aire tales como la temperatura, humedad y nivel de limpieza a un valor establecido para realizar una correcta distribución del mismo. Hay diversas aplicaciones que necesitan acondicionamiento de aire, por lo tanto es fundamental tener claro las condiciones que generan la calidad de este. Así mismo, se establecen las condiciones del aire recomendadas por las normas en cuanto a las propiedades que lo caracterizan.

2.2.1. Normativa ASHRAE

La American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), es la sociedad de ingenieros profesionales de Estados Unidos encargada de velar por las ciencias de la calefacción, ventilación, aire acondicionado, refrigeración y sus campos afines. ASHRAE (2020), fundada en 1894 se define a sí misma como:

“Una sociedad global que avanza el bienestar humano a través de tecnología sostenible para el ambiente de construcción. La sociedad y sus miembros se enfocan en los sistemas de construcción, eficiencia de la energía, calidad de aire interno, refrigeración y sostenibilidad para con la industria. A través de investigación, escritura de estándares, publicando y continuando con la educación, ASHRAE le da forma al ambiente de la construcción, hoy.”

Calidad de aire

La calidad del aire de un lugar describe el nivel de contaminación presente en ese espacio, el cual puede ser abierto o cerrado. Para un recinto acondicionado concierne estudiar la calidad del aire interior y exterior. La edición de ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2016 presenta una amplia serie de recomendaciones sobre la ventilación necesaria para obtener una calidad aceptable de aire.

Esta norma define la calidad aceptable de aire interior como el aire en el cual no hay contaminantes en concentraciones dañinas para la salud. Además, que una mayoría de al menos 80 % de los ocupantes no presenten insatisfacción con respecto al olor e irritación sensorial. Asimismo, la calidad del aire exterior influye de manera importante en el proceso que este debe recibir para ser convertido en aire de calidad aceptable para la respiración humana asegurando el bienestar de la salud.

El aire exterior es un factor sustancial en la identificación de contaminantes que pueden ingresar al sistema de acondicionamiento de aire, por lo que es de suma relevancia un estudio de la situación de la calidad del mismo en los espacios circundantes. Al efectuar la investigación a cargo de las autoridades competentes, se expone la cantidad de contaminantes presentes en un sitio determinado.

Clases de aire

Como consecuencia de la variedad de los niveles de contaminantes presentes en el aire para acondicionamiento, este ha sido clasificado por ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2016 en cuatro clases distintas:

- Clase 1: Aire con baja concentración de contaminantes, baja intensidad de irritación sensorial y olor inofensivo.

- Clase 2: Aire con concentración moderada de contaminantes, intensidad de irritación sensorial leve u olores levemente ofensivos (el aire de Clase 2 también incluye aire que no es necesariamente dañino u objetable, pero que es inapropiado para su transferencia o recirculación a espacios usados para diferentes propósitos).
- Clase 3: Aire con una concentración significativa de contaminantes, una intensidad de irritación sensorial significativa u olor desagradable.
- Clase 4: Aire con humos o gases altamente objetables o con partículas, bioaerosoles o gases potencialmente peligrosos, en concentraciones lo suficientemente altas como para considerarse nocivas.

Tasa de ventilación

La tasa de ventilación de cada recinto acondicionado varía según la aplicación del espacio, el nivel de ocupación y el área superficial. Esto se basa en estudios sobre acumulación de contaminantes debido a estos tres factores mencionados. El flujo de aire exterior requerido según ANSI (2016) para un recinto ocupado que permita una zona de respiración correcta está dado por la siguiente ecuación:

$$V_{bz} = R_p \times P_z + R_a \times A_z \quad (2.1)$$

Donde:

V_{bz} : Flujo de aire exterior requerido en la zona de respiración, (l/s)

R_p : Tasa de flujo de aire exterior requerida por persona, ($l/s \cdot persona$)

P_z : Número de ocupantes en la zona de ventilación durante el uso.

R_a : Tasa de flujo de aire exterior requerida por unidad de área, ($l/s \cdot m^2$)

A_z : Área del piso ocupable de la zona de ventilación, (m^2)

Al asegurar que se renueva el aire acondicionado en el recinto con el suficiente flujo de aire exterior requerido, se tiene certeza de que hay un correcto desplazamiento de los gases internos. De esta manera, se elimina el problema de contaminación por concentraciones de residuos debidos a la respiración propia de los ocupantes.

2.2.2. Sistemas de ventilación

Ingreso y extracción de aire

En espacios cerrados donde no hay suficiente ventilación natural, se utilizan sistemas mecánicos para renovar el aire del espacio, haciendo que este sea adecuado para la respiración humana. Con el uso de ventiladores eléctricos se impulsa el flujo de aire que se debe ingresar y extraer del recinto. Los ventiladores deben suplir el flujo necesario para la zona de respiración cumpliendo con la tasa de ventilación del apartado anterior. Además, se incluye la necesidad de remover el calor excesivo para crear un espacio de confort para el usuario (ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2016).

Algunos sistemas de manejo de fluidos utilizan válvulas unidireccionales, evitando el retorno del fluido por el mismo ducto. Para el caso de los dispositivos de protección personal como lo son las máscaras con filtros, se suelen utilizar las llamadas válvulas de inhalación o

exhalación. Estas permiten que no se mezclen entre sí el aire inhalado y exhalado. Adicionalmente, la utilización de estas válvulas facilita la respiración con la mascarilla puesta, lo que las hace que sean más cómodas y apropiadas para proteger al usuario. (Press, 2020)

El mecanismo de una válvula de exhalación es bastante sencillo, generalmente está compuesto por tres partes: una membrana de válvula flexible, una base y una cobertura rígida. La membrana se ubica sobre la base sellando el flujo en una dirección, en el caso de succión o presión negativa. Luego, esta se eleva permitiendo el flujo en la dirección opuesta al darse una presión positiva. Este mecanismo permite controlar el paso del aire en un punto donde se da una presión positiva y negativa por intervalos, como en el caso de la respiración de una persona. (Kuo et al., 2005, p. 564)

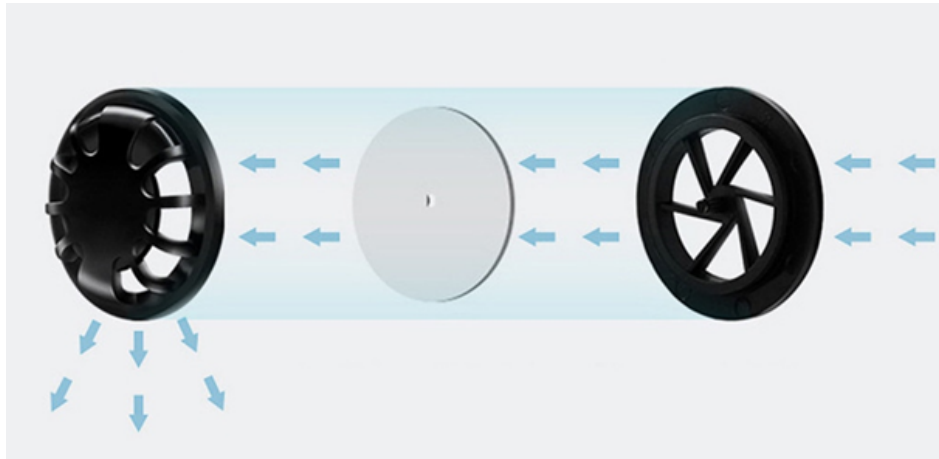


Figura 2.3: Válvula de exhalación. (EH Product Finder, 2019)

Control de contaminantes

Para espacios acondicionados con aire exterior es inaceptable suministrar contaminantes que reduzcan la calidad del aire interior, por lo tanto, debe pasar un proceso de limpieza para ser ingresado al recinto. Un estudio de calidad del aire exterior debe indicar si las zonas circundantes registran concentraciones peligrosas para la salud de partículas contaminantes como las $PM_{2,5}$ y PM_{10} . En caso de presentar altos niveles de contaminación, la norma ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2016 indica la importancia de colocar filtros para limitar el ingreso de contaminantes y obtener una calidad del aire aceptable.

Además, ASHRAE (2017, p. 6) recomienda instalarlos en recintos de atención de la salud como lo son los hospitales, lugares de cuidado para personas de la tercera edad, entre otros. Los bancos de filtros se clasifican por su eficiencia de filtrado de tamaño partículas según MERV, el acrónimo en inglés del valor mínimo reportado de eficiencia (Minimum-Efficiency Reporting Value).

Dentro de los estándares de las normativas ASHRAE se encuentra el ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2017, el cual abarca la ventilación para edificaciones de cuidado de la salud. En este documento se abarca diversidad de temas, como lo son los filtros a utilizar en los distintos recintos y parámetros de diseño para tres espacios: espacios hospitalarios, espacios ambulatorios y espacios de cuidado de ancianos. Entre las condiciones que se definen se encuentra la relación de presión del espacio con respecto a áreas adyacentes, humedad relativa de diseño,

temperatura de diseño, recirculación de aire, entre otras (ANSI et al., 2017, pp. 6-28).

2.2.3. Confort humano

Psicrometría

La búsqueda de la comodidad de los seres humanos ha logrado que se implementen sistemas que tienen como fin esta condición. Para lograr esto, se ponen en práctica conceptos tales como la psicrometría, la cual se define como la ciencia que involucra las propiedades termodinámicas del aire húmedo y el efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y el *confort* (Cánovas, 2019, p. 2). Es de hecho, a través del uso de tablas o cartas psicrométricas que se pueden presentar las propiedades del aire atmosférico, generando que estas sean fáciles de leer (Cengel & Boles, 2012, p. 746). Seguidamente se muestra una carta psicrométrica a nivel del mar:

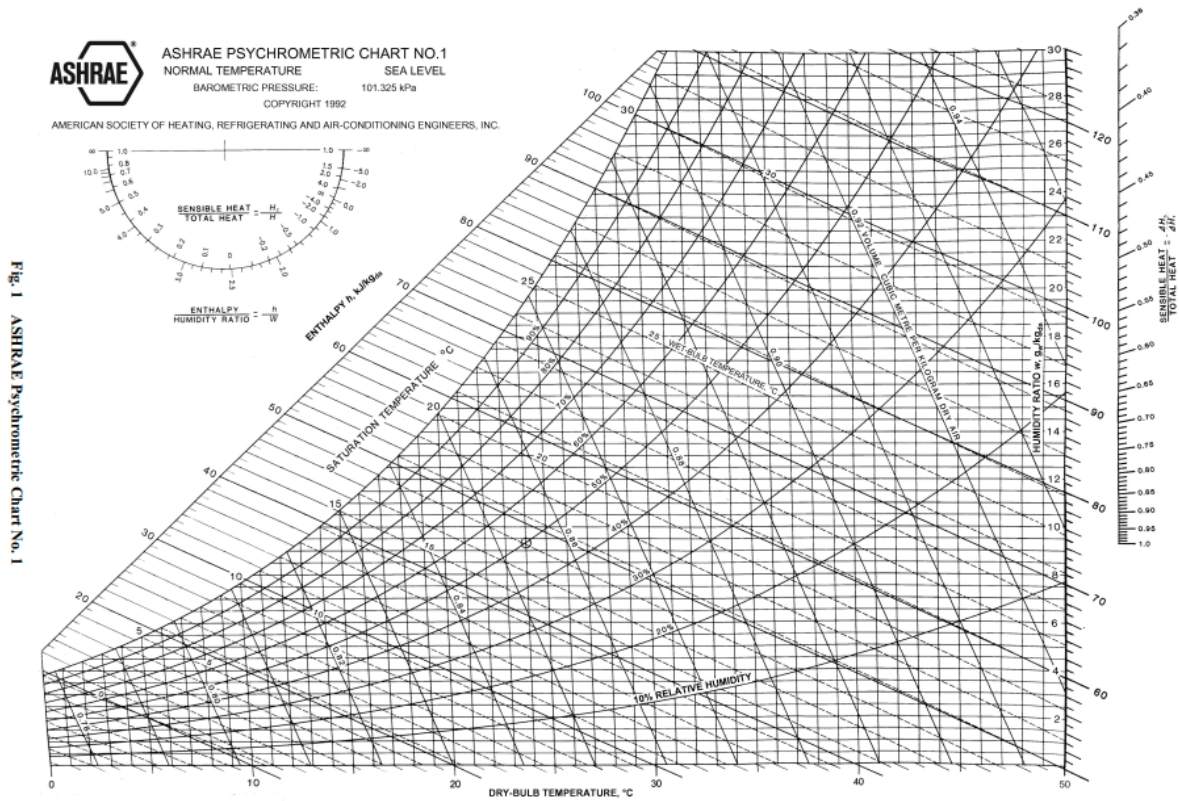


Figura 2.4: Carta Psicrométrica.(ASHRAE, 2017, p. 1.11)

El aire húmedo contiene algunas propiedades que permiten caracterizarlo en diversos aspectos. Entre las características que este contiene se encuentran: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, temperatura de punto de rocío, humedad relativa y razón de humedad. La primera de las anteriores se define como temperatura ordinaria del aire atmosférico. Esta temperatura es la que marcaría un termómetro común. Si este termómetro está cubierto con una mecha de algodón saturada con agua, la lectura que arroja el dispositivo es lo que se denomina la temperatura de bulbo húmedo. Con respecto a la temperatura de

rocío, esta se define como la temperatura a la que se inicia la condensación si el aire se enfría a presión constante. Del lado de humedad, la humedad relativa se puede definir como la relación entre la cantidad real de humedad en el aire a una determinada temperatura y la máxima cantidad de humedad que el aire puede contener a esa temperatura. Por último, la razón de humedad se puede definir como la relación entre la masa de vapor de agua en una unidad de masa de aire seco (Cengel & Boles, 2012, pp. 739-744)

Con respecto a los procesos psicrométricos, estos se pueden dividir en cuatro principales: calentamiento, enfriamiento, humidificación y deshumidificación. En el primero de estos, lo que se realiza únicamente es agregarle calor a la mezcla. Realizar lo contrario implicaría un proceso de enfriamiento. Estos dos procesos se representan por medio de una línea horizontal en la carta psicrométrica. Con respecto a los dos últimos procesos, estos consisten en ya sea agregar vapor de agua por medio de aspersores o extraerle llevándolo por debajo de la temperatura de punto de rocío, respectivamente. Estos dos procesos se representan por medio de líneas verticales en la carta psicrométrica. (ASHRAE, 2017, pp. 1.12–1.14)

Control de temperatura y humedad relativa

Para generar esa condición de comodidad tan deseada por las personas es necesario controlar ciertos parámetros. Entre ellos se encuentra la temperatura y humedad relativa del aire que ingresa a un recinto. Se puede definir el confort térmico como la condición en que la mente expresa satisfacción con respecto al ambiente térmico. Las altas temperaturas y humedad genera sensaciones de incomodidad además de estrés térmico. Estas dos condiciones llegan incluso a reducir la productividad de los trabajadores y puede llevar a serios problemas de salud, especialmente en personas mayores. (Abdel-Ghany et al., 2013, p. 1)

Del lado de la humedad relativa, HEVAC (2016, p. 5) menciona en su estudio que “la humedad relativa (HR) es una variable importante en lo que es *confort* térmico y bienestar de las personas. Si el aire está demasiado seco, problemas respiratorios sumados con irritación de piel y ojos pueden ocurrir. Altos niveles de HR pueden llevar a malestares respiratorios, incomodidad térmica y problemas de condensación”. El mismo autor menciona que en estudios realizados en edificios se ha encontrado que generalmente la gente piensa que un control de la temperatura es suficiente. Sin embargo, personas dentro de los recintos con el control adecuado de temperatura sufre de irritaciones de nariz, nariz moquenta, irritación de ojos, tos, apretazón en el pecho, fatiga, dolor de cabeza e irritación de la piel. Tales síntomas son llamados el síndrome del edificio enfermo, el cual se relaciona con la humedad relativa dentro del espacio.

Con respecto a la temperatura, el control de esta no es solo necesaria para generar una condición de comodidad en las personas. Estudios demuestran que calor muy extremo puede llegar a generar condiciones adversas tal como un choque de calor. Este fenómeno es el más serio en lo que respecta a desórdenes de calor. Ocurre cuando el cuerpo no es capaz de manejar su temperatura. La temperatura del cuerpo empieza a aumentar de manera significativa, el mecanismo de sudoración falla y el cuerpo no es capaz de enfriar. Dicha condición puede llegar a ocasionar la muerte, además de daños irreparables si el tratamiento de la emergencia no se da. Además, altas temperaturas y problemas respiratorios están relacionados entre sí. (APHA & CDC, s. f., p. 1)

Carga latente y sensible

Uno de los aspectos a tomar en cuenta en relación a la generación de *comfort* en un recinto es la carga que ahí se produce, además de la remoción de esta. Dicha carga se puede definir como el fenómeno que llega a alterar tanto la temperatura como la humedad del recinto. Es posible dividir la carga en dos: carga sensible y carga latente (Rodríguez, s. f.).

Del lado del calor sensible, cuando este entra o se produce en un espacio, genera un aumento de la temperatura del mismo. Algunos ejemplos de calor sensible incluyen la transmisión de calor a través de la estructura del edificio por convección, conducción y radiación. Además, del calor sensible producido por los ocupantes, lámparas, artefactos domésticos, motores etc (Rusconi & Martins, 2018, p. 15).

Con relación al calor latente, este se presenta en forma de humedad, y aunque no genera aumentos de la temperatura, aumenta la condición del aire por medio del aumento en humedad relativa. Entre los ejemplos de carga latente se encuentra el calor latente que se introduce en el espacio por medio de infiltración, calor latente cedido por ocupantes, cocina, baños calientes y otros procesos de evaporación en el espacio (Rusconi & Martins, 2018, p. 15). La siguiente figura ejemplifica dichas cargas: sensible y latente.

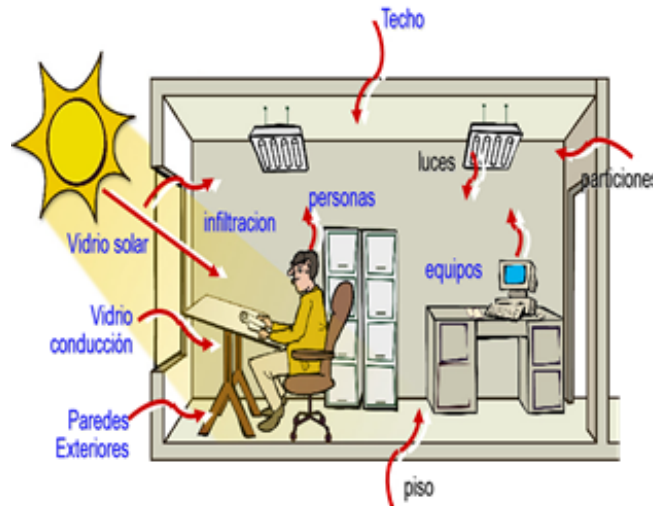


Figura 2.5: Cargas sensibles y latentes.(Gallo, 2012)

2.2.4. Termoelectricidad

Efecto Peltier

La búsqueda de nuevas energías a través de los años ha generado que, gracias al ingenio humano, se apliquen conceptos físicos con la finalidad de suplir nuestras necesidades. Un claro ejemplo de esto es la termoelectricidad, la cual es capaz de convertir una diferencia de temperatura en voltaje y viceversa. Más específicamente, un dispositivo termoelectrico crea un voltaje cuando hay una diferencia de temperatura a cada lado del mismo. Por el contrario, cuando se aplica un voltaje al mismo se genera la diferencia de temperatura. A su vez, la termoelectricidad comprende tres efectos, los cuales son: Seebeck, Peltier y Thompson. (Díaz, 2015, p. 1)

Con respecto al Peltier, este fue descubierto por el físico francés Jean Charles Peltier en 1834. Este consiste en que cuando se hace pasar una corriente por un circuito con materiales diferentes cuyas uniones están a la misma temperatura, se absorbe calor en una unión y se desprende en la otra. Sucede también que al invertir la polaridad, se invierte su funcionamiento. La superficie que antes generaba frío empieza a generar calor y la que generaba calor empieza a generar frío. (Blancarte, 2001, p. 2)

Celdas Peltier

Dentro de las aplicaciones en que se utiliza el efecto Peltier es en las celdas Peltier. Esta se define, según Gomar (2018) como “una bomba de calor activa de estado sólido que transfiere calor de un lado del dispositivo al otro, con consumo de energía eléctrica, dependiendo de la dirección de la corriente”. De igual manera, según Gomar, este dispositivo se puede usar tanto para calefacción o refrigeración, además de controlador de temperatura. Para la construcción de este dispositivo, según el autor, “se utiliza dos semiconductores únicos, uno de tipo n y otro de tipo p, porque necesitan tener densidades de electrones diferentes. Los semiconductores se colocan térmicamente en paralelo entre sí y eléctricamente en serie, y luego se unen con una placa conductora térmica en cada lado”.

Como se mencionó anteriormente, las células Peltier tiene aplicaciones en el área de calefacción y refrigeración. Más específicamente, pueden ser utilizadas con disipadores de CPU para alternar las fuentes de energía, para enfriadores instantáneos de líquidos, neveras portátiles, vinacotecas, calentadores y enfriadores de comida. (Soloelectronicos, 2018) Seguidamente se muestra este dispositivo:

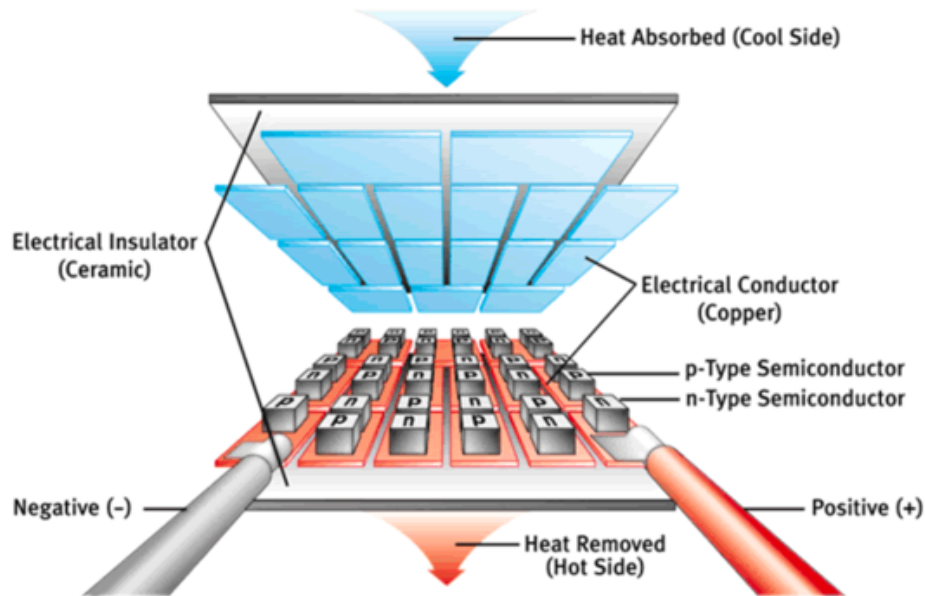


Figura 2.6: Celda Peltier.(Gomar, 2018)

2.3. Sistemas electrónicos

El avance de la tecnología de los últimos años ha permitido automatizar procesos que se realizaban de manera manual anteriormente, lo que permite que sean más precisos ya que son ajustados constantemente mediante sensores que reciben señales para enviar una orden de ajuste inmediato que lo optimiza. Los dispositivos que hacen este proceso posible son los circuitos electrónicos, que están formados por componentes de materiales semiconductores, los cuales tienen un comportamiento intermedio entre materiales aislantes y conductores, permitiendo el flujo de corriente en determinadas ocasiones para transmitir señales.

Los circuitos electrónicos están compuestos en general por tres bloques: el bloque de entrada, el cual recibe una señal que puede ser recibida mediante un accionar manual como un interruptor, un botón, o bien, mediante un sensor automático. El segundo bloque es el de proceso, el cual debe interpretar y transformar la señal para enviar otra señal específica que permita accionar o bien almacenar la información recibida. Por último, el bloque de salida es el responsable de transmitir la señal al siguiente dispositivo del proceso para realizar la acción.

Los sistemas electrónicos utilizan dos tipos de señales, las cuales pueden ser analógicas o digitales. La primera es una señal continua en el tiempo que varía en un intervalo, tomando valores de un mínimo o un máximo. El segundo caso, es una señal discreta que solo existe en instantes determinados en el tiempo y puede tomar valores concretos que se transmiten en el sistema de codificación binaria. (I.E.S. Las Sabinas, 2011, pp. 3-5)

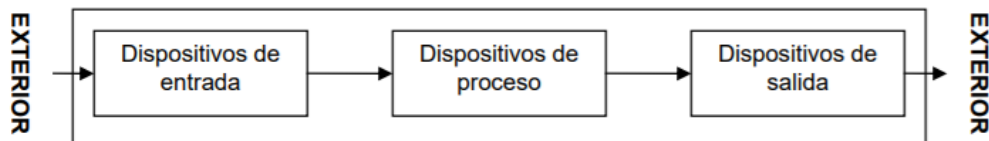


Figura 2.7: Diagrama de bloques de un circuito electrónico. (Las Sabinas, 2011)

2.3.1. Sensores

La importancia de obtener información de los alrededores ha llevado a la creación de dispositivos que cumplan este fin. Variables en plantas de producción, corrientes marinas, campos eléctricos y magnéticos son algunos ejemplos de esto. Estas mediciones pueden ser realizadas por medio de dispositivos tales como sensores e instrumentos (Eren, 2004, p. 158-1).

El mismo autor menciona que un sensor se puede pensar como una extensión de los sentidos humanos. Los sensores generan señales eléctricas que luego pueden ser procesadas y transmitidas por medio de aparatos o conjuntos de aparatos manufacturados. En la siguiente figura se presenta una manera esquemática de cómo funcionan los sensores:

Según la figura 2.8, la señal de salida $y_o(t)$ se produce en función de la señal de entrada, $x_i(t)$. De esta manera se caracteriza el medio, según sea el parámetro de estudio.

Sensores de humedad relativa y temperatura

Los sensores de humedad tienen gran variedad de aplicaciones. Entre estas se encuentran el monitoreo ambiental, electrónica, agricultura y el área biomédica. Debido a ello, existe una gran demanda de este tipo de dispositivos.

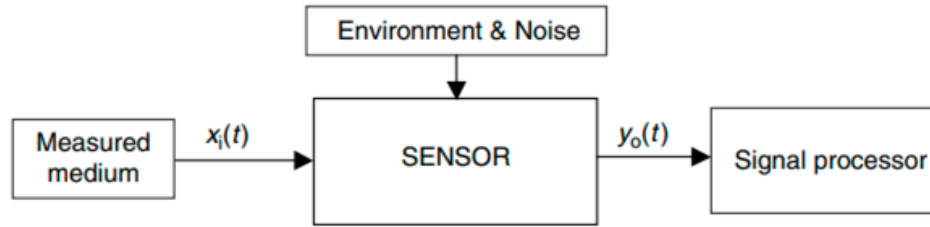


Figura 2.8: Representación esquemática de un sensor.(Eren, 2004, p. 158-2)

La miniaturización de la tecnología ha generado la creación de sensores de humedad con tamaños reducidos. Estos, generalmente, utilizan películas que absorben vapor como sus materiales para realizar la detección de humedad. Las propiedades, tanto mecánicas como eléctricas, se ven alteradas según cambia la humedad relativa del medio que se está tratando. Estos cambios en el dispositivo es lo que permite realizar la medición del parámetro. Dentro de los tipos de sensores se encuentran los ópticos, gravimétricos, capacitivos, resistivos, piezoresistivos y magnetoelásticos.(Lee & Lee, 2005, p. 12)

La medición de temperatura en distintos procesos es también importante. Para ello se utilizan sensores que cuantifican esta cantidad. Actualmente se cuenta con los siguientes cuatro tipos: termopares, RTD, termistores y semiconductores.

El sensor tipo termopar es el más comúnmente usado. Estos son hechos al unir dos cables de materiales distintos. Esto causa el efecto Seebeck, el cual es un fenómeno en el que una diferencia de temperatura entre dos materiales conductores distintos genera un voltaje entre ambas sustancias. Hay diversidad de materiales con que se crea este dispositivo, siendo un ejemplo una combinación hierro-constantán.

Los tipo RTD funcionan bajo el principio de que, conforme varía la temperatura, de igual manera lo hace la resistencia de los materiales. Los cambios en esta última es en lo que se basa el dispositivo para cuantificar el parámetro. En resumen, un sensor tipo RTD es una resistencia con características temperatura-resistencia bien definidas. El platino es el material más común y preciso que se utiliza para la generación de este artefacto. Este también ofrece un comportamiento bastante lineal.

El funcionamiento de los sensores de temperatura tipo termistor es similar a los tipo RTD. La diferencia radica en los materiales que se utilizan, los cuales son poliméricos o cerámicos. El más utilizado es el NTC, el cual presenta un comportamiento no lineal, esto es, conforme aumenta la temperatura disminuye la resistencia.

Los sensores de temperatura semiconductores se encuentran en dos tipos diferentes, local y remoto. Los locales son circuitos integrados que miden su propia temperatura utilizando las propiedades físicas de un transistor. Los remotos miden la temperatura de un transistor externo. Los locales pueden usar ya sea salidas analógicas o digitales. Los remotos trabajan como sensores de temperatura locales por medio del uso de las propiedades físicas del transistor. La diferencia radica en que el transistor está localizado lejos del chip-sensor (Gums, 2018).

2.3.2. Sistemas de control

Este sistema abarca el segundo bloque del proceso, es decir, donde se reciben las señales y se decide cual acción se va ejecutar para transmitirla al siguiente módulo. Los circuitos

electrónicos se forman con componentes conectados entre sí para realizar un tratamiento de las señales.

Circuitos integrados

Este dispositivo es un pequeño microchip que sustituye a un circuito de mucho mayor tamaño, ya que en su interior contiene componentes individuales de tamaño milimétrico como resistencias, diodos, transistores, etc. Además, fue uno de los inventos más destacados a nivel mundial del siglo XX, debido al gran desarrollo tecnológico que implica logrando fabricar aparatos muy complejos de tamaños reducidos (Ramos, 2013).

Microcontroladores

Los microcontroladores son circuitos integrados que se encargan de automatizar procesos y procesar información. Controla elementos de entrada y salida. Incluye un procesador y una memoria que permite guardar el programa y sus variables. Tiene un comportamiento como una mini computadora y se utiliza en aplicaciones embebidas. Las partes componentes de un microcontrolador son: microprocesador, periféricos y memoria.

Los microprocesadores son componentes que realizan instrucciones y tareas involucradas en el procesamiento informático. Es la unidad central que ejecuta y gestiona instrucciones lógicas que se le transmiten (Navas, 2018). Se componen de al menos tres elementos: ALU, unidades de control y registro. Los ALU están compuestos por circuitos electrónicos digitales del tipo combinatorios (compuertas, sumadores y multiplicadores) cuya función es realizar operaciones. Entre las operaciones que puede realizar un microprocesador se encuentran las compuertas lógicas (AND, OR, NOT, XOR, entre otras), las operaciones aritméticas (sumas, restas, multiplicación y división) y misceláneas en las cuales caen todas las demás operaciones como la transferencia de bits. Las unidades de control es el conjunto de elementos digitales secuenciales que permite distribuir la lógica de las señales. Las unidades de registro son las memorias de los procesadores.

Los periféricos son los circuitos digitales que permiten la interacción del sistema con los alrededores. Con ellos se permite o no se permite la salida de señales, lectura de sensores, comunicación con terminales digitales u obtención de señales analógicas a partir de señales digitales. La memoria de un microcontrolador se divide en tres. Primeramente la memoria para el programa (FLASH), la memoria para datos o variables del programa (RAM) y la memoria para configuraciones o no volátil (EEPROM) (Marmolejo, 2017).

Circuitos lógicos

Para lograr la automatización de un proceso, es necesario que las máquinas involucradas puedan tomar decisiones según la información de la señal que reciben. Para esto se han creado los componentes conocidos como compuertas lógicas, las cuales tienen una o más entradas y una salida, todas de una señal binaria. Las compuertas lógicas se conectan de manera que su configuración permita llevar a cabo tareas de control de forma automática.

Para la transmisión de información se utiliza el código binario, el cual es un sistema que consta únicamente de dos estados 0 y 1. Cada dígito binario se le llama bit y con un arreglo de bits se puede hacer una conversión a otro sistema de datos como puede ser el sistema numérico decimal, hexadecimal u otros. (Ramos, 2013)

Existen 3 operaciones booleanas básicas entre las señales de cada bit:

- Negación o complemento (NOT): Como su nombre lo dice, corresponde a la negación del valor actual del bit, es decir, da como resultado el valor contrario a la que recibe. Se denota con una comilla o una barra horizontal sobre la variable.
- Suma lógica (OR): Corresponde a la operación de conjunción, para que se produzca una señal en la salida basta con que se active una de las señales de entrada. Se denota con el símbolo de suma “ + ” entre las variables implicadas en la operación.
- Producto lógico (AND): Corresponde a la operación de multiplicación, para que se produzca una señal en la salida se deben activar todas las señales de entrada. Se denota con el símbolo de punto “ · ” entre las variables implicadas en la operación. (Peiron Sánchez, 2011)

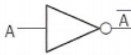


NOT		<table border="1" data-bbox="1079 693 1226 798"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	S	1	0	0	1									
A	S																
1	0																
0	1																
OR		<table border="1" data-bbox="1047 850 1258 1018"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	S	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
A	B	S															
0	0	0															
0	1	1															
1	0	1															
1	1	1															
AND		<table border="1" data-bbox="1047 1039 1258 1207"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	S	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
A	B	S															
0	0	0															
0	1	0															
1	0	0															
1	1	1															

Figura 2.9: Compuertas lógicas. (Ramos, 2013)

Cabe destacar que con la combinación de estas compuertas lógicas se pueden obtener otros resultados. Por ejemplo, al colocar una compuerta NOT después de una AND esta cambia todos los valores resultantes y la combinación se conoce como una puerta NAND. De manera similar, al agregar la negación a la salida de una compuerta OR, se conoce como una compuerta NOR. Por último, se encuentra la compuerta XOR, la cual se le conoce con el nombre de compuerta OR exclusiva, y esta da un valor de 1 solo cuando las señales de entrada son distintas entre sí. (Ramos, 2013)

Sistemas de alimentación de energía

Los dispositivos eléctricos necesitan una fuente de alimentación de corriente para funcionar. Esta fuente puede ser en corriente continua o alterna dependiendo de la aplicación en cada caso. También se puede transformar una onda de corriente alterna a una continua y viceversa, mediante un circuito rectificador con los componentes necesarios. La mayoría de los circuitos electrónicos utilizan corriente directa, y deben ser alimentados por una fuente de este tipo. (Ramos, 2013)

2.4. Materiales

2.4.1. Materiales hipoalergénicos y ergonómicos

Para la concepción de dispositivos de este tipo, es necesario tomar en cuenta materiales que no generen reacciones alérgicas en las personas que lo vayan a utilizar, esto debido al constante roce piel-material que va a existir. Por ello, es importante la elección de materiales hipoalergénicos, los cuales se definen como aquellos que contienen sustancias poco productoras de alergias, siendo estas conocidas como alérgenos. (Hecht, 2019)

Otra característica a tomar en cuenta es la comodidad a la hora de utilizar el dispositivo. Para ello no solamente es importante un adecuado diseño de la totalidad del sistema enfocado en este sentido, sino la elección de materiales que cumplan con esta condición. Por tanto, es importante que estos tengan una característica ergonómica, la cual se define, según Cañas (2011, p.13), como “La profesión que aplica teoría, principios, datos y métodos para diseñar un sistema a fin de optimizar el bienestar humano y el rendimiento global del sistema.”

2.4.2. Polímeros

Los polímeros incluyen las familias de los plásticos y los cauchos. Muchos de ellos son compuestos orgánicos que se basan químicamente en carbón, hidrógeno y otros elementos no metálicos como por ejemplo oxígeno, nitrógeno y silicio. Estos materiales tienen estructuras moleculares muy largas, muy frecuentemente con formas similares a cadenas, esto en conjunción con columnas de átomos de carbono. Seguidamente se presenta un ejemplo de dicha estructura:

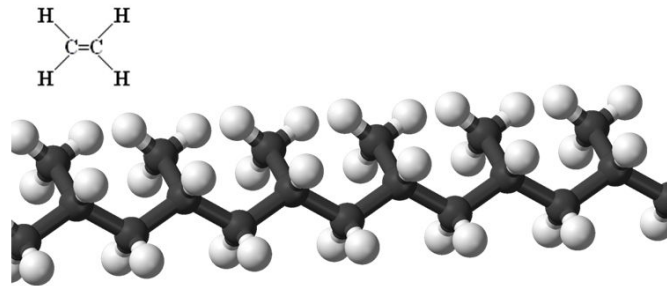


Figura 2.10: Representación de estructura de un polímero.(Walton, 2015)

En la actualidad se encuentra gran variedad de este tipo de material. Algunos ejemplos de polímeros son el polietileno (PE), nylon, policloruro de vinilo (PVC), policarbonato (PC), poliestireno (PS) y silicones. Entre las características de los polímeros se encuentran las bajas densidades, además de que no son tan rígidos y resistentes como lo podrían ser metales o cerámicos. Aunado a lo anterior, una gran ductilidad y flexibilidad caracterizan a esta familia de materiales, logrando que se puedan generar formas complejas.

Otras características que definen los polímeros es que son relativamente inertes desde el punto de vista químico, además de poco reactivos para una gran cantidad de ambientes. Entre algunas desventajas que presentan estos materiales es su tendencia a suavizarse o descomponerse a temperaturas no tan extremas. Esto llega a limitar las aplicaciones en que se pueden utilizar. Por último, tienen poca conductividad eléctrica y no son magnéticos Callister &

Rethwisch , 2008, pp.9-10). A continuación se presentan ciertos productos donde se utiliza este tipo de material:



Figura 2.11: Productos hechos con polímeros.(Callister & Rethwisch , 2008, p.10)

2.4.3. Filtros

Existe variedad de filtros para cada aplicación, así como los materiales con los que estos se construyen los cuales varían la facilidad con la que fluye el aire y la retención de partículas dañinas en el aire. Entre los materiales más utilizados para la fabricación de filtros se encuentran las fibras plásticas sintéticas, las cuales son similares en su composición a las prendas de vestir de poliéster. En otras ocasiones se utilizan fibras de polipropileno, las cuales pueden parecer similares pero tienen características bastante distintas. Ambas permiten una filtración mayor al 95 % de las partículas contaminantes dañinas para la salud de las personas. Adicionalmente, para las correas de sostén de los filtros se suele utilizar: tela elástica, poliisopreno (un material de caucho natural), o bien, caucho sintético. (Talhelm, 2020)

Se han desarrollado los bloques de membranas nanofibras, las cuales se utilizan para filtrar hasta un 99,09 % de los contaminantes incluyendo partículas PM2.5 y PM10. Por último, estas estructuras de filtro permiten un buen flujo de aire y pérdidas de presión bajas. Su vida útil es más larga que la de otros materiales (Zhao et al., 2016). Las nanofibras tienen una alta área superficial por unidad de masa, lo que mejora la eficiencia de captura. Además, mejora el rendimiento del filtro para la captura de partículas de origen natural, como virus, o partículas artificiales, como los gases de escape de Diesel. (Akduman Akçakoc, 2018)

Carbón activo

El carbono activo se emplea como un filtro para gases, en el control de emisiones y eliminación de olores. Funciona mediante el mecanismo de adsorción, en el cual los átomos en la superficie de un sólido atraen y retienen moléculas de otros compuestos. “Todos los átomos de carbón en la superficie de un cristal son capaces de atraer moléculas de compuestos, pero

la diferencia con un carbón activado consiste en la cantidad de átomos en la superficie disponibles para realizar la adsorción. En otras palabras, la activación de cualquier carbón consiste en “multiplicar” el área superficial creando una estructura porosa. Es importante mencionar que el área superficial del carbón activado es interna.” (U. Sevilla, s. f.)

Capítulo 3

Metodología

3.1. Cálculo de carga térmica

La carga térmica se dividió en seis componentes: carga sensible por superficie de la piel, carga latente por superficie de la piel, carga sensible por respiración, carga latente por respiración, carga por conducción solar y carga solar.

Los cálculos se realizan en sistema inglés por tratarse de la metodología ASHRAE.

3.1.1. Condiciones de diseño

Las condiciones ambientales elegidas son en la zona del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, mes número cuatro, esto por ser las más críticas. Seguidamente se muestran dichas condiciones:

Month =	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Monthly Design DB =	86	86.9	89.6	89.8	88	86.1	86	86.1	85.6	84.6	84.3	84.4
Mean Coincident WB =	69.8	68.2	70.6	70.2	71.5	72.1	71.9	72	71.1	71.8	70.2	69
Daily Range, DB =	18.1	19.2	21.4	20.7	17.5	16.5	16.6	16.8	17.5	16.7	16.5	16.7
Daily Range, WB =	8.6	8.7	9.6	9.6	8.6	8.8	8.6	8.8	10	9.5	9.3	8.6

Figura 3.1: Condiciones Ambientales Juan Santamaría.(ASHRAE, 2009)

Las condiciones internas del protector se eligieron según la norma ANSI/ASHRAE/ASHE Standart 170 para un *Nursing Facility, Resident Room*. Seguidamente se presentan dichas condiciones:

3.1. CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

Function of Space	Pressure Relationship to Adjacent Areas (n)	Minimum Outdoor ach	Minimum Total ach	All Room Air Exhausted Directly to Outdoors (j)	Air Recirculated by Means of Room Units (a)	Design Relative Humidity (k), %	Design Temperature (l), °F/°C
Continued care nursery	N/R	2	6	N/R	No	30–60	72–78/22–26
Labor/delivery/recovery (LDR) (s)	NR	2	6	NR	NR	Max 60	70–75/21–24
Labor/delivery/recovery/postpartum (LDRP) (s)	NR	2	6	NR	NR	Max 60	70–75/21–24
Newborn nursery suite	NR	2	6	NR	No	30–60	72–78/22–26
Nourishment area or room	NR	NR	2	NR	NR	NR	NR
Patient corridor	NR	NR	2	NR	NR	NR	NR
Patient room	NR	2	4 (y)	NR	NR	Max 60	70–75/21–24
PE anteroom (t)	(e)	NR	10	NR	No	NR	NR
Protective environment room (t)	Positive	2	12	NR	No	Max 60	70–75/21–24
Toilet room	Negative	NR	10	Yes	No	NR	NR
NURSING FACILITY							
Bathing room	Negative	NR	10	Yes	No	NR	70–75/21–24
Occupational therapy	NR	2	6	NR	NR	NR	70–75/21–24
Physical therapy	Negative	2	6	NR	NR	NR	70–75/21–24
Resident gathering/activity/dining	NR	4	4	NR	NR	NR	70–75/21–24
Resident room	NR	2	2	NR	NR	NR	70–75/21–24

Figura 3.2: Condiciones Internas.(ANSI/ASHRAE/ASHE, 2017)

3.1.2. Carga sensible por superficie de la piel

ASHRAE (2013) menciona que el flujo de calor sensible de la piel puede ser una mezcla compleja de conducción, convección y radiación para una persona con ropa, sin embargo, esto es igual a la suma de la transferencia de calor por convección C y radiación R a las afueras de la superficie con ropa (o piel expuesta). Matemáticamente esto se expresa de la siguiente manera:

$$C + R = f_{cl}h(t_{cl} - t_o) \quad (3.1)$$

Donde:

$C + R$: Carga convectiva y radiativa, o carga sensible ($\frac{Btu}{hr \cdot ft^2}$)

f_{cl} : Factor de corrección (adimensional)

h : Coeficiente de transferencia de calor combinado ($\frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$)

t_{cl} : Temperatura media en la superficie exterior del cuerpo con ropaje (temperatura de cara en nuestro caso) ($^\circ F$)

t_o : Temperatura operativa ($^\circ F$)

Según Dalcame (2005), la temperatura corporal normal, según la Asociación Médica Americana (American Medical Association), puede oscilar entre $97.8^\circ F$ y $99^\circ F$. Por tanto, se elige la última de estas para hacer el cálculo conservador y es entonces conocida t_{cl} . Las variables f_{cl} , h y t_o dependen de ecuaciones matemáticas que se explican a continuación. Sin embargo, a modo de resultados de $C + R$, f_{cl} tiene un valor de 0.00575, h de $3.03 \frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$ y t_o de $-58.86^\circ F$. Se obtiene entonces un valor de carga sensible $C + R$ de $2.753 \frac{Btu}{hr \cdot ft^2}$.

Cálculo de factor de corrección, f_{cl}

Para encontrar el valor de f_{cl} se recurre a la siguiente ecuación:

$$f_{cl} = A_{cl}/A_D \quad (3.2)$$

Donde:

f_{cl} : Factor de corrección (adimensional)

A_{cl} : Área de la superficie verdadera del cuerpo con ropaje, cara en este caso (ft^2)

A_D : Área del cuerpo según DuBois (ft^2)

El valor de A_{cl} se obtiene por medio del modelo 3D computarizado que se generó para el proyecto, teniendo un valor de $0.108 ft^2$. El valor de A_D se calcula con la ecuación de DuBois. Esta viene dada de la siguiente manera:

$$A_D = 0,108m^{0,425}l^{0,725} \quad (3.3)$$

Donde:

A_D : Área del cuerpo según DuBois (ft^2)

m: Masa (lb)

l: Altura (in)

Según Valores Médicos (Desconocido), el tico tiene una altura promedio de 162.7 cm (64.055 in). Para encontrar el valor de la masa se recurre a la ecuación de Índice de Masa Corporal (IMC). Según La Nación (2015), el costarricense promedio tiene un IMC de 26.5. La ecuación de IMC se expresa de la siguiente manera:

$$IMC = \frac{PesoEnLibras \cdot 703}{AlturaEnPulgadas^2} \quad (3.4)$$

Donde se conocen tanto el IMC del tico promedio como la altura promedio del tico. Se puede despejar de dicha expresión el Peso En Libras y obtener este valor. El despeje viene dado de la siguiente manera:

$$PesoEnLibras = \frac{IMC \cdot AlturaEnPulgadas^2}{703} \quad (3.5)$$

Se obtiene que el peso en libras del tico promedio es de 154.667 lb. Se sabe entonces el valor del peso en libras del tico además de su altura. Con estos valores se puede calcular A_D , el cual tiene un valor de $18.779 ft^2$. Se sabe también que A_{cl} tiene un valor de $0.108 ft^2$. Con estos dos valores se encuentra entonces f_{cl} que vale 0.00575116.

Cálculo de coeficiente de transferencia de calor combinado, h

El coeficiente de transferencia de calor combinado viene dado de la siguiente manera:

$$h = h_r + h_c \tag{3.6}$$

Donde:

h: Coeficiente de transferencia de calor combinado ($\frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$)

h_r : Coeficiente de transferencia de calor radiativo ($\frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$)

h_c : Coeficiente de transferencia de calor convectivo ($\frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$)

Para h_r , según ASHRAE (2013), tiene un valor casi constante para temperaturas típicas internas, siendo de $0.83 \frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$, el cual se considera adecuado para la mayoría de los cálculos. Para el cálculo de h_c , se recurre a la Tabla 6 del libro Fundamentals de ASHRAE (2013). En esta se menciona que dicha cantidad depende de la velocidad de caminata según la condición de ejercicio de la persona. Seguidamente se presenta dicha tabla:

Equation	Limits	Condition	Remarks/Sources
$h_c = 0.061V^{0.6}$	$40 < V < 800$	Seated with	Mitchell (1974)
$h_c = 0.55$	$0 < V < 40$	moving air	
$h_c = 0.475 + 0.044V^{0.67}$	$30 < V < 300$	Reclining with	Colin and Houdas
$h_c = 0.90$	$0 < V < 30$	moving air	(1967)
$h_c = 0.092V^{0.53}$	$100 < V < 400$	Walking in	V is walking speed
		still air	(Nishi and Gagge 1970)

Figura 3.3: Condiciones para cálculo de h_c .(ASHRAE, 2013)

Para este caso, se elige la última condición de la tabla, *Walking in still air*. Sabiendo esta condición, se elige un valor de velocidad V de 400 fpm, ya que según ASHRAE (2013), un estimado razonable se puede tener tomando el más grande de los dos valores del rango. Este valor se ingresa en la ecuación que se presenta para la condición seleccionada, dando un h_c de $2.20231 \frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$. Se sabe entonces los valores de h_c y h_r , por tanto, se puede calcular el coeficiente de transferencia de calor combinado h, el cual tiene un valor de $3.03 \frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$.

Cálculo de temperatura operativa, t_o

Según ASHRAE (2013), la temperatura operativa viene dada de la siguiente manera:

$$t_o = \frac{h_r t_r + h_c t_a}{h_r + h_c} \tag{3.7}$$

Donde:

3.1. CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

t_o : Temperatura operativa ($^{\circ}F$)

h_r : Coeficiente de transferencia de calor radiativo ($\frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F}$)

t_r : Temperatura media radiante ($^{\circ}F$)

h_c : Coeficiente de transferencia de calor convectivo ($\frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F}$)

t_a : Temperatura del aire ambiente, dentro del protector en este caso ($^{\circ}F$)

De secciones anteriores se sabe que h_r tiene un valor de $0.83 \frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F}$ y que h_c tiene un valor de $2.20231 \frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F}$. Se sabe además que t_a tiene un valor de $75^{\circ}F$, esto por la condición de diseño de ASHRAE elegida, siendo esta la más conservadora. La temperatura media radiante se calcula por medio de la siguiente expresión (ASHRAE, 2013):

$$t_r = t_1 F_{p-1} + t_2 F_{p-2} + \dots + t_N F_{p-N} \quad (3.8)$$

Donde:

t_r : Temperatura media radiante ($^{\circ}R$)

t_N : Temperatura de superficie de la superficie N ($^{\circ}R$)

F_{p-N} : Factor de ángulo entre la persona y superficie N

Debido a la forma del dispositivo, dicha expresión llega al primer factor. Para calcular el factor de ángulo, el protector en este caso se va a modelar como un rectángulo con dimensiones 10 cm X 15 cm (a y b), y una distancia en relación a la cara de 5 cm (c). Seguidamente se presenta la superficie que se limita a dichas dimensiones anteriormente mencionadas:

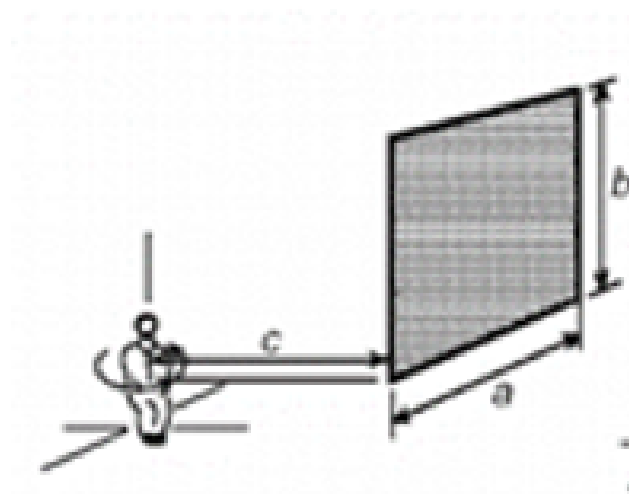


Figura 3.4: Superficie para cálculo de factor de ángulo .(ASHRAE, 2013)

3.1. CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

Una vez definidas dichas dimensiones, se recurre al siguiente gráfico de donde se obtiene el factor de ángulo. Se sabe que b/c tiene un valor de 3 y a/c tiene un valor de 2, dando un valor de factor de ángulo de 0.085:

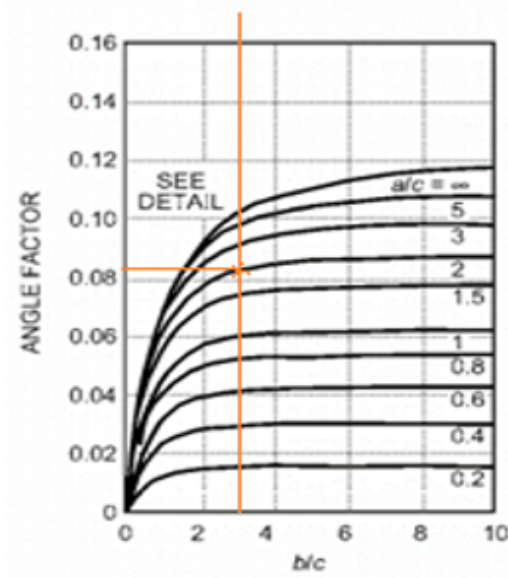


Figura 3.5: Factor de ángulo .(ASHRAE, 2013)

El valor de t_1 tiene que asumirse debido a que no se conoce la temperatura en que se encuentra el protector facial. Se toma como $77\text{ }^\circ\text{F}$ ($536.67\text{ }^\circ\text{R}$). Se saben entonces todas las cantidades de que depende la temperatura media radiante, la cual tiene un valor de $45.62\text{ }^\circ\text{R}$, o $-414.05\text{ }^\circ\text{F}$. Por último, son conocidas todas las variables de que depende la temperatura operativa t_o , por tanto se puede calcular, y tiene un valor de $-58.86\text{ }^\circ\text{F}$.

3.1.3. Carga latente por superficie de la piel

La pérdida de calor evaporativo de la piel depende de la cantidad de humedad en la piel y la diferencia entre la presión de vapor de agua de la piel y en el aire ambiente. Para encontrar dicha cantidad se recurre a la siguiente ecuación (ASHRAE, 2013):

$$E_{sk} = \frac{w(p_{sk,s} - p_a)}{R_{e,cl} + 1/(f_{cl}h_e)} \quad (3.9)$$

Donde:

E_{sk} : Pérdida de calor evaporativo ($\frac{\text{Btu}}{\text{hr}\cdot\text{ft}^2}$)

w : Humedad de la piel (adimensional)

$p_{sk,s}$: Presión de vapor de agua de la piel, asumida como vapor de agua saturada a la temperatura de la piel (psi)

3.1. CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

p_a : Presión de vapor de agua en el aire ambiente (psi)

$R_{e,cl}$: Resistencia de transferencia de calor evaporativo en la capa de ropaje ($\frac{ft^2 \cdot psi \cdot hr}{Btu}$)

f_{cl} : Factor de corrección (adimensional)

h_e : Coeficiente de transferencia de calor evaporativo ($\frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$)

En este caso se sabe el valor de w , que corresponde a 1 ya que es el punto donde se da la mayor pérdida de calor evaporativa. Además se sabe el valor de f_{cl} , la cual es una cantidad que se calculó en apartados anteriores y tiene un valor de 0.00575. Las variables $p_{sk,s}$, p_a , $R_{e,cl}$ y h_e dependen de tablas y cálculos que seguidamente se van a explicar, sin embargo, a modo de resultados, $p_{sk,s}$ tiene un valor de 0.9217 psi, p_a de 0.43 psi, $R_{e,cl}$ de $0 \frac{ft^2 \cdot psi \cdot hr}{Btu}$, h_e de $451.47 \frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$ y E_{sk} de $1.2767 \frac{Btu}{hr \cdot ft^2}$.

Cálculo de presión de vapor de agua de la piel y presión de vapor de agua en el aire ambiente, $p_{sk,s}$ y p_a

Para obtener dichos valores se recurre a las tablas de vapor de agua saturada, y se obtiene el valor a la temperatura de piel, siendo en este caso de $99^\circ F$ para $p_{sk,s}$ y de $75^\circ F$ para p_a , esto por condición de diseño crítica de ASHRAE. Seguidamente se presenta dicha tabla:

Presión absoluta		Pulg Hg. de vacío	Temperatura t $^\circ F$	Entalpía del líquido Btu/lb.	Calor latente de evaporación Btu/lb.	Entalpía del vapor h_g Btu/lb.	Volumen específico \bar{V}	
libras/pulg ² P'	pulg. Hg						Agua pie ³ por lb	Vapor pie ³ por lb
0.08859	0.02	29.90	32.018	0.0003	1075.5	1075.5	0.016022	3302.4
0.10	0.20	29.72	35.023	3.026	1073.8	1076.8	0.016020	2945.5
0.15	0.31	29.61	45.453	13.498	1067.9	1081.4	0.016020	2004.7
0.20	0.41	29.51	53.160	21.217	1053.5	1084.7	0.016025	1526.3
0.25	0.51	29.41	59.323	27.382	1060.1	1087.4	0.016032	1235.5
0.30	0.61	29.31	64.484	32.541	1057.1	1089.7	0.016040	1039.7
0.35	0.71	29.21	68.939	36.992	1054.6	1091.6	0.016048	898.6
0.40	0.81	29.11	72.869	40.917	1052.4	1093.3	0.016056	792.1
0.45	0.92	29.00	76.387	44.430	1050.5	1094.9	0.016063	708.8
0.50	1.02	28.90	79.586	47.623	1048.6	1096.3	0.016071	641.5
0.60	1.22	28.70	85.218	53.245	1045.5	1098.7	0.016085	540.1
0.70	1.43	28.49	90.09	58.10	1042.7	1100.8	0.016099	466.94
0.80	1.63	28.29	94.38	62.39	1040.3	1102.6	0.016112	411.69
0.90	1.83	28.09	98.24	66.24	1038.1	1104.3	0.016124	368.43
1.0	2.04	27.88	101.74	69.73	1036.1	1105.8	0.016136	333.60

Figura 3.6: Presiones para $p_{sk,s}$ y p_a .(Crane, Desconocido)

En ambos se debe interpolar. Realizando este procedimiento se obtiene un valor de 0.9217 psi para $p_{sk,s}$ y 0.43 psi para p_a .

Resistencia de transferencia de calor evaporativo en la capa de ropaje, $R_{e,cl}$

Para obtener este valor se recurre a la siguiente relación matemática:

$$i_{cl}LR = \frac{R_{cl}}{R_{e,cl}} \quad (3.10)$$

Donde:

i_{cl} : Aislamiento del ropaje (clo)

LR: Razón de Lewis ($^{\circ}F/psi$)

R_{cl} : Resistencia térmica del ropaje ($\frac{ft^2 \cdot psi \cdot hr}{Btu}$)

$R_{e,cl}$: Resistencia de transferencia de calor evaporativo en la capa de ropaje ($\frac{ft^2 \cdot psi \cdot hr}{Btu}$)

Donde se puede despejar $R_{e,cl}$. Para obtener el valor de i_{cl} se presenta la siguiente tabla, y se elige la condición *Trousers, long-sleeved shirt*:

Ensemble Description ^a	I_{cl} , clo	I_p ^b clo	f_{cl}	i_{cl}	i_m ^b
Walking shorts, short-sleeved shirt	0.36	1.02	1.10	0.34	0.42
Trousers, short-sleeved shirt	0.57	1.20	1.15	0.36	0.43
Trousers, long-sleeved shirt	0.61	1.21	1.20	0.41	0.45
Same as above, plus suit jacket	0.96	1.54	1.23		
Same as above, plus vest and T-shirt	1.14	1.69	1.32	0.32	0.37
Trousers, long-sleeved shirt, long-sleeved sweater, T-shirt	1.01	1.56	1.28		
Same as above, plus suit jacket and long underwear bottoms	1.30	1.83	1.33		
Sweat pants, sweat shirt	0.74	1.35	1.19	0.41	0.45
Long-sleeved pajama top, long pajama trousers, short 3/4 sleeved robe, slippers (no socks)	0.96	1.50	1.32	0.37	0.41
Knee-length skirt, short-sleeved shirt, panty hose, sandals	0.54	1.10	1.26		
Knee-length skirt, long-sleeved shirt, full slip, panty hose	0.67	1.22	1.29		
Knee-length skirt, long-sleeved shirt, half slip, panty hose, long-sleeved sweater	1.10	1.59	1.46		
Same as above, replace sweater with suit jacket	1.04	1.60	1.30	0.35	0.40
Ankle-length skirt, long-sleeved shirt, suit jacket, panty hose	1.10	1.59	1.46		
Long-sleeved coveralls, T-shirt	0.72	1.30	1.23		
Overalls, long-sleeved shirt, T-shirt	0.89	1.46	1.27	0.35	0.40
Insulated coveralls, long-sleeved thermal underwear, long underwear bottoms	1.37	1.94	1.26	0.35	0.39

Figura 3.7: Valor de i_{cl} .(ASHRAE, 2013)

Por tanto, i_{cl} tiene un valor de 0.41. Según ASHRAE (2013), LR tiene un valor de 205 $^{\circ}F/psi$. Para obtener el valor de R_{cl} se recurre a la siguiente relación, de donde todas las cantidades son conocidas excepto R_{cl} :

$$C + R = \frac{t_{sk} - t_o}{R_{cl} + 1/(f_{cl}h)} \quad (3.11)$$

Donde:

$C + R$: Componente convectiva y radiativa, o calor sensible por piel ($\frac{Btu}{hr \cdot ft^2}$)

t_{sk} : Temperatura de la superficie de la piel ($^{\circ}F$)

t_o : Temperatura operativa ($^{\circ}F$)

R_{cl} : Resistencia térmica del ropaje ($\frac{ft^2 \cdot psi \cdot hr}{Btu}$)

f_{cl} : Factor de corrección (adimensional)

h : Coeficiente de transferencia de calor combinado ($\frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F}$)

Una vez se despeja el valor de R_{cl} se ingresan las cantidades conocidas y se obtiene un valor de $0 \frac{ft^2 \cdot psi \cdot hr}{Btu}$. Como $R_{e,cl}$ es directamente proporcional al valor de R_{cl} , también tiene un valor de $0 \frac{ft^2 \cdot psi \cdot hr}{Btu}$.

Cálculo de coeficiente de transferencia de calor evaporativo, h_e

Para obtener esta cantidad se hace uso de la siguiente ecuación matemática. Se despeja el valor de h_e de la misma:

$$LR = \frac{h_e}{h_c} \quad (3.12)$$

Donde:

LR: Razón de Lewis ($^{\circ}F/psi$)

h_e : Coeficiente de transferencia de calor evaporativo ($\frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F}$)

h_c : Coeficiente de transferencia de calor convectivo ($\frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F}$)

Según ASHRAE (2013), LR tiene un valor de $205 \text{ }^{\circ}F/psi$ y se sabe de apartados anteriores que h_c tiene un valor de $2.20231 \frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F}$. Una vez realizado el despeje y el ingreso de los valores, se concluye que h_e tiene un valor de $451.47 \frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F}$.

3.1.4. Carga sensible y latente por respiración

Según ASHRAE (2013), durante la respiración el cuerpo pierde tanto calor sensible como latente por convección y evaporación del calor y vapor de agua del tracto respiratorio al aire inhalado. La pérdida de calor respiratorio se expresa en términos de sensible C_{res} y latente E_{res} . Para el cálculo de calor sensible se recurre a la siguiente relación matemática:

3.1. CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

$$C_{res} = 0,0084M(93,2 - t_a) \quad (3.13)$$

Donde:

C_{res} : Pérdida de calor sensible por respiración ($\frac{Btu}{hr \cdot ft^2}$)

M: Tasa metabólica ($\frac{Btu}{hr \cdot ft^2}$)

t_a : Temperatura del aire ambiente ($^{\circ}F$)

Para el cálculo de calor latente se recurre a la siguiente ecuación:

$$E_{res} = 1,28M(0,851 - p_a) \quad (3.14)$$

Donde:

E_{res} : Pérdida de calor latente por respiración ($\frac{Btu}{hr \cdot ft^2}$)

M: Tasa metabólica ($\frac{Btu}{hr \cdot ft^2}$)

p_a : Presión de vapor del aire ambiente (psi)

Para ambos casos, la tasa metabólica se determina con la siguiente tabla:

	Btu/h·ft ²	met*
Resting		
Sleeping	13	0.7
Reclining	15	0.8
Seated, quiet	18	1.0
Standing, relaxed	22	1.2
Walking (on level surface)		
2.9 fps (2 mph)	37	2.0
4.4 fps (3 mph)	48	2.6
5.9 fps (4 mph)	70	3.8

Figura 3.8: Tasa metabólica (ASHRAE, 2013)

Se elige en este caso una condición de caminata a 5.9 fps. Se tiene entonces una tasa metabólica de $70 \frac{Btu}{hr \cdot ft^2}$. Se sabe además de secciones anteriores que t_a tiene un valor de $75^{\circ}F$ y p_a de 0.43 psi. Sabiendo estos valores se obtiene un valor de C_{res} de $10.7016 \frac{Btu}{hr \cdot ft^2}$ y un E_{res} de $11.06 \frac{Btu}{hr \cdot ft^2}$.

3.1.5. Carga por conducción solar

Para el cálculo de carga por conducción solar se utilizó la metodología CLTD. Esta depende de 3 variables: área, coeficiente de transmisión de calor y valor CLTD. Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

3.1. CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

$$Q_{conduccion} = A \cdot U \cdot CLTD \quad (3.15)$$

Donde:

$Q_{conduccion}$: Carga por conducción solar ($\frac{Btu}{hr}$)

A: Área (ft^2)

U: Coeficiente de transmisión de calor ($\frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$)

CLTD: Valor CLTD ($^\circ F$)

Para obtener el valor del área se recurrió al modelo computarizado del dispositivo, que da un valor de $0.161 ft^2$. Para el coeficiente de transmisión de calor se recurre a la siguiente tabla, con la condición de *Glass Only-Center of Glass-Single Glazing-Glass*:

Part A: U-Values for Vertical Installation ^a , Btu/(h·ft ² ·°F)								
Glazing Type ^b	Glass Only		Aluminum Frame No Thermal Break ($U_f = 1.9$)		Aluminum Frame Thermal Break ($U_f = 1.0$)		Wood or Vinyl Frame ($U_f = 0.4$)	
	Center of Glass	Edge ^c of Glass	Product ^d Type		Product ^d Type		Product ^d Type	
			R	C	R	C	R	C
Single glazing								
glass	1.11	n/a	1.31	1.23	1.09	1.10	0.90	0.98
1/8 in. acrylic	1.03	n/a	1.26	1.16	1.02	1.03	0.84	0.92

Figura 3.9: Valor U (ASHRAE, 2013)

Con respecto al valor CLTD, se elige a las 10:00 AM y 3:00 PM. Seguidamente se presenta la tabla que da dichos valores a las horas mencionadas:

Solar Time, h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD, °F	1	0	-1	-2	-2	-2	-2	0	2	4	7	9	12	13	14	14	13	12	10	8	6	4	3	2

Figura 3.10: Valor CLTD (ASHRAE, 2013)

Se obtienen entonces los siguientes valores CLTD: 4 para 10:00 AM y 14 para 3:00 PM. A dichos valores se les realizó una corrección con la siguiente ecuación:

$$F_{correccion} = (78 - Tr) + (Tm - 85) \quad (3.16)$$

Donde:

$F_{correccion}$: Factor de corrección ($^\circ F$)

Tr: Temperatura del medio ($^\circ F$)

A su vez, Tm se define por una ecuación matemática que viene dada de la siguiente manera:

$$T_m = T_{max} - \frac{RD}{2} \quad (3.17)$$

Donde:

Tmax: Temperatura máximo de exteriores ($^{\circ}F$)

RD: Rango de variación de temperatura ($^{\circ}F$)

Se sabe que Tr es $70^{\circ}F$ por las condiciones de diseño de ASHRAE. Este valor de Tr da la ganancia máxima de calor, haciendo que sea conservador. Es por eso que se elige este valor a lugar de $75^{\circ}F$. Para el cálculo de Tm, se sabe que Tmax es $89.8^{\circ}F$ para las condiciones de abril en Juan Santamaría, y que RD para la misma condición es de $20.7^{\circ}F$. Esto da un valor de Tm de $79.45^{\circ}F$. Con toda esta información se obtiene un factor de corrección de $2.45^{\circ}F$. Los valores CLTD cambian entonces a 6.45 para las 10:00 AM y a 16.45 para las 3:00 PM. Se realiza el cálculo para todas las direcciones posibles (norte, sur, este y oeste). Se obtiene entonces los siguientes resultados concernientes a la carga térmica por conducción solar:

Conduccion	Carga (Btu/hr) AM	Carga (Btu/hr) PM
Norte	1.153	2.940
Este	1.153	2.940
Sur	1.153	2.940
Oeste	1.153	2.940

Cuadro 3.1: Carga por conducción solar

Se obtiene entonces un valor de carga por conducción solar máxima de $2.940 \frac{Btu}{hr}$.

3.1.6. Carga solar

Para la carga solar se utiliza la metodología SCL. Esta depende de 3 variables: área, coeficiente de sombra y valor SCL. Matemáticamente se ve de la siguiente manera:

$$Q_{solar} = A \cdot SC \cdot SCL \quad (3.18)$$

Donde:

Q_{solar} : Carga solar ($\frac{Btu}{hr}$)

A: Área (ft^2)

SC: Coeficiente de sombra ($\frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot ^{\circ}F}$)

SCL: Valor SCL ($^{\circ}F$)

Nuevamente, con el modelo computarizado se obtiene un área de $0.161 ft^2$. El coeficiente de sombra se elige para la condición *Single Glass-Clear*. Se obtiene un coeficiente de sombra de 1. Seguidamente se presenta la tabla para este valor:

3.1. CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

Type of Glass	Nominal Thickness Each Light ^a	Solar Transmittance ^b	No Interior Shading		Type of Interior Shading					
					Venetian Blinds		Roller Shades			
			$h_o = 4.0$	$h_o = 3.0$	Medium	Light	Dark	Light	Translucent	
SINGLE GLASS										
Single										
Clear	3/32 to 1/4	0.87 to 0.80	1.00	1.00						
Clear	1/4 to 1/2	0.80 to 0.71	0.94	0.95						
Clear	3/8	0.72	0.90	0.92						
Clear	1/2	0.67	0.87	0.88	0.64	0.55	0.59	0.25	0.39	
Clear pattern	1/8 to 9/32	0.87 to 0.79	0.83	0.85						
Heat absorbing pattern	1/8		0.83	0.85						
Heat absorbing ^c	3/16 to 1/4	0.46	0.69	0.73						
Heat absorbing pattern	3/16 to 1/4		0.69	0.73	0.57	0.53	0.45	0.30	0.36	
Tinted	1/8 to 7/32	0.59 to 0.45	0.69	0.73						
Heat absorbing or pattern		0.44 to 0.30	0.60	0.64						
Heat absorbing ^d	3/8	0.34	0.60	0.64	0.54	0.52	0.40	0.28	0.32	
Heat absorbing or pattern	1/2	0.44 to 0.30	0.53	0.58	0.42	0.40	0.36	0.28	0.31	
Reflective coated glass			0.30		0.25	0.23				
			0.40		0.33	0.29				
			0.50		0.42	0.38				
			0.60		0.50	0.44				

Figura 3.11: Coeficiente de sombra (ASHRAE, 2013)

Con respecto al valor SCL, el procedimiento fue realizar el cálculo de carga para cada uno de los tipos de zona (A, B, C y D). La zona más crítica es la A, la cual es la que se presenta a continuación. Se analizó en qué punto se da el mayor valor de carga térmica y se utiliza ese por ser el más conservador. Se realiza el análisis en todas las direcciones y a las 10:00 AM y 3:00 PM. Seguidamente se presenta la tabla con los valores SCL para las 10:00 AM y 3:00 PM:

Glass Facing	10:00 AM	3:00 PM
N	64	67
NE	149	39
E	150	39
SE	67	36
S	34	35
SO	34	75
O	34	157
NO	34	155
hor	209	215

Cuadro 3.2: Valores SCL

Con estos valores de SCL se encuentra entonces los siguientes valores de carga térmica solar, siendo la mayor de $34.615 \frac{Btu}{hr}$:

Glass Facing	10:00 AM	3:00 PM
N	10.304	10.787
NE	23.989	6.279
E	24.15	6.279
SE	10.787	5.796
S	5.474	5.635
SO	5.474	12.075
O	5.474	25.277
NO	5.474	24.955
hor	33.649	34.615

Cuadro 3.3: Carga solar

Para obtener más detalle sobre el cálculo de carga térmica, refiérase al Apéndice B1 (documento de excel donde se calcula carga térmica llamado Cálculo de carga para protector).

3.2. Selección de equipo

3.2.1. Ventilador

Para elegir la cantidad de aire en cfm que debe mover el ventilador se utiliza la relación de que se deben mover 400 cfm por tonelada de refrigeración. Esto da 1.44 cfm. El ventilador que se ajusta a dicho valor es uno marca Pelonis Technologies, capaz de mover un flujo de aire de 2.02 cfm. Seguidamente se muestra dicho aparato:



Figura 3.12: Ventilador elegido (Pelonis Technologies, Desconocido)

Entre otras características del dispositivo se encuentra que el número de serie es 2510-5, voltaje de 5 V, corriente de 0.190 A, potencia de 0.95 W, velocidad de 10000 rpm, entre otras. Refiérase al Anexo 3 para ver la ficha técnica del dispositivo.

3.2.2. Filtros

Se eligieron filtros capaces de eliminar PM2.5 por medio de 5 capas de filtrado. La marca es Cherisply y tienen dimensiones de 4.724 in X 3.150 in. Estos filtros se recortarían a las dimensiones de adecuadas para ser introducidas en el portafiltros. Seguidamente se muestra una imagen de los filtros a utilizarse:



Figura 3.13: Filtro para partículas PM2.5 (Cherisply, 2020)

3.2.3. Placa Peltier

Del cálculo de carga térmica se obtiene que deben removerse hasta 12.67 W. Para ello se elige una placa peltier marca Laird Thermal Systems capaz de disipar hasta 14.2 W. Entre otras características del dispositivo se encuentran que el número de serie es CP10-71-06-L1-W4.5, Vmax de 7.8 V, Imax de 3.1 A entre otros. Seguidamente se muestra una imagen de dicho componente:

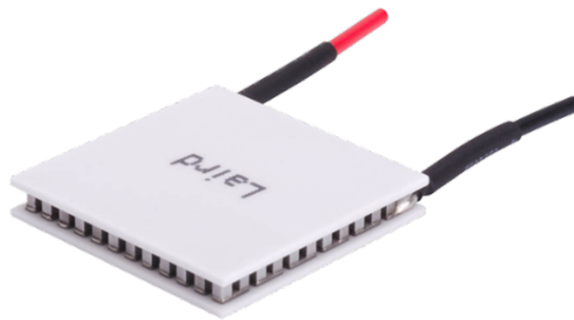


Figura 3.14: Placa Peltier (Laird Thermal Systems, 2021)

Para mayor detalle sobre el requerimiento energético de la placa Peltier refiérase al Apéndice B2 (Tabla comparativa sist electrónicos). En la tercer pestaña se encuentra el detalle (Elección placa Peltier). Refiérase al Anexo 2 para ver la ficha técnica del dispositivo.

3.2.4. Disipadores de calor

Como disipadores de calor se eligen unos con dimensiones exactamente iguales a la placa peltier elegida (23 x 23 x 10 mm). Seguidamente se muestra dicho componente:

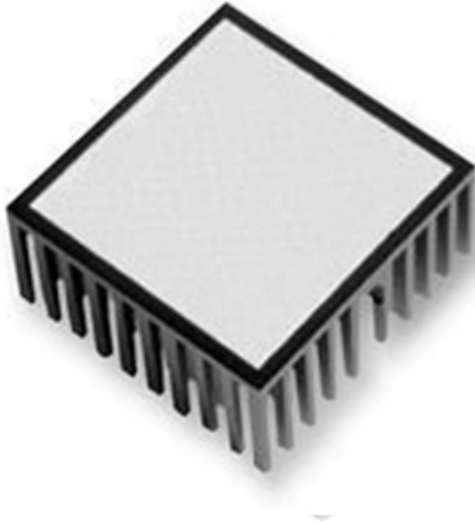


Figura 3.15: Disipador (Shoptronica, 2022)

3.2.5. Sensor de temperatura y humedad relativa

Se elige como sensor de temperatura el DHT22 (o también llamado AM2302). Este dispositivo es marca Aosong Electronics Co., Ltd. Cuenta con una potencia de suministro de 3.3-6 V DC. El rango de operación en humedad relativa es de 0-100 % y de -40-80 °C. Tiene dimensiones de 14 X 18 X 5.5 mm. Seguidamente se presenta una imagen de dicho dispositivo:



Figura 3.16: Sensor de temperatura y humedad relativa (Aosong Electronics Co, Ltd, Desconocido)

Refiérase al Anexo 1 para ver la ficha técnica del dispositivo.

3.2.6. Sistema de control

Para manejar el sistema se elige un Blue Pill. El número de parte es STM32F103C8T6. Tiene fuentes que varían desde 3.3V a 5V. Seguidamente se muestra una imagen del microcontrolador:

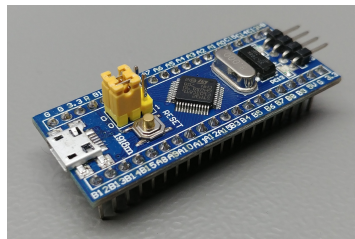


Figura 3.17: Sistema de control (STM32-base, Desconocido)

Para obtener más detalle sobre la elección del sistema de control, refiérase al Apéndice B2: Tabla comparativa sist electrónicos, primera pestaña del documento Excel (Sistemas electrónicos). Ahí mismo se encuentra un hipervínculo con la ficha técnica del dispositivo.

3.2.7. Batería

Para obtener la capacidad de la batería se sumaron las diferentes cargas a través del circuito. Se obtiene un requerimiento energético de 26.7v, 3.43A. Se elige una batería de

24V (29.4Vmax entregado) 4Ah, litio. Un uso común de estas baterías son los dispositivos scooter, herramientas eléctricas, carritos de golf, etc. (Ebay, Desconocido). Con esta batería, el sistema tendría un funcionamiento de aproximadamente 1 hora 16 minutos (refiérase al Apéndice B2, pestaña 2, requerimientos energéticos). Se realiza la elección de esta batería no solo porque entrega la cantidad de energía suficiente para operar el sistema pero también porque es dimensionalmente adecuada. No se colocará ninguna alarma cuando el dispositivo se descargue, el usuario tiene que estar consciente del tiempo de uso:



Figura 3.18: Batería elegida (Ebay, Desconocido)

Para ver el detalle del cálculo de requerimiento energético dirigirse al apéndice B2 (Tabla comparativa sist electronicos). En la segunda pestaña del Excel se detalla el cálculo. Ahí mismo se encuentra un link que muestra la ficha técnica del dispositivo.

3.3. Diseño del sistema electrónico

Para darle la lógica al sistema de enfriamiento (placa Peltier), se procedió a generar un pseudocódigo. Este recurso permite expresar los distintos pasos que va a realizar un programa, de la forma más parecida a un lenguaje de programación. Su principal función es la de representar por pasos la solución a un problema o algoritmo, de la forma más detallada posible, para que pueda ser utilizado en la programación del controlador Blue Pill STM32 (Robledano, 2019). Para el diseño se generaron rangos de temperatura basados en data de ASHRAE del aeropuerto Juan Santamaría. Para cada uno de los rangos se estableció un valor puntual de corriente que permite eliminar el calor generado para crear las condiciones específicas de ASHRAE (ver Figura 3.2). El valor de corriente se obtiene de la especificación de la placa Peltier. En este, se encuentra una gráfica que relaciona calor generado-corriente. Para el caso en que se de una temperatura menor al límite inferior de toda las temperaturas que es 67.7 °F (19.83 ° C), la propuesta es no inyectar corriente a la placa peltier. Para el caso en que se presente una temperatura mayor al límite superior (43.88 °C) la propuesta es inyectar una corriente de 2.94 A:

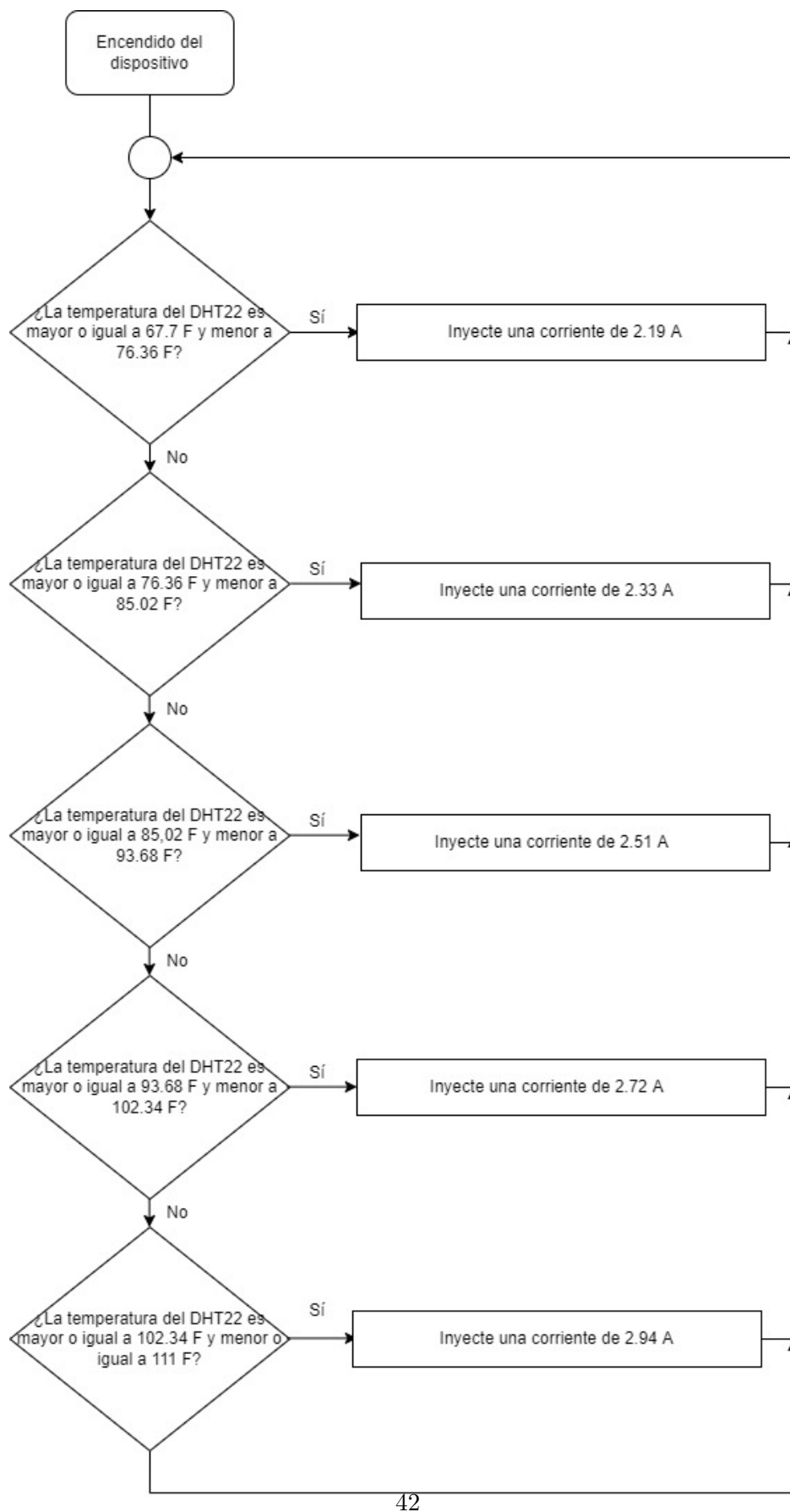


Figura 3.19: Diagrama de flujo del pseudocódigo. (Elaboración propia, 2022)

Al momento de encender el dispositivo, este enciende inmediatamente los ventiladores, los cuales pasan en funcionamiento constante mientras se use el protector facial generando aire fresco en todo momento. El sensor de temperatura DHT22 también se enciende para una toma de temperatura en el punto de ingreso de aire exterior al dispositivo.

Como se muestra en el diagrama anterior, al momento de encender el dispositivo, este entra en un ciclo de toma de temperatura para decidir cuál señal debe enviarse a la placa peltier. Es decir, dependiendo de la temperatura exterior, la placa debe recibir mayor corriente para enfriarse y realizar el acondicionamiento de temperatura del aire requerida en el interior del protector facial.

Se realizó un diagrama con ayuda del software Fritzing para explicar la manera en que se realizan las conexiones entre los componentes seleccionados; sin embargo, no se detallan elementos como resistencias, capacitores, diodos, etc., ya que la finalidad del esquema es mostrar la forma en que se da el manejo de señales entre los componentes.

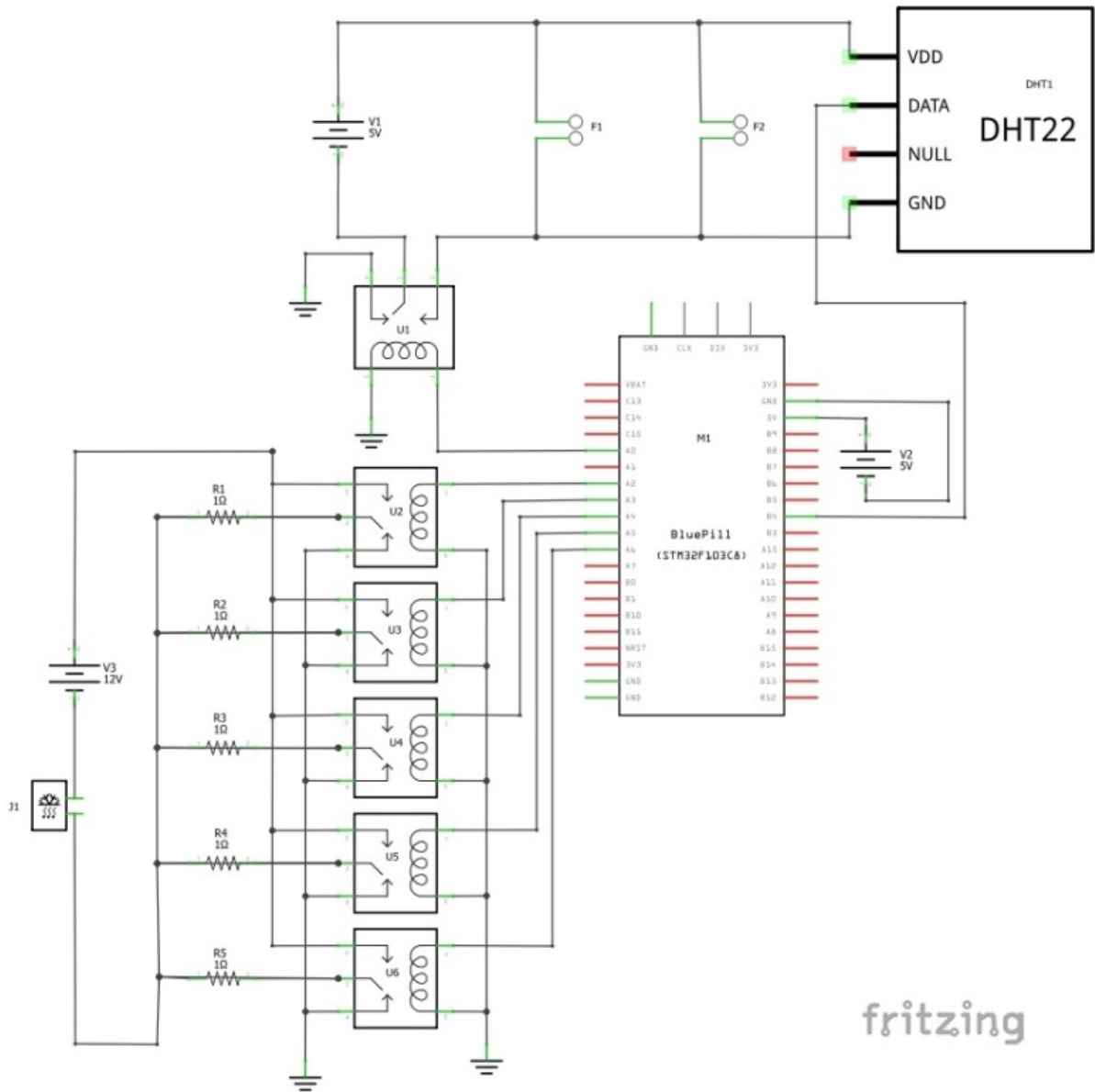


Figura 3.20: Esquema eléctrico del controlador. (Elaboración propia, 2022)

En el esquema se presenta como plano principal el controlador BluePill STM32, en el cual se conectan dos circuitos secundarios. El circuito de arriba recibe una señal del BluePill que activa el relé U1 y esto permite el flujo de energía que alimenta los dos ventiladores F1 y F2, así como el sensor DHT1. Si el BluePill no envía ninguna señal, los ventiladores y el sensor no reciben corriente para funcionar. El sensor DHT1 además envía una señal al BluePill que es la entrada de toma de temperatura.

Como se mencionó anteriormente, según sea la lectura del sensor que recibe el controlador BluePill, se envía una señal distinta en cada caso. Para esto, el BluePill utiliza 5 pines de salida distintos, los cuales se encuentran conectados a un relé distinto cada pin. El relé al

recibir una señal de voltaje, permite que el circuito que estaba abierto, cierre el interruptor y fluya la corriente a través de sus terminales. Las resistencias R1 a R5 representan los circuitos reguladores de corriente requeridos en cada caso con un diodo conectado a su salida para que la corriente solo fluya saliendo y no genere corrientes parásitas.

3.4. Dimensiones del protector facial

Entre los principales objetivos del diseño es que este dispositivo sea cómodo para el usuario, por lo tanto, es de suma importancia que el dispositivo sea sencillo de utilizar, ligero al portarse y de manutención ergonómicos. Es por esto que se han seleccionado materiales que se amolden fácilmente al contacto con la cara del usuario, de esta manera se garantiza que no quedan espacios entre el borde de la mascarilla y la superficie de la cara.

Además, el borde de la mascarilla debe seguir el contorno del rostro humano para que el contacto entre el borde y la cara sea de manera más natural y con la menor presión posible al ajustar el sujetador, así se garantiza una mayor comodidad en su uso. Para encontrar las dimensiones que mejor se ajusten a la población que lo requiera, se han inspeccionado una serie de rostros y dimensiones promedio alrededor del mundo, para de esta manera crear un diseño genérico que funcione en la mayoría de las personas.

En un estudio de Farkas et al. (2005), se presentan las dimensiones de altura y anchura del rostro humano en milímetros, categorizado por país y género, con una muestra de 30 personas en cada categoría y el método de medición. La variación de datos complica el cálculo de un promedio general ya que se presentan datos anómalos debido a la diversidad de poblaciones en la muestra. Por esto se realiza una categorización de los datos más representativos, excluyendo los valores anómalos y se decide establecer una altura máxima de 182 mm y una anchura máxima de 138 mm. Es decir, estos datos se toman como parámetro de anchura y altura máxima de cara para la mascarilla diseñada.

3.4. DIMENSIONES DEL PROTECTOR FACIAL

M	F	Population	Method	Height of face		Width of face	
				M	F	M	F
30	30	North American	Caliper	187.5 ± 16.2	172.5 ± 15.0	137.1 ± 8.6	129.9 ± 10.6
30	30	Azerbaijan		185.1 ± 18.0	175.4 ± 13.6	147.5 ± 10.8	138.7 ± 10.4
30	30	Bulgarian		184.3 ± 17.4	170.5 ± 13.6	139.5 ± 11.2	130.9 ± 8.8
30	30	Czech		181.7 ± 15.8	182.9 ± 16.2	134.9 ± 26.6	126.4 ± 28.8
30	30	Croatian		180.1 ± 21.2	172.6 ± 17.4	140.7 ± 12.0	133.2 ± 13.6
30	30	German		182.2 ± 22.2	170.9 ± 14.4	133.2 ± 15.0	123.4 ± 18.4
30	30	Greek		178.7 ± 25.8	173.8 ± 13.8	128.6 ± 22.8	132.2 ± 9.6
30	30	Hungarian		181.3 ± 28.4	169.4 ± 15.4	142.1 ± 10.6	131.3 ± 7.0
30	30	Italian		186.0 ± 21.2	171.4 ± 18.4	143.2 ± 11.8	133.3 ± 8.2
30	30	Polish		181.9 ± 16.4	172.1 ± 17.8	142.6 ± 9.4	135.5 ± 11.0
30	30	Portuguese		190.7 ± 14.2	177.4 ± 19.0	125.1 ± 10.8	120.4 ± 10.8
30	30	Russian		184.4 ± 16.2	174.4 ± 17.4	141.2 ± 8.8	132.3 ± 9.6
30	30	Slovak		183.7 ± 17.6	169.7 ± 17.5	134.7 ± 11.0	125.0 ± 11.4
30	30	Slovenian		181.3 ± 20.6	170.4 ± 30.2	136.2 ± 11.6	129.5 ± 10.4
30	30	Iranian		180.3 ± 20.4	175.9 ± 15.0	138.4 ± 11.4	131.7 ± 13.4
30	30	Turkish		186.5 ± 12.8	179.2 ± 18.8	140.4 ± 16.4	134.5 ± 8.6
30	30	Egyptian		176.9 ± 26.8	161.4 ± 17.8	139.8 ± 13.8	130.3 ± 10.4
30	30	Indian		161.3 ± 4.6	163.0 ± 16.6	135.8 ± 8.6	124.9 ± 16.9
30	30	Singapore Chinese		187.3 ± 14.4	176.2 ± 16.6	144.6 ± 11.2	136.2 ± 8.0
30	30	Vietnamese		180.9 ± 16.6	171.1 ± 14.2	144.0 ± 8.8	134.3 ± 5.8
30	30	Thai		185.1 ± 15.4	172.8 ± 17.4	147.1 ± 11.0	138.3 ± 12.6
30	30	Japanese		191.4 ± 16.6	182.8 ± 14.4	147.2 ± 11.2	141.2 ± 11.8
30	30	Angolan		182.6 ± 18.2	172.4 ± 17.8	139.8 ± 10.2	132.8 ± 8.4
30	30	Tonga		161.8 ± 17.0	—	133.3 ± 2.6	—
30	30	Zulu		209.2 ± 20.6	179.1 ± 19.8	138.5 ± 9.2	128.4 ± 9.6
30	30	Afro American		194.6 ± 21.2	180.1 ± 15.0	138.7 ± 11.2	130.5 ± 9.6

Figura 3.21: Dimensiones promedio de la cabeza humana. (Farkas et al., 2005)

Adicionalmente, en el estudio de Kaya et al. (2019), se ha demostrado mediante una serie de mediciones la división equidistante vertical y horizontal de la cara humana. Esto se puede demostrar al dividir la cara en tres secciones mediante líneas equidistantes de forma horizontal, lo que genera una proporción de la distancia de la frente a la nariz, es el doble de la nariz a la barbilla. De manera similar se toman las divisiones con líneas verticales sobre el rostro para ayudar a encontrar diferenciales longitudinales que son de gran utilidad en la etapa de diseño. Con esto se facilita tomar dimensiones del contorno del borde que debe tener la mascarilla, así crea un fácil ajuste contra la superficie de la piel generando una sensación de comodidad.

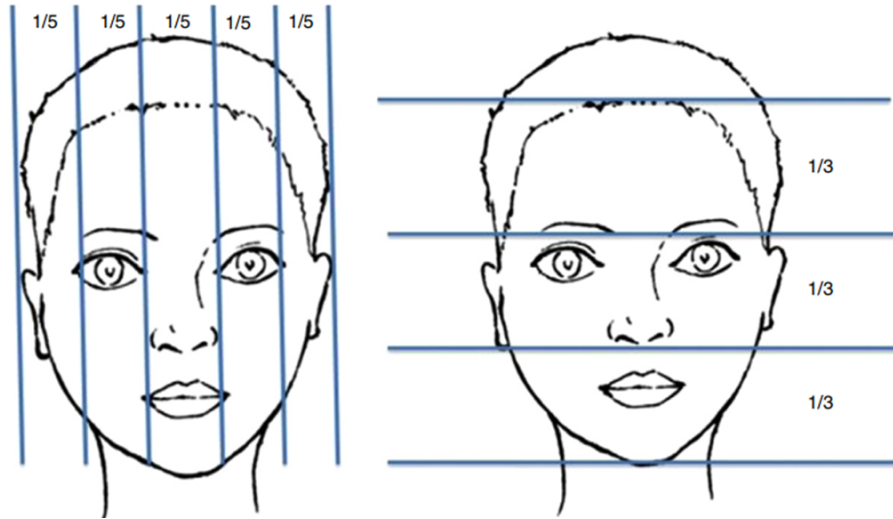


Figura 3.22: Divisiones en la cara humana. (Kaya et al., 2019)

Para tomar las medidas de profundidad requerida en el diseño del protector facial así como el acople de las dimensiones con la nariz, se considera el estudio de Prendergast (2011), donde describe la distancia de profundidad de una nariz promedio, como una tercera parte de la longitud vertical de la nariz, tal como se muestra en la imagen a continuación.

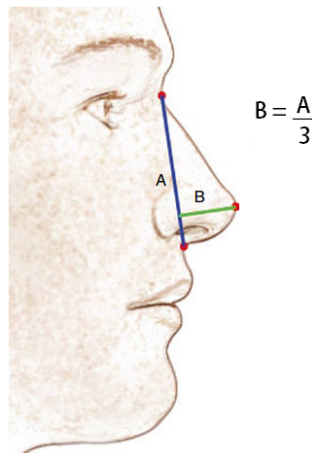


Figura 3.23: Divisiones en la cara humana. (Prendergast, 2011)

La distancia A ya estaba determinada por un tercio de la longitud total, descrita anteriormente por la altura total del rostro utilizado con referencia, por lo que los cálculos se simplifican en gran medida y las distintas fuentes de información respaldan los cálculos. Con esto se tiene una referencia del espacio mínimo que debe dejarse dentro la mascarilla; sin embargo, el espacio disponible dentro de la mascarilla se puede hacer más amplio para mayor comodidad, un diseño que mejore el flujo interno del aire de manera que favorezca la respiración del usuario.

3.5. Materiales

Esta sección desarrollan las partes en las que se compone el diseño de la máscara propuesta, las cuales se basan en técnicas de fabricación y materiales empleados en aplicaciones similares con el fin de garantizar la seguridad del usuario. Se han investigado los materiales más óptimos para la propuesta de las partes cumpliendo con los estándares aprobados por la FDA (U.S. Food and Drug Administration).

Como primer componente de la máscara desarrollada se presente la zona de contacto con la cara del usuario, por lo tanto este material debe ser hipoalergénico, de buena calidad y que sea confortable en su uso. Los silicones de grado médico cumplen estos requisitos ya que se pueden amoldar al tamaño y medidas requeridas mediante varias técnicas como el moldeo por inyección, por soplado o incluso por impresión 3D. Se adhieren fácilmente al rostro para crear un sello que permita mantener aislado el interior de la mascarilla y así solo permitir el ingreso de aire por los ductos de la máscara, el cual se asegura de estar limpio ya que ha sido acondicionado para el usuario. (Imbrie-Moore et al., 2020)



Figura 3.24: Borde estructural de silicon. (Elaboración propia, 2021)

Existen materiales de silicon como el SIL 30 el cual es un uretano de silicona, es un material aditivo que ofrece una combinación única de biocompatibilidad, dureza al tacto baja y resistencia al desgarró. Este material permite muchas aplicaciones personalizadas para productos de contacto con la piel, como auriculares, pulseras y varios accesorios para dispositivos portátiles. (Carbon Inc., 2021)



Figura 3.25: Base nasal de silicon. (Elaboración propia, 2021)

La fabricación de las válvulas de exhalación también se realiza de silicón médico con el fin de tener un material flexible que favorezca el flujo del aire en cada inhalación y exhalación del usuario. (Mei Kuo et al., 2005)

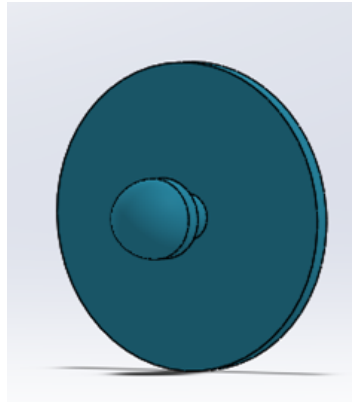


Figura 3.26: Membrana de válvula de exhalación. (Elaboración propia, 2021)

Por otro lado se tiene que realizar la unión de las partes, las cuales deben quedar debidamente unidas y selladas garantizando la calidad del producto. Para esto se ha seleccionado un adhesivo epoxy de grado médico, de alta resistencia y traslúcido. Las propiedades sobresalientes de la resina epoxy como la dureza, rigidez, rendimiento a temperaturas elevadas, resistencia química y las propiedades adhesivas la hacen una excelente opción para el uso en este tipo de dispositivos. (Barry Goff, 2017)

El adhesivo epoxy 2216 BA Translucent se considera una buena opción para el uso en la unión de los componentes como lo son las piezas de silicón y los componentes plásticos que se deben unir de manera eficaz. Tiene buena retención de fuerza después del envejecimiento ambiental, resistente a flexiones extremas y se puede inyectar. (3M, 2018)

Otra zona de gran importancia en la máscara es la pantalla protectora que protege el resto

de la superficie de la cara y mantiene el espacio del aire acondicionado en la zona ocular. El material de la pantalla debe ser transparente dentro de lo posible, para que el usuario no vea afectado su rango de visión al utilizar el protector facial. Se consideran varias opciones de materiales y el seleccionado es el Policarbonato debido a sus propiedades mecánicas. Este material puede absorber golpes de mejor manera que otros materiales como el vidrio, debido a su elasticidad. Es más liviano y puede recibir tratamientos térmicos con el fin de endurecer y abrillantar la superficie creando finos acabados. (Singh et al., 2021)

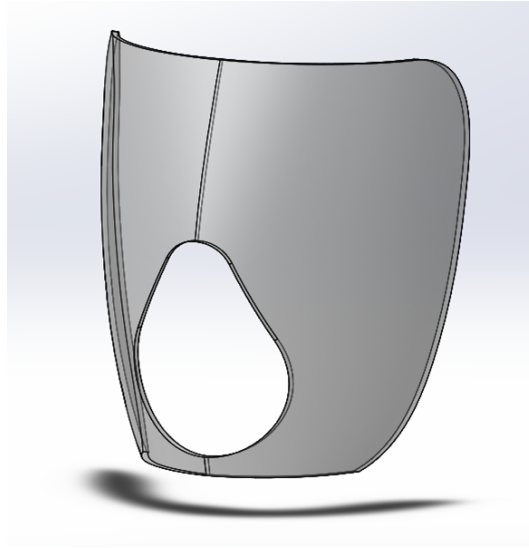


Figura 3.27: Pantalla del protector facial. (Elaboración propia, 2021)

Para la parte frontal de la mascarilla se ha determinado que es importante que el material sea resistente a golpes, es una zona de posible exposición a impactos cuando el usuario no esté utilizando la mascarilla y además, se ubica la válvula de exhalación frontal, la cual debe ser fácil de limpiar. En la búsqueda de materiales se determina que el Peek es un material de uso común en los dispositivos médicos, de buenas propiedades que garantizan alta calidad de acabado. Para esto se determina el material Peek (Polieteretercetona) el cual tiene buenas propiedades mecánicas, y debido a la propiedad de alta biocompatibilidad, el uso de PEEK ha aumentado en industria de dispositivos médicos. (Tekin et al., 2018)



Figura 3.28: Rejilla de la válvula de exhalación. (Elaboración propia, 2021)

3.5. MATERIALES

Respecto al bolso que contiene el sistema de aire acondicionado, de igual manera se elige el PEEK grado médico como material por sus propiedades mecánicas. Además, la estabilidad térmica del PEEK es ideal para el calor generado dentro del bolso. Este material puede trabajar hasta a $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Ensinger, 2022).



Figura 3.29: Bolso. (Elaboración propia, 2021)

Para el sistema de tuberías que conectan el bolso con el protector, se elige tubería de silicón de grado médico. Su flexibilidad cumple con las condiciones de ergonomía que se tienen como objetivo en el proyecto, además de cumplir con las condiciones requeridas por la FDA para uso médico. Este material sirve numerosas aplicaciones en laboratorios, medicina, farmacia e industria (deltalab, 2017).

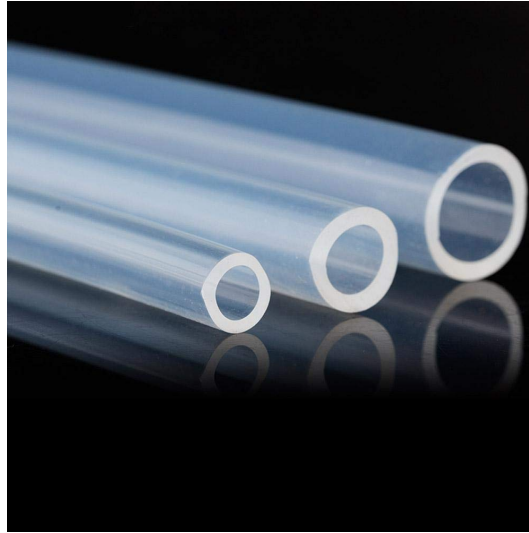


Figura 3.30: Tuberías. (Deltalab, 2017)

Para las correas que tiene el bolso, además para el recubrimiento de la zona de la espalda, se propone tela con una sección interna con espuma para nuevamente, generar el carácter ergonómico del dispositivo. Seguidamente se presenta un ejemplo de las correas y espalda (imagen con fines ilustrativos):



Figura 3.31: Correas y espalda. (Pedilo, 2018)

De estos materiales se compone el dispositivo. El resto de partes del bolso se compone de estos mismos. Para obtener mayor detalle sobre las otras partes del bolso y su composición, refiérase al apéndice A2 (hoja 2 de 5 de los planos).

3.6. Propuesta de diseño

Se considera un sistema de aire acondicionado portátil, el cual se transporta en un bolso de tamaño pequeño, aproximadamente de 25 cm de largo y 20 cm de ancho. Además, un grosor aproximado de 15 cm aproximadamente. En este bolso se ubica el ventilador, filtros, sistema de ductos de A/C y otros sistemas de ventilación. Adicionalmente, se ubica el sistema de control, el cual contempla el dispositivo programable que controla los motores del sistema de A/C, mediante las señales enviadas por los sensores que también se ubican en este sitio. Por último, el bolso contiene un compartimiento para llevar el sistema de alimentación de poder, el cual se compone de un banco de baterías. Las especificaciones del diseño y distribución de elementos se presenta más adelante.

Una vez que el aire ingresa por los ductos del sistema de A/C, se filtra y pasa por el proceso de acondicionamiento para la mayor comodidad y bienestar del usuario. Luego, el aire es enviado a la mascarilla protectora en ductos que salen del bolso y llegan hasta el protector facial. El aire se dispersa dentro del protector mediante aspersores ubicados a ambos lados de la máscara. En cada lado sobre la zona nasal, se encuentran válvulas unidireccionales para que el usuario pueda inhalar el aire limpio. En el momento de la inhalación, se cierra una válvula de exhalación presente al frente del protector; y esta se abre en el momento de la exhalación para que pueda liberarse el aire cargado de dióxido de carbono producto de la respiración humana. A su vez, durante la exhalación las válvulas de inhalación se cierran para que el aire sucio no sea mezclado con el limpio.

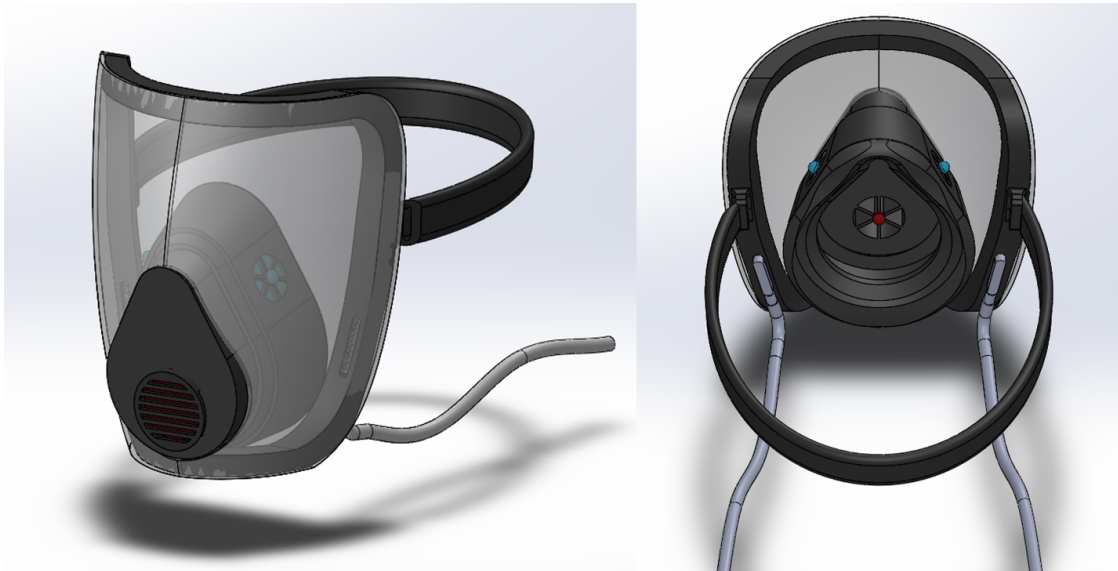


Figura 3.32: Diseño de propuesta del protector facial. (Elaboración propia, 2021)

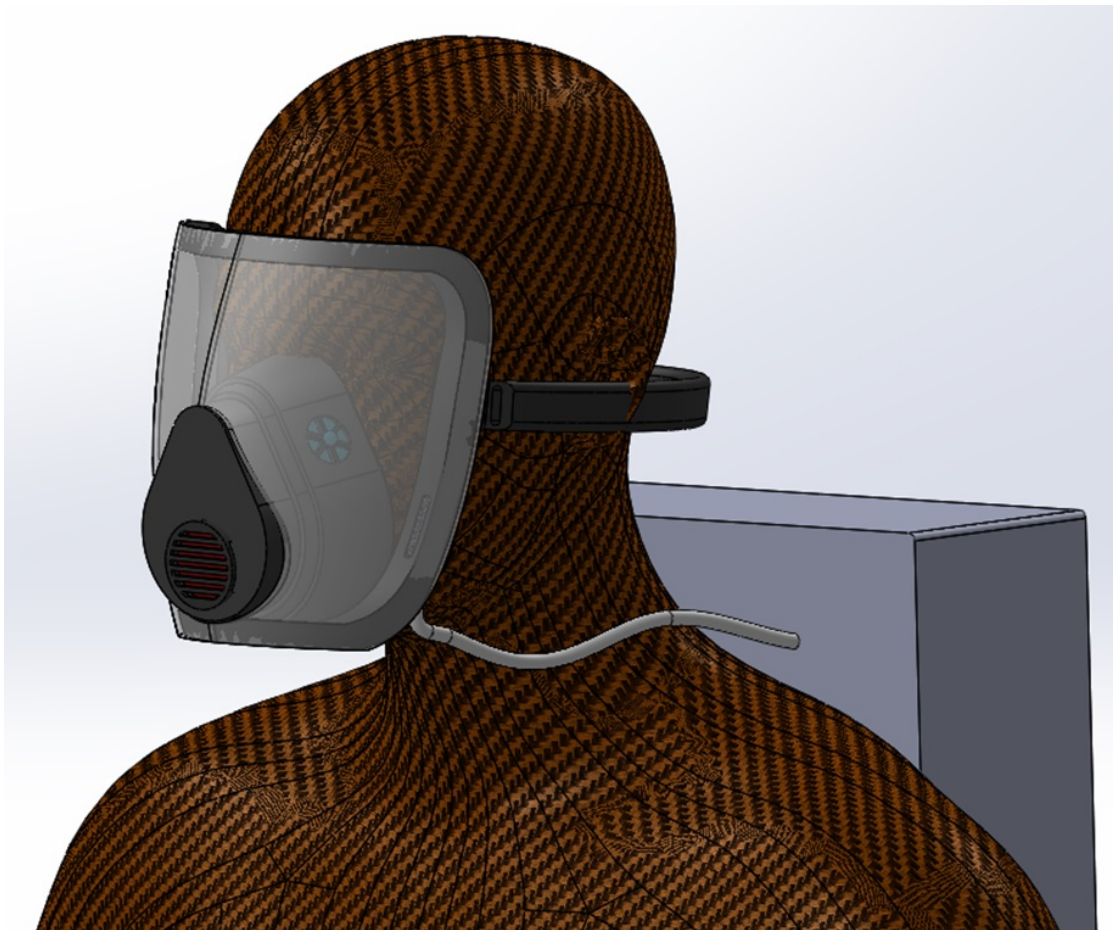


Figura 3.33: Usuario utilizando el protector facial. (Elaboración propia, 2021)



Figura 3.34: Diseño de propuesta del protector facial explosionado. (Elaboración propia, 2021)

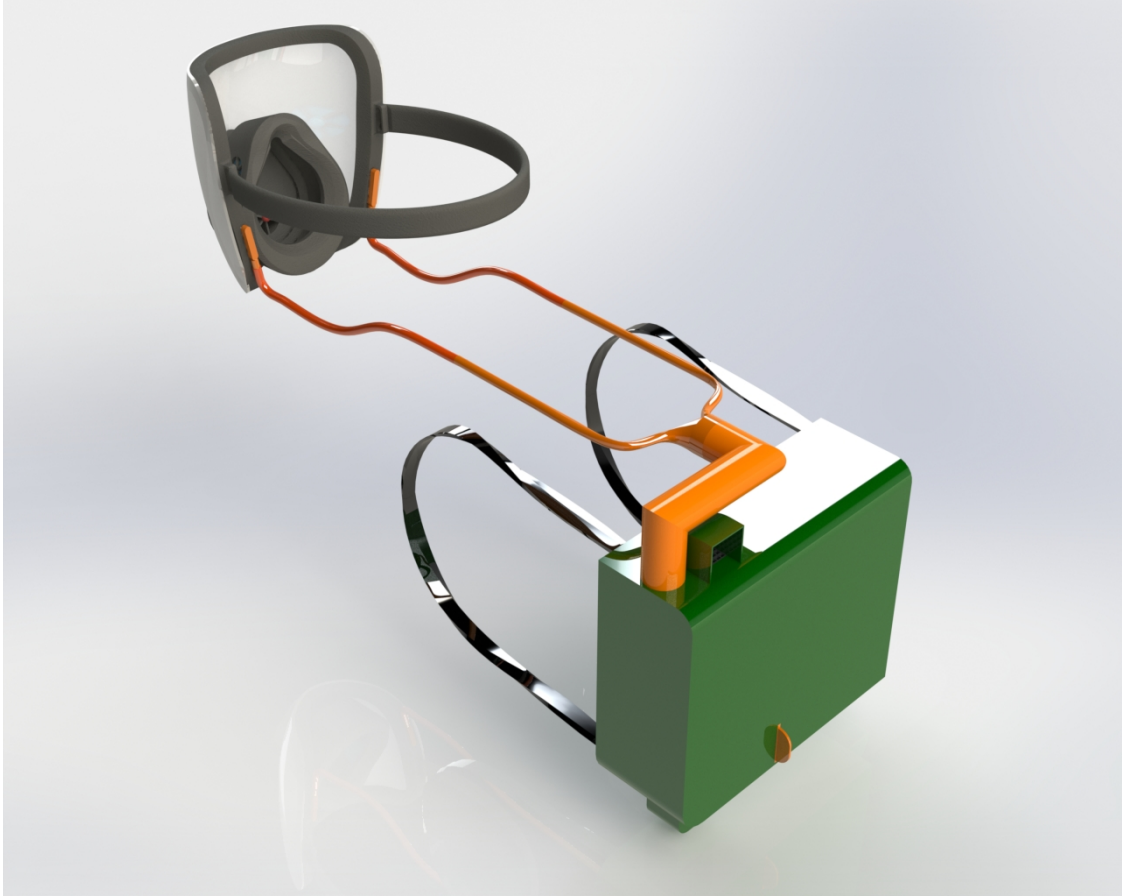


Figura 3.35: Producto completo. (Elaboración propia, 2021)

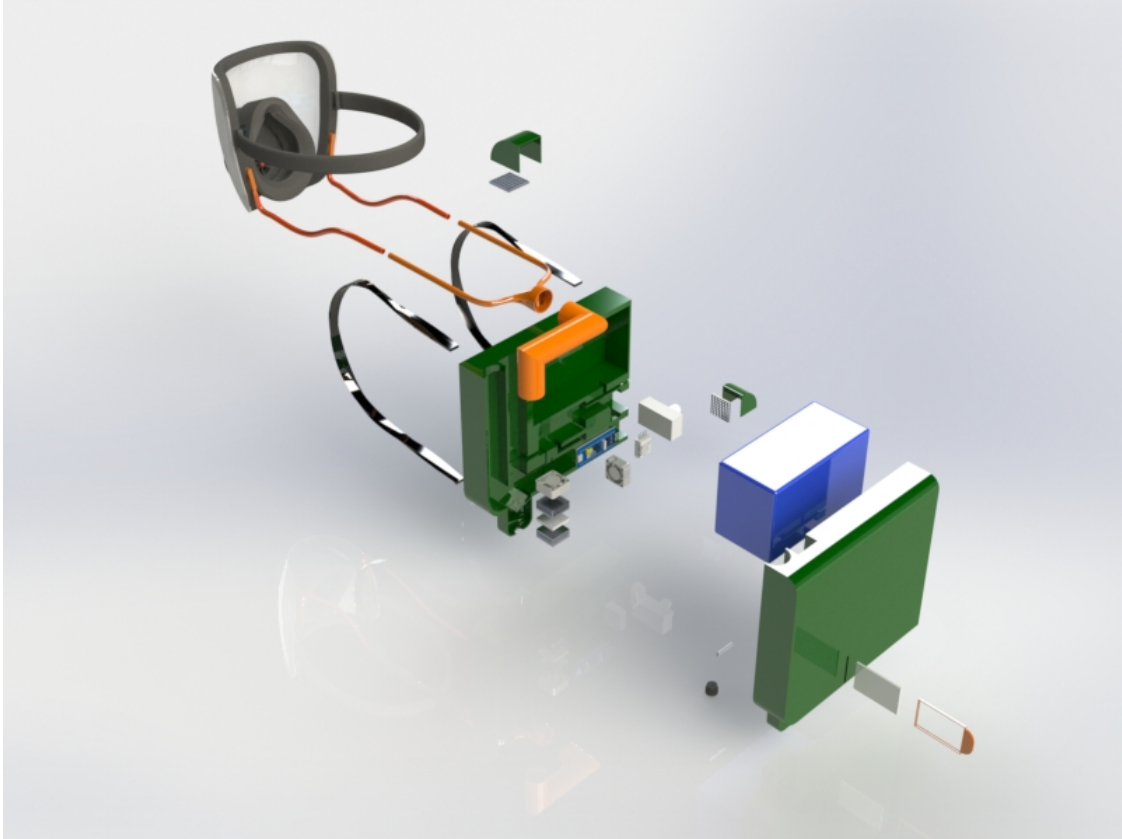


Figura 3.36: Producto completo explotado. (Elaboración propia, 2021)

Capítulo 4

Conclusiones

- Se diseña un dispositivo portable capaz de mejorar la calidad del aire para proteger a personas con enfermedades respiratorias.
- La contaminación del aire es nociva para la salud, provocando en algunos casos problemas visuales y respiratorios. Estos problemas se agravan en pacientes con predisposición médica al mantenerse expuestos a una mayor contaminación.
- Materiales como los silicones de grado médico y algunos plásticos como el peek son buenas opciones para disminuir el peso y aumentar el confort en dispositivos que tengan contacto con la piel.
- Los controladores electrónicos permiten automatizar un sistema para acondicionar un espacio de acuerdo las necesidades del momento.
- Es posible acondicionar el aire interior de cualquier espacio con los filtros y ductos correspondientes para prevenir el ingreso de contaminantes externos.
- Se propone el diseño de un protector facial para aplacar los efectos adversos de las enfermedades respiratorias, cumpliendo con los criterios de diseño de un sistema de acondicionamiento de aire, controlado por un sistema electrónico y construido con los materiales más adecuados.

Capítulo 5

Recomendaciones

- Realizar una simulación térmica para obtener un resultado más preciso en el cálculo de carga térmica.
- Intentar reducir aún más el espacio ocupado por el bolso.
- Colocar la batería en la parte baja del dispositivo para que su carga sea más cómoda para el usuario.
- Empezar a generar datos de las dimensiones faciales de costarricenses para precisar aún más el diseño.
- Tratar de integrar todo el sistema de aire acondicionado en la sección del protector, de existir la tecnología necesaria para hacerlo.
- Elegir una batería que extienda aún más el tiempo que dura el dispositivo en descargarse.
- Crear un sistema a base LED o sonidos que indique que la batería se va a descargar, o estar descargada, además de un desperfecto en alguna sección del sistema.
- A la hora de realizar los requerimientos energéticos de la placa Peltier, generar más rangos para tener mayor precisión.

Referencias

3M. (2018). Scotch-Weld™ Epoxy Adhesive 2216 B/A. 3M - Industrial Adhesives and Tapes Division, 1–8. <https://multimedia.3m.com/mws/media/153955O/3mtm-scotch-weldtm-epoxy-adhesive-2216-b-a.pdf>

Abdel-Ghany, A., Al-Helal, I., Shady, M. (2013). *Human Thermal Comfort and Heat Stress in an Outdoor Urban Arid Environment: A Case Study*. Hindawi. <http://downloads.hindawi.com/journals/amete/2013/693541.pdf>

Akduman, C., Akçakoc, E. (2018). *Nanofibers in face masks and respirators to provide better protection*. Ege University. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/460/1/012013/pdf>

American Thoracic Society. (2013). *Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC)*. thoracic.org. <https://www.thoracic.org/patients/patient-resources/resources/spanish/chronic-obstructive-pulmonary-disease-copd.pdf>

Ammasi Krishnan, M., Jawahar, K., Perumal, V., Devaraj, T., Thanarasu, A., Kubendran, D., Sivanesan, S. (2019). *Effects of ambient air pollution on respiratory and eye illness in population living in Kodungaiyur, Chennai*. Atmospheric Environment, 166-171. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.02.013>

ANSI/ASHRAE (2016). *ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2016. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*.

ANSI, ASHRAE, ASHE. (2017). *ANSI/ASHRAE Standard 170-2017. Ventilation of Health Care Facilities*.

APHA CDC. (s. f.). *Extreme heat can impact our health in many ways*. cdc.gov. https://www.cdc.gov/climateandhealth/pubs/extreme-heat-final_08.pdf

Arduino Store. (2021). Arduino Nano Every. Arduino Online Shop. <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-nano-every>

Arduino Store. (2021a). Arduino Micro. Arduino Online Shop. <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-micro>

ASHRAE. (2020). *About ASHRAE* — ashrae.org. Web Starter Kit.
<https://www.ashrae.org/about>

ASHRAE. (2017). *ASHRAE Fundamentals* (SI edition) [Libro electrónico].
<https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook/description-2017-ashrae-handbook-fundamentals>

AVNET. (2020). *Avnet: Quality Electronic Components Services*. AVNET ABACUS.
<https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/solutions/technologies/sensors/pressure-sensors/applications/>

Barry, A., Goff, J. (2017). Silanes and Silicones for Epoxy Resins. Gelest, Inc., 1(1), 1–16.
<https://www.researchgate.net/publication/315112229>

Blancarte, W. (2001, agosto). *Efecto Peltier*. <http://descargas.cetronic.es/EstudioPeltier.pdf>

Callister, W., Rethwisch, D. (2008). *Fundamentals of materials science and engineering* (3.a ed.). John Wiley Sons Inc.

Cañas, J. (2011). *Ergonomía en los sistemas de trabajo* [Libro electrónico]. Blanca Impresores. <http://www.infocop.es/pdf/LibroErgonomia.pdf>

Carbon, Inc. (2021). SIL 30. Carbon. <https://www.carbon3d.com/materials/sil-30/>

CDC. (s. f.). *Hoja de consejos: Enfermedad respiratoria crónica*. Centers for Disease Control and Prevention. Recuperado 22 de octubre de 2020, de
https://www.cdc.gov/healthcommunication/pdf/chronic-respiratory-disease_spanish.pdf

Cengel, Y., Boles, M. (2012). *Termodinámica* (7.a ed.). McGraw-Hill Education.

CLIU Mask - This is not a mask. (2020). <https://cliu.it/es/>

Componentes y Sistemas Electrónicos. (2018). p. 4-22. <http://levalle.com.ar/Bibliografia/apuntes-electronica%20integracion%20todos%20los%20niveles.pdf>

Cubero, L. (2020). *Pandemia le da un respiro a la GAM*. UNA Comunica.
<https://www.unacomunica.una.ac.cr/index.php/abril-2020/2897-pandemia-le-da-un-respiro-a-la-gam?fbclid=IwAR1UgdszlbJ51jPaYCYxPCC-n90H1DIQYsqf7cT5Cu-eNyBwYhT1dv78Cw>

Deltalab. (n.d.). Tubería de silicona grado médico. Atóxica. <https://www.deltalab.es/producto/tuberia-de-silicona-grado-medico-atoxica/>

Díaz, D. (2015). *Efecto termoeléctrico. Descripción y aplicación*.
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38455550/Funcionamiento_y_aplicaciones_de_Celdas_de_Peltier_-_10-10211_2.pdf?1439388131=response-content-disposition=attachment%3B+filename%3DFuncionamiento_y_aplicaciones_de_Celdas.pdfExpires=1603931009Signature=JvSOLQ7kWxtxZwI2LlCuJgrWgM4PDs9qNkA0y0fYnSSx0S-sdvyb8WtfnJEQYvCUSz8xVmiYcxWZrhhHf

7UCnpDCZVcszLzG hU4ryvh0149ElUnkLza6nZG31BeAHCM8UMGHBPMZ7Pf1te7aktDZEwy
BCGC-dCCg2R21N3w2tQi9Ydt6 Z3C1Jtj5MA4tzNIOk06jrPZNnIZz9-TSoii0mvyTxs2Tj16AkT
qKWjEl47yGUYXdxsIcg0lkSSKufk83nnZFYbryJYxBL1Q4kn8ZhRGG1XT7 g3YChSCXyux45k
1XwqjL4zJbWGGw9ePQjWbQj8PGCeTKIKXNgKwQZg_Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLR
BV4ZA

E. B. A. R. C. G. (2020). BluePill (STM32F103C8T6) - ERC Handbook. ESP32. https://erc-bpgc.github.io/handbook/electronics/Development_Boards/STM32/

EH Product Finder. (2019). *Military Grade Reusable Filter Mask*. <https://ehproductfinder.com/military-grade-reusable-filter-mask/>

Eren, H. (2004). *Sensors* [Libro electrónico]. En *The Engineering Handbook* (2.a ed., pp. 158-1-158-32). https://www.researchgate.net/profile/HalitEren/publication/295072199_Sensors/links/58142fe208aedc7d8961f66d/Sensors.pdf?origin=publication_detail

Farkas, L. G., Katic, M. J., Forrest, C. R. (2005). International Anthropometric Study of Facial Morphology in Various Ethnic Groups/Races. *Journal of Craniofacial Surgery*, 16(4), 615–646. <https://doi.org/10.1097/01.scs.0000171847.58031.9e>

Gallo, J. (2012, 28 junio). *Carga Térmica* [Ilustración]. Aire Acondicionado-UNAH. <https://sites.google.com/site/aireacondicionadounah/articulos/variablesdedesempenoenclimaticacionycargatermica>

G.I.S Ibérica. (s. f.). *PSICROMETRO Y PARAMETROS DE HUMEDAD*. gisiberica.com. Recuperado 29 de octubre de 2020, de [http://www.gisiberica.com/higrometros/parametros%20de%20humedad.htm:%7E:text=Temperatura%20de%20bulbo%20seco%20\(T,que%20marca%20un%20term%C3%B3metro%20com%C3%BAn](http://www.gisiberica.com/higrometros/parametros%20de%20humedad.htm:%7E:text=Temperatura%20de%20bulbo%20seco%20(T,que%20marca%20un%20term%C3%B3metro%20com%C3%BAn)

Gomar, J. (2018, 16 octubre). *Qué es la célula Peltier y cómo funciona*. PROFESIONAL review. <https://www.profesionalreview.com/2018/10/16/que-celula-peltier/>

Gravekamp, T. (s. f.). STM32F103C8T6 - Blue Pill. STM32-Base Project. <https://stm32-base.org/boards/STM32F103C8T6-Blue-Pill.html>

Gums, J. (2018, 26 enero). *Types of Temperature Sensors*. DigiKey. [https://www.digikey.com/en/blog/types-of-temperature-sensors:%7E:text=There%20are%20four%20types%20of,based%20integrated%20circuits%20\(IC\)](https://www.digikey.com/en/blog/types-of-temperature-sensors:%7E:text=There%20are%20four%20types%20of,based%20integrated%20circuits%20(IC)).

Gupta PD, Muthukumar A (2018) *Minor to Chronic Eye Disorders Due to Environmental Pollution: A Review*. *J Ocul Infect Inflamm* 2: 108

Hecht, M. (2019, 26 abril). *Hypoallergenic: Is There Really Such a Thing?* Healthline. <https://www.healthline.com/health/allergies/hypoallergenic>

HEVAC. (2016). *Humidity and its Impact on Human Comfort and Wellbeing in Occupied Buildings*. HEVAC Humidity Group. <http://www.humiditysolutions.co.uk/wp-content/uploads/2016/06/HUMIDITY-AND-THE-IMPACT-ON-HUMAN-COMFORT-250416.pdf>

I.E.S. Las Sabinas. (2011). *Sistemas Electrónicos*. <https://ferrer11.files.wordpress.com/2011/06/analogica.pdf>

Imbrie-Moore, A. M., Park, M. H., Zhu, Y., Paulsen, M. J., Wang, H., Woo, Y. J. (2020). Quadrupling the N95 Supply during the COVID-19 Crisis with an Innovative 3D-Printed Mask Adaptor. *Healthcare*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/healthcare8030225>

Jiang, X., Mei, X., Feng, D. (2015). *Air pollution and chronic airway diseases: what should people know and do?* *Journal of Thoracic Disease*, E34. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4740163/pdf/jtd-08-01-E31.pdf>

Kaya, K. S., Türk, B., Cankaya, M., Seyhun, N., Coşkun, B. U. (2019). Assessment of facial analysis measurements by golden proportion. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 85(4), 494–501. <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2018.07.009>

Kim, Y., Choi, Y.-H., Kim, M. K., Paik, H. J., Kim, D. H. (2020). *Different adverse effects of air pollutants on dry eye disease: Ozone, PM2.5, and PM10*. *Environmental Pollution*, 265, 115039. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115039>

Kuo, Y., Yu Lai, C., Chen, C. (2005). *Evaluation of Exhalation Valves*. *The Annals of Occupational Hygiene*, 563-564. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mei003>

Lee, C., Lee, G. (2005). *Humidity Sensors: A Review*. *Sensor Letters*, 3(1), 1-15. <https://doi.org/10.1166/sl.2005.001>

Liu, Q., Xu, C., Ji, G., Liu, H., Shao, W., Zhang, C., Gu, A., Zhao, P. (2017). *Effect of exposure to ambient PM2.5 pollution on the risk of respiratory tract diseases: a meta-analysis of cohort studies*. *The Journal of Biomedical Research*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5445216/>

Marmolejo, R. (2017, 12 noviembre). Microcontrolador - qué es y para que sirve. HETPRO. [https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/:%7E:text=El%20Microcontrolador%20es%20un%20circuito,variables%20\(flash%20y%20RAM\)](https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/:%7E:text=El%20Microcontrolador%20es%20un%20circuito,variables%20(flash%20y%20RAM)).

Shoptronica. (n.d.). 403 Forbidden. <https://www.shoptronica.com/disipadores-de-puas-i/3755-disipador-termico-de-puas-anodizado-negro-23x23mm-0689593948724.html>

Mei Kuo, Y., Yu Lai, C., Chen, C., Hong Lu, B. (2005). Evaluation of Exhalation Valves. *The Annals of Occupational Hygiene*, 49(7), 563–568. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mei003>

MINAE, Ministerio de Salud, MOPT, Municipalidad de San José, UNA. (2012). *Estado de la Calidad del Aire Área Metropolitana de Costa Rica* (N.o 5). http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/informe_calidad_aire_gam_5_quinto_2012.pdf

Ministerio de Salud. (2019, julio). *Análisis de la Situación Integral en Salud*. <https://www.binasss.sa.cr/opac-ms/media/digitales/An%C3%A1lisis%20Integral%20de%20Situaci%C3%B3n%20de%20Salud.%20Costa%20Rica%202019.pdf>

MOPT, Ministerio de Salud, MINAE, UNA, Municipalidad de San José. (2016). *Informe de Calidad de Aire Área Metropolitana de Costa Rica 2013-2015* (N.o 6). http://www.ministeriodesalud.go.cr/images/stories/docs/DPAH/2016/DPAH_VI_informe_anual_calidad_aire_GAM_2013_2014.pdf

Murillo, J., Herrera, J. (2020). *Evaluación del monitoreo de la calidad del aire en Costa Rica*. Revista Trimestral sobre la Actualidad Ambiental, 274, 11-15. http://www.ambientico.una.ac.cr/pdfs/art/ambientico/274_11-15.pdf

myRIO. (2015). Product Documentation - NI. <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/labview-2019-myrio-toolkit/page/myriohelp/myriohelp.html>

Navas, M. (2018, 22 febrero). Qué es y para qué sirve el microprocesador o CPU. Profesional Review. <https://www.profesionalreview.com/2018/02/28/que-es-para-que-sirve-microprocesador/>
O2 Nano Mask. (2020). *O2 Nano Mask*. <https://o2nanomask.com/products/o2-mask>

Peiron, M., Sánchez, F. (2011). *Los circuitos lógicos combinacionales*. PID.00163599. [https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Fundamentos_de_computadores/Fundamentos_de_computadores_\(Modulo_3\).pdf](https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Fundamentos_de_computadores/Fundamentos_de_computadores_(Modulo_3).pdf)

Plástico PEEK - TECAPEEK — Ensinger. (n.d.). Ensinger. <https://www.ensingerplastics.com/es-br/semielaborados/plasticos-de-altas-prestaciones/peek>

Prendergast, P. M. (2011). Facial Proportions. *Advanced Surgical Facial Rejuvenation*, 15–22. https://doi.org/10.1007/978-3-642-17838-2_2

Pinzón, E., Carrillo, G. (2016, mayo). *Carga del cuidado y calidad de vida en cuidadores familiares de personas con enfermedad respiratoria crónica*. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/fnsp/article/view/21729/20780173>

Press, R. (2020). *New Airflow Videos Show Why Masks With Exhalation Valves Do Not Slow the Spread of COVID-19*. NIST. <https://www.nist.gov/news-events/news/2020/11/new-airflow-videos-show-why-masks-exhalation-valves-do-not-slow-spread>

Ramos, D. (2013). *Sistemas electrónicos*. <https://danibananaramos.files.wordpress.com/2013/11/tema-2-sistemas-electronicos.pdf>

Rodríguez, H. (s. f.). *Guía para el Cálculo de las Cargas Térmicas en los Edificios*. ingeniería mecánica. Recuperado 30 de octubre de 2020, de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn255.html#:~:text=Cargas%20t%C3%A9rmicas%20sensibles%3A%20aquellas%20que,en%20la%20temperatura%20del%20aire.text=Cargas%20t%C3%A9rmicas%20latentes%3A%20las%20que,de%20agua%20en%20el%20aire>

Romero, M., Diego, F., Álvarez, M. (2006). *La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud*. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 44(2). <https://www.redalyc.org/pdf/2232/223214848008.pdf>

Rusconi, S., Martins, C. (2018). *Nociones generales sobre acondicionamiento de aire*. Universidad Nacional de Plata. https://www.ing.unlp.edu.ar/catedras/M0622/descargar.php?secc=0id=M0622id_inc=37115

Salveque impermeable 45L Madingtop. (2018). Pedilo.Online. Retrieved July 18, 2022, from https://pedilo.online/index.php?id_product=173id_product_attribute=497rewrite=salveque-impermeable-45l-madingtopcontroller=product

Sheth, S. (2020). *UV Mask is the world's first antiviral face mask with an active UV-C sterilization for 99.99 clean air*. Yanko Design. <https://www.yankodesign.com/2020/07/12/uv-mask-is-the-worlds-first-antiviral-face-mask-with-an-active-uv-c-sterilization-for-99-99-clean-air/>

Singh, P., Pal, K., Chakravraty, A., Ikram, S. (2021). Execution and viable applications of face shield “a safeguard” against viral infections of cross-protection studies: A comprehensive review. *Journal of Molecular Structure*, 1238, 130443. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130443>

Soloelectronicos. (2018, 29 marzo). *Aplicaciones de las células de Peltier*. Soloelectronicos.com. <https://soloelectronicos.com/2016/05/29/aplicaciones-de-las-celulas-de-peltier/>

Talhelm, T. (2020). *What Are N95 Masks Made From?* Smart Air. <https://smartairfilters.com/en/blog/n95-masks-made-from/>

Tekin, S., Cangül, S., Adıgüzel, Z., Değer, Y. (2018). Areas for use of PEEK material in dentistry. *International Dental Research*, 8(2), 84–92. <https://doi.org/10.5577/intdentres.2018.vol8.no2.6>

U. Sevilla. (s. f.). *Manual del carbón activo*. <http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>

VYZR Technologies. (2020). *BioVYZR 1.0 - Personal Air Purifying Shield*. VYZR Technologies. <https://www.vyxrtech.com/products/bio-vyxr>

Walton, G. (2015). *The Structure and Properties of Polymers* [Diapositivas]. slideplayer. <https://slideplayer.com/slide/6086392/>

Wei, C.-C., Lin, H.-J., Lim, Y.-P., Chen, C.-S., Chang, C.-Y., Lin, C.-J., Chen, J. J.-Y., Tien, P.-T., Lin, C.-L., Wan, L. (2019). *PM_{2.5} and NO_x exposure promote myopia: clinical evidence and experimental proof*. *Environmental Pollution*, 254, 113031 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113031>

Zhao, X., Wang, S., Yin, X., Yu, J., Ding, B. (2016). *Slip-Effect Functional Air Filter for Efficient Purification of PM_{2.5}*. *Scientific Reports*. <https://www.nature.com/articles/srep35472>

Apéndices

El apéndice se compone de documentos Excel y pdfs para los planos y fichas técnicas. El apéndice A serían los planos:

- Apéndice A1. Plano 1 de 5
- Apéndice A2. Plano 2 de 5
- Apéndice A3. Plano 3 de 5
- Apéndice A4. Plano 4 de 5
- Apéndice A5. Plano 5 de 5

El apéndice B lo componen los documentos de excel donde se realizan cálculos y modelajes matemáticos, además de cuadros comparativos y elección de dispositivos como placa peltier o batería:

- Apéndice B1. Cálculo de carga para protector
- Apéndice B2. Tabla comparativa sist electronicos

Para acceder a estos documentos, refiérase al CD entregado.

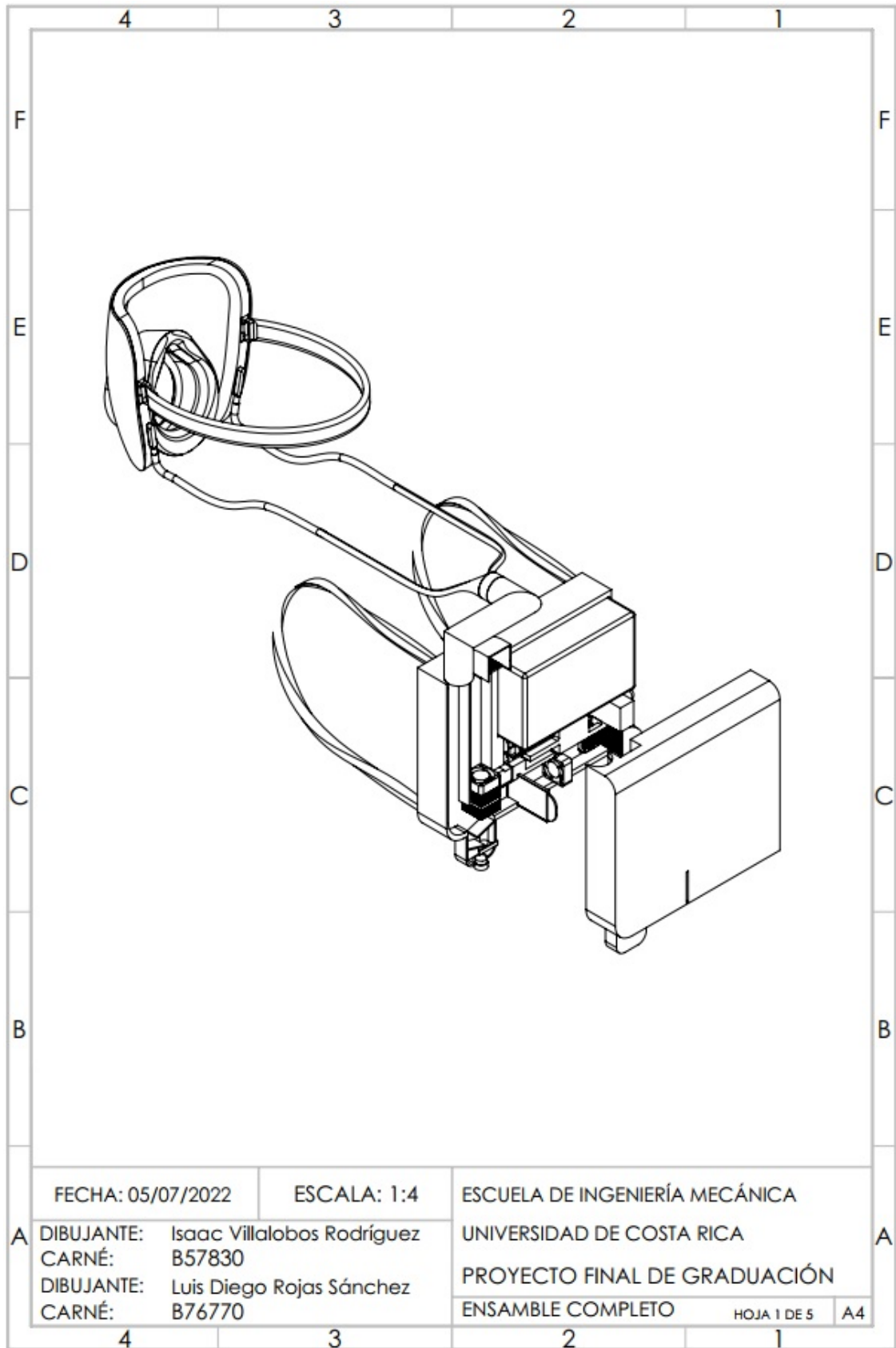


Figura 5.1: Plano 1 de 5. (Elaboración propia, 2022)

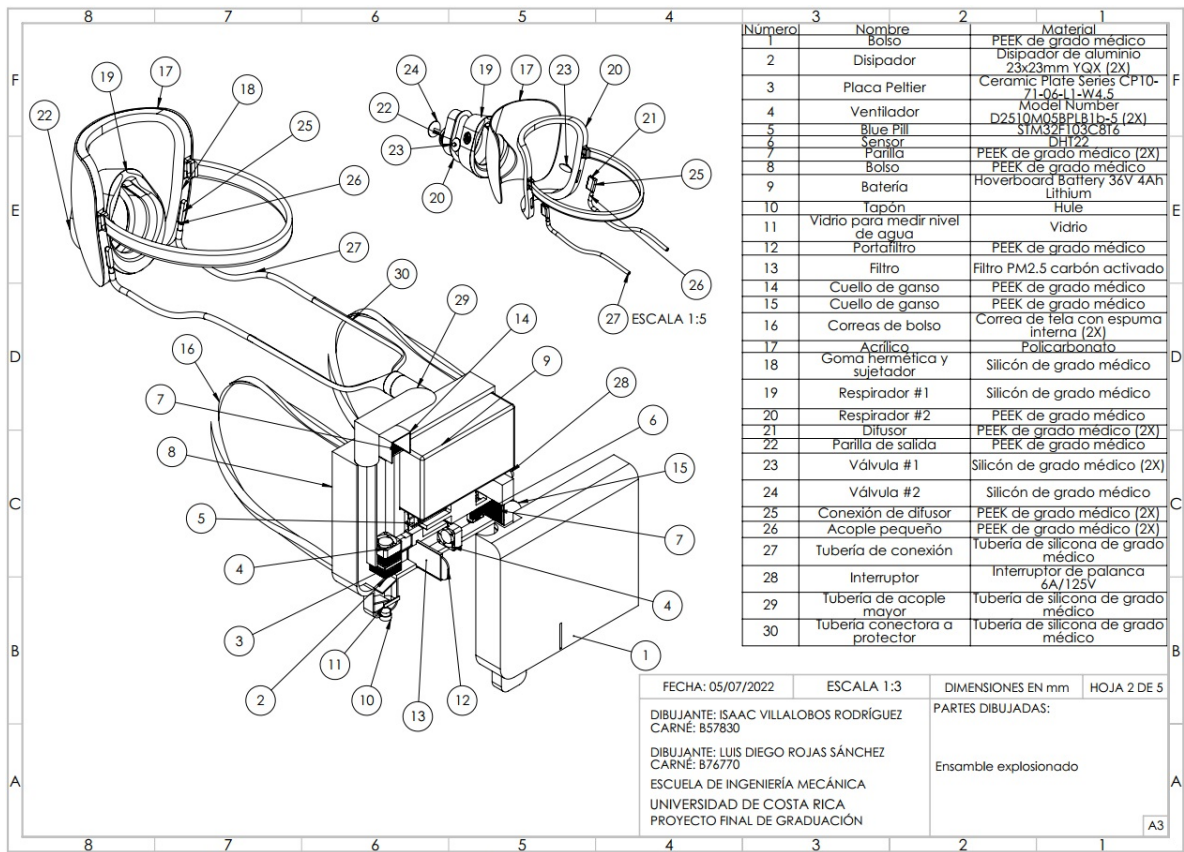


Figura 5.2: Plano 2 de 5. (Elaboración propia, 2022)

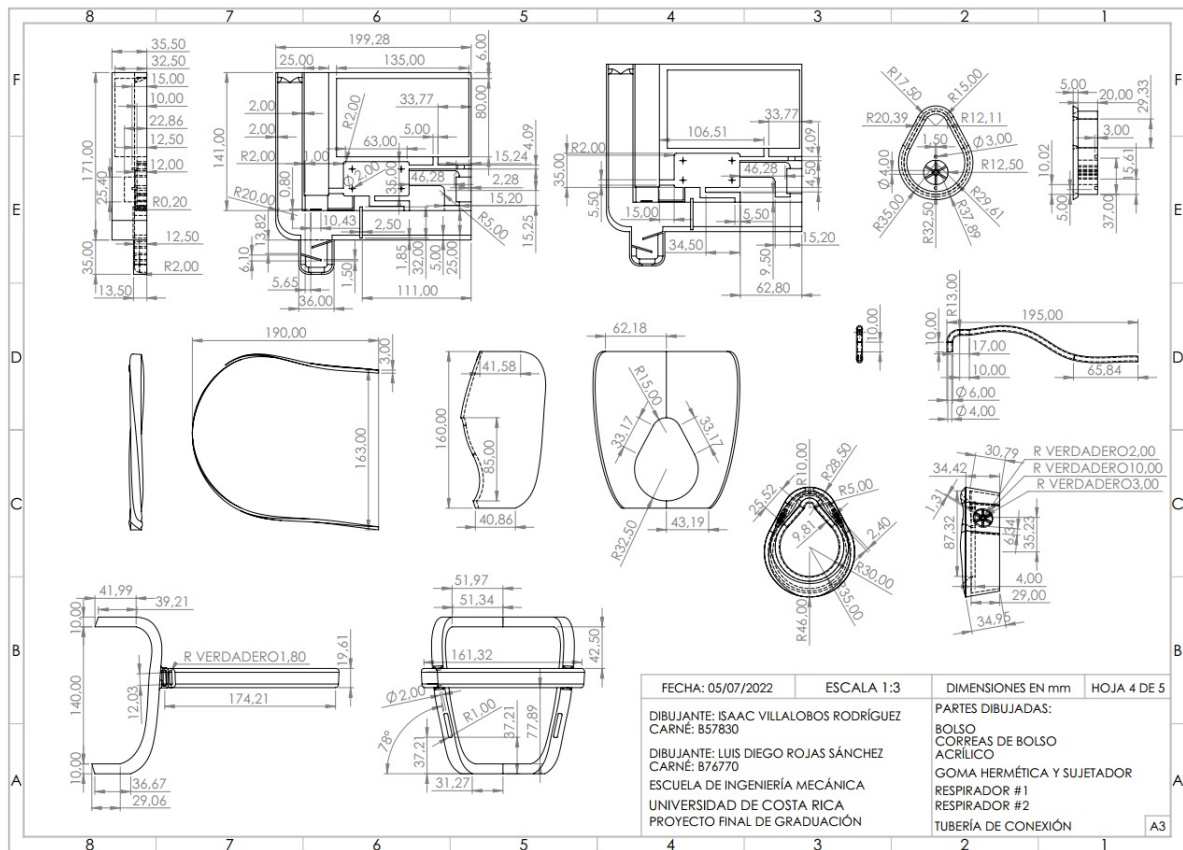


Figura 5.4: Plano 4 de 5. (Elaboración propia, 2022)

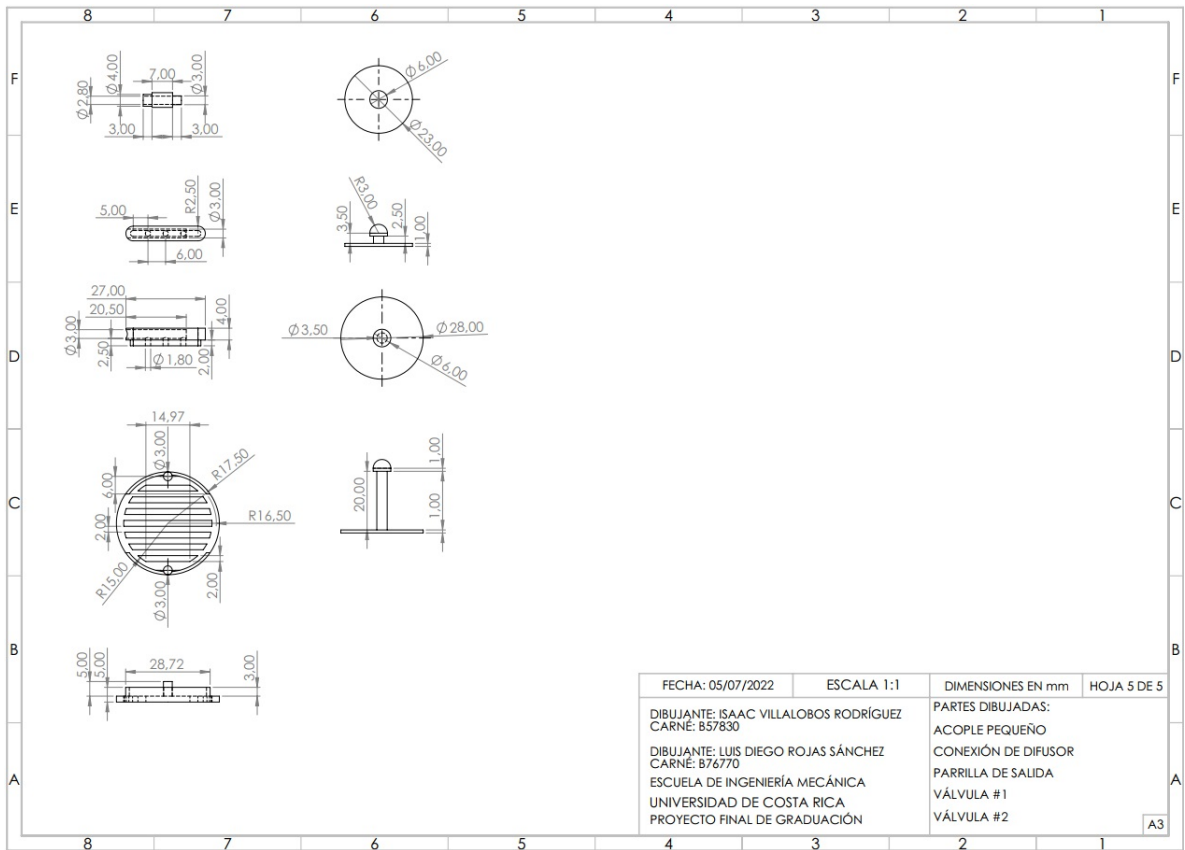


Figura 5.5: Plano 5 de 5. (Elaboración propia, 2022)

Anexos

El Anexo lo componen las fichas técnicas de dispositivos utilizados:

- Anexo 1. DHT22
- Anexo 2. Placa Peltier
- Anexo 3. Ventilador