

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**DISEÑO DE RESPIRADOR REUTILIZABLE MEDIA CARA
MULTIFUNCIONAL BAJO LA NORMALIZACIÓN UNE-EN140:1999
CON ENTRADA PARA SUMINISTRAR OXÍGENO EN CASOS DE
EMERGENCIA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

OLIVER LUIS ARBULU AGUILAR

ASESOR

JONY VILLALOBOS CABRERA

<https://orcid.org/0000-0003-3643-5498>

Chiclayo, 2021

**DISEÑO DE RESPIRADOR REUTILIZABLE MEDIA CARA
MULTIFUNCIONAL BAJO LA NORMALIZACIÓN UNE-
EN140:1999 CON ENTRADA PARA SUMINISTRAR
OXÍGENO EN CASOS DE EMERGENCIA**

PRESENTADA POR
OLIVER LUIS ARBULU AGUILAR

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
Para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Wilson Alejandro Jimenez Zuloeta
PRESIDENTE

Lucio Antonio Llontop Mendoza
SECRETARIO

Jony Villalobos Cabrera
VOCAL

Dedicatoria

A mi padre Víctor Manuel Arbulú Norabuena a mi madre Natacha Silvana Aguilar González y a mis hermanos que siempre están conmigo guiándome y brindándome su apoyo incondicional.

Agradecimientos

Agradezco a toda mi familia por siempre estar conmigo durante los momentos en los que más uno necesita, también a mi asesor por brindarme todo su apoyo y conocimiento en el proceso de mi vida universitaria, así como durante el desarrollo de la presente tesis.

Índice

| | |
|--|----|
| Resumen | 8 |
| Abstract..... | 9 |
| I. Introducción | 10 |
| II. Justificación | 11 |
| III. Objetivos | 12 |
| 3.1. Objetivo general..... | 12 |
| 3.2. Objetivos específicos | 12 |
| IV. Marco teórico | 13 |
| 4.1. Antecedentes..... | 13 |
| 4.2. Bases teórico científicas | 14 |
| 4.2.1. Bases legales | 18 |
| 4.3. Definición de términos básicos..... | 19 |
| 4.4. Impacto de las alergias en el rendimiento del trabajador | 20 |
| 4.5. Ventilación no invasiva (VNI) y ventilación invasiva (VI)..... | 21 |
| 4.6. Materiales empleados en el diseño de respiradores | 21 |
| 4.6.1. Método tradicional | 23 |
| 4.6.2. Método gráfico | 23 |
| 4.6.3. Método con ayuda de base de datos | 24 |
| 4.7. Matriz de ponderación | 24 |
| 4.8. Matriz morfológica de Zwicky | 24 |
| V. Metodología..... | 25 |
| 5.1. Nivel de investigación | 25 |
| 5.1.1. Tipo y diseño de la investigación..... | 25 |
| 5.1.2. Según el nivel de profundización en el objetivo de estudio..... | 25 |
| 5.1.3. Según el grado de manipulación de las variables..... | 25 |
| 5.2. Población y muestra de estudio | 25 |
| 5.3. Delimitación de la investigación..... | 25 |
| 5.4. Variables operacionales | 26 |
| 5.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información | 27 |
| VI. Desarrollo y resultados..... | 27 |
| 6.1. Alergias respiratorias, tamaño de partículas y niveles máximos permisibles..... | 27 |
| 6.1.1. Alergias respiratorias que sufren los profesionales en el trabajo | 27 |
| 6.1.2. Tamaño y tipo de partículas | 29 |
| 6.1.3. Niveles máximos permisibles en la minería..... | 29 |

| | |
|--|----|
| 6.2. Selección de los materiales | 31 |
| 6.3. Diseño de los componentes | 34 |
| 6.3.1. Criterios para la selección y diseño de los componentes | 34 |
| 6.3.2. Matriz morfológica..... | 35 |
| 6.3.3. Evaluación de los conceptos de solución | 37 |
| 6.3.4. Modelamiento CAD | 39 |
| 6.4. Cálculos teóricos..... | 42 |
| 6.5. Simulación del respirador | 46 |
| 6.5.1. Análisis Estático..... | 46 |
| 6.5.2. Simulación con Flow Simulation | 50 |
| VII. Conclusiones | 53 |
| VIII. Recomendaciones..... | 53 |
| IX. Referencias bibliográficas..... | 54 |
| X. Anexos | 57 |
| 10.1. Planos | 62 |

Lista de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Coeficientes para barras rectangulares de torsión | 16 |
| Tabla 2 Resistencia a la respiración | 18 |
| Tabla 3 Principales ventajas e inconvenientes de la VNI..... | 21 |
| Tabla 4 Lista de propiedades insensibles a la microestructura..... | 22 |
| Tabla 5 Lista de propiedades sensibles a la microestructura..... | 22 |
| Tabla 6 Otras propiedades de los materiales | 22 |
| Tabla 7 Matriz de ponderación | 24 |
| Tabla 8 Variable independiente..... | 26 |
| Tabla 9 Variable dependiente | 26 |
| Tabla 10 Técnicas e instrumentos de recopilación de información..... | 27 |
| Tabla 11 Tamaño de partículas en industrias de madera..... | 29 |
| Tabla 12 Tamaño de partículas en obras de construcción..... | 29 |
| Tabla 13 Niveles máximos permisibles de calidad del aire en las minas..... | 30 |
| Tabla 14 Nivel máximo permisible de partículas en suspensión en las minas..... | 31 |
| Tabla 15 Matriz de evaluación de polímeros..... | 32 |
| Tabla 16 Matriz morfológica..... | 35 |
| Tabla 17 Evaluación técnica..... | 37 |
| Tabla 18 Evaluación económica..... | 38 |
| Tabla 19 Evaluación total..... | 38 |
| Tabla 20 Coeficiente de torsión..... | 44 |

Lista de imágenes

| | |
|--|----|
| Imagen 1 Respirador con carga axial P | 14 |
| Imagen 2 Estrés promedio | 15 |
| Imagen 3 Pares de torsión aplicados a la barra..... | 15 |
| Imagen 4 Respirador para el ensayo de resistencia a la tracción..... | 17 |
| Imagen 5 Porcentaje de estrés en 6 países de Latinoamérica | 20 |
| Imagen 6 Mapa de materiales | 23 |
| Imagen 7 Respirador 3M-SERIE 3000..... | 33 |
| Imagen 8 Material del respirador 3M-SERIE 3000 | 33 |
| Imagen 9 Diagrama de evaluación final técnico – económica | 39 |
| Imagen 10 Cuerpo del respirador | 39 |
| Imagen 11 Entrada para la manguera de oxígeno..... | 40 |
| Imagen 12 Tapa de exhalación | 40 |
| Imagen 13 Tapa para la entrada de oxígeno | 40 |
| Imagen 14 Entrada para los filtros..... | 41 |
| Imagen 15 Válvula de exhalación | 41 |
| Imagen 16 Diseño final del respirador | 42 |
| Imagen 17 Fuerza perpendicular de 50N en el respirador..... | 42 |
| Imagen 18 Sujeción a estudiar..... | 42 |
| Imagen 19 Área de interés | 43 |
| Imagen 20 D.C.L. de la sujeción | 43 |
| Imagen 21 D.C.L. | 44 |
| Imagen 22 Superficie a simular | 46 |
| Imagen 23 Carga de 25N | 46 |
| Imagen 24 Geometría fija..... | 46 |
| Imagen 25 Mallado..... | 47 |
| Imagen 26 Esfuerzo normales | 47 |
| Imagen 27 Desplazamientos..... | 48 |
| Imagen 28 Deformaciones unitarias | 48 |
| Imagen 29 Factor de seguridad..... | 49 |
| Imagen 30 Respirador con volumen cerrado | 50 |
| Imagen 31 Comportamiento del fluido..... | 50 |

Resumen

Actualmente la exposición al polvo en el trabajo es un problema que afecta a distintos sectores como es la minería, agricultura, fundición, etc. Esto puede generar alergias profesionales que con el tiempo se vuelven enfermedades pulmonares, asimismo estas alergias provocan estrés laboral lo que influye negativamente tanto en la salud como en el rendimiento del trabajador además de ser uno de los factores principales por lo que se pueden producir accidentes durante la jornada de trabajo.

La norma UNE-EN 140:1999, especifica los requisitos mínimos que debe cumplir las medias máscaras filtrantes que son empleadas como equipos de protección respiratoria contra partículas.

Por este motivo se propone el diseño y simulación de un respirador reutilizable de media cara multifuncional con la ayuda del software CAD/CAE SolidWorks y su herramienta Flow Simulation la cual servirá para realizar la simulación de la entrada de oxígeno.

Este diseño tiene como finalidad que las personas que se encuentren expuestas al polvo realicen su labor con normalidad y de manera segura además dicha mascarilla contará con una entrada para poder suministrar oxígeno en caso se presente una emergencia que requiera del mismo con el fin de no retirar el respirador, mover lo menos posible al usuario y lograr un tiempo de atención más rápido.

Palabras clave: **Diseño de respirador reutilizable multifuncional, normalización UNE-EN 140:1999, SolidWorks Flow Simulation, casos de emergencia.**

Abstract

Currently, exposure to dust at work is a problem that affects different sectors such as mining, agriculture, foundry, etc. This can generate occupational allergies that over time become lung diseases, Likewise as these allergies cause work stress which what negatively influences both the health and the performance of the worker as well as being one of the main factors for which accidents can occur during the work day.

The UNE-EN 140: 1999 standard specifies the minimum requirements that filtering half masks that are used as respiratory protection equipment against particles must meet.

For this reason, the design and simulation of a half-face reusable respirator is proposed multifunctional with the help of CAD / CAE SolidWorks software and its Flow Simulation tool, which will serve to perform simulation of oxygen input.

This design is purpose for people who are exposed to dust to carry out their work normally and in a safe way, in addition, said mask will have an entrance to be able to supply oxygen in case of an emergency that requires of the same in order not to remove the respirator, move the user as little as possible and achieve a faster attention time.

Keywords: Multi-functional reusable respirator design, Standard UNE-EN 140:1999, SolidWorks Flow Simulation, Cases of emergency.

I. Introducción

La contaminación ambiental en el sector laboral es algo inevitable, esto representa un impacto negativo en la salud ya que las partículas sólidas y gases del aire generan muchos problemas tales como las alergias profesionales, enfermedades pulmonares (Asma, bronquitis crónica, neumoconiosis, silicosis y entre otras). Las personas que ya cuentan con enfermedades pulmonares o sufren del corazón, asimismo adultos mayores son los que se encuentran con mayor riesgo, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) 1 de cada 9 muertes en el mundo son producidas debido a las complicaciones respiratorias, provocadas por la contaminación ambiental [1].

Según el Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la Salud (CENSOPAS), distintos trabajadores en área de demolición, carga, limpieza o transporte de material, son los que pueden estar más afectados por un tipo de enfermedad pulmonar comúnmente denominada silicosis, la cual es producida por la inhalación de polvo con partículas de sílice cristalino. Este mayormente está en la tierra, granito y arena, cuando es respirado inflama y endurece el tejido pulmonar, por consecuencia disminuye la capacidad pulmonar para expandirse y respirar; además el daño causado es irreversible [2].

Todo esto afecta en el rendimiento y la satisfacción del trabajador por lo que no podrá desempeñar sus funciones de manera adecuada lo que le ocasionará estrés laboral, además esto puede producir un accidente que dependiendo de la magnitud se le deberá suministrar oxígeno para lo cual es recomendable mover lo menos posible a la persona y si se encuentra en un ambiente contaminado lo ideal será no sacarle el respirador que esta posea, por ello es importante prevenir riesgos, promover la salud y la seguridad en el lugar de trabajo ya que estos no son solo importantes para mejorar la calidad del empleo sino también para promover la competitividad de las empresas y mantener buenos los niveles de salubridad siendo esto un impacto positivo para el empleado y el empleador [3].

Una medida de prevención para reducir las partículas inhaladas durante la jornada laboral es el uso de Equipos de Protección Respiratoria (EPR), las medidas de protección personal respiratoria incluyen el uso de respiradores de alta eficiencia que protejan la inhalación de aire contaminado; sin embargo la eficacia de esta medida de protección dependerá entre otros, del conocimiento sobre Equipos de Protección Personal (EPP), disponibilidad, estructura, sus indicaciones y su adecuado uso [4].

Por ello la presente tesis presentará el diseño de un respirador reutilizable de media cara multifuncional que estará regido bajo la norma europea UNE-EN 140:1999, la cual habla de los equipos de protección respiratoria media máscara y cuartos de máscara así como sus requisitos y ensayos; además ha dicho diseño se le incorporará una entrada la cual servirá para poder suministrar oxígeno en caso se presente una emergencia, de esta forma se podrá aplicar ventilación no invasiva sin la necesidad de tener que retirar el respirador lo que es algo positivo para la salud del usuario ya que no se tendrá que exponer a un ambiente contaminado y se le auxiliará en un tiempo más rápido.

II. Justificación

Social

Los trabajadores de ciertas empresas mineras e industriales que están expuestos al polvo sufren alergias provocadas por el mismo, con el diseño de este respirador se verán beneficiados en la disminución de las posibles enfermedades pulmonares que este puede provocar.

Económica

Con este nuevo diseño y otros materiales se logrará que el costo de manufactura sea más bajo por lo que resultará más accesible a que más personas puedan adquirir este respirador.

Ambiental

Al ser un respirador reutilizable de media cara y multifuncional que reemplazará el uso de las mascarillas convencionales descartables y a su vez las mascarillas de oxígeno usadas en emergencias, generará menos residuos sólidos lo cual provocará un impacto positivo referido al ámbito ambiental. Además, por contar con una entrada para suministrar oxígeno en caso que se presente alguna emergencia por falta del mismo no será necesario retirar la mascarilla para este procedimiento lo que significa que los trabajadores no tendrán que exponerse a partícula que se encuentre en el ambiente.

Tecnológico

El perfeccionamiento de este diseño se logrará empleando la herramienta SolidWorks Flow Simulation, esta herramienta nos permitirá simular el flujo del oxígeno dentro de la mascarilla.

III. Objetivos

3.1. Objetivo general

Diseñar un respirador reutilizable de media cara multifuncional bajo la normalización UNE-EN140:1999 con entrada para suministrar oxígeno en casos de emergencia.

3.2. Objetivos específicos

- Identificar alergias respiratorias que sufren los profesionales en el trabajo, tamaño de partículas existentes y los niveles máximos permisibles en los socavones de minas.
- Seleccionar los materiales que serán empleados para el diseño del respirador.
- Diseñar los componentes del respirador reutilizable de media cara según los parámetros establecidos en la normalización UNE-EN140:1999.
- Simular el respirador reutilizable multifuncional con la herramienta SolidWorks Flow Simulation.

IV. Marco teórico

4.1. Antecedentes

Camilo B. [1] 2019, en su Proyecto de diseño industrial pretende desarrollar un sistema a través de información sobre calidad del aire con el fin de mejorar la calidad vida de los ciudadanos, también habla de la vulnerabilidad a la que se encuentran las personas en su día a ya que están expuestos a elementos como micropartículas en el aire (PM), monóxido de carbono (CO) e incluso el nivel de ozono (O₃). En cuanto a su diseño se plantea convertir el ambiente en datos a través del internet de las cosas (IoT) para lograr tener un mejor monitoreo del mismo y con ello reducir los impactos negativos que la contaminación produzca en la salud de las personas.

Adriana O. [5] 2014, en su monografía de investigación hace comparación de dos tipos de respiradores durante las actividades laborales rutinarias de una industria petroquímica ubicada en el estado de Paraná con el fin de seleccionar el más adecuado para la industria la cual presenta un ambiente con presencia de hidrocarburos, vapores irritantes y gases inorgánicos, para tal estudio se aplicó un cuestionario provisto por National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), también se designó dos tipos de respiradores en un grupo de trabajadores para que realicen sus actividades con normalidad dentro de la industria. Se obtiene como resultado que el respirador más adecuado para esta empresa es un respirador de cara completa con filtro combinado A2B2 o A2B2E2K1, esto es por la presencia de hidrocarburos y vapores irritantes para los ojos además de los gases inorgánicos que se encuentran en el ambiente.

Robertsen Ø, Hegseth MN, Føreland S, Siebler F, Eisemann M y Vangberg HCB. [6] 2020, en su estudio se realiza una investigación sobre el efecto de las intervenciones con el fin de mejorar las actitudes para el uso de Equipos de Protección Respiratoria (EPR) en una industria de fundición de Noruega, dicha investigación se desarrolló en tres grupos la cual consistió en una conferencia y/o ajuste de prueba del respirador, al finalizar la intervención se notó que las actitudes y el conocimiento de los trabajadores respecto al uso de los EPR también se redujo la incomodidad respecto a su uso y se mostraron mejoras sobre las normas relacionadas con esto.

Joanne O. Crawford, Ken Dixon, Brian G. Miller y John W. Cherrie. [7] 2014, en su trabajo de investigación presenta una revisión de los niveles de protección brindados por el casco Airstream el cual es un casco ligero que ofrece protección respiratoria, facial y de cabeza con el fin controlar los niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) en hornos de choque, esta investigación se hizo con la ayuda de literatura gris la cual es cualquier tipo de documento de difícil acceso porque no se encuentra publicado en los canales habituales, también se ayudaron con entrevistas hacia los empleados que usen este tipo de casco. Se llega a la conclusión de que el uso de respiradores de casco ha controlado eficazmente la exposición promedio a largo plazo a los PAH además que ha mantenido los niveles de protección desde 1982 hasta la actualidad.

Dr. Antonio V. [8] 2015, en su publicación realiza un estudio de como el estrés provoca inferencias en los procesos cognitivos como memoria, toma de decisiones, atención, juicios, etc. Y el rendimiento desde una perspectiva cognitivo-emocional.

Lisette B. [9] 2019, en su tesis plantea la elaboración de una cáscara con filtros de carbono la cual es capaz de detectar los niveles de contaminación con el fin de poder proteger la salud además evitar la irritación que esto pueda producir en las vías respiratorias, también lleva a cabo un estudio de la incorporación del respirador en el mercado y concluyen que el proyecto requiere una alta inversión inicial.

Adrián C. [10] 2020, en su trabajo final evalúa la viabilidad de un modelo de ondas unidimensional con el fin de modelar un sistema de respiración y conseguir un modelo de Ventilación no Invasiva (VNI), para ello describe lo que es la VNI y las ventajas que tienen este tipo comparándola con la Ventilación Invasiva (VI).

4.2. Bases teórico científicas

Estrés normal bajo carga axial

El estrés es la intensidad de la fuerza interna. La fuerza es una cantidad vectorial y, como tal, tiene magnitud y dirección. La intensidad implica un área sobre la cual se distribuye la fuerza. Por lo tanto, el estrés Puede ser definido como:

$$\text{Estrés} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área}} \quad [11]$$

Para introducir el concepto de una tensión normal, considere una barra rectangular sometida a una fuerza axial. Una fuerza axial es una carga que se dirige a lo largo de la longitud eje del miembro. Las fuerzas axiales que tienden a alargar un miembro se denominan Las fuerzas de tensión y las fuerzas que tienden a acortar un miembro se denominan compresión [11].

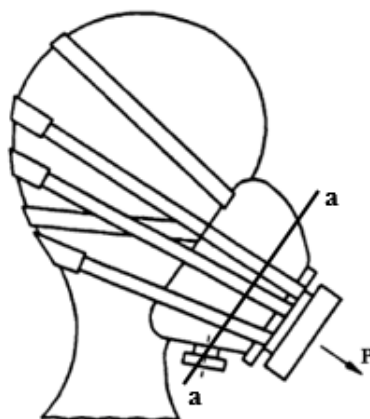


Imagen 1 Respirador con carga axial P

La fuerza axial P en la imagen 1 es una fuerza de tensión. Para investigar los efectos internos, el respirador se corta por un plano transversal, como el plano a – a de la imagen 1, para mostrar un diagrama de cuerpo libre de la mitad inferior del respirador (Imagen 2). Desde este corte el plano es perpendicular al eje longitudinal del respirador, la superficie expuesta se llama una sección transversal.

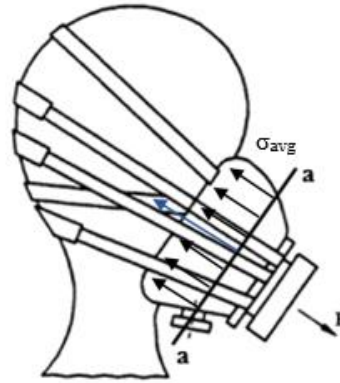


Imagen 2 Estrés promedio

En este caso, el esfuerzo actúa sobre una superficie que es perpendicular a la dirección de la fuerza interior. Un estrés de este tipo se llama estrés normal, y se denota con la letra griega σ (sigma). Para determinar la magnitud del estrés normal en la barra, el promedio La intensidad de la fuerza interna en la sección transversal se puede calcular como [11]:

$$\sigma_{avg} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área}} \quad [11]$$

El área es la sección transversal la mascarilla.

Unidades de estrés

Dado que el esfuerzo normal se calcula dividiendo la fuerza interna por la sección transversal del área, el estrés tiene las dimensiones de fuerza por unidad de área.

Cuando se utiliza el Sistema Internacional de Unidades (SI), el estrés se expresa en Pascales (Pa) y calculado como fuerza en Newton (N) dividido por área en metros cuadrados (m^2). El pascal es una unidad muy pequeña y, por lo tanto, el estrés es expresado en mega pascales (MPa) donde:

$$1 \text{ MPa} = 1\,000\,000 \text{ Pa.}$$

Una conveniente alternativa al calcular el estrés en MPa es expresar la fuerza en Newton y el área en milímetros cuadrados (mm^2). Por lo tanto [11]:

$$1 \text{ MPa} = 1\,000\,000 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ N/mm}^2$$

Máximo esfuerzo cortante

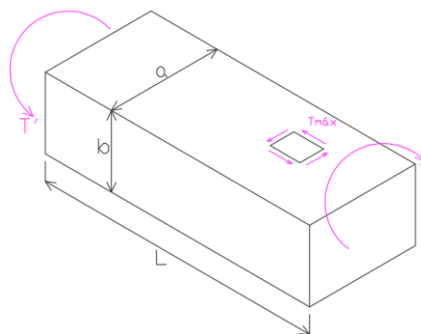


Imagen 3 Pares de torsión aplicados a la barra

Los máximos esfuerzo cortante se presentan a lo largo de la línea centrar de una cara más ancha del sólido, este se determina por la siguiente formula [12]:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{T}{c_1 ab^2}$$

Donde:

T: es donde presenta torsión en sentido horario o antihorario este se halla multiplicando la fuerza por la distancia en el eje de coordenadas desde donde se aplica la fuerza y el punto deseado.

a: es el lado más ancho del sólido.

b: es el lado más angosto del sólido.

C₁: es el coeficiente para barras rectangulares de torsión.

Coeficiente para barras rectangulares de torsión

El coeficiente C₁ se da en tabla según la razón (a/b).

Tabla 1 Coeficientes para barras rectangulares de torsión

| a/b | c ₁ | c ₂ |
|------|----------------|----------------|
| 1,0 | 0,208 | 0,1406 |
| 1,2 | 0,219 | 0,1661 |
| 1,5 | 0,231 | 0,1958 |
| 2,0 | 0,246 | 0,2290 |
| 2,5 | 0,258 | 0,2490 |
| 3,0 | 0,267 | 0,2630 |
| 4,0 | 0,282 | 0,2810 |
| 5,0 | 0,291 | 0,2910 |
| 10,0 | 0,312 | 0,3120 |
| ∞ | 0,333 | 0,3330 |

*Elaboración 1 Propia
Fuente 1 [12]*

Flexión elástica

El esfuerzo normal causado por la flexión elástica de un elemento es normalmente designado con frecuencia como esfuerzo de flexión, este verifica si el esfuerzo es compresión (<0) por encima del eje neutro (y>0) cuando el momento M es positivo, y de tensión (>0) cuando M es negativo [12].

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_m = \frac{Mc}{\frac{1}{12}bh^3}$$

Donde:

Mc: Momento flector.

I: Inercia, determinada como $(1/12)(b)(h)^3$.

Materiales

Las partes expuestas deben contener la menor cantidad posible de magnesio, aluminio, titanio o aleaciones de estos metales, ya que en caso de impacto estos pueden producir chispas por fricción, lo que significa un riesgo según sea la actividad que estén realizando [13].

Deben aguantar manipulación por parte del usuario durante su utilización en la jornada laboral, además que estos materiales no deben provocar ningún tipo de reacción alergia y deberán ser cómodos para el rostro.

Válvula(s) de exhalación

La(s) válvulas de exhalación deberán ser resistente a la suciedad y daños mecánicos que se pueda producir, estas deben continuar funcionando correctamente después de ponerse a prueba en un caudal continuo de exhalación de 300 l/min durante 30s [14].

Cuando la válvula de exhalación esté montada en el adaptador facial esta tendrá que soportar una fuerza de tracción de 50N aplicada axialmente durante periodo de tiempo de 10s. Para ello el respirador debe montarse de una forma segura en un anclaje como se muestra en la siguiente imagen:

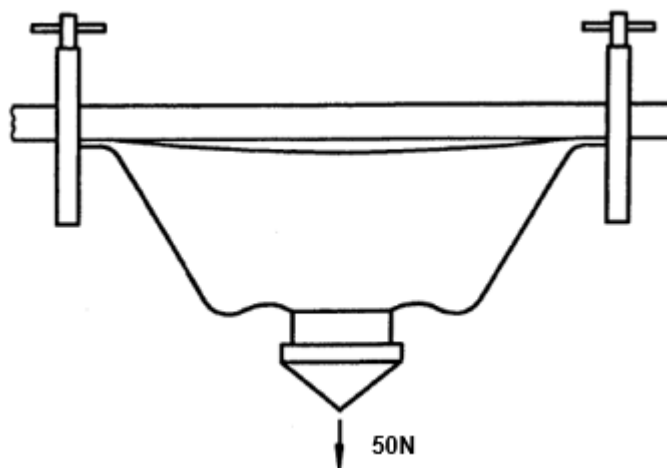


Imagen 4 Respirador para el ensayo de resistencia a la tracción.
Fuente 2 [14]

Clasificación

Los respiradores de mediana cara y cuartos de cara tienen como función principal proteger al usuario ante la inhalación de contaminantes ambientales como son las partículas suspendidas de polvo, también evitan la transmisión de fluidos y de agentes infecciosos, es decir, microorganismos presentes en la boca, nariz o garganta por parte del usuario que tiene puesto el respirador [15].

La norma europea UNE-EN 149:2001 +A1:2009 establece 3 categorías o niveles de protección, estos son: FFP1, FFP2, FFP3. En función de la eficacia de filtración:

Tabla 2 Resistencia a la respiración

| Clasificación | Resistencia máxima permitida (mbar) | | |
|---------------|-------------------------------------|----------|------------|
| | Inhalación | | Exhalación |
| | 30 l/min | 60 l/min | 160 l/min |
| FFP1 | 0,6 | 2,1 | 3,0 |
| FFP2 | 0,7 | 2,4 | 3,0 |
| FFP3 | 1,0 | 3,0 | 3,0 |

Elaboración 2 Propia

Fuente 3 [14]

Acondicionamiento térmico

Los respiradores filtrantes media cara deben someterse al siguiente ciclo térmico:

Durante 24 h a una atmósfera seca de (70 ± 3) °C.

Durante 24 h a una temperatura de (-30 ± 3) °C.

Respirador reutilizable de media cara multifuncional con entrada para suministrar oxígeno en casos de emergencia y reducir los peligros de exposición

El respirador reutilizable es un dispositivo hecho de materiales que aguantan la manipulación cuya función es proteger al trabajador durante su jornada laboral de partículas suspendidas en el aire, en este caso son partículas de, para el diseño de un respirador reutilizable de media cara multifuncional se llevará a cabo mediante una matriz morfológica que permita comparar las opciones de diseño y englobar todas las posibles combinaciones concebibles.

En la matriz morfológica se tomará encuentra una entrada para suministrar oxígeno en casos de emergencia esto tiene por finalidad reducir los peligros de exposición en los que el usuario se ve expuesto cuando sucede una emergencia ya que normalmente durante un evento así al trabajador de le debe quitar el respirador para colocarle una mascarilla de oxígeno, con este nuevo diseño se evitará tomar esas medidas ya que se le podrá suministrar oxígeno a través de una entrada que este posee mejorando así la calidad del aire que se respira y logrando un tiempo de respuesta más rápido ante una acontecimiento imprevisto además que se moverá lo menos posible a la persona.

4.2.1. Bases legales

4.2.1.1. Norma UNE-EN 140:1999

Esta norma europea tiene por objetivo especificar aquellos requisitos mínimos que se deben cumplir por las medias máscaras y cuartos de máscara para ser utilizados como parte de los equipos de protección respiratoria. También nos dice que un equipo de protección respiratoria solo podrá aprobarse cuando sus componentes individuales cumplan con aquellos requisitos que se especifiquen en los ensayos que esta brinda; si por alguna razón no se ensaya el equipo completo, es válido realizar una simulación del equipo siempre que y cuando características respiratorias y la distribución del peso sean similares a las de un equipo completo [13].

4.2.1.2. Norma UNE-EN 149:2001+A1:2009

Esta norma al igual que la UNE-EN 140:1999 tiene por objetivo especificar los requisitos mínimos que deberán cumplir las medias máscaras y cuartos de máscara, se diferencia en que esta nos ayuda a clasificar los tipos de respiradores en función a su rendimiento.

4.3. Definición de términos básicos

Diseño de respirador reutilizable multifuncional

El término respirador es un término general, existen varios tipos ya sea como purificador de aire o de suministro de aire; los purificadores de aire son los encargados de eliminar las partículas suspendidas en el aire tales como polvo además son los más apropiados para utilizarse en ambientes con un nivel de contaminación bajo y con un buen nivel de oxígeno; mientras que los de suministro de aire son los que suministran oxígeno a través de un cilindro portátil o desde una fuente remota y son utilizados en ambientes peligrosos donde el nivel de oxígeno no es el apropiado [16]

En la presente investigación se realizará el diseño de un respirador media de cara reutilizable multifuncional el cual se colocará desde la parte inferior del mentón hasta la parte superior de la nariz, funcionará con dos cartuchos para filtrar partículas que se encuentren en el aire los cuales serán desechables una vez que hayan cumplido su vida útil, también contará con una válvula para la salida del CO₂ y una entrada que comúnmente se encuentra en las mascarillas de oxígeno, dicha entrada servirá para aplicar ventilación no invasiva en casos de emergencia con el fin de reducir el tiempo de actuar ante cualquier imprevisto.

Normalización UNE-EN

UNE-EN es Una Norma Española-European Norm que tiene por objetivo especificar los procedimientos y requisitos mínimos que deben cumplir ciertos sectores y organizaciones para la elaboración de distintos productos o rutinas.

SolidWorks Flow Simulation

SolidWorks Flow Simulation es una herramienta que puede simular con mucha precisión el flujo de fluidos, así como transferencia de calor y fuerzas de los fluidos fundamentales, esta herramienta incluye diferentes soluciones tales como: Dinámica de fluidos computacional (CFD), análisis de flujo de fluidos, factores de comodidad térmica, gestión térmica de dispositivo electrónicos, visualización de simulación y análisis térmico de fluidos [17].

Casos de emergencia

Una situación o caso de emergencia es cuando se presenta un evento incontrolado de gran riesgo capaz de producir daño tanto a las instalaciones del centro laboral como a las personas que se encuentren en él ya sea de corto a largo plazo, claro está que no solo puede producirse en un centro de trabajo, para contrarrestar este tipo de situaciones se necesita una actuación rápida y organizada, los trabajadores o personas que se encuentren en esta situación de emergencia deben seguir las indicaciones del equipo de emergencia.

4.4. Impacto de las alergias en el rendimiento del trabajador

Las alergias profesionales conllevan un impacto negativo en el trabajador debido a que estas no lo dejan desarrollarse de manera correcta dentro de su ámbito laboral por lo que no será capaz de terminar a tiempo las tareas que le fueron encargadas trayendo como consecuencia el estrés.

Franya F. y Norvin M. [18] 2016, en su tesis de titulación indica que el estrés es considerado la primera causa de la ausencia laboral por se ve afectada la disminución y deterioro de la productividad, uno de sus principales síntomas es la cefalea, es decir, dolor de cabeza intenso acompañado con la pesadez, lo cual genera que los trabajadores normalmente pierdan entre uno a cuatro días de trabajo al año. En términos de porcentaje esto afecta a un 16% de las mujeres y un 7% de los hombres.

En Sudamérica no se ha estudiado mucho esa realidad, en Chile un estudio muestra que los trabajadores contratados a cambio de un sueldo que son sometidos a ciertos factores que provocan estrés laboral tienen mayores posibilidades de parecer de depresión. Otro estudio realizado el 2019 en 6 países de Latinoamérica (Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela, Panamá y Honduras) con un total de 2492 participantes, todos trabajadores de múltiples empresas que realizan labores de campo, operarios y administrativas fueron entrevistados teniendo un total de 2608 preguntas respondidas [19].

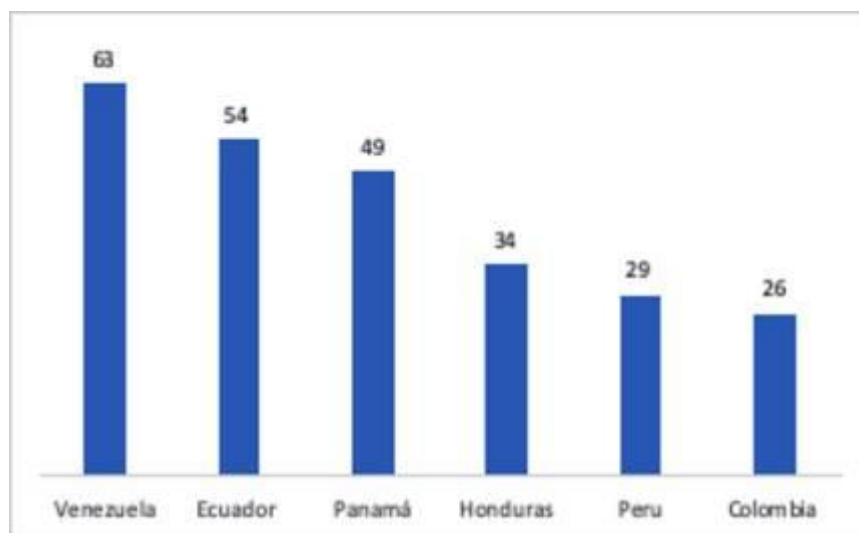


Imagen 5 Porcentaje de estrés en 6 países de Latinoamérica
Fuente 4 [19]

Venezuela es el país con mayor estrés laboral teniendo un 63% pero esto también se debe a su contexto político que viene atravesando en los últimos años, le sigue Ecuador con 54%, Panamá con un 49%, Honduras con 34%, Perú con un 29% y Colombia con un 26% siendo el país con menor índice de estrés laboral.

En mayo del 2019 el Ministerio de Salud del Perú estimó que entre un 20 y 25 % de la población sufre de algún tipo de alergia profesional y el estudio mostrado revela que en el Perú un 29% de trabajadores sufren de estrés laboral por lo que se puede hacer una relación de la alergia profesional respecto al estrés laboral.

4.5. Ventilación no invasiva (VNI) y ventilación invasiva (VI)

La ventilación no invasiva es aquella en la que se emplea mascarilla y da soporte respiratorio sin la necesidad de intubación endotraqueal su aplicación se da en pacientes agudos y crónicos. Este tipo de ventilación ofrece una gran ventaja ya que se evita la intubación, la sedación, es bastante cómoda y mejora la calidad de vida.

Los más comerciales son los de cuidados intensivos, pero en los últimos años se han ido desarrollando y comercializando respiradores más económicos y eficaces similares a los usados en UCI. Existen grandes variedades de equipos que van desde los más simples hasta los más complejos que tienen monitorización de curvas, alamas, etc. Los respiradores más usados en Europa son los oronasaes los cuales cubren la nariz y boca, se emplean en el 70% de pacientes de VNI, aunque estas al igual que ventajas tiene también inconvenientes como [20]:

Tabla 3 Principales ventajas e inconvenientes de la VNI

| Respirador | Ventaja | Incovenientes |
|------------|---|---|
| Nasal | <ul style="list-style-type: none"> - Permite hablar y comer - Expectoración más fácil - Fácil colocación y fijación - Menor claustrofobia - Menor riesgo de aspiración | <ul style="list-style-type: none"> - Fugas bucales - Mayor resistencia l flujo aéreo - Menor efectividad si hay obstrucción nasal - Sequedad de la boca - Irritación nasal |
| Oronasal | <ul style="list-style-type: none"> - Mejor control de fugas bucales - Más efectivas en pacientes agudos | <ul style="list-style-type: none"> - Mayor riesgo de aspiración - Imposibilidad de comer o expectorar - Mayor espacio muerto |

*Elaboración 3 Propia
Fuente 5 [20]*

La ventilación invasiva tiene los mismos fines que la VNI, es decir, suplantar la función respiratoria con el fin de influir en la mecánica pulmonar. Esta ventilación es compleja si la comparamos con la no invasiva pues en esta es necesario realizar una intubación traqueal al paciente para lo cual es necesario el uso de sedantes, lo que genera una mayor incomodidad para el usuario [10].

4.6. Materiales empleados en el diseño de respiradores

Para la selección y desarrollo de los materiales se debe tener en cuenta un conjunto de fases las cuales comprenden:

- Identificación de la necesidad, que es la carencia de algo imprescindible, es decir necesario.
- Diseño conceptual, se constituye de un proceso creativo y mental en el cual se realiza búsquedas para determinar una relación morfológica que dé solución al diseño del respirador.
- Diseño de formulación, en esta etapa se organiza lo conseguido en la etapa anterior estableciendo los planes y fines para solucionar los problemas y satisfacer las necesidades del usuario.
- Diseño en detalle, se define y desarrolla el diseño de los componentes que integrarán al respirador.

El material seleccionado debe cumplir con ciertos requisitos como: Inagotable, barato, rígido, resistente al desgaste y cambios de temperatura, biodegradable y no debe causar reacciones alérgicas. Por ello es que se usan métodos para tener una mejor aproximación al material más adecuado, estos métodos se basan en parámetros físicos, térmicos y mecánicos [21]. Existen más parámetros los cuales se detallan en las siguientes tablas:

Tabla 4 Lista de propiedades insensibles a la microestructura

| Propiedades insensibles a la microestructura |
|---|
| Densidad |
| Módulo de elasticidad, E |
| Conductividad térmica |
| Coefficiente de expansión térmica lineal |
| Punto de fusión, Tf |
| Temperatura de transición vítrea, Tv para polímeros |
| Costo por unidad de masa |

*Elaboración 4 Propia
Fuente 6 [21]*

Tabla 5 Lista de propiedades sensibles a la microestructura

| Propiedades sensibles a la microestructura |
|--|
| Resistencia (fluencia, tracción, etc.) |
| Ductilidad |
| Tenacidad a la fractura |
| Fatiga y propiedades cíclicas |
| Termofluencia |
| Impacto |
| Dureza |

*Elaboración 5 Propia
Fuente 7 [21]*

Tabla 6 Otras propiedades de los materiales

| Otras propiedades |
|-------------------|
| Conformabilidad |
| Maquinabilidad |

*Elaboración 6 Propia
Fuente 8 [21].*

Ya que existen muchos parámetros que influyen al momento de elegir un material es recomendable seleccionar las propiedades que sean más relevantes de acuerdo a la función en la que se empleará el diseño. Hay tres métodos para la selección de los materiales: Método tradicional, método gráfico y método con ayuda de base de datos.

4.6.1. Método tradicional

El método tradicional o también conocido como materiales de ingeniería de partes similares consiste en seleccionar el material más adecuado basándose en la experiencia de la persona que esté realizando un diseño. Este método da buenos resultados porque da seguridad respecto al material usado en vista de que es un material que se ha usado antes, se conocen tanto sus características como su comportamiento por lo que no es necesario realizar tantos estudios para el mismo, el material cuenta con una disponibilidad asegurada ya que sería un material comercial, todo esto conlleva un significativo ahorro de tiempo. Es un método bastante práctico, pero en ciertas ocasiones conllevan problemas ya que al no realizarse muchos estudios sobre su comportamiento en el ambiente que será empleado el material, puede provocar serios problemas.

4.6.2. Método gráfico

El método gráfico está diseñado para usarse en la etapa conceptual, consiste en el uso de mapas de materiales o también conocido como diagrama de Ashby, pueden hacer una aproximación al material más adecuado de acuerdo a la familia de materiales que este pertenezca:

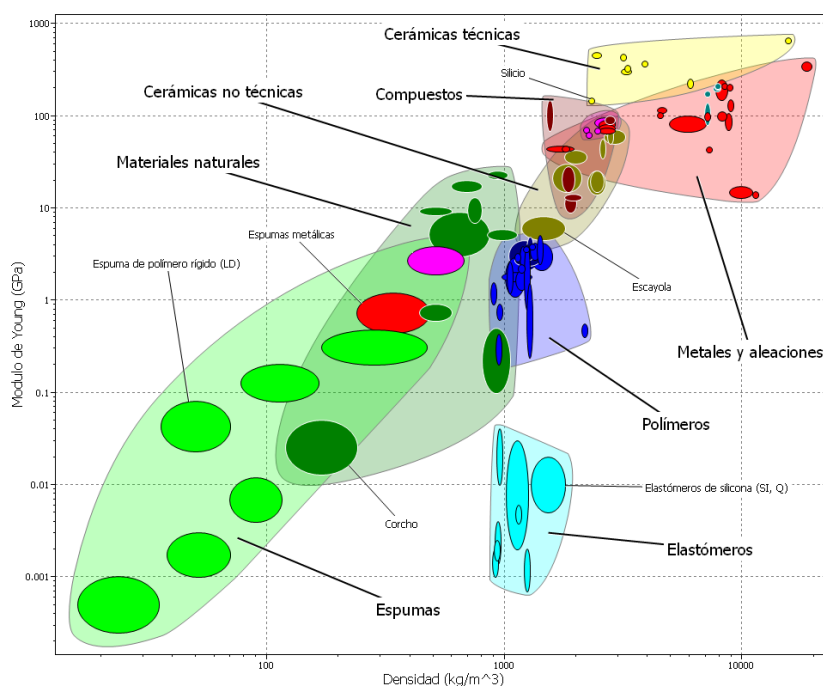


Imagen 6 Mapa de materiales
Fuente 9 [22]

El comportamiento de un material va depender de varias propiedades, los mapas de materiales relacionan propiedades como resistencia, módulos de elasticidad, tenacidad, conductividad térmica, densidad, etc.

4.6.3. Método con ayuda de base de datos

El método con ayuda de base de datos consiste en determinar un material de acuerdo a los resultados de distintas investigaciones ya sea ensayos de materiales, tesis, o cualquier otra búsqueda que se realice en fuentes confiables. Las bases de datos pueden ser numéricas o literarias; las más importantes para materiales se encuentran en la ASTM, la NASA, la AISI, la EN, etc. Otra fuente de información se puede hacer mediante el software CES EduPack el cual es el más conocido y empleado para la selección de materiales ya que es la herramienta más completa, en su base datos se puede encontrar más de 3 000 materiales, más de 200 procesos, notas técnicas e información de todos estos materiales y procesos.

4.7. Matriz de ponderación

Esta matriz es una herramienta que facilita la selección de materiales en base a criterios que estarán dados por la satisfacción y necesidades de los usuarios, a su vez consisten en un arreglo de filas y columnas, la cual se usa para seleccionar y/o jerarquizar ciertas opciones, Para ponderar elementos se tendrá una escala cuantitativa de 1= Muy malo; 2=Malo; 3= Regular; 4= Bueno y 5= Muy bueno.

Tabla 7 Matriz de ponderación

| P= Puntaje | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|----|------------|----|------------|----|------------|----|----------------|----|--|
| 1= Muy malo; 2=Malo; 3= Regular; 4= Bueno; 5= Muy bueno | | | | | | | | | | | |
| Pc= Ponderación de criterio | | | | | | | | | | | |
| Variantes de evaluación | | | Material 1 | | Material 2 | | Material 3 | | Material ideal | | |
| N° | Criterios de evaluación | Pc | P | Pc | P | Pc | P | Pc | P | Pc | |
| 1 | Densidad | | | | | | | | | | |
| 2 | Durabilidad a soluciones acuosas | | | | | | | | | | |
| 3 | Durabilidad a ácidos | | | | | | | | | | |
| 4 | Moldeabilidad | | | | | | | | | | |
| 5 | Maquinabilidad | | | | | | | | | | |
| 6 | Alargamiento | | | | | | | | | | |
| Puntaje | | | | | | | | | | | |
| Orden de selección | | - | | | | | | | | - | |

Elaboración 7 Propia

Para la ponderación de criterio inicial, se le asignará un valor del 1 al 5 dependiendo de qué tan bueno queremos que sea el material que escojamos, el Pc de cada material resultara de la multiplicación del P del material por el Pc inicial.

4.8. Matriz morfológica de Zwicky

Para determinar el diseño se debe realizar una técnica de selección adecuada con el fin de generar ideas, esta técnica es la matriz morfológica de Fritz Zwicky, consiste generar una lista de partes para colocarlos en la fila una tabla luego llenar las columnas con una lluvia de ideas, mediante flechas unir las partes y obtener diferentes resultados para luego elegir el más viable.

V. Metodología

5.1. Nivel de investigación

5.1.1. Tipo y diseño de la investigación

Es una investigación del tipo aplicada ya que se emplearán conocimientos previamente adquiridos con el fin de dar solución a los problemas antes mencionados.

5.1.2. Según el nivel de profundización en el objetivo de estudio

Esta tesis tiene un alcance descriptivo y explicativo porque se describirá el problema además se determinarán las causas y consecuencias del mismo para así llegar a determinar una solución.

5.1.3. Según el grado de manipulación de las variables

Consistirá en una investigación no experimental.

5.2. Población y muestra de estudio

La unidad de estudio es el respirador reutilizable de media cara multifuncional y la población serán todos los respiradores reutilizables y mascarillas de oxígeno convencionales que existen en el mercado.

5.3. Delimitación de la investigación

La presente investigación abarcará el diseño de un respirador reutilizable de media cara multifuncional bajo la normalización UNE-EN 140:1999 con entrada para suministrar oxígeno en casos de emergencia que servirá para utilizarse en actividades de minería subterránea.

5.4. Variables operacionales

Tabla 8 Variable independiente

| VARIABLES | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES | UNIDAD |
|--|--|---|--|---|---|
| Variable independiente Diseño de un respirador reutilizable de media cara multifuncional | Es un dispositivo hecho de materiales que aguantan la manipulación cuya función es proteger al trabajador durante un periodo de tiempo | Diseño de un respirador reutilizable de media cara multifuncional mediante una matriz morfológica | Clasificación en función de su rendimiento y de su fuga hacia el interior total máxima | Carga Longitud Ancho Espesor | N/mm ² mm mm mm |

Elaboración 8 Propia

Tabla 9 Variable dependiente

| VARIABLES | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES | UNIDAD |
|--|--|--|---------------------|---|-------------------|
| Variable dependiente Suministrar oxígeno en casos de emergencia y reducir los peligros de exposición | En una situación de emergencia no se debe exponer al usuario a un ambiente contaminado por lo tanto no hay que retirar el respirador | El diseño permitirá suministrar oxígeno sin la necesidad de retirar el respirador lo que protegerá al trabajador y se logrará un tiempo de atención más rápido | Sumistro de oxígeno | Resistencia a la respiración Flujo volumétrico | mbar l/min |

Elaboración 9 Propia

5.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información

Tabla 10 Técnicas e instrumentos de recopilación de información

| Objetivos Específicos | Técnica | Instrumento | Fuente o información |
|---|---|---|---------------------------|
| 1. Identificar alergias respiratorias que sufren los profesionales en el trabajo, tamaño de partículas existentes y los niveles máximos permisibles en los socavones de minas | Análisis de la documentación | Trabajos de investigación / informes | Universidades/ sitios web |
| 2. Seleccionar los materiales que serán empleados para el diseño del respirador. | Mediantes análisis de la composición y sus propiedades | Investigación | Norma UNE-EN 140:1999 |
| 3. Diseñar los componentes del respirador reutilizable de media cara según los parámetros establecidos en la normalización UNE-EN 140:1999. | Mediante cálculos matemáticos | Diseño mecánico usando el software CAD CAE SolidWorks | Norma UNE-EN 140:1999 |
| 4. Simular el respirador reutilizable multifuncional con la herramienta SolidWorks Flow Simulation. | Simulación del flujo interno y Resistencia máxima permitida | Utilizando la herramienta SolidWorks Flow | Norma UNE-EN 140:1999 |

Elaboración 10 Propia

VI. Desarrollo y resultados

6.1. Alergias respiratorias, tamaño de partículas y niveles máximos permisibles

6.1.1. Alergias respiratorias que sufren los profesionales en el trabajo

Polette C. y Fernanda V. [23] 2017, en su trabajo de titulación desarrolla un estudio sobre la rinitis alérgica siendo la alergia más común producto de distintos factores como por ejemplo países donde la manufactura se lleva a gran escala por consecuencia se generan agentes contaminantes como humos provocados también está el transporte de vehículos y la quema de desechos de varios tipos que alteran el aire, trayendo por consecuencia distintos tipos de enfermedades alérgicas las cuales afectan a las personas en especial los trabajadores que se encuentran cerca o dentro de este ambiente.

En Latinoamérica el número de personas que sufren de rinitis alérgica es cifra muy elevada, pues solo en Ecuador se estima que entre en 10% y 20% de la población padece de esta alergia, se calcula que en unos 10 años estas mismas personas son propensas a sufrir de asma si es que no siguen un tratamiento adecuado [23]. El 2019 en Perú se estimó que entre un 20% y 25% de la población a nivel nacional muestra rinitis alérgica, tan solo en lima el 25% de los cuídanos sufren de esta [24]. En otras ciudades el índice es menor pero no deja de ser

un serio problema ya que la exposición a varias partículas contaminantes altera de manera severa el aparato respiratorio, cabe precisar que si una persona es fumadora ya sea pasivo o activo, sus probabilidades de sufrir algún tipo de alguna alergia profesional son mayores.

Existen distintos factores, estos pueden ser:

- Ácaros en el polvo los cuales están presente en cualquier estación.
- La existencia de una ventilación inadecuada por lo que se presenta una acumulación del polvo y humedad.
- El cambio brusco de temperatura también puede producir alergias respiratorias, por ello los trabajadores deben usar la vestimenta adecuada en caso estos cambios sean inevitables.
- Factores hereditarios.
- Trabajadores del sector agrícola, jardineros, obreros y minera son los más afectados por la presencia de partículas contaminantes en el aire.
- Polvo de Granos.

La rinitis es una alergia en la cual la mucosa nasal se inflama, esta puede presentar los siguientes síntomas:

- Nariz tapada (congestión nasal).
- Moco nasal transparente.
- Estornudos.
- Picazón nasal.
- Conjuntivitis (lagrimeo, picazón o enrojecimiento).

La rinosinusitis generalmente es la complicación de una rinitis, esta se da como la inflamación de las cavidades nasales y senos paranasales producto de cuerpos extraños en el sistema respiratorio, presenta los siguientes síntomas [25]:

- Obstrucción unilateral nasal.
- Rinorrea o también llamada secreción nasal.
- Fetidez nasal.
- Epistaxis, el cual es una hemorragia nasal.
- Dolor de cabeza.

La faringitis es caracterizada por ser una enfermedad bacteriana o infección viral a la faringe la cual es el conducto muscular que une la nariz con la boca, tráquea y esófago. Su principal causa en un 70% a 80% es una infección vírica o bacteriana [26], como se mencionó anteriormente existen ácaros en el polvo los cuales se encuentran presente en cualquier estación y pueden ser un factor que influye en esta infección. La faringitis presenta los siguientes síntomas:

- Dolor de garganta.
- Sequedad en la garganta.
- Dolor de cabeza.
- Fiebre.
- Voz ronca.
- Dolores musculares.
- Ganglios inflamados.

6.1.2. Tamaño y tipo de partículas

Existen 3 tipos de partículas de polvo: Inhalable, torácica y respirable; los tipos y tamaños de las partículas inhaladas va depender mucho de las labores en las que se desempeña el trabajador, las más comunes son: industria maderera, industria de la construcción y mineras.

6.1.2.1. Polvo de madera

Las partículas que son generadas al trabajar con madera pueden producir una serie de daños al personal de trabajo si estos no usan las medidas de seguridad correctas, por ello es muy importante identificar el tamaño de las partículas que se generan, cabe precisar que se producirá mayor o menor cantidad de acuerdo al trabajo que se realice, por ejemplo. Se va producir una mayor cantidad de polvo cuando se realiza un lijado que cuando se hace un corte.

Tabla 11 Tamaño de partículas en industrias de madera

| Tamaño de las partículas | Capacidad de penetración en el organismo |
|--------------------------|---|
| >100 micras | No pueden inhalarse |
| 100-50 micras | Fracción inhalable. Suelen retenerse en la nariz y garganta |
| <50 micras | Puede penetrar hasta los pulmones |
| <5 micras | Pueden penetrar hasta los alvéolos pulmonares |

1 micra= 0.001mm

*Elaboración 11 Propia
Fuente 10 [27]*

Cuando el tamaño de la partícula es mayor a 100 micras esta es inhalable, cuando su tamaño se encuentra entre 100 a 50 micras entonces al inhalarla es retenida en la nariz y garganta, si es menor a 50 micras llegará a los pulmones y si es menor a 5 micras entonces esta puede penetrar hasta los alvéolos pulmonares trayendo efectos nocivos para la salud.

6.1.2.2. Polvo en obras de construcción

En las obras de construcción existen tres tipos de polvos: Polvos procedentes de los mismos materiales de construcción, polvo causado por las actividades durante la construcción y polvo producidos por los vehículos que se emplean en la construcción.

Tabla 12 Tamaño de partículas en obras de construcción

| Tamaño de las partículas | Capacidad de penetración en el organismo |
|--------------------------|---|
| ≥50 micras | No pueden inhalarse |
| 10-50 micras | Retención en la nariz y garganta |
| ≤5 micras | Pueden penetrar hasta los alvéolos pulmonares |

1 micra= 0.001mm

*Elaboración 12 Propia
Fuente 11 [28]*

Las partículas de polvo en obras de construcción son menores que el de industrias de madera debido a que estas tienen un peso molecular mayor.

6.1.3. Niveles máximos permisibles en la minería

Según Carlos B. [29] 2020, el polvo en la minería se genera por distintas fuentes como plantas chancadoras, transporte, tolvaneras u otras operaciones de fabricación. Las partículas

pueden contener metales pesados como el plomo; con el fin de conservar el ambiente lo más limpio y seguro posible el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) establece Límites máximos permisibles de los elementos y compuestos que se encuentran presentes en las emisiones gaseosas provenientes de las unidades minero-metalúrgicas:

Tabla 13 Niveles máximos permisibles de calidad del aire en las minas

| Parámetro | Concetración | Concetración | Concetración |
|--------------------------|---|--|---|
| | Media Aritmética diaria $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm) | Media Aritmética anual $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm) | Media Geométrica diaria $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm) |
| Anhídrido Sulfuroso | 572 (0,2)* | 172 (0,06) | - |
| Partículas en Suspensión | 350* | - | 150 |
| Plomo | - | 0,5 | - |
| Arsénico | 6 | - | - |

(*) No debe ser excedido más de una vez al año

Además deberá considerarse

- Concentración Mensual de Plomo = $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

- Concentración de Arsénico en 30 minutos = $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$

(no debe ser excedido más de una vez al año).

Elaboración 13 Propia

Fuente 12 [30]

En las partículas en suspensión se tiene un nivel máximo permisible de $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de concentración media aritmética diaria y una media geométrica de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Los estudios mostrados en los distintos trabajos de investigación revelan unas cifras alarmantes respecto a los trabajadores que sufren de alergias profesionales y como estas afectan en su rendimiento laboral pues solo en el 2019 el Ministerio de Salud estimó que un 25% sufre solo de rinitis alérgica producto de ácaros en el polvo, ventilación inadecuada, etc.

Otro estudio sobre factores asociados al estrés laboral en trabajadores muestra que en el Perú el 29% de los trabajadores sufren de estrés laboral, por lo que se puede deducir que las alergias profesionales influyen mucho en ello ya que existe un porcentaje de estos que sufren de algún tipo de alergia respiratoria.

Se analizaron diferentes tipos de partículas para realizar una comparación de estos con los que se encuentran en la minería y se determinó que en los trabajos de construcción se considera que el polvo no puede inhalarse a partir de las 100 micras caso que no sucede en industrias que trabajan con madera ya que en ellas a partir de las 50 micras no puede ser inhalado, esto se debe a los distintos tipos de polvos que producen las actividades. Por ello la minería determina límites máximos permisibles para las partículas en suspensión:

Tabla 14 Nivel máximo permisible de partículas en suspensión en las minas

| Parámetro | Concetración | Concetración | Concetración |
|-----------------------------|---|--|---|
| | Media Aritmética diaria $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm) | Media Aritmética anual $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm) | Media Geométrica diaria $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm) |
| Partículas en Suspensión | 350* | - | 150 |

(*) No debe ser excedido más de una vez al año

Elaboración 14 Propia

Fuente 13 [30]

6.2. Selección de los materiales

Basándonos en el método tradicional el cual es un método basado en la experiencia de la persona, seleccionaremos 3 polímeros para compararlos en una matriz de ponderación y lograr determinar el material más adecuado para el respirador, los polímeros son:

- Policloruro de vinilo (PVC).
- Polietileno de baja densidad (LDPE).
- Polipropileno (PP).

Con la ayuda del software CES EduPack observaremos sus características y haremos una comparación entre ellas para definir mejor la matriz de consistencia en la que se tendrán seis criterios de selección:

Tabla 15 Matriz de evaluación de polímeros

| P= Puntaje | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|----|-----------------------------|-----|-------------------------------------|-----|--------------------|-----|----------------|-----|
| 1= Muy malo; 2=Malo; 3= Regular; 4= Bueno; 5= Muy bueno | | | | | | | | | | |
| Pc= Ponderación de criterio | | | | | | | | | | |
| Variantes de evaluación | | | Policloruro de vinilo (PVC) | | Polietileno de baja densidad (LDPE) | | Polipropileno (PP) | | Polimero ideal | |
| Nº | Criterios de evaluación | Pc | P | Pc | P | Pc | P | Pc | P | Pc |
| 1 | Densidad | 5 | 5 | 25 | 4 | 20 | 3 | 15 | 5 | 25 |
| 2 | Durabilidad a soluciones acuosas | 5 | 5 | 25 | 5 | 25 | 5 | 25 | 5 | 25 |
| 3 | Durabilidad a ácidos | 5 | 4 | 20 | 5 | 25 | 5 | 25 | 5 | 25 |
| 4 | Moldeabilidad | 5 | 5 | 25 | 5 | 25 | 5 | 25 | 5 | 25 |
| 5 | Maquinabilidad | 5 | 4 | 20 | 4 | 20 | 3 | 15 | 5 | 25 |
| 6 | Alargamiento | 5 | 3 | 15 | 5 | 25 | 4 | 20 | 5 | 25 |
| Puntaje | | 30 | 26 | 130 | 28 | 140 | 25 | 125 | 30 | 150 |
| Orden de selección | | - | 2 | | 1 | | 3 | | - | |

Elaboración 15 Propia

Podemos observar que el polímero que más se acerca al ideal es el Polietileno de baja densidad (LDPE) este es un polímero que cuenta con estructura de cadenas ramificadas lo cual provoca que posea una densidad baja y por ende un peso menor, se denomina LDPE por sus siglas en inglés Low Density PolyEthylene. Se usa normalmente para bolsas de plástico, tapas flexibles, alambres, cables, equipos de protección como son los cascos, rodilleras, coderas, respiradores, etc.

Dentro de los equipos de protección respiratoria tenemos el respirador 3M serie 3000 el cual se encuentra fabricado del material antes mencionado:



Imagen 7 Respirador 3M-SERIE 3000

Para saber el material de que se encuentra compuesto este respirador debemos buscar un reloj dentro del mismo y ver que numero es el que señala.



Imagen 8 Material del respirador 3M-SERIE 3000

Observamos que señala el número 10 que es un polietileno de baja densidad (LDPE).

6.3. Diseño de los componentes

6.3.1. Criterios para la selección y diseño de los componentes

Para llevar a cabo la selección de los componentes del respirador reutilizable de media cara en base a las cuatro alternativas se tendrá en cuenta siete criterios:

Función

La inhalación y exhalación que se dé a través del respirador debe ser la adecuada y no presentar ningún tipo de obstrucción.

Diseño

Para el diseño se debe tener en cuenta la innovación de la entrada para suministrar oxígeno en casos de emergencia.

Materiales

Los materiales que se emplearán deben ser comerciales además de que estos deben ser ligeros y flexibles.

Tamaño

El tamaño se relaciona al espacio que ocupará el respirador de media cara y debe estar en función con los tamaños de otros respiradores ya hechos.

Ergonomía

Debe estar adaptado a las características anatómicas del hombre, con el fin de no generar ningún tipo de lesión en el rostro.

Montaje









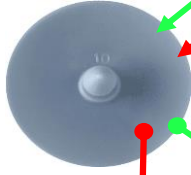





Debe tener un fácil montaje sin la necesidad de pedir ayuda a otra persona para colocarse el respirador.





Limpieza

Para que el respirador dure el tiempo estimado con el cual fue diseñado, se debe llevar a cabo una correcta limpieza para garantizar una buena función del mismo.

6.3.2. Matriz morfológica

Tabla 16 Matriz morfológica

| Parte | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | Alternativa 4 |
|-----------------------|---|---|--|---|
| Cuerpo |  |  |  |  |
| Arnés |  |  |  | |
| Valvula de exhalación |  |  | | |
| Entrada de inhalación |  |  |  |  |
| Entrada de oxigeno |  |  |  |  |

| Tipo de Linea | Concepto de solución |
|---|----------------------|
|  | 1 |
|  | 2 |
|  | 3 |
|  | 4 |

Elaboración 16 Propia

6.3.2.1. Alternativa 1

Consiste en un respirador compuesto de distintos materiales con un arnés que sujeta desde la válvula de exhalación la cual tendrá una forma rectangular, las entradas para la inhalación de aire en las cuales irán los filtros serán dos de tipo rosca y la entrada de oxígeno tendrá la de forma fija una manguera para la administración del mismo.

6.3.2.2. Alternativa 2

Consiste en un respirador compuesto de un solo materiales con un arnés que sujeta de los costados, tiene una válvula de exhalación la cual tendrá una forma redonda, las entradas para la inhalación de aire en las cuales irán los filtros será una de tipo rosca y la entrada de oxígeno tendrá la de forma fija una manguera para la administración del mismo.

6.3.2.3. Alternativa 3

Consiste en un respirador compuesto de un solo materiales con un arnés que sujeta de los costados, tiene una válvula de exhalación la cual tendrá una forma rectangular, las entradas para la inhalación de aire en las cuales irán los filtros serán dos de tipo encaje y la entrada de oxígeno tendrá la de forma fija una manguera para la administración del mismo.

6.3.2.4. Alternativa 4

Consiste en un respirador compuesto de un solo materiales con un arnés que sujeta de los costados, tiene una válvula de exhalación la cual tendrá una forma redonda, las entradas para la inhalación de aire en las cuales irán los filtros serán dos de tipo encaje y la entrada de oxígeno tendrá una boquilla en la cual entrará la manguera para suministrar el mismo en casos de emergencia.

6.3.3. Evaluación de los conceptos de solución

Tabla 17 Evaluación técnica

| P= Puntaje | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|----|------------|-----|------------|-----|------------|-----|------------|-----|----------|-----|
| 1= Muy malo; 2=Malo; 3= Regular; 4= Bueno; 5= Muy bueno | | | | | | | | | | | | |
| Pc= Ponderación de criterio | | | | | | | | | | | | |
| Variantes de evaluación | | | Solución 1 | | Solución 2 | | Solución 3 | | Solución 4 | | S. Ideal | |
| N° | Criterios de evaluación | Pc | P | Pc | P | Pc | P | Pc | P | Pc | P | Pc |
| 1 | Función | 4 | 4 | 16 | 4 | 16 | 4 | 16 | 4 | 16 | 5 | 20 |
| 2 | Diseño | 5 | 4 | 20 | 4 | 20 | 3 | 15 | 5 | 25 | 5 | 25 |
| 3 | Materiales | 5 | 4 | 20 | 4 | 20 | 4 | 20 | 4 | 20 | 5 | 25 |
| 4 | Tamaño | 4 | 3 | 12 | 4 | 16 | 3 | 12 | 5 | 20 | 5 | 20 |
| 5 | Ergonomía | 5 | 4 | 20 | 4 | 20 | 4 | 20 | 4 | 20 | 5 | 25 |
| 6 | Montaje | 4 | 4 | 16 | 5 | 20 | 5 | 20 | 5 | 20 | 5 | 20 |
| 7 | Limpieza | 4 | 3 | 12 | 4 | 16 | 5 | 20 | 4 | 16 | 5 | 20 |
| Puntaje máximo ΣP o ΣPc | | 31 | 26 | 116 | 29 | 128 | 28 | 123 | 31 | 137 | 35 | 155 |
| Valor técnico xi | | - | 0,75 | | 0,83 | | 0,79 | | 0,88 | | 1,00 | |
| Orden de selección | | - | 4 | | 2 | | 3 | | 1 | | - | |

Elaboración 17 Propia

Tabla 18 Evaluación económica

| P= Puntaje | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|----|------------|-----|------------|-----|------------|-----|------------|-----|----------|-----|
| 1= Muy malo; 2=Malo; 3= Regular; 4= Bueno; 5= Muy bueno | | | | | | | | | | | | |
| Pc= Ponderación de criterio | | | | | | | | | | | | |
| Variantes de evaluación | | | Solución 1 | | Solución 2 | | Solución 3 | | Solución 4 | | S. Ideal | |
| N° | Criterios de evaluación | Pc | P | Pc | P | Pc | P | Pc | P | Pc | P | Pc |
| 1 | Función | 4 | 4 | 16 | 4 | 16 | 4 | 16 | 4 | 16 | 5 | 20 |
| 2 | Diseño | 5 | 3 | 15 | 4 | 20 | 5 | 25 | 5 | 25 | 5 | 25 |
| 3 | Materiales | 5 | 4 | 20 | 5 | 25 | 4 | 20 | 4 | 20 | 5 | 25 |
| 4 | Tamaño | 4 | 3 | 12 | 4 | 16 | 3 | 12 | 5 | 20 | 5 | 20 |
| 5 | Ergonomía | 5 | 4 | 20 | 4 | 20 | 4 | 20 | 4 | 20 | 5 | 25 |
| 6 | Montaje | 3 | 4 | 12 | 5 | 15 | 5 | 15 | 5 | 15 | 5 | 15 |
| 7 | Limpieza | 3 | 3 | 9 | 4 | 12 | 5 | 15 | 4 | 12 | 5 | 15 |
| Puntaje máximo ΣP o ΣPc | | 29 | 25 | 104 | 30 | 124 | 30 | 123 | 31 | 128 | 35 | 145 |
| Valor económico y_i | | - | 0,67 | | 0,8 | | 0,79 | | 0,83 | | 1,00 | |
| Orden de selección | | - | 4 | | 2 | | 3 | | 1 | | - | |

Elaboración 18 Propia

Tabla 19 Evaluación total

| | Solución 1 | Solución 2 | Solución 3 | Solución 4 | S. Ideal |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|----------|
| Valor técnico x_i | 0,75 | 0,83 | 0,79 | 0,88 | 1,00 |
| Valor económico y_i | 0,67 | 0,8 | 0,79 | 0,83 | 1,00 |

Elaboración 19 Propia

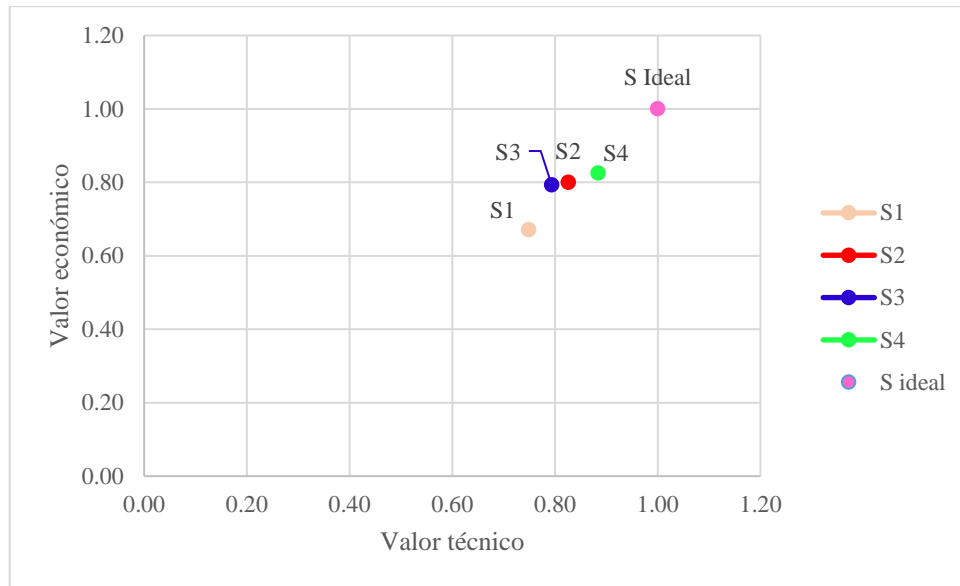


Imagen 9 Diagrama de evaluación final técnico – económica

Con la ayuda del análisis técnico económico llegamos a la conclusión de que el diseño más óptimo es la solución número 4 o también llamada alternativa 4.

6.3.4. Modelamiento CAD

6.3.4.1. Cuerpo del respirador

El cuerpo del respirador se diseñará según la alternativa escogida con ayuda de la matriz morfológica, es a este cuerpo que se añadirá una entrada por la cual se podrá suministrar oxígeno al usuario en caso el mismo lo requiera.

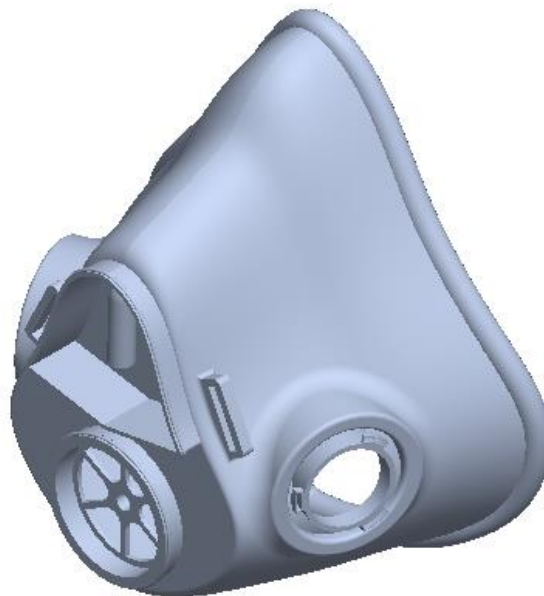


Imagen 10 Cuerpo del respirador

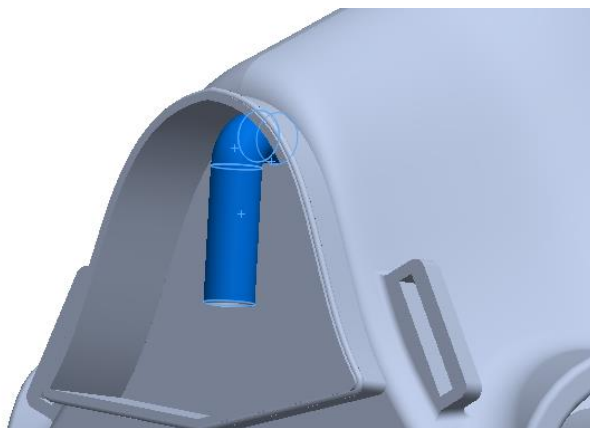


Imagen 11 Entrada para la manguera de oxígeno

6.3.4.2. Tapa de exhalación

Como todo respirador, este tiene una válvula antirretorno por la cual se expulsa el CO₂, dicha válvula cuenta con una tapa en el exterior para proteger la válvula e impedir que partículas de polvo puedan obstruir con la válvula.

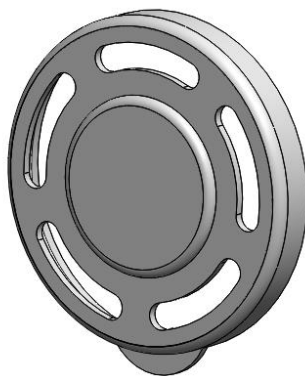


Imagen 12 Tapa de exhalación

6.3.4.3. Tapa del oxígeno

La entrada para suministrar oxígeno se encontrará protegida por una tapa con el fin de preservar la función de los filtros.

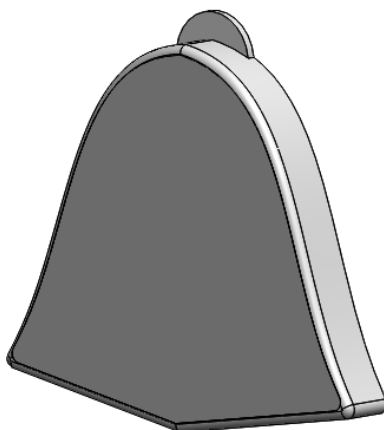


Imagen 13 Tapa para la entrada de oxígeno

6.3.4.4. Filtros

Los filtros que se usarán dependerán del usuario ya actualmente el mundo atraviesa una pandemia la cual ha causado muchas pérdidas humanas, por ellos en el cuerpo del respirador se elaboraron dos entradas para filtros estándar, con el fin de que puedan ponerles filtros KN95 y prevenir el SARS-CoV-2.

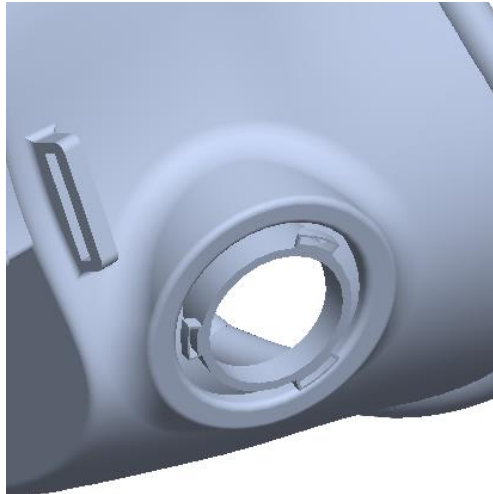


Imagen 14 Entrada para los filtros

6.3.4.5. Arnés o bandas de ajuste

Las bandas de ajuste no se han considerado en el diseño, pero la entrada del respirador para las mismas de tamaño es estándar; estas generalmente se encuentran están fabricadas de un elastómero termoplástico.

6.3.4.1. Clip nasal

El clip nasal se encuentra fabricado de aluminio para que este pueda moldearse a la forma del usuario.

6.3.4.2. Válvula de exhalación

La válvula de exhalación será la 6889 3M.

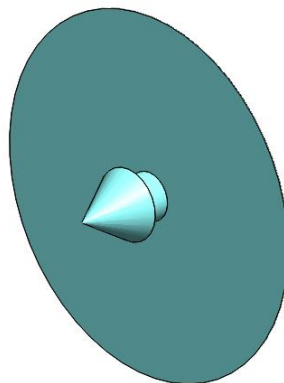


Imagen 15 Válvula de exhalación

6.3.4.3. Diseño final

El diseño final consiste en el ensamblaje de todas las piezas descritas anteriormente, por lo que obtendremos el siguiente producto:

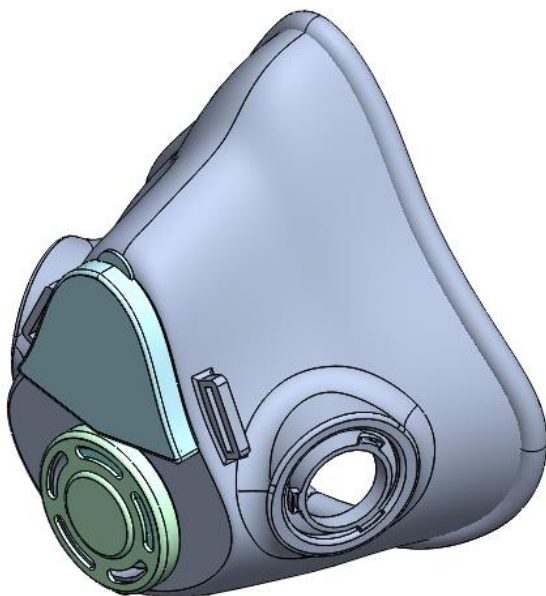


Imagen 16 Diseño final del respirador

6.4. Cálculos teóricos

Se llevará a cabo un cálculo para conocer el esfuerzo al que se encuentra sometida la parte de las sujeciones del respirador, según indica la norma UNE-EN: 140:1999 el respirador desde soportar una fuerza perpendicular de 50N, a continuación, se presentan dos imágenes ilustrativas con las fuerzas que intervienen en las sujeciones y la sujeción a estudiar:

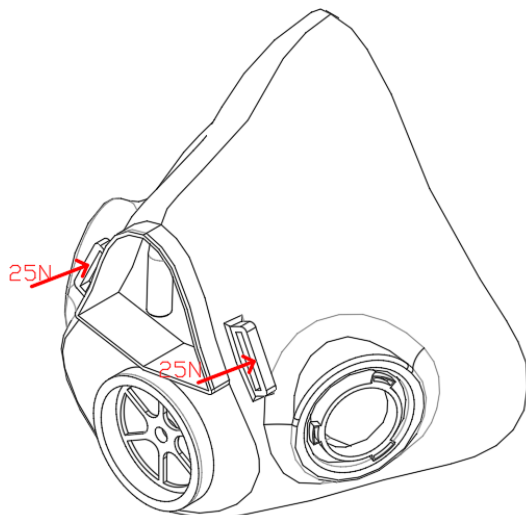


Imagen 17 Fuerza perpendicular de 50N en el respirador

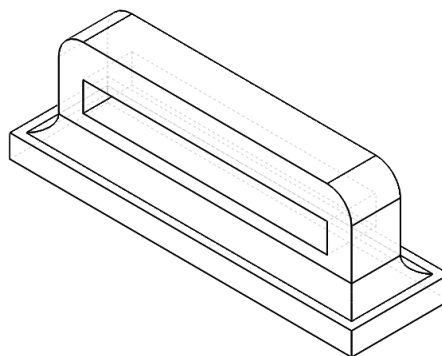


Imagen 18 Sujeción a estudiar

Dividiremos la pieza para analizar los puntos más críticos y determinar los tipos de esfuerzos están actuando sobre la misma.

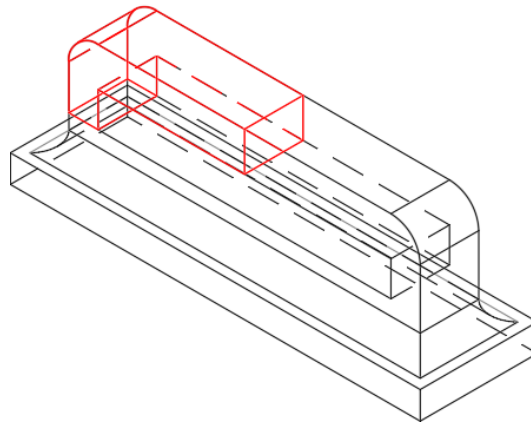


Imagen 19 Área de interés

Se puede apreciar en el diagrama el corte de la pieza en dos partes, lo que da como resultado un nuevo diagrama ilustrativo con una fuerza distinta, exactamente la mitad, debido a que solo se encuentra trabajando un lado de la pieza, por ende, una sola reacción en el eje Y.

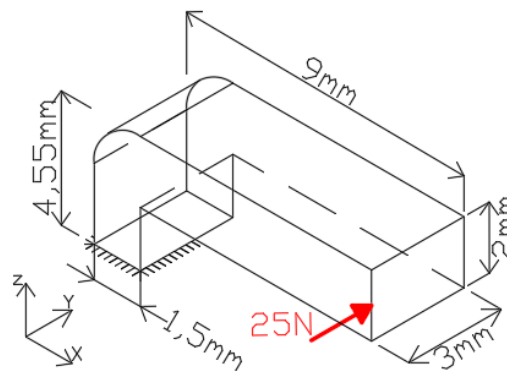


Imagen 20 D.C.L. de la sujeción

En el DCL se pueden apreciar las fuerzas y torsión presentes en los diferentes ejes de coordenadas, tratándose de un caso de cargas combinadas:

Eje Y: Se presenta una fuerza de 25N en dirección negativa.

Eje X: Se presenta torsión en sentido antihorario la cual se halla multiplicando la fuerza de 25N y la distancia en Z desde donde se aplica la fuerza y el punto 0,0 de coordenadas, que es de 8,25mm:

$$M_x = (8,25\text{mm})(25\text{N})$$

$$M_x = 206,25\text{N mm}$$

Eje Z: En este eje se presenta un momento flector, este se halla multiplicando la fuerza de 25N y la distancia en X desde donde se aplica la fuerza y el punto 0,0 de coordenadas, que es 3,55mm:

$$M_z = (3,55\text{mm})(25\text{N})$$

$$M_z = 88,75\text{N mm}$$

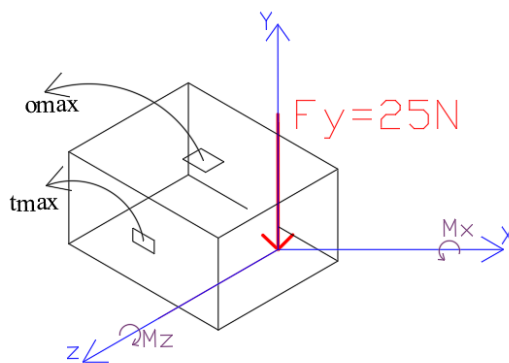


Imagen 21 D.C.L.

Una vez calculadas los diferentes tipos de fuerzas que se aplican en la sujeción, se pasa a escoger el punto a analizar, en este caso se escogieron dos puntos que serán llamados punto A y punto B, el punto A el cual se encuentra ubicado en el plano Z, X. y el punto B que está ubicado en el plano Y, X.

Se puede apreciar que el punto A será sometido a esfuerzo cortante por torsión y tracción debido a que la flexión, cabe mencionar que la fuerza en el eje Y no presentará corte en ese punto debido a que la fuerza está siendo aplicada perpendicularmente al plano.

En el punto B la situación cambia, si bien es cierto que el esfuerzo cortante por torsión también estará presente, el esfuerzo por flexión es nulo debido a que el punto está ubicado en el eje neutro del elemento, la fuerza en el eje Y si presentará un esfuerzo cortante en este punto.

Culminando este paso, se precede a calcular los diferentes esfuerzos mencionados anteriormente:

Para el punto A

Esfuerzo cortante máximo por torsión, el cual ocurre a lo largo de línea central de la cara más ancha de la barra.

$$c_1 = \frac{a}{b}$$

$$c_1 = \frac{3}{1,5}$$

$$c_1 = 2$$

Tabla 20 Coeficiente de torsión

| a/b | c ₁ | c ₂ |
|------|----------------|----------------|
| 1,0 | 0,208 | 0,1406 |
| 1,2 | 0,219 | 0,1661 |
| 1,5 | 0,231 | 0,1958 |
| 2,0 | 0,246 | 0,2290 |
| 2,5 | 0,258 | 0,2490 |
| 3,0 | 0,267 | 0,2630 |
| 4,0 | 0,282 | 0,2810 |
| 5,0 | 0,291 | 0,2910 |
| 10,0 | 0,312 | 0,3120 |
| ∞ | 0,333 | 0,3330 |

$$\begin{aligned}\tau_{m\acute{a}x} &= \frac{T}{c_1 ab^2} \\ \tau_{m\acute{a}x} &= \frac{206,25 N mm}{(0,246)(3mm)(1,5mm)^2} \\ \tau_{m\acute{a}x} &= 124,21 N/mm^2 \\ \tau_{m\acute{a}x} &= 124,21 MPa\end{aligned}$$

Esfuerzo de compresión por flexión, el cual es inversamente proporcional al módulo elástico.

$$\begin{aligned}\sigma_{flexión} &= \frac{Mc}{I} \\ \sigma_{flexión} &= \frac{(88,75 N mm)(1,5mm)}{\left(\frac{1}{12}\right)(3mm)(2mm)^3} \\ \sigma_{flexión} &= \frac{(88,75 N mm)(1,5mm)}{2mm^4} \\ \sigma_{flexión} &= 66,563 N/mm^2 \\ \sigma_{flexión} &= 66,563 MPa\end{aligned}$$

Para el punto B

El esfuerzo por torsión es el mismo que en el punto; para el esfuerzo por fuerza cortante; el área transversal del sólido es $A=2bc$.

$$\begin{aligned}\tau_{por fuerza} &= \left(\frac{3}{2}\right)\left(\frac{V}{A}\right)\left(1 - \frac{y^2}{c^2}\right) \\ \tau_{por fuerza} &= \left(\frac{3}{2}\right)\left(\frac{25N}{(2)(1,5mm)(1,5mm)}\right)\left(1 - \frac{(0,75mm)^2}{(1,5mm)^2}\right) \\ \tau_{por fuerza} &= 6,25 N mm^2 \\ \tau_{por fuerza} &= 6,25 MPa\end{aligned}$$

Hallamos el esfuerzo total el cual es: \sum Esfuerzo cortante máximo por torsión + esfuerzo por fuerza cortante.

$$\begin{aligned}\tau_{total} &= \tau_{m\acute{a}x} + \tau_{por fuerza} \\ \tau_{total} &= 124,21 MPa + 6,25 MPa \\ \tau_{total} &= 130,46 MPa\end{aligned}$$

6.5. Simulación del respirador

6.5.1. Análisis Estático

La simulación se realizará respetando lo establecido en la Norma UNE-EN: 140:1999, primero se llevará a cabo un análisis estático bajo carga axial aplicando una fuerza 50N en las sujeciones de los arneses para determinar si estos son capaces de soportar la fuerza que ejercen los mismos al momento de usarse el respirador.

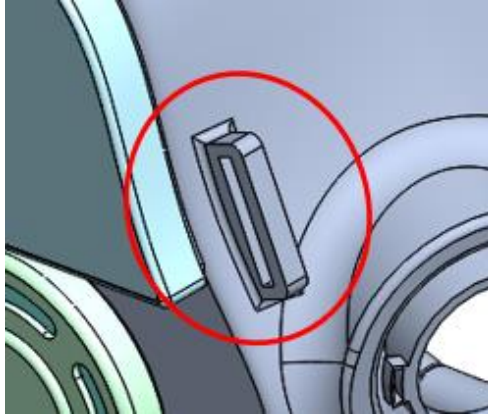


Imagen 22 Superficie a simular

Aplicaremos una carga axial de 25N ya que, al ser dos sujeciones, la fuerza de 50N se distribuye uniformemente en la superficie donde va el arnés.

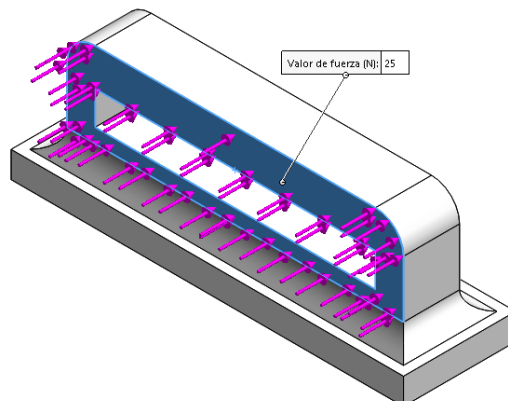


Imagen 23 Carga de 25N

Definimos las partes fijas

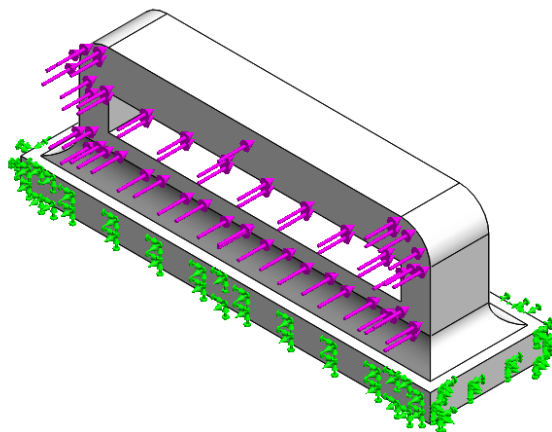


Imagen 24 Geometría fija

Definimos el material escogido mediante el método tradicional con ayuda de base de datos, el cual es Polietileno de baja densidad (LDPE) y luego procedemos a realizar el mallado.

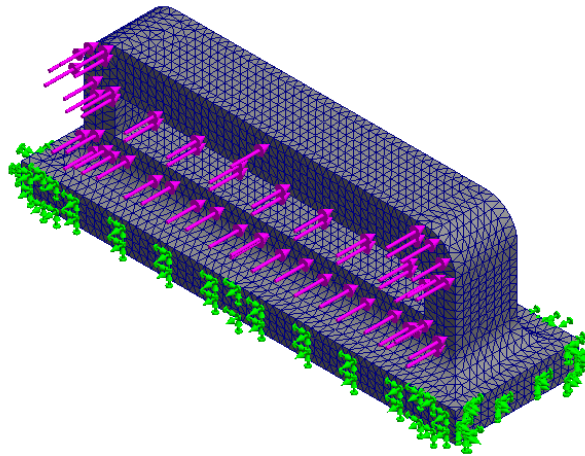


Imagen 25 Mallado

Esfuerzos

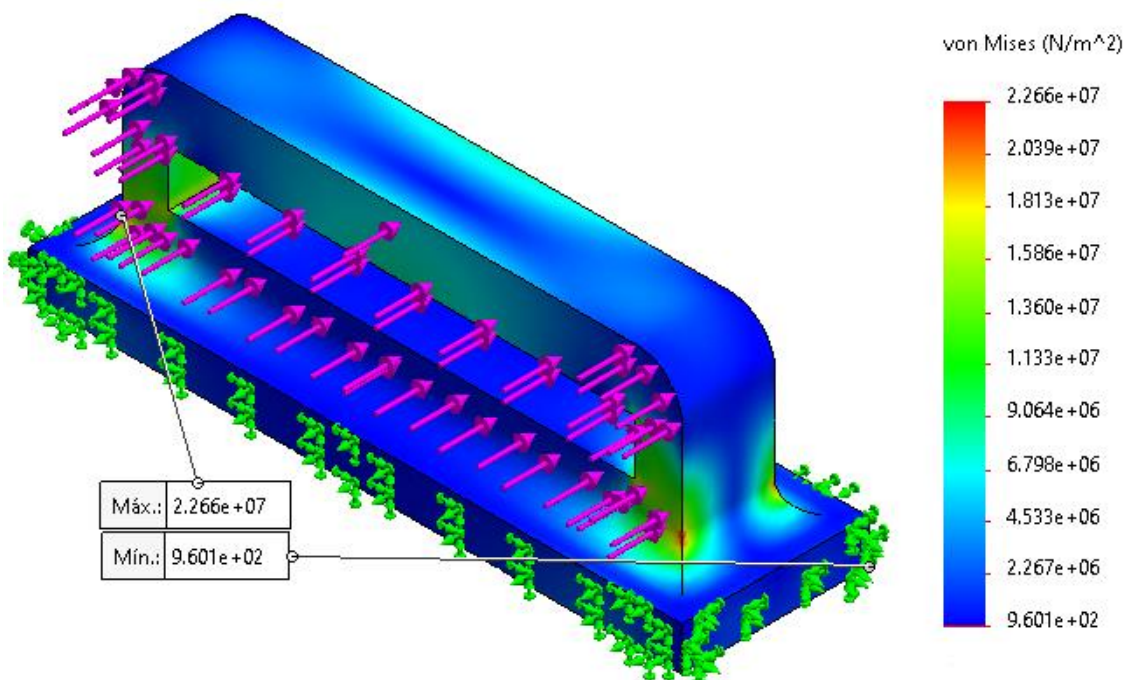


Imagen 26 Esfuerzo normales

La sujeción después de haberse sometido a una carga de 25N da como resultado un esfuerzo máximo de 22.66MPa.

Desplazamientos

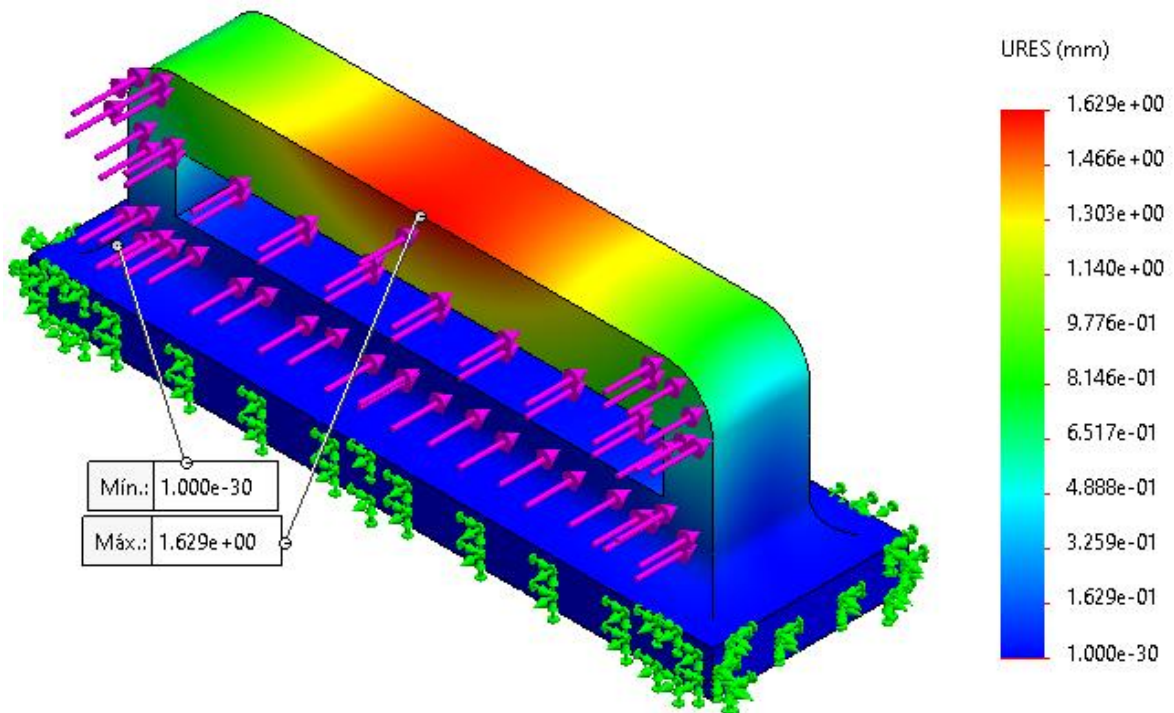


Imagen 27 Desplazamientos

Los desplazamientos del mecanismo según la simulación, da un desplazamiento máximo de 1,62 mm y uno mínimo de 1,0e-30mm.

Deformaciones unitarias

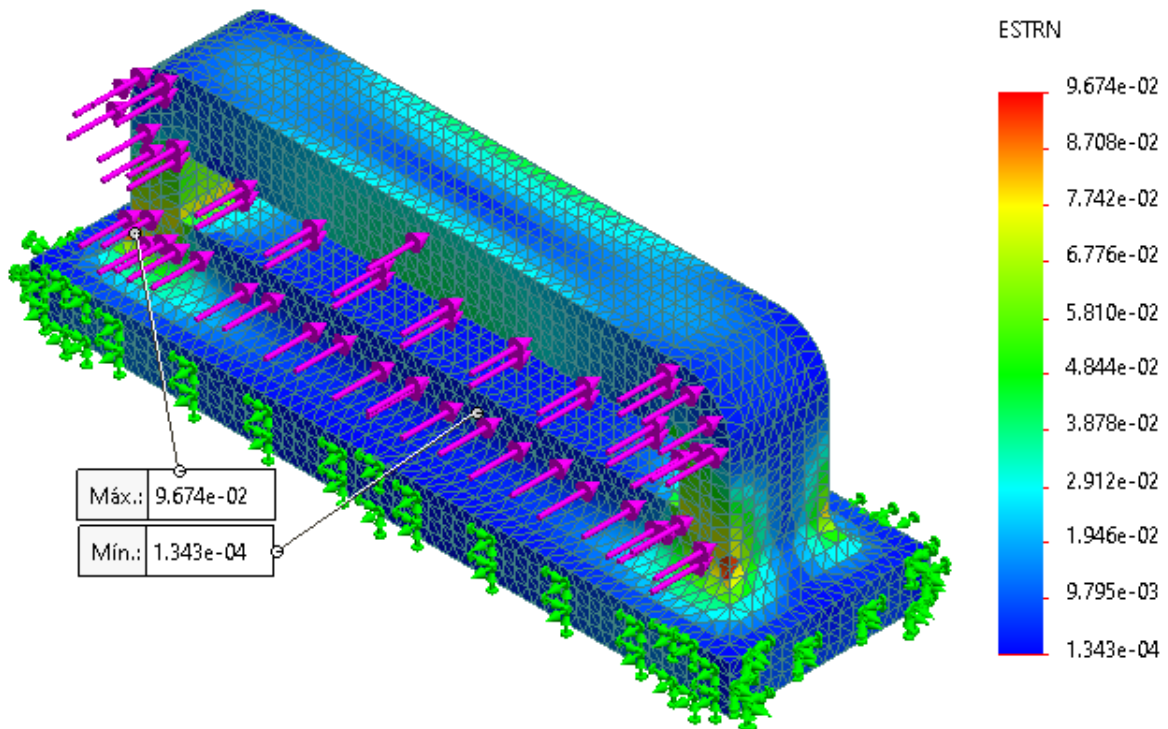


Imagen 28 Deformaciones unitarias

Después de haberse realizado la simulación se obtuvo una deformación unitaria máxima de 0,09674.

Factor de seguridad

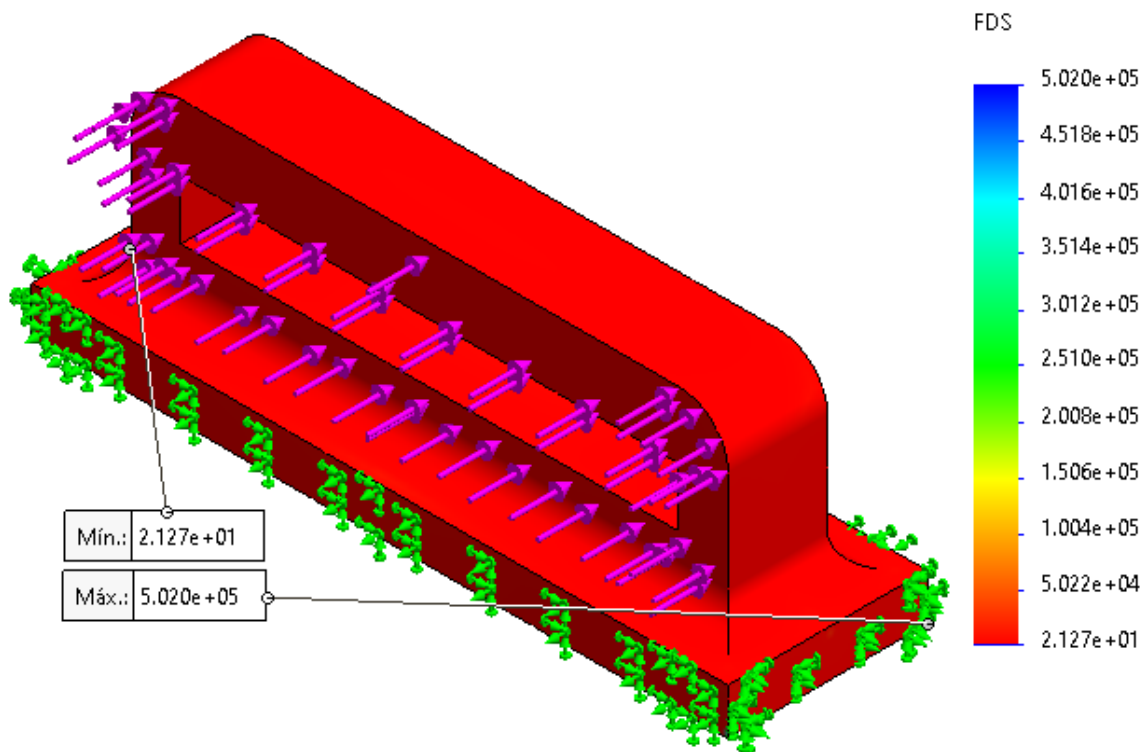


Imagen 29 Factor de seguridad

Después de determinar los esfuerzos, deformaciones unitarias y desplazamientos, se debe hacer un análisis de factor de seguridad para determinar si la pieza será capaz de soportar las cargas antes mencionadas; este análisis nos dio un factor de seguridad mínimo de 21,27 lo que significa que la sujeción será más que capaz de soportar el uso constante del usuario.

6.5.2. Simulación con Flow Simulation

A continuación, se llevará a cabo la simulación mediante la herramienta de SolidWorks 2020 Flow Simulation, la misma que consistirá en análisis interno para saber el comportamiento del fluido (aire) dentro del respirador, por ello debemos crear del respirador un volumen cerrado.

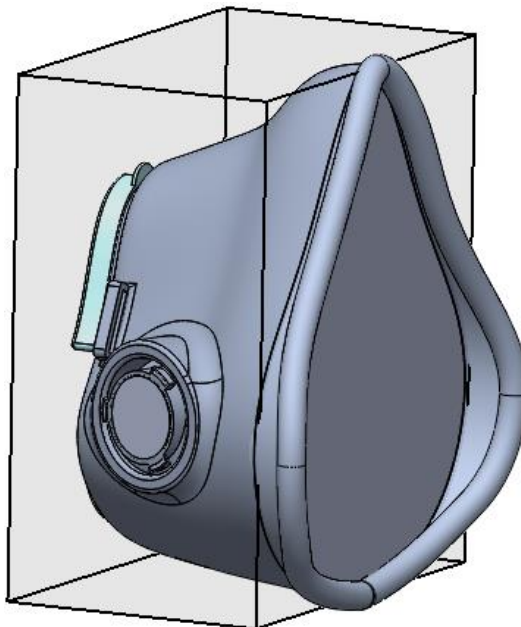


Imagen 30 Respirador con volumen cerrado

Se tendrá en cuenta un caudal continuo de 95 l/min que equivale a $0,00158333\text{m}^3/\text{s}$ según indica la norma UNE-EN 140:1999.

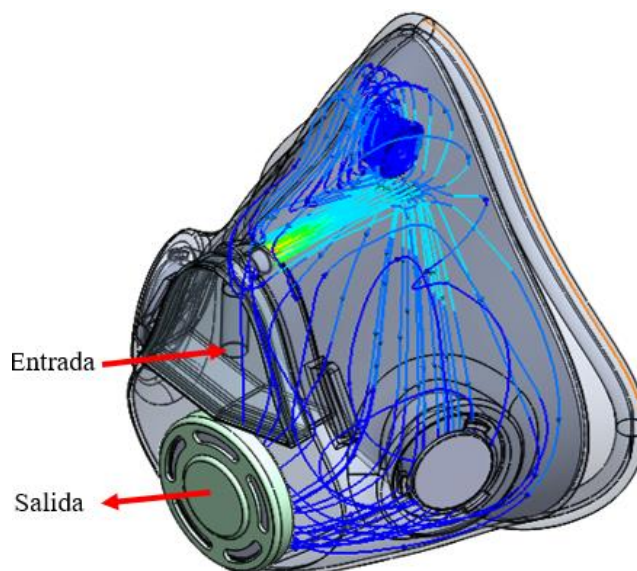


Imagen 31 Comportamiento del fluido

Se puede observar que el fluido ingresa por la entrada para suministrar oxígeno en caso de emergencia, después este tiene su mayor concentración donde se ubica la nariz con el fin de que el usuario pueda inhalarlo sin ningún inconveniente, para finalmente ser expulsado por la válvula de salida la cual opone una muy baja resistencia para evacuar el fluido desde el interior del respirador junto al CO_2 .

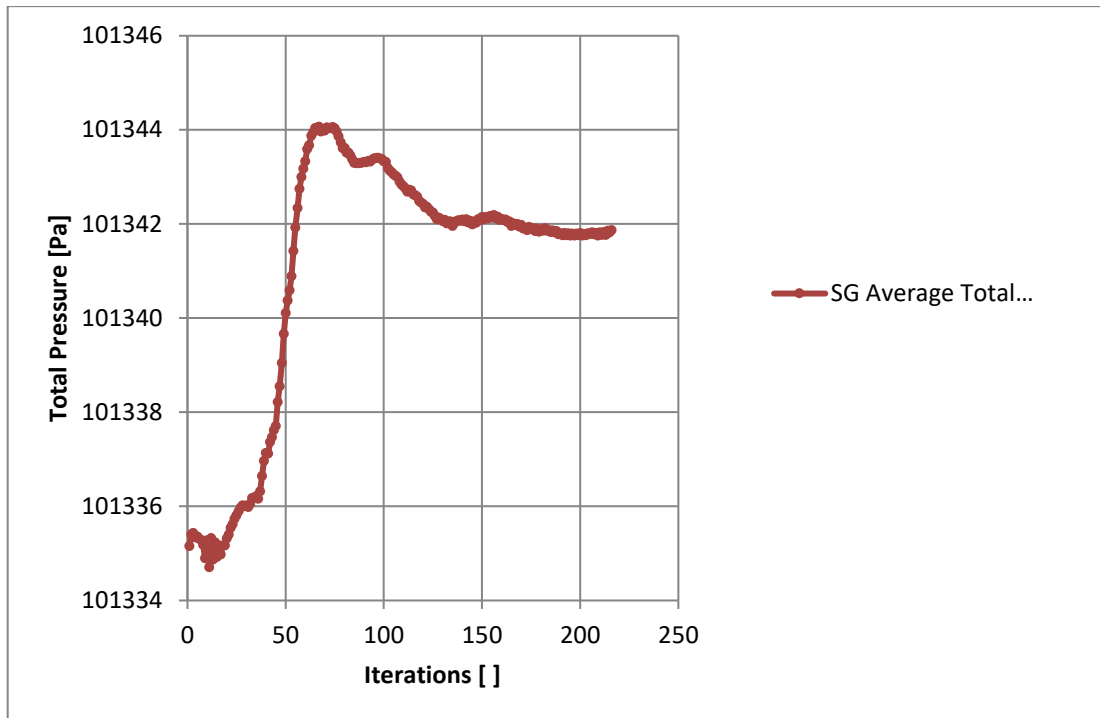


Gráfico 1 Presión total

Según los resultados de la simulación se obtiene una presión total mínima de 101341,75 Pa y un valor máximo de 101341,86 Pa, sacando promedio obtendremos un valor de 101341,81 Pa.

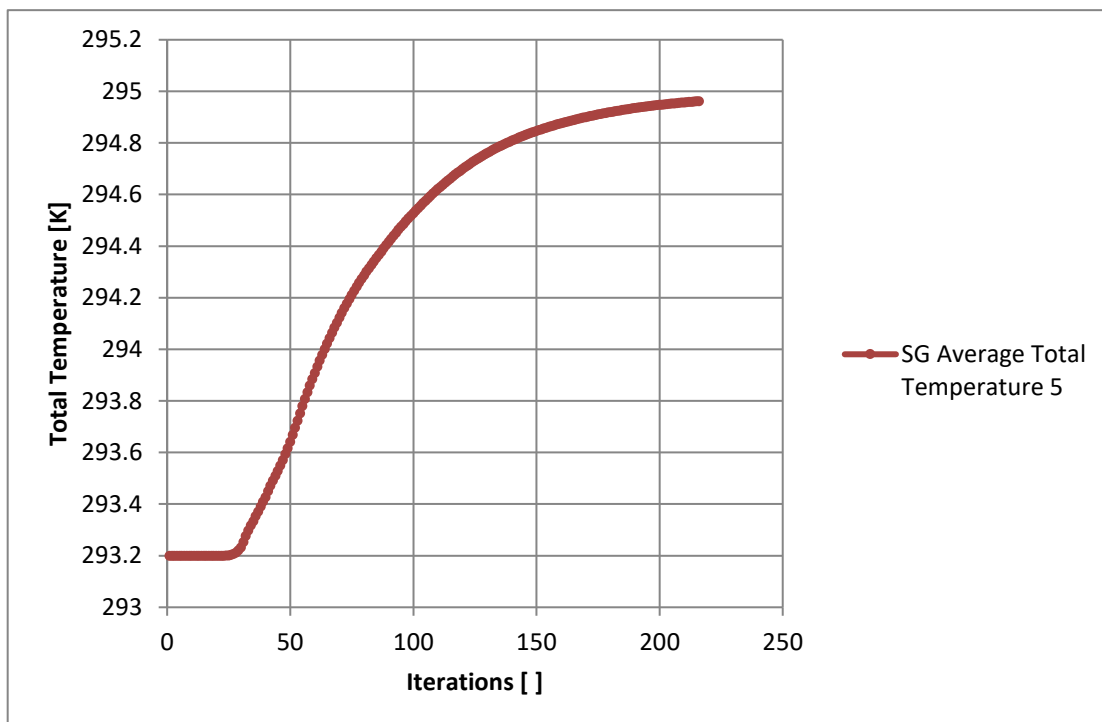


Gráfico 2 Temperatura total

La temperatura mínima es de 294,94 K que equivale a 21,79°C, temperatura máxima 294,96 K, es decir, 21,81°C. Obtenemos una temperatura promedio de 21,80°C.

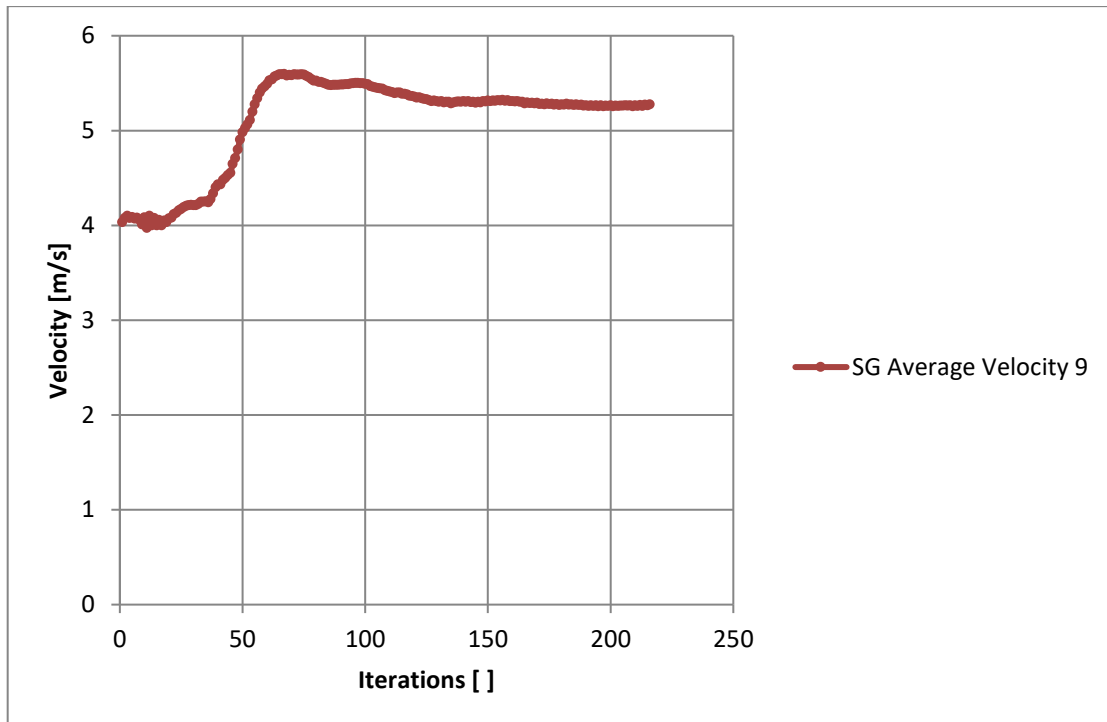


Gráfico 3 Velocidad del fluido

Producto de la simulación obtenemos una velocidad máxima 5,27 m/s, una mínima de 5,26 m/s; promediando obtendremos una velocidad de 5,27m/s.

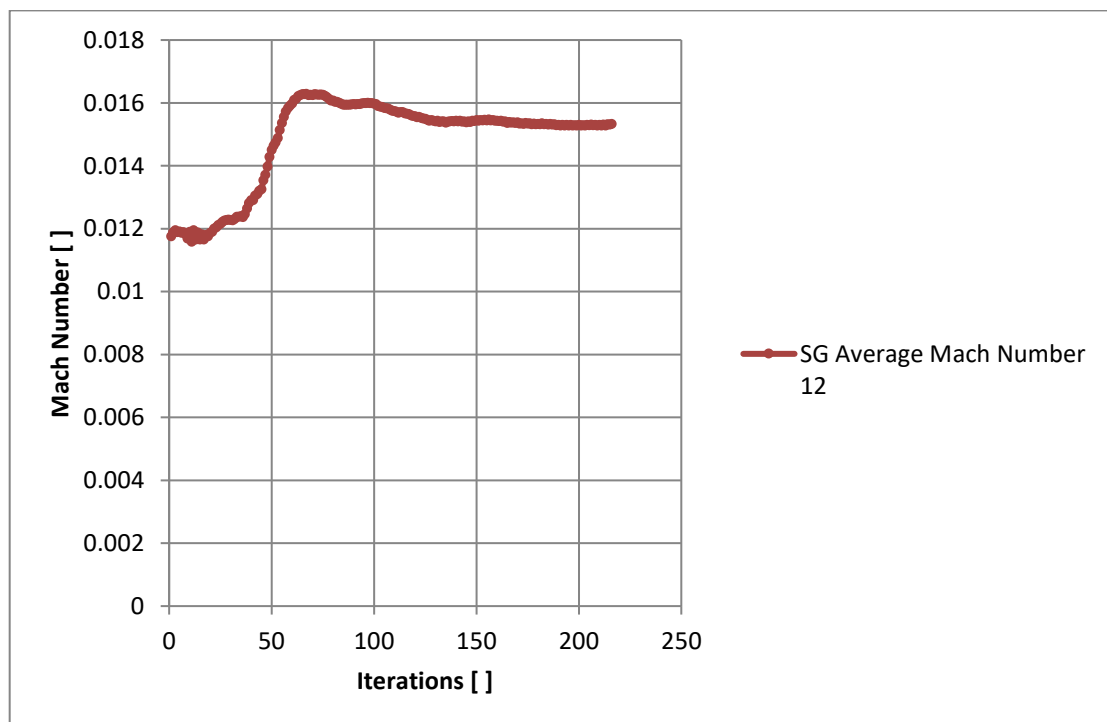


Gráfico 4 Número de Mach

Se tiene un número de Mach máximo 0,015323237, un mínimo 0,015271229, sacando el promedio de ambos resultados el número de mach es 0,015297233 lo que quiere decir que el flujo se encuentra en un régimen subsónico.

VII. Conclusiones

- Se recopiló información sobre alergias respiratorias como es la rinitis, rinosinusitis, faringitis; también se identificó el tamaño de partícula que existen de acuerdo a la actividad que se realizará y los límites máximos permisibles en los socavones de minas para partículas en suspensión los cuales están en una concentración media aritmética diaria de $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que no puede excederse más de una vez al año y una media geométrica diaria de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Basándonos en el método tradicional y con la ayuda de la matriz de ponderación para la selección de materiales se escogió el polietileno de baja densidad (LDPE) el cual es un polímero con características flexibles.
- Una vez elaborada la matriz morfológica con una evaluación a los conceptos de solución se diseñaron los componentes del respirador reutilizable utilizando el software SolidWorks respetando los parámetros establecidos en la normalización UNE-EN 140:1999, esto permitió moldear los componentes que conforman el respirador a la morfología del usuario.
- Mediante SolidWorks Flow Simulation se logró tener una mejor visión del comportamiento del fluido; en este caso aire; en el respirador y, segundo, e igual de importante, es que mediante la herramienta SolidWorks Simulation se validó el diseño según los resultados de esfuerzos normales, desplazamientos, deformaciones unitarias y factor de seguridad aplicando una carga distribuida; llegando a diseñar un respirador capaz de cumplir con los requisitos establecidos por la norma.

VIII. Recomendaciones

- Se recomienda realizar un análisis económico para determinar el costo de fabricación en grandes y pequeñas cantidades.
- Se recomienda definir bien el tipo de filtro que se empleará para este respirador según la actividad a desempeñar, teniendo en cuenta el tipo de contaminación a la que se verá expuesto el trabajador.
- Se recomienda realizar un estudio de fatiga al respirador para saber la vida útil que este tendría a su vez conocer el daño que iría acumulando con cada uso.

IX. Referencias bibliográficas

- [1] C. F. B. Cortés, «EOLO - Sistema para monitoreo de calidad del aire a partir de Internet de las Cosas,» Universidad Javeriana, Bogotá D.C, 2019.
- [2] MINSA, «Ministerio de Salud,» 20 Noviembre 2010. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/36649-trabajadores-de-construccion-deben-tomar-medidas-de-precaucion-para-evitar-grave-enfermedad-pulmonar>.
- [3] Dr. Jesús Ángel Seco Calvo; Dr. Mário José Costa de Macedo, «Evaluación y prevención de la seguridad, salud y bienestar laboral - Estudio de caso en la industria del betún caucho “in situ” en Portugal,» Universidad de León, Provincia de León, 2018.
- [4] Muñoz Sánchez AI, Antolínez Figueroa C., «Medidas de protección respiratoria de tuberculosis en personal de salud: revisión integrativa,» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2019.
- [5] A. P. O. Boza, *Avaliação da utilização de dois tipos de respiradores em atividades de um grupo homogêneo de exposição*, Curitiba: Universidad Tecnológica Federal de Paraná, 2014.
- [6] H. M. F. S. S. F. E. M. y. V. H. Robertsen Ø, *The Effect of a Knowledge-Based Intervention on the Use of Respirators in the Norwegian Smelter Industry*, Tromsø: Hospital Universitario del Norte de Noruega, 2020.
- [7] K. D. B. G. M. y. J. W. C. Joanne O. Crawford, *A Review of the Effectiveness of Respirators in Reducing Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons for Coke Oven Workers*”, Reino Unido: Oxford University Press, 2014.
- [8] D. A. C. Vindel, *Consecuencias de estrés laboral*, Madrid: Universidad Complutense, 2015.
- [9] L. B. Herrera, *Máscara anti-polución con una app como medio de operatividad que alertara las zonas más contaminadas en la ciudad de Bogotá*, Córdoba: Universidad de Córdoba, 2019.
- [10] A. C. Boronat, *Viabilidad de un modelo de acción de ondas 1D para modelar un sistema de respiración asistida*, Valencia: Universidad Politecnica de Valencia, 2020.
- [11] T. A. Philpot, «Mechanical of Materials,» de *Mechanics of materials an integrated learning system*, Missouri, Missouri University of Science and Technology Rolla, 2013, pp. 2-3.
- [12] F. P. Beer, *Mecánica de materiales*, México: Mc Graw Hi, 2010.
- [13] C. t. A. 81, *UNE-EN 1140:1999*, Madrid: AENOR, 1999.

- [14] C. t. A. 81, *UNE-EN 149:2001 + A1:2009*, Madrid: AENOR, 2010.
- [15] H. L. D. Lizarralde Álvares A, «Importancia de los productos sanitarios en la prevención y control de la infección nosocomial,» *Panorama actual del medicamento*, 2018.
- [16] D. d. S. d. Texas, «Los Tipos de Respiradores,» División de compensación para Trabajadores, Guadalupe.
- [17] Easywoks, «Dassault Systèmes,» 15 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://blogs.solidworks.com/solidworkslatamyesp/solidworks-blog/simulacion/solidworks-flow-simulation/como-funciona-solidworks-flow-simulation/>.
- [18] Franya Judith Flores Leiva y Norvin Antonio Matuz López, *Evaluación de las condiciones de riesgo en que laboran los operarios del área de producción, en la Empresa Manufacturera Industrias San Carlos S.A, del Municipio de Matagalpa, durante el II semestre del año 2015*, Matagalpa: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, 2016.
- [19] Christian R. Mejia, Jhosselyn I. Chacon, Olga M. Enamorado-Leiva, Lilia Rosana Garnica, Sergio Andrés Chacón-Pedraza, Yislem Anayn García-Espinosa., *Factores asociados al estrés laboral en trabajadores de seis países de Latinoamérica*, Lima: Universidad Continental, 2019.
- [20] J. G. S. Campos, *Ventilación mecánica no invasiva (VNI) en pacientes agudos y crónicos*, Madrid: Neumosur, 2016.
- [21] Héctor Álvaro González, Dairo Hernán Mesa G., *La importancia del método en la selección de materiales*, Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2004.
- [22] C. s. d. ingeniería, *Selección de materiales*, Barcelona: Unniversidad Politecnica de Catalunya, 2007.
- [23] Polette Elizabeth C anales Campos y Fernanda Monserrat Vargas López, *Factores ambientales y su relación con la rinitis alérgica en el sector Milagro Norte*, Milagro: Universidad estatal de Milagro, 2017.
- [24] M. d. Slud, «gob.pe,» Minsa, 06 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/28121-rinitis-alergica-afecta-al-25-de-los-limenos>.
- [25] E. M. H. Baltazar, «revisionporpares,» *Anales de Otorrinolaringología Mexicana*, 2018. [En línea]. Available: <http://www.revisionporpares.com/index.php/AORL/article/view/2063>.
- [26] D. J. Martínez, «hpshospitales,» HPS, 21 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.hpshospitales.com/2018/05/21/faringitis-aguda/>.

- [27] Láinez Tomalá Andy Damián, Tomalá Tomalá Kerly Viviana, *Medidas de bioseguridad y su relación con las enfermedades respiratorias en ebanistas*, Santa Elena: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2019.
- [28] J. A. V. Solano, *La contaminación atmosférica por las actividades de la industria de la construcción en Colombia*, Medellín: Universidad de Antioquia, 2019.
- [29] C. Y. Baños, *Sistema de mitigación de polvo de mineral de hierro en la planta chancadora del área San Nicolás - Marcona*, Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2020.
- [30] M. d. E. y. Minas, *Resolución Ministerial N° 315-96-EM/VMM*, Lima: República del Perú, 1996.

X. Anexos

Anexo 1 Propiedades del Polietileno de baja densidad (LDPE).

Propiedades de material

No se pueden editar los materiales en la biblioteca predeterminada. Para editar un material, cópielo primero a una biblioteca personalizada.

Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Guardar tipo de modelo en la t

Unidades: SI - N/mm² (MPa)

Categoría: Plásticos

Nombre: PE Densidad baja/media

Criterio de fallos predeterminado: Desconocido

Descripción:

Origen:

Sostenibilidad: Definido

| Propiedad | Valor | Unidades |
|-----------------------------------|-------|-------------------|
| Módulo elástico | 172 | N/mm ² |
| Coefficiente de Poisson | 0.439 | N/D |
| Módulo cortante | 59.4 | N/mm ² |
| Densidad de masa | 917 | kg/m ³ |
| Límite de tracción | 13.27 | N/mm ² |
| Límite de compresión | | N/mm ² |
| Límite elástico | | N/mm ² |
| Coefficiente de expansión térmica | | /K |

Fuente 14 SolidWorks

Anexo 2 Definición del fluido en Flow Simulation

Wizard - Default Fluid

Fluids Path

Gases

Pre-Defined

| | |
|----------------|-------------|
| Acetone | Pre-Defined |
| Ammonia | Pre-Defined |
| Argon | Pre-Defined |
| Butane | Pre-Defined |
| Carbon dioxide | Pre-Defined |
| Chlorine | Pre-Defined |
| Ethane | Pre-Defined |
| Ethanol | Pre-Defined |

Project Fluids Default Fluid

| | |
|---------------|-------------------------------------|
| Air (Gases) | <input checked="" type="checkbox"/> |
|---------------|-------------------------------------|

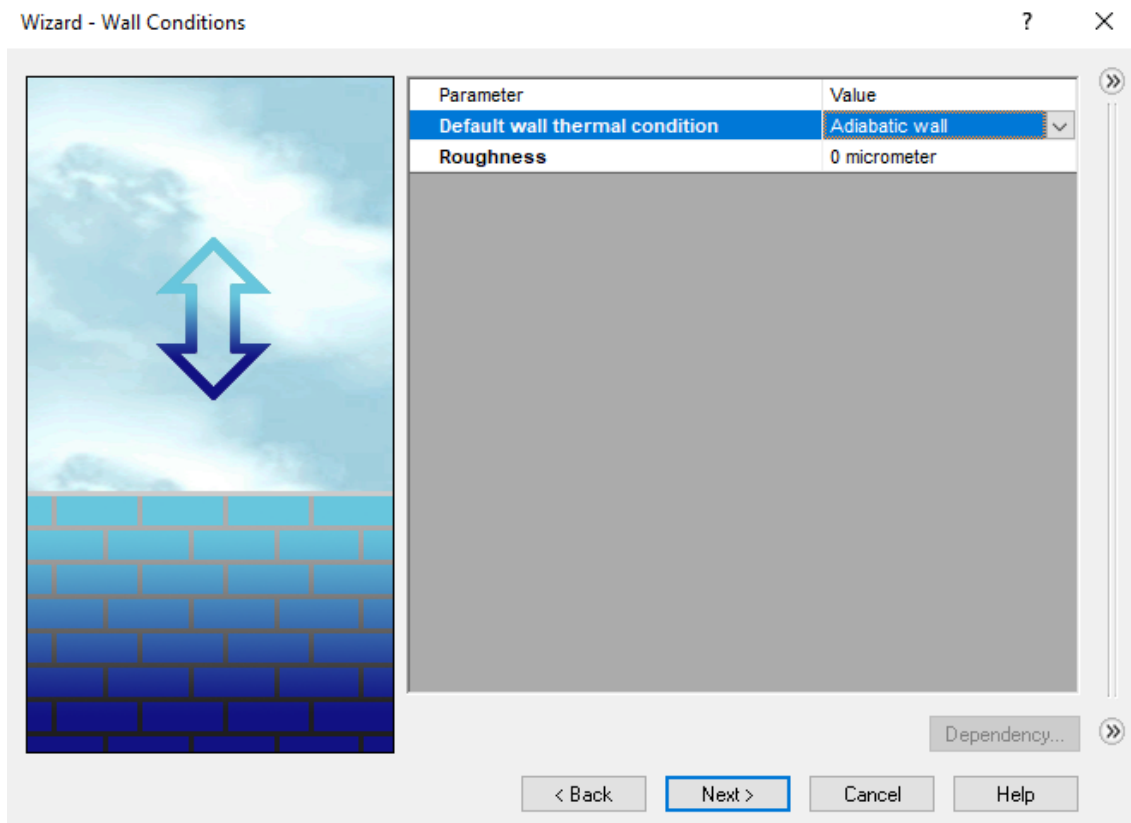
Flow Characteristic Value

| | |
|-----------------------|--------------------------|
| Flow type | Laminar and Turbulent |
| High Mach number flow | <input type="checkbox"/> |
| Humidity | <input type="checkbox"/> |

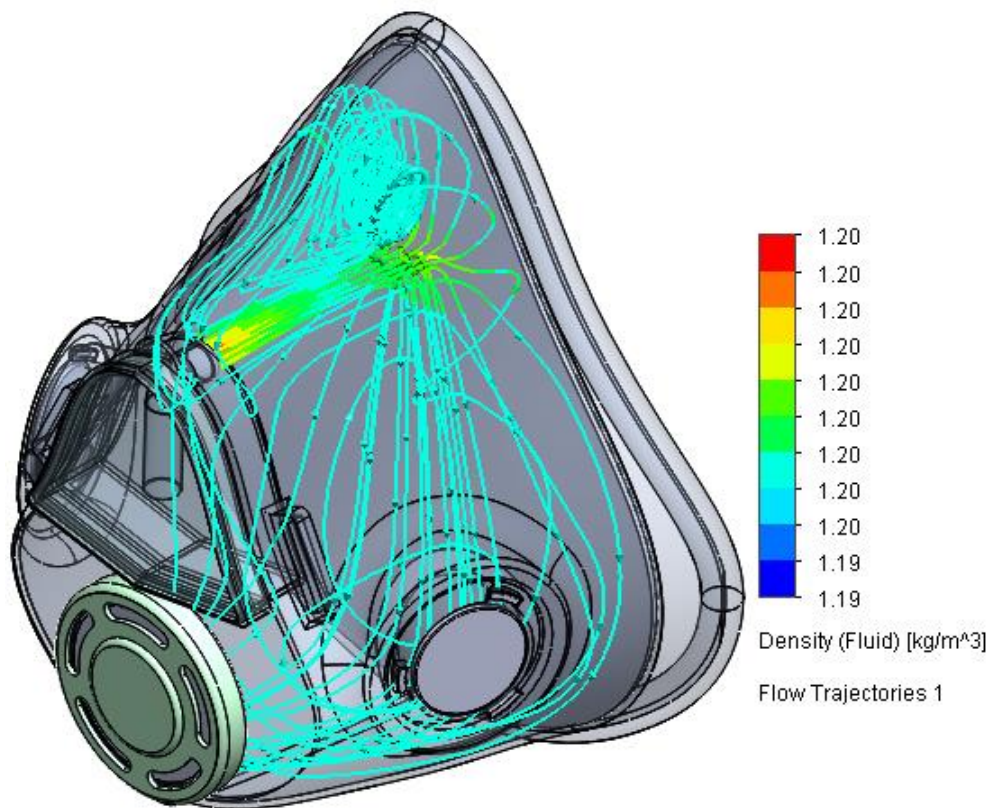
< Back Next > Cancel Help

Fuente 15 SolidWorks Flow Simulation

Anexo 3 Condiciones del contorno

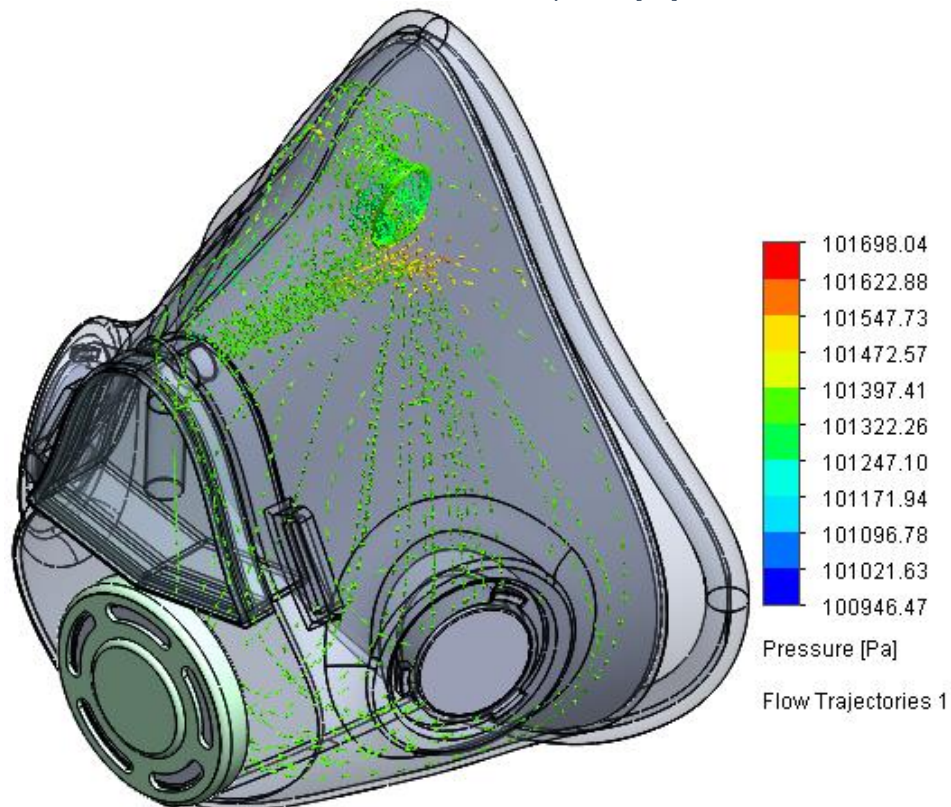


Fuente 16 SolidWorks Flow Simulation

Anexo 4 Densidad del fluido [kg/m³]

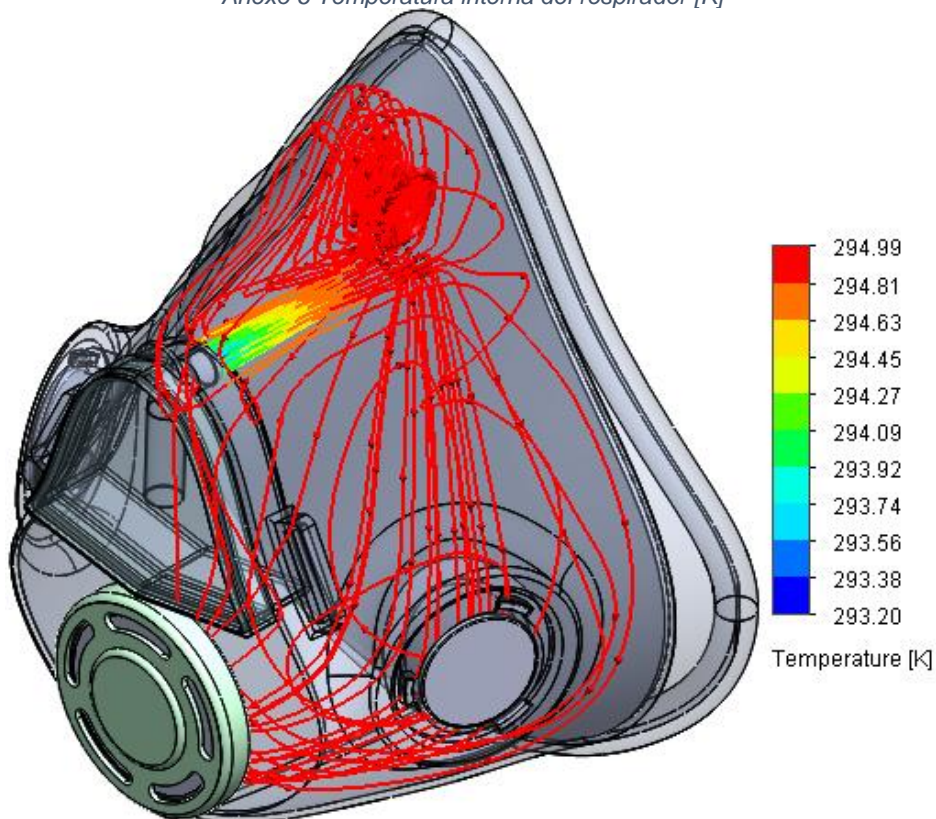
Fuente 17 SolidWorks Flow Simulation

Anexo 5 Presión en el respirador [Pa]



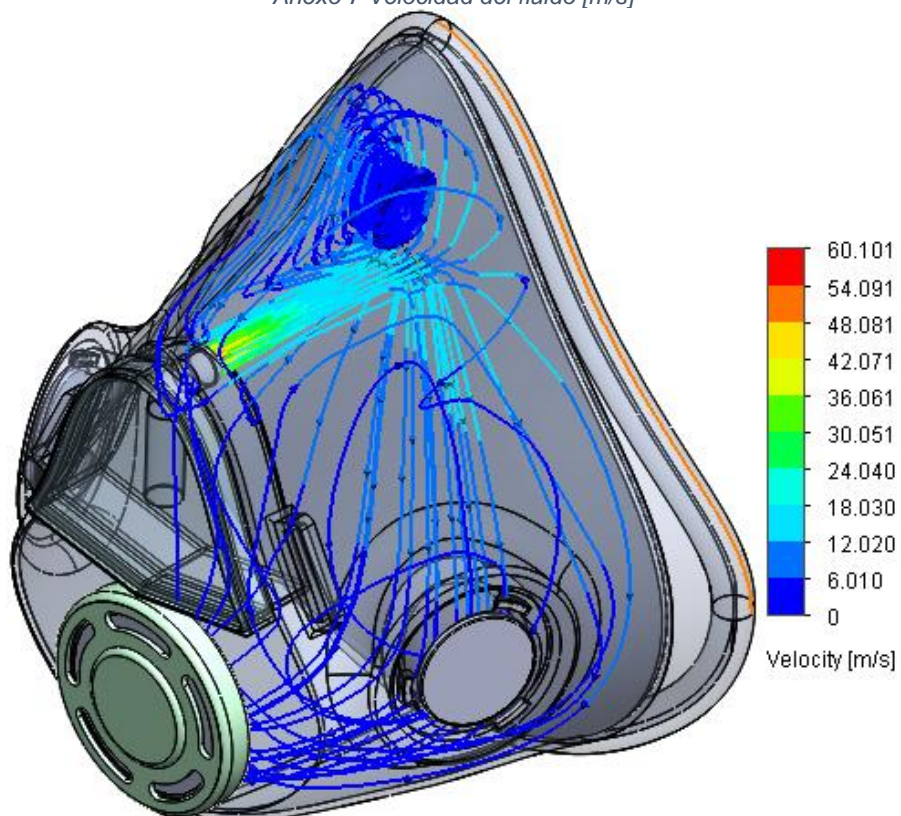
Fuente 18 SolidWorks Flow Simulation

Anexo 6 Temperatura interna del respirador [K]



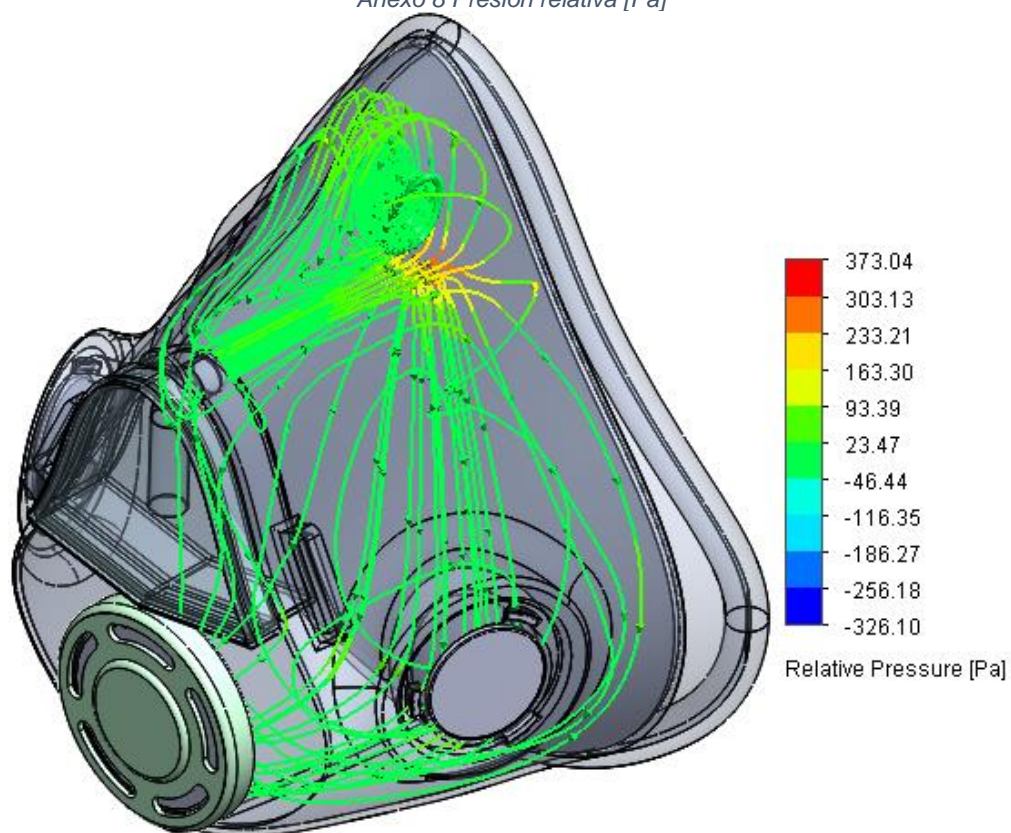
Fuente 19 SolidWorks Flow Simulation

Anexo 7 Velocidad del fluido [m/s]



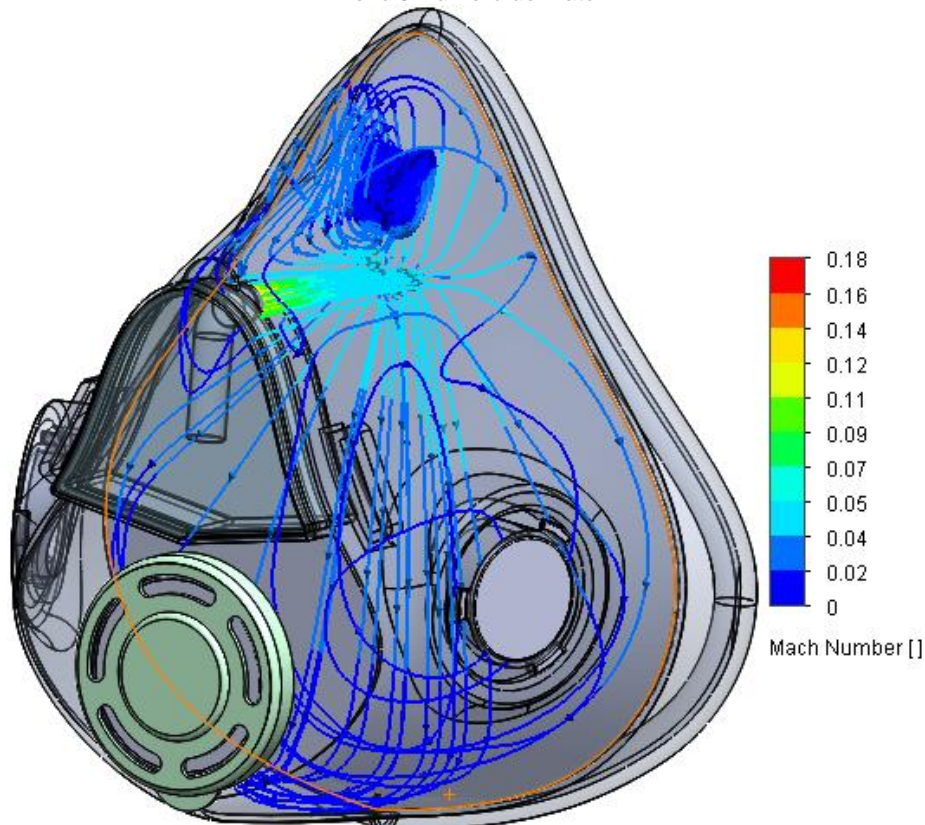
Fuente 20 SolidWorks Flow Simulation

Anexo 8 Presión relativa [Pa]



Fuente 21 SolidWorks Flow Simulation

Anexo 9 Número de Match



Fuente 22 SolidWorks Flow Simulation

Anexo 10 Propiedades físicas del respirador

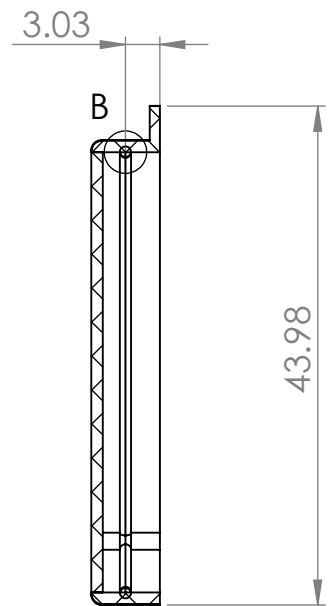
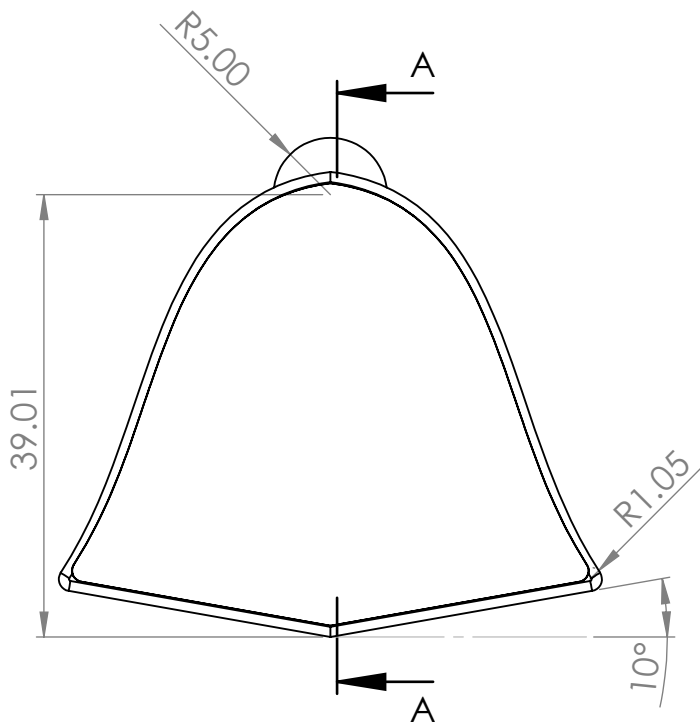
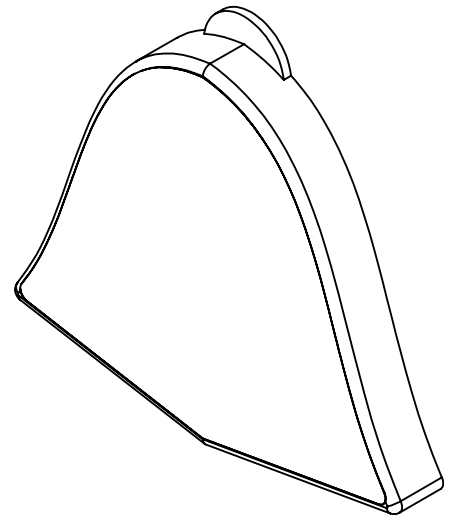
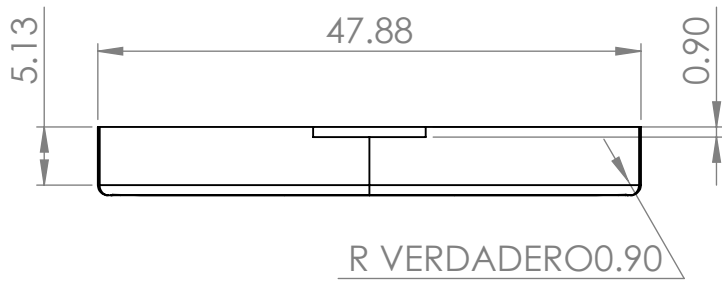
| | | |
|--|-----------------|-----------------|
| Propiedades de masa de Ensamblaje | | |
| Configuración: Predeterminado | | |
| Sistema de coordenadas: -- predeterminado -- | | |
| Masa = 33.22 gramos | | |
| Volumen = 36212.81 milímetros cúbicos | | |
| Área de superficie = 61234.80 milímetros cuadrados | | |
| Centro de masa: (milímetros) | | |
| X = -3.97 | | |
| Y = -13.11 | | |
| Z = 143.78 | | |
| Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros cuadrados) | | |
| Medido desde el centro de masa. | | |
| lx = (0.77, 0.63, -0.05) | Px = 40385.20 | |
| ly = (-0.64, 0.77, -0.07) | Py = 40429.34 | |
| lz = (0.00, 0.09, 1.00) | Pz = 54155.02 | |
| Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados) | | |
| Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas | | |
| Lxx = 40403.13 | Lxy = 23.11 | Lxz = 15.54 |
| Lyx = 23.11 | Lyy = 40515.95 | Lyz = -1193.93 |
| Lzx = 15.54 | Lzy = -1193.93 | Lzz = 54050.48 |
| Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados) | | |
| Medido desde el sistema de coordenadas de salida. | | |
| lxx = 732735.16 | lxy = 1753.39 | lxz = -18964.45 |
| lyx = 1753.39 | lyy = 727666.28 | lyz = -63788.88 |
| lzx = -18964.45 | lzy = -63788.88 | lzz = 60281.48 |

Fuente 23 SolidWorks

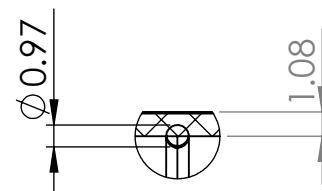
10.1. Planos

A continuación, se adjunta la relación de planos de la presente tesis:



- 001 - Tapa de oxígeno.
- 002 - Tapa de exhalación.
- 003 - Sujeción.
- 004 - Respirador.
- 005 - Ensamblaje.

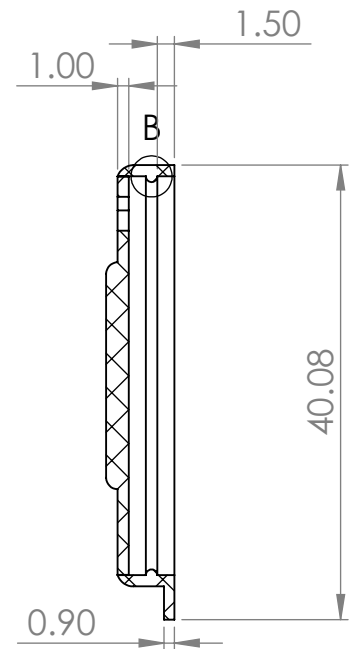
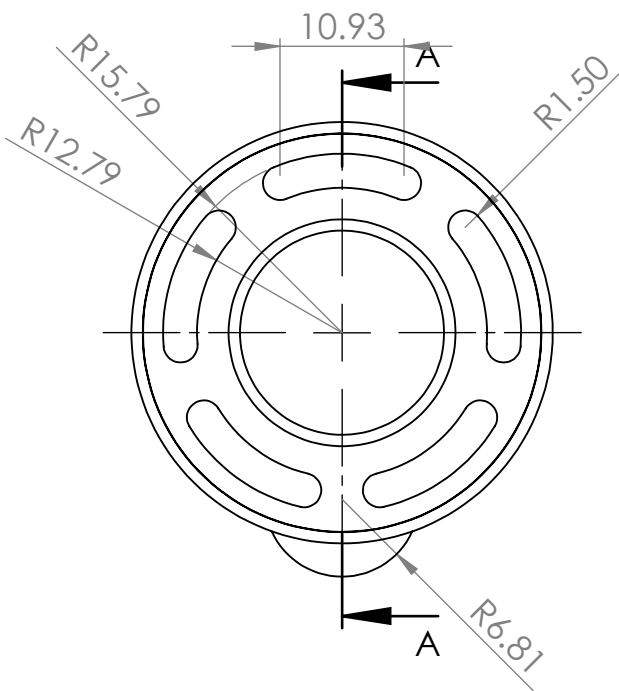
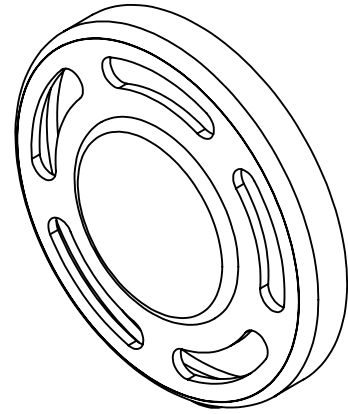
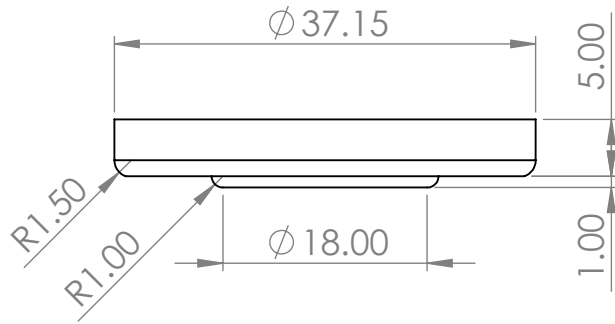


SECCIÓN A-A
ESCALA 3 : 2

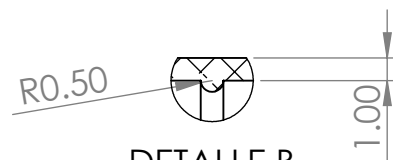


DETALLE B
ESCALA 3 : 1

| | | | | | |
|---|---|--------------|--|-----------|------------|
|  | OBSERVACIONES: | TÍTULO | | PLANO N°: | 001 |
| | | TAPA OXÍGENO | | HOJA N°: | 63 |
| | Un. dim. mm | ESCALA: | DIBUJADO POR: OLIVER LUIS ARBULÚ AGUILAR | FECHA: | 28/05/2021 |
| |  | ESPECIFICADA | COMPROBADO POR: | FECHA: | |

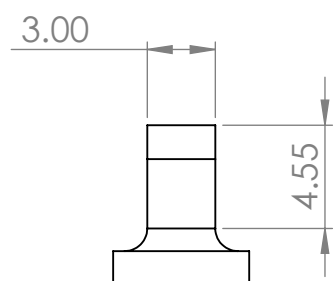
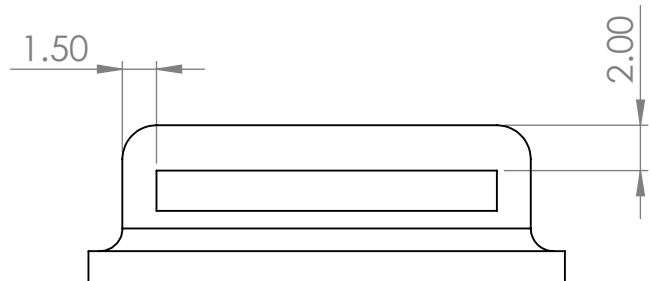
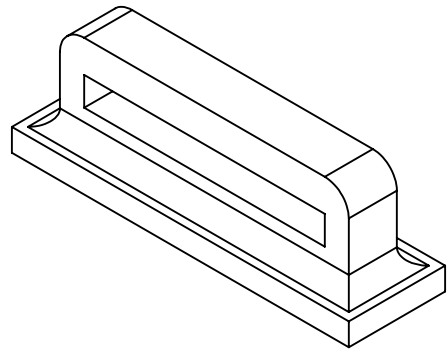
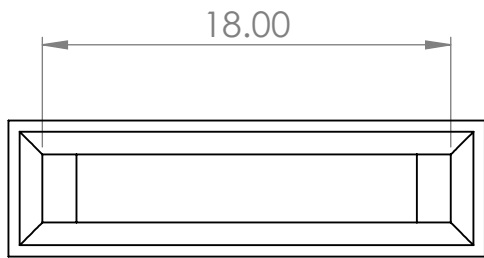




SECCIÓN A-A
ESCALA 3 : 2

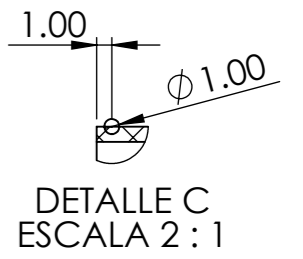
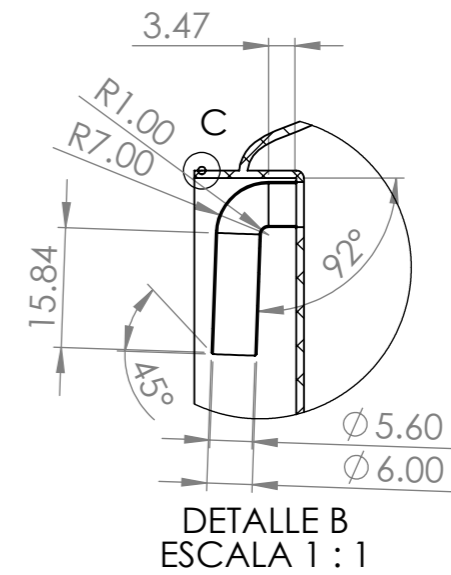
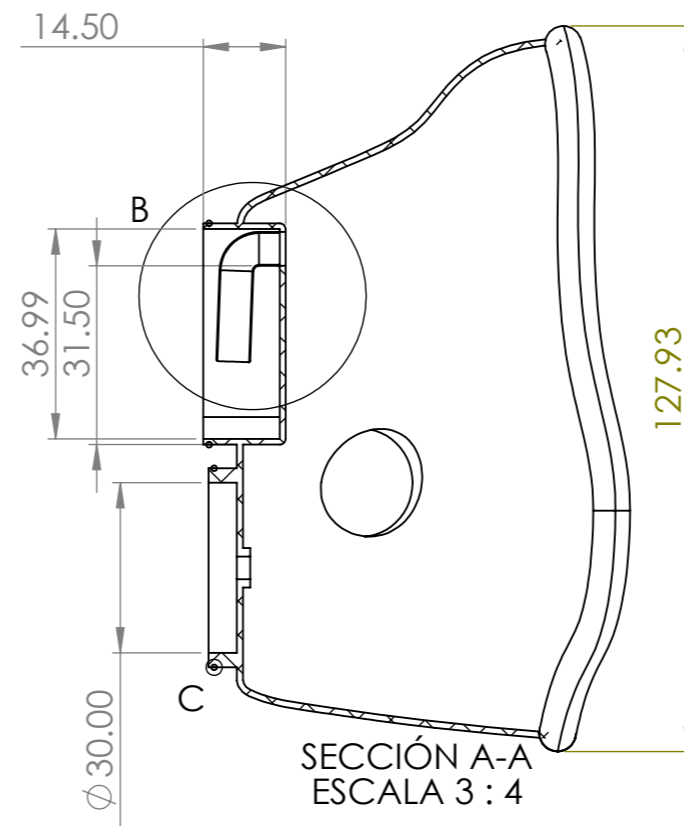
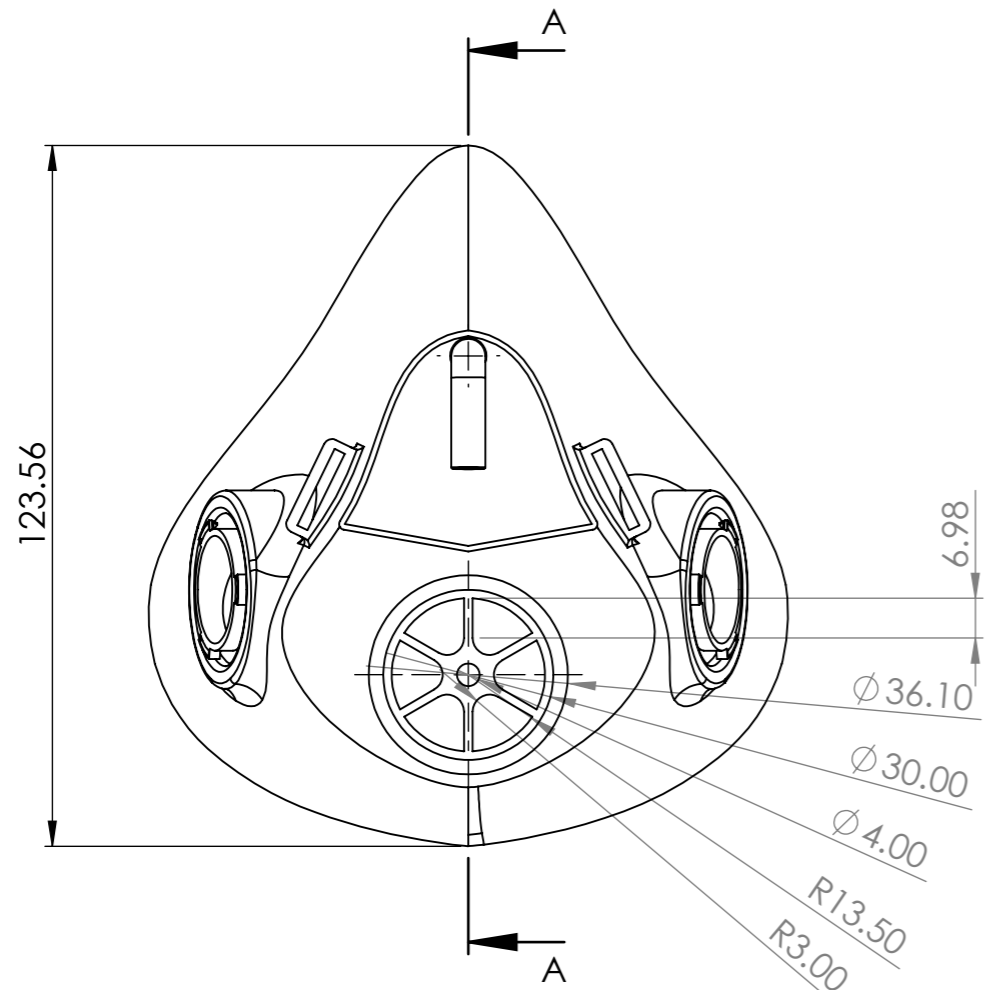
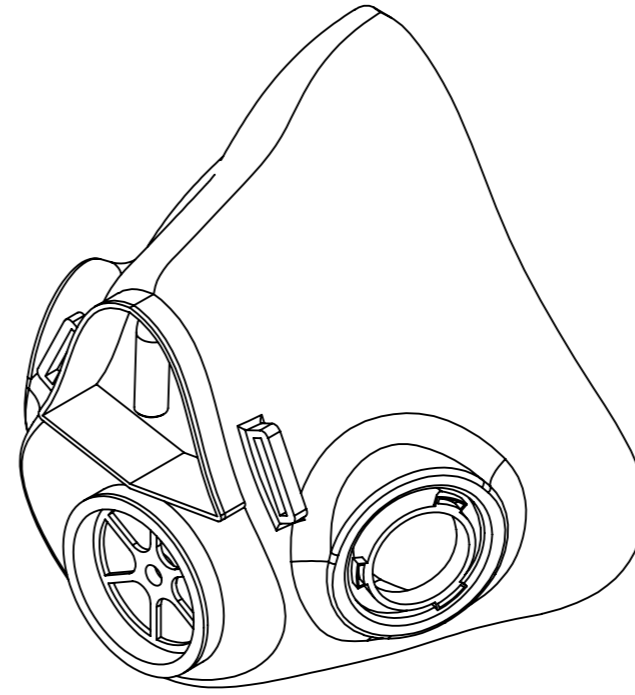
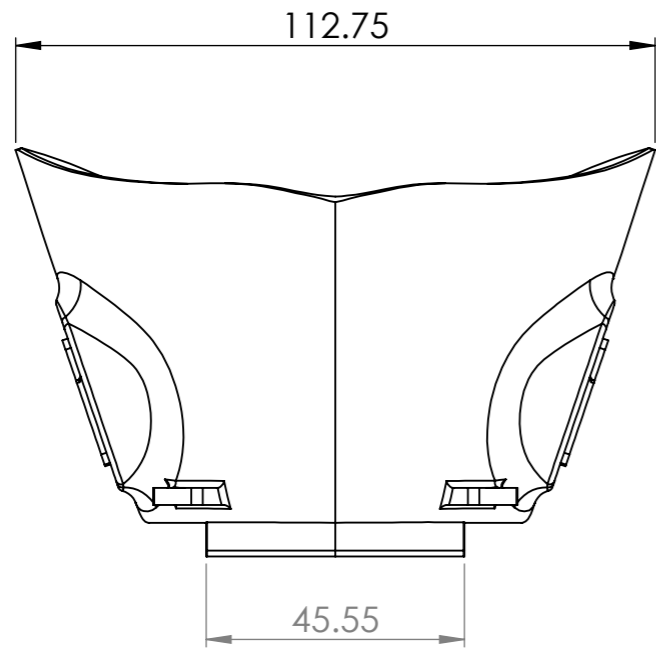




DETALLE B
ESCALA 3 : 1

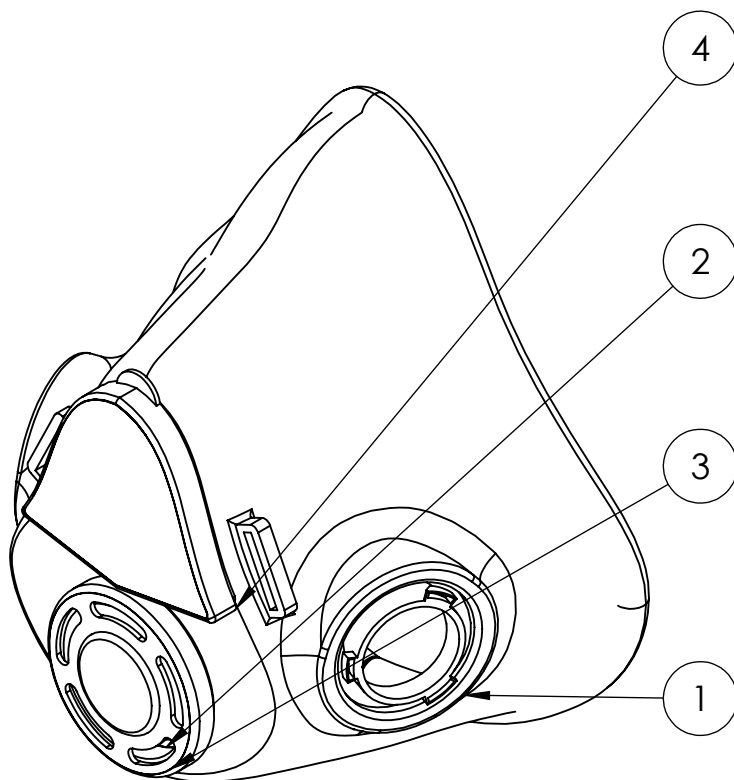
| | | | | | |
|--|----------------|-----------------|--|-----------|------------|
| | OBSERVACIONES: | TÍTULO | | PLANO N°: | 002 |
| | | TAPA EXHALACIÓN | | HOJA N°: | 64 |
| | Un. dim. mm | ESCALA: | DIBUJADO POR: OLIVER LUIS ARBULÚ AGUILAR | FECHA: | 28/05/2021 |
| | | ESPECIFICADA | COMPROBADO POR: | FECHA: | |





| | | | | |
|---|---|--------------|--|-------------------|
|  | OBSERVACIONES: | TÍTULO | | PLANO N°: 003 |
| | | SUJECIÓN | | HOJA N°: 65 |
| | Un. dim. mm | ESCALA: | DIBUJADO POR: OLIVER LUIS ARBULÚ AGUILAR | FECHA: 28/05/2021 |
| |  | ESPECIFICADA | COMPROBADO POR: | FECHA: |



| | | | | |
|---|----------------|--|-------------------|---------------|
|  | OBSERVACIONES: | TÍTULO | | PLANO N°: 004 |
| | | RESPIRADOR | | HOJA N°: 66 |
| Un. dim. mm | ESCALA: | DIBUJADO POR: OLIVER LUIS ARBULÚ AGUILAR | FECHA: 28/05/2021 | |
|  | ESPECIFICADA | COMPROBADO POR: | FECHA: | |



| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA | CANTIDAD |
|-----------------|-------------------------------|----------|
| 1 | Respirador | 1 |
| 2 | Válvula Exhalación 6889 3M | 1 |
| 3 | Tapa Exhalación | 1 |
| 4 | Tapa Oxígeno | 1 |

| | | | | | |
|---|----------------|-----------------|----------------------------|-----------|------------|
|  | OBSERVACIONES: | TÍTULO | | PLANO N°: | 005 |
| | | ENSAMBLAJE | | HOJA N°: | 67 |
| Un. dim. mm | ESCALA: | DIBUJADO POR: | OLIVER LUIS ARBULÚ AGUILAR | FECHA: | 28/05/2021 |
|  | 3:4 | COMPROBADO POR: | | FECHA: | |