



**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

**Departamento de Economía y Administración de empresas**

**Área de Conocimiento**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**PROYECTO DE PROTOTIPO DE GENERADOR AUXILIAR DE ENERGIA ELECTRICA  
PARA RESPIRADORES, A PARTIR DEL MOVIMIENTO DEL PACIENTE**

Grado en:

Ingeniería de Organización Industrial

Autor: OLGA MORALES FERNÁNDEZ

Tutor: ROSA MARIA ANAYA AGUILAR

Málaga, septiembre de 2023





## RESUMEN

El presente proyecto reunirá los conocimientos adquiridos por el alumno durante el Grado de Ingeniería de Organización Industrial, en lo que respecta a un proyecto de creación de prototipo y entrada en el mercado del mismo.

Con este proyecto se pretende solucionar el problema de suministro de energía eléctrica de los respiradores en el caso de que se produzcan cortes de luz en las viviendas, ya que cuando esto ocurre dejan de funcionar, y poder autoabastecer de energía al respirador consiguiendo así un menor consumo de electricidad y una fuente de energía limpia.

Para ello diseñaremos un prototipo que consiga transformar el movimiento de la respiración del paciente en energía eléctrica, y así, el respirador pueda tener una reserva y una fuente limpia de energía para su correcto funcionamiento.

Este proyecto va dirigido a personas que necesiten un respirador y que estén conectados al aparato en sus viviendas o residencias. La comercialización del prototipo estará centrada en la provincia de Málaga, aunque con aspiración a expandirlo a más lugares.

Palabras claves: respirador, autoabastecimiento, energía limpia, energía mecánica, electricidad, prototipo.

## SUMMARY

This project will gather the knowledge acquired by the student during the Degree in Industrial Organization Engineering, with regard to a project of prototyping and entry into the market of the same.

This project aims to solve the supply problem of power supply of respirators in the event of power cuts in homes, since when this happens the respirators do not work, and to be able to self-supply energy to the respirator thus achieving a lower consumption of electricity and a source of clean energy.

For this we will design a prototype that manages to transform the movement of the patient's breathing into electrical energy, and so the respirator can have a reserve and a clean source of energy for its proper functioning.

This project is aimed at people who need a respirator and who are connected to the device in their homes or residences. The commercialization of the prototype will be focused on the province of Málaga, although with the aspiration to expand it to more places.

Key words: respirator, self-sufficiency, cleans energy, mechanical energy, electricity, prototype.





## AGRADECIMIENTOS

A mi abuela Marisa,

Por haberme enseñado desde pequeña a siempre ver el lado bueno de las cosas  
y por siempre motivarme a conseguir lo que me proponga.

Gracias por ser mi apoyo y pilar, te quiero con todo mi corazón.

A mis padres y hermanos,

Por haberme ayudado con este proyecto  
y por haber estado ahí cuando más lo he necesitado.

A mi mejor amiga Laura,

Por siempre darme su apoyo incondicional y ayudarme,  
pero sobre por hacer siempre que todo sea más fácil y lleno de risas.

A todos mis compañeros y en especial a Paula.

Agradecer la ayuda mutua que nos hemos dado en todo momento.

Por haber sido una piña y haber  
superado todos los obstáculos hasta el final.

A mi tutora Rosa,

Por haberse ilusionado en este proyecto  
y motivarme a luchar por ello.

GRACIAS



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1. CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3. ALCANCE .....</b>	<b>13</b>
<b>2. ANÁLISIS DE MERCADO.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1. DEMANDA POTENCIAL DEL PRODUCTO .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2. ANÁLISIS DE LA COMPETENCIA.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3. IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES Y AMENAZAS (DAFO) .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1. FUNCIONAMIENTO DE LA RESPIRACIÓN .....</b>	<b>21</b>
<b>3.2. SELECCIÓN DE MATERIALES .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2.1. MODOS Y FUNDAMENTOS TENG .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2.2. MATERIALES PARA TENG IMPULSADOS POR LA RESPIRACIÓN .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2.3. TENG PARA LA RECOLECCIÓN DE ENERGIA DE LA RESPIRACIÓN .....</b>	<b>28</b>
<b>3.3. ESPECIFICACIÓN DEL PROTOTIPO .....</b>	<b>30</b>
<b>3.3.1. CINTURON EQUIPADO CON TECNOLOGÍA TENG.....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.2. BATERIA .....</b>	<b>33</b>
<b>4. COSTES DEL PROYECTO .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1. PROVEEDORES DE BATERIA Y REGULADORES.....</b>	<b>34</b>
<b>4.2. PRECIO FINAL.....</b>	<b>35</b>
<b>5. ESTUDIO DE LA VIABILIDAD EN EL MERCADO.....</b>	<b>37</b>
<b>5.1. RENTABILIDAD DEL PROTOTIPO FRENTE A RESPIRADORES ACTUALES. ....</b>	<b>37</b>
<b>5.2. ENCUESTA DE ACEPTACIÓN POR LOS CONSUMIDORES. ....</b>	<b>39</b>
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>41</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>44</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>49</b>
<b>ENCUESTA DE ACEPTACION POR LOS CONSUMIDORES.....</b>	<b>49</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Los respiradores son dispositivos médicos que ayudan a las personas enfermas a respirar cuando tienen dificultades para hacerlo por sí mismas. Estos dispositivos son comúnmente utilizados por personas con enfermedades pulmonares crónicas, como la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) o la fibrosis quística, así como por personas con enfermedades neuromusculares que afectan los músculos necesarios para la respiración.

Estos funcionan proporcionando una corriente de aire a través de una máscara facial o nasal, o a través de un tubo insertado en la tráquea, lo que ayuda a los pacientes a inhalar y exhalar de manera más efectiva. A menudo, los pacientes que requieren respiradores necesitan utilizar estos dispositivos de forma continua o por períodos prolongados, y pueden necesitar la asistencia de un cuidador o familiar capacitado para ayudarles en su uso y mantenimiento.

La mayoría de los respiradores domiciliarios utilizan un ventilador mecánico para generar la corriente de aire. El ventilador está conectado a una fuente de energía eléctrica y utiliza un circuito de tubos y filtros para enviar aire al paciente a través de una máscara facial o nasal. Estos también tienen una variedad de configuraciones y modos que permiten a los pacientes personalizar su terapia respiratoria para satisfacer sus necesidades específicas.

Este trabajo de Fin de Grado surgió porque hace unos años, leí una noticia en El País que me llamó la atención. Según el artículo, "Estamos preocupados porque no se ve la luz" (El País, 11 de febrero de 2021) <sup>[1]</sup>, los cortes de luz en España estaban afectando a muchas personas, especialmente aquellas que dependen de dispositivos eléctricos como respiradores. La situación se agravaba en zonas rurales y en las

ciudades más afectadas por las fuertes nevadas y las bajas temperaturas, donde los cortes de luz podían durar varias horas o incluso días. La noticia hacía especial hincapié en la situación de los pacientes con enfermedades respiratorias, que se veían afectados por los cortes de luz en sus hogares y en los centros de atención sanitaria.

El artículo incluía testimonios de pacientes, familiares y profesionales sanitarios que se veían afectados por esta situación. Por ejemplo, se citaba el caso de un paciente con ELA que dependía de un respirador las 24 horas del día y que sufría cortes de luz constantes en su domicilio, lo que ponía en peligro su vida. También se mencionaba el caso de una enfermera que trabajaba en una residencia de mayores y que se veía obligada a trasladar a los pacientes con respiradores a otra ubicación cada vez que se producía un corte de luz. En ambos casos, la falta de un suministro eléctrico seguro y fiable para los dispositivos médicos que salvan vidas generaba una gran preocupación e incertidumbre.

Esta noticia me hizo reflexionar sobre la importancia que tienen los dispositivos eléctricos para la salud y el bienestar de muchas personas, y por eso decidí investigar más sobre el tema y se me ocurrió intentar crear un prototipo que solucionase este problema y cuando se produjesen cortes de luz, los respiradores siguiesen funcionando.

## **1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

Con este Trabajo Fin de Grado se tiene como objetivo principal diseñar un prototipo de generador auxiliar de energía eléctrica para respiradores, que sea capaz de suministrar electricidad en caso de fallo en el suministro eléctrico y que genere dicha energía a partir del movimiento del paciente. De este modo, se crearía un circuito cerrado y una energía limpia que podría salvar la vida de todos estos pacientes.

A pequeña escala, este prototipo serviría para almacenar la energía eléctrica y poder suministrarla en caso de fallo. Pero si este estudio pudiese llegar a grandes dimensiones se intentaría hacer un prototipo que suministrase continuamente la energía eléctrica en vez de una fuente externa.

Se estudiarán los procesos que se llevarán a cabo para el diseño y fabricación del producto, los materiales de los que estará compuesto, la manera de ajustar el prototipo a cada paciente y la conexión al respirador.

### **1.3. ALCANCE**

El alcance de este proyecto es el diseño conceptual del prototipo de generador auxiliar de energía eléctrica para respiradores, a partir del movimiento del paciente. Se propone realizar las siguientes actividades:

- a) Identificación de los componentes y materiales necesarios para la construcción del prototipo.
- b) Evaluación de su disponibilidad y coste.
- c) Diseñar y modelar del prototipo, siguiendo los requerimientos técnicos y funcionales identificados.
- d) Analizar el costo-beneficio del prototipo propuesto, considerando su potencial impacto en el sector de la salud.

Es importante destacar que, de ser exitosa esta fase, la siguiente a emprender sería la de fabricación y comercialización del producto.

## 2. ANÁLISIS DE MERCADO

A la hora de evaluar el éxito potencial de un producto en un mercado determinado es fundamental realizar un análisis de mercado exhaustivo del mismo. Este proceso implica recopilar y examinar datos del mercado previsto, identificar y evaluar las necesidades de los consumidores, analizar la competencia y reconocer las oportunidades de mercado.

En este Trabajo de Fin de Grado se llevará a cabo un análisis de mercado para el prototipo de generador auxiliar de energía eléctrica para respiradores a partir del movimiento del paciente, con el objetivo de proporcionar una evaluación detallada de la viabilidad del producto, así como una visión completa de los competidores, las oportunidades y amenazas de mercado.

### 2.1. DEMANDA POTENCIAL DEL PRODUCTO

Mediante el estudio y análisis estadístico de las enfermedades que requieren uso de ventiladores mecánicos domiciliarios, podemos evaluar si existe un aumento o disminución en la demanda de estos dispositivos y por tanto, ver si el prototipo de generación auxiliar de energía eléctrica a través del movimiento del paciente, tendría o no una demanda potencial.

Por ejemplo, si vemos un aumento constante en la incidencia de terapias respiratorias domiciliarias en España, esto podría indicar un aumento en la demanda de ventiladores mecánicos domiciliarios. De igual forma, una disminución en las terapias respiratorias domiciliarias supondría una disminución de la demanda de estos respiradores en el mercado.

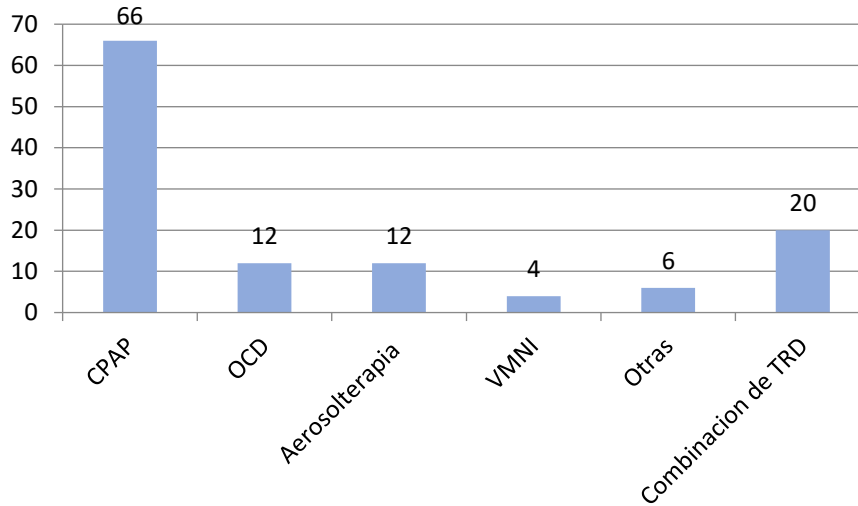
En una editorial publicada en la revista científica “Archivos de Bronconeumología” de la Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica (SEPAR) <sup>[2]</sup>, se destaca el tema del coste de la energía eléctrica y la precariedad del paciente respiratorio crónico en España, principalmente los oxigenodependientes, quienes se ven afectados por la pobreza energética. Este hecho puede dificultar el acceso a esta terapia que los pacientes necesitan para sobrevivir y puede ser un motivo de incumplimiento terapéutico.

Según el artículo, los pacientes respiratorios crónicos, en especial los oxigenodependientes, representan una población oculta dentro de la pobreza energética, que no tiene perspectivas de mejorar. El incumplimiento terapéutico por motivos socioeconómicos no está reconocido en las guías clínicas y el estigma, bajo amenaza de suspensión de una terapia necesaria para su supervivencia, puede ser el punto final para muchos pacientes.

Adicionalmente, se indica el sobrecoste energético mensual con IVA del tratamiento de presión positiva en las vías respiratorias (CPAP) para un uso de 6 horas es de 3,4€, mientras que para oxigenoterapia entre 15 y 24 horas, oscila entre 26,70€ y 46,81€. Para un ventilador de alta dependencia durante 24 horas, el coste es de 31,21€. Como muchos pacientes combinan distintas terapias, esto incrementa el coste de forma sumatoria.

En España, las terapias respiratorias domiciliarias (TRD) afectan a un millón de pacientes anuales, con un incremento interanual entre 8-12%. Los costes anuales superan los 400 millones de euros y están cubiertos por el sistema de salud, por lo que no representan coste alguno para el paciente. Las principales TRD son la terapia con presión positiva en la vía aérea para el tratamiento de la apnea obstructiva del sueño (CPAP) (66%), la oxigenoterapia continua domiciliaria (OCD) (12%), la aerosolterapia (12%) y la ventilación mecánica domiciliaria (VMNI) (4%), aunque existen otras que forman el 6%, como los equipos de aspiración y tos asistida, el monitor de apneas, la monitorización con pulsioximetría, etc. Por otro lado, los pacientes que combinan varias terapias suponen el 20% del total.

**Tabla 1. Porcentaje de la evolución de las principales TRD en España (hasta 2022)**



Fuente: Elaboración propia.

El hecho de que el número de pacientes que requiere TRD continúe aumentando sugiere que existe una necesidad creciente de terapias respiratorias domiciliarias en el país y por tanto, un mayor número de respiradores. Por consiguiente, es importante que se siga investigando y abordando los costos y la accesibilidad a estas terapias para mejorar la calidad de vida de los pacientes respiratorios crónicos.

## 2.2. ANÁLISIS DE LA COMPETENCIA

En cualquier proyecto de desarrollo de productos, el análisis de la competencia es una herramienta crucial. Comprender el entorno competitivo del mercado y las soluciones actuales es fundamental al desarrollar un prototipo de generador de energía auxiliar para respiradores.

Este análisis permite identificar las ventajas y desventajas de los productos disponibles actualmente, los riesgos y oportunidades que enfrenta el proyecto y ayuda a comprender el posicionamiento de la competencia. En conclusión, el análisis de la competencia es una herramienta crítica para tomar decisiones acertadas en la creación de un prototipo de generador auxiliar de energía eléctrica para respiradores basado en el movimiento del paciente.

Hoy en día, existen empresas que desarrollan productos de generación de energía eléctrica a través del movimiento humano utilizando la piezoelectricidad. Este fenómeno se basa en ciertos materiales que generan una carga eléctrica en respuesta a la aplicación de una fuerza mecánica, como la vibración o la presión.

Empresas como Energy Floors o Pavegen han creado soluciones que utilizan la piezoelectricidad para generar energía a partir del movimiento humano. Por ejemplo, Energy Floors ha desarrollado una tecnología que utiliza baldosas con sensores piezoeléctricos incorporados que generan electricidad a medida que las personas caminan sobre ellas. <sup>[3, 4]</sup>

Sin embargo, el uso de tecnología piezoeléctrica puede tener algunas limitaciones en este proyecto. Para producir energía eléctrica, la piezoelectricidad necesita mucha presión mecánica. La cantidad de movimiento que produce un paciente que está conectado a un ventilador podría no ser suficiente para producir la energía necesaria para alimentar el aparato. Además, la tecnología piezoeléctrica es más adecuada para la generación de energía a través de vibraciones de alta amplitud y alta frecuencia, que pueden no ser frecuentes en un entorno de ventilación. <sup>[5]</sup>

Por otro lado, la tecnología de nanogeneradores triboeléctricos tiene la capacidad de generar energía a partir de movimientos más pequeños y menos intensos. Esto puede ser especialmente útil en situaciones en las que se necesita una fuente de energía adicional para dispositivos médicos, como los respiradores.

Actualmente existen algunos grupos de investigación que están desarrollando la nanotecnología para producir energía eléctrica a partir de la vibración mecánica del cuerpo humano. Algunos de ellos son la Universidad de Georgia Tech o la Universidad de California.

La Universidad de Georgia Tech es una de las instituciones líderes en el desarrollo de la nanotecnología para producir energía eléctrica a partir de la vibración mecánica del cuerpo humano. Una de las investigaciones desarrolladas en el artículo "Sensores de deformación de fibra helicoidal basados en nanogeneradores triboeléctricos" describe una aplicación específica de esta tecnología en la creación de sensores de deformación que se pueden utilizar para monitorear estructuras mecánicas o la salud humana produciendo energía eléctrica a través de diferentes vibraciones, incluyendo los movimientos del cuerpo humano, como la respiración. <sup>[6,7]</sup>

Por otro lado, la Universidad de California, Berkeley, está llevando a cabo investigaciones en el campo de la producción de energía eléctrica a partir de la vibración mecánica del cuerpo humano utilizando nanogeneradores triboeléctricos. En una de las investigaciones proporcionadas en 2020 en el artículo "Un generador de energía portátil basado en nanogeneradores triboeléctricos para la recolección de energía de la respiración humana" se centra en el desarrollo de un generador de energía portátil basado en nanogeneradores triboeléctricos para recolectar la energía por la respiración humana. Los investigadores utilizaron un material flexible y suave para producir una estructura triboeléctrica de nanogenerador que se puede integrar en dispositivos portátiles para la recolección de energía a partir de la respiración humana. Los resultados mostraron que se puede recolectar energía de la respiración humana por el generador y proporcionar una tensión continua y estable. <sup>[8]</sup>

### 2.3. IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES Y AMENAZAS (DAFO)

El análisis DAFO (debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades) es una herramienta muy útil para determinar y evaluar las fortalezas y debilidades internas de un producto o proyecto, además de las oportunidades y amenazas externas que pueden afectar su éxito o fracaso. Es por ello que para determinar la viabilidad de este proyecto es fundamental realizar un análisis DAFO como el presentado en la siguiente tabla:

**Tabla 2. Análisis DAFO del prototipo de generador de energía eléctrica a partir del movimiento del paciente.**

<b><u>DEBILIDADES</u></b>	<b>Acción a tomar para eliminar, reducir o convertir en fortaleza</b>	<b>Coste/Recursos a emplear</b>	<b>Ventaja competitiva a obtener</b>
Producto con tecnología en fase de desarrollo	Estar al corriente de las nuevas investigaciones, así como del desarrollo de la tecnología para poder implementar lo más novedoso y eficaz	Al estar en desarrollo los costes serán elevados	Es una aplicación novedosa y a la orden de las nuevas tecnologías
Financiación inicial para la puesta en marcha y comercialización	Buscar financiación de inversionistas y/o programas gubernamentales que apoyen el desarrollo de dispositivos médicos innovadores	Inversión de tiempo y esfuerzo para investigar y presentar propuestas de financiamiento	Reducción en los costos de producción y la posibilidad de ofrecer una solución más económica para los pacientes

<b><u>FORTALEZAS</u></b>	<b>Acción a tomar para mantenerla</b>	<b>Coste/Recursos a emplear</b>	<b>Ventaja competitiva a mantener</b>
Produce energía limpia	Al producir energía eléctrica a partir del movimiento de la respiración, este proceso se mantendría constante	No conlleva costes, ya que se emplea el propio movimiento del paciente	Energía limpia
Continuidad del funcionamiento del respirador	Llevar un mantenimiento del producto para comprobar su correcto funcionamiento y que no haya errores si se producen cortes de luz que impidan el funcionamiento normal del respirador	Conlleva el coste de mantenimiento	Solución frente al corte de corriente normal para el correcto funcionamiento del respirador
Innovación de producto en el mercado	Supone garantizar el correcto funcionamiento de los ventiladores en caso de fallo	Realizar una meticulosa fabricación centrada en las nuevas tecnologías, calidad y excelencia	Mantener la innovación del producto, así como su calidad
<b><u>AMENAZAS</u></b>	<b>Acción a tomar para eliminar, reducir o convertir en fortaleza</b>	<b>Coste/Recursos a emplear</b>	<b>Ventaja competitiva a obtener</b>
Desarrollo de un producto similar capaz de solventar nuestras debilidades	Estar al corriente de los avances en las tecnologías biomédicas para evitar mejoras por parte de la competencia	Fomentar la innovación y formación para estar constantemente actualizados en las entradas de mercado	Producto único e innovador

<b>OPORTUNIDADES</b>	<b>Acción a tomar para mantenerla</b>	<b>Coste/Recursos a emplear</b>	<b>Ventaja competitiva a mantener</b>
Sector pequeño	Identificar las necesidades específicas del sector y desarrollar soluciones que satisfagan dichas necesidades	Inversión en I+D+i	Incremento en la demanda y establecimiento como líder en el mercado
Solución al problema del incremento del coste de la luz	Uso de tecnologías TENG para crear energías limpias y producidas sin costes	Supone costes y recursos en fabricación, I+D y mantenimiento	Reducción de los costos de la energía eléctrica y aumento de la competitividad

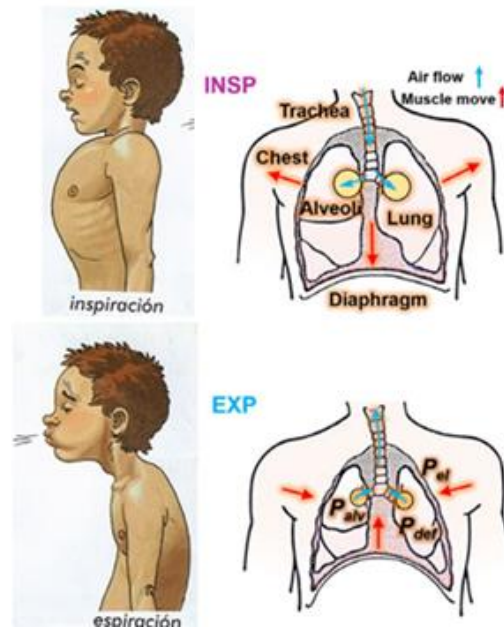
Fuente: Elaboración propia.

### 3. DISEÑO DEL PROTOTIPO

#### 3.1. FUNCIONAMIENTO DE LA RESPIRACIÓN

Para llevar a cabo el proceso de intercambio de gases durante la respiración, varios músculos deben moverse al unísono y contraerse y relajarse repetidamente (Figura 1). La inhalación implica la contracción tanto del diafragma como de los músculos intercostales situados entre las costillas, lo que provoca la expansión del tórax. Esta expansión aumenta el volumen intrapulmonar de los pulmones y provoca una disminución de la presión intrapulmonar de 1 a 2 mm Hg, lo que facilita la entrada de aire. A la inversa, durante la espiración, el diafragma y los músculos intercostales se relajan, con lo que disminuye el volumen intrapulmonar y aumenta la presión hasta 761 a 762 mmHg. Este proceso extrae el aire de los pulmones. En los casos de respiración pesada, el movimiento del abdomen también es un factor que contribuye.

Figura 1. Mecánica de la respiración.



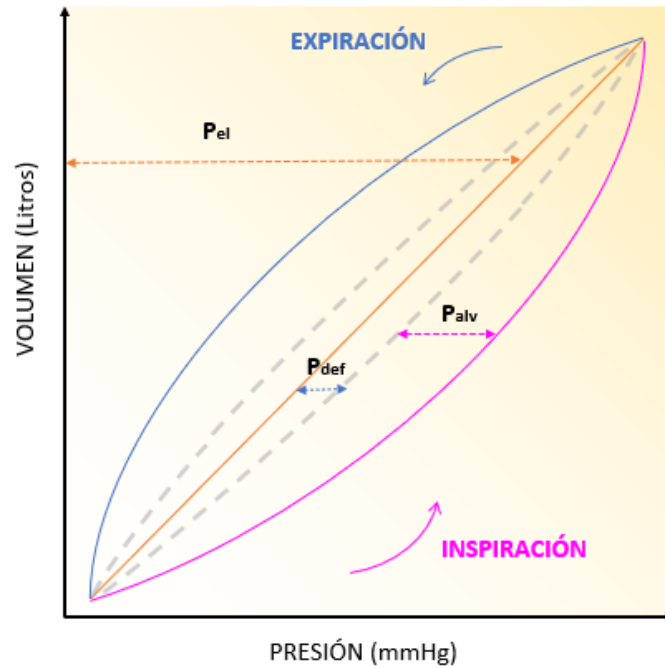
Fuente: elaboración propia.

Nota. Adaptado de *Mecánica de la respiración*, 2013, Science fusión kids

(<https://sciencefusionkids.wordpress.com/2013/12/10/bloque-3-la-salud-y-el-desarrollo-personal-block-3-health-and-personal-development/inspiracion-espiracion/>).

Para realizar un ciclo de respiración, el cuerpo necesita superar tres tipos principales de fuerzas de resistencia, es decir, la fuerza elástica del sistema torácico-pulmonar ( $P_{el}$ ), la viscosidad del aire y la turbulencia ( $P_{alv}$ ) debido al gradiente de presión entre los alvéolos y la boca, y resistencia a la deformación del tejido no elástico ( $P_{def}$ ) (deformación del tejido entre la superficie pulmonar y los alvéolos) (Figura 2). Los resultados basados en estudios empíricos <sup>[9,10]</sup> han mostrado que entre la energía mecánica general consumida en la respiración, el 63% es para vencer la fuerza elástica, el 29% está relacionado con la resistencia del aire y el 8% restante es para deformar tejidos. Para aproximar la energía biomecánica total de la respiración, primero, la fuerza elástica lineal podría expresarse como:

Figura 2. Ciclo de la respiración



Fuente: Elaboración propia.

$$(1) P_{el} = K * V$$

Donde K es la elastancia y V el volumen pulmonar. Por otro lado, se estiman la presión alveolar y la presión de deformación:

$$(2) P_{alv} + P_{def} = K_1 \left( \frac{dV}{dt} \right) + K_2 \left( \frac{dV}{dt} \right)^2$$

Donde  $\left( \frac{dV}{dt} \right)$  es la velocidad de cambio del volumen pulmonar y K1 y K2 son las constantes. Por lo tanto, la fuerza total es:

$$(3) P_{tot} = P_{el} + P_{alv} + P_{def}$$

Si suponemos que la velocidad del cambio de volumen es una onda sinusoidal, es decir, una oscilación repetitiva y suave, el trabajo mecánico de salida por respiración podría calcularse como:

$$(4) W = \int P_{tot} dV$$

Asimismo, la expresión de la potencia mecánica podría deducirse como:

$$(5) Pot_{mec} = W * f$$

Donde  $f$  es la frecuencia de la respiración.

De acuerdo con la ecuación (5), si damos un volumen de respiración de 6L a una frecuencia de 15/min, se puede estimar que la respiración de un adulto promedio en estado de reposo podría generar una potencia en torno a los 80 mW. <sup>[11]</sup> Para una toma de aire de 30 L/min en actividad normal, el valor de la potencia podría alcanzar aproximadamente 1W.

### 3.2. SELECCIÓN DE MATERIALES

Si comparamos las diferentes tecnologías de recolección de bioenergía como la electromagnética, la piezoeléctrica o los nanogeneradores triboeléctricos (TENG) podemos darnos cuenta que, estas últimas, cuentan con numerosos beneficios como peso ligero, alta densidad de energía y una alta sensibilidad de detección. <sup>[12]</sup>

El efecto de triboelectrificación se puede encontrar en casi todos los materiales, incluidos polímeros, cerámicas, metales,... Sin embargo, con respecto a la recolección de energía biomecánica del cuerpo humano, se utilizan más materiales con propiedades compatibles con los tejidos. Además, los

recolectores de energía basados en TENG no contienen plomo, por lo que son seguros para su uso en sensores sanitarios. <sup>[13]</sup>

Las propiedades destacadas de los generadores de energía triboeléctricos (TENG), como la capacidad de autoalimentación, suavidad, flexibilidad, bioseguridad y biocompatibilidad, abren un amplio abanico de posibilidades para su aplicación en la ingeniería biomédica. Los TENG impulsados por la respiración han encontrado una gran variedad de aplicaciones en este campo y se dividen principalmente en seis categorías: generación de energía eléctrica, control de atención médica, purificación de aire, detección de gases, electroestimulación y suministro de energía a dispositivos médicos.

### **3.2.1. MODOS Y FUNDAMENTOS TENG**

Los generadores de energía triboeléctricos (TENG) funcionan gracias a la combinación de la electrificación por contacto y la inducción electrostática. Aunque existen muchas configuraciones y estructuras diferentes para los TENG, concretamente 4 modos, estos se pueden dividir ampliamente en dos grupos: separación de contacto vertical (CS) y separación lateral en el plano (LS).

En el modo de separación de contacto vertical (CS), la electricidad se genera mediante la inducción de carga para equilibrar el campo electrostático dinámico entre dos películas triboeléctricas que periódicamente se separan y contactan. Este modo tiene una gran ventaja, y es que es altamente sensible a los estímulos mecánicos, sin embargo el espacio necesario para la separación plantea desafíos de ingeniería para el envasado y la encapsulación.

Para un TENG de modo de deslizamiento lateral (LS), la electricidad se genera creando potencial y flujo de electrones entre dos electrodos a través del desplazamiento en el plano de dos películas

triboeléctricas de un lado a otro. Este modo generalmente se asocia con una potencia de salida mejorada en comparación con el modo CS, especialmente cuando se implementa un diseño de microrrejilla. Sin embargo, requiere un área más grande para la operación. <sup>[14-16]</sup>

### 3.2.2. MATERIALES PARA TENG IMPULSADOS POR LA RESPIRACIÓN

La triboelectrificación consiste en la generación de cargas eléctricas a través del contacto y la separación de dos materiales. Basándose en la afinidad de los materiales por los electrones, se han desarrollado series triboeléctricas para actuar como una guía de diseño para los TENG, en las que se combina un material triboeléctrico positivo (baja afinidad electrónica) con un material triboeléctrico negativo (alta afinidad electrónica) para maximizar la producción de energía. Este efecto se puede contemplar en una amplia gama de materiales como metales, cerámicas o polímeros. Sin embargo, para la recolección de energía biomecánica del cuerpo humano, se requieren materiales que sean compatibles con los tejidos.

Para construir TENG flexibles se utilizan generalmente películas de polímeros bajos (como el polidimetilsiloxano [PDMS], Kapton, politetrafluoroetileno [PTFE]) y películas delgadas de metal (como el aluminio fabricado por deposición o el oro).<sup>[17-20]</sup> Sin embargo, considerando las características de este proyecto y la portabilidad, los TENG más adecuados son aquellos que utilizan telas o tejidos incorporando hilos con propiedades electrostáticas, lo que permite generar energía a partir de la fricción entre ellos. Los hilos utilizados en estos TENG tienen una estructura de núcleo-envoltura, en los que el núcleo está formado por hilos comerciales y la envoltura contiene recubrimientos con fuertes efectos electrostáticos.

Otro aspecto muy importante, es la biocompatibilidad. Para prevenir cualquier reacción inflamatoria o daño, los TENG deben ser compatibles con el cuerpo humano. Por lo tanto, hay que tomar

precauciones adicionales que garanticen este aspecto. Una de estas medidas es incluir recubrimientos biocompatibles, principalmente de polidimetilsiloxano (PDMS), que sirven como barrera entre los TENG y el entorno biológico en caso de que tengan contacto parcial o completamente con el interior del cuerpo.

[21,22]

A través de la ingeniería y la selección de materiales, hay una serie de estrategias que se pueden utilizar para mejorar el efecto de la triboelectrificación. Uno de estos métodos implica alterar la superficie del material utilizando métodos físicos como la fotolitografía\* y el grabado con plasma\*\* para producir patrones a escala nano/microscópica. Como resultado, el área de superficie del dispositivo aumenta, produciendo un aumento en la generación de electricidad. Las técnicas químicas también se pueden utilizar para modificar las propiedades de la superficie para obtener el mejor rendimiento, incluida la fluoración de la superficie\*\*\*, la inyección de iones, la síntesis de permeación secuencial\*\*\*\* y la funcionalización dirigida molecularmente\*\*\*\*\*. [23-26]

\* Fotolitografía: técnica utilizada en la fabricación de dispositivos microelectrónicos y nanoestructuras que consiste en crear patrones en una superficie mediante la exposición de una capa fotosensible a la luz ultravioleta a través de una máscara que contiene el diseño deseado.

\*\*Grabado de plasma: proceso utilizado para eliminar material de una superficie mediante la utilización de plasma que se utiliza en la fabricación de dispositivos microelectrónicos y en la creación de patrones en materiales semiconductores, cerámicos o metálicos.

\*\*\* Fluoración de la superficie: proceso químico en el que se aplica una capa de fluoruro en la superficie de un material.

\*\*\*\* Síntesis de permeación secuencial: introducción gradual y controlada de materiales en una matriz.

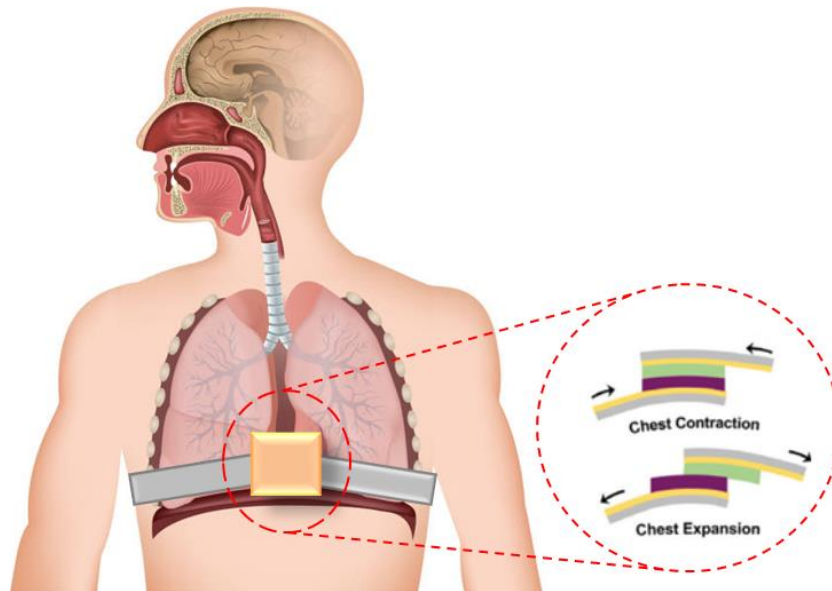
\*\*\*\*\*Funcionalización dirigida molecularmente: modificación de la superficie de un material utilizando moléculas seleccionadas.

### 3.2.3. TENG PARA LA RECOLECCIÓN DE ENERGIA DE LA RESPIRACIÓN

Como se mencionó anteriormente en el apartado 3.1, la energía mecánica generada durante la respiración proviene principalmente del movimiento del tórax y del flujo de aire, suponiendo el 63% y el 29%, respectivamente.

Con el fin de obtener energía de la respiración para este trabajo, se utilizará un tipo específico de dispositivo TENG que se activa con el movimiento del tórax (respiración torácica) o del abdomen (respiración abdominal). Para ser más precisos, una salida triboeléctrica se produce cuando el dispositivo se deforma y realiza desplazamientos periódicos, ya sea vertical o lateralmente (en los modos CS y LS, respectivamente), causados por la contracción y relajación regular del músculo provocada por la respiración. Como se detalla en la figura 3, se usa un cinturón TENG en modo LS alrededor del pecho. Cuando se inhala aire el pecho se expande, estirando el cinturón para separar las películas dieléctricas entre sí. Cuando exhala, el tórax se contrae y el cinturón se relaja devolviendo las películas a sus lugares iniciales.

Figura 3. TENG para la recolección de energía de la respiración



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Datos recogidos de la energía de la respiración por TENG

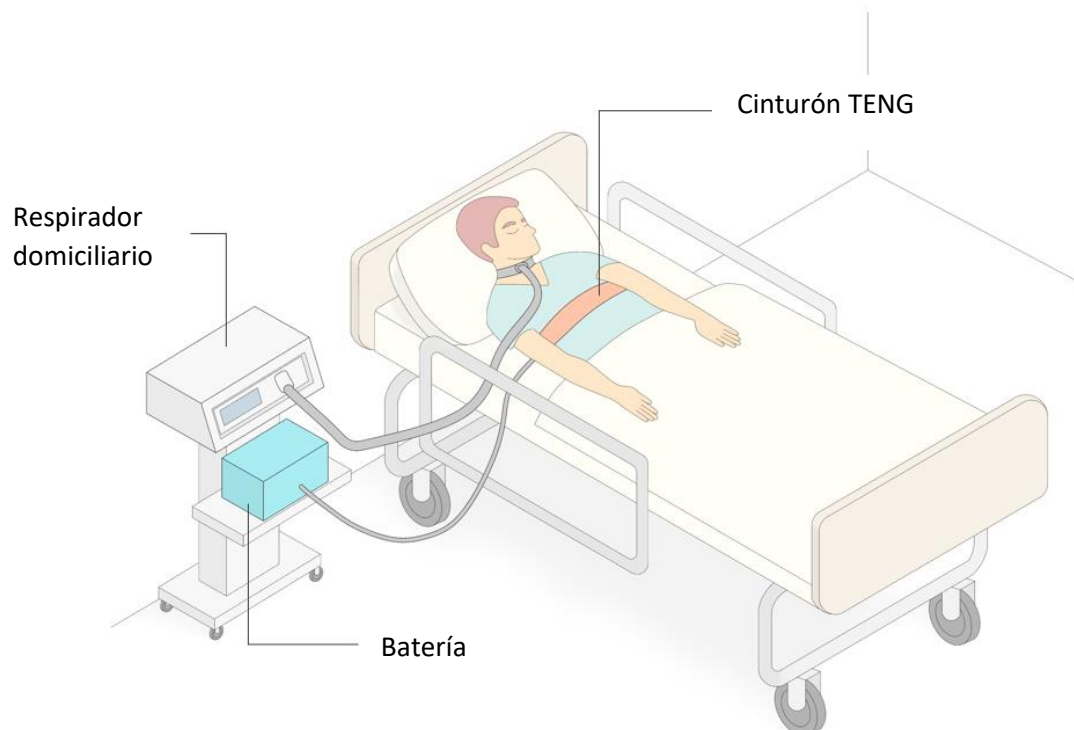
Mecanismo de trabajo	Ubicación de operaciones	Tensión de salida por respiración (V)	Corriente de salida por respiración ( $\mu$ A)	Frecuencia de operación (Hz)	Rango de densidad de potencia de salida	Referencias
Activación de movimiento	Pecho, abdomen, diafragma	0,1-20	<0,3	<2	0,076-7,584 mW/m <sup>2</sup>	[12, 27-28]

### 3.3. ESPECIFICACIÓN DEL PROTOTIPO

En este apartado se describirá en detalle el prototipo de generador de energía eléctrica basado en el movimiento del paciente, desde su diseño conceptual hasta la descripción de cada una de las partes que lo componen.

Una visualización completa del diseño y la disposición de los componentes del prototipo es fundamental, por ello, se ha realizado un boceto creado en CAD que servirá como representación gráfica para comprender y evaluar el diseño sugerido.

**Figura 4. Boceto en CAD del prototipo generador auxiliar de energía eléctrica para respiradores, a partir del movimiento del paciente.**



Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar en el boceto, el prototipo de generador auxiliar de energía eléctrica a partir del movimiento del paciente, se compone de un cinturón equipado con tecnología de generación de energía basada en el efecto triboeléctrico (TENG) que aprovecha la energía cinética producida por el movimiento del paciente y la transforma en energía eléctrica útil. Esta energía eléctrica se almacena en una batería, la cual cumple un papel fundamental como dispositivo de almacenamiento y suministro al respirador al que está conectado.

A continuación, en este apartado se describirán detalladamente las características y funcionalidades de cada uno de los componentes para permitir un análisis completo del diseño y la funcionalidad del prototipo.

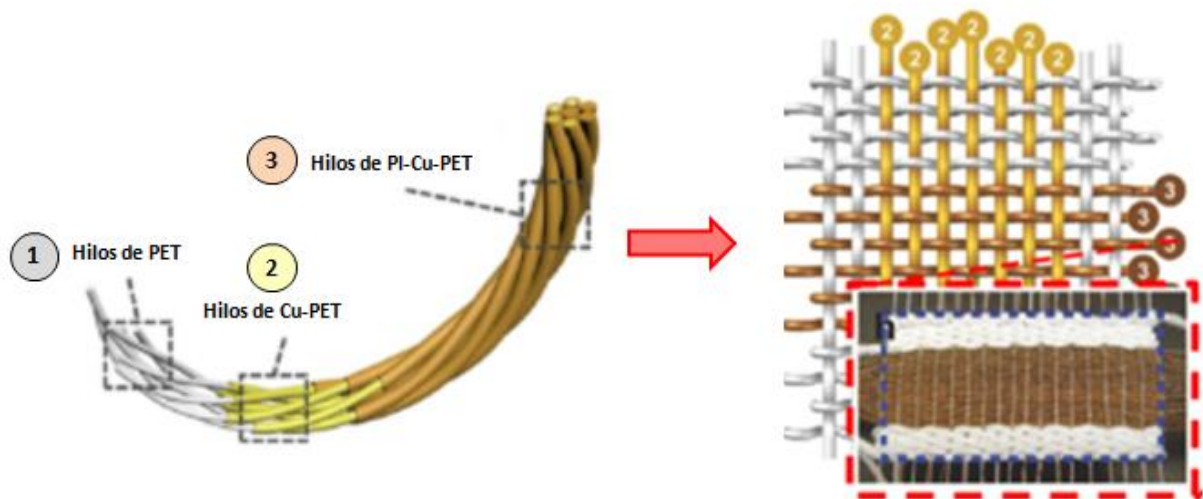
### **3.3.1. CINTURON EQUIPADO CON TECNOLOGÍA TENG**

El cinturón equipado con tecnología TENG es la pieza clave y fundamental en este prototipo. La tecnología TENG, es el corazón del cinturón y es el factor que permite la producción de energía eléctrica a través del fenómeno de electrificación por fricción. Como se ha mencionado anteriormente, el principio fundamental de esta tecnología es que cuando dos materiales con diferentes características eléctricas entran en contacto y luego se separan, producen una corriente eléctrica que se puede utilizar.

Para poder garantizar la biocompatibilidad, las TENG debían estar formadas por tejidos. Es por ello, que el elemento clave en el cinturón es un tejido inteligente TENG (t-TENG). Este tejido es crucial para controlar la frecuencia y profundidad de la respiración del paciente y sus cualidades distintivas y su capacidad para transformar el movimiento mecánico en energía eléctrica han supuesto la decisión de utilizar un tejido inteligente TENG en el prototipo. <sup>[29]</sup>

El t-TENG se puede integrar en el cinturón de manera fácil y cómoda porque está elaborado con hilos textiles especiales. El tejido inteligente TENG del cinturón está formado por hilos de urdimbre (sentido vertical) de tereftalato de polietileno recubierto de cobre (Cu-PET) e hilos de trama (sentido horizontal) de Cu-PET (PI-Cu-PET) recubiertos con poliimida (PI), que sirve como un sensor sensible a movimiento respiratorio y capturarlo. La poliimida es un tipo de polímero termoplástico y termoestable muy resistente al calor y al fuego, que se usa en aplicaciones médicas sanitarias. [30-31]

**Figura 5. Composición y estructura del cinturón equipado con tecnología t-TENG.**



Fuente: Elaboración propia.

Esta composición y estructura en el cinturón permite una salida de voltaje de entre 0,1 a 20 V (Tabla 3), y supondrá un valor u otro en función de la superficie de contacto paciente-cinturón y la frecuencia y profundidad de la respiración.

### 3.3.2. BATERIA

Para que el prototipo de generador auxiliar de energía eléctrica para respiradores pueda suministrar la energía eléctrica generada, necesitaremos que esté conectado a una batería que a su vez se conecte al respirador.

Es importante tener en cuenta que el prototipo genera una corriente continua (CC) con un rango tensión de 0,1 a 20 voltios. Por tanto, para que el sistema funcione correctamente, se debe seleccionar una batería que pueda soportar un voltaje máximo de 20 voltios.

No obstante, debe abordarse la posibilidad de picos de voltaje superiores a 20 voltios porque podrían ser perjudiciales para la integridad de la batería y la capacidad de funcionamiento del prototipo. Para ello, deberemos incluir un regulador de voltaje en el circuito para evitar tales situaciones y proteger eficazmente la batería contra daños.

En cuanto a la conexión con el respirador, es importante tener en cuenta que a pesar de que el respirador está conectado a corriente alterna (CA), este está equipado con un transformador, el cual permite la conversión de corriente alterna a corriente continua. El respirador tiene una tensión de salida en corriente continua de 24V, por ello, la batería que elegiremos será de este voltaje y así se satisfarán los 20V que le proporciona la batería y será compatible con el respirador.<sup>[32]</sup>

Establecer la conexión de la batería después del transformador del respirador es fundamental en este sentido. Así, podemos garantizar que la batería pueda suministrar una corriente continua que se de manera óptima al ventilador, satisfaciendo con precisión las necesidades de energía del ventilador.<sup>[33]</sup>

Además, la presencia del transformador ofrece mayor flexibilidad de fuentes de energía. Al utilizar una batería como fuente de alimentación principal, se logra una autonomía energética, lo cual resulta especialmente valiosa en situaciones en las que no se dispone de una conexión a la red eléctrica

convencional. La batería puede cargarse y reemplazarse según sea necesario, garantizando así la disponibilidad continua de energía para el funcionamiento del respirador.

#### 4. COSTES DEL PROYECTO

##### 4.1. PROVEEDORES DE BATERIA Y REGULADORES

Para encontrar los proveedores más adecuados debemos tener en cuenta factores como la disponibilidad, el costo y la calidad, así como la compatibilidad con el diseño del prototipo y que satisfaga las necesidades que buscamos en el producto que nos ofrecen.

Después de una búsqueda minuciosa de las baterías necesarias para este proyecto, se encontró que Amazon, conocido sitio de comercio electrónico, ofrece una amplia selección de opciones de baterías de diferentes fabricantes y vendedores. Al actuar como intermediario para agilizar el comercio entre proveedores y clientes, Amazon ofrece una tienda en línea confiable.

En esta plataforma podemos encontrar baterías que satisfagan los requerimientos técnicos del proyecto <sup>[34]</sup>:

- Baterías de 24 V.
- Alta calidad-precio (desde 99€).
- Tamaño pequeño (medidas aproximadas 45 x 68 x 110 mm).
- Entrega es rápida.
- Funcionan durante largos periodos de tiempo.
- Ligera (800 g aproximadamente).

- Permiten entrada y salida de voltaje al mismo tiempo.
- Incluye regulador de protección.

Por ello, se ha decidido comprar las baterías necesarias a través de la plataforma de Amazon tras tener en cuenta su accesibilidad y suficiencia.

**Figura 6. Batería de 24V.**



Fuente: Amazon.

#### **4.2. PRECIO FINAL**

Este apartado presenta detalladamente los diferentes costes asociados al prototipo y la comparación con los costes de un ventilador normal.

La siguiente tabla costes prototipo desglosa el precio de mercado inicial y los gastos que debe considerar el comprador a lo largo de distintos periodos de tiempo, tanto anualmente como cada 4 años.

**Tabla 4. Costes Prototipo**

COSTES PROTOTIPO (€)				
	Precio inicial	Mantenimientos y reemplazos (anual)	Mantenimientos y reemplazos (cada 4 años)	Costes totales en 4 años
<b>Cinturón TENG</b>	700			
<b>Batería</b>	150			
<b>Instalación</b>	70			
<b>Mantenimiento anual</b>		50	50	
<b>Reemplazo de la batería</b>			150	
<b>Reemplazo del cinturón</b>			700	
<b>Total</b>	920	50	900	2070

Fuente: Elaboración propia.

El cinturón TENG es una tecnología muy innovadora que actualmente se encuentra en una etapa de desarrollo. Antes de poder comercializarlo, debe someterse a pruebas y validaciones exhaustivas en entornos clínicos y con diferentes grupos de paciente. Debido a estos procesos y a que los costes de fabricación y diseño pueden variar a medida que se realizan mejoras y ajustes, el precio del cinturón se establece de manera aproximada. Por ello, se ha considerado que este sea de unos 700€.

Como se ha desarrollado en el apartado de proveedores de baterías, el coste mínimo es de unos 99€. Para poder tener asegurado una rentabilidad adecuada y cubrir posibles costes adicionales, se ha establecido un precio de venta de 150€ para la batería.

La instalación se refiere al proceso de conectar el cinturón TENG y la batería al respirador. Esto conlleva una mano de obra para realizar una instalación correcta. Esto puede incluir cualquier pieza o accesorio adicional necesario para garantizar una conexión segura y eficaz, así como la mano de obra necesaria para completar la instalación correctamente. Por ello, se ha establecido un precio de 70€.

El coste de la instalación de 70€ conforma los gastos asociados con la mano de obra y los componentes necesarios para conectar el cinturón TENG y la batería al respirador.

Estos precios suman un total de 920€, lo que sería el precio de mercado para el prototipo.

Con el objetivo de asegurar el óptimo funcionamiento del prototipo, se ha establecido realizar un mantenimiento anual. Por ello, se ha determinado una tasa de mantenimiento de 50€ por año.

Las baterías seleccionadas necesarias para el prototipo al ser de litio tienen una vida útil de entre 4 a 5 años. Es por ello que en el año 4 de uso del prototipo se establece renovar tanto la batería como el cinturón, lo que lleva un coste total de 900€.

## 5. ESTUDIO DE LA VIABILIDAD EN EL MERCADO

### 5.1. RENTABILIDAD DEL PROTOTIPO FRENTE A RESPIRADORES ACTUALES.

Para realizar un análisis de la rentabilidad del prototipo, compararemos el precio del uso de los respiradores actuales frente al del prototipo.

La siguiente tabla muestra los costes de los respiradores normales usando los datos proporcionados en el apartado 2.1.

**Tabla 5. Costes respiradores actuales.**

<b>COSTES RESPIRADORES ACTUALES (€)</b>			
	<b>Coste 24 horas</b>	<b>Coste anual</b>	<b>Coste a los 4 años</b>
<b>Tratamiento de presión positiva en las vías respiratorias (CPAP)</b>	81,6	29.376	11.7504
<b>Oxigenoterapia</b>	46,81	16.851,6	67.406,4
<b>Ventilador de alta dependencia</b>	31,21	11.235,6	44.942,4

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6. Ahorro costes del prototipo frente a costes de respiradores actuales.**

AHORRO (€)				
	Coste año 1	Ahorro total	Coste a los 4 años	Ahorro total
<b>Tratamiento de presión positiva en las vías respiratorias (CPAP)</b>	29.376	28.406	113.624	111.654
<b>Oxigenoterapia</b>	16.851,6	15.881,6	63.526,4	61.556,4
<b>Ventilador de alta dependencia</b>	11.235,6	10.265,6	41.062,4	39.092,4

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar los costes de los respiradores actuales, podemos observar que durante un periodo de 4 años (Tabla 5):

- El tratamiento de presión positiva (CPAP) es de 117.504€.
- La oxigenoterapia 67.406,4€.
- La ventilación de alta dependencia 44.942,6€.

Frente a un coste de 2.070€ totales por 4 años de uso del prototipo (Tabla 4). Lo que supone un ahorro significativo para el paciente de 111.654 € para CPAP, 61.556,4€ para oxigenoterapia y 39.092,4€.

Este análisis demuestra que el prototipo de generador auxiliar de energía eléctrica para respiradores, a partir del movimiento del paciente, en el caso de que su uso pueda establecerse como uso único de fuente de energía, puede generar un ahorro considerable en los costes asociados con los respiradores actuales que dependen de la corriente eléctrica.

## 5.2. ENCUESTA DE ACEPTACIÓN POR LOS CONSUMIDORES.

Todo proceso de desarrollo y lanzamiento de un proyecto o producto innovador debe incluir la realización de una encuesta de aceptación por el consumidor. Para este proyecto se ha llevado a cabo una encuesta con el objetivo de evaluar la aceptación y receptividad potencial del prototipo en el mercado.

Esta encuesta se ha elaborado con la ayuda de un profesional sanitario, que trabaja en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) del Hospital Costa del Sol de Marbella, y de un ingeniero industrial para poder hacer una encuesta eficaz y viable. En ella han participado un total de 121 personas que residen en Málaga entre las que encontramos:

- Ingenieros.
- Profesionales sanitarios.
- Un grupo reducido de personas aleatorias.

De todas estas personas encuestadas, el 69,4% son de sexo femenino y el 30,6% masculino, que se encontraban en un 42,1% entre 46 a 60 años, un 28,1% entre 18 a 30 años, un 24% entre 31 a 45 años y el restante 5,8% mayores de 60 años. Todas ellas siendo informadas del funcionamiento, coste provisional y propósito del prototipo.

Los resultados de la encuesta mostraron en general un alto grado de aceptación y valoración positiva del prototipo. A continuación, se muestra un análisis y valoración de los resultados obtenidos:

En cuanto a la sostenibilidad y eficiencia del prototipo, el 99,2% de los encuestados consideró que era eficiente y que promueve el uso de fuentes de energías más limpias, lo que nos indica una percepción muy favorable hacia el proyecto. Solo una persona votó en contra (0,8%), lo que representa una mínima proporción de los participantes.

En relación a si el proyecto representa una innovación significativa frente a los respiradores domiciliarios actuales, el 90,9% de los encuestados lo consideró así. Aunque en este caso, el 9,1% expresó cierta incertidumbre sobre la misma la mayoría de los participantes percibe el proyecto como una innovación relevante y útil.

Para respaldar la viabilidad comercial del prototipo y la posibilidad de que encuentre aceptación en el mercado, se preguntó a los encuestados si conocían a alguien que necesitara el uso de respiradores domiciliarios. Analizando los resultados obtenidos, observamos que aunque el 55,4% no conocían a nadie en esta situación, el 44,6% afirmó conocer a alguien que necesita de respiradores domiciliarios. Este 44,6% de los encuestados podrían tener una mayor comprensión y exposición a los desafíos reales a los que se enfrentan estas personas y nos indica que hay un porcentaje significativo de usuarios potenciales que podrían beneficiarse de esta tecnología.

La finalidad de preguntar a los encuestados si habían tenido alguna vez problemas con cortes de luz en sus domicilios se hizo para analizar el riesgo potencial para las personas que necesitan los respiradores domiciliarios. Tras analizar los resultados se obtuvo que el 77,7% afirmaban haber tenido problemas con el suministro eléctrico.

Estos resultados respaldan la necesidad y relevancia de buscar soluciones alternativas como es el caso del prototipo de generador auxiliar de energía eléctrica para respiradores, a partir del movimiento del paciente.

Cuando se preguntó si el prototipo podría suponer un avance significativo en la calidad de vida de las personas que dependen de los respiradores domiciliarios, el 86,8% respondió que sí y el 12,4% tuvo incertidumbre. Esto sugiere que la mayoría de encuestados considera la implantación del prototipo supone un impacto positivo y mejora en la calidad de vida. Además, el 81,8% afirmaron estar dispuestos a utilizar el prototipo en caso de que necesitaran un respirador domiciliario. Por lo que se respalda aún

más la aceptación y apertura hacia la adopción de las nuevas tecnologías y que confían en los beneficios que el proyecto puede llegar a ofrecer.

Finalmente, se les solicito a los encuestados que dieran su opinión general sobre el proyecto, calificándolo en una escala del 1 al 10, donde el 10 es la mejor puntuación. Se obtuvo que el 58,7% otorgó la máxima puntuación, seguida del 24% otorgando un 9, y el 15,7% y 0,8% restantes un 8 y un 7 respectivamente.

## 6. CONCLUSIONES

Las conclusiones que se pueden extraer del trabajo realizado son las siguientes:

- 1) Existe una creciente necesidad de soluciones para mejorar la calidad de vida de los pacientes con afecciones respiratorias crónicas, así como una creciente demanda de terapias respiratorias en el hogar.
- 2) La aplicación de tecnologías como el generador auxiliar de energía eléctrica basado en tecnología triboeléctrica (TENG) presenta una oportunidad para superar los obstáculos financieros y garantizar un suministro de energía para los respiradores.
- 3) Al utilizar el movimiento de respiración del paciente, el diseño y desarrollo del prototipo de generador de energía eléctrica auxiliar para respiradores hechos con telas inteligentes TENG presenta una solución viable para aumentar la autonomía energética de los dispositivos.
- 4) La conexión del prototipo a una batería con regulador de voltaje y una tensión de 24V, asegura la alimentación continua y precisa del ventilador.

- 5) El análisis de costes comparativos demuestra ahorros sustanciales para los pacientes que usan el prototipo en comparación con los costes de los ventiladores convencionales, lo que respalda su rentabilidad y viabilidad de mercado.
- 6) Es crucial recordar que el desarrollo de prototipos aún se encuentra en sus primeras etapas y necesita más pruebas y validación antes de que pueda comercializarse ampliamente.
- 7) El uso de la tecnología TENG en el prototipo demuestra un enfoque innovador y prometedor en la recolección de energía. Esto abre la puerta a futuras investigaciones y mejoras en el campo de la ingeniería biomédica.
- 8) El uso de tejidos inteligentes TENG en el cinturón prototipo asegura su biocompatibilidad y su correcto funcionamiento en contacto con el paciente, lo cual es crucial para garantizar la comodidad y seguridad durante el uso del dispositivo.
- 9) El coste estimado del prototipo, que incluye la batería, el cinturón TENG, la instalación, así como los costes de reemplazo y mantenimiento periódicos, muestra una inversión inicial y gastos anuales razonables en comparación con los costes relacionados con los respiradores convencionales.
- 10) El análisis comparativo de costos demuestra los considerables ahorros que se pueden lograr durante un período de 4 años en varias terapias respiratorias, lo que respalda aún más la eficacia del generador de energía eléctrica auxiliar como un sustituto práctico y asequible para proporcionar electricidad a los respiradores.
- 11) A pesar de las conclusiones favorables, es importante recordar que el prototipo aún se encuentra en las primeras etapas de desarrollo. Por lo tanto, antes de la implementación a gran escala, se necesitan más pruebas, validación clínica y adecuación técnica.

En conclusión, el estudio exhaustivo del mercado y la viabilidad del prototipo de generador auxiliar de energía eléctrica para respiradores ha arrojado múltiples conclusiones positivas. El uso de

tecnología TENG, la biocompatibilidad de los tejidos inteligentes, la conexión a una batería de 24 V, los ahorros de costos y la necesidad creciente de soluciones para mejorar la calidad de vida de los pacientes respiratorios crónicos respaldan la viabilidad y el potencial de este innovador dispositivo. Sin embargo, es fundamental continuar investigando, realizando pruebas y mejorando el prototipo para garantizar su eficiencia, seguridad y éxito en el mercado.

En conclusión, el análisis exhaustivo del mercado y la viabilidad del prototipo de generador auxiliar de energía eléctrica para respiradores, a partir del movimiento del paciente, ha dado lugar a numerosas conclusiones positivas. El potencial y la viabilidad de este novedoso dispositivo están respaldados por el uso de la tecnología TENG, la biocompatibilidad de los tejidos inteligentes, la conexión a una batería de 24 V, el ahorro de costes y la creciente necesidad de soluciones para mejorar la calidad de vida de los pacientes que necesitan de respiradores domiciliarios. Para garantizar la eficacia, la seguridad y el éxito comercial del prototipo, es crucial llevar a cabo investigaciones, pruebas y mejoras adicionales.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Mouzo, J. (2021, 11 febrero). “Estamos preocupados porque no se ve la luz”. *El País*.  
<https://elpais.com/sociedad/2021-02-11/estamos-preocupados-porque-no-se-ve-la-luz.html>
- [2] Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica. (2021). *Coste de la energía eléctrica del paciente y la precariedad del respiratorio crónico*. Recuperado el 27 de abril de 2023, de  
<https://www.archbronconeumol.org/es-pdf-S0300289621002246>
- [3] Energy Floors. (2023, abril 14). *The Walker - Energy Floors*. <https://energy-floors.com/products/the-walker/>
- [4] Pavegen. (2023). *Every Step Generates a Powerful Connection*. <https://www.pavegen.com/>
- [5] Castellanos, N. (2013). Evaluación preliminar del uso del efecto piezoeléctrico para generación de energía. *INVENTUM*, 8(15), 35-40.
- [6] *Site Search*. (2023). Georgia Institute of Technology.  
<https://www.gatech.edu/search/google?keys=nanogenerator+%2B+human+breathe#gsc.tab=0&gsc.q=nanogenerator%20%2B%20human%20breathe&gsc.page=1>
- [7] Ning, C., Cheng, R., Jiang, Y., Sheng, F., Yi, J., Shen, S., Zhang, Y., Peng, X., Dong, K., & Wang, Z. L. (2022). Helical Fiber Strain Sensors Based on Triboelectric Nanogenerators for Self-Powered Human Respiratory Monitoring. *ACS Nano*, 16 (2), 2811-2821.  
<https://doi.org/10.1021/acsnano.1c09792>
- [8] *Search - University of California, Berkeley*. (2021, 29 enero). University of California, Berkeley.  
<https://www.berkeley.edu/search/?q=nanogenerator+%2B+breathe>
- [9] Otis, A. B., Fenn, W. O., & Rahn, H. (1950). *Mechanics of Breathing in Man*. *Journal of Applied Physiology*, 2(11), 592-607. <https://doi.org/10.1152/jappl.1950.2.11.592>

- [10] Peters R. M. (1969). *The energy cost (work) of breathing. The Annals of thoracic surgery*, vol (7), 77-90. [https://doi.org/10.1016/s0003-4975\(10\)66146-2](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(10)66146-2)
- [11] *Mecánica de la ventilación pulmonar. Espirometría. | FISIOLÓGÍA.* (2023).  
<https://fisiologia.facmed.unam.mx/index.php/mecanica-de-la-ventilacion-pulmonar-espirometria/#:~:text=La%20cantidad%20de%20aire%20inspirado,por%2012%20respiraciones%20por%20minuto>
- [12] Zhang, Z., Zhang, J., Zhang, H., Wang, H., Hu, Z., Xuan, W., Dong, S., & Luo, J. (2019). A Portable Triboelectric Nanogenerator for Real-Time Respiration Monitoring. *Nanoscale Research Letters*, 14(1).1-2. <https://doi.org/10.1186/s11671-019-3187-4>
- [13] Zhang, R., & Olin, H. (2020). Material choices for triboelectric nanogenerators: A critical review. *EcoMat*, 2(4). <https://doi.org/10.1002/eom2.12062>
- [14] Wang, S., Lin, L., & Wang, Z. L. (2015). Triboelectric nanogenerators as self-powered active sensors. *Nano Energy*, 11, 436-462. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2014.10.034>
- [15] Wu, C., Wang, A. C., Ding, W., Guo, H., & Wang, Z. L. (2019). Triboelectric Nanogenerator: A Foundation of the Energy for the New Era. *Advanced Energy Materials*, 9(1), 2-4, 1802906. <https://doi.org/10.1002/aenm.201802906>
- [16] Liu, J., Gu, L., Cui, N., Xu, Q., Qin, Y., & Yang, R. (2019). Fabric-Based Triboelectric Nanogenerators. *Research*, 2019. <https://doi.org/10.34133/2019/1091632>
- [17] Diaz, A. M., & Félix-Navarro, R. M. (2004). A semi-quantitative tribo-electric series for polymeric materials: the influence of chemical structure and properties. *Journal of Electrostatics*, 62(4), 277-290. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2004.05.005>
- [18] Wang, M., Zhang, N., Tang, Y., Zhang, H., Ning, C., Tian, L., Li, W., Zhang, J., Mao, Y., & Liang, E. (2017). Single-electrode triboelectric nanogenerators based on sponge-like porous PTFE thin films for mechanical energy harvesting and self-powered electronics. *Journal of materials*

- chemistry. *A, Materials for energy and sustainability*, 5(24), 12252-12257.  
<https://doi.org/10.1039/c7ta02680c>
- [19] Fan, F., Tian, Z., & Wang, Z. L. (2012). Flexible triboelectric generator. *Nano Energy*, 1(2), 328-334.  
<https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2012.01.004>
- [20] Yun, B. M., Kim, J., Kim, H. J., Jung, K., Yi, Y., Jeong, M., Ko, J., & Jung, J. H. (2015). Base-treated polydimethylsiloxane surfaces as enhanced triboelectric nanogenerators. *Nano Energy*, 15, 523-529. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2015.05.018>
- [21] Li, J., Kang, L., Yu, Y., Long, Y., Jeffery, J. J., Cai, W., & Wang, X. (2018). Study of long-term biocompatibility and bio-safety of implantable nanogenerators. *Nano Energy*, 51, 728-735.  
<https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2018.07.008>
- [22] Yu, Y., Sun, H., Orbay, H., Chen, F., England, C. G., Cai, W., & Wang, X. (2016). Biocompatibility and in vivo operation of implantable mesoporous PVDF-based nanogenerators. *Nano Energy*, 27, 275-281. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2016.07.015>
- [23] Zhou, Q., Takita, R., & Ikuno, T. (2023). Improving the Performance of a Triboelectric Nanogenerator by Using an Asymmetric TiO<sub>2</sub>/PDMS Composite Layer. *Nanomaterials*, 13(5), 832.  
<https://doi.org/10.3390/nano13050832>
- [24] Li, H., Su, L., Kuang, S. Y., Pan, C., Zhu, G., & Wang, Z. L. (2015b). Significant Enhancement of Triboelectric Charge Density by Fluorinated Surface Modification in Nanoscale for Converting Mechanical Energy. *Advanced Functional Materials*, 25(35), 5691-5697.  
<https://doi.org/10.1002/adfm.201502318>
- [25] Feng, H., Li, H., Xu, J., Yin, Y., Cao, J., Yu, R., Wang, B., Li, R., & Zhu, G. (2022). Triboelectric nanogenerator based on direct image lithography and surface fluorination for biomechanical energy harvesting and self-powered sterilization. *Nano Energy*, 98, 107279.  
<https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2022.107279>

- [26] Zhang, J., Zhang, Y., Sun, N., Li, Y., Du, J., Zhu, L., & Hao, X. (2021). Enhancing output performance of triboelectric nanogenerator via large polarization difference effect. *Nano Energy*, *84*, 105892. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.105892>
- [27] Zhang, H., Zhang, J., Hu, Z., Quan, L., Shi, L., Chen, J., Xuan, W., Zhang, Z., Dong, S., & Luo, J. (2019). Waist-wearable wireless respiration sensor based on triboelectric effect. *Nano Energy*, *59*, 75-83. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.01.063>
- [28] Zhou, Z., Padgett, S., Cai, Z., Conta, G., Wu, Y., He, Q., Zhang, S., Sun, C., Liu, J., Fan, E., Meng, K., Lin, Z., Uy, C., Yang, J., & Chen, J. (2020). Single-layered ultra-soft washable smart textiles for all-around ballistocardiograph, respiration, and posture monitoring during sleep. *Biosensors and Bioelectronics*, *155*, 112064. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2020.112064>
- [29] Zhao, Z., Yan, C., Liu, Z., Fu, X., Peng, L., Hu, Y., & Zheng, Z. (2016). Machine-Washable Textile Triboelectric Nanogenerators for Effective Human Respiratory Monitoring through Loom Weaving of Metallic Yarns. *Advanced Materials*, *28*(46), 10267-10274. <https://doi.org/10.1002/adma.201603679>
- [30] Sun, X. W., Liu, Y., Luo, N., Liu, Y., Feng, Y., Chen, S., & Wang, D. (2022). Controlling the triboelectric properties and tribological behavior of polyimide materials via plasma treatment. *Nano Energy*, *102*, 107691. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2022.107691>
- [31] Prospector, U. (2023). UL Prospector. 2023. <https://www.ulprospector.com/plastics/es/generics/32>
- [32] Reserved, C. 2. R. L. A. R. (2023). *AirCurve 10 ST-A*. <https://www.resmed.lat/ventilacion/productos/aircurve-10-sta>
- [33] Gutiérrez Muñoz, Fernando. (2023). *Ventilación mecánica*. Scielo Perú. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1728-59172011000200006](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-59172011000200006)
- [34] Amazon: *Batería De Litio De 24V 6S2P*. (2023). [https://www.amazon.es/s?k=Bater%C3%ADa+De+Litio+De+24V+6S2P&mk\\_es\\_ES=%C3%85M](https://www.amazon.es/s?k=Bater%C3%ADa+De+Litio+De+24V+6S2P&mk_es_ES=%C3%85M)



[%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=30E03F3ZAN0CR&sprefix=bater%C3%ADa+de+litio+de+24v+6s2p+%2Caps%2C235&ref=nb\\_sb\\_noss](#)

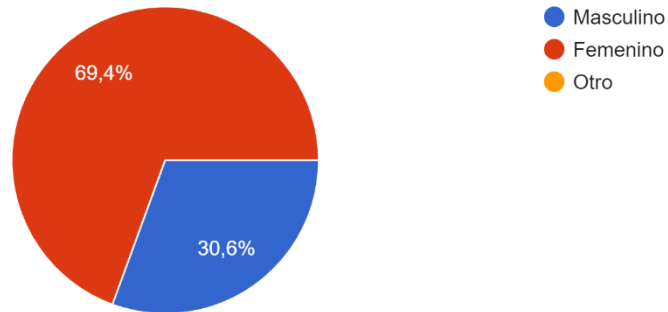


# ANEXO

## ENCUESTA DE ACEPTACION POR LOS CONSUMIDORES

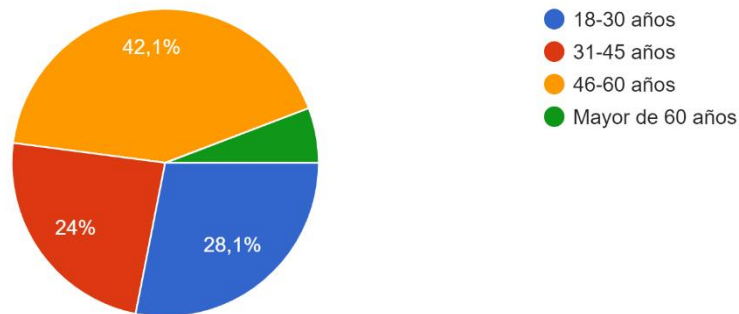
Género:

121 respuestas



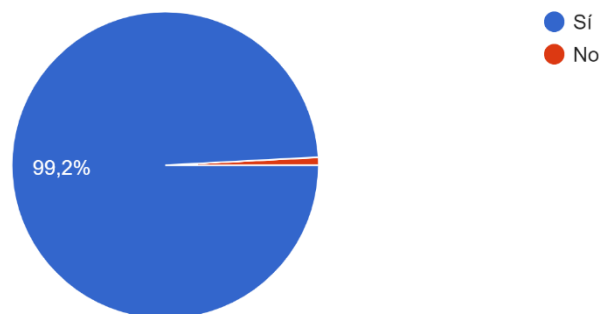
¿En que rango de edad te encuentras?

121 respuestas



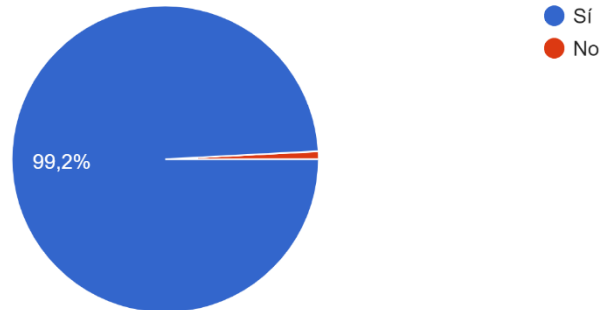
¿Consideras que este prototipo es una solución eficiente?

121 respuestas



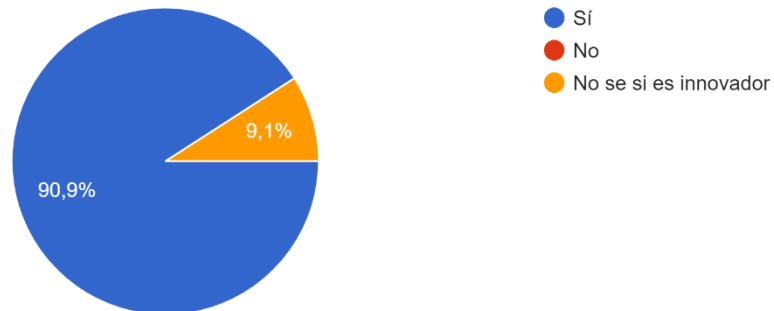
¿Piensas que la generación de energía a partir del movimiento del paciente promueve la sostenibilidad y el uso de fuentes de energía más limpias?

121 respuestas



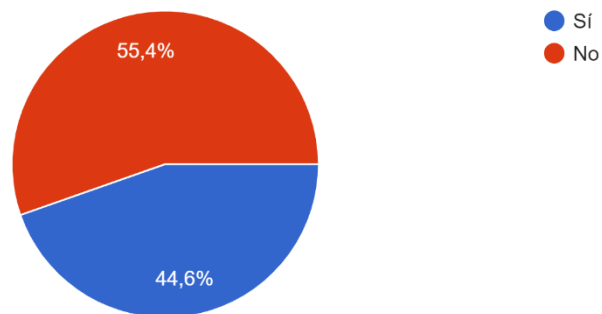
¿Crees que este proyecto representa una innovación significativa en el campo de los respiradores domiciliarios?

121 respuestas



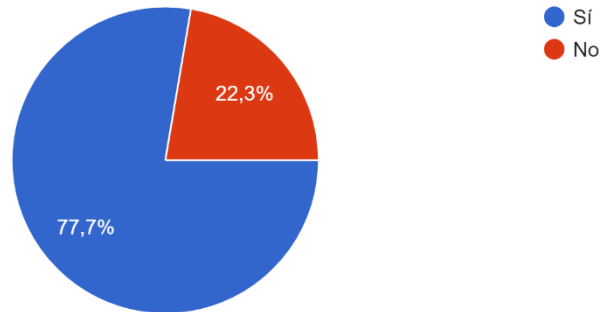
¿Conoces de alguien que necesite del uso de respiradores domiciliarios?

121 respuestas



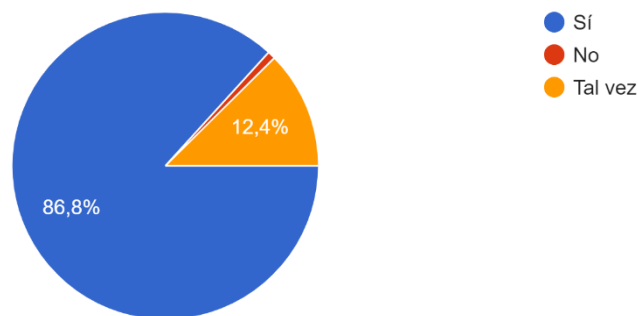
¿Has tenido alguna vez problemas por cortes en el suministro de luz?

121 respuestas



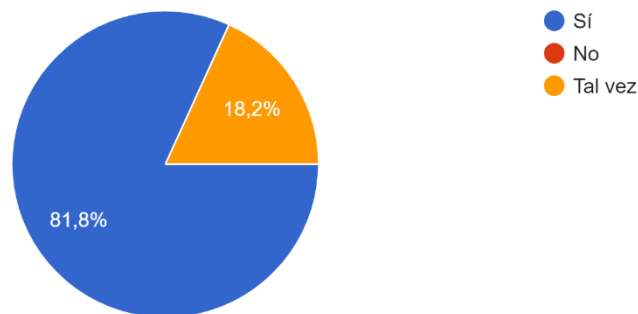
¿Crees que este prototipo podría significar un avance significativo en la calidad de vida de las personas que dependen de los respiradores domiciliarios?

121 respuestas



¿Estarías dispuesto/a a utilizar este prototipo en caso de que estuvieras utilizando un respirador domiciliario?

121 respuestas





### ¿Cuál es tu opinión general sobre este proyecto?

121 respuestas

