





**Utilidad del Polietileno Tereftalato (PET) y Polipropileno (PP) reciclado, para la fabricación de monturas oftálmicas**

**Presentado por:**

Paula Lizeth Martínez Beltrán

Karen Yireth González Rueda

**Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:**

Optómetra

**Directora científica:** Sandra Ortiz Opt.MSc.

**Director metodológico:** Juan Fernando Oyasa Opt.MSc.

**Línea de Investigación:** Ciencia de visión e innovación óptica

**Grupo de Investigación:**

Grupo de Investigación en optometría

**Universidad Antonio Nariño**

Facultad de Optometría

Bogotá D.C, Colombia

2022



NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director Metodológico

Firma del Director Científico

Bogotá D.C  
Agosto-2022



## **Contenido**

<b>1. Introducción</b> .....	<b>8</b>
<b>2. Planteamiento del problema</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1. Antecedentes</b> .....	<b>2</b>
<b>2.2. Problema de investigación</b> .....	<b>5</b>
<b>2.3. Hipótesis</b> .....	<b>6</b>
<b>3. Objetivos</b> .....	<b>7</b>
<b>3.1. Objetivo General</b> .....	<b>7</b>
<b>3.2. Objetivos específicos</b> .....	<b>7</b>
<b>4. Justificación</b> .....	<b>8</b>
<b>5. Marco Teórico</b> .....	<b>10</b>
<b>5.1. Plásticos</b> .....	<b>10</b>
5.1.1. Polietileno Tereftalato (PET) .....	10
5.1.2. Polipropileno (PP).....	14
<b>5.2. Montura oftálmica</b> .....	<b>17</b>
5.2.1. Partes de la montura oftálmica.....	17
5.2.2. Características geométricas principales.....	19
<b>5.3. Plásticos usados para la fabricación de monturas oftálmicas</b> .....	<b>20</b>
<b>5.4. Reacción alérgica</b> .....	<b>21</b>
<b>5.5. Norma técnica colombiana</b> .....	<b>22</b>
<b>6. Metodología</b> .....	<b>23</b>
<b>6.1. Diseño</b> .....	<b>23</b>
<b>6.2. Muestra</b> .....	<b>23</b>
<b>6.3. Fases del estudio</b> .....	<b>25</b>
<b>7. Cronograma</b> .....	<b>30</b>
<b>8. Consideraciones éticas</b> .....	<b>31</b>
<b>9. Resultados</b> .....	<b>32</b>
<b>9.1. Características de los sujetos</b> .....	<b>32</b>



9.2. Prueba de reacción alérgica.....	37
<b>10. Resultados adicionales.....</b>	<b>38</b>
10.1 Presentación en Feria .....	38
10.2. Convocatoria para presupuesto. ....	39
<b>11. Discusión .....</b>	<b>41</b>
<b>12. Conclusiones .....</b>	<b>43</b>
<b>13. Bibliografía.....</b>	<b>44</b>
<b>14. Anexos .....</b>	<b>47</b>
14.1. Anexo #1: Consentimiento informado para prueba de biocompatibilidad de prototipos de montura Polietileno Tereftalato (PET) y Polipropileno (PP) reciclado.....	47
14.2. Anexo # 2. Consentimiento informado para prueba de biocompatibilidad de prototipos de montura Polietileno Tereftalato (PET) y Polipropileno (PP) reciclado.....	50
14.3. Anexo #3. Encuesta de signos y síntomas alérgicos asociados al uso de las monturas oftálmicas de PET y PP .....	53



## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Comparación del módulo de flexión entre el PET y el acetato.....	12
<b>Tabla 2.</b> Comparación de resistencia al impacto entre el PET y el acetato .....	12
<b>Tabla 3.</b> Comparación de resistencia a la tracción entre el PET y el acetato .....	13
<b>Tabla 4.</b> Resistencia a la tracción del PP en las probetas .....	15
<b>Tabla 5.</b> Módulo de Young o módulo de elasticidad del PP en las probetas .....	15
<b>Tabla 6.</b> Resistencia a la flexión del PP en las probetas .....	16
<b>Tabla 7.</b> Propiedades de los materiales para monturas plásticas .....	20
<b>Tabla 8.</b> Prescripción óptica de los sujetos de estudio .....	23
<b>Tabla 9.</b> Cronograma de actividades .....	30
<b>Tabla 10.</b> Fisuras macroscópicas en el montaje de lentes oftálmicos .....	33



## Índice de imágenes

<b>Ilustración 1.</b> Partes de la montura oftálmica.....	18
<b>Ilustración 2.</b> Ángulo pantoscópico: inclinación de la montura respecto al rostro	19
<b>Ilustración 3.</b> Ángulo panorámico: curvatura del frontal de la montura y el rostro del usuario.....	20
<b>Ilustración 4.</b> Fisura macroscópica: Recuadro azul .....	25
<b>Ilustración 5.</b> Estabilidad dimensional antes del montaje del lente oftálmico: Recuadros verdes .....	26
<b>Ilustración 6.</b> Estabilidad dimensional antes del montaje del lente oftálmico: Manualmente.....	27
<b>Ilustración 7.</b> Moldeado post-fabricación. Recuadro verde.....	27
<b>Ilustración 8.</b> Pérdida del color en las monturas oftálmicas. Recuadro verde .....	28
<b>Ilustración 9.</b> Diagrama de flujo de las fases del estudio .....	29
<b>Ilustración 10.</b> Pérdida de color de las monturas oftálmicas (ver recuadro verde) .....	34
<b>Ilustración 11.</b> Fotografía con la Dra. Mabel Gisela Torres (ExMinistra de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia) conociendo el presente proyecto. ....	39



## 1. Introducción

El presente trabajo se pretende evaluar la utilidad del Polietileno Tereftalato (PET) y el Polipropileno (PP) reciclados para la fabricación de monturas oftálmicas. Las monturas oftálmicas son un soporte mecánico de sistemas ópticos como los lentes, prismas y filtros, las cuales deben cumplir unas propiedades mecánicas e hipoalergénicas para su uso clínico. Cabe aclarar que dichas propiedades mecánicas e hipoalergénicas aunque son mencionadas por la norma Icontec 5607 no están bien definidas en la práctica.

El PET y PP son plásticos de amplia disponibilidad en el mercado de materias primas. El PET es un termoplástico (temperatura de deformación 253°C) más utilizado en la fabricación de envases en la industria alimenticia a nivel mundial y es un polímero obtenido por la reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol que pertenece al grupo de los poliésteres (1). Por otra parte, el PP es también un polímero termoplástico (temperatura de deformación 150°C) es semicristalino de la familia de las poliolefinas que puede ser utilizado como plástico y como fibra (2).

Aproximadamente el 60% del PET es desechado al cumplir su ciclo de vida útil y causa un gran impacto ambiental (3). Por otro lado, el PP es un plástico tipo 5, donde su tiempo de degradación tarda 1000 años y al ser reciclado no se puede utilizar para la producción de envases de alimentos (4). Debido a su índice de resistencia al impacto de 15.32 N/mm<sup>2</sup>-20 N/mm<sup>2</sup> y su módulo de elasticidad de



2,76 GPa-1,14 GPa, podrían ser usados como materia prima para la fabricación de monturas oftálmicas (5).

El presente estudio pretende evaluar las propiedades post-montaje (fisura macroscópica, estabilidad dimensional: ángulo panorámicos antes y después del montaje del lente oftálmico, moldeado post-fabricación) y reacciones alérgicas asociadas al uso de monturas oftálmicas fabricadas por una empresa Colombiana. De esta manera, se busca reportar la utilidad del PET y PP reciclado como materia prima para la fabricación de monturas oftálmicas.



## **Palabras clave**

1. Monturas oftálmicas
2. Plástico
3. Polietileno de Tereftalato reciclado (PET)
4. Polipropileno reciclado (PP)

## **Keywords**

1. Ophthalmic frames
2. Plastic
3. Recycled polyethylene terephthalate (PET)
4. Recycled polypropylene (PP)



## **2. Planteamiento del problema**

### **2.1. Antecedentes**

Oviedo (2014), analizó la viabilidad de establecer una planta de reciclaje de botellas de plástico PET en la Ciudad de Malvinas Argentina para reciclar los residuos de toda la Ciudad de Córdoba. El autor utilizó la metodología propuesta por Sapag Chain, N. para analizar por separado los aspectos de mercado, técnicos, legales, ambientales y financieros del proyecto. El estudio concluyó que la planta de reciclaje de botellas de plástico PET en Malvinas Argentina para reciclar los residuos de toda la Ciudad de Córdoba es factible, siempre y cuando se realice una inversión inicial importante y se logre una economía de escala. Además, se requiere que las empresas recolectoras amplíen su circuito de recolección diferenciada para proporcionar la materia prima necesaria para la planta (6).

Del mismo modo, Gaviria (2019), analizaron la factibilidad para la fabricación y comercialización de telas poliéster a base de botellas plásticas de PET recicladas, con la finalidad de evaluar la viabilidad de las telas a base de botellas plásticas. Al final en este proyecto se decidió el mercado objetivo donde dirigir el negocio, utilizando metodologías de Focus Group y encuestas a 49 empresas textiles, y al final del proyecto se comprobó que es factible para la fabricación de telas poliéster y económicamente viable. Se demostró que el PET tiene un grado alto de cristalinidad, por lo que puede ser procesado mediante extrusión, inyección, soplado y termoconformado; donde se tiene



que tela que resulta de la transformación del plástico PET, es un material ecológico el cual es elaborado a partir del hilo de poliéster que es obtenido del reciclaje del PET (7).

Por otra parte, en Altamirano, Bullón, Cajacuri, Chiok & Salvatierra en el 2017, se evaluó la prefactibilidad de elaboración de ladrillos amigables con el medio ambiente utilizando material PET reciclado en Lima Metropolitana. Para ello, se diseñó una metodología que incluyó entrevistas y encuestas en 122 ferreterías ubicadas en la zona 5 de Lima. Los resultados indicaron que los productos elaborados con PET tienen una gran aceptación en el mercado peruano debido a sus propiedades innovadoras y su sustentabilidad, donde se tiene un gran potencial para la producción de ladrillos amigables con el medio ambiente (8).

Con respecto a la fabricación de monturas oftálmicas Heredia en el 2018, llevó a cabo un estudio sobre la elaboración de monturas utilizando materiales poliméricos y su relación con el rostro humano en pacientes usuarios de modificaciones ópticas en la ciudad de Quito. Estos investigadores utilizaron acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y ácido poliáctico (materiales biodegradables) mediante el uso de impresoras 3D y posteriormente evaluaron su compatibilidad con el rostro humano. Dicho estudio sugiere que el uso de materiales biodegradables y la fabricación de monturas oftálmicas mediante el uso de impresoras 3D son una opción viable y prometedora en la búsqueda de alternativas en la producción de dispositivos ópticos (9).

De igual manera, Pabón en el año 2016 llevó a cabo un estudio de viabilidad de una fábrica de monturas de plástico reciclado. Durante este estudio, se imprimieron diseños de gafas personalizadas utilizando filamentos de ácido poliláctico (PLA) y



acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) como materiales de trabajo. Se utilizó un espesor de 1.75mm de los filamentos PLA y ABS y para la fabricación de los productos se utilizó una impresora en 3D y un software denominado Repetier-Host, el cual importa el modelo del marco para las monturas oftálmicas que se van a imprimir. El resultado que obtuvieron en la investigación, fue que estas monturas ofrecen un gran diseño personalizado pero que no debían ser utilizados en condiciones extremas como, exposición a temperaturas elevadas, polvo, salpicadura de químicos, actividades deportivas y sobre todo el uso prolongado al sol (10).

Del mismo modo, López Luis en compañía de Buitrago Rubén en 2021, llevó a cabo un estudio que examina las propiedades del filamento del PET reciclado aplicado a la fabricación de monturas oftálmicas mediante la implementación aditiva en su fabricación, es decir, la fabricación en 3D. Para el diseño de las monturas, utilizaron el método del análisis jerárquico (AHP), una herramienta que facilita la toma de decisiones y la selección de las mejores opciones en función de los criterios de evaluación establecidos. Se concluyó que el PET cuenta con las propiedades mecánicas de termoestabilidad y de bajo costo, demostrando que la resistencia a la flexión es mayor en comparación a los materiales comerciales como el acetato de celulosa, teniendo en cuenta que la resistencia al impacto se encuentra por debajo del acetato de celulosa (11).



## **2.2. Problema de investigación**

En la pandemia aumentó el empleo de plásticos de un solo uso, donde en Bogotá el 60% de la basura diaria eran plásticos de todo tipo (12). Donde se encontró que el 40% fueron de tipo PET tipo 1 y PP tipo 5, los cuales podrían llegar a hacer materia prima para la manufactura de monturas para uso oftálmico(12).

El PET y el PP tienen una alta transparencia, admite cargas colorantes, alta resistencia al desgaste y corrosión, buena resistencia química y térmica. Lo cual significa que dicho material podría ser potencialmente útil para la fabricación de monturas oftálmicas (12).

Por otro lado, la montura oftálmica para cumplir con su función de soporte de sistemas ópticos debe tener una temperatura de deformación de 230 a -30°C, una resistencia al impacto de 50-80 N/mm<sup>2</sup> (resistencia del acetato de celulosa) y deben ser hipoalergénicas para la seguridad del paciente (12). Actualmente en Colombia existen empresas como Saju Ltda, SAMIR S.A, dedicadas a la fabricación de monturas oftálmicas elaboradas de materiales reciclados como polipropileno (PP), polietileno tereftalato (PET), polietileno (PE) (13). Sin embargo, se encuentran pocos estudios que evalúen la utilidad y la seguridad real de dichos materiales.



Por lo tanto, se necesita conocer si el PET y PP reciclado cumplen con las características necesarias para la fabricación de monturas oftálmicas.

### **2.3. Hipótesis**

Teniendo en cuenta que el PET y PP reciclado tienen una temperatura de deformación de 150 a 253°C- 150, resistencia al impacto de 15.32 a 20 N/mm<sup>2</sup> y un módulo de elasticidad de 1.14 a 2,76 GPa respectivamente; y probablemente sean hipoalergénicos, se considera que son materiales útiles para la fabricación de monturas oftálmicas (5).



### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo General**

Demostrar la utilidad del PET y PP reciclado, como material de monturas oftálmicas.

#### **3.2. Objetivos específicos**

1. Describir las propiedades mecánicas de una muestra de monturas elaboradas con PET y PP reciclado por una empresa nacional
2. Medir las reacciones alérgicas posteriores al uso de las monturas oftálmicas elaboradas con PET y PP reciclado por una empresa nacional



#### **4. Justificación**

Actualmente el plástico de un solo uso genera un gran impacto ambiental significativo y sigue siendo una problemática importante (12). Es por ello que se ha cuestionado la forma en el que se desecha este tipo de plástico. Se ha seleccionado esta problemática para la evaluar las propiedades mecánicas y alérgicas a monturas elaboradas con PET y PP, para así darle una vida útil al plástico que se arroja a la basura y reducir la contaminación (14).

Se han elegido el PET y el PP para este trabajo por varias razones. En primer lugar, ambos materiales son ampliamente utilizados en la industria y en la vida cotidiana, lo que significa que son relativamente fáciles de obtener y reciclar (14). Además, el PET y el PP son conocidos por sus propiedades mecánicas, como su resistencia a la tracción y al impacto, lo que los hace adecuados para la fabricación de monturas oftálmicas (11). Otro factor importante es la compatibilidad de estos materiales. Tanto el PET como el PP son seguros y tienen un bajo riesgo de alergias, lo que los convierte en una opción adecuada para su uso en dispositivos médicos (15)(16). Por último, cabe destacar la sostenibilidad de estos materiales, ya que son reciclables y contribuyen a la fabricación de productos más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.

Es importante destacar que las monturas oftálmicas cuentan con diferentes opciones de accesibilidad y cobertura según el tipo de régimen al que pertenezca el individuo. En el caso del régimen contributivo, las personas de 12 años o menos tienen



derecho a la cobertura de una montura oftálmica una vez al año, mientras que los mayores de 12 años pueden acceder a esta cobertura una vez cada 5 años. Sin embargo, es relevante señalar que el valor de la montura corre por cuenta del usuario en este régimen.

Por otro lado, en el régimen subsidiado, las personas menores de 21 años y mayores de 60 años con defectos de agudeza visual tienen derecho a la cobertura de una montura oftálmica una vez al año. En este caso, el 10% del valor de la montura es asumido por el paciente como parte de su gasto (17).

Por lo que los resultados de este estudio podrían demostrar que el reciclaje de este tipo de plásticos servirá como fuente de materia prima de monturas oftálmicas, efectivas, y accesible.



## **5. Marco Teórico**

### **5.1. Plásticos**

Los plásticos son materiales orgánicos que presentan un elevado peso molecular, lo que les confiere propiedades físicas y químicas únicas. El término “plástico” proviene del griego “plastikos”, que significa “que se deja moldear”, lo que hace referencia a la capacidad de estos materiales para adquirir diferentes formas y tamaños mediante la aplicación de calor y presión (18). Los plásticos están constituidos por largas cadenas de moléculas conocidas como “polímeros” donde el término proviene del griego “poli” (muchos) y “mero” (unidad de repetición), lo que hace referencia a la estructura molecular de los plásticos, que está compuesta por una gran cantidad de unidades repetitivas (18).

Esta estructura molecular permite a los plásticos presentar una amplia variedad de propiedades, como la resistencia, la flexibilidad, la transparencia, la durabilidad y la capacidad de aislamiento térmico y eléctrico (18).

#### **5.1.1. Polietileno Tereftalato (PET)**

Tereftalato de polietileno (PET), es un plástico ampliamente usado en envases de bebidas y textiles, es un polímero obtenido de la reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenece a un grupo de poliésteres llamados materiales sintéticos (19).



#### **5.1.1.1. Propiedades mecánicas del PET**

Se tomó como referencia el artículo de López Luis realizado en 2021, titulado “aplicación de la fabricación aditiva en la fabricación de monturas oftálmicas”.

En este estudio se realizó una comparación con el acetato de celulosa, para saber si el prototipo elaborado con tereftalato de polietileno servía como material para la fabricación de las monturas oftálmicas (11).

En el estudio se tuvieron en cuenta las siguientes propiedades mecánicas:

- Módulo de Flexión: FLX (N/mm<sup>2</sup> o MPa)
- Resistencia al impacto: HV (N/mm<sup>2</sup>)
- Resistencia a la tracción: Tracc (N/mm<sup>2</sup> o MPa)

En este ensayo se utilizó la norma ASTM D790, que establece una geometría rectangular de 100 mm de largo, 15 mm de ancho y 3,75 mm de espesor ( $\sigma < 5000\text{N}$ ), para evaluar el comportamiento del PET en comparación con el acetato, un material comercialmente utilizado y conocido por su alta resistencia. La medición de la resistencia a la flexión y el módulo de flexión de los materiales mencionados se realizaron mediante una prueba de flexión estándar, también conocida como prueba de flexión de tres puntos (11).

Donde se apreció que el PET tiene una mayor resistencia a la flexión, con un valor de 44.1 N/mm<sup>2</sup> en comparación con el acetato de celulosa que tiene un valor de 30



N/mm<sup>2</sup>. Asimismo, se aprecia que el módulo de flexión en el PET presenta un mejor rendimiento en comparación con el acetato, lo que significa que el PET tiene una mayor resistencia a la deformación. (Ver tabla 1).

**Tabla 1. Comparación del módulo de flexión entre el PET y el acetato**

	<b>FLX (N/mm<sup>2</sup> o MPa)</b>	<b>Val.Ref</b>
<b>PET Prototipos</b>	44.1 N/mm <sup>2</sup>	48.3-72.4 N/mm <sup>2</sup>
<b>Acetato de celulosa (AC)</b>	30 N/mm <sup>2</sup>	

Tomado: López Luis. Aplicación de la fabricación aditiva en la fabricación de monturas

<https://www.redalyc.org/journal/849/84969892006/>

Por otro lado, se tiene la resistencia al impacto, la cual se realizó siguiendo los parámetros establecidos por la norma ASTM D256-10 utilizando un espécimen con una capacidad máxima de absorción de energía de 22 Jules (11).

Los resultados revelaron que la resistencia al impacto del PET es de 15.35 N/mm<sup>2</sup> menor en comparación con el acetato de celulosa que exhibió un valor de 50 N/mm<sup>2</sup>. Estos resultados indican que el PET es más susceptible a sufrir fracturas cuando se somete a un impacto (11). (Ver tabla 2).

**Tabla 2. Comparación de resistencia al impacto entre el PET y el acetato**

	<b>HV (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Val.Ref</b>
<b>PET Prototipos</b>	15.35 N/mm <sup>2</sup>	0.04 J/cm=0.0004 N/mm <sup>2</sup>
<b>Acetato de celulosa (AC)</b>	35 N/mm <sup>2</sup>	

Tomado: Tomado: López Luis. Aplicación de la fabricación aditiva en la fabricación de monturas

<https://www.redalyc.org/journal/849/84969892006/>

Y, por último, es importante considerar la resistencia a la tracción de los



materiales. En este caso, se llevó a cabo un ensayo basado en la norma ASTM D638, utilizando una probeta tipo I con una resistencia máxima de 5000 N ( $\sigma$ ) como referencia para evaluar el comportamiento del material. Para determinar el módulo de tracción, se realizó un ensayo de tracción uniaxial (11).

Los resultados revelaron que el módulo de tracción del PET es menor en comparación con el del acetato de celulosa. Esto indica que el PET es más susceptible a sufrir deformaciones cuando se le aplica un esfuerzo en direcciones opuestas. En otras palabras, el PET tiene una menor capacidad de resistir fuerzas de tracción sin experimentar deformación en comparación con el acetato de celulosa (11). (Ver tabla 3).

**Tabla 3. Comparación de resistencia a la tracción entre el PET y el acetato**

	<b>Tracc (N/mm<sup>2</sup> o MPa)</b>	<b>Val.Ref</b>
<b>PET Prototipos</b>	15.1 N/mm <sup>2</sup>	150 N/mm <sup>2</sup>
<b>Acetato de celulosa (AC)</b>	30-50 N/mm <sup>2</sup>	

Tomado: Tomado: López Luis. Aplicación de la fabricación aditiva en la fabricación de monturas

<https://www.redalyc.org/journal/849/84969892006/>



### **5.1.2. Polipropileno (PP)**

El Polipropileno (PP), es un termoplástico de baja densidad, obtenido por polimerización del propileno, se encuentra en productos y envases como tapas de botellas de plástico, cartones de leche de plástico, jeringas desechables, productos de mercado, envases de bebidas y baldes de pintura (20).

#### **5.1.2.1. Propiedades mecánicas del PP**

Para analizar las propiedades mecánicas del polipropileno, se tomó como referencia el artículo elaborado por Caicedo Carolina en 2017. En este estudio, se realizaron 5 comparaciones utilizando probetas de polipropileno, con el objetivo de determinar las diferentes propiedades mecánicas y cómo varían en relación con las 5 probetas evaluadas (21).

Se tuvieron en cuenta las siguientes propiedades:

- Resistencia a la tracción (MPa)
- Módulo de Young (MPa)
- Resistencia a la flexión (MPa)

La resistencia a la tracción en las diferentes probetas de polipropileno, se aprecia que los valores son muy similares con respecto al valor de referencia, esto quiere decir que se tiene una buena resistencia a la tracción cuando se ejerce una fuerza y cabe resaltar que las probetas son amorfas (recicladas) y que no existen prototipos de estudios



sobre monturas oftálmicas(21). (Ver tabla 4)

**Tabla 4. Resistencia a la tracción del PP en las probetas**

PP probetas	Resistencia a la tracción	Val. Ref
PP1	27 MPa	27 MPa
PP2	25 MPa	27 MPa
PP3	26 MPa	27 MPa
PP4	25 MPa	27 MPa
PP5	25 MPa	27 MPa

Tomado: Caicedo Carolina. Propiedades termo-mecánicas del polipropileno: Efectos durante el reprocesamiento.

[https://www.researchgate.net/publication/325665888\\_Propiedades\\_termo-mecanicas\\_del\\_Polipropileno\\_Efectos\\_durante\\_el\\_reprocesamiento](https://www.researchgate.net/publication/325665888_Propiedades_termo-mecanicas_del_Polipropileno_Efectos_durante_el_reprocesamiento)

Tras analizar las 5 probetas de polipropileno en el estudio realizado, se observa que el módulo de Young o módulo de elasticidad longitudinal presenta valores inferiores al valor de referencia. Esta discrepancia indica que la elasticidad de las muestras no es óptima y sugiere que son propensas a fracturarse rápidamente (21). (Ver tabla 5)

**Tabla 5. Módulo de Young o módulo de elasticidad del PP en las probetas**

PP probetas	Módulo de Young	Val. Ref
PP1	27 MPa	1300 MPa
PP2	25 MPa	1300 MPa
PP3	26 MPa	1300 MPa



<b>PP4</b>	25 MPa	1300 MPa
<b>PP5</b>	24 MPa	1300 MPa

Tomado: Tomado: Caicedo Carolina. Propiedades termo-mecánicas del polipropileno: Efectos durante el reprocesamiento.

[https://www.researchgate.net/publication/325665888\\_Propiedades\\_termo-mecanicas\\_del\\_Polipropileno\\_Efectos\\_durante\\_el\\_reprocesamiento](https://www.researchgate.net/publication/325665888_Propiedades_termo-mecanicas_del_Polipropileno_Efectos_durante_el_reprocesamiento)

Los resultados obtenidos del módulo de flexión en las 5 probetas de polipropileno revelan valores similares a los de referencia, lo que indica una buena capacidad de flexión en estas muestras. Este hallazgo es relevante, ya que sugiere que el polipropileno utilizado en el estudio tiene una adecuada resistencia a la flexión, lo que podría ser beneficioso para aplicaciones que requieren materiales flexibles y con capacidad de recuperación (21). (Ver tabla 6)

**Tabla 6. Resistencia a la flexión del PP en las probetas**

<b>PP probetas</b>	<b>Resistencia a la flexión</b>	<b>Val. Ref</b>
<b>PP1</b>	32 MPa	33.1 MPa
<b>PP2</b>	30 MPa	33.1 MPa
<b>PP3</b>	30 MPa	33.1 MPa
<b>PP4</b>	30 MPa	33.1 MPa
<b>PP5</b>	28 MPa	33.1 MPa

Tomado: Tomado: Caicedo Carolina. Propiedades termo-mecánicas del polipropileno: Efectos durante el reprocesamiento.

[https://www.researchgate.net/publication/325665888\\_Propiedades\\_termo-mecanicas\\_del\\_Polipropileno\\_Efectos\\_durante\\_el\\_reprocesamiento](https://www.researchgate.net/publication/325665888_Propiedades_termo-mecanicas_del_Polipropileno_Efectos_durante_el_reprocesamiento)



## **5.2. Montura oftálmica**

Las monturas oftálmicas son un soporte mecánico para sistemas ópticos como lentes, prismas y filtros, las cuales deben cumplir unas propiedades mecánicas e hipoalergénicas para su utilidad clínica. Desde el siglo XIV al XVIII, la fabricación de las monturas fue artesanal y limitada y a partir del siglo XIX con el humanismo y la revolución industrial, se elaboraron monturas complejas (17).

Las primeras monturas oftálmicas que se dieron a conocer fueron de un claustro de Wienhausen las cuales relatan del año 1400, estas monturas consistían en dos círculos de madera, que se situaban en dos círculos de madera que estaban unidas mediante un remache y se ubican sobre la nariz (17).

### **5.2.1. Partes de la montura oftálmica**

A continuación, se describen las principales partes de una montura oftálmica (Ver ilustración 1):

- **Puente:** Permite el asentamiento estable y ergonómico del frente de la montura, sobre la nariz (22).
- **Plaquetas:** Porciones fijas o móviles que tienen contacto con las paredes laterales de la nariz e integran el puente de la montura (22).
- **Varilla o brazo:** Sostener y estabilizar el frente de la montura (22).



- Terminales: Generan confort y ayudan a evitar reacciones alérgicas a determinados materiales y están recubiertos con materiales blandos (goma o caucho) (22).
- Chamela: Es la bisagra que une las varillas con el frente (compuesta por una bisagra con tornillos o codos) (22).
- Aro: Son dos aros los que rodean los lentes oftálmicos, los que permiten que los lentes se mantengan fijos (22).

#### Ilustración 1. Partes de la montura oftálmica



Tomado de: óptica en Fuengirola. Partes de las gafas: conoce cada uno de los elementos



## 5.2.2. Características geométricas principales

**Ángulo pantoscópico:** Es el ángulo del plano de la montura respecto a la vertical (inclinación inferior del frente y donde el borde inferior del aro queda más cercano a la cara), el cual debe estar de 0 a 5° en lentes convencionales (22). (Ver ilustración 2)

**Ilustración 2. Ángulo pantoscópico: inclinación de la montura respecto al rostro**

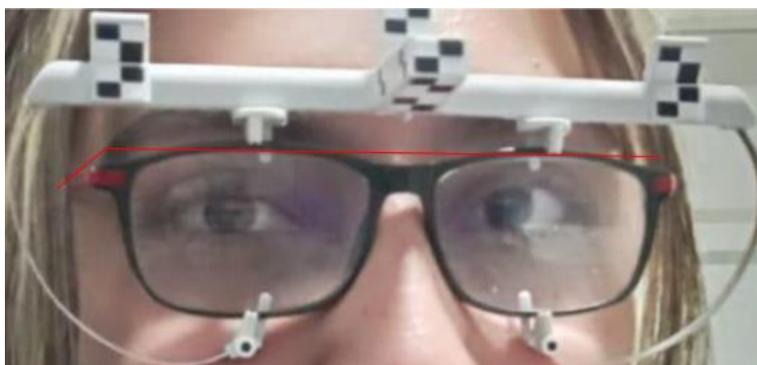


Tomado de: Elaboración propia por los autores

**Ángulo panorámico:** Es la curvatura del frontal de la montura que se adecua a la convexidad de la cara del usuario (22).

Espacio formado entre el frente de la montura con respecto a la cara del paciente, la medida debe ubicarse entre 5° a 8° para que se asemeje a la cara del paciente (22). (Ver ilustración 3)

**Ilustración 3. Ángulo panorámico: curvatura del frontal de la montura y el rostro del usuario**



Tomado de: Elaboración propia por los autores

### 5.3. Plásticos usados para la fabricación de monturas oftálmicas

**Tabla 7. Propiedades de los materiales para monturas plásticas**

	<b>CN</b>	<b>CA</b>	<b>CP</b>	<b>EP</b>	<b>PA</b>
<b>Ventajas</b>	Material fácil de manipular, permitía la realización de más diseños (17)	Menos inflamable que el CN, más estable al envejecimiento, hipoalergénicos, resistencia al impacto, tiñe fácilmente (17)	Baja densidad (liviano), hipoalergénico, colores brillantes (17)	Elevada resistencia a la flexión, hipoalergénico o y resistencia al rayado (17)	Buena resistencia y dureza, tiene una buena elasticidad a bajas temperaturas (17)
<b>Desventajas</b>	Rápido envejecimiento, pierde fácilmente la elasticidad y se decolora con facilidad debido a la evaporación del alcanfor, inflamable (17)	Reducida flexibilidad y requiere ajustes frecuentes, propenso a deformarse a temperaturas altas o humedad (17)	No se deja moldear a temperaturas altas (17)	No se deja moldear fácilmente	Comportamiento óptico no es óptimo, limita su uso en aplicaciones que requieran alta resistencia al calor (17)
<b>Temperatura de deformación (°C)</b>	100	130	110	250	
<b>Resistencia de impacto (N/mm<sup>2</sup>)</b>	60-70	50-80	50-80	130	
<b>Interacción con la piel</b>	*	Media	Baja	Buena	Buena

Tomado de: Aregay Jesús; Flores Jose; Tenza Luisa. Tecnología óptica, lentes oftálmicas, diseño y adaptación. <https://www.elibro.com/>

CN: Celuloide, CA: Acetato de celulosa, CP: Propionato de celulosa, EP: Resina de epoxi, PA: Poliamida



#### **5.4. Reacción alérgica**

La reacción alérgica es una respuesta exagerada del sistema inmunitario que puede ocurrir cuando un material entra en contacto con alguna parte del cuerpo (23). En el caso de las monturas oftálmicas, las cuales están en contacto directo con la piel de los pacientes, es importante que sean inertes y no interactúen con la piel de ninguna manera, para evitar cualquier tipo de irritación o alergia. Por lo tanto, es esencial que los materiales utilizados en las monturas sean cuidadosamente seleccionados para garantizar la seguridad del paciente (23).

Como ya se mencionó anteriormente, el PET es un material compuesto por poliuretanos (son termoestables), polimetacrilato. En cuanto a su biocompatibilidad, existen reportes favorables del reemplazo de tendones, injertos vasculares, reemplazo de cartílagos y prótesis de pared abdominal (15). Del mismo modo el PP es usado en jeringas, en válvulas cardíacas de tipo mecánico donde en su zona de anclaje está normalmente fabricado con polipropileno, cajas de implantes (18).

Por lo que se cree que tanto el PET y PP, pueden tener una buena biocompatibilidad con la piel en contacto con la montura oftálmica.



## **5.5. Norma técnica colombiana**

La guía necesaria para la fabricación de monturas oftálmicas a nivel internacional está regida por la norma Icontec 5607. El instituto colombiano de normas técnica y certificación (Icontec) es una entidad de carácter privado, sin ánimo de lucro cuya misión es la de brindar soporte y desarrollo al productor y protección al consumidor (24).

Esta norma hace referencia a que las monturas deben evitar el contacto con la piel de cualquier material que sea reconocido como causante de irritación, alergia o reacción tóxica a la piel y la temperatura del ambiente que deben soportar es de 23°C (24).

Para el diseño se debe permitir que la colocación y permanencia sean seguras de los lentes, además las monturas deben ser llevadas sin molestia durante periodos prolongados y sobre todo los materiales con los que se elabore las monturas oftálmicas deben ser resistentes al envejecimiento (24).



## 6. Metodología

### 6.1. Diseño

Estudio pseudo experimental tipo piloto

### 6.2. Muestra

Se seleccionó una muestra de 12 sujetos entre hombres y mujeres, entre 15-40 de edad usuarios de anteojos (desde lentes terminados a tallados), con equivalentes esféricos (ver tabla 10) con la finalidad de tener un rango variado de formular para determinar el desempeño de las propiedades mecánicas del material. Muestra a conveniencia en la ciudad de Bogotá D.C. (Ver tabla 8)

**Tabla 8. Prescripción óptica de los sujetos de estudio**

	RX OD	RX OI	TIPO DELENTE
1	+1.00 SPH	+0.75 SPH	Terminado CR39
2	-0.50-1.75x0	N-2.00x0	Terminado CR39
3	-3.00-2.50x0	-3.00-2.50x0	Terminado Poli
4	-2.50 SPH	-2.50SPH	Tallado en alto índice
5	-1,00 sph	-0,75 sph	Terminado en CR39
6	-3,00-2,00X0	-3,00-1,75 X 10	Tallado alto índice
7	+0,25-2,00 X 0	+0,25-2,00 X 0	Terminado Poli



	RX OD	RX OI	TIPO DE LENTE
1	+1.00 SPH	+0.75 SPH	Terminado CR39
2	-0.50-1.75x0	N-2.00x0	Terminado CR39
3	-3.00-2.50x0	-3.00-2.50x0	Terminado Poli
4	-2.50 SPH	-2.50SPH	Tallado en alto índice
5	-1,00 sph	-0,75 sph	Terminado en CR39
6	-3,00-2,00X0	-3,00-1,75 X 10	Tallado alto índice
8	+2.75-2.75x15°	+2.50-2.75x170°	Tallado poli
9	N -5,25 X 0°	N -5,50 X 0°	Tallado alto índice
10	-7,50-1, 25 X 165°	-14,00-200X10°	Tallado poli
11	+1.50 sph	+1.50s sph	Tallado poli
12	+1.75-1.50x0°	+1.75-1.50x0°	Terminado poli

Tomado de: Elaboración propia por los autores

### 6.3. Fases del estudio

**Fase 1.** Adquisición de las monturas oftálmicas. (Ver ilustración 4)

**Fase 2.** En esta etapa, se evaluaron las propiedades mecánicas de los lentes oftálmicos después de su montaje. Se realizaron las siguientes pruebas:

- Fisura macroscópica. Los lentes oftálmicos se montaron en las monturas
- y se examinó si este proceso generaba alguna fisura o grieta en las mismas

(Ver ilustración 4 y 9)

**Ilustración 4. Fisura macroscópica: Recuadro azul**



**Tomado de: Elaboración propia**



- Estabilidad dimensional. Para medir la diferencia en el ángulo panorámico antes y después del montaje, se utilizó el software Eye-Ruler 2 de Essilor. Este software permitió realizar mediciones precisas y obtener datos objetivos sobre los cambios en el ángulo panorámico experimentados por las monturas oftálmicas. (Ver ilustración 5,6 y 9)

**Ilustración 5. Estabilidad dimensional antes del montaje del lente oftálmico: Recuadros verdes**



Tomado de: Elaboración propia



### Ilustración 6. Estabilidad dimensional antes del montaje del lente oftálmico: Manualmente

Antes del montaje



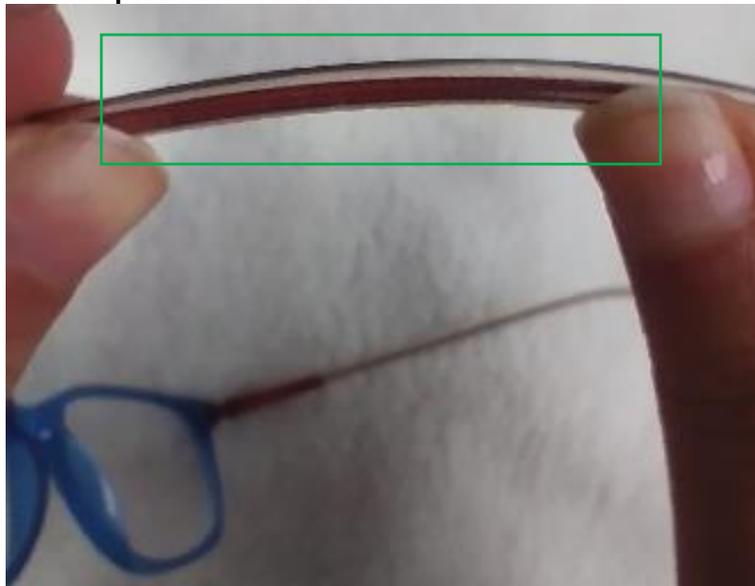
Después del montaje



Tomado de: Elaboración propia

- Moldeado post-fabricación: Después de montar los lentes oftálmicos en las monturas, se realizaron pruebas de movilidad con los lentes colocados para evaluar si la montura se ajustaba correctamente durante el proceso de moldeo post-fabricación, permitiendo que la montura adoptara su forma adecuada (Ver ilustración 7 y 9)

### Ilustración 7. Moldeado post-fabricación. Recuadro verde



Tomado de: Elaboración propia



Después de 2 meses de uso de las monturas, se pudo observar que la calidad del color comenzaba a deteriorarse gradualmente. A medida que pasaba el tiempo, se apreciaba una pérdida progresiva de la intensidad y la viveza del color original de las monturas. Este deterioro en la calidad del color puede afectar la estética de las gafas y ser perceptible para el usuario. (Ver ilustración 8 y 9)

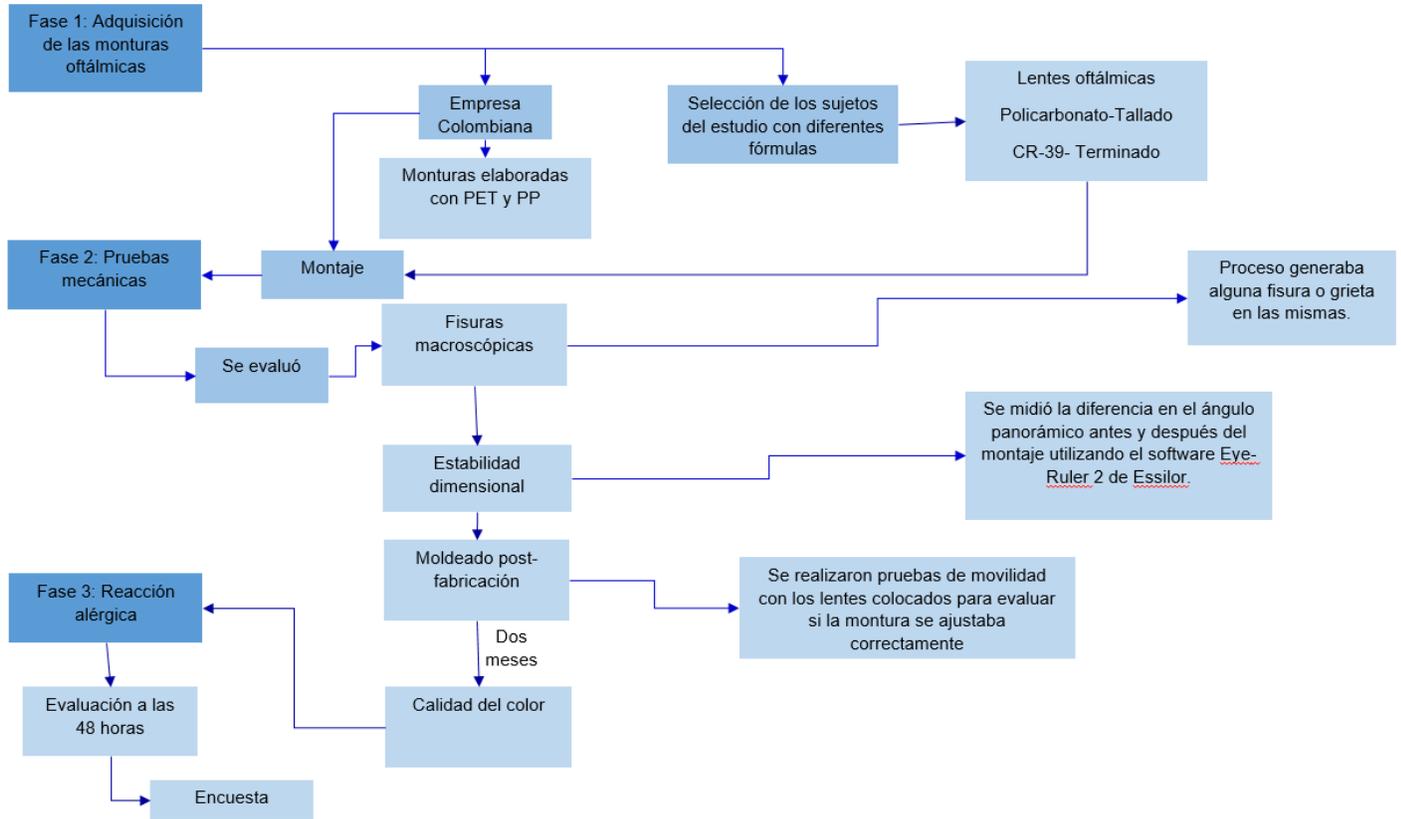
**Ilustración 8. Pérdida del color en las monturas oftálmicas. Recuadro verde**



**Tomado de: Elaboración propia**

**Fase 3.** En esta fase, se elaboró una encuesta titulada "Encuesta de signos y síntomas alérgicos asociados al uso de las monturas oftálmicas de PET y PP" (anexo #14.3). El objetivo de esta encuesta fue monitorear y registrar los signos y síntomas a corto plazo asociados al uso de las monturas. La encuesta se realizó por vía telefónica, aplicándose 48 horas después de la exposición a la montura. El tiempo de aplicación de la encuesta se distribuyó en 12 horas diarias durante 4 días (25). (Ver ilustración 8)

**Ilustración 9. Diagrama de flujo de las fases del estudio**



Tomado de: Elaboración propia



## 7. Cronograma

Tabla 9. Cronograma de actividades

Fase 1	Febrero 2022				Marzo 2022				Abril 2022				Mayo 2022			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Referencia las propiedades mecánicas (módulo de elasticidad, resistencia al impacto y temperatura de deformación) del PET y PP reciclado reportadas en la literatura.																
Fase 2	Julio 2022				Agosto 2022				Septiembre 2022				Octubre 2022			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Adquisición de los prototipos de montura elaboradas de PET y PP reciclado por SAMIR S.A.																

Fase 3	Octubre 2022				Noviembre 2022				Diciembre 2022				Enero 2023			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Actividad 1																
Actividad 2																
Fase 4																
Actividad 1																
Actividad 2																

Tomado: Elaboración propia por los autores



## **8. Consideraciones éticas**

La presente investigación, protegió los derechos de las personas las cuales hicieron parte del estudio, va de acuerdo con la constitución política de Colombia de 1991, reconoce al país como un estado social de derecho donde los derechos fundamentales individuales y colectivos se encuentran en reconocimiento y plena garantía.

Se cuenta con la ley de ética médica LEY 23 de 1981, la cual consagra el principio general de que ningún médico intervendrá, ni clínica ni quirúrgicamente a un paciente sin tener su autorización (26). Para garantizar que se cumpla la ley ética se les informa a las personas que van hacer parte del estudio, que van a tener que ponerse las monturas oftálmicas para saber cómo es la reacción a la piel lo cual podría generar alergia, edema o prurito, para eso se le informa antes al grupo de estudio y se hace el consentimiento informado.

Por otra parte, el beneficio que obtendrá el grupo de estudio será la de poder participar en una investigación la cual está en pro del cuidado ambiental y la innovación. Se tendrá en cuenta la exclusión la cual es la de que no participan niños y mujeres en estado de gestación.



## **9. Resultados**

### **9.1. Características de los sujetos**

Las monturas oftálmicas fabricadas (por SEMIR S.A.) de PET y PP reciclado fueron probados en 4 hombres y 8 mujeres de entre 9-43 años, con fórmulas que varían entre +1.00 a -14.00 esféricas y hasta -5.50 de cilindro. Se fabrican lentes de materiales Policarbonato, CR39 y alto índice, fueron biselados y montados en los prototipos para su posterior evaluación del montaje la cual consistió en evaluar la fisura macroscópica (número de fracturas), el ángulo panorámico antes y después del montaje del lente y el moldeado post-fabricación. Por otro lado, se evaluó reacciones alérgicas mediante la implementación de una encuesta que consistió en llamar a los pacientes durante transcurridas 12 horas por 4 días.



**Tabla 10. Fisuras macroscópicas en el montaje de lentes oftálmicos**

Fisura Macroscopica	Rx OD OI Filtro Material	Escala	
		0	1--5
Montura oftálmica #1	OD. +1.00 sph OI. +0.75 sph Filtro: AR Material: CR-39	0	
Montura oftálmica #2	OD. -0.50-1.75x0 OI.N-2.00x0 Filtro: AR Material: CR-39	0	
Montura oftálmica #3	OD. -3.00-2.50x0 OI. -3.00-2.50x0 Filtro: AR Material: Policarbonato		1
Montura oftálmica #4	OD. -2.50 sph OI.-2.50 sph Filtro: AR Material: Tallado en alto indice	0	
Montura oftálmica #5	OD. -1.00 sph OI. -0.75 SPH Terminado en CR39	0	
Montura oftálmica #6	OD. -3.00-2.00 X 0 OI. -3.00-1.75 X10 Tallado en alto indice	0	
Montura oftálmica #7	OD. +0.25-2.00x0 OI.+0.25-2.00 x0 Terminado Poli	0	
Montura oftálmica #8	OD. +2.75-2.75X15 OI. +2.50-2.75x170 Tallado poli	0	
Montura oftálmica #9	OD. N-5.25x0 OI.N-5.50x0 Tallado alto indice	0	
Montura oftálmica #10	OD. -7.50-1.25x165 OI.-14.00-2.00x10 Tallado poli		1
Montura oftálmica #11	OD.+1.50 sph OI.+1.50 sph Filtro: AR Material: Policarbonato		1
Montura oftálmica #12	OD.+1.75-1.50x0° OI. +1.75-1.50x0° Filtro: AR Material: Policarbonato	0	

Tomado de: Elaboración propia por los autores



Según los datos presentados en la tabla 10, se observa que, durante el proceso de ensamblaje del lente oftálmico en las 12 monturas analizadas, se encontró una abertura o grieta en 3 de ellas. Este hallazgo sugiere que las monturas experimentan un daño leve durante el montaje del lente oftálmico.

Por otro lado, se aprecia (ver ilustración 7), una pérdida en el color de la montura oftálmica después de dos meses de uso aproximadamente.

**Ilustración 10. Pérdida de color de las monturas oftálmicas (ver recuadro verde)**



Tomado de: Elaboración propia por los autores



**Tabla 11. Estabilidad dimensional: ángulo panorámicos antes y después del montaje del Lente oftálmico.**

Estabilidad dimensional:Diferencia del ángulo panorámico antes y después	Rx OD OI Filtro Material	Escala	
		Medida del ángulo panorámico antes del montaje (grados)	Medida del ángulo panorámico después del montaje (grados)
Montura oftálmica #1	OD. +1.00 sph OI. +0.75 sph Filtro: AR Material: CR-39	1	5
Montura oftálmica #2	OD. -0.50-1.75x0 OI.N-2.00x0 Filtro: AR Material: CR-39	1	3
Montura oftálmica #3	OD. -3.00-2.50x0 OI. -3.00-2.50x0 Filtro: AR Material: Policarbonato	1	5
Montura oftálmica #4	OD. -2.50 sph OI.-2.50 sph Filtro: AR Material: Tallado en alto índice	1	5
Montura oftálmica #5	OD. -1.00 sph OI. -0.75 SPH Terminado en CR39	1	5
Montura oftálmica #6	OD. -3.00-2.00 X 0 OI. -3.00-1.75 X10 Tallado en alto índice	1	5
Montura oftálmica #7	OD. +0.25-2.00x0 OI.+0.25-2.00 x0 Terminado Poli	1	5
Montura oftálmica #8	OD. +2.75-2.75X15 OI. +2.50-2.75x170 Tallado poli	1	4
Montura oftálmica #9	OD. N-5.25x0 OI.N-5.50x0 Tallado alto índice	1	5
Montura oftálmica #10	OD. -7.50-1.25x165 OI.-14.00-2.00x10 Tallado poli	1	5
Montura oftálmica #11	OD.+1.50 sph OI.+1.50 sph Filtro: AR Material: Policarbonato	1	5
Montura oftálmica #12	OD.+1.75-1.50x0° OI. +1.75-1.50x0° Filtro: AR Material: Policarbonato	1	7

Tomado: Elaboración propia por los autores



La tabla 11 revela una diferencia en el ángulo panorámico de los 12 sujetos de estudio antes y después del montaje del lente oftálmico. Previo al montaje, todos los sujetos presentaron un ángulo panorámico de  $1^\circ$ , mientras que después del montaje, este ángulo aumentó a una media de  $5^\circ$ . Es relevante destacar que esta diferencia de  $5^\circ$  en el ángulo panorámico indica la presencia de una curvatura ocasionada por el montaje del lente. El ángulo panorámico constituye una medida crucial a considerar durante el proceso de montaje de los lentes oftálmicos, dado que puede influir en la calidad visual y en la comodidad del usuario.

Por otro lado, al analizar los resultados, se puede apreciar que las 12 monturas oftálmicas se dejan moldear después de la colocación del lente, utilizando las formulaciones correspondientes. Es crucial destacar, sin embargo, que el proceso de moldeo debe realizarse de manera cuidadosa y precisa, sin causar ninguna alteración en la estructura del marco de las monturas. Especialmente, se deben evitar generar cambios en el ángulo panorámico, ya que esto podría comprometer la funcionalidad y comodidad de las monturas oftálmicas.



## 9.2. Prueba de reacción alérgica

Se desarrolló una encuesta de signos y síntomas alérgicos basada en la publicación: “*Allergic contact dermatitis of the face from contact with nickel and ammoniated mercury in spectacle frames and skin lightening creams*”, elaborado en el departamento de dermatología nacional de Taiwán (25).

En este estudio las pruebas de alergia se realizaron con las pruebas epicutáneas, que se conocen como patch test (parche test), donde se administró el alérgeno durante 48 horas y esto se debe a que el tiempo de la aparición de la reacción alérgica suele desencadenarse entre las 24 y 48 horas desde la exposición al alérgeno (25).

La exposición a las monturas oftálmicas a las 12 horas con las monturas un sujeto del estudio indicó prurito al momento de tener las monturas. Pero, con el transcurrir del tiempo, ningún sujeto de estudio durante las 24 horas, 36 horas y las 48 horas presentó ningún síntoma, indicando que las monturas elaboradas a base de PET y PP, tienen una baja reacción alérgica.

Durante la exposición de las monturas oftálmicas a un período de 12 horas, uno de los sujetos de estudio informó la presencia de prurito (picor) al usar las monturas. Sin embargo, a medida que transcurrió el tiempo, ninguno de los sujetos de estudio presentó ningún síntoma después de 24, 36 y 48 horas de uso continuo. Esto sugiere que las



monturas oftálmicas elaboradas con materiales PET y PP tienen una baja reactividad alérgica, lo que es importante para la comodidad y seguridad del usuario.

## **10. Resultados adicionales**

El presente trabajo fue presentado en la dirección de emprendimiento de la Universidad Antonio Nariño, el cual tuvo diferentes convocatorias.

### **10.1 Presentación en Feria**

La convocatoria se llevó a cabo en la sede Circunvalar de la Universidad Antonio Nariño. En este evento, se contó con la participación de diversos invitados, entre ellos profesores, estudiantes y la exministra de emprendimiento. Para esta convocatoria, se tuvo en cuenta que el proyecto presentaba prototipos de monturas oftálmicas. Fue una oportunidad para mostrar y compartir los avances y desarrollos de los prototipos con los asistentes, quienes brindaron su conocimiento y perspectivas en el campo del emprendimiento y la innovación.



**Ilustración 11. Fotografía con la Dra. Mabel Gisela Torres (ExMinistra de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia) conociendo el presente proyecto.**



Tomado de: Elaboración propia por los autores

## **10.2. Convocatoria para presupuesto.**

En esta convocatoria, se tuvieron en cuenta los parámetros necesarios para la selección del trabajo presentado, el cual buscaba una tecnología innovadora que fuera amigable con el medio ambiente. Este trabajo fue realizado por Connect, una entidad que brinda orientación a investigadores para enfrentar el mercado y lograr que la tecnología, en este caso las monturas oftálmicas, salga al mercado paso a paso.

Es importante destacar que este curso a nivel nacional contó con la participación de diferentes proyectos y el trabajo presentado por la Universidad Antonio Nariño, en



colaboración con la dirección de emprendimiento, representó a la institución en esta convocatoria. Esto demuestra el compromiso y la capacidad de la universidad para promover la innovación y el emprendimiento en beneficio de la sociedad y el medio ambiente.



## 11. Discusión

En este proyecto, se realizó una prueba piloto para evaluar las propiedades mecánicas y alérgicas de monturas oftálmicas fabricadas con PET y PP reciclados. Se tuvieron en cuenta tres propiedades mecánicas (módulo de elasticidad, resistencia al impacto y temperatura de deformación) y se encontró que el PET y PP tienen una mayor resistencia a la flexión y una resistencia al impacto similar al acetato de celulosa (21). Además, se realizó una encuesta de signos y síntomas alérgicos y se encontró que solo uno de los participantes reportó prurito leve. Los resultados demostraron que las monturas elaboradas con PET y PP reciclados presentan una leve fractura (grieta o abertura), mantienen su estabilidad dimensional y permiten ser reajustadas al calor posterior al bisel. Sin embargo, el color de las monturas presentó fallas a partir de los 2 meses de uso.

En general, los resultados obtenidos sugieren que el PET y PP son materiales adecuados para la fabricación de monturas oftálmicas debido a su alta resistencia a la flexión, su rigidez y por su resistencia al impacto.

Por último, respecto a la reacción alérgica del PET y el PP, los resultados obtenidos concuerdan con los resultados encontrados en la literatura, donde se ha demostrado que el PET y el PP tienen una baja reactividad alérgica. Un estudio realizado en Taiwán (25) también utilizó pruebas epicutáneas para evaluar la reactividad alérgica de las monturas oftálmicas y encontró que el níquel y el mercurio eran los principales alérgenos responsables de la dermatitis de contacto en la cara de los pacientes que



usaban monturas oftálmicas.

Otro estudio realizado en Italia (27) evaluó la reactividad alérgica de diferentes materiales utilizados en la fabricación de monturas oftálmicas y encontró que el PET y el PP eran los materiales menos reactivos en comparación con otros materiales como el nylon. Además, un estudio más reciente realizado en Estados Unidos (28) evaluó la reactividad alérgica de diferentes materiales utilizados en la fabricación de monturas oftálmicas y encontró resultados similares a los encontrados en este estudio. Los autores concluyeron que el PET y el PP tienen una baja reactividad alérgica y son materiales seguros y cómodos para su uso en la fabricación de monturas oftálmicas.

En general, estos resultados indican que los materiales utilizados en la fabricación de monturas oftálmicas tienen un impacto en la reactividad alérgica de los usuarios. Es importante que los fabricantes consideren estos resultados al seleccionar los materiales para la fabricación de monturas oftálmicas, para garantizar la comodidad y seguridad de los usuarios.

Sin embargo, es importante tener en cuenta las limitaciones del estudio, como la falta de pruebas mecánicas en los prototipos y el sesgo potencial al utilizar monturas comerciales en lugar de prototipos. Además, se destaca la necesidad de un protocolo más preciso para la evaluación de la calidad de las monturas oftálmicas.



## 12. Conclusiones

1. Aunque las monturas fabricadas con PET y PP soportaron el montaje de los lentes oftálmicos, se observó que algunas de ellas presentaron fisuras y perdieron parcialmente el color original. Estos resultados indican que es necesario seguir trabajando en el desarrollo de procesos de fabricación que permitan mejorar la calidad de las monturas de PET y PP.

2. En el estudio, no se registraron reacciones alérgicas de los sujetos ante el uso de las monturas fabricadas con PET y PP reciclado. Esto sugiere que estos materiales podrían ser seguros para la fabricación de monturas oftálmicas. Sin embargo, se necesita investigar su efecto a largo plazo.



### 13. Bibliografía

1. Gómez Serrato JG. Diagnostico del impacto del plastico (botellas) sobre el medio ambiente: Un estado del arte [en línea] [Internet]. Universidad Santo Tomas. Santo Tomás; 2016. Available from: <http://hdl.handle.net/11634/10047>
2. Janosik SM. Polipropileno. NASPA J [Internet]. 2016;42(4):1. Available from: <https://ppqujap.files.wordpress.com/2016/05/proceso-de-polipropileno.pdf>
3. Yagos CJ. Síntesis De Un Polímero Compostable a Partir De Almidón, Como Una Alternativa Para Preparar Plásticos De Primer Uso [Internet]. Vol. 1, Repositorio Institucional de la Universidad Técnica de Ambato. 2022. Available from: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34277/1/t1935mquim.pdf>
4. BOTET A. Estudio De Los Plásticos Como Material Reciclado Para La [Internet]. Universidad Politecnica de Valencia; 2019. Available from: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/115263/memoria\\_6290039.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/115263/memoria_6290039.pdf?sequence=1)
5. Buitrago RD, Diaz López LE. Application of Additive Manufacturing in the Manufacture of Ophthalmic Frames. Sci Tech XXVI [Internet]. 2021;26(04):461–6. Available from: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/24562/16656>
6. Oviedo TJ. Estudio de Factibilidad para Planta de Reciclado de Residuos de Plástico PET. 2014;1–103.
7. Salazar J. Factibilidad de una empresa que fabrica tela a base de plástico en la ciudad de Pereira. [Internet]. [Pereira]: Universidad Libre; 2019. Available from: [https://repository.unilivre.edu.co/bitstream/handle/10901/17840/FACTIBILIDAD DE UNA EMPRESA DE FABRICA DE TELA.pdf?sequence=1](https://repository.unilivre.edu.co/bitstream/handle/10901/17840/FACTIBILIDAD_DE_UNA_EMPRESA_DE_FABRICA_DE_TELA.pdf?sequence=1)
8. Altamirano Principe JA, Bullon Westreicher O, Cajacuri Carbonero K, Salvatierra Arias J. Ladrillos Ecológicos Con Material Reciclado Pet [Internet]. 2017. Available from: [http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/3272/3/2017\\_Altamirano-Principe.pdf](http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/3272/3/2017_Altamirano-Principe.pdf)
9. Heredia Pichucho SC. ESTUDIO DE MATERIALES POLÍMEROS Y SU COMPATIBILIDAD CON EL ROSTRO HUMANO EN PACIENTES USUARIOS DE CORRECCIONES ÓPTICAS EN LA CIUDAD DE QUITO, 2017-2018.CREACIÓN DE MONTURAS EN 3D CON DOS TIPOS DE POLÍMEROS Y SU COMPATIBILIDAD CON EL ROSTRO HUMANO. [Internet]. Quito, Ecuador; 2018. p. 1–109. Available from: <https://dspace.cordillera.edu.ec/bitstream/123456789/3958/1/11-OPT-17-18-1722853361.pdf>



10. Cerón Pabon JI, Eraso Quintero MA. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA PARA LA FABRICACIÓN DE MONTURAS PARA GAFAS, A PARTIR DEL RECICLADO DE MATERIALES PLÁSTICOS. [Internet]. Universidad Tecnológica de Pereira; 2016. Available from: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/cee1070a-32f3-4045-bd10-49cb0dd5ed65/content>
11. Monzó R. Investigación de la influencia del tipo de gas utilizado en el plasma atmosférico, en la modificación superficial del polipropileno [Internet]. Vol. 9, leee. Universidad Politecnica de Valencia; 2015. Available from: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/58776/Monzó - Investigación de la influencia del tipo de gas utilizado en el plasma atmosférico%2C en la ....pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/58776/Monzó%20-%20Investigaci3n%20de%20la%20influencia%20del%20tipo%20de%20gas%20utilizado%20en%20el%20plasma%20atmosf3rico%20en%20la%20modificaci3n%20superficial%20del%20polipropileno%20.pdf?sequence=1)
12. Clínica jurídica del medio ambiente. SITUACIÓN ACTUAL DE COLOMBIA Y SU IMPACTO [Internet]. Bogotá, Colombia; 2019. Available from: [http://greenpeace.co/pdf/2019/gp\\_informe\\_plasticos\\_colombia\\_02.pdf](http://greenpeace.co/pdf/2019/gp_informe_plasticos_colombia_02.pdf)
13. Hurtado Giraldo LK. ESTUDIO DE VIABILIDAD COMERCIAL PARA LA DISTRIBUCIÓN DE MONTURAS OFTÁLMICAS EN BOGOTÁ [Internet]. Universidad Libre; 2018. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s13662-017-1121-6><https://doi.org/10.1007/s41980-018-0101-2><https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2018.04.019><https://doi.org/10.1016/j.cam.2017.10.014><http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2011.07.041><http://arxiv.org/abs/1502.020>
14. Ministerio de Salud y la Protección Social. RESOLUCIÓN 2808 DE 2022 [Internet]. Colombia; 2007 p. 219–26. Available from: [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/Resolución No. 2808 de 2022.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci3n%20No.%202808%20de%202022.pdf)
15. Ana Espert B. Plásticos en el sector médico, Informe de vigilancia tecnológica. 2010; Available from: [https://www.observatorioplastico.com/ficheros/publicaciones/126155331IT-16\\_Plasticos\\_sector\\_medico.pdf](https://www.observatorioplastico.com/ficheros/publicaciones/126155331IT-16_Plasticos_sector_medico.pdf)
16. Salvadó F. Diseño de monturas cap 19. In: Tecnología Óptica Lentes Oftálmicas, Diseño Y Adaptación. Valencia; 2001. p. 259–86.
17. ROSERO SAN, ARTEAGA PLB. Historia De La Óptica a Nivel Mundial Y Presentación De Los Instrumentos Ópticos Del Museo De Optometría De La Universidad De La Salle. Univ La Salle [Internet]. 2007;46(3):171–4. Available from: <http://joi.jlc.jst.go.jp/JST.Journalarchive/materia1994/46.171?from=CrossRef>
18. Facultad Ingeniería Industrial L de P. PLÁSTICOS PROTOCOLO, Curso de Procesos de Manufactura. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito; 2007.
19. Carvajal EAV, Salas GLZ. Estudio Dinámico del Reciclaje de Envases PET en el



- Valle del Cauca. Rev Lasallista Investig. 2018;15(1):159–65.
20. Duraflon. Ficha tecnica Polipropileno PP [Internet]. CORPORACIÓN emacin. Lima; 2019. Available from: <https://www.emacin.com.pe/pdf/Ficha-tecnica-Polipropileno-PP.pdf>
  21. Caicedo-Cano C, Crespo-Delgado LM, de la Cruz-Rodriguez H, Álvarez-Jaramillo NÁ. Propiedades termo-mecánicas del Polipropileno: Efectos durante el reprocesamiento. Vol. 18, Ingeniería, investigación y tecnología. Universidad Nacional Autónoma de México; 2017.
  22. Willinnton P, Nonzoque C. MANUAL DE ADAPTACIÓN DE LENTES OFTÁLMICOS VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTICOS EN MONTURAS OFTÁLMICAS [Internet]. Repositorio Universidad Antonio Nariño. Universidad Antonio Nariño; 2021. Available from: <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
  23. H. B. Estudio de la biocompatibilidad 6. In: Materials Science and Engineering. 2011. p. 120–33.
  24. ICONTEC. Óptica oftálmica, monturas de gafas. Colombia; 2008.
  25. Chee-Ching S. Allergic contact dermatitis of the face from contact with nickel and ammoniated mercury in spectacle frames and skin-lightening creams. In: Contact Dermatitis. 1987. p. 306–9.
  26. Benjamin W. LEY 23 DE 1981. Normas en Materia de Ética Médica Colombia; 1981 p. 675–87.
  27. Brera S, Nicolini A. Respiratory manifestations due to nickel. Acta Otorhinolaryngol Ital [Internet]. 2005;25(2):113–5. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2639879/pdf/0392-100X.25.113.pdf>
  28. De Groot AC, Maibach HI. Frequency of sensitization to common allergens: Comparison between Europe and the USA. Contact Dermatitis. 2010;62(6):325–9.



## 14. Anexos

### 14.1. Anexo #1: Consentimiento informado para prueba de biocompatibilidad de prototipos de montura Polietileno Tereftalato (PET) y Polipropileno (PP) reciclado.

**Apreciado participante** Lo(a) invitamos a participar en el proyecto de investigación titulado: *Utilidad del Polietileno Tereftalato (PET) y Polipropileno (PP) reciclado, para la fabricación de monturas oftálmicas*. El cual tiene como propósito evaluar los niveles de biocompatibilidad (calidad que tiene un material de generar una respuesta biológica aceptable durante el tiempo y modo de contacto de una aplicación específica) y propiedades mecánicas (estudia la materia empleando conceptos físicos y químicos), de monturas oftálmicas fabricadas en base a PET y PP.

**Esta investigación está a cargo de** Paula Martínez Beltrán, Karen González Rueda, estudiantes de Optometría de la Universidad Antonio Nariño sede Circunvalar. Bajo la dirección de la directora científica la Doctora Sandra Ortiz y el director metodológico Doctor Juan Fernando Oyasa

El estudio incluirá un número total de 12 personas. Si usted acepta participar será sometido, por un periodo de 2 días (48 horas) a lo siguiente: deberá ponerse la montura oftálmica durante 12 horas diarias, donde al concluir con el tiempo establecido recibirá



una llamada de las investigadoras principal, en la cual se realizará una encuesta sobre los signos y síntomas alérgicos asociados al uso de las monturas oftálmicas.

Cabe aclarar que el riesgo es muy reducido, debido a que el PET y PP son un material biocompatibles, se podría llegar a presentar alguna reacción alérgica al material que se emplea en la elaboración de las monturas, pero esta respuesta es mínima (19-20).

Por otro lado, que los beneficios de participar en la investigación es que será un colaborador en pro del cuidado ambiental e innovador.

Yo \_\_\_\_\_, identificado con \_\_\_\_\_ N° \_\_\_\_\_ certifico que he sido informado(a) con la claridad y veracidad debida respecto a la investigación de la Utilidad del Polietileno Tereftalato (PET) y Polipropileno (PP) reciclado, para la fabricación de monturas oftálmicas, que las estudiantes Paula Martínez y Karen González me han invitado a participar; donde actué consciente, libre y voluntariamente como colaborador contribuyendo a este estudio de forma activa y concedo el permiso de que se me tomen fotografías y sean utilizadas en el trabajo. Soy concededor(a) de la autonomía suficiente que poseo para retirarme u oponerse al estudio de investigación, cuando lo estime conveniente y sin justificación alguna.

Que se respetara la buena fe y la confiabilidad, lo mismo que mi seguridad física y psicológica.



Por lo tanto, acepto participar en el estudio siendo consciente de los riesgos y beneficios implicados.

---

Firma del paciente

---

Firma de las investigadoras principales

---

Firma de directora científica

---

Firma del director metodológico



## 14.2. Anexo # 2. Consentimiento informado para prueba de biocompatibilidad de prototipos de montura Polietileno Tereftalato (PET) y Polipropileno (PP) reciclado

**Apreciado participante** Lo(a) invitamos a participar en el proyecto de investigación titulado: *Utilidad del Polietileno Tereftalato (PET) y Polipropileno (PP) reciclado, para la fabricación de monturas oftálmicas*. El cual tiene como propósito evaluar los niveles de biocompatibilidad (calidad que tiene un material de generar una respuesta biológica aceptable durante el tiempo y modo de contacto de una aplicación específica) y propiedades mecánicas (estudia la materia empleando conceptos físicos y químicos), de monturas oftálmicas fabricadas en base a PET y PP.

**Esta investigación está a cargo de** Paula Martínez Beltrán, Karen González Rueda, estudiantes de Optometría de la Universidad Antonio Nariño sede Circunvalar. Bajo la dirección de la directora científica la Doctora Sandra Ortiz y el director metodológico Doctor Juan Fernando Oyasa

El estudio incluirá un número total de 12 personas. Si usted acepta participar será sometido, por un periodo de 4 días (48 horas) a lo siguiente: deberá ponerse la montura oftálmica durante 12 horas diarias, donde al concluir el tiempo establecido de las 12 horas recibirá una llamada de las investigadoras principales, en la cual se realizará una



encuesta sobre los signos y síntomas alérgicos asociados al uso de las monturas oftálmicas, esto se realizará durante 4 días.

Cabe aclarar que el riesgo es muy reducido, debido a que el PET y PP son un material biocompatibles, se podría llegar a presentar alguna reacción alérgica al material que se emplea en la elaboración de las monturas, pero esta respuesta es mínima (19-20).

Por otro lado, que los beneficios de participar en la investigación es que será un colaborador en pro del cuidado ambiental e innovador.

Yo \_\_\_\_\_ identificado con cc. N° \_\_\_\_\_ expedida en \_\_\_\_\_ actuando como responsable de \_\_\_\_\_ con \_\_\_\_\_ N° \_\_\_\_\_ autorizo a mi hijo/@ a participar en la investigación de la Utilidad del Polietileno Tereftalato (PET) y Polipropileno (PP) reciclado, para la fabricación de monturas oftálmicas, realizado por las investigadoras principales Paula Martínez y Karen González. Soy concededor(a) de la autonomía suficiente que posee mi hijo/a para retirarse u oponerse al estudio de investigación, cuando lo estime conveniente y sin justificación alguna, le concedo el permiso de que se tomen fotografías a mi hijo y sean utilizadas en el trabajo.



Se respetará la buena fe y la confiabilidad, lo mismo que mi seguridad física y psicológica.

Por lo tanto, acepto participar en el estudio siendo consciente de los riesgos y beneficios implicados.

---

Firma del paciente

---

Firma de las investigadoras principales

---

Firma de la directora científica

---

Firma del director metodológico



### 14.3. Anexo #3. Encuesta de signos y síntomas alérgicos asociados al uso de las monturas oftálmicas de PET y PP

11/10/22, 16:24

Encuesta de signos y síntomas alérgicos asociado al uso de las monturas oftálmica de PET y PP

## ***Encuesta de signos y síntomas alérgicos asociado al uso de las monturas oftálmica de PET y PP***

**\*Obligatorio**

1. Nombre de la encuestadora:

---

2. Código del prototipo:

---

3. ¿Material del lente?

---

4. Tiempo de uso: 12 horas

---

5. Nombre del paciente \*

---

6. Correo electrónico \*

---



11/10/22, 16:24

Encuesta de signos y síntomas alérgicos asociado al uso de las monturas oftálmica de PET y PP

7. Número de celular \*

---

### Datos demográficos

8. Género

*Marca solo un óvalo.*

- Masculino  
 Femenino  
 Prefiero no decirlo

9. Edad del paciente

---

10. Antecedentes sistémicos

---

### Biocompatibilidad



11/10/22, 16:24

Encuesta de signos y síntomas alérgicos asociado al uso de las monturas oftálmica de PET y PP

11. En el tiempo que lleva con la monturas, presento alguno de estos síntomas? \*

*Selecciona todos los que correspondan.*

- Prurito (picor)
- Dolor
- Edema (hinchazón)
- Eritema (enrojecimiento en la piel)
- Eccema (aparición de manchas rojas en la piel)
- Ninguna de los anteriores
- Todas las anteriores
- No se acuerda
- Otro: \_\_\_\_\_

12. Si presento alguno de los síntomas anteriores, como calificaría la intensidad? \*

*Marca solo un óvalo.*

- 0 (No presenta ningún signo ni síntoma )
- 1 (Leve)
- 2 (Leve a moderado)
- 3 (Moderado a grave)
- 4 (Grave)

13. Ingresar fotografía de lesiones.  
(Si es el caso adjuntar fotografía de lesiones)

Archivos enviados:

Tiempo de uso: 24 horas



11/10/22, 16:24

Encuesta de signos y síntomas alérgicos asociado al uso de las monturas oftálmica de PET y PP

14. En el tiempo que lleva con la monturas, presento alguno de estos síntomas? \*

*Selecciona todos los que correspondan.*

- Prurito (picor)
- Dolor
- Edema (hinchazón)
- Eritema (enrojecimiento en la piel)
- Eccema (aparición de manchas rojas en la piel)
- Ninguna de los anteriores
- Todas las anteriores
- No se acuerda
- Otro: \_\_\_\_\_

15. Si presento alguno de los síntomas anteriores, como calificaría la intensidad? \*

*Marca solo un óvalo.*

- 0 (No presenta ningún signo ni síntoma)
- 1 (Leve)
- 2 (Leve a moderado)
- 3 (Moderado a grave)
- 4 (Grave)

16. Ingresar fotografía de lesiones.  
(Si es el caso adjuntar fotografía de lesiones)

Archivos enviados:

Tiempo de uso: 36 horas



11/10/22, 16:24

Encuesta de signos y síntomas alérgicos asociado al uso de las monturas oftálmica de PET y PP

17. **En el tiempo que lleva con la monturas, presento alguno de estos síntomas?** \*

*Selecciona todos los que correspondan.*

- Prurito (picor)
- Dolor
- Edema (hinchazón)
- Eritema (enrojecimiento en la piel)
- Eccema (aparición de manchas rojas en la piel)
- Ninguna de los anteriores
- Todas las anteriores
- No se acuerda
- Otro: \_\_\_\_\_

18. **Si presento alguno de los síntomas anteriores, como calificaría la intensidad?** \*

*Marca solo un óvalo.*

- 0 (No presenta ningún signo ni síntoma )
- 1 (Leve)
- 2 (Leve a moderado)
- 3 (Moderado a grave)
- 4 (Grave)

19. **Ingresar fotografía de lesiones.**  
(Si es el caso adjuntar fotografía de lesiones)

Archivos enviados:

Tiempo de uso: 48 horas



11/10/22, 16:24

Encuesta de signos y síntomas alérgicos asociado al uso de las monturas oftálmica de PET y PP

20. **En el tiempo que lleva con la monturas, presento alguno de estos síntomas?** \*

*Selecciona todos los que correspondan.*

- Prurito (picor)
- Dolor
- Edema (hinchazón)
- Eritema (enrojecimiento en la piel)
- Eccema (aparición de manchas rojas en la piel)
- Ninguna de los anteriores
- Todas las anteriores
- No se acuerda
- Otro: \_\_\_\_\_

21. **Si presento alguno de los síntomas anteriores, como calificaría la intensidad?** \*

*Marca solo un óvalo.*

- 0 (No presenta ningún signo ni síntoma )
- 1 (Leve)
- 2 (Leve a moderado)
- 3 (Moderado a grave)
- 4 (Grave)

22. **Ingresar fotografía de lesiones.**  
(Si es el caso adjuntar fotografía de lesiones)

Archivos enviados:

---

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

<https://docs.google.com/forms/d/19-Qwxz7oJhRbZQwFhTP1gc1MBntLMtmb5J08Uu0MbCw/edit>

6/7