

# Ciencia Nicolaita 89

ISSN: 2007-7068



Universidad  
Michoacana  
de San Nicolás  
de Hidalgo

## Análisis estático, térmico y económico en el proceso de fabricación de marcos para anteojos a partir de herramientas de diseño computacional

## Static, thermal and economic analysis in the manufacturing process of eyeglass frames using computational design tools

Renato Trejo Moncada\*, Víctor M. Ambriz-Díaz, Francisco Terán Arévalo

**Para citar este artículo:** Trejo Moncada Renato, Ambriz-Díaz Víctor M., Terán Arévalo Francisco, 2023. Análisis estático, térmico y económico en el proceso de fabricación de marcos para anteojos a partir de herramientas de diseño computacional. Ciencia Nicolaita no. 89, 154-166. DOI: <https://doi.org/10.35830/cn.vi89.703>



### Historial del artículo:

Recibido: 5 de enero de 2023

Aceptado: 19 de mayo de 2023

Publicado en línea: diciembre de 2023



**Ver material suplementario**



**Correspondencia de autor:** [trejo\\_wy@hotmail.com](mailto:trejo_wy@hotmail.com)



**Términos y condiciones de uso:** <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/about/privacy>



**Envíe su manuscrito a esta revista:** <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/about/submissions>



# Análisis estático, térmico y económico en el proceso de fabricación de marcos para anteojos a partir de herramientas de diseño computacional

## Static, thermal and economic analysis in the manufacturing process of eyeglass frames using computational design toolsy

Renato Trejo Moncada\*, Víctor M. Ambriz-Díaz, Francisco Terán Arévalo

Tecnológico Nacional de México/I. T. Chihuahua, Av. Tecnológico, 2909, Chihuahua 31310, Chihuahua, México

### Resumen

Esta investigación tiene como propósito analizar el comportamiento estático, térmico y económico de un armazón al ser expuesto a condiciones de trabajo en una empresa encargada de manufacturar lentes. Se aplicó un análisis cuasi experimental y se tomaron especificaciones normales de presión y temperatura al momento de ensamblar el lente en el armazón. Con el software SolidWorks® se simularon las condiciones en las que opera el proceso y aportó detalles específicos para determinar costos de fabricación. Se muestran las áreas de contacto entre lente y armazón, la simulación térmica muestra el área que recibe la mayor cantidad de transferencia térmica y el análisis económico comprueba la dependencia costo-material.

**Palabras clave:** Análisis térmico, análisis estructural, manufactura de lentes, diseño, simulación.

### Abstract

The purpose of this research is to analyze the static, thermal and economic performance of a frame when it's exposed to working conditions at a manufacturing lenses company. A quasi-experimental analysis was applied and normal pressure and temperature specifications were taken at the time of assembling the lens in the frame. With the SolidWorks® software, the conditions in which the process operates were simulated and specific details were provided to determine manufacturing costs. The contact areas between the lens and the frame are demonstrated, the thermal simulation indicates which parts stores the greatest amount of heat and the economic analysis proves the cost-material dependency.

**Keywords:** Thermal analysis, structural analysis, lens manufacturing, design, simulation.

## Introducción

El uso de lentes por prescripción médica se remonta al año de 1849, en que oftalmólogos expertos en manufactura dieron inicio a la creación de nuevos productos, así como el diseño de armazones (Essilor. Un Poco de Historia, 2021). La mayoría de la producción óptica, por naturaleza, corresponde al área oftálmica, donde herramientas de corte de estilo punta diamante dan origen al montaje de la lente al armazón (Valencia Estrada, 2015). Es preciso mencionar que la manufactura de lentes es un proceso plenamente complejo, además de que el ensamble armazón-lente conlleva una medición del diámetro interno del armazón, enseguida, con base en el cálculo de estos datos se hace el corte de la lente oftálmica con el fin de que el ensamble al armazón sea puro y sencillo de hacer. Se puede observar que la forma del armazón determina en su totalidad el corte del lente. Entre los materiales más comunes de fabricación de armazones se pueden distinguir el metal y plástico. Dichos materiales son pieza clave para establecer una base y lograr efectuar estudios con que se pueda determinar las prestaciones mecánicas (estáticas y térmicas) y económicas de los armazones mediante el uso de análisis térmicos-estructurales, con apoyo de herramientas CAD/CAE.

Las herramientas CAD y CAE (por sus siglas en inglés) diseño asistido por computadora e ingeniería asistida por computadora, tienen el fin de desarrollar planos de diseño y modelos de productos que más adelante, con herramientas que el software incluye, pueden ser analizados (Groover, 1997). Además, es preciso mencionar que el diseño de armazones oftálmicas conlleva un estudio y análisis económico en el cual se toman en cuenta detalles importantes, tales como el proceso de ensamblaje. El diseño para manufactura y ensamble (DFM&A) por sus siglas en inglés, es una técnica utilizada para reducir el costo de algún producto, desde la etapa de manufactura como tal hasta la etapa final de ensamble. Antes de desarrollar y crear el producto, en este caso un armazón oftálmico, se debe establecer el costo objetivo del material, revisando el impacto económico que este pueda tener, después de esto, viene el diseño (Dewhurst *et al.*, 1994). Hay factores y variables que determinan el

diseño de un armazón, anchura de pata o soporte, perfil del aro y su anchura, por mencionar algunos, estos determinan las características físicas del armazón, las cuales al ser puestas bajo estudio dan resultados totalmente distintos (Petiot y Weihua, 2014).

Por otra parte, se ha demostrado que los lentes bajo prescripción médica no solo se utilizan para uso médico, sino también por cuestiones de moda. El Politécnico di Milano desarrolló una metodología para el desarrollo de nuevos armazones, clasificando a algunos de ellos en formas redondas, gato, ovalado, mariposa, rectangular y piloto, entre otras (Montalto *et al.*, 2017). La industria del diseño de armazones tiene un enorme nivel de complejidad, el hecho de que los armazones sean utilizados para lentes oftálmicas o lentes graduadas bajo la prescripción de un optometrista, coloca a la industria dentro del sector médico. Normas como ISO TS 24348:2007, ISO 7998:2005, (24348, 2007) (7998:2005, 2005), por mencionar algunas, están encargadas de regular su manufactura. En el mismo sentido, la forma del armazón debe de cumplir con requerimientos específicos del paciente, en base a complejidad morfológica, para garantizar la correcta posición del centro óptico del lente. Finalmente, el tipo de material, ya sea plástico o metal funge como factor crítico para la manipulación y exposición del armazón al momento de ser trabajado para montar el lente. También Petiot y Weihua (2014), mencionan la importancia de la geometría del diseño considerando tres importantes vistas del armazón, “forma de la cara”, “pantoscópico” y “ángulo del témplate abierto”.

Por lo anterior, ingenieros especialistas en diseño, mediante herramientas computacionales, están constantemente modificando las dimensiones, así como el prototipo físico antes de pasar a la manufactura. Finalmente, con las consideraciones generales que anteriormente se mencionaron se da vida al armazón, el cual varía en características específicas del portador. Hoy en día, las herramientas computacionales se han convertido en una parte fundamental para el análisis ingenieril de piezas e identificación durante el ensamblaje de problemas tales como exceso de carga, acumulación de calor en un punto crítico, etc. Sin embargo, la revisión de la literatura indica que existe información escasa de la aplicación de las herramientas

computacionales en el análisis estático, térmico y económico en el proceso de fabricación y ensamble de lentes en armazones. Es por ello que, este trabajo pretende llenar ese vacío existente en la literatura y realizar un análisis preciso de las partes involucradas para el ensamble lente-armazón.

El trabajo primeramente muestra la estructura física de un armazón, las medidas y el diseño en 2D es meramente experimental. En el mismo sentido, los diseños han sido creados mediante la herramienta computacional SolidWorks®; el modelado en 3D permite apreciar las dimensiones de un armazón real, el cual será expuesto a diferentes materiales, algunos de ellos de lo más comunes en el mercado con el fin de analizar los detalles económicos que este representa, es decir, el costo por gramo del material y el costo final de manufactura del armazón. También se analiza mediante pruebas el comportamiento estático del armazón, ya que en procesos de manufactura son expuestos y sujetos a esfuerzos, de esta manera, el análisis permitirá detectar que partes sufren la mayor cantidad de carga y como éste lo afecta. El análisis térmico también será expuesto con el fin de determinar qué factores influyen en el montaje lente-armazón, es importante recalcar que los armazones de plástico y variantes de este son expuestos a calor para lograr una ligera expansión y el montaje sea más sencillo. Como ha sido mencionado, actualmente es nula la investigación y literatura que envuelve el estudio y análisis térmico-estructural de los armazones, así como el uso de diferentes materiales, por ende, se busca determinar los factores presentes en la manufactura de lente-armazón. La estimación económica del costo de fabricación, involucrando diferentes materiales tales como el plástico o como el oro, son la motivación de dar información clara de lo que esto conlleva. Lo mencionado anteriormente ha motivado el trabajo para cumplir con el objetivo principal de realizar un análisis estático, térmico y económico en el proceso de fabricación y ensamble de lente-armazón a partir de herramientas de diseño computacional.

## Hipótesis

La presencia de la temperatura y fuerzas de empuje en el ensamble de un lente dentro de un armazón es el principal punto para lograr el correcto ensamble.

Para la elaboración de este trabajo se ha formulado la siguiente hipótesis:

- i. Mediante un análisis estático, térmico y económico en el proceso de fabricación de marcos para anteojos a partir de herramientas de diseño computacional, se puede obtener una estimación de las fuerzas, temperaturas y esfuerzos presentes dentro del proceso de fabricación. En la misma dirección, mediante la reproducción virtual de anteojos en un software CAD, se puede obtener información precisa de la cantidad de material necesaria para fabricar los anteojos y en consecuencia se puede lograr una estimación de los costos de fabricación.

## Descripción de los marcos para anteojos

### *Diseño en 2D*

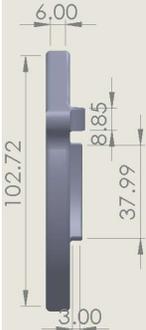
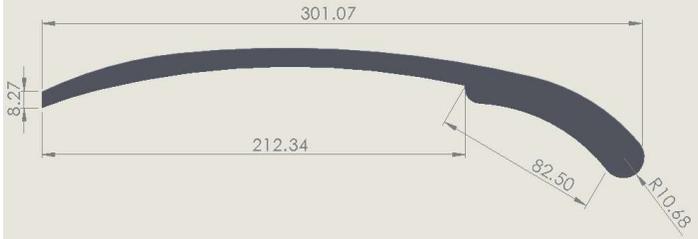
El diseño del armazón para lentes fue creado con la herramienta SolidWorks®, las dimensiones se muestran en la Tabla 1, las cuales fueron separadas en cuatro dibujos (una vista frontal, vista lateral de la pata, vista lateral y vista superior del armazón), para localizar tanto la distancia como el radio de cada pieza. En la vista frontal, se observa la medida del diámetro interno para el diseño del armazón en 2D. En la vista lateral de la pata se observan las medidas necesarias para el diseño. En la vista superior, se observan las medidas del diseño en 2D al ser extruido. De manera general, todas las dimensiones se encuentran en milímetros. Sin embargo, es importante considerar que cada armazón tiene dimensiones muy propias, en este caso se hará el análisis bajo el diseño de un mismo armazón, pero con materiales distintos, los cuales se pueden identificar en la Tabla 1.

Por otra parte, el diseño y tamaño del armazón se ha elegido en base a un promedio de medidas de armazones ya existentes dentro del área de manufactura, ya que existen infinitas formas y diseño de armazones en el mercado.

### *Diseño en 3D (modelado sólido)*

Para el modelado sólido del armazón, se realizó el diseño mediante el software SolidWorks®. A continuación, se muestran los pasos realizados con la ayuda de dos mapas conceptuales, los cuales, por naturaleza

**Tabla 1**  
Diseño en 2D del armazón.

Descripción	Diseño en 2D
Vista frontal del armazón	
Vista lateral del armazón	
Vista lateral de la pata del armazón	
Vista superior del armazón	

del diseño, son separados para el armazón y las patas (Tabla 2).

Las medidas reales que se utilizaron se pueden apreciar en las figuras del modelado en 2D de la Tabla 1, esto para dar una mejor apreciación del diseño. También se puede apreciar el diseño final del armazón, pata izquierda y derecha y finalmente se aprecia el ensamble completo en la Tabla 3.

**Consideraciones para el análisis**

Para el análisis económico se consideran 10 materiales de diferentes características, los cuales serán

puestos a prueba bajo la estructura del armazón previamente diseñado. Así mismo, se agregan los costos por gramo de cada material en base al mercado actual. De igual manera, se puede observar en la Tabla 4 otros datos relacionados con las propiedades mecánicas y térmicas, los cuales más adelante serán expuestos bajo condiciones específicas desarrolladas por el programa SolidWorks®.

Para el análisis estático de la montura de lentes, se realiza un estudio de campo dentro de una empresa reconocida en el sector salud encargada de la fabricación de lentes de prescripción médica, de esta manera

**Tabla 2**  
Metodología del diseño del armazón en software SolidWorks®.



**Tabla 3**  
Diseño en 3D del armazón (estructura y patas).

Descripción	Modelado sólido
Pata derecha	
Pata izquierda	
Modelo en 3D del armazón	
Ensamble	

**Tabla 4**  
Especificaciones por material.

Material	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Módulo Elástico (N/mm <sup>2</sup> )	Resistencia a la tracción (N/mm <sup>2</sup> )	Conductividad Térmica (W/m. k)	Coefficiente de Expansión Térmica (1/k)	Costo (\$/gr)
Monel	8800	1.80 E <sup>+4</sup>	448.08	22	1.40 E <sup>-5</sup>	\$0.05
ABS PC	1070	2.41 E <sup>+9</sup>	4.00 E <sup>+7</sup>	0.2618	-	\$0.12
ABS	1020	2.00 E <sup>+9</sup>	30	0.2256	-	\$0.003
Madera	159.9	3.00 E <sup>+3</sup>	-	0.05	-	\$0.55
Berilio	1844	3.03 E <sup>+5</sup>	370	216	1.15 E <sup>-5</sup>	\$0.83
Oro	19000	7.80 E <sup>+4</sup>	103	300	1.40 E <sup>-5</sup>	\$38.19
Nylon 101	1150	1000	78.28	0.53	1.00 E <sup>-6</sup>	\$0.003
Plata	11000	71000	125	420	2.00 E <sup>-5</sup>	\$0.46
Acero Inoxidable	7800	2.00 E <sup>+5</sup>	513.61	18	1.10 E <sup>-5</sup>	\$0.002
Titanio	4600	1.10 E <sup>+5</sup>	235	22	8.80 E <sup>-6</sup>	\$0.003

se obtienen los datos reales y necesarios para el análisis en el software SolidWorks®. En la Figura 1, se muestran las fotografías de dos manómetros de celda de carga (Atorn 1157001 y Andilog Centor), tanto análogo como digital que se utilizaron para obtener los valores de la fuerza aplicada para la montura. Los datos de fuerza a los que es sometido el armazón en el momento de la montura del lente se han obtenido mediante una mediación en campo por una persona especializada encargada de realizar dicha operación. Ejerciendo presión con 2 dedos la lectura arroja en promedio 107 N de fuerza. Para el análisis, el armazón previamente diseñado se dividió en dos partes con el fin de analizar solamente la montura de un lente, ya que las medidas utilizadas son las mismas para ambos lados y por ende los resultados arrojan la misma información.

Para el análisis térmico, se utiliza un calentador de aire (PrimeAir Western #2400) capaz de generar una temperatura mínima de 82 °C y una máxima de 163 °C. El personal especializado en realizar dicha operación coloca el armazón en la parte central de las torres, el objetivo es calentar el armazón con la finalidad de facilitar la montura del lente. La Figura 2, muestra el calentador empleado para la manipulación y en consecuencia, lograr el correcto ensamble de lente-armazón.

### Modelado económico, estático y térmico

#### Modelado económico

Para estimar el costo por materia prima, primeramente, se determina la masa del material mediante



**Figura 1.** Manómetros de celda de carga o manómetros de presión.



**Figura 2.** Calentador del armazón.

SolidWorks®, posteriormente, el costo derivado de la materia prima es un producto del costo unitario por la masa de cada armazón de diferente material; dichos materiales se pueden observar en la Tabla 4. Por lo tanto, el costo asociado a la materia prima se determina con la Ecuación 1. El costo de estimación asociado a la manufactura del armazón, desde la etapa de diseño hasta la etapa final de ensamble se estima bajo la Ecuación 2, la cual, expresa y determina que un 10 % del costo total del armazón es agregado para considerar la mano de obra de éste. Este porcentaje asociado a los costos de manufactura se ha obtenido a través de una consulta directa a un fabricante del sector.

$$\text{Costo total} = [\text{Costo unitario (dólares por gramo)}] \times [\text{masa del armazón (gramos)}] \quad (1)$$

$$\text{Costo final} = \text{Costo total} + 10\% \quad (2)$$

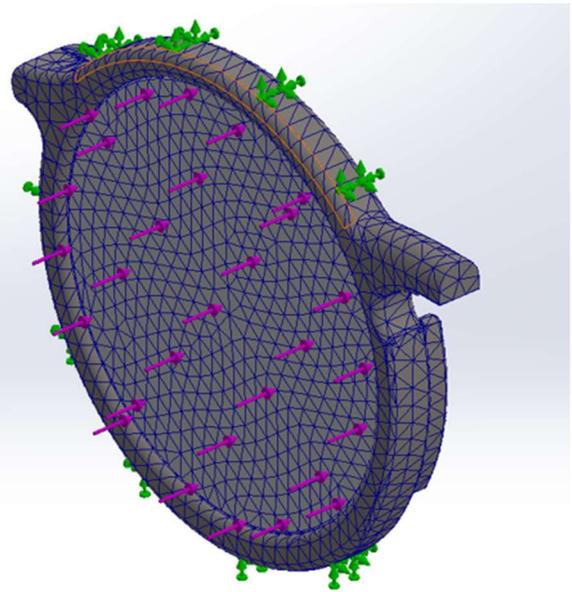
### **Modelado estático**

Para el modelado estático del armazón se utilizó el software SolidWorks®, con el uso del armazón previamente construido, de igual manera se preparó el lente analizado desde la perspectiva de las condiciones reales en las que es ensamblado. Para lograr el análisis estático, es necesario considerar las fuerzas que estarán presentes al momento del ensamble del lente en el armazón, las cuales fueron determinadas con los

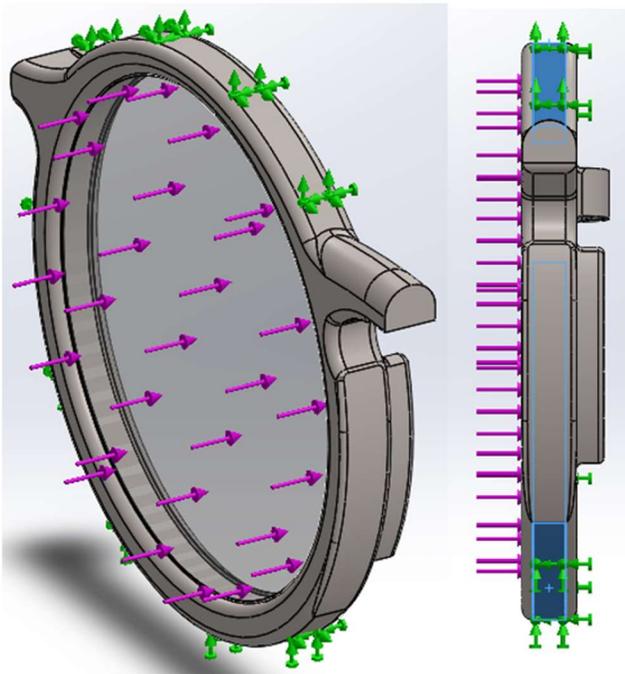
manómetros de presión. También, dentro de un proceso continuo de producción se observó que la manera en la que se agarra el armazón es de los extremos, es por eso que las fuerzas de agarre se fijaron en los contornos superior e inferior del armazón tal como se aprecia en las Figuras 3 y 4. La manera en la que un lente es ensamblado en el armazón es de la parte frontal hacia la parte trasera del mismo, por esa razón y con el fin de igualar el proceso real a la simulación, se le aplicó la fuerza de 120 N en esa dirección. Antes de iniciar con el análisis estático donde se involucran fuerzas de tensión y desplazamiento, es importante crear el mallado en la estructura, el cuál ayuda a determinar, medir y analizar los valores que sufren una deformación en cada parte de la misma estructura (Gabaldon Castillo, 2007).

### **Modelado térmico**

Dentro de un proceso de manufactura, donde se tiene como actividad el ensamble de lentes de prescripción médica, dentro de un armazón se presentan varias condiciones para lograrlo con efectividad, las principales se exponen en el análisis estático del armazón, sin embargo, el uso de temperatura o del aire caliente es factor importante para facilitar el ensamble del lente. El armazón es expuesto a un calentador de aire (Figura 2) para lograr que éste sufra una ligera deformación y se expanda en las áreas de contacto de lente-armazón, de esta manera se facilita el ensamble



**Figura 3.** Mallado.



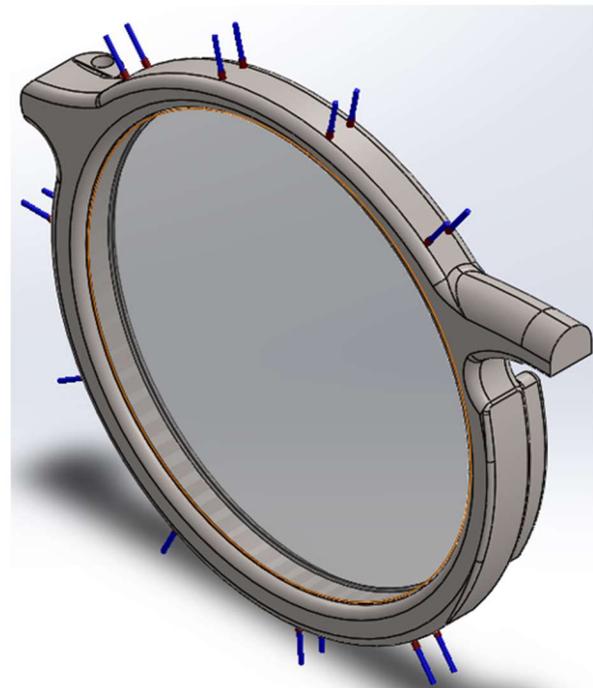
**Figura 4.** Fuerzas en el armazón y lente.

y reduce el tiempo y esfuerzo ejercido por el operador. La manera en la que se realiza esta operación es colocando el armazón sin lente dentro de los dos puentes del calentador de aire (Figura 2) por un tiempo promedio de 9 segundos, también en la Figura 5, se pueden apreciar las áreas de contacto por las que principalmente se busca hacer ceder al armazón. Para determinar cuáles áreas del armazón obtienen el mayor rango y contacto de exposición de temperatura se utilizó el coeficiente de convección del aire a 25 °C de 20 W/m<sup>2</sup>.K, utilizando también la temperatura ambiente del área de trabajo de 25 °C, igualando de esta manera las condiciones normales a las que se realiza la operación.

## Resultados y discusión

### Resultados del análisis económico

En la Tabla 5, se puede apreciar el costo final de cada armazón considerando los 10 tipos de materiales expuestos con anterioridad. En la segunda columna se expresa el costo del material por gramo en el mercado actual, en la tercera columna se define la masa del armazón diseñado con el software SolidWorks®, en la cuarta columna se expresa el costo en dólares del armazón utilizando la Ecuación (1) y finalmente en la quinta columna se encuentra el precio final obtenido bajo la Ecuación (2). De manera explícita, se observa



**Figura 5.** Áreas de exposición de temperatura.

que el tipo de material más costoso en el mercado actual es el oro, por naturaleza se sabe que es uno de los materiales exóticos y por ende más costosos del mercado, sin embargo, compañías de gama alta incursionan con este tipo de materiales considerando los requerimientos de los clientes, es preciso mencionar que la mayoría de los armazones hechos con este material son bajo pedido, es decir, que tanto el diseño como la manufactura son únicos, específicos y especiales para el cumplimiento del producto final. Otro aspecto importante es el proceso de manufactura, en este caso se toma un aproximado del 10 % adicional al costo final del diseño del armazón, es evidente que un producto es fácil de manufacturar cuando la materia prima no es costosa, en este caso es imposible refutar esa información ya que al sumar ese porcentaje al costo neto de la masa da como resultado un material final con un precio muy elevado.

Por otra parte, el material más común en el mercado actual de la manufactura de armazones es el plástico ABS, o conocido también por su nomenclatura "acrilonitrilo butadieno estireno" este material es muy resistente al impacto y es muy utilizado en este y otros ramos de la industria. El costo debido a su masa es bajo, por ende, el porcentaje adicional a su proceso de manufactura continua igual, esta información se puede verificar en la Tabla 5. El Nylon 101 ubicado en la parte central de la Tabla 5, muestra el bajo costo de



**Tabla 5**  
Costo final del armazón.

Material	Costo unitario	Masa	Costo total	Costo final
	(\$/gr)	(gr)	(\$)	(\$)
Monel	0.05	1,232.16	61.61	67.77
ABS PC	0.12	142.82	17.14	18.85
ABS	0.003	142.82	0.43	0.47
Madera de Balsa	0.55	22.40	12.32	13.55
Berilio	0.83	258.19	214.30	235.73
Oro	38.19	2,660.34	101,598.38	111,758.22
Nylon 101	0.003	161.02	0.48	0.53
Plata	0.46	1,540.20	708.49	779.34
Acero Inoxidable	0.002	1,092.14	2.18	2.40
Titanio	0.003	644.08	1.93	2.13

manufactura y procesamiento, sin embargo, las características de este material en el uso de armazones han dejado mucho que desear. Es evidente que el costo no es una limitante, pero en este caso entra otro factor importante que es la calidad del producto cuando está en uso, la exposición del material a ciertas características de temperatura, humedad, etc., deterioran el material dándole poco tiempo de vida útil. Existen otros materiales en el mercado actual que cumplen con las principales características que el cliente busca en el producto final las cuales son costo y calidad. En la Tabla 5, en la penúltima posición se encuentra el acero inoxidable, el cual como materia prima en el mercado actual es barato, además las características de este material tales como resistencia al calor y humedad lo mantienen asequible y lo posicionan como uno de los mejores materiales para su proceso de manufactura. El titanio por otra parte, cumple con características parecidas al acero inoxidable, los costos bajos como materia prima, las características de resistencia a ciertos factores naturales lo mantienen como uno de los principales en la industria de armazones.

#### **Resultados del análisis estático**

En las Figuras 6, 7 y 8, se puede apreciar los resultados obtenidos del análisis de tensión, presión y desplazamiento de las partes involucradas. Los resultados del análisis de tensión arrojan que los principales puntos de tensión ( $4.023 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup>) se presentan en las partes superiores del armazón, es decir, en donde se encuentra el soporte para las patas y el puente que sostiene ambas lentes, las partes que menos reciben tensión son precisamente donde se sujeta el armazón

para que el lente sea montado, las cuales se aprecian de color azul con una tensión promedio de ( $3.533 \times 10^1$  N/m<sup>2</sup>). Por otro lado, el lente, a pesar de estar en contacto con la mano operativa demuestra que el valor de tensión que almacena es menor ( $4.02 \times 10^5$  N/m<sup>2</sup>). Expresado de otra manera, el armazón expuesto a la tensión del análisis está lejos de sufrir algún tipo de fractura por lo que tiende a ceder.

Los resultados del análisis de deformación plasmado en las Figuras 6, 7 y 8, demuestran que durante la actividad de montaje del lente el armazón no sufre ningún tipo de efecto, por el contrario, el lente es el elemento que recibe la totalidad del efecto. La mayor parte de la deformación en el lente se da del centro hacia los extremos, siendo los extremos también un punto de contacto importante para que se logre el montaje del lente, inclusive, en alguna de las partes externas o del contorno se observa que la deformación alcanza hasta  $2.776 \times 10^{-4}$  N/m<sup>2</sup> esto debido a que se requiere de presión alta específicamente en esas partes por naturaleza del mismo armazón.

En el análisis de desplazamiento, el cual está representado de manera gráfica en las Figuras 6, 7 y 8, demuestra que la mayor área de desplazamiento de la estructura al ser expuesta a una fuerza de 120 N no es el armazón, en este caso el lente es el que almacena la cantidad total de desplazamiento a consecuencia de la fuerza aplicada, es decir, que en condiciones reales de trabajo, aplicación y montaje, el lente alcanza en promedio  $2.658 \times 10^{-2}$  mm de desplazamiento. Seguido de este fenómeno, el desplazamiento se observa a través de la lente hacia los extremos.

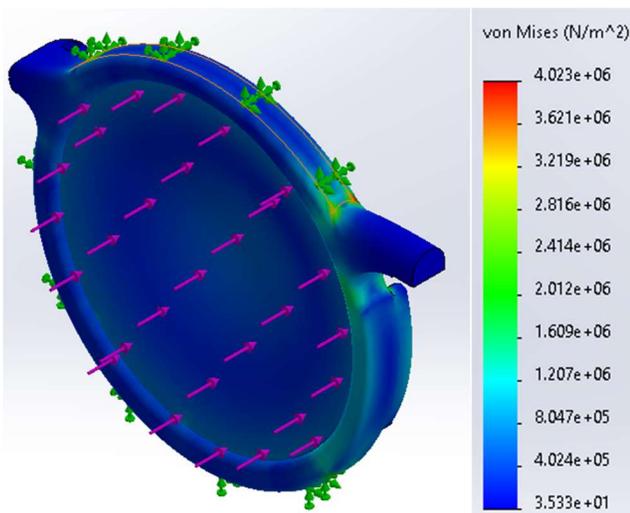


Figura 6. Análisis de tensión.

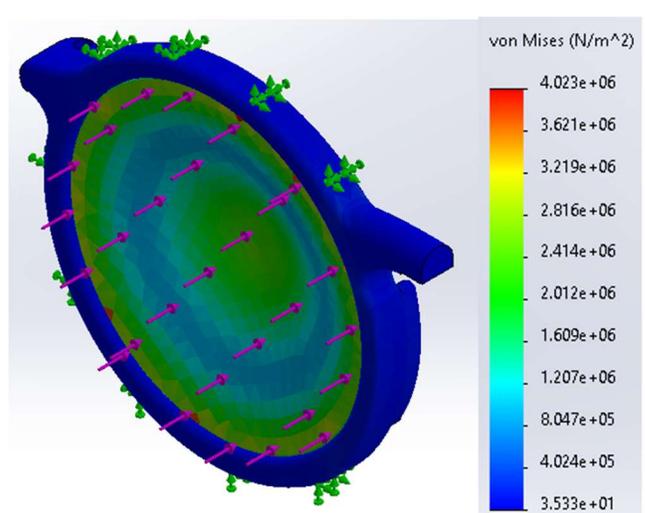


Figura 7. Análisis de deformación.

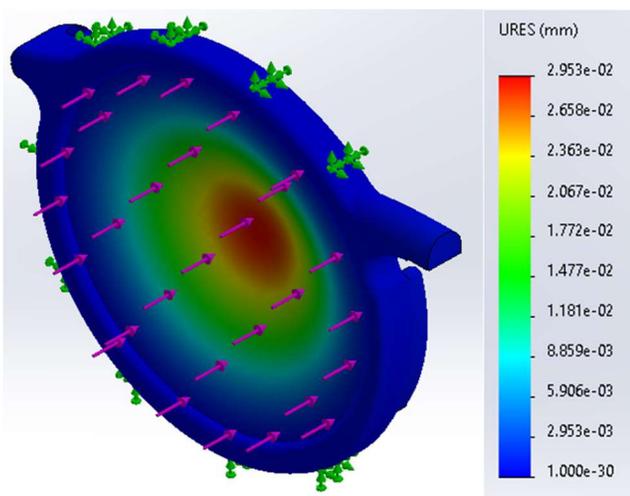


Figura 8. Análisis de desplazamiento.

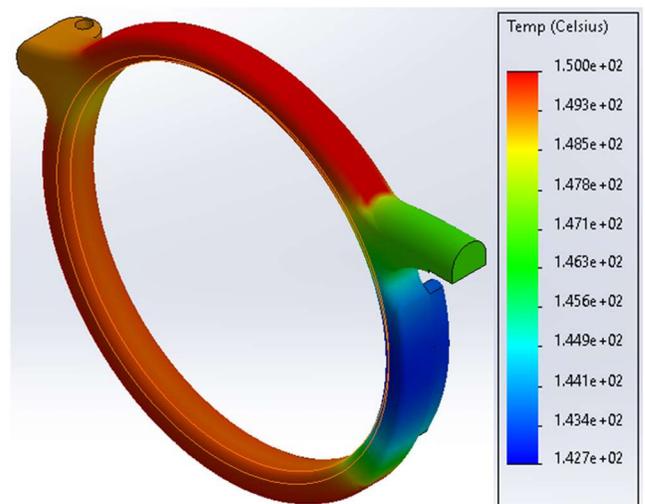
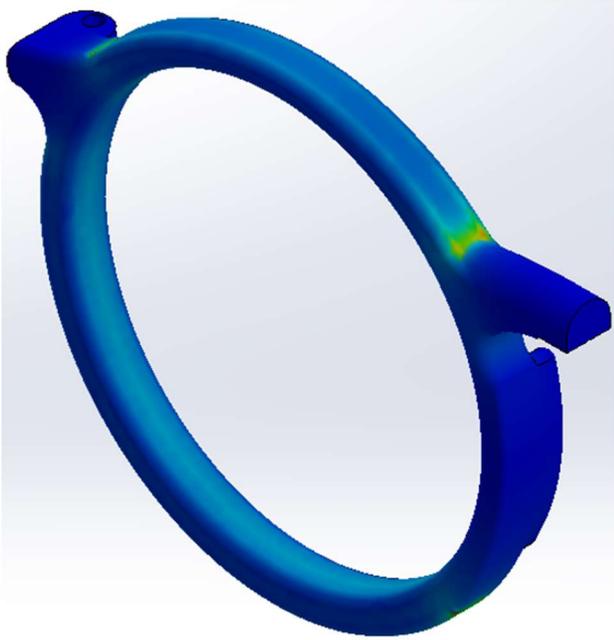


Figura 9. Variación de temperatura en el armazón.

**Resultados del análisis térmico**

En las Figuras 9 y 10, se encuentra el resultado del armazón al ser expuesto a calor con el objetivo de manipularlo con mayor facilidad y lograr el ensamble del lente. De manera estructural se conoce que un plástico o polímero, según sea el caso, al ser expuesto a temperatura tiende a romper sus enlaces químicos lo cual genera que su temperatura de transición vítrea sea rebasada provocando que el material se vuelva flexible, si este parámetro es rebasado el material se derrite (Posada Bustamante, 1994). Dentro del estudio y análisis térmico por medio de la exposición del armazón a la temperatura se busca que el material se vuelva flexible sin llegar al punto a que este se derrita, debido a que por condiciones físicas y químicas del

material, este ya no recobraría su forma original. Es por esto que el factor tiempo juega un papel importante, si bien sea el caso, un material llegará a derretirse si se expone durante un tiempo prolongado a temperatura, pero es posible que se vuelva flexible si se retira a tiempo. Dicho esto, dentro del proceso de manufactura normal el personal operativo por experiencia determina los segundos de exposición del armazón con el calentador. El área que recibe la mayor cantidad de transferencia térmica es la parte superior del armazón la cual es transferida a través del calentador generando 150 °C como máximo. En seguida, la parte inferior del armazón capta hasta 149 °C; es importante mencionar que el estudio realizado en campo arrojó que las principales áreas del armazón



**Figura 10.** Flujo de calor en el armazón.

que se manipulan para lograr el ensamblaje son las dos que principalmente se ven afectadas en las Figuras 9 y 10, por ende, el análisis y estudio comprueban lo cometido en términos reales. La zona que capta menor temperatura, alrededor de 142 °C es la parte central e interior del armazón, lo cual demuestra que no es necesario calentar a más temperatura esa zona para lograr el ensamblaje.

Otro detalle importante que resulta del análisis térmico del armazón es el flujo de calor a través del mismo, ya mencionado anteriormente el material del armazón está directamente relacionado con el comportamiento físico y térmico que este presenta, siendo el plástico el mayor utilizado en un proceso de manufactura. En la Figura 10, se muestra el comportamiento del armazón con el flujo de calor aplicado según las características en el proceso de manufactura. Se observa que el armazón recibe y mayormente distribuye el flujo de calor a través de toda la estructura independientemente de la parte que lo recibe primero.

## Conclusiones

La evidencia que se presenta anteriormente, demuestra que las actividades realizadas dentro de un proceso de manufactura encargado del ensamblaje de lentes de prescripción médica en diferentes tipos de

armazón es un proceso que está lejos de ser simple, es decir, que las habilidades manuales que el operador aplica para lograrlo con efectividad se aprecian simples a primera instancia pero el estudio, análisis y realidad van más allá de eso. Por lo tanto, podemos determinar que el estudio y análisis estático de la dirección y las fuerzas aplicadas en el ensamble comprueban los principales puntos de contacto entre las partes generales de armazón y lente, esto arroja como resultado que el desplazamiento y deformación del lente, es el cuerpo que principalmente recibe mayor deformación, y es el factor clave para que el ensamble sea el adecuado. Dicho y comprobado esto, el área de investigación sobre el tema crea nuevos retos para investigaciones futuras centrándose en los materiales utilizados para la elaboración de los lentes y en los procedimientos implementados por los operarios encargados del ensamblaje. Estos son parámetros que definitivamente se tienen que considerar tomando en cuenta el análisis de desplazamiento, deformación y tensión del lente. Finalmente, es importante recalcar que la temperatura es un factor clave en este análisis, el armazón por características físicas y propias del material mantiene su forma inicial, pero al ser expuesto a temperatura controlada es capaz de deformarse y retomar su misma estructura, esta deformación momentánea ayuda a que el lente sea montado y demuestra que todo el armazón recibe prácticamente la misma temperatura, pero las partes que la almacenan en mayor cantidad son clave para que se logre. Este análisis térmico abre las puertas a nuevos objetivos, tales como el tiempo de exposición del armazón en el calentador cuando se busca deformarlo para lograr el montaje y la influencia de la temperatura ambiente. En cuanto a los detalles importantes de la presencia de esfuerzos de deformación y/o desplazamiento en conjunto con la transferencia térmica actuando de manera simultánea se concluye que son dependientes cuando se busca que el ensamble lente-armazón sea eficaz, es decir, el armazón requiere ser deformado a través de la transferencia térmica para incrementar su diámetro interno y a su vez el lente debe ser deformado a través de esfuerzos de desplazamiento y deformación para llegar al mismo objetivo, confirmando la dependencia de ambos. Finalmente, los costos del armazón y el proceso de manufactura del lente incluyendo el montaje son detalles que las compañías toman en cuenta antes de iniciar el negocio, desde la

fase de diseño del armazón hasta la selección del material considerando el mercado al que se desea atacar, es decir, los precios se elevan cuando se utiliza un metal precioso como el oro o la plata y disminuyen cuando se utiliza materiales que son sencillos de procesar tal como el plástico ABS. En síntesis, es necesario continuar con los estudios y análisis de los componentes físicos presentes dentro del montado del lente en el armazón, de esta manera se logrará profundizar en el tema obteniendo datos y resultados importantes que normalmente no se aprecian pero que son sumamente importantes para conocer el comportamiento estático y térmico del armazón y la lente al momento de ser manipulados.

## Referencias

- Dewhurst, P., Knight, W., & Boothroyd, G., 1994, *Product desing for manufacturing and assembly*. New York: Marcel Dekker.
- Essilor. *Un Poco de Historia*, 5 de Noviembre de 2021, Obtenido de Essilor.es: <https://www.essilor.es/sobre-nosotros/un-poco-de-historia>.
- Gabaldon Castillo, F., 2007, Método de los elementos finitos. Preproceso y postproceso de resultados.
- Groover, M. P., 1997, Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas. Prentice Hall.
- IS/ISO 7998, 2005, Ophthalmic Lenses - Spectacle Frames - Lists Of Equivalent Terms And Vocabulary. *ISO*.
- ISO/TS 24348, 2007, Ophthalmic Optics - Spectacle Frames - Method For The Simulation Of Wear And Detection Of Nickel Release From Metal And Combination Spectacle Frames. *ISO*, 24.
- Montalto, A., Graziosi, S., Bordegoni, M., Di Landro, L., 2017, Combining aesthetics and engineering specifications for fashion-driven product design: A case study on spectacle frames. *Computers In Industry*, 102.
- Petiot, J. F., Weihua, L., 2014, Affective design of products using an audio-based protocol: application to eyeglass frame. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 12.
- Posada Bustamante, B., 1994, La degradación de los plásticos. *Revista Universidad EAFIT*, 20.
- Valencia Estrada, J. C., 2015, Manufactura CNC de superficies ópticas correctoras. *Centro de Investigaciones en Optica A. C.*