

Ensayos

Lentes sintonizables y sus aplicaciones

Resumen

Una lente sintonizable es aquella lente que cambia su longitud focal al modificar alguno de sus parámetros geométricos. Trabajos recientes muestran que el uso de lentes sintonizables en micro-dispositivos ópticos los hace ligeros, simples y compactos. En este trabajo se presentan dos propuestas de lentes sintonizables, una de ellas es una lente líquida compuesta por una montura metálica cilíndrica con un compartimiento para dos membranas elásticas y un medio líquido entre ellas, y la otra es una lente sólida elástica compuesta por una montura mecánica conteniendo el cuerpo de la lente sólida. Al modificar la cantidad de líquido contenido en el primer caso o al aplicar una fuerza radial de tensión, en el segundo caso, se provocan cambios en la forma de la lente y con ello se cambia la longitud focal de lente. Adicionalmente en este trabajo se proponen aplicaciones potenciales para este tipo de lentes sintonizables.

Abstract

A tunable lens is one that changes its focal length by changing some of its geometric parameters. Recent studies show that the use of tunable lenses in optical micro-devices makes them lightweight, simple and compact. In this paper, two proposals for tunable lenses are presented. One is a liquid lens comprising a cylindrical metal frame with a compartment for two elastic membranes and a liquid medium between them. The other is an elastic solid lens comprising a frame containing the solid lens body. By changing the amount of liquid in the first case or applying a radial force of tension in the second case, changes in the shape of the lenses are effected which in turn affect their focal length. Additionally, in this paper potential applications for these types of tunable lenses are proposed.

Résumé

Une lentille syntonisable est une lentille qui change sa longueur focale en modifiant certains de ses paramètres géométriques. Des travaux récents ont montré que l'utilisation de lentilles syntonisables dans des micro-dispositifs optiques les rend légers, simples et compacts. Dans ce travail on propose 2 propositions de lentilles syntonisables, l'une d'elles est une lentille liquide composée d'une monture métallique cylindrique avec un compartiment pour 2 membranes élastiques et un milieu liquide entre les 2, l'autre est une lentille solide élastique composée d'une monture mécanique contenant le corps de la lentille solide. En modifiant la quantité de liquide contenu dans le 1er cas ou en appliquant une force radiale de tension, dans le 2nd cas, on provoque des changements de la forme de la lentille et avec cela un changement de la longueur focale de la lentille. En plus de ce travail, on propose des applications potentielles pour ce type de lentilles syntonisables.

* Agustín Santiago Alvarado, Jorge González García, Fernando Iturbide Jiménez, Alejandro López López, Víctor Manuel Cruz Martínez y Graciela Castro-González

Palabras clave:

Lente sintonizable, Lente con longitud focal variable.

Introducción

Investigaciones recientes muestran que el uso de lentes sintonizables en micro-sistemas ópticos los hace más ligeros, simples y compactos. Existen diferentes tipos de lentes sintonizables o de foco variable como: lentes hechas con un medio líquido dieléctrico que al aplicar un voltaje la forma de la lente cambia (Miccio, 2009). También hay lentes que cambian su índice de refracción ocasionando que la longitud focal de la lente cambie (Peter, 2006). Este tipo de lentes, requieren de voltajes relativamente altos alrededor de 100 V, y de la construcción de una abertura larga electro-húmeda (F. Schneider, 2008, 2009), o requieren de elaboradas monturas para la conducción de fluidos que cambien el índice de refracción de la lente y con ello su distancia focal (Quingda, 2008; Guo-Hua, 2009). Existen lentes líquidas plano convexas formadas con una membrana elástica y un vidrio plano delgado,

* Universidad Tecnológica de la Mixteca

al aplicarles esfuerzos en los bodes se pueden deformar y así provocar que la longitud focal de la lente cambie (Graham, 1940). Otro tipo de lentes sintonizables usan accionamiento termo-neumático (Wei, 2011), magnético (Liebetraut, 2011), o foto-polimérico (Su Xu, 2009) por mencionar algunas, para provocar el cambio en la longitud focal.

Por otra parte están las lentes compuestas de una montura mecánica cilíndrica con un compartimiento para dos membranas elásticas con un líquido entre ellas (Santiago-Alvarado, 2006, 2009a), de este tipo de lente se ha reportado su análisis matemático y la forma que adquieren las membranas cuando el medio líquido ejerce presión sobre ellas, como en el caso de los trabajos reportados por Sugiura (1993), Knollmann (1970) y Oliva (2003), donde consideran membranas delgadas planas con espesor constante. En otros trabajos se ha reportado el uso de membranas con perfiles diferentes como en los de Dien Shaw (2007) y Guo-Hua Feng (2009) quienes proponen el uso de membranas con perfiles esféricos. Haciendo una revisión de las publicaciones existentes, se puede destacar que se han concentrado en tres tópicos principalmente: en proponer modelos teóricos para describir el comportamiento de las lentes sintonizables como los realizados por Sigiura, Nollman, Oliva y Qingda Yang (2008) -empleando membranas planas-, otros trabajos se han concentrado en describir el funcionamiento y caracterización óptica de las lentes en aplicaciones específicas (Chronis, 2003), y la tercera categoría se ha concentrado en construir un modelo para describir el funcionamiento de la lentes para una aplicación específica o introduciendo una variante a la lente (Lee, 2007), como el material a utilizar en las membranas (Santiago-Alvarado, 2008a), nuevos sistemas para introducir o sacar el medio líquido de la lente (Su Xu, 2009), variar las dimensiones de la lente (Shaw, 2007), el mecanismo de actuación (Santiago-Alvarado, 2009b), por mencionar algunos casos.

En el presente trabajo, se presentan dos propuestas de lentes sintonizables que cambian su longitud focal por accionamiento mecánico, (tensiones radiales en su borde y por presión de un medio líquido), una del tipo sólida elástica y otra llena de líquido. Se describen los diseños y construcción de cada una de las lentes, así como su funcionamiento opto-mecánico. Finalmente, se proponen aplicaciones específicas de cada una de las lentes propuestas.

Descripción de lentes sintonizables

Los autores del presente trabajo (Investigadores de la Universidad Tecnológica de la Mixteca) hemos diseñado, fabricado y analizado lentes sintonizables tanto líquidas (Santiago-Alvarado, 2006, 2008a, 2009a, 2009b y 2010a) como sólidas (Santiago-Alvarado, 2010b, 2008b). El diseño óptico de las lentes se realizó aplicando la metodología descrita por Yoder (2006), las cuales están compuesta por una montura mecánica y el cuerpo de la lente. Dado que los mecanismos para cambiar la longitud focal en las lentes propuestas son completamente diferentes, se describirán a continuación cada una de ellas.

Lente llena de líquido sintonizable

Una lente llena de líquido sintonizable consiste de una montura mecánica con un compartimiento para dos membranas elásticas y un medio líquido entre ellas (agua destilada des-ionizada), la montura tiene un conducto para extraer el aire de la cámara de la lente, una entrada para un sensor de presión, y una entrada para introducir líquido a la cámara de la lente. Cuando la cámara de la lente se llena con líquido en ese mismo momento el aire es expulsado hasta estar completamente llena por el líquido, al continuar introduciendo líquido a la cámara, éste ejerce presión sobre las membranas desplazándolas para ganar mayor volumen debido a la cantidad de líquido, ocasionando que el espesor axial y los radios de curvatura de las membranas cambien. En la fig. 1 se muestra un diagrama esquemático del sistema propuesto para la lente.

La montura mecánica fue hecha de Aluminio y las membranas elásticas de Polidimetilsiloxano (PDMS. Santiago-Alvarado, 2008a, 2009b). El líquido es introducido a la montura por medio de un sistema

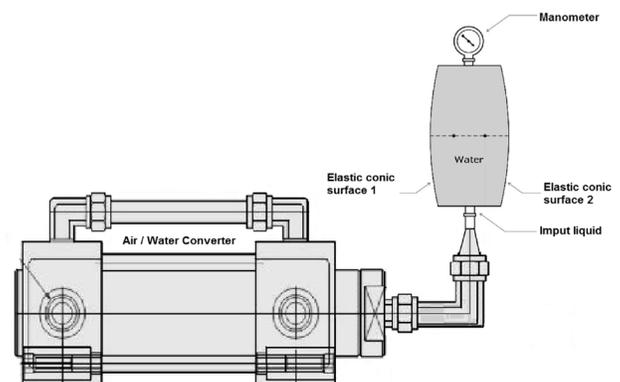


FIG. 1. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA LLFVL.

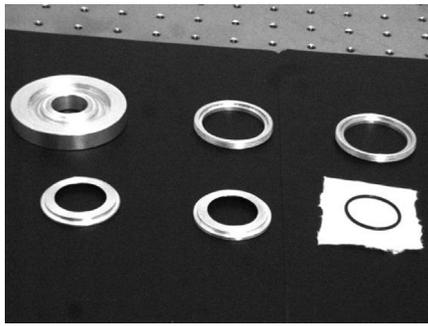


FIG. 2. COMPONENTES MECÁNICAS DE LA MONTURA DE LA LLFVL.

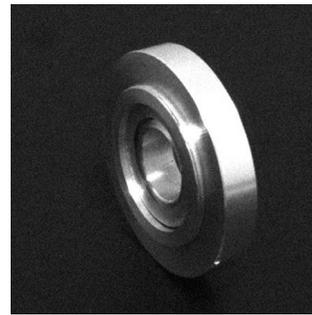


FIG. 3. COMPONENTES ENSAMBLADOS DE LA LLFVL.

convertidor aire/aceite, el sistema cuenta con un par de llaves para controlar el ingreso y presión del líquido. El manómetro se utiliza para medir la presión que el líquido ejerce sobre las superficies de las membranas. Los componentes de la montura mecánica son: la carcasa (montura principal), dos anillos de caucho para sellar las membranas a la montura, dos anillos para aprisionar las membranas (sujetadores de aluminio) y dos anillos que se enroscan a la montura principal para evitar fugas del líquido ver fig. 2.

La montura principal contiene todos los elementos mecánicos, el medio líquido, las membranas y el manómetro. Una vez ensamblados los componentes ver

fig. 3, el líquido es introducido lentamente hasta llenar la cámara de la lente (dejando abierta la abertura de la salida de aire) y teniendo cuidado que la presión del líquido no deforme las membranas. Después el volumen del líquido contenido en la montura es cambiado, introduciendo o sacando líquido de la montura para cambiar la presión sobre las membranas, provocando que el espesor axial y sus radios de curvatura cambien, de manera similar al efecto observado al llenar un globo con agua.

Lente sólida elástica sintonizable (SEL)

La lente sólida elástica (SEL) es un sistema simple compuesto de una montura mecánica con la cual pueden ser aplicados esfuerzos radiales por medio de un sistema de mordazas incrustadas en el material elástico transparente que forman el cuerpo de la lente ver fig. 4. El sistema de lente sólida esta compuesto por: un soporte de montura, mordazas, una guía espiral dentada y un sujetador, ver fig. 5.

Dado que la lente es elaborada de una material elástico esto permite que la forma de la lente pueda ser deformada al aplicarle esfuerzos radiales, y que ésta recobre su forma cuando son suprimidos. La montura es elaborada en aluminio y el cuerpo de la lente es hecha del elastómero Polidimethylsiloxane (PDMS) Sylgard 184.

La forma de la lente (sin aplicación de esfuerzos)

consiste de dos superficies esféricas con el mismo radio de curvatura. Las superficies de la lente cambian de forma conforme los esfuerzos radiales son aplicados sobre el perímetro de la lente conforme la rueda dentada gira y aplica esfuerzos lineales continuos a través de las mordazas.

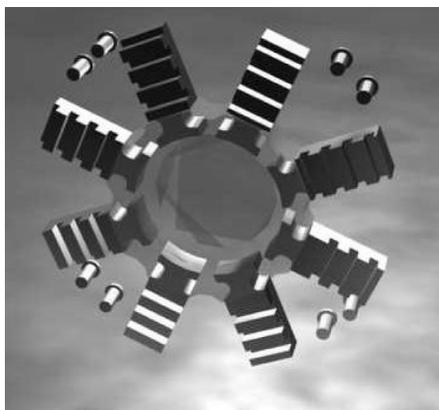


FIG. 4. SISTEMA MECÁNICO USADO PARA APLICAR ESFUERZOS RADIALES A LA SEL.

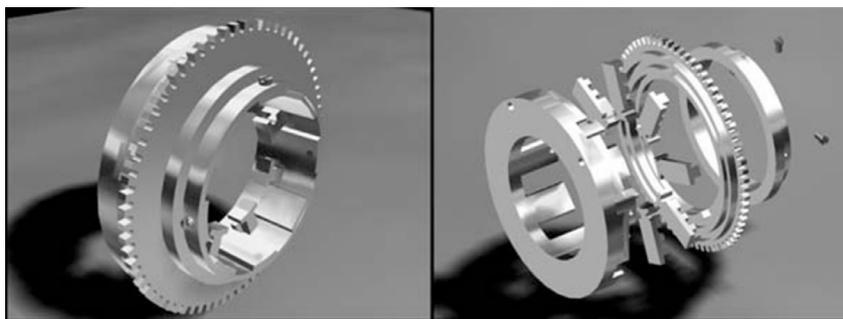


FIG. 5. VISTA FRONTAL DE SEL CON DISCO DE MORDAZAS PARA APLICAR ESFUERZOS RADIALES.

Diseño óptico inicial de lentes sintonizables

Dado que en este trabajo se propone el diseño de dos tipos de lentes sintonizables, una del tipo líquida y otra del tipo sólida elástica. En esta sección se describe el diseño inicial, y como influye este en la calidad de las imágenes formadas. El diseño fue realizando adaptando la metodología de Yoder. Las etapas de diseño empleadas fueron: Conceptualización, especificaciones de diseño, restricciones, diseño preliminar y análisis funcional. Estas etapas fueron llevadas a cabo con la ayuda de *SolidWorks*^{MR}.

Diseño de lente líquida propuesta

A diferencia de los diseños tradicionales de lentes líquidas sintonizables, las cuales emplean membranas con superficies planas (Knollman, 1970), Dein Shaw (2007) propuso usar membranas elásticas con superficies esféricas en forma de menisco y analizó el comportamiento de la lente, según el empotramiento de las membranas a la montura. En este trabajo se propone el diseño de una lente líquida usando membranas elásticas con forma cónicas, de tal manera que la lente así formada tenga mínima aberración esférica. El estudio se realizará considerando objetos puntuales sobre eje. La lente se diseña usando la lente plano convexa propuesto por Kingslake (caso de superficie curva dando hacia el plano objeto. Kingslake, 1978), por lo que

$$Bn = X + n \left[(B - X)^2 + X^2 \right]^{1/2}, \quad (1)$$

donde

$$\frac{[X - Bn(n+1)]^2}{[Bn(n+1)]^2} + \frac{Y^2}{B(n-1)(n+1)} = 1. \quad (2)$$

n es el índice de refracción de la membrana, B es la longitud focal posterior, X es el espesor de la lente, Y es el semi-diámetro de lente y K la constante de conicidad dada por $K = -1/n^2$. En el diseño consideramos dos membranas plano-convexas similares para formar la lente.

Los parámetros geométricos de la lente, sin aplicar presión extra sobre las membranas por el medio líquido, son mostrados en la tabla 1. La fig. 6 muestra un diagrama esquemático de la lente creada con el programa de diseño comercial OSLO^{MR}, con el cual se realizó un trazo de rayos para simular el comportamiento óptico de la lente, se consideró que el objeto se encontraba en infinito y sobre el eje. La longitud focal efectiva resultante es de 291.035 mm. Las figs. 7 y 8 muestran el diagrama de manchas y las aberraciones del frente de onda presentes en la lente respectivamente. Los valores de las aberraciones esférica y coma presentes son -0.021335 y 5.0476E-07 respectivamente, se empleó como fuente de luz un láser He-Ne con $\lambda = 632.8$ nm.

Diseño de lente sólida propuesta

En un trabajo previo se describe con gran detalle el diseño, manufactura y caracterización funcional de la lente [24], donde la rotación del disco dentado aplica esfuerzos radiales al cuerpo de la lente, modificando su forma. Un diagrama del diseño mecánico de la lente sólida es mostrado en la fig. 9(a). A diferencia de la lente líquida, la lente sólida es una propuesta que no ha sido publicada por otros autores, el perfil de la lente sin aplicación de esfuerzos radiales se muestra en la fig. 9(b) la lente está

Radio de curvatura	Espesor	Diámetro	Material	Constante de Conicidad
241		30		-1.988
Plano	0.5	30	PDMS	
Plano	10	30	Agua	
Plano	0.5	30	PDMS	
-241		30		-1.988

TABLA 1. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE LA LENTE LÍQUIDA CON SUPERFICIES CÓNICAS (LAS UNIDADES ESTÁN EN MILÍMETROS).

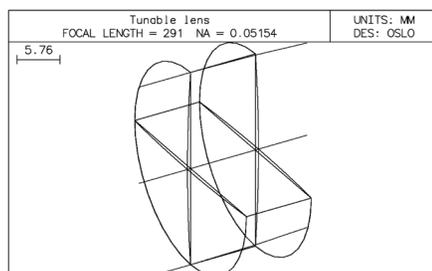


FIGURA 6. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA LENTE

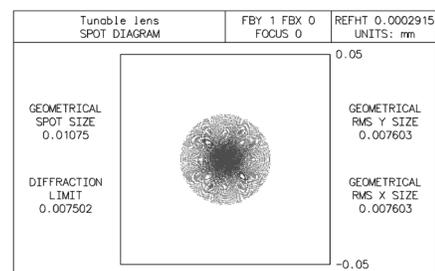


FIGURA 7. DIAGRAMA DE MANCHAS PRODUCIDO POR LA LENTE

compuesta por superficies esféricas. En la tabla 2, se muestran los parámetros geométricos de la misma. La fig. 10 muestra un diagrama esquemático de la lente

creada con el programa de diseño comercial OSLO^{MR}, en el programa se realizó un trazo de rayos para simular el comportamiento óptico de la lente, se considero que el objeto se encontraba en infinito y sobre el eje. La longitud focal efectiva resultante es de 123.8 mm. Las figs. 11 y 12 muestran el diagrama de manchas y las aberraciones del frente de onda presentes en la lente respectivamente.

En la siguiente sección, se describe el comportamiento opto-mecánico de las lentes propuestas cuando se ejerce presión o esfuerzo sobre ellas para cambiarle de forma.

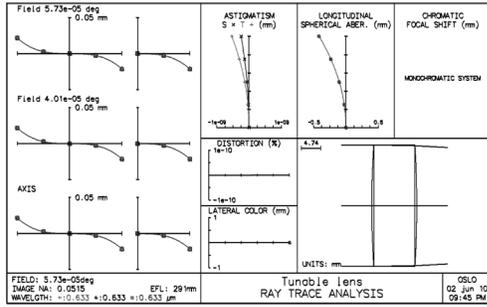


FIG. 8. ABERRACIONES DEL FRENTE DE ONDA PRESENTES EN LA LENTE.

Comportamiento mecánico de lentes propuestas

Para simular el comportamiento mecánico de las lentes propuestas, cuando el medio líquido ejerce presión sobre las membranas o cuando las mordazas aplican esfuerzos sobre la lente, usamos el método de elemento finito (MEF) ya que es una herramienta matemática que permite resolver sistemas complejos que analíticamente son difíciles de resolver de manera exacta. El MEF permite simular y visualizar detalladamente el comportamiento de estructuras, superficies u objetos que son afectados por agentes externos como son: esfuerzos, presiones, cambios de temperatura, interacción de campos electromagnéticos etc. Los cuales provocan que el objeto bajo estudio se doble, tuerza, desplace o deforme. En esta sección, se presenta un análisis estático del comportamiento de las lentes propuestas y se muestran mapas de deformaciones (desplazamientos) y esfuerzos que sufren las lentes en cada uno de los casos de estudio (Santiago-Alvarado, 2010a). Para ello, se realizó el CAD de las lentes y se empleó el programa comercial *SolidWorks*^{MR}, posteriormente se introdujeron las propiedades físico-químicas del material con el que se modelaron las lentes (PDMS), enseguida se introdujeron las condiciones a la frontera, cargas, esfuerzos y se realizó un mallado de las

Radio de curvatura	Espesor	Diámetro	Material
101.91	4.22	30	PDMS
-101.90635		30	

TABLA 2. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE LA LENTE SÓLIDA (LAS UNIDADES ESTÁN EN MM).

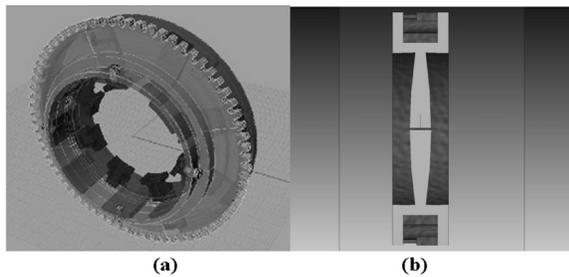


FIG. 9. MONTURA MECÁNICA DE LENTE. (A) MONTURA ENSAMBLADA Y (B) PERFIL DE SUPERFICIES DE LENTE

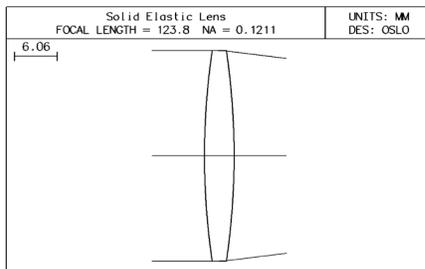


FIG. 10. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LENTE SÓLIDA.

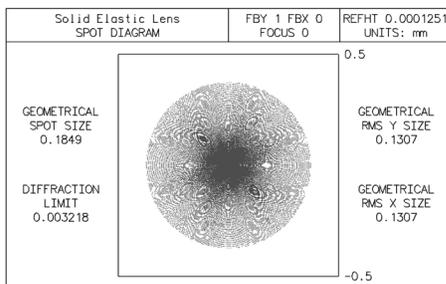


FIG. 11. DIAGRAMA DE MANCHAS PRODUCIDO POR LA LENTE SÓLIDA.

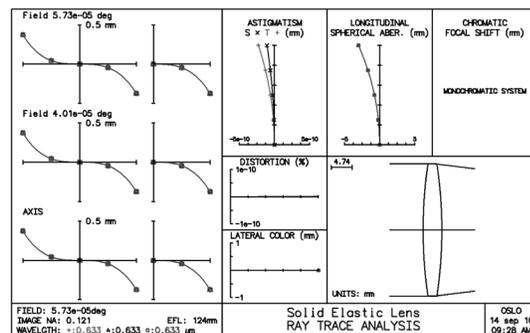


FIG. 12. ABERRACIONES DEL FRENTE DE ONDA PRESENTES EN LA LENTE SÓLIDA.

lentes ver fig. 13. Las propiedades físicas del PDMS son mostradas en la tabla 3 (material con el que se elaboraron las membranas y el cuerpo de la lente sólida).

Con la información introducida se realizó el análisis estático de las lentes, los mapas de esfuerzos son mostrados en las figs. 14 y 15 para ambas lentes.

Una vez obtenidos los mapas de desplazamientos, se toman las coordenadas de algunos puntos sobre las superficies de la lente, a los cuales se les realiza un ajuste cónico con Algoritmos Genéticos. Los parámetros geométricos obtenidos de las superficies son empleados para realizar el diseño óptico en el programa OSLO^{MR}. En la siguiente sección, se presenta la simulación del comportamiento óptico de las lentes propuestas.

Simulación del comportamiento óptico de las lentes propuestas

Para conocer el comportamiento óptico de las lentes propuestas, se usaron los parámetros geométricos obtenidos en el análisis mecánico para diferentes presiones y esfuerzos de la sección anterior, los cuales fueron introducidos en el programa comercial OSLO^{MR}. Para ello, se simuló un trazo de rayos a través de la lente, considerando al objeto sobre eje y al infinito. En las figs. 16, 17, 18 y 19 se muestran gráficas del comportamiento de la longitud focal y de la aberración esférica en función de la presión y los esfuerzos aplicados, para cada una de las lentes empleadas.

Como se puede observar en las gráficas de las figuras 16 y 18, la lente líquida presenta mayor variación en la longitud focal que la lente sólida, y sus aberraciones son menores, además si se trabaja con la lente líquida en un rango de presiones de 4 a 12 KPa, las aberraciones se mantienen prácticamente en el mismo orden y el cambio de la longitud focal sería del mismo orden que la lente sólida. Esto se puede explicar debido a que la lente líquida esta formada por membranas con superficies cónicas, las cuales fueron seleccionadas para minimizar la aberración esférica. En la siguiente sección se menciona algunas posibles aplicaciones de las lentes líquidas.

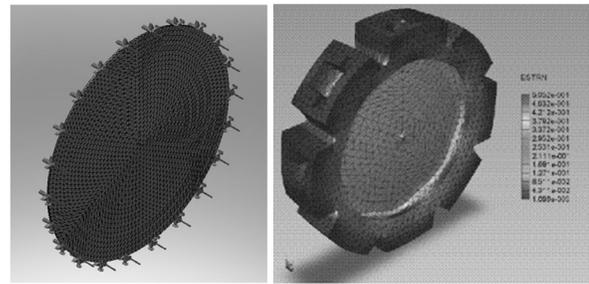


FIG. 13. MALLADO DE LA SUPERFICIE DE LA MEMBRANA Y DE LA LENTE SÓLIDA.

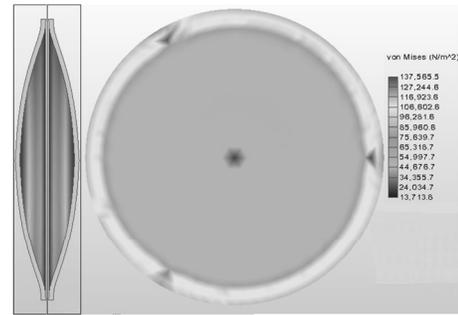


FIG. 14. MAPAS DE ESFUERZOS DE LENTE LIQUIDA.

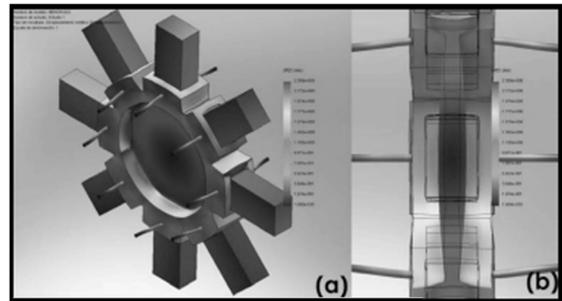


FIG. 15. MAPAS DE ESFUERZOS DE LENTE SÓLIDA.

Aplicaciones de lentes sintonizables

El uso de lentes sintonizables en instrumentos es cada vez más común, sobre todo en micro-componentes, por ejemplo, en teléfonos celulares, endoscopios, microscopios, sistemas zoom, etc. En esta sección se describe el uso de lentes sintonizables en instrumentos de uso común, como binoculares, lentes para cámaras fotográficas, anteojos y un esferómetro óptico.

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Módulo de Young	1.2 MPa (MN/m ²)	Conductividad Térmica	0.2 W/(m×K)
Coefficiente de Poisson	0.46	Coefficiente de expansión térmica	310mm/(m°C)
Módulo Cortante	411 KPa (KN/m ²)	Longitud de onda de corte	240 nm
Densidad	9.82 × 10 ⁻⁴ gr/mm ³	Índice de refracción	1.427
Límite de Tracción	2.5 MPa (MN/ m ²)	Absorción	0.04%
Límite Elástico	700KPa (KN/m ²)	Transmitancia en la región visible	Up 95%

TABLA 3. PARÁMETROS DEL PDMS.

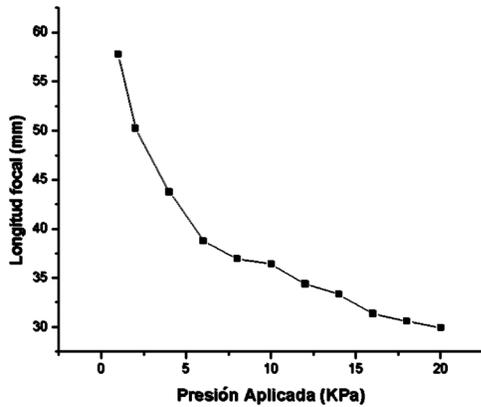


FIG. 16. GRÁFICA DEL CAMBIO DE LA LONGITUD FOCAL DE LA LENTE LÍQUIDA SINTONIZABLE EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN APLICADA.

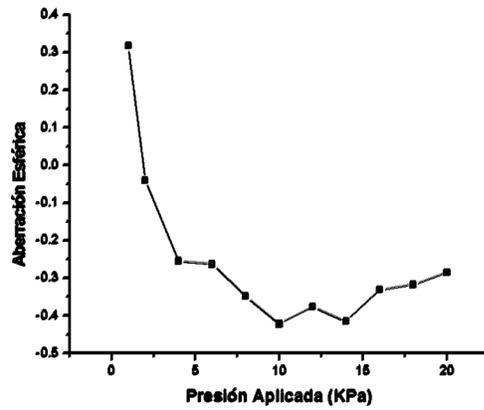


FIG. 17. GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA ABERRACIÓN ESFÉRICA DE LA LENTE LÍQUIDA CON LA PRESIÓN APLICADA.

Binoculares

Se propone el diseño de unos binoculares que utilicen una lente líquida sintonizable como lente ocular, para lo cual se diseñó una carcasa que albergue a todas las componentes: lente objetivo, prismas porro, ocular y las monturas para cada uno de estos elementos. A diferencia de los binoculares tradicionales, que emplean oculares compuestos por lentes rígidas y una montura del tipo tambor para realizar el enfoque de un objeto, nosotros proponemos el uso de una lente líquida cambiando la cantidad de líquido contenido en ésta, se puede lograr el enfocamiento de un objeto como en el caso de la cámara tradicional. Un diagrama de las componentes y la carcasa de los binoculares propuestos son mostrados en las figuras 20 y 21.

Objetivo de cámara fotográfica

Otra propuesta de aplicación es el uso de una lente líquida como objetivo de una cámara, a diferencia de los objetivos tradicionales que cambian el plano objeto al mover la posición de las lentes que forman al objetivo por medio de un tambor, aquí se propone usar una lente líquida sintonizable para lograr el mismo efecto de enfocar el plano objeto deseado, al cambiar la cantidad de líquido contenido en la lente. Una imagen de una cámara tipo Pentax es mostrada en la figura 22, en las figuras 23 y 24 se muestra la propuesta de la montura para la lente líquida. El mecanismo de funcionamiento para modificar la longitud focal de la lente líquida es similar al mecanismo empleado para realizar el zoom en una video cámara.

Anteojos

Anteojos con lentes sintonizables es otra propuesta de aplicación, sobre todo para aquellas personas

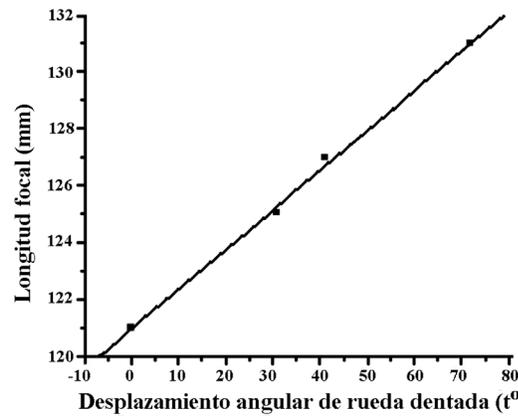


FIG. 18. GRÁFICA DEL CAMBIO DE LA LONGITUD FOCAL DE LA SEL EN FUNCIÓN DEL ESFUERZO APLICADO.

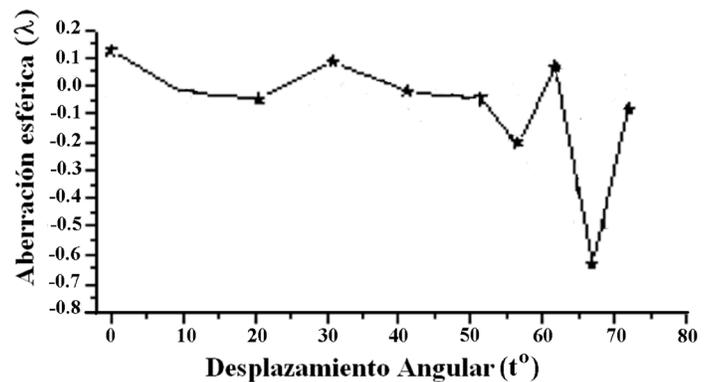


FIG. 19. GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA ABERRACIÓN ESFÉRICA DE LA SEL EN FUNCIÓN DEL ESFUERZO APLICADO.

que tienen problemas degenerativos de visión. Este tipo de anteojos, se pueden graduar inicialmente a las dioptrías necesarias, y se pueden ir ajustando a medida que se presenten cambios de visión. Este tipo de anteojos emplea lentes líquidas sintonizables, ver figura 25. Para esta propuesta es necesario desarrollar una montura especial y que sea de material ligero.

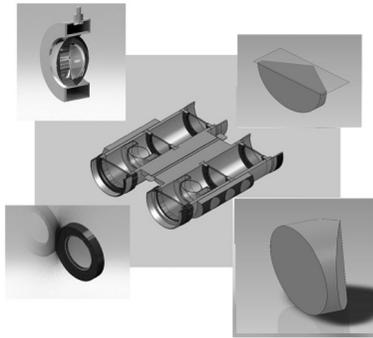


FIG. 20. COMPONENTES DE LOS BINOCULARES PROPUESTOS.

Esferómetro óptico

Finalmente se presenta una propuesta de un esferómetro óptico, el cual puede ser muy útil en los talleres ópticos, este instrumento es empleado para medir el radio de curvatura de superficies ópticas. El esferómetro óptico tradicional mide el radio de curvatura al medir la distancia que el instrumento debe ser desplazado (o equivalentemente moviendo la superficie bajo prueba) para enfocar tanto en el vértice de la superficie a caracterizar como en su centro de curvatura ver figura 26. Este proceso es relativamente fácil de realizar para superficies cóncavas y con radios de curvatura menores al banco óptico empleado. Los problemas se presentan cuando se requieren medir superficies cóncavas con radios de curvatura mayores a la longitud del banco óptico, o cuando se requieren caracterizar superficies convexas con radios largos. Para medir este tipo de superficies un esferómetro óptico sintonizable es propuesto, el cual primeramente es enfocado en el vértice de la superficie bajo prueba (ver figura 27) y posteriormente el líquido de la lente es cambiado hasta que se enfoca en el centro de curvatura de la superficie bajo prueba (ver figura 28). Con la lectura del cambio de presión o volumen de la lente, el radio de curvatura puede ser conocido. Como se puede observar existen diversas propuestas de aplicación para las lentes sintonizables, que van desde aplicaciones de uso común como para laboratorios. En micro tecnología las aplicaciones son cada vez más frecuentes y el futuro parece muy prometedor, y nuevas aplicaciones aparecen día con día en áreas tan diversas de la ciencia y la tecnología.

Conclusiones

A partir de la experiencia obtenida por los autores mediante trabajos previos sobre el diseño, fabricación y análisis de lentes sintonizables, líquidas y sólidas,



FIG. 21. CARCASA QUE ALBERGA LOS COMPONENTES DE LOS BINOCULARES PROPUESTOS.

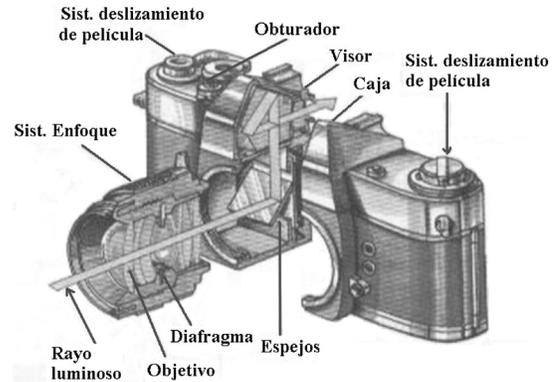


FIG. 22. ESQUEMA DE LENTE OBJETIVO DE UNA CÁMARA FOTOGRÁFICA TRADICIONAL.



FIG. 23. VISTA ISOMÉTRICA DE LENTE OBJETIVO PROPUESTO CON LAS PARTES ENSAMBLADAS.

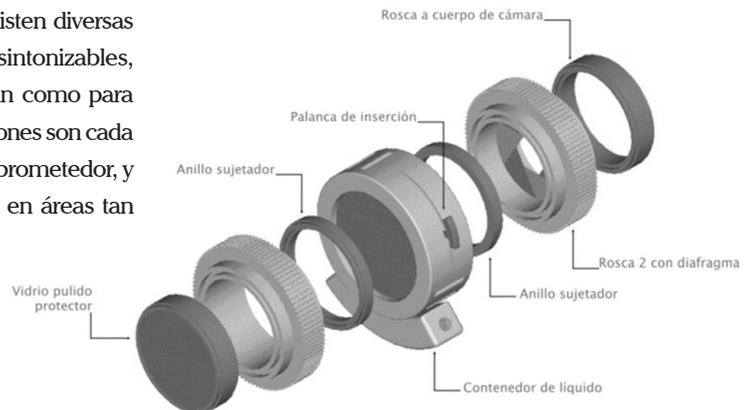


FIG. 24. VISTA ISOMÉTRICA DE LA MONTURA MECÁNICA DE LA LENTE OBJETIVO PROPUESTA.



FIG. 25. PROPUESTA DE ANTEOJOS SINTONIZABLES.

se mostró que es posible diseñar y fabricar lentes sintonizables con diferentes perfiles, además con las herramientas de software de hoy en día es posible simular el comportamiento opto-mecánico de este tipo de lentes, con sólo conocer sus propiedades opto-mecánicas, como lo fueron las lentes sólidas elásticas y las elaboradas con membranas elásticas y medio líquido entre ellas. Los dos tipos de lentes sintonizables presentadas cambian de forma debido a la presión que el medio líquido ejerce sobre las membranas o debido al esfuerzo aplicado en el borde de la lente. Los análisis realizados permiten simular el comportamiento opto-mecánico de este tipo de lentes, y predecir su funcionamiento. El estudio y análisis mecánico fue realizado con *SolidWork*^{MR} considerando un caso de estudio estático. Lo cual permite su aplicación en diversos instrumentos de uso común como en laboratorio. La aplicación de Algoritmos Genéticos desarrollada permitió conocer la forma analítica que adquiere la lente cuando una presión específica es aplicada sobre las superficies de las lentes. La simulación del comportamiento óptico de la lente se realizó con el programa de diseño comercial *OSLO*^{MR}. Los resultados obtenidos en las simulaciones modelan satisfactoriamente el comportamiento real de las lentes. Por lo que se puede emplear esta metodología para predecir el comportamiento de lentes sintonizables compuestas por membranas con perfiles específicos, sin la necesidad de construirlos físicamente. Ya que muchas veces el generar las membranas con un perfil deseado es una labor sumamente complicada, por las precisiones requeridas en el acabado de las superficies. Lo mismo aplica para las lentes sólidas, se pueden elaborar lentes con perfiles específicos y con ello mejorar el rendimiento óptico. **T**

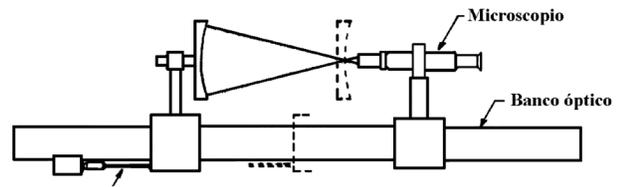


FIG. 26. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL ESFERÓMETRO ÓPTICO TRADICIONAL.

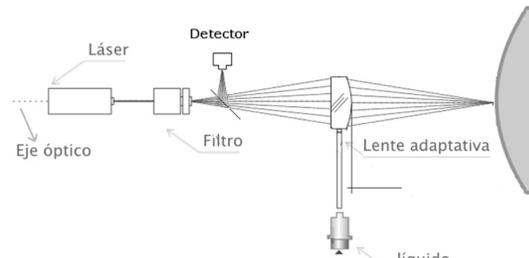


FIG. 27. DIAGRAMA DEL ESFERÓMETRO ÓPTICO SINTONIZABLE ENFOCADO EN EL VÉRTICE DE LA SUPERFICIE.

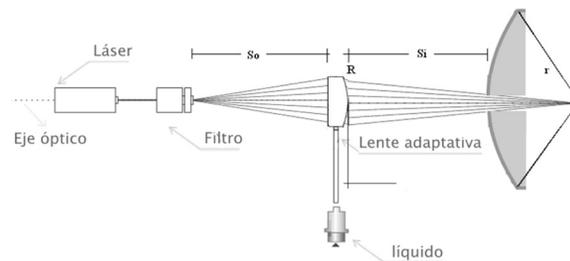


FIG. 28. DIAGRAMA DEL ESFERÓMETRO ÓPTICO SINTONIZABLE ENFOCADO EN EL CENTRO DE CURVATURA.

Referencias

- Chronis N., G. L. Liu, K.-H. Jeong, y L. P. Lee
2003 "Tunable Liquid-Filled Microlens Array Integrated with Microfluidic Network," *Opt. Express* 11, 2370–2378 (2003).
- Guo-Hua Feng and Yu Chin Chou.
2009 "Flexible meniscus/biconvex lens system with fluidic-controlled tunable focus applications", *Appl. Opt.* 48, 18, 3284-3290.
- Knollman, G. C., Bellin, J. L. S., and Weaver, J. L.
1970 "Variable-Focus Liquid-Filled Hydroacoustic Lens," *J. Acoust. Soc. Am.* 49, 253-261.
- Lee S. W. and Lee S. S.
2007 "Focal tunable liquid lens integrated with an electromagnetic actuator," *Appl. Phys. Lett.* 90, 121129.
- Miccio, L., Finizio, A., Grilli, S., Vespini, V., Paturzo, M., De Nicola, S., and Ferraro, Pietro.
2009 "Tunable liquid microlens arrays in electrodeless configuration and their accurate characterization by interference microscopy," *Opt. Express* 17, 2487-2499.

- Oliva A.I., D. C. Valdés, E. Ley-Koo y H. G. Riveros.
2003 "¿Qué forma adquiere una membrana elástica circular al aplicarle una diferencia de presión?," *Rev. Mex. Fis.* 49, 391-396.
- Peter Liebraut, Sebastian Petsch, Wolfgang Mönch, and Hans Zappe.
2011 "Tunable solid-body elastomer lenses with electromagnetic actuation," *Appl. Opt.* 50, 3268-3274.
- Peter M. M., Saman D., Aik H. K., Kok W. T., Mei L. C., and Isabel R.
2006 "Fluidic lenses with variable focal length", *Appl. Phys. Lett.* 88, 041120.
- Qingda Yang, Paul Kobrin, Charles Seabury, William Christian and Sridhar Narayanaswamy
2008 "Mechanical modeling of fluid-driven polymer lenses", *Appl. Opt.* 47, 20, 3658-3668.
- Robert Graham, "A Variable Focus Lens and Its Uses"
1940 *JOSA* 30, 560-563.
- Rudolf Kingslake, "Lens Design Fundamental"
1978 Academic Press, New York, 112-113.
- Santiago Alvarado A., S. Vázquez Montiel, F. S. Granados Agustín, J. Muñoz-López, E. Percino – Zacarias and J. González-García
2009 "Functional characterization of a liquid lens using a Zygo Interferometer", *Proc. SPIE*, Vol. 7499, 749963.
- Santiago Alvarado A., S. Vázquez Montiel, F. S. Granados Agustín and J. González García, "Measurement of aberrations of a solid elastic lenses using a Point Diffraction Interferometer", *Optical Eng.* 49, (12), 123401 (2010).
- Santiago-Alvarado A., F. Iturbide-Jiménez, S. Vázquez-Montiel and Moisés E. Ramírez Guzmán.
2010 "Optical design and analysis of a tunable focus liquid lens with meniscus surfaces", *Proc. SPIE* 7652, 76520W.
- Santiago-Alvarado A., S. Vázquez-Montiel, J. González-García, B. I. G. Licona-Morán, J. A. Reyes-Álvarez, y G. Castro-González.
2008 "Fabricación y Caracterización de Membranas Elásticas de PDMS para lentes líquidas con longitud focal variable (LLLTV)", *Opt. Pura y Apl.*, 41, (4), 381-388.
- Santiago-Alvarado A., y S. Vázquez-Montiel
2009 "Propiedades Físico-Químicas de Membranas PDMS Empleadas en Lentes Líquidas", *Superficies y Vacío* 22(3) 69-75.
- Santiago-Alvarado, A., Vázquez-Montiel, S., González-García, J., García-Luna, V. M., Fernández-Moreno, A., and Vera-Díaz, E.
2006 "Analysis and Design of an Adaptive Lens," *Proc. SPIE* 6288, 62880S 1-10.
- Santiago-Alvarado, A., Vázquez-Montiel, S., Iturbide-Jiménez, F., Arriaga-Martínez, R., and González-García, J.
2008 "The Design, Construction and Characterization of a Solid Elastic Lens," *Proc. SPIE* 7060-41, 1-12.
- Schneider F., CMüller and U Wallrabe.
2008 "A low cost adaptive silicone membrane lens", *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* 10 044002.
- Schneider F., J. Draheim, J. Brunne, P. Waibel and U. Wallrabe.
2009 "Characterisation of adaptive fluidic silicone-membrane lenses", *SMEOS Proceedings*
- Shaw D. and C. W. Lin.
2007 "Design of O-ring Driven Liquid-Filled Lens", *Proceedings of the 35th International MATADOR Conference*, 4, 63-66.
- Shaw D. y T. E. Sun.
2007 "Optical Properties of Variable-Focus Liquid-Filled Optical Lenses with Different Membrane Shapes", *Opt. Eng.* 46, 024002.
- Su Xu, Hongwen Ren, Yeong-Jyh Lin, M. G. Jim Moharam, Shin-Tson Wu, and Nelson Tabiryan.
2009 "Adaptive liquid lens actuated by photopolymer," *Opt. Express* 17, 17590-17595.
- Sugiera N., S. Morita.
1993 "Variable-focus liquid-filled optical lens", *Appl. Opt.* 32, 4181-4186.
- Wei Zhang, Khaled Aljasem, Hans Zappe, and Andreas Seifert
2011 "Completely integrated, thermopneumatically tunable microlens," *Opt. Express* 19, 2347-2362.
- Yoder, Paul R.
2006 "Mounting optics in optical instruments," USA, Spie Press, 2002, y *Proc. SPIE*.