

Continuum Design Technology

Existen varias firmas diseñadoras de lentes oftálmicas en el mundo, ya sea del tipo de las antiguas moldeadas o de las modernas Freeform. En este artículo mostramos como, desde 2008, diseñamos y fabricamos en Argentina lentes oftálmicas progresivas, ocupacionales, bifocales, atóricas y tóricas, para ser talladas con tecnología Freeform. Además, describimos el estado actual de su difusión y uso en el mundo. (*)

Un sistema óptico formador de imágenes cualquiera se diseña, analiza o/y optimiza teniendo en cuenta primero la Óptica Geométrica Paraxial (1); luego las aberraciones del sistema (2,3); y, finalmente, la función de punto extendida (PSF) y/o la función transferencia de modulación (MTF), y/o alguna función de mérito (por ejemplo, RMS) (4).

Las aberraciones deterioran la calidad de la imagen, haciendo que la imagen de un punto objeto no sea el punto evaluado paraxialmente; y varía según cuál sea la ubicación de dicho punto objeto, así como también la ubicación y tamaño del diafragma de apertura. La función aberración del frente de ondas, es el camino óptico desde el frente de ondas esférico ideal, al frente de ondas real.

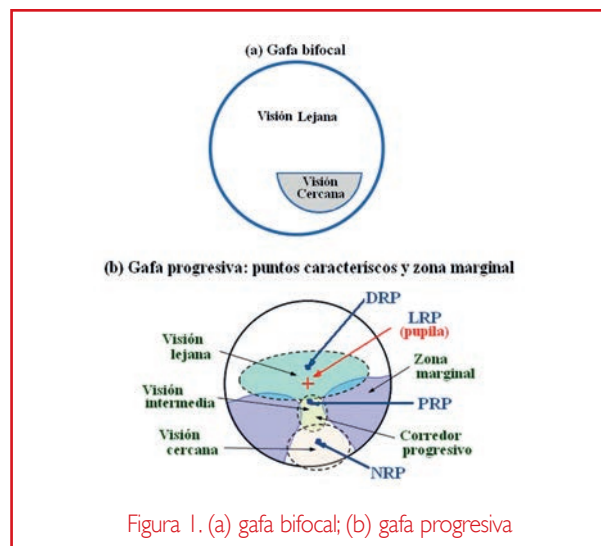
El sistema óptico ocular normal (compuesto por córnea, diafragma de iris, humor acuoso, cristalino, humor vítreo y retina) forma una imagen de cualquier objeto que miramos y -a menos que la pupila sea muy pequeña, por ejemplo, colocando un agujero estenopeico delante del ojo- dicha imagen suele tener aberraciones (5-11).

Si el ojo es emétrope, la imagen se forma en la retina (donde están los fotorreceptores que envían la información al cerebro), el ojo ve cómodo objetos lejanos y se acomoda (fundamentalmente variando la curvatura del cristalino) para ver los objetos cercanos. Si el ojo es amétrope (miope, hipermetrópe o astigmático), la imagen estará fuera de la retina. En un ojo miope, la imagen se forma antes de la retina y esto puede corregirse con gafas negativas (o sea de potencia negativa, por ejemplo -3 dioptrías); en un hipermetrópe, la imagen se forma después de la retina y se puede corregir con gafas positivas (por ejemplo +3 dioptrías); mientras que en un ojo astigmático, en el espacio imagen hay dos líneas focales (tangencial y sagital), que generalmente están fuera de la retina, lo que puede corregirse con gafas cilíndricas.

En los casos de miopía e hipermetropía, ambas caras de las lentes

suelen ser esféricas (aunque una de las caras puede hacerse asférica, para corregir aberraciones); en tanto sus radios de curvatura externo (R1) e interno (R2) se eligen de manera de lograr la prescripción indicada por el oftalmólogo.

Corrección, a diferentes distancias



Después de los cuarenta años de edad, en la mayoría de las personas suele aparecer presbicia, y el ojo no puede acomodarse para ver objetos a distancias cercana e intermedia. Es posible corregir esto con lentes progresivas, tales que el perfil de una de sus caras se diseña teniendo en cuenta que una persona con gafas colocadas mira por la parte superior de la lente los objetos lejanos, y por la parte inferior los cercanos (en la Figura 1 (a) mostramos la zona de corrección de cerca en una lente bifocal).

El perfil de la cara progresiva no es esférico de radio de curvatura fijo, sino que la curvatura varía de un punto a otro para posi-

bilitar la corrección de visión de objetos ubicados a distancias lejanas, intermedias y cercanas. Este perfil es complicado e, inevitablemente, introduce, en cierta zona de la lente (una zona marginal), la aberración denominada astigmatismo de superficie, que hace que el presbita no pueda ver nítidamente y sin deformaciones a través de la superficie completa de la lente. En la Figura 1 (b) mostramos la zona marginal y los puntos característicos DRP (Distant Reference Point), LRP (Layout Reference Point), PRP (Prism Reference point) y NRP (Near Reference Point).

Resumiendo las consideraciones previas, en la Figura 2 (a) muestra-

mos un ojo hipermetrope esquemático, corregido con una gafa positiva, de modo que la imagen de un objeto lejano se forme en el punto retiniano O' ; en la (b) el perfil y espesor de una lente positiva de caras esféricas de 3 dioptrías; y en la (c) el perfil y espesor de una lente progresiva con adición 3.5 dioptrías para visión cercana e índice de refracción $LIND=1.499$. Los laboratorios fabricantes de gafas adquieren lentes semi-terminadas, de diferentes materiales y con ciertos perfiles en su cara externa, y tallan la cara interna de la lente, ya sea con tornos clásicos (tallado de superficies esféricas o tóricas) o con tornos de tecnología Freeform disponibles desde la primera década del Siglo XXI (tallado punto a punto, según lo especificado por un software de diseño).

Existen varios diseñadores de lentes progresivas en el mundo, moldeadas en cara externa o talladas Freeform en cara interna, entre los cuales se encuentran las grandes compañías internacionales. Nosotros, en Argentina, diseñamos lentes progresivas, bifocales, atóricas, tóricas y ocupacionales para ser talladas con tecnología Freeform y las comercializamos con la marca Novar de Opulens.

Investigación, desarrollo, difusión y comercialización

Siguiendo los lineamientos del Data Communication Standard-Vision Council (12), y usando la tecnología Freeform para el torneado de la cara interna de la lente oftálmica, a partir de 2008 diseñamos lentes tóricas, atóricas, bifocales, progresivas y ocupacionales desarrollando fórmulas matemáticas confidenciales e implementando softwares de diseño (GPAL y Novar Designer).

Nuestras fórmulas permiten expresar el perfil de cara interna de manera continua (Continuum Design Technology), sin usar interpolaciones del tipo B-Splines. Analizamos las lentes torneadas mediante mediciones en frontofocómetro y Rotlex. A modo de ejemplo, en la Figura 3 mostramos los mapas de distribución de astigmatismo de superficie para un modelo ocupacional (a) y uno progresivo (b): el color azul corresponde a astigmatismo inferior a la tolerancia que es de 0.5 dioptrías, y el color rojo indica que la zona es de gran astigmatismo (unas 4 dioptrías).

Nuestros softwares tienen en cuenta variados aspectos:

- Prescripción en ambos ojos
- Material conveniente de la lente
- Diámetro conveniente de lente
- Óptimo anillo de bloqueo (opcional)
- Curva base de cara externa recomendada

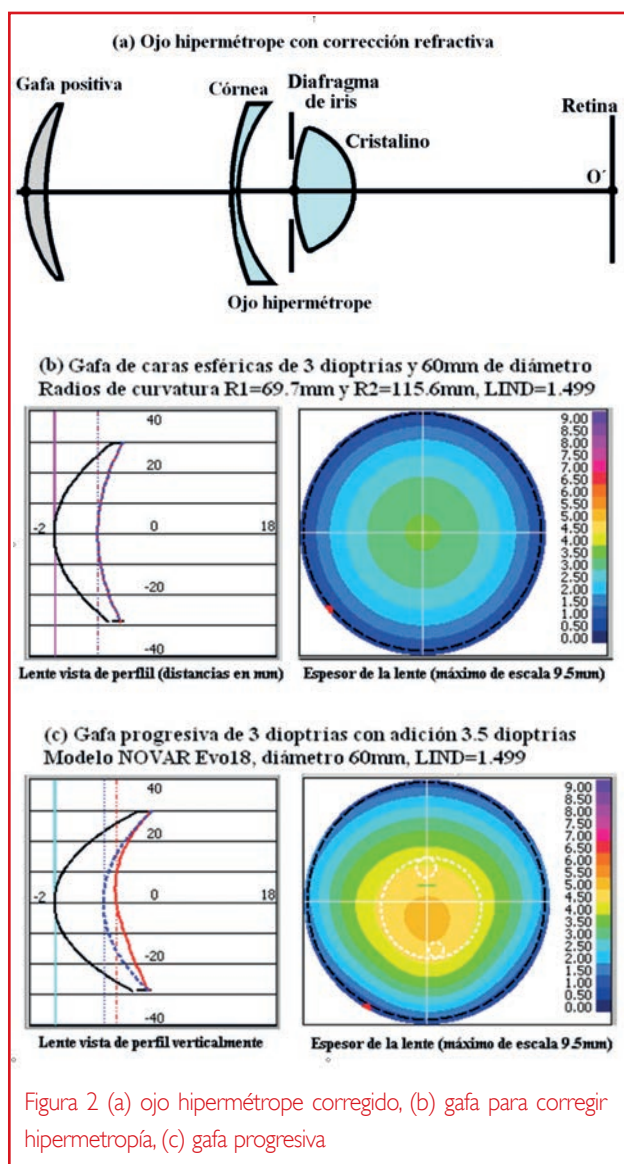


Figura 2 (a) ojo hipermetrope corregido, (b) gafa para corregir hipermetropía, (c) gafa progresiva

Un desarrollo argentino de lentes oftálmicas, con repercusión mundial

- Descentrado (dependiente del armazón o no)
- Reducción de espesor en el borde mediante el agregado de prisma (opcional)
- Optimización del espesor global y del peso de la lente (opcional)
- Tamaño de la lente que justo cabe en el armazón (opcional)
- Suavizado de bordes para reducir espesor (opcional)
- Perforaciones (para gafas sin armazón)
- Personalización (ángulos pantoscópico y panorámico, y distancia de vértice de la gafa en uso)
- Impresión de marcas láser

- Pulido

Diseño de diversos tipos de lentes

Para diseñar una lente atórica, realizamos un trazado exacto de rayos mediante la ley de Snell vectorial, y elegimos la asfericidad que compensa aberraciones para la dirección principal de visión. Para la lente bifocal, diseñamos modelos Kriptok y Ultex, tales que la transición entre el segmento de visión de cerca y la zona de visión de lejos sea suave.

Para diseñar una lente progresiva tenemos en cuenta el astigmatismo de superficie, $A=(1 - LIND)(k1 - k2)$, en un punto de la cara interna (siendo LIND el índice de refracción de la lente para la línea "d" del Helio y $k1$ y $k2$ las curvaturas máxima y mínima respectivamente en dicho punto). Este astigmatismo es tal, que es matemáticamente imposible anularlo en todo punto y aumenta si la adición es mayor y/o si la longitud de corredor es menor. Los problemas a resolver para diseñar la cara interna son:

- I) La distribución de potencia en el perfil progresivo debe estar de acuerdo con la prescripción.
- II) El astigmatismo de superficie debe estar en zonas estratégicas, teniendo en cuenta preferencias del paciente.
- III) El perfil de cara interna debe ser tal que cumpla los requisitos previos.

Finalmente, para una lente ocupacional diseñamos modelos con diferentes degresiones.

Novar Designer

Actualmente, Novar Designer está instalado en los showrooms de las cuatro fábricas principales del mundo en tornos Freeform, Satisloh (Alemania/Brasil); Schneider (Alemania); Coburn (USA) y OptoTech (Alemania). Comercializamos nuestros diseños en Argentina y en el mundo: laboratorios de Brasil, Ecuador;

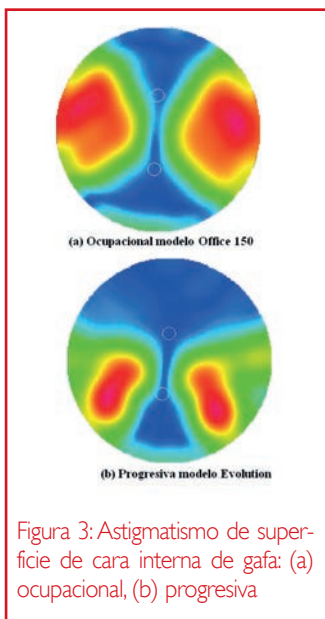


Figura 3: Astigmatismo de superficie de cara interna de gafa: (a) ocupacional, (b) progresiva

Colombia, Bolivia, Korea, UK, Middle East y países asiáticos usan nuestra tecnología; en tanto unos cuatrosientos mil pacientes en el mundo están usando nuestros diseños.

En lo que respecta a la difusión a nivel internacional, Opulens presentó sus diseños en las principales exposiciones y ferias del sector óptico: MIDO (Milán, Italia) en 2016 y 2017, y en Vision Expo East (Nueva York, Estados Unidos) en 2017.

Adicionalmente, este año se lanzó el programa "PYMES al mundo", por el cual la Fragata Libertad en su itinerario del viaje de instrucción lleva a bordo y exhibe en los puertos de arribo, material de difusión y promoción del trabajo de

diez PYMES de la Provincia de Buenos Aires elegidas entre miles, y –precisamente- Opulens es una de las que resultaron seleccionadas.

Conclusiones

Desarrollamos, probamos, fabricamos y comercializamos las primeras lentes oftálmicas Freeform diseñadas en Latinoamérica. Esto es posible gracias al trabajo e interacción entre tres científicos de la Universidad de Buenos Aires y el Laboratorio Óptico Opulens de Argentina. **f**

Bibliografía

1. M.S. Millán, J. Escofet, E. Perez, Óptica Geométrica (Ariel, Barcelona, 2004)
2. M. Born and B. Wolf, Principles of Optics (Pergamon Press, Oxford, 1987)
3. W. J. Smith, Modern Optical engineering (Mc Graw-Hill, New York, 1966)
4. J. W. Goodman Introduction to Fourier Optics (Mc Graw-Hill, New York, 1996)
5. P. Kaufman y A. Alm, Adler fisiología del ojo (Elsevier, Madrid, 2004)
6. J. Liang and D. R. Williams, "Aberrations and retinal image quality of the normal human eye", J. Opt. Soc. Am. A 14, 2873-2883 (1997)
7. L. Thibos, R. Applegate, J. Schwiegerling, R. Webb and VSIA Standards Taskforce Members, "Standards for reporting the optical aberrations of eyes", Vision Science and its Applications, Topical Volume 35 (2000)
8. J. Tabernero, A. Benito, E. Alcón, P. Artal, "Mechanism of compensation of aberrations in the human eye", J. Opt. Soc. Am. A 24, 3274-3283 (2007)
9. S. A. Comastri, R. Echarrí and T. Pfortner, "Correlation between visual acuity and pupil size", 5th Iberoamerican Meeting on Optics and the 8th Latin American Meeting of Optics, Lasers and their Applications, Isla Margarita-Venezuela 3-8 October 2004, Proceedings of SPIE (International Society for Optical Engineering, Washington) 5622, 1341-1346, 2004
10. S. A. Comastri, G. Martin and T. Pfortner, "Analysis of pupil and corneal wave aberration data supplied by the SN CT 1000 topography system", Optik 117 issue 11, 537-545 (2006)
11. S. A. Comastri, K. Bastida, A. Bianchetti, L. Pérez, G. D. Pérez, G. Martin, "Zernike aberrations when pupil varies: selection rules, missing modes and graphical method to identify modes", J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 11 085302 <http://stacks.iop.org/1464-4258/11/085302> (2009)
12. S. A. Comastri, L. Pérez, G. D. Pérez, G. Martin, A. Bianchetti, "Corneal aberrations in keratoconic eyes: influence of pupil size and centering", RIAO 2010, Institute of Physics Publishing, London) Journal of Physics: Conference Series 274, 012109 (2011)
13. Data Communication Standard Committee, Lens Processing Division of The Vision Council, Data Communication Standard, Version 3.10 (The Vision Council, 2014)

Grupo de Investigación y Desarrollo de las lentes oftálmicas

Nuestro Grupo de Investigación y Desarrollo comenzó a trabajar en 2008 y está compuesto por tres investigadores de la Universidad de Buenos Aires: S. A. Comastri, G. Martin y G. Perez; y por M. Stabile y sus colaboradores del Laboratorio Opulens.

Los primeros desarrollan fórmulas matemáticas y softwares para los perfiles de las caras internas de las gafas, en tanto los segundos realizan pruebas torneando lentes y, si el desarrollo es adecuado, comercializan las lentes en Argentina y los softwares en el mundo.

- **Silvia Ana Comastri** es Licenciada (1977) y Doctora (1984) en Ciencias Físicas (FCEN-UBA) e Investigadora de CONICET-Argentina (1987-2013). Docente en FCEN-UBA (1975-1998), en Universidad de Belgrano-Argentina (1998-2012) y Profesora Visitante en Department of Mathematics and Natural Sciences-University of Applied Sciences-Darmstadt-Alemania (2002).

Su especialidad fue el diseño de sistemas ópticos manufacturados (microscopios, interferómetros, etc.), y desde 2005 investiga fundamentalmente cuestiones de la Óptica Oftálmica. Trabajó en FCEN-UBA (1977-2006) y en FIUBA, primero siendo la Directora del Grupo de Óptica y Visión (2007-2013) y luego (2013-actualidad) siendo Investigadora Externa del Grupo GLOMAE.

Ha publicado unos setenta artículos en Revistas Científicas internacionales; presentado más de veinte trabajos en Congresos Internacionales y sesenta en Nacionales. Ha escrito un Capítulo del Libro "La córnea en apuros" y dos Fascículos de Teóricas de la Universidad de Belgrano. Fue Referee de unos veinte artículos presentados a revistas científicas internacionales, jurado de catorce Tésis y evaluador externo de CONICET de ocho proyectos y/o investigadores.

Fue asesora (con autorización de CONICET) en Laboratorio Pfortner-Cornealent (2003, 2005, 2006) y en Opulens S.A. (2010, 2011, 2012). Desde 2008 hasta la actualidad, colabora en el diseño de las lentes oftálmicas Novar y difunde este trabajo impartiendo diversas Conferencias (Taller Nacional Conjunto Red de Laboratorios de Óptica y Fotofísica de Argentina, Congreso Internacional de Óptica, Contactología y Optometría, Simposio Provincial de Ópticos, Sociedad Argentina de Oftalmólogos, etc.)

- **Gabriel Martin** es Licenciado (1994) en Ciencias Físicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales-Universidad de Buenos Aires (FCEN-UBA). Docente en FCEN-UBA (1996-1997), FIUBA (1999-2004), Universidad Católica Argentina (2002 -2007), Universidad Austral (2004-2007) y Universidad del Salvador (1999-actualidad).

Su especialidad es el desarrollo de equipos de diagnóstico oftálmico. Trabajó en Laboratorio Pfortner-Argentina y Shin Nippon-Japón, y trabaja actualmente como consultor para Reichert Inc.-USA. Fue investigador del Grupo de Óptica y Visión (2007-2013). Realizó estadias en el Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas de la Universidad Politécnica de Cataluña-España (2006) y en Doheny Eye Institute de la Universidad del Sur de California-USA (2007).

Ha publicado unos quince artículos en Revistas Científicas internacionales, presentado más de treinta trabajos en Congresos Internacionales y Nacionales e impartido alrededor de cincuenta Conferencias. Ha escrito cuatro Capítulos de libros ("Wavefront, Topografía e Tomografía da Córnea e Segmento Anterior" en 2006; La córnea en apuros en 2006 y Técnica de Modelado Corneal en 2009). Desde 2008 hasta la actualidad, colabora en el diseño de las lentes oftálmicas Novar.

- **Gervasio Perez** es Licenciado (2009) en Computación Científica (FCEN-UBA) y Docente en FCEN-UBA (2009 - actualidad). Su especialidad es el desarrollo de software. Trabajó en varias empresas y fue investigador del Grupo de Óptica y Visión (2007-2013). Ha publicado cuatro artículos en Revistas Científicas internacionales y ha presentado siete trabajos en Congresos Internacionales y Nacionales. Actualmente realiza su Doctorado en FCEN-UBA. Desde 2008 hasta la actualidad implementa todos los softwares para diseñar y tallar las lentes Novar.

- **Mauro Stabile** es Contador y Director de Opulens (Laboratorio argentino fabricante de lentes oftálmicas). Desde 1994, Opulens fabricó lentes moldeadas hasta que, en 2007, adquirió un torno de la Compañía Satisloh con tecnología Freeform. Con este torno y utilizando softwares de diseño extranjero para el perfil de cara interna, Opulens fue la primer empresa argentina en manufacturar y vender lentes Freeform.

En 2008 Mauro Stabile contactó a Investigadores del Grupo de Óptica y Visión-FIUBA para que desarrollen diseños propios de lentes progresivas. En 2012 Opulens adquirió un Rotlex (para analizar la potencia y astigmatismo de superficie de las lentes talladas). Después de numerosas pruebas con lentes progresivas torneadas en base a diseños propios y de algunas pruebas clínicas, en 2014, Opulens comenzó a incorporar a su producción, no solo dichos diseños sino también otros realizados para lentes bifocales, atóricas, etc.

En 2016 Opulens adquirió un equipo de última generación (Syrus 1350-Bohler Leybold Optics) para coating anti-reflex/anti-humedad, lo cual permitió fabricar lentes más cómodas y prácticas.

Actualmente, Opulens comercializa su software de diseño de lentes en Argentina y en el mundo bajo la marca Novar-Designer.