



## TÍTULO DE PATENTE NO. 311247

**Titular(es):** UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO  
**Domicilio:** Lascuráin de Retana No. 5, 36000, Guanajuato, Guanajuato, MÉXICO  
**Denominación:** SISTEMA ÓPTICO CON PROFUNDIDAD DE CAMPO VARIABLE.  
**Clasificación:** Int.Cl.8: G02B27/64  
**Inventor(es):** JORGE OJEDA CASTAÑEDA; EDUARDO AGUILERA GÓMEZ; HECTOR PLASCENCIA MORA; MIGUEL TORRES CISNEROS; ELÍAS RIGOBERTO LEDESMA OROZCO; ALEJANDRO LEÓN MARTÍNEZ; JOSÉ SERGIO PACHECO SANTAMARÍA; JUAN GERARDO MARTÍNEZ CASTRO; ROBERTO CARLOS SALAS SEGOVIANO

<b>SOLICITUD</b>		
<b>Número:</b>	<b>Fecha de presentación:</b>	<b>Hora:</b>
MX/a/2010/005792	27 de mayo de 2010	09:51
<b>PRIORIDAD</b>		
<b>País:</b>	<b>Fecha:</b>	<b>Número:</b>

**Vigencia:** Veinte años

**Fecha de Vencimiento:** 27 de mayo de 2030

La patente de referencia se otorga con fundamento en los artículos 1º, 2º fracción V, 6º fracción III, y 59 de la Ley de la Propiedad Industrial.

De conformidad con el artículo 23 de la Ley de la Propiedad Industrial, la presente patente tiene una vigencia de veinte años improrrogables, contada a partir de la fecha de presentación de la solicitud y estará sujeta al pago de la tarifa para mantener vigentes los derechos.

Quien suscribe el presente título lo hace con fundamento en lo dispuesto por los artículos 6º fracciones III y 7º bis 2 de la Ley de la Propiedad Industrial (Diario Oficial de la Federación (D.O.F.) 27/06/1991, reformada el 02/08/1994, 25/10/1996, 26/12/1997, 17/05/1999, 26/01/2004, 16/06/2005, 25/01/2006, 06/05/2009, 06/01/2010, 18/06/2010, 28/06/2010, 27/01/2010 y 09/04/2012); artículos 1º, 3º fracción V inciso a), sub inciso iii) 4º y 12º fracciones I y III del Reglamento del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (D.O.F. 14/12/1999, reformado el 01/07/2002, 15/07/2004, 28/07/2004 y 7/09/2007); artículos 1º, 3º, 4º, 5º fracción V inciso a), sub inciso iii), 16 fracciones I y III y 30 del Estatuto Orgánico del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (D.O.F. 27/12/1999, reformado el 10/10/2002, 29/07/2004, 04/08/2004 y 13/09/2007); 1º, 3º y 5º inciso a) y antepenúltimo párrafo del Acuerdo que delega facultades en los Directores Generales Adjuntos, Coordinador, Directores Divisionales, Titulares de las Oficinas Regionales, Subdirectores Divisionales, Coordinadores Departamentales y otros subalternos del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. (D.O.F. 15/12/1999, reformado el 04/02/2000, 29/07/2004, 04/08/2004 y 13/09/2007).

Fecha de expedición: 28 de junio de 2013

**SUBDIRECTOR DIVISIONAL DE EXAMEN DE FONDO DE PATENTES, ÁREAS  
MECÁNICA, ELÉCTRICA Y DE REGISTROS DE DISEÑOS INDUSTRIALES Y  
MODELOS DE UTILIDAD**

**PEDRO DAVID FRAGOSO LOPEZ**



**SISTEMA ÓPTICO CON PROFUNDIDAD DE CAMPO VARIABLE****DESCRIPCIÓN****OBJETO DE LA INVENCION**

Un proceso y un dispositivo para controlar la profundidad de campo de un sistema óptico, mediante el desplazamiento entre dos lentes que constituyen el par, el cual es capaz de generar una diferencia de camino óptico con distribución antisimétrica.

Un sistema óptico compuesto por una o varias lentes ya conocidas en la técnica, que puede incluir un sistema de procesamiento de imágenes también conocido en la técnica, e incluye uno o varios pares de lentes que generan una diferencia de camino óptico con distribución antisimétrica, que se produce con un desplazamiento relativo entre las lentes que forman el par. La transmitancia en amplitud compleja de una lente del par es la compleja conjugada de la transmitancia en amplitud compleja de la otra lente.

**ANTECEDENTES**

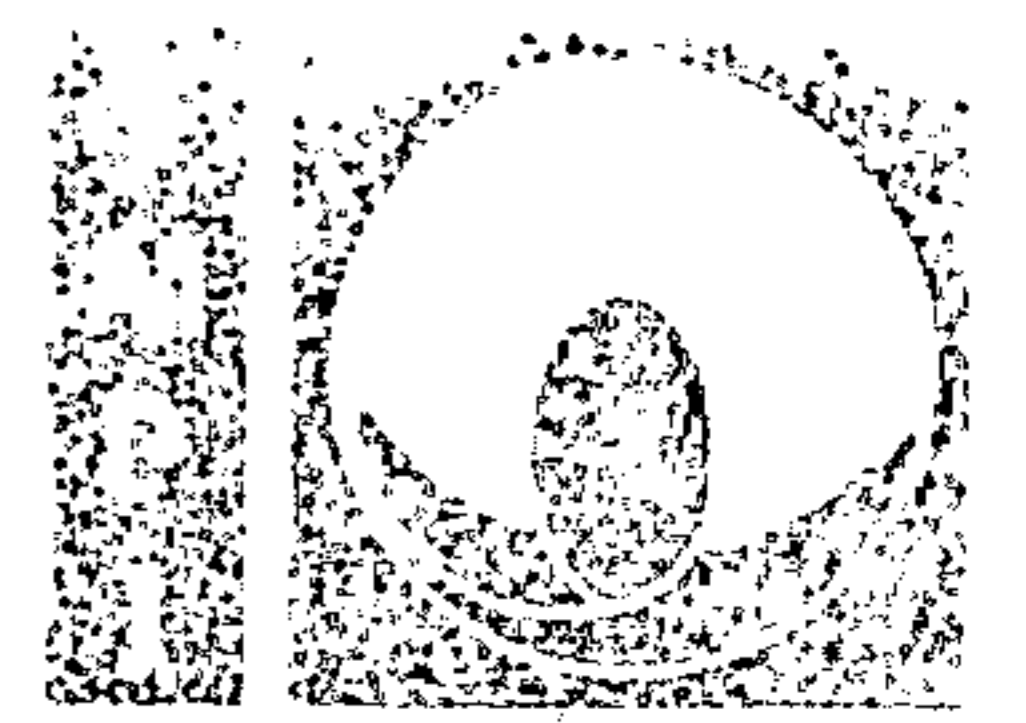
Conviene describir a un sistema óptico que capta la imagen, de un objeto tridimensional, como un proceso de transferencia entre planos. Al usar un sistema óptico, solo un plano del objeto está bien focalizado en el plano en que se detecta a la imagen. Los otros planos del objeto no están bien focalizados en el plano en que se detecta la imagen. Es común indicar que para los otros planos del objeto, el sistema óptico sufre de errores de focalización.



La tolerancia con la que el sistema óptico es capaz de captar a los otros planos del objeto, se le conoce como profundidad de campo, la cual se controla abriendo o cerrando la abertura de la pupila del sistema óptico. Al cerrar la pupila se consigue mayor profundidad de campo.

Sin embargo, al cerrar la pupila también se reduce la resolución del sistema óptico y la captación luminosa de dicho sistema óptico, como se describe en Leo Levi, Applied Optics: A Guide to Optical System Design/ Volume I. (Wiley, 1968) ISBN-10: 0471531103. Si se desea preservar la resolución y la captación luminosa del sistema óptico es necesario encontrar un nuevo método para controlar la profundidad de campo.

En las últimas dos décadas se diseñaron varios dispositivos para mantener alta resolución y extender la profundidad de campo, atenuando en forma moderada y selectiva algunas zonas de la pupila. Ver por ejemplo las publicaciones "Improvement in the OTF of a Defocused Optical System Through the Use of Shade Apertures," Appl. Opt. 10, 2219 (1971); J. Ojeda-Castaneda, L. R. Berriel-Valdos, and E. Montes, "Line spread Function relatively Insensitive to Defocus," Opt. Lett. 8,458 (1983); G. Indebetow and H. Bai, "Imaging with Fresnel Zone Pupils Masks: Extended Depth of Field," Appl. Opt. 23, 4299 (1984); J. Ojeda-Castaneda, L. R. Berriel-Valdos, and E. Montes, "Spatial Filter for Increasing the Depth of Focus," Opt. Lett. 10, 520 (1985); J. Ojeda-Castaneda, P. Andres, and A. Diaz, "Annular Apodizer for Low Sensitivity to Defocus and to Spherical Aberration," Opt. Lett. 11, 487 (1986). Estos diseños llevan a concluir que para mantener una resolución pre-especificada, es posible formar las imágenes de varios planos del objeto, pero las variaciones cosenoidales (en otros planos del objeto) se forman con amplitud atenuada. Consecuentemente, deben existir varias familias de lentes que (para una resolución pre-especificada) extienden la profundidad de

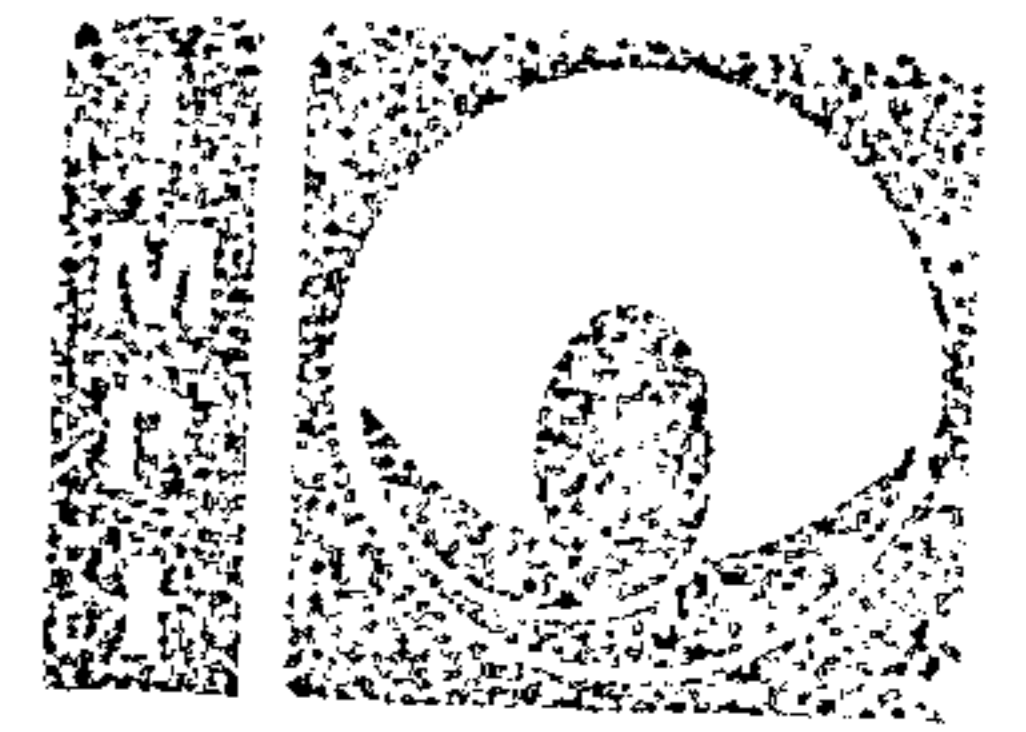


campo con imágenes que presentan variaciones cosenoidales con baja amplitud. Ya que estas imágenes solo requieren una amplificación en su amplitud, esto se logra empleando algoritmos de restauración conocidos en la técnica.

A partir de éstas últimas conclusiones, para extender profundidad de campo, los nuevos diseños tienen como propósito reducir la influencia de los errores de focalización, y así evitar que sea cero la amplitud de las variaciones cosenoidales. Ya captadas las imágenes, la amplitud se restaura con algoritmos conocidos en la técnica, como se discute en las patentes US6,927 922 y US7,218 448.

Para encontrar un nuevo método de control de la profundidad de campo, conviene modelar matemáticamente al sistema óptico formador de imágenes como un sistema lineal, ver por ejemplo el libro "Introduction to Fourier Optics" de Joseph W. Goodman (McGraw-Hill, 1996), ISBN-10: 0070242542.

Un sistema lineal se representa por una función de transferencia óptica. El modulo de la función de transferencia óptica es la función de transferencia de la modulación. Esta última función especifica con que nueva amplitud se detecta (en el plano de la imagen) la amplitud inicial de una variación cosenoidal que está localizada en un plano del objeto. La función de transferencia de la modulación especifica la transferencia de las amplitudes para cada frecuencia de la variación cosenoidal, por lo que es útil para representar a la calidad de un sistema óptico, y de ahí la conveniencia de evaluar a dicha función. Para ello se realiza la operación matemática de autocorrelación de la función generalizada de la pupila, la cual describe la transmitancia en amplitud compleja del sistema óptico. La función generalizada de la pupila es una función compleja, que resulta de multiplicar a la función real que



representa la abertura física de la pupila, por la transmitancia en amplitud compleja del filtro óptico, el cual se localiza sobre la abertura de la pupila. En un sistema convencional la transmitancia en amplitud compleja del filtro óptico es igual a uno. Sin embargo, para poder mejorar a la función de transferencia de la modulación, y consecuentemente mejorar la calidad de la imagen, es necesario modificar a la transmitancia en amplitud compleja del filtro óptico, como se indica en las referencias J. Ojeda-Castaneda and L. R. Berriel-Valdos, "Arbitrarily high focal depth with finite apertures," *Opt. Lett.* 13, 183–185 (1988); "Zone plate for arbitrarily high focal depth", J. Ojeda-Castañeda and L. R. Berriel-Valdos, *Applied Optics*, Vol. 29, No. 7, pp. 994-997 (1990).

- 10 Para tomar en cuenta la influencia de los errores de focalización es necesario incorporar un factor de fase cuadrática en las coordenadas de la pupila. En este último caso, es conveniente usar el formalismo matemático de la función de ambigüedad, asociada a la transmitancia de amplitud compleja del filtro óptico. El formalismo matemático de la función de ambigüedad permite identificar la transmitancia en amplitud compleja del filtro óptico que es menos sensible a los errores de focalización, como se discute en J. Ojeda- Castaneda, L. R. Berriel-Valdos, and E. Montes, "Ambiguity function as a design tool for high focal depth," *Appl. Opt.* 27, 790–795 (1988).

Para reducir el impacto de los errores de focalización, sin afectar a la resolución y a la captación luminosa del sistema óptico, se busca una transmitancia en amplitud compleja que sea una función solo de la fase. Una transmitancia en amplitud compleja que reduce el impacto del error de focalización, es capaz de extender la profundidad de campo a un valor específico, el cual está determinado por la máxima diferencia de camino óptico introducido



por el filtro óptico, como se indica en la patente US5,748 371 y en las publicaciones E. R. Dowski and T. W. Cathey, "Extended depth of field through wave-front coding," *Appl. Opt. Industrial*

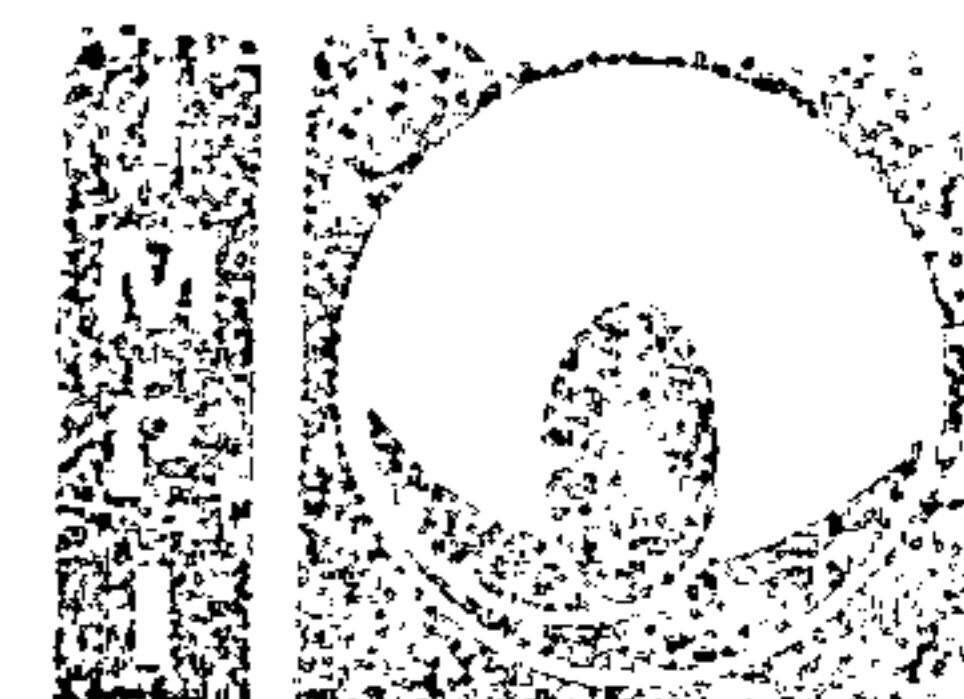
34, 1859–1865 (1995); A. Saucedo and J. Ojeda-Castaneda, "High focal depth with fractional-power wave fronts," *Opt. Lett.* 29, 560–562 (2004); A. Castro and J. Ojeda-Castaneda, "Asymmetric phase masks for extended depth of field," *Appl. Opt.* 43, 3474–3479 (2004); A. Castro, J. Ojeda-Castaneda, and A. W. Lohmann, "Bow-tie effect: differential operator," *Appl. Opt.* 45, 7878–7884 (2006).

La patente US5,748 371 describe un método para extender la profundidad de campo, a un valor específico empleando solo una lente. En la presente invención se protege un método para extender la profundidad de campo de manera controlada, desde un valor mínimo hasta un valor máximo empleando un par de lentes. Esto es posible variando en forma controlada la diferencia de camino óptico que la lente propuesta es capaz de generar.

Una posible manera de variar en forma controlada la diferencia de camino óptico es aplicando la metodología descrita en la patente US3,305 294, en donde se describe un método para variar la potencia óptica, mediante el desplazamiento lateral entre dos lentes, las cuales tienen un perfil que varía como un polinomio cúbico.

A diferencia de la patente US3,305 294, en la presente invención se protege un método para variar la profundidad de campo, mientras que en la patente US3,305 294, se describe un método para variar la potencia óptica.

En otras palabras, en la presente invención se describe un método para variar, de manera controlada, la extensión de la profundidad de campo, mientras que en la patente US5,748 371 la extensión de la profundidad de campo es constante. En la presente invención se



describe un método para extender la profundidad de campo, mientras que en la patente US3,305 294 se describe un método para variar la potencia óptica.

### BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

En la figura 1a se presenta una vista lateral de las lentes 1 y 2, las cuales constituyen el par que integra la lente propuesta en la presente invención. Entre 1 y 2 no existe desplazamiento relativo. En la figura 1b se indica que entre 1 y 2 existe desplazamiento relativo.

En la figura 2 se expone en un diagrama esquemático lateral cuando la lente propuesta (1 y 2) se localiza en la pupila (4) de un sistema óptico telecéntrico (3 y 5) como es común en el procesamiento óptico de imágenes.

En la figura 3 se exhibe en un diagrama esquemático lateral el uso de la lente propuesta (1 y 2), localizada en la pupila (4), de un triplete de Cooke (6, 7 y 8) como se usa comúnmente en un objetivo fotográfico.

En la figura 4 se expone en un diagrama de bloques, el uso de la lente propuesta (10), en un sistema óptico de captación (9), un sistema de detección (11), y un sistema de procesamiento de señales y/o imágenes (12).

En la figura 5 se muestra una gráfica en donde el eje horizontal denota la variación de la coordenada de la pupila  $\alpha$ , y el eje vertical denota la variación de la diferencia de camino óptico  $\varphi(\alpha)$ .

En la figura 6 se exhiben nueve simulaciones numéricas de las imágenes que capta un sistema óptico. Al usar un sistema óptico conocido en la técnica (13), las imágenes que se obtienen usando un sistema con la lente de la presente invención, sin usar procesamiento



digital (14), y las imágenes que se obtienen usando un sistema con la lente de la presente invención después de restaurar la amplitud detectada (15).

En (16) se muestra una imagen con errores de focalización que se obtiene mediante un sistema óptico conocido en la técnica. En (17) se muestra una imagen con errores de focalización que se obtiene mediante un sistema óptico con la lente de la presente invención antes de la restauración. En (18) se muestra una imagen con errores de focalización que se obtiene mediante un sistema óptico con la lente de la presente invención después de la restauración. En (19) se muestra una imagen con grandes errores de focalización que se obtiene mediante un sistema óptico conocido en la técnica. En (20) se muestra una imagen con grandes errores de focalización que se obtiene mediante un sistema óptico con la lente de la presente invención antes de la restauración. En (21) se muestra una imagen con grandes errores de focalización que se obtiene mediante un sistema óptico con la lente de la presente invención después de la restauración. Se puede observar de (15), (18) y (21) que las imágenes que se obtienen empleando la lente de la presente invención tiene la calidad independientemente del error de focalización. Por lo que la presente invención es capaz de extender la profundidad de campo.

En la figura 7a se exhibe la función de transferencia de la modulación que se logra con una lente convencional conocida en la técnica, o con la lente de la presente invención si no existe desplazamiento relativo entre las lentes del par.

En la figura 7b se exhibe la función de transferencia de la modulación que se logra con la lente de la presente invención, habiendo desplazamiento relativo entre las lentes del par.



