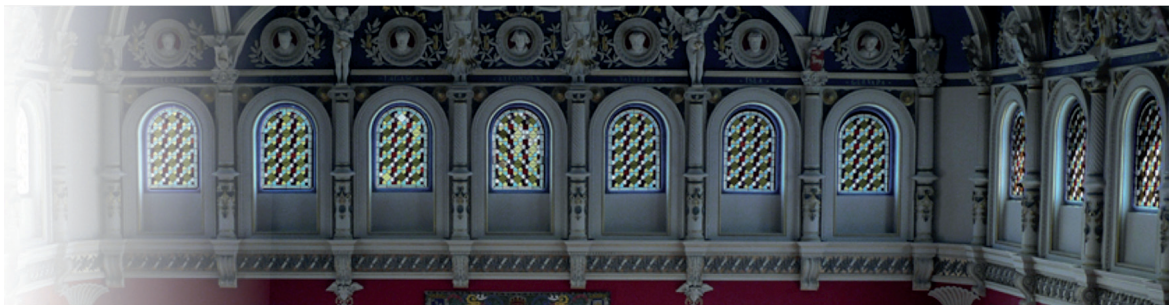




X Reunión Nacional de Óptica  
Zaragoza, 4 - 7 de septiembre 2012



PROGRAMA OFICIAL

04

06

05

07

## CONTENIDOS .....

Comités.....	03
Martes 04.....	04
Miércoles 05.....	06
Jueves 06.....	08
Viernes 07.....	12
Sesión de posters I.....	13
Sesión de posters II.....	16
Patrocinadores y Colaboradores.....	19

## Comité de Honor .....

- 1 SS.AA.RR Los Príncipes de Asturias y de Girona  
**D. Felipe de Borbón y Grecia y Dña. Leticia Ortiz Rocasolano**
- 2 Excm. Presidenta de la Diputación General de Aragón  
**Sra. Dña. Luisa Fernanda Rudi Úbeda**
- 3 Ilmo. Presidente de la Diputación Provincial de Zaragoza  
**Sr. D. Luis María Beamonte Mesa**
- 4 Ilmo. Alcalde de Zaragoza  
**Sr. D. Juan Alberto Belloch Julbe**
- 5 Excmo. Rector Magfco. de la Universidad de Zaragoza  
**Sr. D. Manuel José López Pérez**
- 6 Ilma. Decana de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza  
**Sra. Dña. Ana Isabel Elduque Palomo**
- 7 Presidente de Sociedad Española de Óptica  
**Joaquín Campos Acosta**

## Comité Organizador .....

*Presidente:* **Angel Ignacio Negueruela Suberviola**  
*Secretaria:* **Ana Isabel Sánchez Cano**

*Vocales:* José Miguel Álvarez Abenia · Julio César Amaré Tafalla · María Nieves Andrés Gimeno  
 Justiniano Aporta Alfonso · Jorge Ares García · Justo Arines Piferrer  
 María del Pilar Arroyo de Grandes · Jesús Atencia Carrizo · María Victoria Collados Collados  
 Juan Carlos Martín Alonso · Juan Pablo Martínez Jiménez · Rafael Navarro Belsué  
 Virginia Raquel Palero Díaz · Manuel Quintanilla Montón · Miguel Ángel Rebolledo Sanz  
 Jesús Mario Subías Domingo · Juan Antonio Vallés Brau

## Comité Científico .....

*Presidenta:* **María Josefa Yzuel Giménez**  
*Secretario:* **Rafael Navarro Belsué**

Manuel Filipe Costa · Juan Manuel Bueno García · Manuel Melgosa Latorre  
 Fernando Moreno Gracia · Santiago Sánchez Cortés · Pablo Aitor Postigo  
 Ramón Corbalán Yuste · Miguel V. Andrés Bou · Pedro Andrés Bou

09:00 CONFERENCIA INVITADA  
Ensemble based Quantum Memories for Light  
Prof. Hugues de Riedmatten. **Moderador: Ramón Corbalán**

\* 10:00 **COLOCACIÓN Y EXPOSICIÓN DE SESIÓN DE POSTERS 2 \* Sala JOSEFA AMAR y BORBÓN**  
**Coordinadores: Nieves Andrés y Jesús Atencia**

#### SESIONES PARALELAS

**SESIÓN ENSEÑANZA · Moderador: Fernando Moreno**

10:45 El Museo de Óptica de la Universidad Complutense como herramienta para la docencia y la investigación **Agustín González-Cano** ( Daniel Vázquez · Natalia Díaz-Herrera )  
11:00 Práctica de laboratorio sobre láseres de neodimio pulsados mediante Q-switching  
**Warein Holgado Lage** ( Íñigo J Sola · Enrique · Conejero Jarque · Sebastián Jarabo · Luis Roso )  
11:15 La Tienda de las Curiosidades sobre el Color **Manuel Melgosa Latorre** ( Mark D. Fairchild )  
11:30 Desarrollo de herramientas interactivas adaptadas a la resolución gráfica de problemas de Óptica **Carlos J. Zapata Rodríguez** ( Pascuala García-Martínez · Carlos Ferreira Isaac Fernández · Juan J. Miret Marí )

**SESIÓN TÉCNICAS DE LA IMAGEN 1 · Moderador: Salvador X. Bará**

10:45 SO/PHI: Un espectro-polarímetro para la misión espacial Solar Orbiter de la ESA  
**Alberto Alvarez Herrero** ( Valentín Martínez-Pillet · Jose Carlos del Toro Iniesta Isabel Pérez-Grande · Jose María Gómez Cama · Vicente Domingo Codoñer )  
11:00 Óptica de rayos X en las líneas de luz del sincrotrón ALBA  
**Josep Nicolas Roman** ( Juan Carlos Martínez · Igors Sics )  
11:15 Diseño de una cámara holográfica y de una cámara polarimétrica con un detector sin resolución espacial **Pere Clemente Pseudo** ( Vicente Durán Bosch · Mercedes Fernández Alonso Jesús Lancis Sáez · Enrique Tajahuerce Romera · Pedro Andrés Bou )  
11:30 Implementación de un interferómetro de difracción puntual con un monopíxel de cristal líquido **Claudio Ramíez** ( Eva Otón · Claudio Lemmi · Ignacio Moreno Noureddine Bennis · José Manuel Otón · Juan Campos )

**SESIÓN ÓPTICA CUÁNTICA Y NO LINEAL 1 · Moderador: Juan Carlos Martín**

10:45 Calibración de medidores de longitud de onda usando peines de frecuencias filtrados por amplificación Brillouin **Juan Galindo-Santos** ( Mercedes Alcon-Camas Sonia Martin-Lopez · Ana Carrasco-Sanz · Pedro Corredera )  
11:00 Demostración experimental del guiado en el rango espectral de las comunicaciones ópticas de Cristales Fotónicos suspendidos con red honeycomb **Daniel Puerto** ( Amadeu Griol · José María Escalante · Bahram Djafari-Rouhani · Yan Pennec Vincent Laude · Jean-Charles Beugnot · Alejandro Martínez )  
11:15 Diseño y caracterización óptica de guías de onda basadas en puntos cuánticos de GaN/AlN para conmutación óptica ultrarrápida a 1.5  $\mu\text{m}$  **Laura Monteagudo-Lerma** ( S. Valdueza-Felip · A. Núñez-Cascajero · F.B. Naranjo · P. Corredera · L. Rapenne · E. Sarigiannidou G. Strasser · E. Monroy · M. González-Herráez )  
11:30 Estructuras disipativas en cavidades optomecánicas **Joaquín Ruíz-Rivas** ( Carlos Navarrete-Benlloch · Eugenio Roldán · Germán J. de Valcárcel )

**SESIÓN MATERIALES · Moderador: Juan Vallés**

12:00 Plasmónica de metales en el UV: Indio, Titanio, Cromo, Rodio, Rutenio y Wolframio  
**Francisco Gonzalez Fernandez** ( Dolores Ortiz Marquez · Jose Maria Saiz Vega Fernando Moreno Gracia )  
12:30 Modelado de materiales heterogéneos nanoestructurados **Rodrigo Alcaraz de la Osa** ( José M.Saiz Vega · Francisco González Fernández · Fernando Moreno Gracia )  
12:45 Contribuciones incoherentes a la despolarización en sistemas de nanopartículas  
**Juan Marcos Sanz Casado** ( Pablo Albella Echave · José María Saiz Vega Francisco González Fernández · Fernando Moreno Gracia )  
13:00 Nanoestructuras plasmónicas producidas mediante depósito por laser pulsado  
**Jose Gonzalo** ( Giorgio Baraldi · Marzia Carrada · Arnaud Arbouet · Vincent Paillard Fco. Javier Ferrer · Javier García-López )  
13:15 Estructura y propiedades ópticas de vidrios de fluoroteluritos dopados con Er para aplicaciones fotónicas **Roberta Morea** ( Margarita Hernandez · Adrian Miguel Fco. Javier Ferrer · Jose Gonzalo · Concepcion Domingo · Javier Garcia-Lopez Joaquin Fernandez · Rolindes Balda )

**SESIÓN VISIÓN Y COLOR · Moderador: Manuel Melgosa**

12:00 Intrusión de bastones en los fenómenos de adaptación temprana para distintas excentricidades y luminancias **Juan Antonio Aparicio Calzada** ( Alejandro Hernán Gloriani Beatriz Martínez Matesanz · Isabel Arranz de la Fuente · Cristina de la Rosa · Luis Issolio José Antonio Menéndez · Alicia Galindo · Santiago Mar Sardaña )  
12:15 Medida de la agudeza estereoscópica mediante el sistema binocular de óptica adaptativa en la corrección de la presbicia **Enrique Josua Fernandez** ( Christina Schwarz · Pedro Prieto Silvestre Manzanera · Juan Tabernero · Pablo Artal )  
12:30 Refracción ocular: un estudio comparativo entre autorrefractómetro, aberrómetro y test subjetivo. **Francisco Javier Segura Calvo** ( Juan M. Bueno · Ana Sánchez-Cano · Jorge Ares )  
12:45 Medida de la respuesta acomodativa con un sistema de doble paso **Mikel Aldaba Arévalo** ( Meritxell Vilaseca · Fernando Díaz-Doutón · Montserrat Arjona · Jaume Pujol )  
13:00 Técnicas de estimación espectral aplicadas a las respuestas de sensores TFD  
**Miguel Ángel Martínez Domingo** ( Eva María Valero Benito · Giacomo Langfelder Javier Hernández-Andrés )  
13:15 Respuestas Emocionales al Color del Aceite de Oliva Virgen **Luis Gómez Robledo** ( Ou Li-Chen · Maria Jose Moyano · Ronnier Luo · Rafael Huertas · Francisco Heredia Manuel Melgosa )  
13:30 Sistema multispectral basado en LEDs en los rangos ultravioleta, visible e infrarrojo. Aplicación al estudio y conservación de obras de arte **Jorge A Herrera Ramirez** ( Meritxell Vilaseca · Francisco Burgos · Rosa Senserrich · Lidia Font · Jaume Pujol )  
13:45 Influencia de la posición del centro de rotación del ojo en el diseño de lentes esféricas para dirección oblicua de mirada **Sara Perches Barrena** ( Fernando Palos · Jorge Ares Maria Victoria Collados )

# Implementación de un interferómetro de difracción puntual con un monopíxel de cristal líquido

Claudio Ramírez<sup>1\*</sup>, Eva Otón<sup>2</sup>, Claudio Iemmi<sup>3</sup>, Ignacio Moreno<sup>4</sup>,

Noureddine Bennis<sup>2</sup>, José Manuel Otón<sup>2</sup>, Juan Campos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Depto. Física, Universidad Autónoma Barcelona, 08193 Bellaterra

<sup>2</sup>CEMDATIC, ETSI Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid

<sup>3</sup>Departamento de Física. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires 1428, Argentina

<sup>4</sup>Dept. de Ciencia de Materiales, Óptica y Tecnología Electrónica, Universidad Miguel Hernández, 03202 Elche

[claudio.ramirez@uab.es](mailto:claudio.ramirez@uab.es)

**Resumen:** En este trabajo se presenta la implementación de un interferómetro por difracción puntual construido con un monopíxel de cristal líquido. En primer lugar se ha fabricado un monopíxel de cristal líquido con alineamiento paralelo de unas dimensiones de  $3 \times 3 \text{ cm}^2$ , en el que el electrodo cubre toda la superficie excepto en un orificio central de unas  $50 \text{ }\mu\text{m}$ . Este orificio es el que actuará como punto difractor. Aplicando diferentes tensiones se puede cambiar la fase de la onda que llega al píxel en relación al punto central. Se ha construido un interferómetro con este elemento. Se captan 4 interferogramas con lo que se puede obtener la distribución de amplitud y fase de la onda. Se aplica este sistema para obtener un holograma digital y enfocar digitalmente diferentes planos de un objeto tridimensional.

## 1. Introducción

En holografía digital se registra la interferencia en un detector tipo CCD y posteriormente se reconstruye utilizando las ecuaciones de propagación de Kirchhoff-Fresnel [1]. A pesar de que la resolución de las cámaras CCD está aumentando, todavía está muy alejada de los materiales holográficos convencionales. Por ello, el ángulo entre la onda de referencia y la onda objeto a registrar debe ser pequeña. Esto hace que en la reconstrucción aparezcan el orden cero y la onda conjugada superpuestas a la onda objeto. Yamaguchi et al. [2] propuso el uso de la interferometría por desplazamiento de fase con la que la distribución de amplitud y fase de la onda objeto en el plano de la CCD puede ser calculada. De este modo se evitan los términos no deseados. La mayoría de los sistemas propuestos en holografía digital están basados en un interferómetro Mach Zehnder, con lo que las ondas de referencia y objeto recorren caminos diferentes, haciendo que el interferómetro sea muy sensible a vibraciones, etc. El interferómetro por difracción de un punto (PDI) [3] es un interferómetro de camino común, haciéndolo más robusto, y permitiendo el uso de luz parcialmente coherente. La introducción de cristales líquidos permite la implementación de los métodos de interferometría por desplazamiento de fase. En trabajos anteriores [4, 5] propusimos un PDI que utilizaba pantallas de cristal líquido. En el primer caso se utilizaba para medir in situ las aberraciones de un correlador, mientras que en el segundo se utilizaba en aplicaciones de holografía digital. En este último caso, no es necesaria la utilización de una pantalla pixelada, ya que sólo se modifica la fase de uno de los píxeles.

En este trabajo proponemos la construcción y utilización de un monopíxel de cristal líquido de alineamiento paralelo. El electrodo cubre todo el píxel, excepto una apertura circular en el centro de  $50 \text{ }\mu\text{m}$ . Al aplicar una tensión se cambia la fase de toda la onda incidente, excepto en la zona central, lo que permite implementar un PDI de camino común con la capacidad de interferometría por desplazamiento de fase.

En el apartado 2 se explica la fabricación del monopíxel. En el 3 se describe el PDI que

proponemos y el método para obtener la distribución de amplitud y fase de la onda objeto. Finalmente, en el apartado 4 se muestran los resultados experimentales obtenidos.

## 2. Monopíxel de cristal líquido con orificio micrométrico

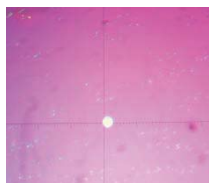


Figura 1: Monopíxel donde se visualiza la zona central

El interferómetro de difracción puntual se ha construido a partir de una célula de cristal líquido cuya superficie activa tiene aproximadamente  $3 \times 3$  cm<sup>2</sup>. La célula es una estructura plana (sandwich) formada por dos vidrios ultraplano de 0,7 mm de espesor recubiertos por su cara interior de un semiconductor transparente (óxido de estaño e indio, ITO) que actúa de electrodo. El recubrimiento de una de las caras se deja intacto, mientras que en la otra cara se elimina en la zona central un círculo de ITO de 50  $\mu$ m por medio de un proceso fotolitográfico con la máscara correspondiente.

Ambas placas se tratan en su cara interna con una poliimida (PIA2000, Chisso) cuyo promotor se deposita con ayuda de un *spinner*. Una vez polimerizado, se somete a frotado mecánico con un paño especial que no desprende pelusa. Con ello se genera una superficie acondicionada que induce en el cristal líquido una orientación homogénea (paralela a las placas, en la dirección de frotado). A continuación se ensambla la célula depositando previamente en una de las caras, con la ayuda de un aerógrafo, microesferas calibradas de sílice de 4  $\mu$ m de diámetro que actúan como espaciadores. Se sella todo el borde de la célula con un adhesivo serigrafiado (*gasket*) excepto una ranura en el centro de una de las caras.

Con los procesos descritos, que se llevan a cabo en una sala blanca, se ha conseguido una botella prismática de 3cm $\times$ 3cm $\times$ 4 $\mu$ m la cual se rellena, dentro de una cámara de vacío, con cristal líquido MDA-98 (Merck). Se trata de una mezcla de anisotropía eléctrica positiva y alta birrefringencia ( $\Delta n=0,266$  @ 589nm). Finalmente se obtura la ranura con un adhesivo fotopolimerizable (NOA-65) y se sueldan contactos de indio metal a los electrodos de ITO de las caras internas a fin de poder aplicar tensiones eléctricas a los mismos.

Al aplicar tensión (continua o alterna) entre los electrodos, el material tiende a orientarse haciendo que su director sea perpendicular a las placas. Como la posición de partida –inducida por el acondicionamiento superficial– es paralela a las placas, se producirá una reorientación del cristal líquido que afectará al índice de refracción que “ve” la luz incidente de polarización paralela a la dirección de orientación, produciéndose así un retardo variable controlado por la tensión externa. El cristal líquido que ocupa la región del círculo central no conmuta, por lo que se genera un desfase variable entre dicha región y el resto del píxel. La razón de aspecto del círculo (50:4  $\mu$ m diámetro: grosor) es suficientemente plana como para que los efectos de deformación del campo eléctrico en los bordes (*fringing*) resulten inapreciables.

## 3. Interferómetro de difracción puntual

El PDI propuesto está basado en el monopíxel de cristal líquido descrito en la sección anterior, como se muestra en la Fig. 2. En este interferómetro comparamos el frente de onda proveniente del plano objeto, con el frente de onda difractado por el orificio del monopíxel de cristal líquido WP. Podemos añadir un desfase al frente de onda del objeto por medio del mono píxel WP. La magnitud del desfase la controlamos con la tensión aplicada a las terminales de WP. Se utiliza luz linealmente polarizada paralela al director de las moléculas de cristal líquido y de longitud de onda 633nm.

La función de transferencia del filtro (monopíxel WP) es:

$$H(u) = \exp\left(i \frac{2\pi n}{N}\right) + \delta(u) \left( -\exp\left(i \frac{2\pi n}{N}\right) + 1 \right) \quad (1)$$



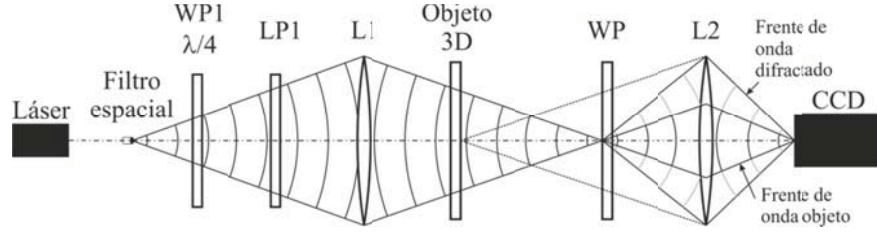


Figura 2: Esquema del interferómetro de difracción puntual. Expandimos el haz del láser con el filtro espacial. LP1 es un polarizador lineal. Con la lente convergente L1, enfocamos el haz expandido del láser en el orificio de WP. Formamos la imagen del objeto en la CCD con la lente convergente L2.

Podemos reescribir la ecuación (1) como:

$$H(u) = \exp(i\phi_n) + \delta(u)(-\exp(i\phi_n) + 1) \quad (2)$$

La amplitud en el plano de la CCD es:

$$A_n(x) = o(x)\exp[i\Psi(x)] * h(x) \quad (3)$$

Aquí,  $o(x)\exp[i\Psi(x)]$  es la amplitud compleja del frente de onda del objeto y  $h(x)$  es la función de transferencia del monopíxel WP, \* denota la operación convolución. Definimos la constante compleja  $K = |K|\exp(i\alpha)$  como el valor medio de  $o(x)$  en la ecuación (3). Con la CCD detectamos el módulo al cuadrado de la amplitud  $A_n(x)$  y si hacemos la siguiente sustitución  $\delta = o(x)\exp[i(\Psi(x) + \phi_n)]$  tenemos:

$$|A_n|^2 = |\delta|^2 + 2|K|^2 + \left[ -2|K|^2 \cos(\phi_n) + o|K|2 \cos(\alpha - \Psi(x)) \right] \cos(\phi_n) - o|K|2 \cos(\alpha - \Psi(x)) + o|K|2 \sin(\alpha - \Psi(x)) \sin(\phi_n) \quad (4)$$

Multiplicamos las intensidades detectadas con la CCD por  $\cos(\phi_n)$  y  $\sin(\phi_n)$  para obtener los términos en seno y coseno:

$$C = -N|K|^2 + N o|K| \cos(\alpha - \Psi(x)) \quad S = N o|K| \sin(\alpha - \Psi(x)) \quad (5)$$

Podemos determinar la fase desconocida del frente de onda del objeto con las ecuaciones (5) despejando  $\Psi(x)$  como:

$$\Psi(x) = \alpha - \arctan\left(\frac{S}{C + N|K|^2}\right) \quad (6)$$

#### 4. Resultados experimentales

En la Fig. 3, mostramos los interferogramas obtenidos experimentalmente en el laboratorio, con diferentes magnitudes de desfase entre los frentes de onda objeto y de referencia. Determinamos la fase envuelta del frente de onda original con el método de phase-shifting de cuatro pasos. Para poder determinar la constante  $N|K|^2$  se procede de la siguiente manera: la onda objeto está limitada por una apertura finita, y la cámara CCD capta parte de esta apertura. Si no hubiera difracción por un punto, la intensidad en esta zona sería cero, mientras que al aplicar una tensión, la difracción por el punto hace que la intensidad sea diferente de cero, y está relacionada con la constante a determinar. En la Figura 4 se muestra la intensidad y la fase de la onda objeto obtenida de esta manera. El objeto contiene tres planos a diferentes distancias. Aplicando las ecuaciones de propagación se pueden enfocar los diferentes planos, tal y como se muestra en la Figura 5.

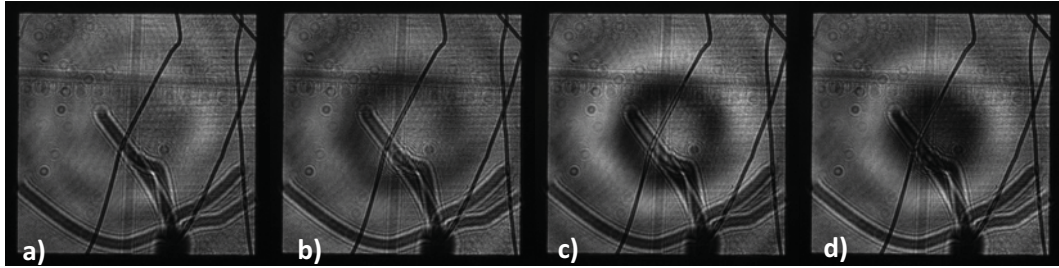


Figura 3: Interferogramas con desfase de a)  $-360^\circ$ , b)  $-270^\circ$ , c)  $-180^\circ$  y d)  $-90^\circ$ .

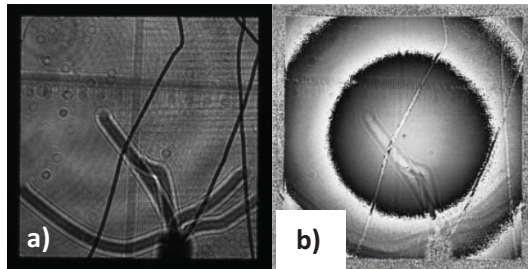


Figura 4: a) Interferograma con desfase de  $0^\circ$ , b) fase envuelta calculada.

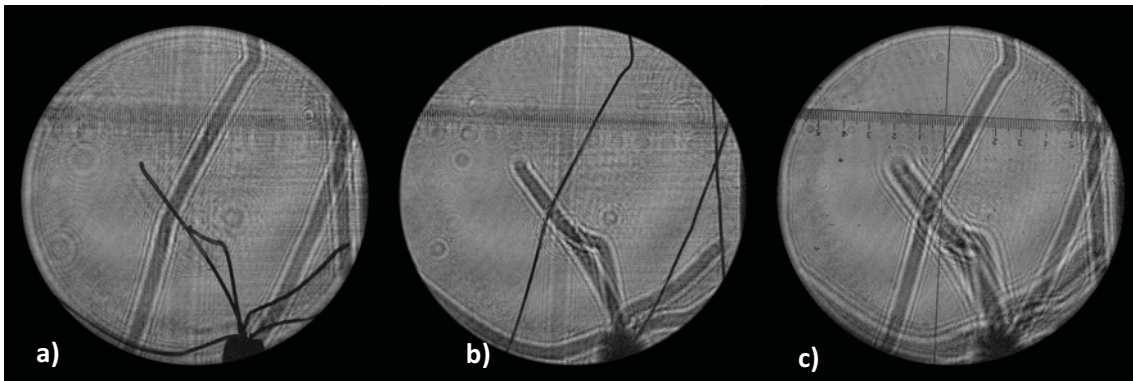


Figura 5: Propagación de Fresnel con a)  $z = -58\text{mm}$ , b)  $z = -10.8\text{mm}$  y c)  $z = 33\text{mm}$ .  $Z=0$  está prácticamente en el plano de la pupila (ver b)

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y fondos FEDER (FIS2009-13955-C02-01 y 02). C. Iemmi agradece el soporte desde la Universidad de Buenos Aires y CONICET (Argentina).

## Bibliografía

- [1] U. Schnars and W. Jüptner, "Direct recording of holograms by a CCD target and numerical reconstruction," *Appl. Opt.* 33, 179-181 (1994).
- [2] I. Yamaguchi, and T. Zhang, "Phase shifting digital holography," *Opt. Lett.* 22, 1268-1270 (1997).
- [3] V. Linnik, "Simple interferometer for the investigation of optical systems," *C. R. Acad. Sci. USSR*, 1, 208-210 (1933).
- [4] C. Iemmi, A. Moreno, J. Nicolás, and J. Campos, "Evaluation and correction of aberrations in an optical correlator by phase shifting interferometry," *Opt. Lett.* 28, 1117-1119 (2003)
- [5] C. Iemmi, A. Moreno, J. Campos, "Digital holography with a point diffraction interferometer", *Optics Express*, Vol 13 (6) (2005) 1885-1891