

# ENLAZAMIENTO CLÁSICO COMO HERRAMIENTA POLARIMÉTRICA. COMPROBACIÓN EXPERIMENTAL.

Jacqueline Isamar Muro Ríos, Rafael Espinosa Luna  
GIPYS Lab, Centro de Investigaciones en Óptica, A. C.



## INTRODUCCIÓN

El **enlazamiento clásico** es una particularidad de algunos haces cuya distribución espacial y de polarización están relacionadas de forma no separable; es decir, "se requieren dos vectores de Jones independientes y dos campos escalares independientes (modos) para representar al campo eléctrico"<sup>1</sup>.

La **polarización no convencional** se refiere a la distribución de polarización no homogénea en la sección transversal del haz<sup>2</sup>.

Dos polarizaciones no convencionales que presentan enlazamiento clásico son: la **polarización radial** y la **polarización azimutal**.

La **polarización azimutal** puede ser descrita a través de las siguientes relaciones:

$$E_{\phi} = \frac{1}{\sqrt{2}}(-\psi_{01}\hat{e}_x + \psi_{10}\hat{e}_y) \quad (1)$$

$$E_{\theta} = \frac{1}{\sqrt{2}}(\psi_{-}\hat{e}_{+} - \psi_{+}\hat{e}_{-}) \quad (2)$$

$$E_{\phi} = \frac{i}{\sqrt{2}}(\psi_L\hat{e}_R - \psi_R\hat{e}_L) \quad (3)$$

donde  $\psi_{\pm} = (\psi_{10} \pm \psi_{01})/\sqrt{2}$ ,  $\hat{e}_{\pm} = (\hat{e}_x \pm \hat{e}_y)/\sqrt{2}$ ,  $\psi_L = (\psi_{10} + i\psi_{01})/\sqrt{2}$ ,  $\psi_R = (\psi_{10} - i\psi_{01})/\sqrt{2}$ ,  $\hat{e}_L = (\hat{e}_x + i\hat{e}_y)/\sqrt{2}$ ,  $\hat{e}_R = (\hat{e}_x - i\hat{e}_y)/\sqrt{2}$ ,  $\psi_{10}, \psi_{01}$  representan los modos Hermite-Gauss de orden cero horizontal y vertical, respectivamente, y  $\hat{e}_x, \hat{e}_y, \hat{e}_z$  son los vectores unitarios en el sistema de coordenadas cartesianas.

En este trabajo se determina la Matriz de Mueller de 3 muestras transparentes, no despolarizantes utilizando un haz con polarización azimutal y las siguientes relaciones<sup>1,3</sup>:

$$\begin{aligned} M_{00} &= I_{00} + I_{01} + I_{10} + I_{11} \\ M_{01} &= -(-I_{00} - I_{01} + 2I_{02} - I_{10} - I_{11} + 2I_{12}) \\ M_{02} &= -(-I_{00} - I_{01} + 2I_{03} - I_{10} - I_{11} + 2I_{13}) \\ M_{03} &= -(I_{00} - I_{01} + I_{10} - I_{11}) \\ M_{10} &= -I_{00} - I_{01} - I_{10} - I_{11} + 2(I_{20} + I_{21}) \\ M_{11} &= -(I_{00} + I_{01} - 2I_{02} + I_{10} + I_{11} \\ &\quad - 2(I_{12} + I_{20} + I_{21} - 2I_{22})) \\ M_{12} &= -(I_{00} + I_{01} - 2I_{03} + I_{10} + I_{11} \\ &\quad - 2(I_{13} + I_{20} + I_{21} - 2I_{23})) \\ M_{13} &= -(-I_{00} + I_{01} - I_{10} + I_{11} + 2I_{20} - 2I_{21}) \\ M_{20} &= -I_{00} - I_{01} - I_{10} - I_{11} + 2(I_{30} + I_{31}) \\ M_{21} &= -(I_{00} + I_{01} - 2I_{02} + I_{10} + I_{11} \\ &\quad - 2(I_{12} + I_{30} + I_{31} - 2I_{32})) \\ M_{22} &= -(I_{00} + I_{01} - 2I_{03} + I_{10} + I_{11} \\ &\quad - 2(I_{13} + I_{30} + I_{31} - 2I_{33})) \\ M_{23} &= -(-I_{00} + I_{01} - I_{10} + I_{11} + 2I_{30} - 2I_{31}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{30} &= I_{00} + I_{01} - I_{10} - I_{11} \\ M_{31} &= -(-I_{00} - I_{01} + 2I_{02} + I_{10} + I_{11} - 2I_{12}) \\ M_{32} &= -(-I_{00} - I_{01} + 2I_{03} + I_{10} + I_{11} - 2I_{13}) \\ M_{33} &= -(I_{00} - I_{01} - I_{10} + I_{11}) \end{aligned} \quad (4)$$

$$M^{BW} = (Q^{BW})^{-1}MQ^{BW} \quad (5)$$

$$Q^{BW} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

## EXPERIMENTO

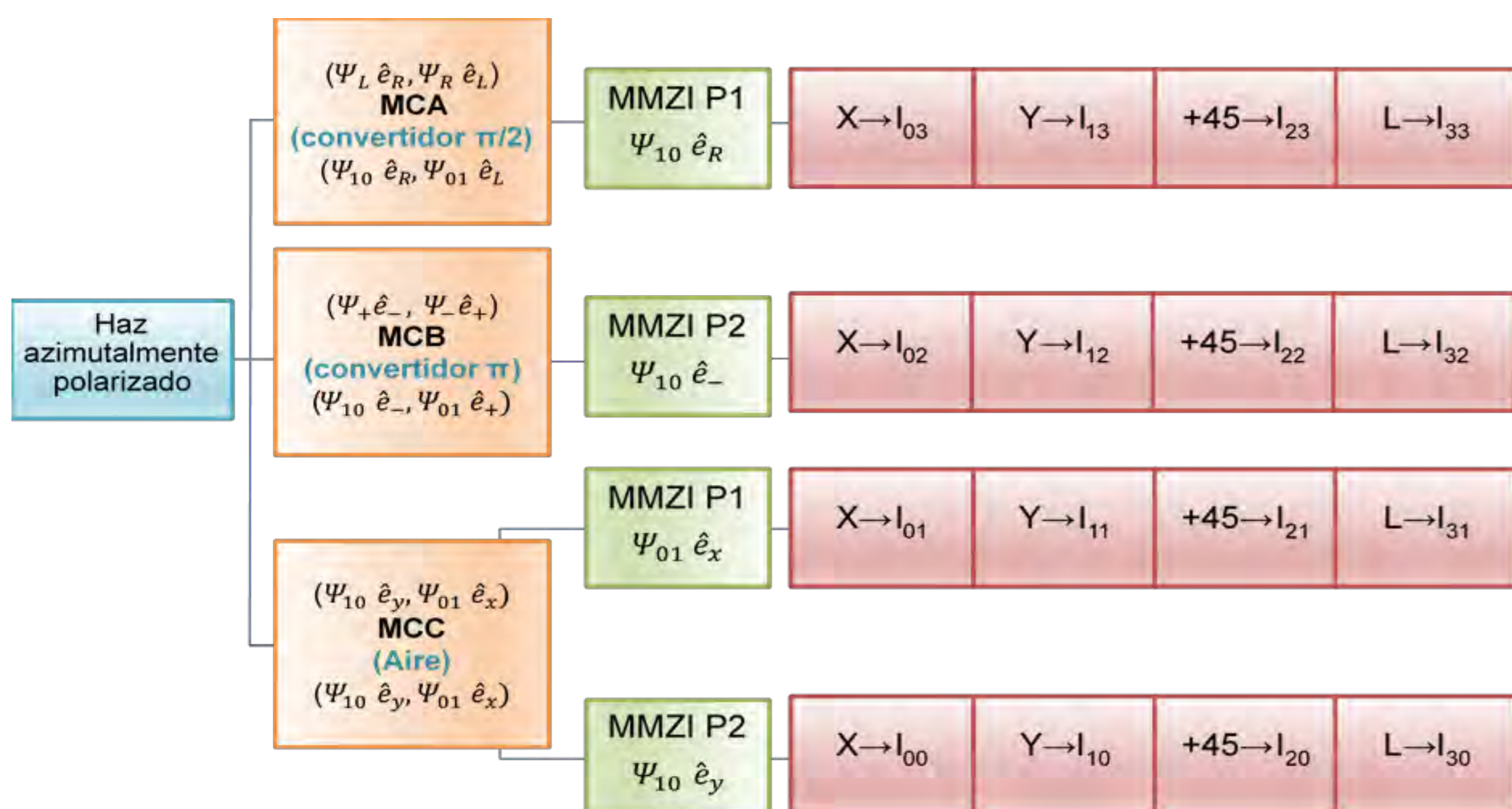


Fig. 1 Diagrama del proceso de captura de datos para la determinación de la Matriz de Mueller utilizando un haz de luz con polarización azimutal.

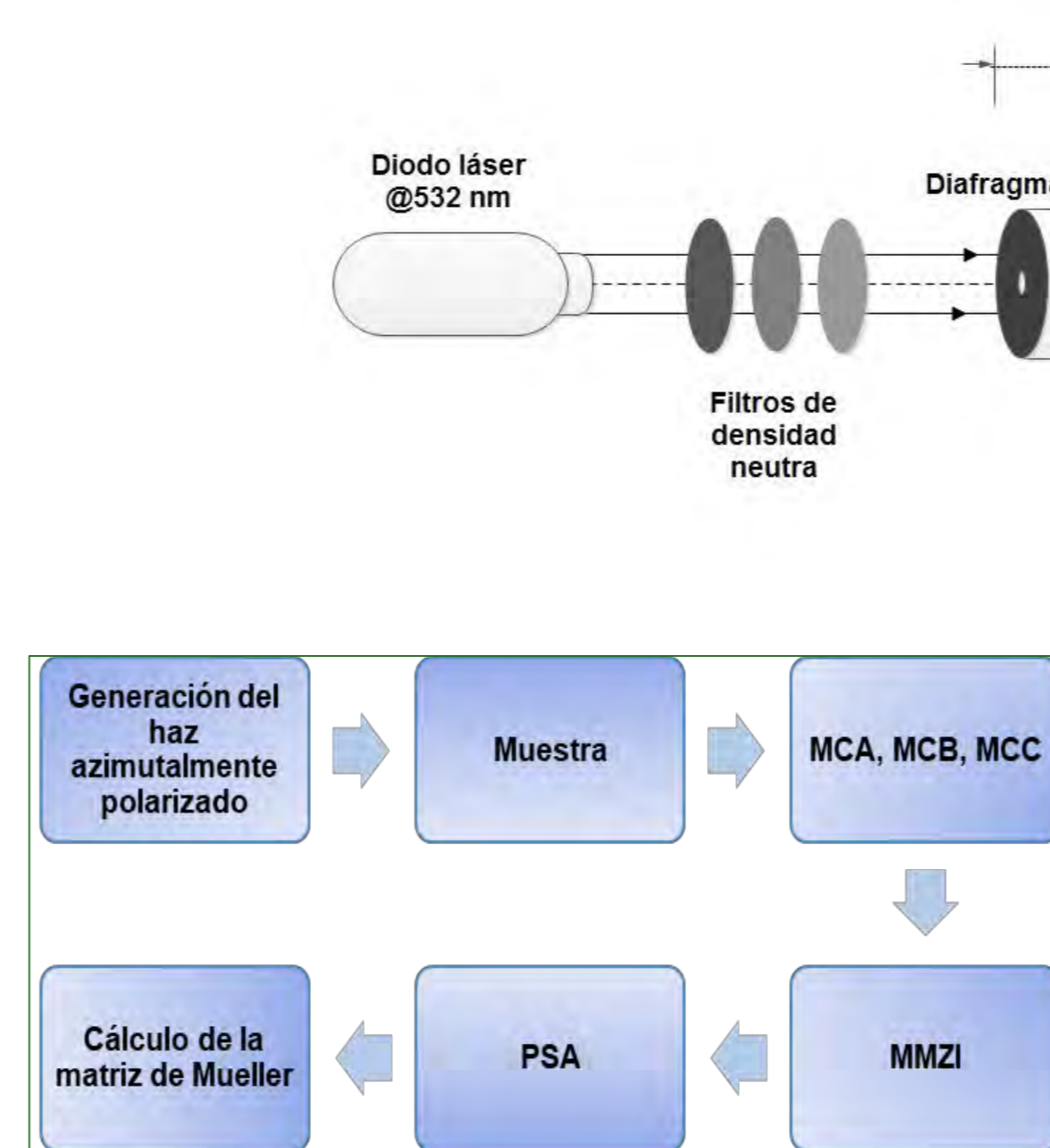


Fig. 2 Diagrama esquemático con los componentes clave del arreglo experimental utilizado.

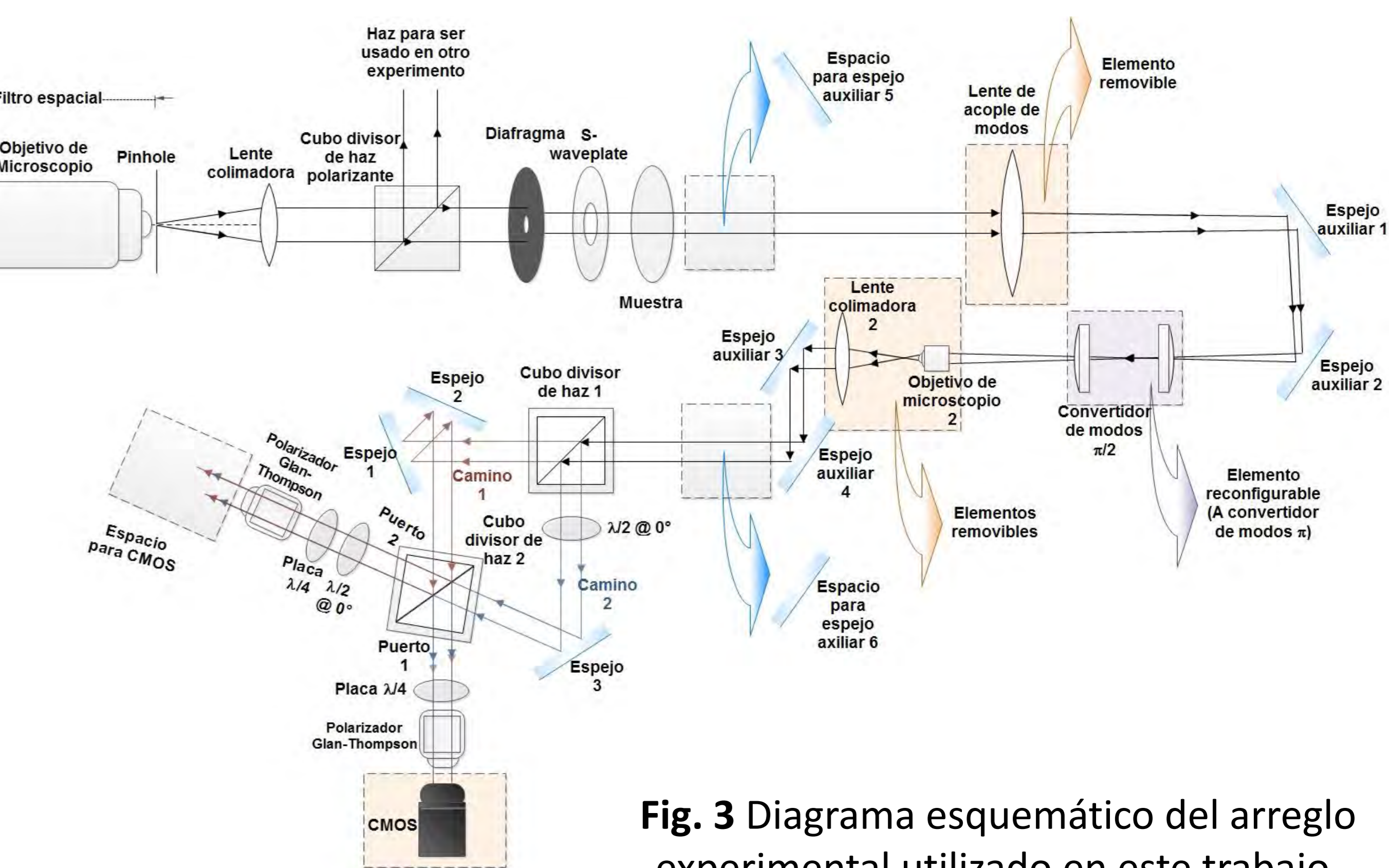


Fig. 3 Diagrama esquemático del arreglo experimental utilizado en este trabajo.

## RESULTADOS

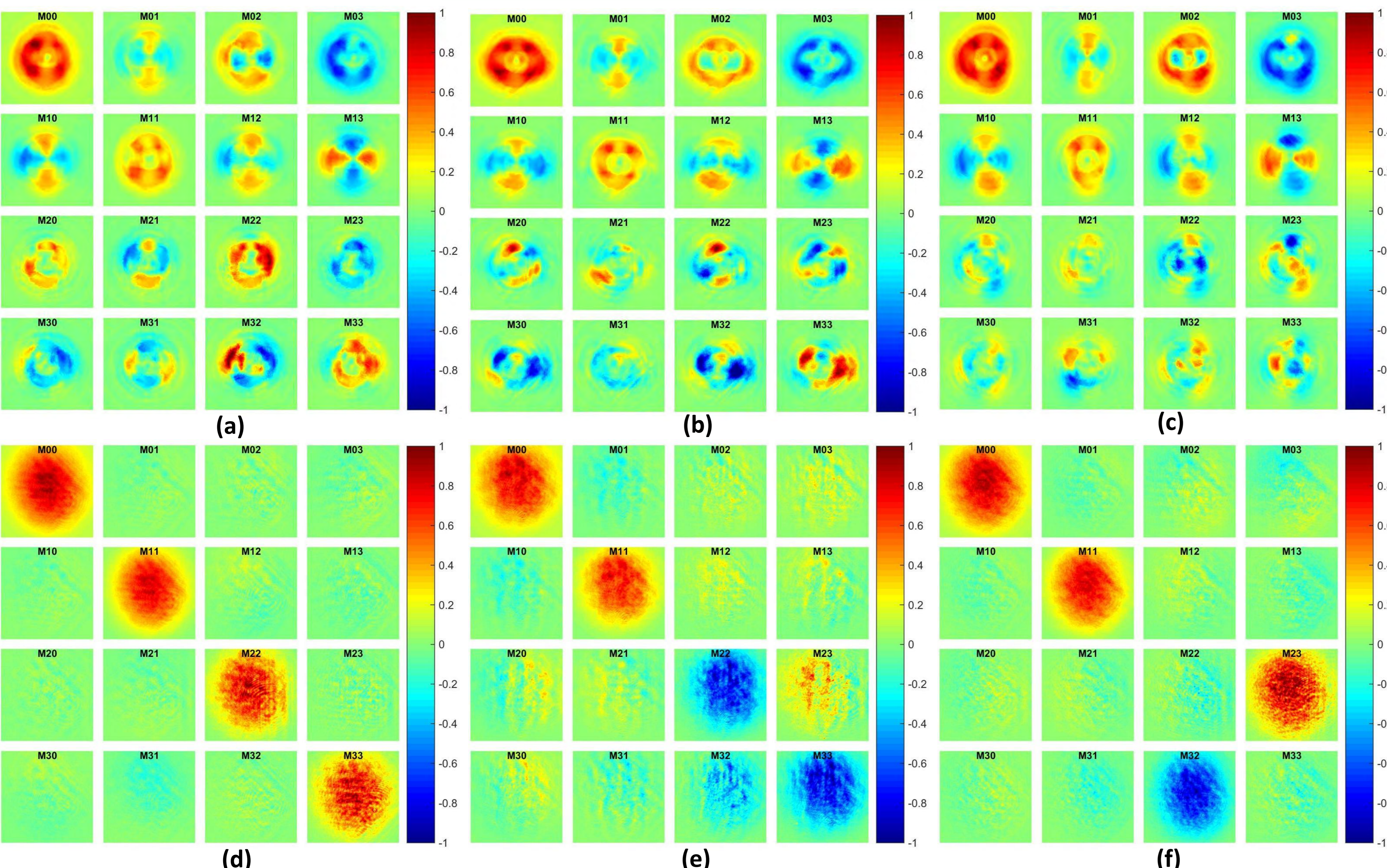


Fig. 4 Matrices de Mueller determinadas utilizando polarización no convencional (a-c) y convencional (d-f) para aire (a, d), una placa comercial  $\lambda/2$  (b, e) y una placa comercial  $\lambda/4$  (c, f).

## ANÁLISIS

Se consideran como fuentes de error:

1. Los convertidores de modos no cuentan con los mismos elementos ópticos.
2. Cada convertidor de modos cambia de manera diferente el tamaño de la sección transversal del haz sobre el que opera.
3. Una alineación incorrecta de los convertidores de modos puede afectar las siguientes etapas de medición.
4. Desviaciones en los valores de retardancia de las muestras utilizadas.
5. Desviación en los desfases causados por cada elemento del interferómetro con respecto a los considerados por la teoría.

## CONCLUSIONES

Se demostró que es posible implementar correctamente cada uno de los elementos componentes del arreglo experimental propuesto, así como determinar la matriz de Mueller de muestras transparentes, no despolarizantes utilizando un sólo haz de luz enlazada clásicamente (polarización azimutal). El hecho de utilizar un sólo haz de prueba y que se pueda implementar cada etapa de manera independiente, le da potencial a este método para ser considerablemente más rápido que el tradicional y que además pueda ser utilizado en muestras variables en el tiempo.

## REFERENCIAS

1. F. Töppel, A. Aiello y C. Marquardt, "Classical entanglement in polarization metrology", New J. Phys., Vol. 16, 2014, pp. 073019.
2. Q. Zhan, "Cylindrical vector beams: from mathematical concepts to applications", Adv. Opt. Photonics, Vol. 1, 2009, pp. 1-57.
3. A. Aiello y J. Woerdman, "Linear algebra for mueller calculus", arXiv:math-ph/0412061v3, 2006.

## AGRADECIMIENTOS

