

# Sistemas para la colimación de haces de luz

## Día Internacional de la METROLOGÍA

Luis Miguel Sánchez Brea

Grupo Complutense de Óptica Aplicada  
Departamento de Óptica  
Universidad Complutense de Madrid

20 de mayo de 2015



# Índice

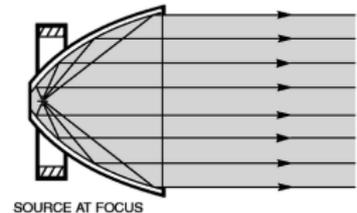
- 1 **Introducción**
  - Qué es la colimación de un haz de luz
  - Métodos de colimación
  - Verificación de la colimación
- 2 **Medida de la colimación con interferencias**
  - Lámina planoparalela
- 3 **Medida de la colimación con redes de difracción**
  - Medida del periodo
  - Figura de Lissajous
- 4 **Referencias**



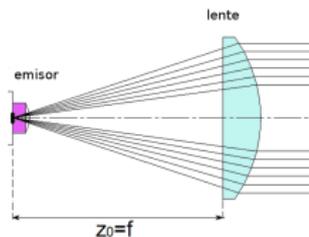
# Colimación en la industria y la tecnología

La palabra colimación se relaciona con colineal: implica que la luz no se dispersa con la distancia o que lo hace de forma mínima.

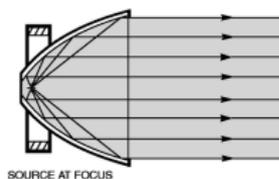
- Faros y otros sistemas de proyección de luz
- Instrumentación óptica (interferómetros, ...)
- Holografía
- Autocolimadores
- Alineamiento entre satélites para GPS



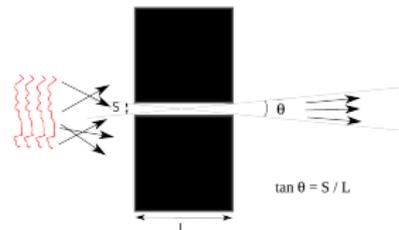
# Técnicas de colimación



lentes



espejos

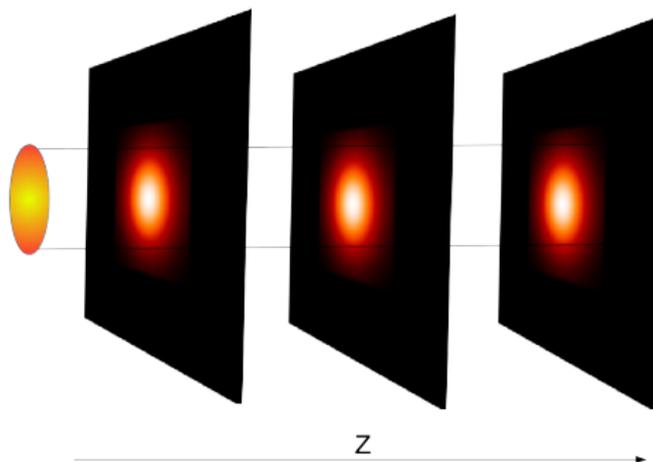


aberturas

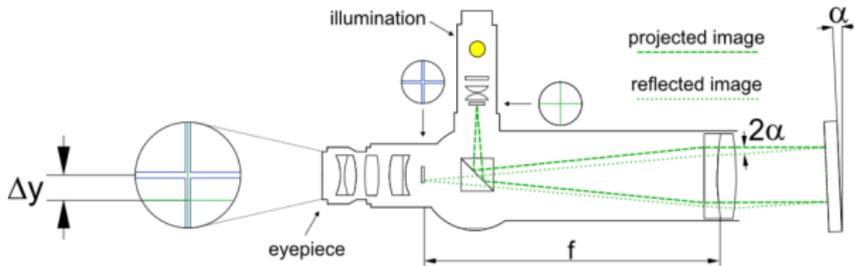


# Medida a 2 distancias

- Se mira el tamaño a varias distancias y se busca que la mancha de luz no aumente de tamaño
- Método poco preciso
- La distribución de intensidad cambia al propagarse



# Método de autocolimación



$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{-f + \delta z} = \frac{1}{f}$$

$$\delta\phi = \frac{D}{f^2} \delta z$$

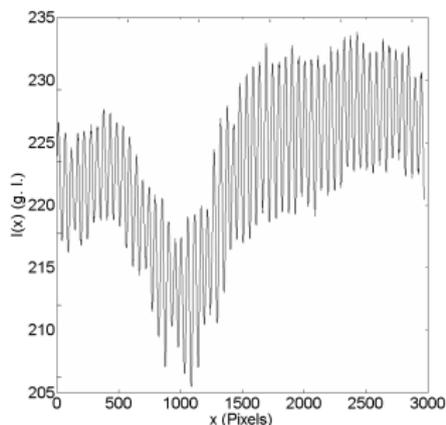




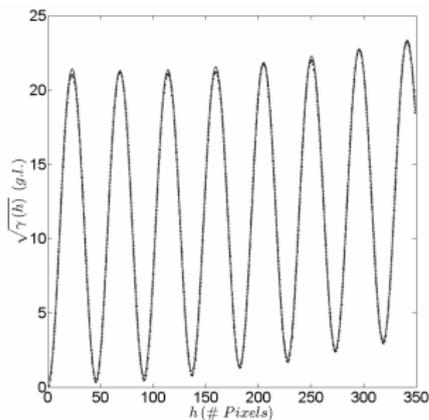


# Medida precisa del periodo

- Uso de la función variograma:  $2\gamma(h) = \left\langle [I(x+h) - I(x)]^2 \right\rangle_x$ ,
- Promedios estadísticos - elimina fluctuaciones aleatorias de la señal
- Determinación de los mínimos de intensidad en el variograma  $\implies$  periodo



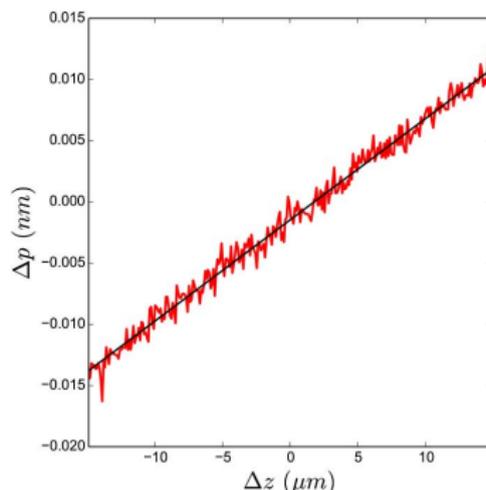
Perfil de intensidad para una distancia



Variograma de la señal obtenida



# Resultados



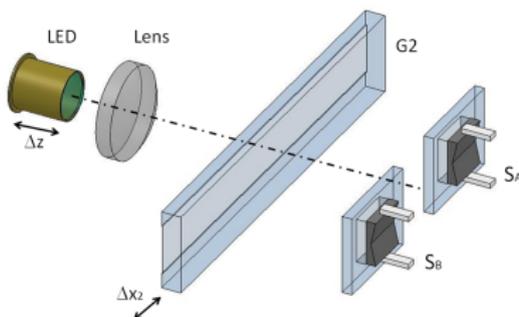
variación del periodo en función de la posición de colimación

- Colimación  $\implies$  periodo de la autoimagen es igual que el de la red.
- Con una lente de diámetro  $D = 20 \text{ mm}$  y focal  $f = 25 \text{ mm}$  :  
resolución en la divergencia de  $\delta\phi = 10 \mu\text{rad} = 0,0006^\circ$

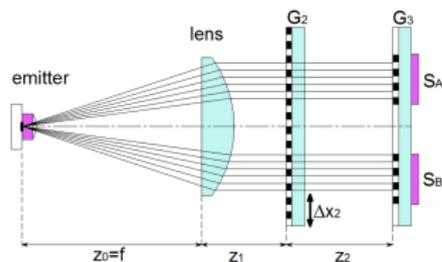


# Principio de funcionamiento

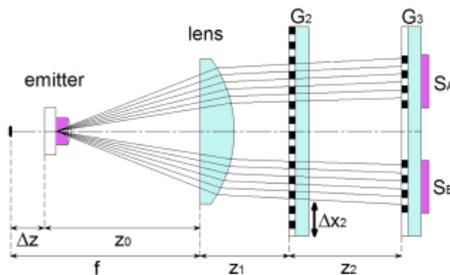
- Medida del desfase entre dos señales generadas.
- Análisis matemático: si la Figura de Lissajous es redonda, el haz está colimado
- Necesidad de mover la red (de momento)



esquema



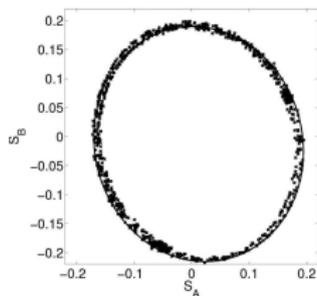
colimado



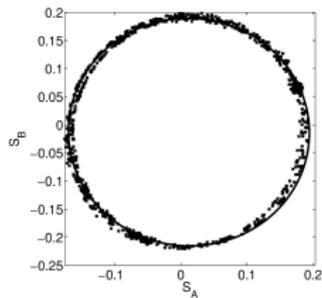
descolimado



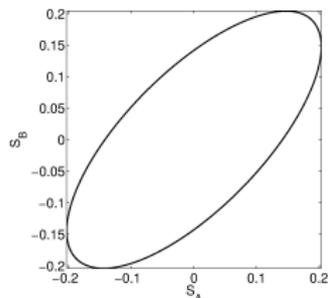
## Señales con desplazamiento de la red



descolimado - (experimental)



centrado (experimental)

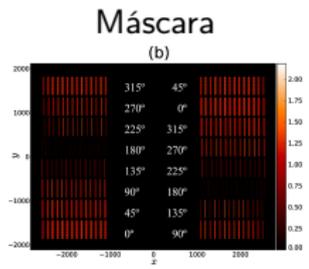
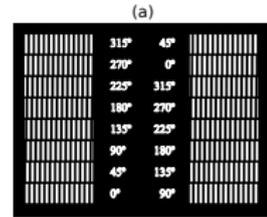
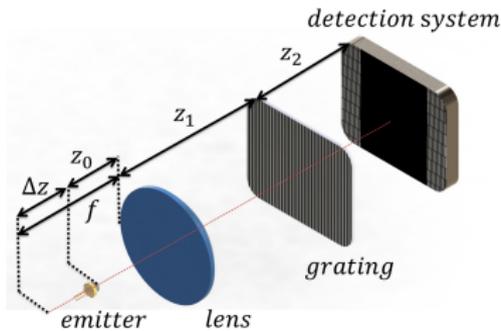


descolimado +



# Eliminación del movimiento

- Problema: Necesidad de movimiento mecánico
- Solución: Máscara más compleja con diversos fotodetectores

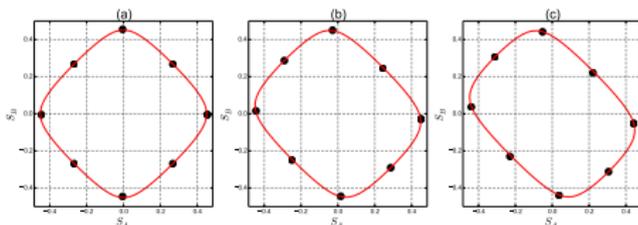


Intensidad en cada fotodetector

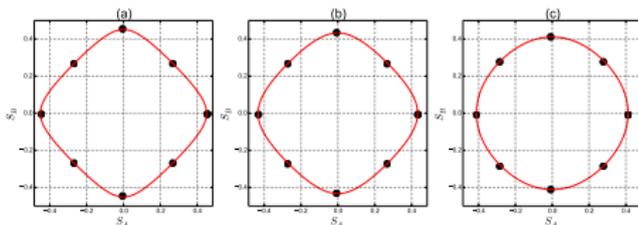


# Resultados teóricos

Distinta colimación ( $R_1$  y  $R_2$ )



Misma colimación: distinta forma (parámetro  $s$ )



$$\frac{x^{1/2}}{R_1^2} + \frac{y^{1/2}}{R_2^2} - s^2 \frac{x^{1/2} y^{1/2}}{R_1^2 R_2^2} = 1,$$

$$e = \sqrt{1 - \left( \frac{R_{min}}{R_{max}} \right)^2},$$

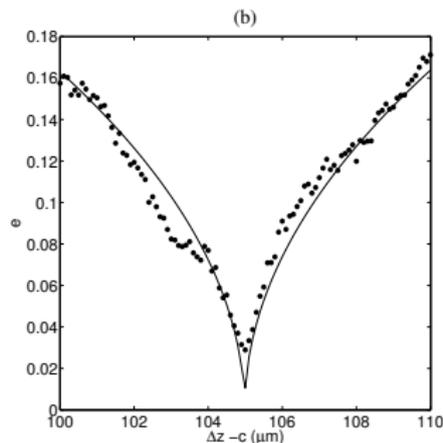
Forma de la señal

elipticidad



# Resultados experimentales

- Diodo láser  $\lambda = 650 \text{ nm}$ , red de difracción  $p = 110 \mu\text{m}$ .



- La resolución en el posicionado de la fuente respecto al foco es de  $\delta z = 80 \text{ nm}$ .
- Resolución de  $\delta\phi \approx 1,4 \mu\text{rad}$  del haz utilizando una lente de  $f = 25 \text{ mm}$  y diámetro  $D = 20 \text{ mm}$ .



# Referencias I



Chang, W.-Y., Hsu, K. Y., Chen, K.-H., and Chen, J.-H. (2014).

**Collimation testing and calibration using a heterodyne moiré method.**  
*Optics and Lasers in Engineering*, 62:126–131.



Choi, J., Perera, G. M., Aggarwal, M., Shukla, R., and Mantravadi, M. (1995).

**Wedge-plate shearing interferometers for collimation testing: use of a moiré technique.**  
*Applied Optics*, 34(19):3628–3638.



de Vicente, J., Sánchez-Perez, A., Berzal, M., Maresca, P., and Gómez, E. (2014).

**Uncertainty in ellipse fitting using a flatbed scanner: development and experimental verification.**  
*Measurement Science and Technology*, 25(1):015005.



Dhanotia, J. and Prakash, S. (2011).

**Automated collimation testing by incorporating the fourier transform method in talbot interferometry.**  
*Applied Optics*, 50(10):1446–1452.



Disawal, R., Dhanotia, J., and Prakash, S. (2014).

**Improved measurement characteristics in collimation testing using lau interferometry and fourier fringe analysis technique.**  
*Precision Engineering*, 38(4):948–955.



Ganesan, A. and Venkateswarlu, P. (1993).

**Laser beam collimation using talbot interferometry.**  
*Applied Optics*, 32(16):2918–2920.



# Referencias II



Haramaki, S., Yokozeki, S., Hayashi, A., and Suzuki, H. (2001).

**Automatic collimation system by talbot interferometry.**

In *Optical Engineering for Sensing and Nanotechnology (ICOSN'01)*, pages 388–391. International Society for Optics and Photonics.



Murty, M. (1964).

**The use of a single plane parallel plate as a lateral shearing interferometer with a visible gas laser source.**

*Applied Optics*, 3(4):531–534.



Sanchez-Brea, L. M., Torcal-Milla, F. J., Herrera-Fernandez, J. M., Morlanes, T., and Bernabeu, E. (2014).

**Self-imaging technique for beam collimation.**

*Optics Letters*, 39(19):5764–5767.



Sanchez-Brea, L. M., Torcal-Milla, F. J., Salgado-Remacha, F. J., Morlanes, T., Jimenez-Castillo, I., and Bernabeu, E. (2010).

**Collimation method using a double grating system.**

*Applied Optics*, 49(17):3363–3368.



Silva, D. (1971).

**A simple Interferometric method of beam collimation.**

*Applied Optics*, 10:1980\_1–1982.



Yokozeki, S., Patorski, K., and Ohnishi, K. (1975).

**Collimation method using fourier imaging and moiré techniques.**

*Optics Communications*, 14(4):401–405.

