

Caracterización No Destructiva de Materiales Ópticos Utilizando la Propagación de Modos de Galería Ópticos

M. LOMER, J.M. LOPEZ-HIGUERA, J.L. ARCE, J. ECHEVARRIA
Universidad de Cantabria. Departamento de Electrónica-Grupo de Ingeniería Fotónica
Av. de los Castros s/n, 39005 Santander. Tel. 942-201495, Fax. 942-201402

Número 185, AREA: B1

ABSTRACT

Optical quality determination of transparency is one of the continuous preoccupations of the R & D Laboratories and Industries. In order to resolve this topics a new non-destructive technique has been developed and tested experimentally. It is based on the Whispering-Gallery Modes propagation in concave-curve-surface.

1. INTRODUCCION

Los modos de galería óptica (Whispering Gallery Modes) presentan un importante interés en diferentes dominios de la óptica del futuro, en la actualidad es objeto de numerosos estudios en micro óptica, resonadores láseres, etc. El concepto de base de los modos de galería viene del descubrimiento realizado por Lord Rayleigh, para las ondas acústicas, a fines del siglo pasado [1], es decir, ondas propagadas en superficies curvas. Los modos de galería óptica pueden propagarse de dos maneras en una estructura cilíndrica. La primera posibilidad es que los haces luminosos se propaguen de forma perpendicular al eje del cilindro dando origen a los "modos circulares", y que pueden ser la base de un resonador pasivo o activo, dependiendo del material utilizado. En el segundo caso, las ondas pueden formar un ángulo Ψ con respecto al eje, dando origen a los "modos helicoidales". Es este último modo de propagación el que puede ser utilizado para realizar la caracterización de materiales ópticos transparentes.

En el presente documento se presenta un nuevo método de caracterización no destructiva de materiales ópticos transparentes, método basado en la propagación de los modos de galería y en la medida de potencia a lo largo de la trayectoria de propagación. En primera parte de este trabajo pasaremos revistas a los conceptos teóricos de base, y en la segunda describiremos la experiencia realizada en la cual se ha utilizado como cuerpo de prueba un cilindro en sílice (SiO_2).

2. MODELO TEÓRICO

Consideremos que un rayo luminoso se propaga al interior de un cilindro, de radio R_1 y de índice n_1 (figura 1), en un plano normal al eje Oz. Cada punto de este rayo puede ser representado por el par r, Ψ de las coordenadas cilíndricas. Este rayo se desplaza en línea recta entre la superficie lateral ($r = R_1$) y la caústica ($r = R_0$). En razón de la discontinuidad del índice en la interface aire/dieléctrico, el rayo puede sufrir una

reflexión total sobre la superficie lateral externa a condición que su ángulo de incidencia sea lo suficientemente grande. Por otro lado, el rayo luminoso es tangente a la caústica. Todos los rayos, que describen trayectorias similares, se reflejan con el mismo ángulo de incidencia sobre la superficie lateral y son tangentes a la misma superficie caústica. La región de espesor R_1-R_0 , es la región donde se encuentra confinada la energía luminosa y que es asociada a los radios.

La determinación de las características de propagación de los modos de galería, puede ser realizada por analogía con el caso de una guía plana de índice homogéneo. La interferencia de dos ondas planas elementales que se propagan en un medio de índice n , con una inclinación γ , y que sufren reflexiones totales en las interfases con los medios n_0 y n_1 , pueden dar lugar a un modo propio. En el caso de una estructura cilíndrica, relacionando los radios, la ecuación de dispersión se escribe [2]:

$$k_0 n_1 \left[\sqrt{R_1^2 - R_0^2} - R_0 \cos^{-1} \left(\frac{R_0}{R_1} \right) \right] = \Phi_{10} - \frac{\pi}{4} - m\pi \quad (1)$$

donde k_0 es el número de onda y vale $k = 2\pi/\lambda_0$, siendo λ_0 la longitud de onda luminosa en el vacío, Φ_{10} es el ángulo que representa el desfase entre superficie lateral de índice n_1 y el medio exterior de índice n_0 , m es el orden del modo ($m = 0, 1, 2, \dots$). El desarrollo limitado, hasta el segundo orden, de la ecuación (1) conduce a la expresión aproximada de Rom. A partir de la ecuación (1), que es válida para los modos TE y TM se pueden determinar el espesor radial donde se encuentra confinada la energía, el índice efectivo y el ángulo de incidencia, correspondientes a cada modo propagado.

3. PERDIDAS DE POTENCIA EN LAS SUPERFICIES CURVAS

Los modos de galería son modos de borde que giran por el lado cóncavo de la superficie lateral de un cilindro dieléctrico transparente, desplazándose, esencialmente, en una sección recta circular, a estos modos los llamaremos "modos circulares". En la dirección axial del cilindro, se pueden propagar también las ondas de manera helicoidal, a estos los llamaremos "modos helicoidales". La forma geométrica de este tipo de propagación se muestra en la figura 2. Si Ψ es el ángulo que forma el vector de onda k en la dirección axial, el paso L de la hélice descrito por los rayos luminosos viene dado por:

$$L = \frac{2 \pi R_1}{\text{tg} \Psi} \quad (2)$$

El radio de curvatura de la hélice esta dado por:

$$\rho = \frac{R_1}{\text{sen}^2 \Psi} \quad (3)$$

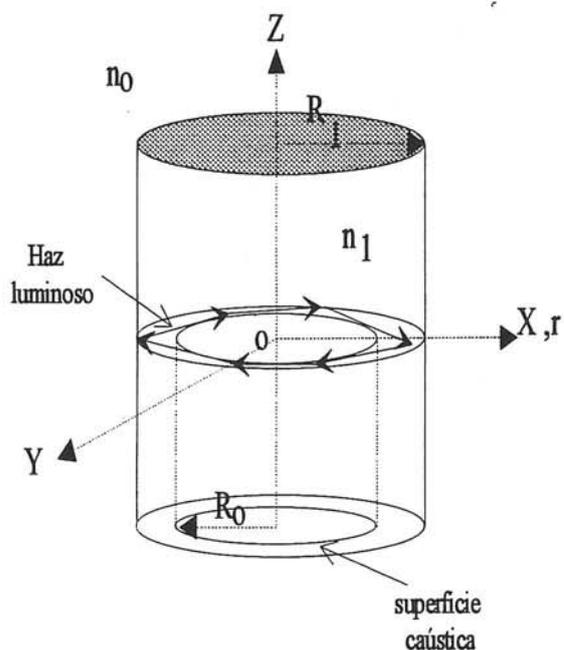


Figura 1. Propagación de modos de galería en una estructura cilíndrica.

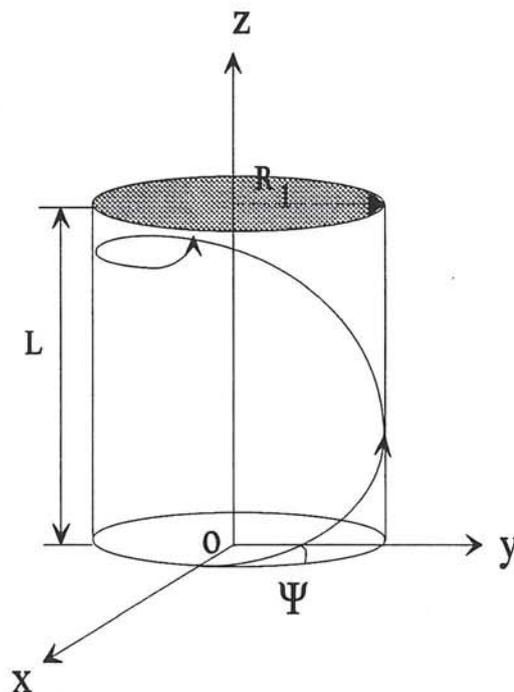


Figura 2. Propagación de "modos helicoidales" de galería óptica

El ángulo Ψ puede ser ajustado fácilmente. Las pérdidas de propagación pueden ser calculadas por la relación:

$$\alpha \text{ (dB)} = \frac{10}{l} \text{Ln} \left(\frac{P_s}{P_e} \right) \quad (4)$$

donde P_e es la potencia de entrada, P_s la potencia de salida y l la longitud entre los cuales se toma la medida y tiene por valor $l = 2\pi\rho$, en el caso de la trayectoria helicoidal.

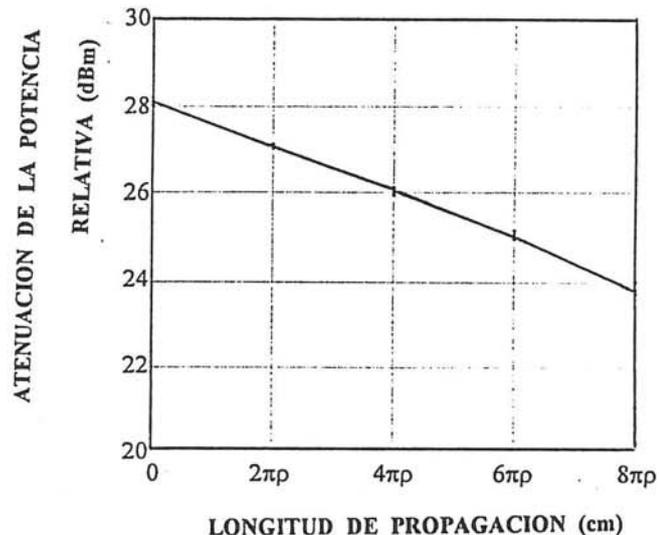
4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Después de haber demostrado la existencia de los modos de galería en estructuras cilíndricas, se procedió a realizar medidas de potencia óptica. A este efecto se utilizó un cilindro de vidrio en sílice de índice 1.457 ($\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$) y de 20 mm de radio. El acoplamiento de los modos se hizo a través de una red de difracción grabada en la parte convexa de cilindro. Para medir la potencia se ha utilizado el método de la fibra óptica [3]. Este método consiste en recolectar la luz difundida por el haz guiado en el cilindro de vidrio a través de una fibra óptica plástica de 1 mm de diámetro y de gran apertura numérica; ésta se desplaza muy cerca de la estructura de guiado. El método se basa en la hipótesis de que el

promedio de la cantidad de luz difundida y recolectada por la fibra es proporcional a la potencia guiada en el lugar en que se encuentra la fibra. De esta manera, es posible medir la evolución en el curso de la propagación la potencia guiada.

Como los modos "helicoidales" giran alrededor del cilindro transparente, es posible recorrer verticalmente la fibra recolectora de luz, y medir de esta manera la potencia luminosa en cada vuelta que gira el haz. Para los datos experimentales siguientes: $P_e = 26.8$ dBm, $P_s = 28.2$ dBm (medidos en una vuelta) y $\Psi = 81^\circ$; se encuentran: $L = 19.9$ mm, $\rho = 20.5$ mm y la atenuación, deducida de la ecuación (5), es de 0.39 dB/cm. La evolución de la atenuación por vueltas es mostrada en la figura 3. Para el cilindro utilizado, se ha podido obtener pérdidas de aproximadamente 0.5 dB/vuelta.

Figura 3.



5. CONCLUSION

En el presente trabajo se ha presentado un nuevo método de caracterización no destructiva de materiales transparentes utilizando los modos de galería. Los resultados obtenidos nos muestran que los modos de galería excitados se propagan con muy pocas pérdidas en las estructuras cilíndricas lo que facilita su medida de manera muy sencilla. Se ha utilizado una red de difracción para acoplar y excitar dichos modos, grabándose previamente la red sobre una capa de resina fotosensible.

REFERENCIAS

- [1] Lord RAYLEIGH (John William STRUTT, Baron RAYLEIGH). "The theory of sound". Vol. 2, 2º Ed. Dover Pub., N.J., pp. 126-128, 1945. (Reprint; orig. 1896).
- [2] M. LOMER et al. "Demostración experimental de los modos de galería ópticos en estructuras cilíndricas". VIII Symposium Nacional URSI, p. 1250, Valencia, septiembre 1993
- [3] N. NOURSHARGH, et al., "Simple technique for measurement attenuation of integrated optical waveguide". Elect. Lett., Vol. 21, pp. 818, August, 19985.

Se hace constar que este trabajo ha sido soportado por la CICYT, a través del proyecto: TIC92-0052-CO2-02, a la que los autores muestran su agradecimiento.