

---

# Empleo De Un Interferómetro De Sagnac Para La Medición De Lente Térmica De Soluciones Coloidales De Nanopartículas De Oro.

Ortega M. A<sup>a</sup>, L. Rodríguez<sup>b</sup> y L. Echevarría<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Departamento de Química, Universidad Simón Bolívar, Valle de Sartenejas, Baruta, Caracas D.C, Venezuela;*

<sup>b</sup> *Departamento de Física, Universidad Simón Bolívar, Valle de Sartenejas, Baruta, Caracas D.C, Venezuela.*

---

## RESUMEN

Se propone un modelo teórico-experimental para la medición de parámetros fototérmicos en sistemas coloidales de nanopartículas de oro. El sistema se basa en generar patrones de interferencia a dos haces con un interferómetro de Sagnac. Estos patrones son producto de pequeños cambios en el índice de refracción en las muestras de NPS coloidales. Estos cambios son monitoreados a la salida del interferómetro permitiendo la medida del desplazamiento de la fase fototérmica. Esta técnica combina la sensibilidad característica del experimento de Lente Térmica y la exactitud típica de los experimentos de interferometría. Las NPS de oro obtenidas por Ablación Láser de una placa de oro sumergida en dodecil sulfato de sodio (SDS), empleado como estabilizante. Se modificó para cada muestra el número de pulsos que inciden sobre el material, para así obtener diversas concentraciones de NPS en solución. Se realizó el análisis morfológico de las muestras mediante TEM, seguido de su caracterización por espectroscopía UV-Visible. Se observó una dependencia lineal entre la señal de Lente Térmica y la Absorción de estas muestras, así como del número de pulsos empleados para la Ablación.

**Palabras Clave:** Interferómetro de Sagnac, Lente Térmica, Ablación Láser, Nanopartículas de oro.

## ABSTRACT

We propose a theoretical and experimental model for measuring of photothermal parameters in colloidal gold nanoparticles system. This technique combines the sensitivity of thermal lens approach and the accurate of the interferometer techniques. The photo-thermal phase shift is induced by two counter-propagated beams generating small changes of the refractive index in the NPS colloidal sample. These changes are monitored at the exit of the interferometer allowing the direct measurement of the photothermal phase shift. The gold NPS was obtained by laser ablation of a plate of gold submerged in sodium dodecyl sulfate (SDS), employed as a stabilizing agent. Was modified for each shows the number of pulses that affect the material, thereby obtaining various concentrations of NPS solution. We performed morphological analysis of samples through TEM, followed by their characterization by UV-visible spectroscopy. A linear dependence between the signal lens and thermal absorption of these samples is found, as well as the number of pulses used for ablation.

**Keywords:** Sagnac Interferometer, Thermal Lens, Laser Ablation, gold Nanoparticles.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Cuando un láser pasa a través de un medio material con una absorción óptica finita, la temperatura en ese medio se incrementa debido al proceso de absorción óptica. Los cambios en temperatura inducen cambios en el índice de refracción, y en consecuencia, una distribución espacial de ese parámetro físico se induce en el material. Esta distribución espacial es llamada lente térmica, ya que actúa como un elemento difractor de luz, y tiene como origen un fenómeno térmico<sup>1</sup>.

La espectroscopía de Lente Térmica es un método analítico altamente sensible, para la determinación de propiedades termo-ópticas de solventes y soluciones<sup>ii,iii,iv</sup>. Muchos métodos han sido propuestos para la detección y obtención de señales de lente térmica<sup>v,vi,vii,viii</sup>. A pesar de lo versátil de estas técnicas, presentan algunas limitaciones en cuanto sensibilidad, adquisición de datos y conocimiento previo de parámetros geométricos se refiere, por lo que, se sugiere que los métodos interferométricos podrían reducir en gran medida estas limitaciones, cuando es combinado con técnicas de lente térmica. Se ha desarrollado un método para la medición de lente Térmica basado en interferometría a dos haces (Interferómetro de Sagnac). El método ha sido validado empleando soluciones etanólicas de Malaquita verde, logrando un análisis confiable de sus propiedades fototérmicas así como también de sus coeficientes de absorción lineal. En especial, la interferometría a dos haces es una de las más comunes, tanto por su relativa sencillez de implementación como por lo preciso de sus resultados. En un interferómetro de Sagnac, la intensidad luminosa  $I(p,\Phi)$  a la salida se expresa usualmente como:

$$I(p,\phi) = 2I_1 \left[ 1 + \cos 2\pi p + \phi \right] \quad (1)$$

Donde  $I_1$  corresponde a la intensidad de uno de los brazos del interferómetro,  $p = x/i$ , donde  $x$  es la coordenada espacial e  $i$  es la separación entre franjas.  $\Phi$  es la fase fototérmica y se representa como:

$$\phi = 1.32 AP_1 \frac{dn/dT}{\kappa\lambda} \quad (2)$$

Esta fase fototérmica está relacionada con la señal de Lente térmica mediante la siguiente expresión:

$$TLS = 1 - \frac{P(\phi)}{P(0)} = \frac{4\phi}{\pi} = \frac{1.7A}{\kappa\lambda} \left( \frac{dn}{dT} \right) P_1 \quad (3)$$

Así un cambio en la potencia incidente produce un cambio en la fase fototérmica, lo que ocasiona un cambio en la SLT. Las ventajas de este método con respecto a los demás métodos convencionales son: a) presentan un simple montaje experimental, b) no es necesario el movimiento mecánico de la muestra durante la medición, c) Se necesitan pocos parámetros experimentales para los cálculos, d) buena sensibilidad.

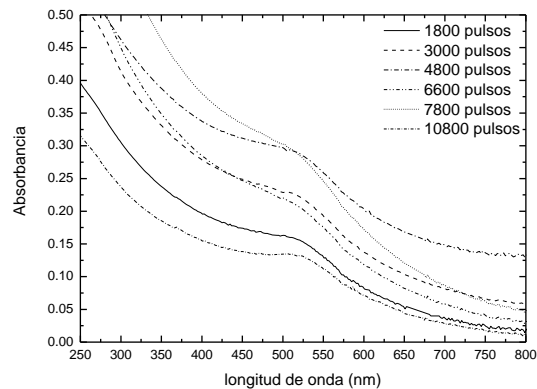
El empleo de estas técnicas acopladas podrá ser de gran utilidad para el estudio de propiedades termo-ópticas de sistemas peculiares como nanoestructuras metálicas, las cuales hoy en día tienen un gran impacto y aplicabilidad tanto en la industria como en la ciencia.

## 2. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Las nanopartículas de oro fueron producidas por ablación láser de una placa de oro 99.99% de pureza. La placa fue colocada en el fondo de un vial de vidrio sumergida en aproximadamente 3 mL de solución del surfactante SDS de concentración 4,5 mM. La placa fue irradiada con un láser Nd:YAG, modelo Surelite II Q-Switched, con pulsos de ns de duración (8 ns), frecuencia de 10 Hz, y longitud de onda correspondiente al tercer armónico (355 nm). El haz fue enfocado sobre la placa empleando una lente acromática de 30 cm de distancia focal, para producir las nanopartículas por Ablación Láser. Una vez irradiadas la solución se tornó color rosado claro. Se prepararon muestras con diferentes números de pulsos (como indica la Tabla 1), con el objetivo de establecer una relación entre la señal de Lente térmica y la cantidad de nanopartículas en solución. En la fig. 1 se muestran los espectros de Absorbancia de dichas muestras.

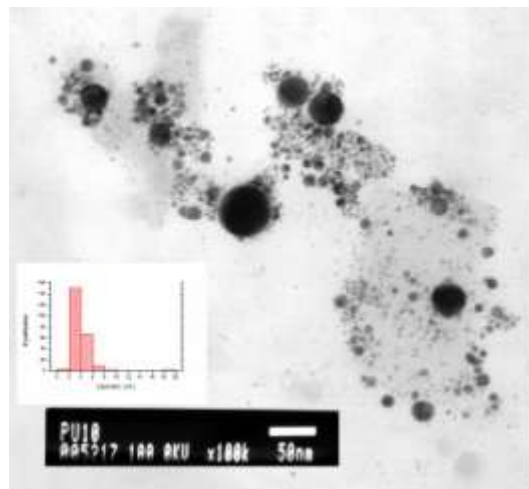
**Tabla 1.** Información de las muestras de NPS empleadas en el experimento.

Muestra	#pulsos	$\lambda_{\max}$	A <sub>max</sub>
T6	1800	520.82	0.1324
T64	3000	500.82	0.1631
T61	4800	504.82	0.2300
T65	6600	508.82	0.2941
T62	7800	500.82	0.2200
T63	10800	490.82	0.3128



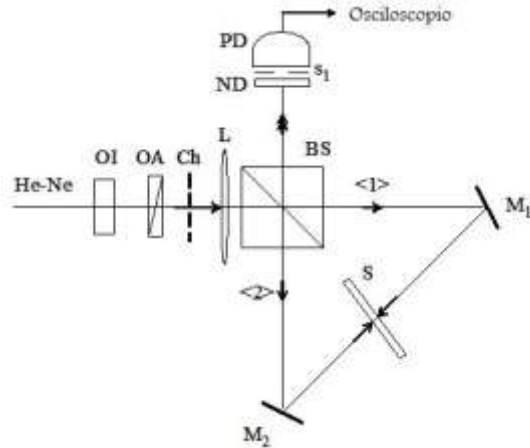
**Figura 1.** Espectros de Absorbancia de Nanopartículas de oro, obtenidas por Ablación Láser a diferentes número de pulsos.

Las NPs de oro obtenidas fueron caracterizadas mediante TEM, encontrando un tamaño promedio de 2-15 nm aproximadamente. En la Fig. 2 se muestra una micrografía con su respectivo diagrama de distribución.

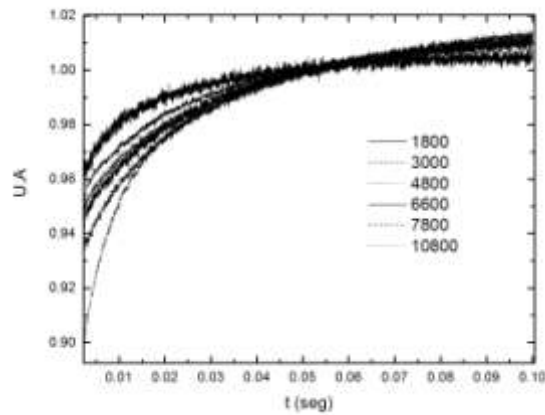


**Figura 2.** Micrografía de NPs de oro generada por Ablación Láser y su respectivo histograma de distribución de tamaño.

El montaje empleado para el estudio de las propiedades ópticas es el mostrado en la fig. 3. Se utilizó una fuente de luz monocromática un láser semiconductor de 5mW ( $\lambda=532$  nm), la cual se modula con un chopper. Se emplea un beam splitter cubico BS que divide el haz en dos haces (50-50), uno en el sentido de las agujas del reloj y el otro en sentido opuesto. Se colocaron espejos metálicos M1 y M2, para direccionar el haz y originar los patrones de interferencia. Este BS y los espejos son los que forman el interferómetro de Sagnac. Se emplea una lente L de distancia focal 20 cm, que enfoca el haz directamente sobre la muestra S. se empleó un cubeta de cuarzo de 1 cm de paso optico para la muestra. Se utilizaron dos detectores uno para la Referencia y un fotodiodo PD que recoge la señal, se pasa por un amplificador y luego a un osciloscopio para el análisis y tratamiento. Las señales de Lente térmica obtenidas para las diferentes muestras de NPS se observan en la Fig. 4.

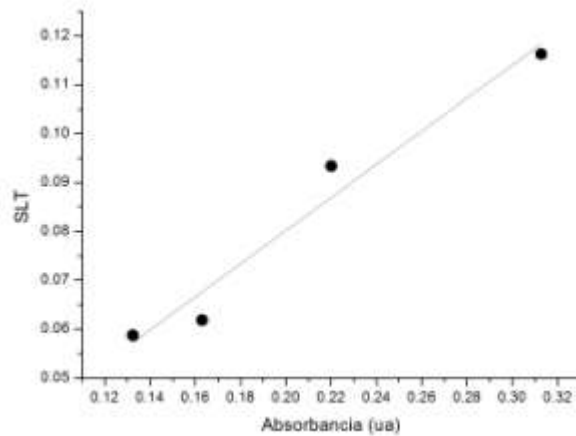


**Figura 3.** Diagrama Esquemático para la determinación de Lente Térmica basado en un interferómetro de Sagnac.

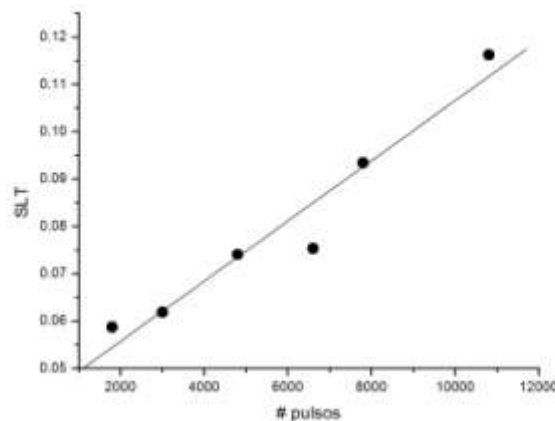


**Figura 4.** Señales de Lente térmica de las respectivas muestras de NPs de oro obtenidas por ablación láser a diferentes número de pulsos.

Por la ecuación (3) podemos notar que existe una relación lineal entre la SLT la absorbancia. Al graficar la señal de Lente térmica obtenida para cada muestra de NPs de oro generadas por Ablación Láser a diferentes número de pulsos con la absorbancia, se observa una relación lineal, como se observa en la Fig. 5 y Fig. 6. De la pendiente de esta gráfica se puede obtener la información correspondiente a las propiedades termo-ópticas de las muestras de NPs de oro coloidales. Con estos resultados se puede ver como esta técnica permite la determinación de propiedades termo-ópticas de nanopartículas coloidales, con una gran sensibilidad comparada con los métodos convencionales utilizados hoy en día.



**Figura 5.** Relacion entre la SLT y la Absorbancia de cada muestra.



**Figura 6.** Relación entre SLT y numero de pulsos empleados para la obtención de NPS por Ablación Láser.

## CONCLUSIONES

Mediante el empleo de la interferometría se logró obtener información termo-óptica importante de los sistemas coloidales de NPS de oro. Se encontró una dependencia lineal entre la señal de Lente Térmica con la cantidad de NPS en solución. Esta dependencia demuestra la factibilidad del método para la caracterización y el estudio de las propiedades termo-ópticas de nanopartículas en medios coloidales.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al proyecto de grupo FONACIT (Grant G97000593), y al Decanato de Investigación y Desarrollo de la Universidad Simón Bolívar proyecto Grants S1-IC-CB-008-06 and S1-IN-CB-002-07 por financiar todo lo relacionado con este trabajo.

---

## REFERENCIAS

- <sup>i</sup>. J. R. Whinnery, "Laser measurement of optical absorption in liquids," *Acc. Chem. Res.* **7**, pp. 225-231, 1974.
- <sup>ii</sup>. R. C. C. Leite, R. S. Moore, and J. R. Whinnery, "Low absorption measurements by means of the thermal lens effect using an He-Ne laser." *Appl. Phys. Lett.* **5**, pp. 141-143, 1964.
- <sup>iii</sup>. D. Solimini, "Loss Measurements of organic materials at 6328 Å," *J. Appl. Phys.* **37**, pp. 3314-3315, 1996.
- <sup>iv</sup>. J. Stone, "Measurements of the absorption of light in low-loss liquids", *J. Opt. Soc. Am.* **62**, pp. 327-333, 1972.
- <sup>v</sup>. N. J. Dovichi, "Thermooptics spectrophotometries in analytical chemistry," *Crit. Rev. Anal. Chem.* **17**, pp. 357-423, 1987.
- <sup>vi</sup>. K. L. Jansen and J. M. Harris, "Thermal Lens Measurements by Optical Computation of the Laser Beam Spot Size," *Anal. Chem.* **57**, pp. 1698-1703, 1985.
- <sup>vii</sup>. J. Shen, R. D. Lowe, and R. D. Snook, "A model for cw laser induced mode mismatched dual-beam thermal lens spectrometry," *Chem. Phys.* **165**, pp. 385-396, 1992.
- <sup>viii</sup>. A. Marcano, C. Loper, and N. Melikechi, "Pump-probe mode-mismatched thermal-lens Z scan," *J. Opt. Soc. Am. B.* **19**, pp. 119-124, 2002.