



Medición Del Porcentaje De Grasa En Leche Líquida Usando “Tapers” De Fibra Óptica

Measuring The Percentage Of Milk Fat Using Optical Fiber Tapers

H. A. Muñoz-Ossa¹, E. Reyes-Vera¹, J. D. Causado-Buelvas¹, G. J. Lora-Jaramillo¹, D. M. Dominguez-Gómez¹, P. Torres¹

¹Grupo de Fotónica & Opto-electrónica, Escuela de Física, Universidad Nacional de Colombia-sede Medellín, A.A.3840, Medellín, Colombia

Recibido 29.07.10; Aceptado 08.12.10; Publicado en línea 04.10.11.

Resumen

En este trabajo se emplea un sensor de campo evanescente adelgazando (“taper”) una fibra óptica para la detección del porcentaje de grasa presente en leche líquida. Esta medida es un índice importante de calidad ya que se correlaciona con la cantidad de proteínas presentes en este producto. El “taper” se fabrica calentando y estirando una longitud relativamente pequeña de fibra óptica, de manera que se aumenta la sensibilidad de los modos guiados en la región adelgazada a los cambios del índice de refracción del medio externo. El principio del sensor se basa en la modulación de la intensidad de la luz producida por la variación en el porcentaje de grasa en la leche.

Palabras clave: Campo evanescente; Fibra óptica; Estructura de fibra óptica; Sensor de fibra óptica.

Abstract

In this work, we use a tapered-optical-fiber-based evanescent field sensor for detecting the percentage of fat in milk. This measure is an important index of quality as it is correlated with the amount of protein present in this product. The tapered fiber was made by heating and stretching a relatively small length of optical fiber, so as to increase the sensitivity of the guided modes in the region thinned to changes in the refractive index of the external medium. The sensor principle is based on the modulation of the light intensity produced by the variation in the percentage of fat in milk.

Keywords: Evanescent field; Optical fiber; Optical fiber structure; Optical fiber sensor.

© 2011 Revista Colombiana de Física. Todos los derechos reservados.

1. Introducción

Actualmente, hay un creciente interés en el desarrollo de estructuras sensoras basados en fibra óptica. Entre estas estructuras, las secciones adelgazadas (“tapers”) de fibras ópticas monomodo son dispositivos simples y muy sensibles a los cambios del índice de refracción del medio circundante y a la longitud de onda de la luz que se propaga por ellas [1,2]. Se puede describir el comportamiento de estos dispositivos en términos de la forma como se propaga la luz en las diferentes regiones que lo conforman como se ilustra en la Fig. 1. Aquí se observa una primera región de fibra sin modificaciones

antes del taper; una segunda región de transición en la que el diámetro de la fibra disminuye; la tercera región constituye la cintura del taper; la cuarta región es una nueva transición en la que el diámetro de la fibra aumenta; la quinta, y última región, es nuevamente la fibra sin modificaciones después del taper.

En el caso de tapers de fibra óptica monomodo, solamente se excita el modo de propagación fundamental en la primera región que, como en cualquier modo de propagación, se pueden distinguir dos componentes del campo electromagnético, la que está dentro del núcleo y la componente evanescente que se propaga por la región del

* hamunoz@unal.edu.co

revestimiento de la fibra, que por ser mucho más gruesa que el núcleo, hace que la interacción con el medio externo sea insignificante. Entonces, la potencia óptica transmitida por la fibra se acopla a los modos del revestimiento de la tercera región a través de la segunda región de transición. Como la cintura es la parte más delgada del taper, el núcleo de la fibra prácticamente colapsa, de tal manera que esta tercera región se admite como un cilindro dieléctrico multimodo, por el que se pueden excitar modos de orden superior cuyas componentes evanescentes interactúan con el medio externo, de tal manera que la luz que alcance la cuarta región es re-acoplada en la última sección del taper, presentando pérdidas de potencia óptica atribuidas a la interacción con el mesurando. Algunos sensores usan la posibilidad de curvar la región adelgazada del taper para excitar modos de orden acimutal [3] como de ajustar la respuesta mediante la deposición películas delgadas [4,5].



Fig. 1. Estructura de una fibra óptica adelgazada (“taper”).

Como parte de una investigación en curso, en este trabajo se propone usar tapers de fibra óptica para la detección del porcentaje de grasa presente en leche líquida. La leche es un líquido biológico complejo, cuya composición y características físicas varían de especie en especie. Como se puede ver en la Fig. 2, la leche de vaca consiste de un 87 % de agua y 13 % de sustancias en suspensión y otras disueltas [6].

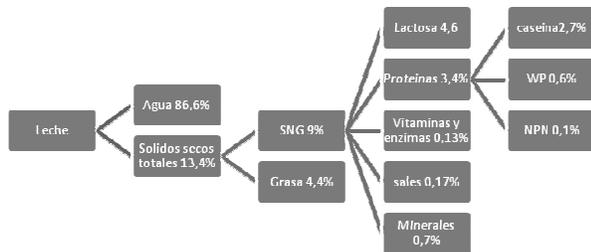


Fig. 2. Composición de la leche de vaca.

Estas sustancias disueltas y en suspensión son las que le dan las propiedades específicas a la leche, encontrándose ligadas unas con otras. La grasa y las proteínas tienen una

relación esencial dentro de la mezcla, ya que la leche es una emulsión butírica de glóbulos de grasa dentro de un fluido a base de agua. Cada glóbulo de grasa está rodeada por una membrana compuesta de fosfolípidos y proteínas; además, las vitaminas como la A, D, E y K, se encuentran dentro de la porción más grasosa de la leche. Entonces al medir el porcentaje de grasa en la leche se tiene una correlación de su contenido nutricional.

2. Fabricación de tapers de fibra óptica

Varios tapers se fabricaron calentando una pequeña sección de fibra óptica y aplicando tensión a uno de los extremos de la fibra mientras que el otro extremo está fijo. La otra alternativa que se tiene es por ataque químico [7], con la que los tapers se caracterizarían por la eliminación del revestimiento de la fibra, mientras que por calentamiento y tensión se mantiene la razón geométrica entre el revestimiento y el núcleo de la fibra.

En la literatura se encuentra que la fibra se puede calentar con un pequeño quemador que se mueve de forma oscilante para calentar la longitud total del taper, con láser de CO₂ o un arco eléctrico. En este trabajo se usó un sistema de bajo costo consistente de un quemador portátil que ofrece una llama de un diámetro de 3mm.

En la Fig. 3 se muestra una fotografía y el perfil típico de los tapers construidos. Las zonas de transición tienen normalmente diferentes longitudes debido a la técnica utilizada para adelgazar la fibra.

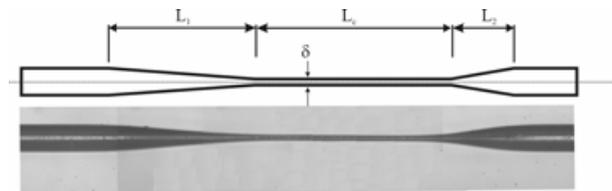


Fig. 3. Perfil y fotografía de uno de los tapers de fibra óptica fabricados.

3. Mecanismo de sensado y metodología

La medición del porcentaje de grasa en leche líquida se hizo con un taper de longitud adelgazada $L_w=1.5$ cm, siendo una región relativamente grande de sensado, en la que se presentan dos efectos importantes. El primero se relaciona con la tensión superficial asociada con la concentración de grasa en la muestra, que atrae las micelas de grasa (asociaciones proteína-grasa presentes en la leche) a las paredes de la fibra. El segundo efecto, de menor magnitud, es la presión de radiación que acelera las micelas hacia el taper por ser la región de mayor intensidad del haz de luz. El resultado de todo esto es el agolpamiento

de las micelas a lo largo del taper como se muestra en la fig. 4, en donde interactúan con la componente evanescente de los modos propagantes excitados, induciendo pérdidas de potencia óptica.

Metodológicamente, el taper se sumerge en un pequeño recipiente que se llena con muestras de leche de vaca preparadas con diferentes porcentajes de grasa siguiendo el protocolo en [6]. Como se muestra en la Fig. 5, el taper se acomoda en un soporte haciendo una pequeña tensión para evitar que la región adelgazada se curve, ya que se ha observado que las curvaturas producen oscilaciones en la potencia óptica [3].

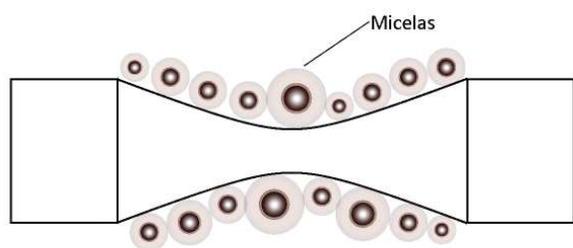


Fig. 4. Explicación del mecanismo de sensado para medir el porcentaje de grasa en la leche. Las micelas de grasa presentes en la muestra se agolpan a lo largo del taper, en donde interactúan con la componente evanescente de los modos de propagación excitados, induciendo pérdidas de potencia óptica.

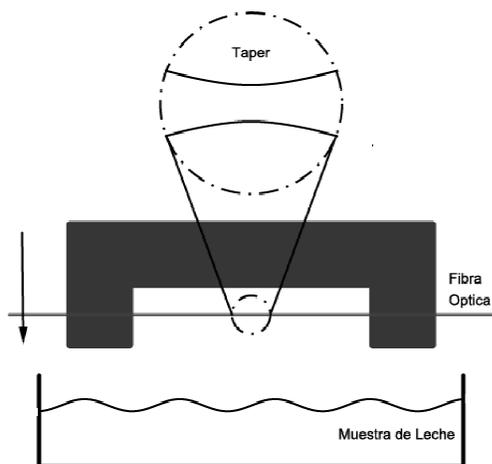


Fig. 5. Montaje experimental utilizado para medir el porcentaje de grasa en leche líquida con un taper de fibra óptica.

Un punto importante para el sensado de cualquier tipo de grasa con este esquema de medición, es el protocolo de limpieza del taper para garantizar la calidad de las medidas. Aquí, se desnaturalizaron los residuos de leche con una sustancia polar como la acetona de alta pureza,

para luego realizar un enjuague con agua destilada hasta conseguir la potencia óptica inicial (en aire); alternativamente se puede usar isopropanol, pero en algunos casos se observó la formación de una capa que afecta directamente la medida.

4. Resultado experimental

Cuando se sumerge el taper en cada una de las muestras durante un tiempo determinado, se hace la adquisición de las lecturas de potencia con un medidor de potencia óptica, el cual se programa para promediar las lecturas de potencia registradas. Los resultados obtenidos se presentan en la Fig. 6. Como era de esperarse, la potencia óptica disminuye con el porcentaje de grasa presente en la leche o, en otras palabras, al haber un mayor número de micelas que interactúan con la componente evanescente de los modos excitados en la cintura del taper, se aumentan las pérdidas de energía óptica. El ajuste de la curva experimental muestra que el esquema de detección propuesto es adecuado, en la que la sensibilidad del sensor fabricado es de 0.00425 mW/%. La linealidad de la respuesta experimental depende del número de modos excitados en la cintura del taper. Si se fabrica un sensor con un diámetro de la cintura mayor, en general, la respuesta es más lineal a costa de una menor sensibilidad. En cualquier caso, es necesario considerar primero la transmisión característica del sensor.

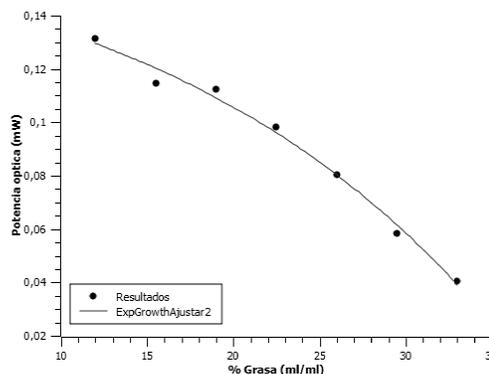


Fig. 6. Datos experimentales de la potencia óptica promedio como una función del porcentaje de grasa en leche de vaca líquida.

5. Conclusiones

En este trabajo queda demostrado el uso de tapers de fibras óptica como un esquema de detección del porcentaje de grasa en leche líquida. El mecanismo de sensado se basa en el agolpamiento a lo largo de la cintura del taper de las micelas presentes en la leche, que al interactuar con la componente evanescente de los modos de propagación excitados inducen pérdidas de potencia óptica.

Si bien los resultados son preliminares, es posible, mediante la evaluación de curvas de transmisión características, encontrar las condiciones de máxima sensibilidad para fabricar un sensor optimizado para este tipo de medidas.

6. Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, a través del programa Darwin-DIME, código 90202046.

Referencias

- [1] S. Lacroix, R. Black, C. Veilleux, J. Lapierre. Tapered single-mode fibers: external refractive index dependence. En: *Applied Optics*. Vol. 25, No. 15 (Aug., 1986); p. 2468. ISSN 0003-6935.
- [2] R. J. Black, S. Lacroix, F. Gonthier, J. D. Love. Tapered single-mode fibers and devices. Part 2. Experimental and theoretical quantification. En: *IEE Proceedings J*. Vol. 138, No. 5 (Oct., 1991); p. 355. ISSN 0267-3932.
- [3] L. C. Bobb, P. M. Shankar, H. D. Krumboltz. Bending effects in biconically tapered single-mode fibers. En: *Journal of Lightwave Technology*. Vol. 8, No.7 (July, 1990); p. 1084. ISSN 0733-8724.
- [4] J. M. Lopez-Higuera. *Handbook of optical fibre sensing technology*. Baffins Lane: John Wiley and Sons, 2002, p. 795 ISBN 0-471-82053-9.
- [5] O. S. Wolfbeis. Fiber-optic chemical sensors and biosensors. En: *Analytical Chemistry*. Vol. 76, No. 12 (June, 2004); p.3269. ISSN 0003-2700.
- [6] Robert G. Jensen. *Handbook of Milk Composition*. Elsevier Inc., 1995, p. 543. ISBN 978-0-12-384430-9.
- [7] H. S. Haddock, P. M. Shankar, R. Mutharasan. Fabrication of biconical tapered optical fibers using hydrofluoric acid. En: *Materials Science and Engineering B*. Vol. 97, No. 1 (Jan., 2003); p. 87. ISSN 0921-5107.