

INFLUENCIA DEL ANCHO DE BANDA ESPECTRAL DE LA LUZ EN LAS MEDICIONES POLARIMÉTRICAS EN LA ZONA VISIBLE E INFRARROJA

V. Fajer¹; J.C.; López; J. Ravelo; W. Mora; H. Fernández y G. Cossío
Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear

RESUMEN

La necesidad de eliminar el subacetato de plomo en las mediciones de control en las fábricas de azúcar, ha dado lugar a un trabajo intenso en la dirección de emplear el intervalo de longitudes de onda comprendidas entre 0.780 y 0.900 μm en las fuentes de luz empleadas en los polarímetros automáticos. El ancho espectral de dichas fuentes constituye un aspecto crítico para su aplicación en estos instrumentos debido a la influencia de la longitud de onda en la rotación angular óptica. La ventaja que ofrece el principio magnetoóptico de medición se analiza y se compara con el método de medición directo. Se confirman los resultados obtenidos al valorar el comportamiento en mediciones azucareras de un polarímetro magnetoóptico desarrollado que utiliza un diodo láser de 0.783 μm .

Palabras claves: polarímetros, infrarrojo, diodos láser, dispersión rotatoria, magnetoóptica.

ABSTRACT

The necessity of eliminating lead acetate in the control measurements of the sugar factories, has originated an intensive work in the employment of wavelengths in the range from 0,780 to 0,900 μm for light sources used in automatic polarimeters. The spectral bandwidth of these sources constitutes a critical aspect for its application in these instruments, due to the strong influence of the wavelength in the optical angular rotation. The advantage that offers the magneto-optic principle is analyzed and it is compared with the direct measuring method. The results obtained in the measurements with a polarimeter that employs a 0.783 μm diode laser as light source, confirm the validity of employment of the diode laser.

Key words: polarimeter, infrared, diode laser, rotary dispersion, magneto-optic.

INTRODUCCIÓN

La disminución del empleo del subacetato de plomo en la clarificación en las industrias y laboratorios es una cuestión de extraordinaria atención debido a la incidencia nociva de esta sustancia en la naturaleza, especialmente en la naturaleza animal. El empleo de fuentes infrarrojas en polarímetros permite la eliminación de este agente contaminante en los análisis de control [1], [2], [3].

Los instrumentos que han sido diseñados para estos fines emplean principalmente, lámparas de tungsteno-halógeno como fuentes de luz y filtros de interferencia. La fuerte influencia del ancho espectral de la luz en las mediciones polarimétricas obliga su estudio para valorar la factibilidad de empleo de distintas fuentes luminosas en los polarímetros automáticos. La absorción de los azúcares y subproductos también resulta importante para la elección de dicha fuente.

Existe una fuerte tendencia de empleo de los diodos láser en el diseño y construcción de instrumentos ópticos por sus ventajas, sus posibilidades de uso tienen vinculación con el sistema de medición que se escoja por los proyectistas de instrumentos. En el presente trabajo se analiza teórica y experimentalmente la viabilidad del empleo de esta fuente de luz en polarímetros automáticos.

MEDICIONES EXPERIMENTALES Y MODELO TEÓRICO

Una de las fuentes de luz más eficientes y modernas que emite en el mencionado intervalo es el diodo láser, sin embargo su ancho de banda espectral puede hacer cuestionable su empleo en polarimetría dados los fuertes requisitos de ancho de banda espectral exigidos para algunos esquemas de trabajo no magneto-ópticos.

Tabla I. Comparación entre las características de los láseres utilizados en polarímetros automáticos.

Características	Láser de He-Ne	Diodo láser infrarrojo
Longitud de onda(λ) (μm)	0.6328	0.783
Ancho de banda del espectro de emisión (MHz)	1 (monomodo)	> 20 a)
Divergencia (mrad)	≈ 1	$\approx 10^2$ b)
Consumo (W)	≈ 10	≤ 1
Eficiencia total (%)	≈ 0.1	> 20
Tiempo de vida (h)	20 000	> 50 000 c)

a) Ancho de banda del espectro de emisión.

b) La gran divergencia, en lo que a láser concierne también puede ser reducida hasta el orden de 1 mrad, empleando un sistema óptico simple.

c) El tiempo de vida del dispositivo puede duplicarse por cada reducción de 10 °C y viceversa.

Dos aspectos de primera importancia requieren ser analizados para valorar la factibilidad de empleo de las fuentes luminosas: el ancho espectral admisible de acuerdo con el principio de medición empleado y la absorción de las soluciones de azúcar, jugos y mieles en el intervalo infrarrojo.

Debido a la semejanza entre las dispersiones rotatorias de los azúcares en general y de los vidrios utilizados en las celdas de Faraday (flint pesados), resulta atractivo pensar en el empleo de los diodos láser en polarímetros automáticos que utilicen el sistema magneto-óptico. En el presente trabajo se valora analíticamente la factibilidad del empleo de los diodos láser utilizando el principio de medición referido.

La utilización del efecto magneto-óptico ha sido ampliamente difundida en los aisladores ópticos, en los láseres y también se ha empleado con éxito en la construcción de polarímetros [4], [5].

Este efecto consiste en la rotación del plano de polarización de la radiación durante su paso a través de un material colocado en un campo magnético. El valor de la rotación está dada por:

$$\theta = BIV \quad (1)$$

donde B es la componente de la intensidad del campo magnético paralela a la dirección de propagación, I es la longitud del material colocado bajo la acción del campo y V es la denominada constante de Verdet, que es una medida de la capacidad del material magneto-óptico para rotar el plano de polarización de la luz.

Mediciones de absorción de azúcares y mieles

Para valorar la absorción de los azúcares y mieles obtenidos en el proceso de producción azucarera se midieron en un espectrofotómetro Unicam 25 muestras de azúcares crudos y 25 muestras de mieles.

Se observó una curva decreciente con tendencia predominante del tipo inversamente proporcional al cuadrado de la longitud de onda y como aspecto de interés una depresión en la longitud de onda de 0.960 μm en el caso de los azúcares, no presente en el caso de las mieles.

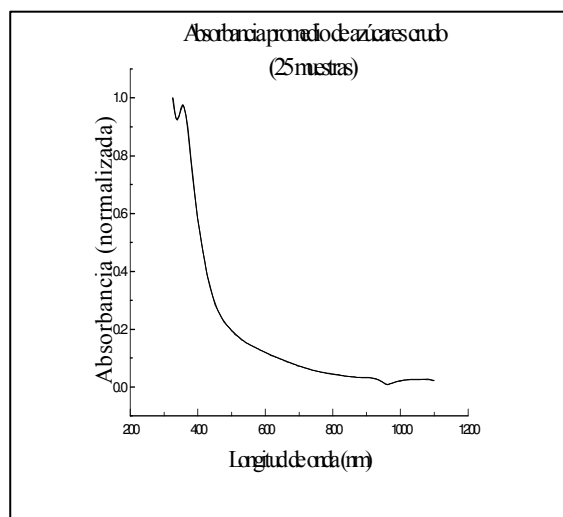


Figura 1. Curva de absorción de los azúcares crudos.

Las curvas obtenidas corroboran la validez de empleo de la longitud de onda de 0.783 μm , en la longitud de onda de 0.880 μm existe menor absorción y significativamente menor se presenta la misma a 0.960 μm . Esto resulta un hecho de interés

al constituir el promedio de la medición de 25 muestras y puede hacer aconsejable el empleo de esta última longitud de onda en los polarímetros infrarrojos.

Tabla II. Valores de absorción de la luz en azúcares crudos.

Longitud de onda (nm)	Azúcares crudos	Desviación típica
545	0,329	0,066
590	0,267	0,056
630	0,218	0,050
785	0,092	0,033
880	0,060	0,027
960	0,006	0,022
1060	0,045	0,018

Los valores de absorbancia que aparecen en la Tabla II junto a los valores de la desviación típica de la medición sugieren el empleo de fuentes luminosas de 960 nm en el diseño de polarímetros infrarrojos.

Influencia de la longitud de onda en el infrarrojo cercano para las longitudes de onda más utilizadas en polarimetría

En la Tabla III se muestran los valores de la dispersión rotatoria de la sacarosa, el cuarzo y el vidrio flint pesado SF-59. Esta coincidencia de los valores de la dispersión rotatoria ha sido la base del

empleo en sacarímetros de cuñas de cuarzo de la luz blanca y constituye el fundamento del análisis de los autores de las ventajas del método magneto-óptico para el uso de los diodos láseres con relación al método de medición angular directo.

A continuación se presentan las distintas fórmulas [3, 6] empleadas para la obtención de los valores de la dispersión rotatoria mostradas en la Tabla III.

Dispersión rotatoria del cuarzo:

$$[\alpha_\lambda] = a_0 + a_1 \cdot \lambda^{-2} + a_2 \cdot \lambda^{-4} + a_3 \cdot \lambda^{-6} \quad (2)$$

donde: $[\alpha_\lambda]$ es la rotación angular en grados y λ representa la longitud de onda en μm ,

$$a_0 = -0.1963657, \quad a_1 = 7.262667,$$

$$a_2 = 0.1171867, \quad a_3 = 0.0019554.$$

Dispersión rotatoria para una solución de sacarosa:

$$[\alpha_\lambda] = [\alpha_{546}] / (a_0 + a_1 a_1 \lambda^2 + a_2 \lambda^4 + a_3 \lambda^6) \quad (3)$$

donde $a_0 = -0.075047659, \quad a_1 = 3.588221,$

$$a_2 = 0.0519461783, \quad a_3 = -0.006515194677$$

Dispersión rotatoria para el vidrio SF59

$$[\alpha_\lambda] = 3.0857 (\eta_\lambda^2 - 1) (\eta_\lambda \lambda)^{-1} (a_0 + a_1 / (\lambda^2 - \lambda_0^2)) \quad (4)$$

$$a_0 = 2.2638, \quad a_1 = 0.68410, \quad \lambda_0 = 0.1753$$

Tabla III. Valores obtenidos de los giros producidos por la sacarosa y por la celda de Faraday que utiliza un vidrio flint pesado SF-59.

Long.de onda (μm)	F59 (min/Oecm)	Giro de la celda ($^\circ$)	Sacarosa ($^\circ$)	Diferencia magneto-óptico ($^\circ$)	Diferencia Método directo ($^\circ$)
0.78293	0.066614	19.0323	19.0328	0.00051	0.00355
0.78294	0.066613	19.0318	19.0323	0.00044	0.00304
0.78295	0.066611	19.0314	19.0318	0.00037	0.00253
0.78296	0.066610	19.0310	19.0313	0.00029	0.00203
0.78297	0.066608	19.0305	19.0308	0.00022	0.00152
0.78298	0.066607	19.0301	19.0303	0.00015	0.00101
0.78299	0.066605	19.0297	19.0297	0.00007	0.00051
0.78300	0.066604	19.0292	19.0292	0.00000	0.00000
0.78301	0.066602	19.0288	19.0287	-0.00007	-0.00051
0.78302	0.066601	19.0284	19.0282	-0.00015	-0.00101
0.78303	0.066599	19.0279	19.0277	-0.00022	-0.00152
0.78304	0.066598	19.0275	19.0272	-0.00029	-0.00203
0.78305	0.066596	19.0271	19.0267	-0.00037	-0.00253
0.78306	0.066595	19.0266	19.0262	-0.00044	-0.00304
0.78307	0.066593	19.0262	19.0257	-0.00051	-0.00355

donde n_λ es el índice de refracción para la longitud de onda λ dado por la fórmula de dispersión para el vidrio SF59:

$$n_\lambda = \sqrt{(1 + (a_1 \lambda^2 / (\lambda^2 - b_1)) + a_2 \lambda^2 / (\lambda^2 - b_2)) + a_3 \lambda^2 / (\lambda^2 - b_3))} \quad (5)$$

$$a_1 = 2.05775824, \quad a_2 = 0.528644661, \quad a_3 = 1.00043574,$$

$$b_1 = 0.01677996, \quad b_2 = 0.06553358, \quad b_3 = 1.10E + 02$$

la longitud de onda está en μm .

Descripción y mediciones en el polarímetro magnetoóptico

Se introdujo un láser semiconductor de $0.783 \mu\text{m}$ en un polarímetro automático de la serie LASERPOL diseñado y construido en el CEADEN con vistas a comprobar experimentalmente la factibilidad de empleo del mismo para la medición de muestras de jugo de caña sin utilizar la clarificación con subacetato de Pb.

El LASERPOL NIR está proyectado sobre la base del principio magneto-óptico de medición concebido por los autores [4,5]. Se seleccionó el láser semiconductor de $0.783 \mu\text{m}$ debido a su amplia utilización en diferentes ramas de la técnica, su fácil adquisición y bajo costo.

El instrumento mide dentro del intervalo de medición en grados angulares de -1.1° a $+1.1^\circ$; tiene una exactitud de $\pm 0.005^\circ$, un mínimo de transmisión de la sustancia (a $0.783 \mu\text{m}$) de 4 % y una longitud máxima del tubo polarimétrico de 100 mm. Las muestras de productos azucareros se midieron también con un polarímetro alemán SUCROMAT que emplea la longitud de onda de $0.880 \mu\text{m}$ que se utiliza como referencia.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados de las mediciones de absorción en azúcares se muestran en la Figura 1 donde se observa la fuerte tendencia a disminuir la absorción desde la zona visible hacia la infrarroja, lo cual favorece el empleo de la zona infrarroja cercana con el objetivo de realizar mediciones sin clarificar. Adicionalmente se muestra una interesante disminución en el valor de $0.960 \mu\text{m}$.

En la Tabla IV se resumen los resultados de las mediciones polarimétricas realizadas con jugos de caña. Se hicieron 50 mediciones con 3 placas de cuarzo de 0.623° , 0.459° y -0.461° y se obtuvieron las siguientes incertidumbres: 0.002° , 0.002° y 0.003° respectivamente. Se realizaron 30 mediciones dobles, (dos muestras por cada medición) de jugos de caña clarificados (C) y sin clarificar (S/C) con el LASERPOL NIR.

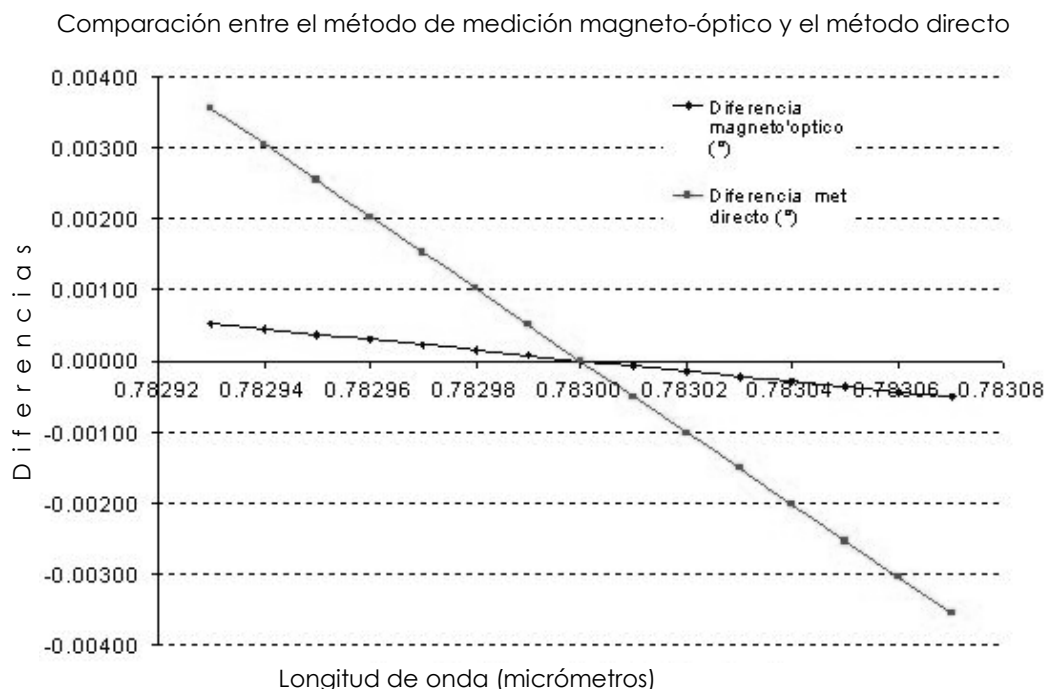


Figura 2. Diferencias entre los valores obtenidos por el método directo y el magneto-óptico al variar la longitud de onda alrededor de $0.783 \mu\text{m}$.

Tabla IV. Resultados de los análisis de jugos de caña en los 2 polarímetros

	Diferencias (S/C-C)	
	SUCROMAT	LASERPOL
Media de las diferencias	0.001°	0.001°
Desviación estándar de las diferencias	0.003°	0.005°

Se observa muy buena concordancia entre los resultados de ambos instrumentos, lo que avala la posibilidad de empleo del diodo láser de 0.783 μm cuando se utiliza el método magnetoóptico de medición.

Basados en las fórmulas empíricas que describen la dispersión rotatoria de los materiales antes mencionados se realizaron los cálculos correspondientes y se obtuvieron los siguientes resultados:

- Para el método de medición angular directa:

Variaciones en longitud de onda

$$\Delta\lambda = 0.000\ 03\ \mu\text{m}\ \text{origina variaciones de } \Delta\theta = 0.0015^\circ.$$

- Para el método de medición magneto-óptico:

Variaciones en longitud de onda

$$\Delta\lambda = 0.000\ 03\ \mu\text{m}\ \text{originan variaciones de } \Delta\theta = 0.0002^\circ.$$

Se observa la ventaja del método magnetoóptico en cuanto a la disminución de la influencia de la longitud de onda, se confirma la viabilidad de uso de los diodos láser cuando se emplea el método

magneto-óptico. Las predicciones teóricas fueron confirmadas experimentalmente al incluir un diodo láser de 0.783 μm como fuente de luz de un polarímetro magneto-óptico. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla IV.

CONCLUSIONES

- La absorbancia de la luz en los jugos de caña para la longitud de onda de 0.783 μm permite eliminar el subacetato de Pb en los análisis polarimétricos.
- La longitud de onda de 0.960 μm debe estudiarse como valor óptimo en la construcción de polarímetros infrarrojos por su ventaja en cuanto a absorción relativa a la longitud de 0.880 μm , utilizada en la mayoría de los polarímetros infrarrojos.
- El diodo láser constituye una fuente de luz atractiva en aplicaciones de polarimetría cuando se emplea el principio de medición magneto-óptico.
- El método magneto-óptico disminuye de forma significativa la influencia negativa de la inestabilidad o incertidumbre en la longitud onda.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento a los especialistas del Departamento de Investigaciones Analíticas de la Subdirección de Química del Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras por la colaboración brindada.

REFERENCIAS

- [1] DUNSMORE, A. (1993): "The quest to eliminate the use of lead in the laboratory", Part 2. **Proceedings of the South African Technologists Association**. June.
- [2] CHEN, J. (1993): "Some comments on NIR-polarimetry". **Int. Sugar JNL**, 95(1129).
- [3] EMMERIC, A.; J. KEITEL; M. MOSCHE and W. SEILER (1997): "Rotatory dispersion of sucrose solutions and quartz in the near infrared". **Report ICUMSA 1897-1997**, 9-19.
- [4] FAJER, V. et al. (1998): **Electronic polarimeter**. U K Patent. GB2286244A.
- [5] FAJER, V. (1996): "Laser polarimeters: Overview of recent developments, design and applications". **Journal of laser applications** 8, 43-53.
- [6] KEITEL, J. (1997): "Polarimetry and Quartz Plates", **Subject 4. Proceedings of ICUMSA**, 20.