

# Estudio de reflexiones múltiples dentro de núcleos de celdas de Faraday

Víctor Fajer, Andrés Combarro, Justo Ravelo, Aida Rosales y José L. Díaz Morera. Buró Especial para la Construcción de Instrumentos Científicos de la Academia de Ciencias de Cuba

## RESUMEN

---

En el presente trabajo se realiza un estudio experimental de reflexiones múltiples dentro del vidrio que se utiliza como núcleo de una celda de Faraday, con vistas a aumentar los giros producidos a la luz linealmente polarizada debido a este efecto. Se analiza estadísticamente para el caso de 3, 5 y 7 recorridos, dentro de qué límites se conserva la linealidad (ángulo girado-corriente) con vistas a la aplicación de las reflexiones múltiples en la construcción de instrumentos tales como polarímetros sacarimétricos, los cuales son de amplia aplicación en los laboratorios azucareros. Como fuente luminosa se empleó un laser de He-Ne.

## ABSTRACT

---

An experimental work, concerned with multiple reflections inside a Faraday cell core, is described. This work was performed in order to increase the rotation of the linear polarized light produced by the cell. The limits in which the linearity (angle-current) still valid is analyzed by statistical methods, in order to apply the multiple reflections in the construction of instruments, such as automatic polarimeters which are widely employed in the sugar laboratories. A HE-NE laser was used as light source

## 1. INTRODUCCIÓN

---

El empleo del efecto de Faraday en distintos instrumentos modernos de medición ha divulgado el conocimiento del mismo en nuestra época. Dicho efecto fue descubierto en el año 1846, como resultados de laboriosos intentos de Faraday para descubrir la relación existente entre los fenómenos luminosos y magnéticos. Dicho efecto se manifiesta en el hecho de

que las sustancias ópticamente inactivas se convierten en activas cuando se someten a un campo magnético paralelo a la dirección de propagación de la onda luminosa.

El giro del plano de polarización de la luz, linealmente polarizada es proporcional a la intensidad del campo magnético aplicado y a la longitud del camino recorrido por la luz a través de la sustancia sometida a dicho campo para un material dado. Este hecho puede utilizarse para lograr giros apreciables si en una misma barra de vidrio se colocan espejos en sus extremos de forma de aumentar el número de recorridos dentro del mismo. El empleo de las reflexiones múltiples a su vez presenta dificultades para recorridos mayores de 0,5 m debido a pérdidas de linealidad como resultado de birrefringencias residuales /JAECKLIN, 1972/ que aparecen en los vidrios comúnmente empleados para estos fines.

En el presente trabajo se realizó un estudio de reflexiones múltiples dentro de una barra de vidrio flint pesado soviético del tipo TF-1 para los casos de 3, 5 y 7 reflexiones.

Este estudio se ha dirigido hacia su aplicación en la polarimetría azucarera donde la solución normal de azúcar en un tubo normalizado de 200 mm, provoca un giro de  $29,751^\circ$  a  $20^\circ\text{C}$  para la longitud de onda del láser de He-Ne. Para la construcción de un sacarímetro fotoeléctrico basado en el efecto Faraday que permita la medición en el tubo normalizado de 200 mm, se planteó la tarea de evaluar experimentalmente la linealidad de una celda de Faraday en cuyo núcleo de vidrio tienen lugar recorridos múltiples y compararla con los altos requisitos de linealidad exigidos por el trabajo de laboratorio en las fábricas de azúcar y laboratorios azucareros en general.

En este trabajo se estudia la posibilidad de extender, mediante el empleo de reflexiones múltiples, la aplicación del efecto Faraday a instrumentos de medición que requieran giros apreciables.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO:

El estudio de las reflexiones múltiples dentro de una celda de Faraday se realizó en la instalación experimental cuyo esquema se muestra en la figura 1. /Fajer, 1983/.

La instalación experimental está constituida por una fuente de luz (1) (láser de He-Ne), un prisma polarizador (2), una celda de Faraday (3) trabajando como modulador, es decir, realizando la oscilación del plano de polarización a una frecuencia igual a la señal de corriente que se aplica al solenoide, una celda de estudio (4), conectada a una fuente de corriente directa (9) con un amperímetro (8) de alta precisión, un

prisma analizador (5) montado en un goniómetro de una precisión de 0,003; un fotosensor (6) y por último un osciloscopio.

El principio de medición del ángulo de giro del plano de polarización, efectuado por la celda de estudio con reflexiones múltiples, que se empleó en este trabajo es el que se basa en el método de compensación. El prisma polarizador y el analizador se colocan de modo tal que sus planes de transmisión máxima se encuentran en un ángulo relativo de  $90^\circ$ . Luego, al aplicar una cantidad de corriente continua al solenoide que constituye la celda de Faraday de estudio, se produce un giro del plano de polarización de la luz. Finalmente se hace girar al prisma analizador en el sentido conveniente hasta obtener la compensación. El valor de la rotación del analizador entre la posición inicial y la compensación es una medida del ángulo de giro introducido por la celda de Faraday.

La señal del osciloscopio que se muestra en la figura 2 se utilizó como indicador en la determinación de la corriente de compensación. Esta se obtiene introduciendo por el canal X el voltaje del modulador y por el canal Y la señal obtenida en el fotosensor (en nuestro caso un fototransistor alemán del tipo SP 201D).

Para la realización de las reflexiones múltiples se escogió una barra de vidrio flint pesado soviético del tipo TF-1 de 100 mm de largo y 10 mm de diámetro. Esta barra fue analizada en un polarímetro fotoeléctrico (SUCROMAT) donde se observó que no presentaba actividad óptica residual al rotarla alrededor del eje del cilindro. Las caras de los extremos fueron plateadas y posteriormente se retiró parte de la película de plata, como se indica esquemáticamente en la figura 3, con el fin de permitir la entrada y salida de la luz.

El número de recorridos requeridos se obtuvo utilizando un soporte en forma de cuña de inclinación ajustable, el número de los cuales se determinó de acuerdo con el giro del plano de polarización de la luz obtenido. Se realizaron preliminarmente mediciones para 3,5 y 7 recorridos (figura 4), posteriormente se seleccionó para realizar un estudio estadístico cuidadoso el caso de cinco recorridos, que permite obtener giros, mayores que el correspondiente a la solución normal de azúcar en un tubo polarimétrico de 200 mm. El caso de tres recorridos no permite alcanzar los giros necesarios para las aplicaciones previstas. Al emplear siete reflexiones se observa preliminarmente mayor inestabilidad que en el caso de cinco recorridos.

### 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN:

Para decidir si en las reflexiones múltiples se mantiene una relación lineal ángulo girado-corriente, se utilizó la prueba F mediante la cual

se puede analizar si es lineal el fenómeno estudiado y la repetibilidad de las mediciones.

Se realizaron seis series de mediciones (ángulo girado-corriente). A estos datos se le aplicó la prueba F relacionando la varianza  $S_1^2$  de los puntos por mínimos cuadrados con la varianza promedio de los puntos. Con este fin se utilizó la expresión:

donde

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

$$S_1^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{\ell=1}^k \frac{(\alpha_{i\ell} - aI_i - b)^2}{nk - 2}, \quad (1)$$

y

$$S_2^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{\ell=1}^k \frac{(\alpha_{i\ell} - \bar{\alpha}_i)^2}{n(k-1)}, \quad (2)$$

Se designa por  $\alpha_{i\ell}$  el ángulo medido relativo a la observación  $\ell$ -ésima de las  $k$  observaciones realizadas y correspondiente a la corriente  $I_i$ ;  $\bar{\alpha}_i$  representa el promedio de las  $k$  observaciones. Esta prueba resulta razonable al comparar la variabilidad alrededor de la curva ajustada (numerador) con la variabilidad inherente a los valores  $\alpha_{i\ell}$ , que es independiente de la forma de la relación funcional (denominador). Si existe linealidad, las variaciones deben poder compararse satisfactoriamente /Bowker, 1964/.

Como resultado de los experimentos realizados se midieron 13 puntos y se realizaron seis repeticiones de cada punto. El valor de  $F = 1,10$  obtenido es menor que el correspondiente a  $F_{0,75; 100,60} = 1,16$  por lo cual se acepta la hipótesis de que el fenómeno estudiado es lineal.

Otro aspecto analizado, a través de la prueba F fue la repetibilidad de las mediciones, en este caso se escogió como  $S_1^2$  la varianza de los mínimos cuadrados empleando la expresión (1) y como  $S_2^2$  la varianza de los mínimos cuadrados correspondiente al promedio de todas las series individuales (rectas). La expresión empleada para  $S_2^2$  fue la siguiente:

$$S_2^2 = \sum_{\ell=1}^k \sum_{i=1}^n \frac{(\alpha_{i\ell} - a_{\ell}I_i - b_{\ell})^2}{(n-2)k} \quad (3)$$

El valor de  $F = 1,33$  obtenido en este caso es menor que el correspondiente a  $F_{0,90; 100,60} = 1,36$  por lo cual comprobamos que los valores se reproducen adecuadamente.

Del análisis de la tabla 1 se puede observar que la linealidad obtenida oscila entre  $6,8 \cdot 10^{-3}^\circ$  y  $16,8 \cdot 10^{-3}^\circ$ . Los valores mayores de no linealidad están influidos por inestabilidad en las mediciones de corriente

mayores que 1,2 A por efecto de calentamiento de la celda de estudio.

#### 4. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS:

Del estudio experimental se concluye la posibilidad de emplear las reflexiones múltiples en Celdas de Faraday para un recorrido de 0,5 m en la construcción de equipos que requieran una linealidad de hasta 0.04 % por lo que sería aplicable a la producción de sacarímetros fotoeléctricos con posibilidades de medición de soluciones técnicas de azúcar en un tubo de 200 mm, utilizando 26 g de azúcar en 100 ml de solución a la temperatura de 20°C.

Los dispositivos estudiados pueden utilizarse además, para la automatización de algunas fases de la producción industrial de azúcar y en la construcción de instrumentos tales como medidores de corriente en líneas de alta tensión, de aplicación en la Industria Eléctrica /Jaecklin, 1970/.

TABLA 1

Valores de la pendiente y el intersepto de las distintas rectas analizadas S representa la desviación típica de los valores de los ángulos medidos asumiendo error constante.

$$\alpha_{il} = a_{\ell} I_i + b_{\ell}$$

$a_{\ell}$	$b_{\ell}$	S (grados)
18,321 ± 7,6.10 <sup>-3</sup>	- 2,8.10 <sup>-3</sup> ± 7,7.10 <sup>-6</sup>	16,8.10 <sup>-3</sup>
18,327 ± 7,2.10 <sup>-3</sup>	3,2.10 <sup>-3</sup> ± 8,1.10 <sup>-6</sup>	16,0.10 <sup>-3</sup>
18,342 ± 7,0.10 <sup>-3</sup>	- 1,8.10 <sup>-3</sup> ± 4,6.10 <sup>-6</sup>	16,0.10 <sup>-3</sup>
18,337 ± 6,9.10 <sup>-3</sup>	- 1,8.10 <sup>-3</sup> ± 4,5.10 <sup>-6</sup>	15,2.10 <sup>-3</sup>
18,344 ± 4,2.10 <sup>-3</sup>	4,2.10 <sup>-3</sup> ± 6,3.10 <sup>-6</sup>	9,3.10 <sup>-3</sup>
18,354 ± 3,1.10 <sup>-3</sup>	- 0,88.10 <sup>-3</sup> ± 0,9.10 <sup>-6</sup>	6,8.10 <sup>-3</sup>

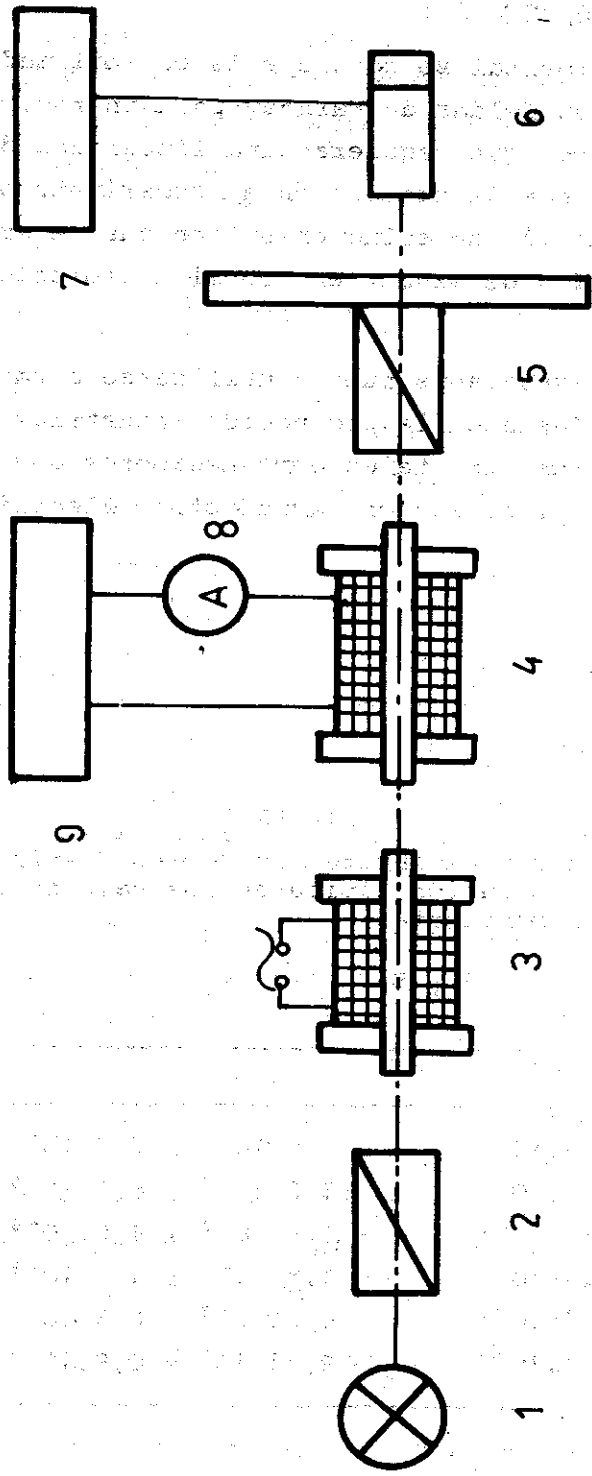


Fig.1 Esquema de la instalación experimental

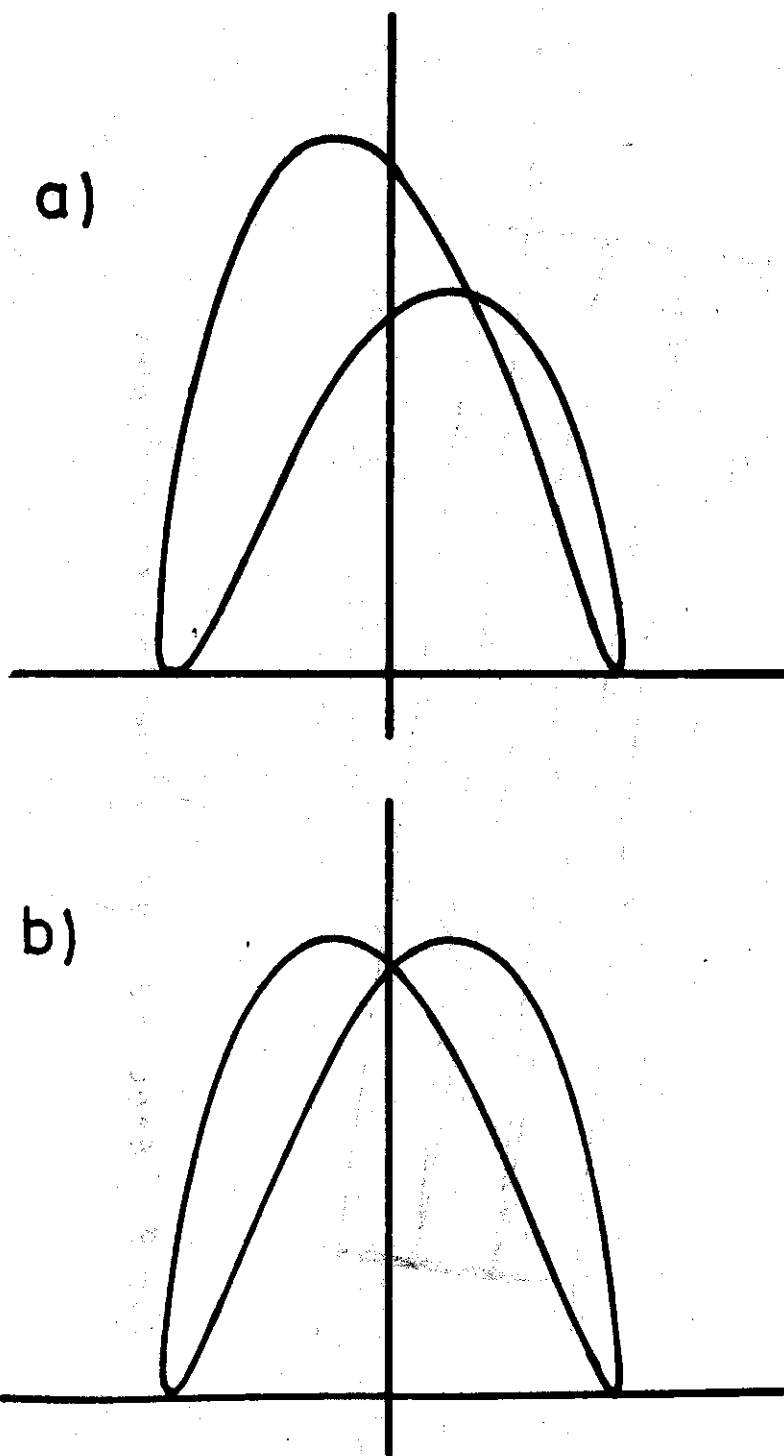
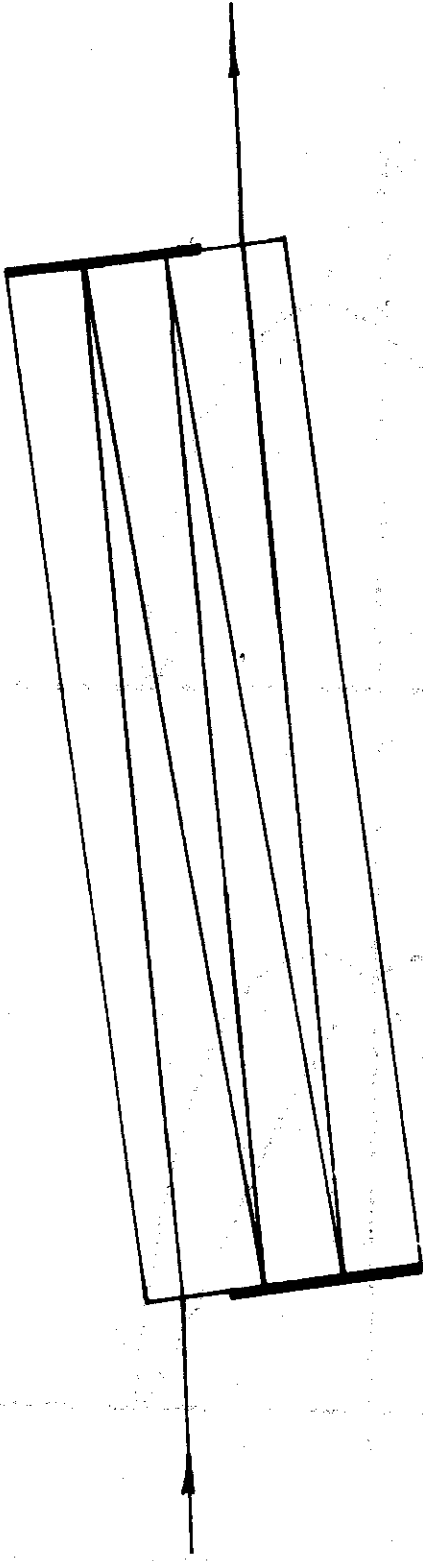


Fig. 2. Curvas obtenidas en el osciloscopio  
a) Situación no compensada  
b) Situación compensada



*Fig. 3 Esquema de reflexiones múltiples*



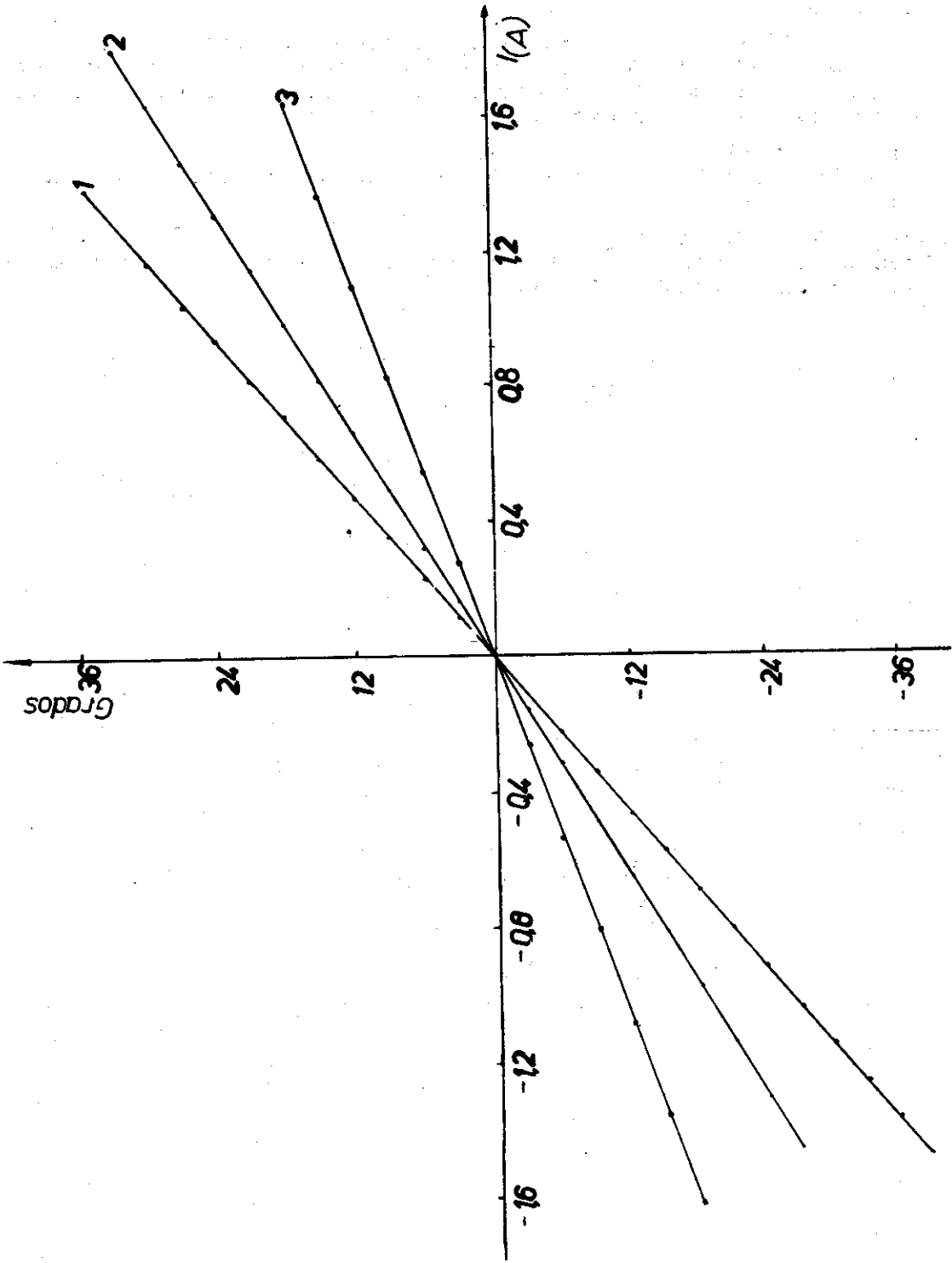


Figura 4

## 5. BIBLIOGRAFÍA

1. Bowker, A. y G. Lieberman (1984)  
Engineering Statistics. Edit. Revolucionaria. La Habana, Inst. del Libro, 1era. Edn. 585 pp.
2. Fajer, V.; R. Díaz, A. Combarro; J.L. Díaz y J. Ravelo (1983)  
Diseño y estudio de Celdas de Faraday para su aplicación en mediciones de polarimetría y sacarimetría. Revista Cubana de Física (en proceso de publicación).
3. Jaecklin, A. (1970)  
Measuring Current at Extra-High Voltage. Laser Focus Magazine (6):35.
4. Jaecklin, A.A. y M. Lietz (1972)  
Elimination of Disturbing Birefringence Effects on Faraday Rotation. Applied Optics, 11 (3): 617.

Recibido: 28/6/84