

Corrección de la distribución de intensidades de la imagen del patrón de difracción de un láser obtenida con una cámara digital



Cleva Mario S., Sampallo Guillermo M., González Thomas Arturo O. Acosta Christian A.

Departamento de Materias Básicas, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Resistencia, French 414, Resistencia, Chaco, CP H3500CHJ, Argentina.

E-mail: clevamario@hotmail.com

(Recibido el 15 de Marzo de 2011; aceptado el 27 de Junio de 2011)

Resumen

Este trabajo presenta un método de calibración que permite corregir los perfiles de intensidad de imágenes proyectadas de patrones de difracción de diferentes rendijas obtenidas con una cámara digital convencional para que respondan a los modelos teóricos. Los apartamientos observados se pueden explicar por la falta de linealidad en la respuesta del sensor de la cámara ante los cambios de intensidad. El método propuesto permite corregir satisfactoriamente los perfiles de intensidad para diferentes anchos de rendijas, es sencillo de implementar y no requiere de instrumentos especiales.

Palabras clave: Cámara Digital, Calibración, Difracción de una rendija simple.

Abstract

This paper presents a calibration method to correct the intensity profiles of projected images of diffraction patterns of different slits obtained with a conventional digital camera to respond to theoretical models. The observed deviations can be explained by the nonlinearity in the response of the camera sensor to changes in intensity. The proposed method successfully corrects the intensity profiles for different widths of slits, is simple to implement and requires no special tools.

Keywords: Digital camera, Calibration, Single Slit Diffraction.

PACS: 42.86.+b, 42.30.-d, 06.60.-c, 01.40.-d.

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

La disminución del costo de las cámaras digitales, la mejora de sus características y su inclusión como parte del grupo de accesorios en la telefonía celular, hacen que estos dispositivos estén disponibles y sean usados en forma masiva aunque, en general, no son aprovechados en todo su potencial, particularmente en las clases de laboratorio de física.

La imagen y el video digital se han empleado en la enseñanza y en investigación en diferentes ramas de la Física. En enseñanza, especialmente en las experiencias de Laboratorio de Cinemática. Sampallo y Meza [1] proponen el empleo de un video de unos pocos segundos registrado por una cámara digital para extraer información de los parámetros cinemáticos que describen el movimiento de un cuerpo, y hacer un análisis del mismo. Calderón *et al.* [2] estudian el tiro oblicuo de un proyectil bajo diferentes condiciones, mostrando los apartamientos en relación a las situaciones ideales a través del análisis de las gráficas de posición y velocidad obtenidas de un video.

En investigación, Martínez *et al.* [3] comparan los datos de un vehículo en movimiento obtenidos con un

acelerómetro con los obtenidos a partir del análisis de un video. Cleva *et al.* [4] emplearon la misma técnica de análisis de video para analizar los parámetros que describen la marcha humana. En estos dos últimos trabajos se registraron los movimientos con una cámara de video VHS, siendo luego la secuencia digitalizada para su posterior procesamiento empleando una placa editora de video. El tratamiento de las imágenes dependía en estos casos del software que acompañaba a los equipos o de las habilidades para programar del investigador.

En los trabajos mencionados la intensidad en las imágenes no es relevante, siendo importante la resolución de las mismas.

El empleo de la cámara digital en algunas experiencias de laboratorio de óptica fue presentado por Valdés Castro y Tricio [5]. Dentro de las actividades proponen una experiencia referida a la determinación del patrón de intensidades del máximo central de difracción de una rendija. En el mismo no se hace referencia al comportamiento del sensor de la cámara ante los cambios de intensidad.

En este trabajo se propone un procedimiento de calibración que permite corregir las desviaciones que

Corrección de la distribución de intensidades de la imagen del patrón de difracción de un láser obtenida con una cámara digital

presentan los sensores de las cámaras compactas y las incorporadas en los celulares ante los cambios de intensidad.

II. MATERIALES

Se utilizó como fuente de luz un Diodo láser Pasco (5mW-650nm), una pantalla de múltiples rendijas de 0.02, 0.04, 0.08 y 0.16mm, una cámara digital Samsung S860 y un banco óptico. Se construyó una caja en forma de paralelepípedo abierta en sus extremos opuestos, en cuyo interior se alojó una pantalla traslúcida con una escala ubicada sobre la misma (Fig. 1).

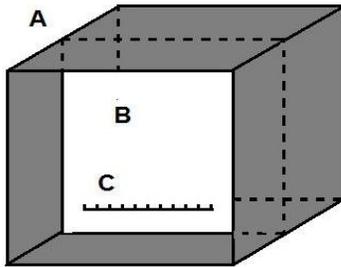


FIGURA 1. Dispositivo para visualizar las imágenes de los patrones de difracción. (A) Caja (B) Pantalla traslúcida (C) Escala de referencia.

Esta caja tiene como fin disminuir la influencia de la iluminación exterior sobre el patrón de difracción proyectado en la pantalla. El procesamiento de las imágenes se realizó con el programa de distribución gratuita ImageJ® [6] y los datos obtenidos fueron procesados en una planilla de cálculo.

III. TECNICA EXPERIMENTAL

A. Obtención de las imágenes de los patrones de difracción

Se ilumina la ranura con el láser y su patrón de difracción se proyecta sobre la pantalla traslúcida alojada en la caja ubicada a 120cm de la ranura. El montaje empleado se muestra en la Fig. 2.

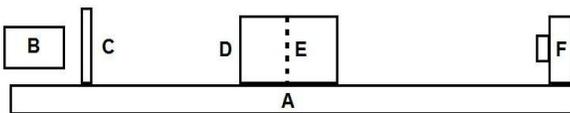


FIGURA 2. Distribución de los elementos para el registro de las imágenes: (A) Banco óptico (B) Láser (C) Rendijas (D) Caja para visualizar el patrón (E) Pantalla traslúcida (F) Cámara.

La cámara se coloca apuntando hacia la pantalla, del lado opuesto a la ubicación del láser. Todo el sistema tiene un eje óptico común. La cámara se configuró en 1MP de resolución y en modo manual. Las imágenes obtenidas de los patrones se procesan con el programa ImageJ® [6]. Este programa permite establecer el factor de escala (mm/pixel) que se usará en todas las imágenes. Para obtener el perfil de la distribución de intensidades, se traza una línea recta AB que coincida con el eje longitudinal de la distribución como muestra la Fig. 3. El programa devuelve la tabla de valores de niveles de grises, su posición relativa y la gráfica correspondiente.

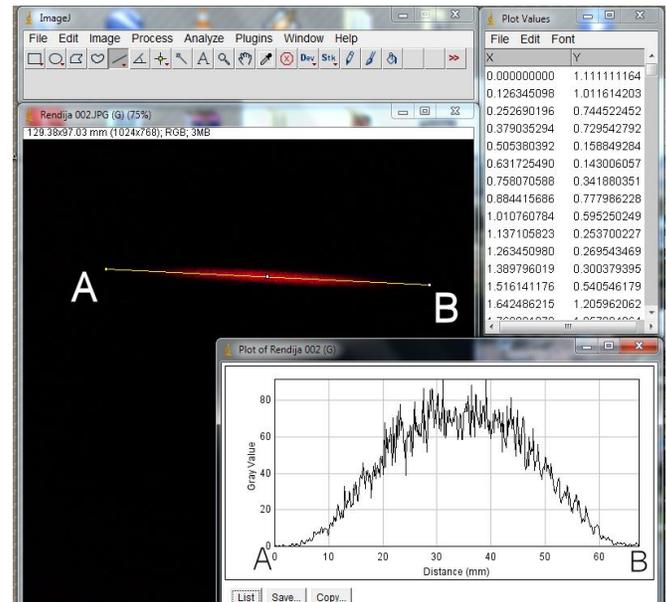


FIGURA 3. Interfase del programa ImageJ donde se muestra el patrón de difracción de una ranura, donde se traza una línea recta AB para extraer información de la distribución de intensidad.

Las Figs. 4, 6, 8 y 10 muestran las imágenes obtenidas de las ranuras de 0.02, 0.04, 0.08 y 0.16mm respectivamente. Las gráficas de las Figs. 5, 7, 9 y 11 muestran la distribución de las intensidades, en tonos de gris (trazo claro) en función de la posición. Superpuesta a esta se construye la distribución de intensidades suavizada con el objeto de reducir el speckle.

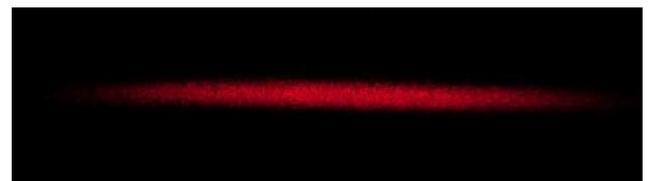


FIGURA 4. Patrón de difracción de una rendija de 0.02mm.

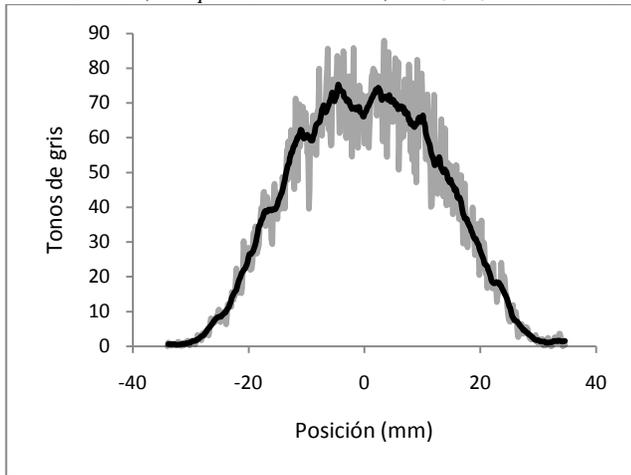


FIGURA 5. Distribución de intensidades en función de la posición para la rendija de 0.02mm. En trazo claro datos experimentales y en trazo oscuro datos suavizados.

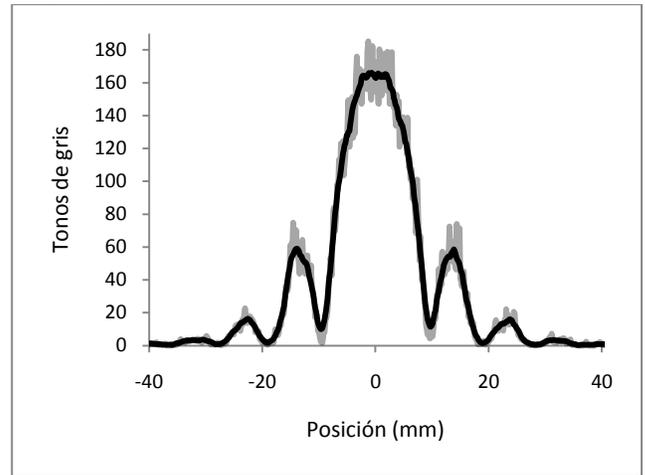


FIGURA 9. Distribución de intensidades en función de la posición para la rendija de 0.08mm. En trazo claro datos experimentales y en trazo oscuro datos suavizados.

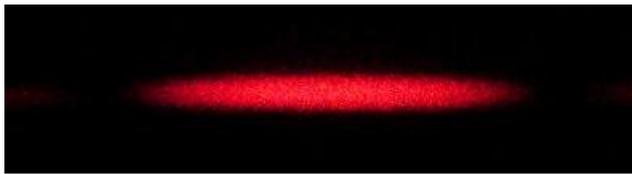


FIGURA 6. Patrón de difracción de una rendija de 0.04mm.

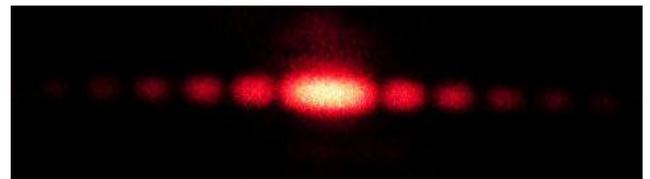


FIGURA 10. Patrón de difracción de una rendija de 0.16mm.

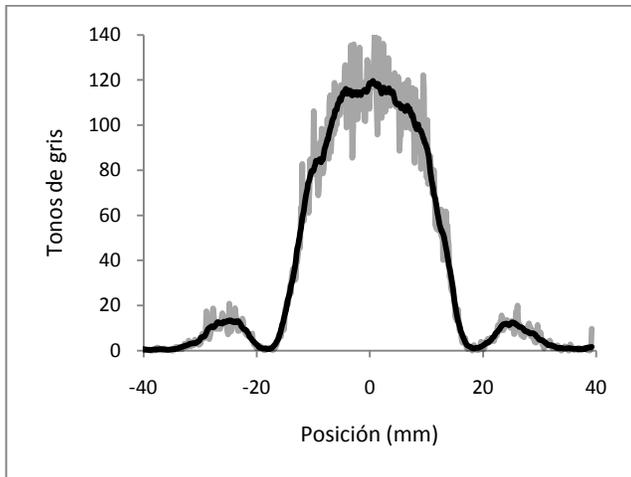


FIGURA 7. Distribución de intensidades en función de la posición para la rendija de 0.04mm. En trazo claro datos experimentales y en trazo oscuro datos suavizados.

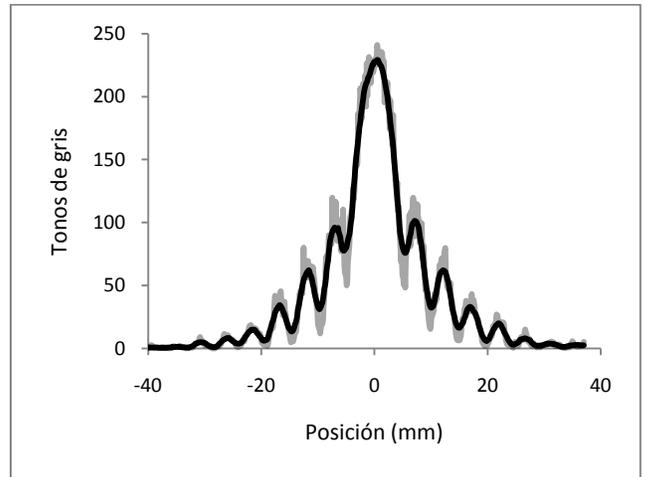


FIGURA 11. Distribución de intensidades en función de la posición para la rendija de 0.16mm. En trazo claro datos experimentales y en trazo oscuro datos suavizados.

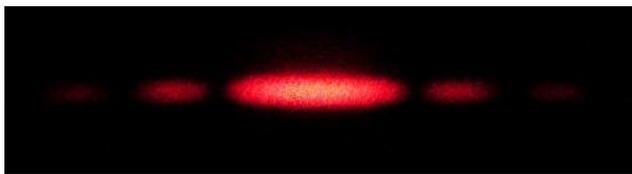


FIGURA 8. Patrón de difracción de una rendija de 0.08mm.

En la Fig. 12 se muestran los valores normalizados del patrón obtenido experimentalmente de la rendija de 0.08mm y superpuesto la distribución de intensidades del modelo teórico para la misma ranura cuya expresión matemática está dada por

$$\frac{I}{I_0} = \left[\frac{\text{sen}(\theta)}{\theta} \right]^2,$$

Corrección de la distribución de intensidades de la imagen del patrón de difracción de un láser obtenida con una cámara digital donde I/I_0 representa la intensidad relativa respecto del máximo central, con

$$\theta = \frac{\pi b x}{\lambda L},$$

en donde b es el ancho de la rendija, λ la longitud de onda de la luz, L la distancia desde la fuente de luz hasta la pantalla y x la distancia desde un punto del patrón hasta el centro del máximo.

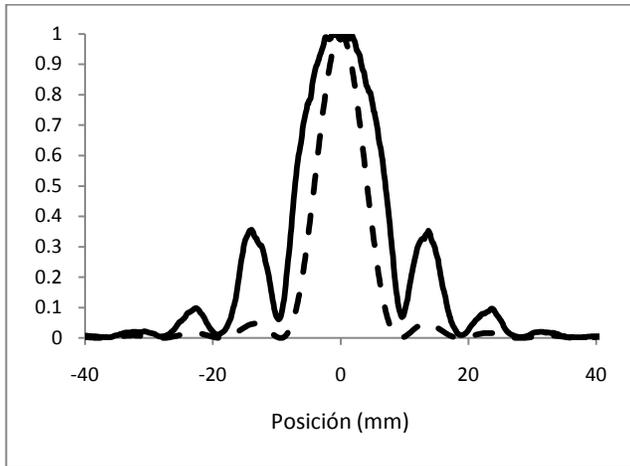


FIGURA 12. Representación comparativa de la intensidad relativa normalizada en función de la posición para una rendija de 0.08 mm. Datos experimentalmente (línea continua) y teóricos (línea discontinua).

De la comparación entre las gráficas correspondientes al modelo teórico y los datos experimentales, se verifica que, si bien hay coincidencia en la ubicación de los máximos y mínimos, no sucede lo mismo con los valores de intensidad. Los datos experimentales de la intensidad se apartan significativamente de los predichos por el modelo. Esto indica que el sensor de la cámara no registra adecuadamente los valores de intensidad. Para corregir esta desviación, se requiere de una calibración previa a fin de ajustar los valores experimentales a los predichos por la teoría.

B. Calibración: Los resultados obtenidos en la etapa anterior se pueden explicar a partir del comportamiento no lineal del sensor de la cámara digital ante la variación de la intensidad. Para corregir este apartamiento se construye una curva de calibración que vincule los datos de intensidad en niveles de gris del patrón de difracción y los correspondientes a los teóricos normalizados de la misma configuración.

Para realizar la calibración [7], [8], se selecciona el patrón de intensidades correspondiente a la rendija de 0.08mm. La elección de esta imagen se debe a que el rango de intensidades presentes es mayor que los correspondientes a los patrones de las rendijas de 0.02 y 0.04mm. Por otra parte no se elige la imagen del patrón de

difracción de la rendija de 0.16mm porque en los puntos de mínima intensidad relativos próximos al máximo central no tienen valor nulo. Esto se debe a que la imagen se obtiene de la cara posterior de la pantalla traslúcida. Este efecto se atenúa a medida que nos alejamos del máximo central (ver Fig. 11).

Con los valores de intensidad obtenidos del perfil y los valores teóricos normalizados correspondientes, se construye la curva de calibración [9] (Fig. 13). Se ajustan los datos con una función de cuarto grado obteniéndose así la curva de calibración.

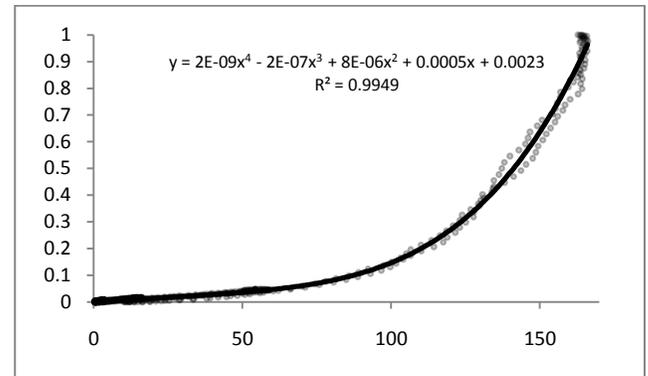


FIGURA 13. Se representa en trazo continuo la curva de calibración correspondiente a un polinomio de cuarto grado. Los puntos grises representan los valores experimentales.

Esta función de calibración es usada para corregir el resto de los perfiles. Los valores corregidos, son luego normalizados y comparados con los valores teóricos normalizados para los demás perfiles de intensidad. Las Figs. 14, 15, 16 y 17 muestran los perfiles normalizados de intensidad experimentales, teóricos y calibrados para las rendijas de 0.02, 0.04, 0.08 y 0.16mm respectivamente.

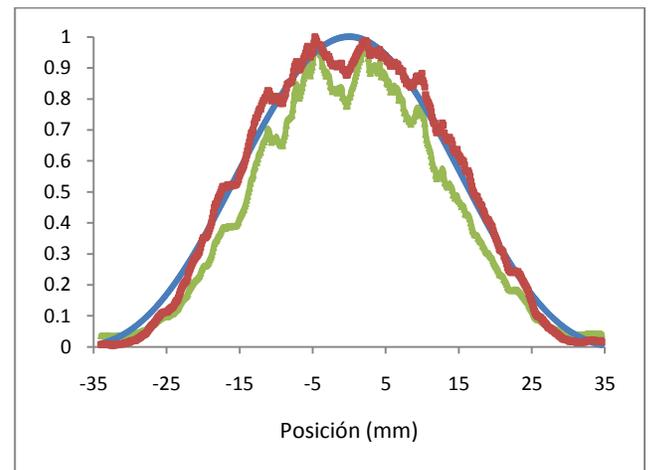


FIGURA 14. Patrón de intensidades normalizado experimental (trazo rojo), teórico (trazo azul) y calibrado (trazo verde) para una rendija de 0.02mm en función de la posición (mm).

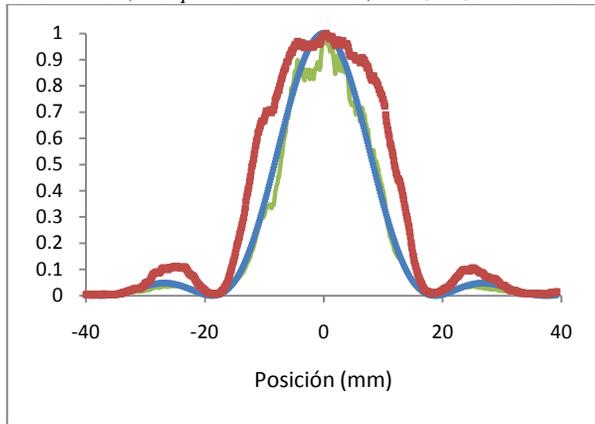


FIGURA 15. Patrón de intensidades normalizado experimental (trazo rojo), teórico (trazo azul) y calibrado (trazo verde) para una rendija de 0.04mm en función de la posición (mm).

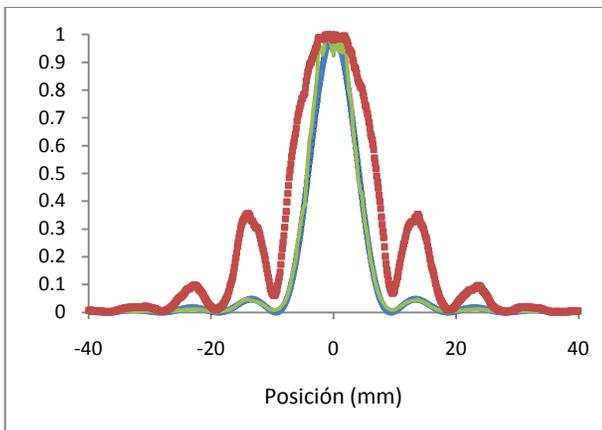


FIGURA 16. Patrón de intensidades normalizado experimental (trazo rojo), teórico (trazo azul) y calibrado (trazo verde) para una rendija de 0.08mm en función de la posición (mm).

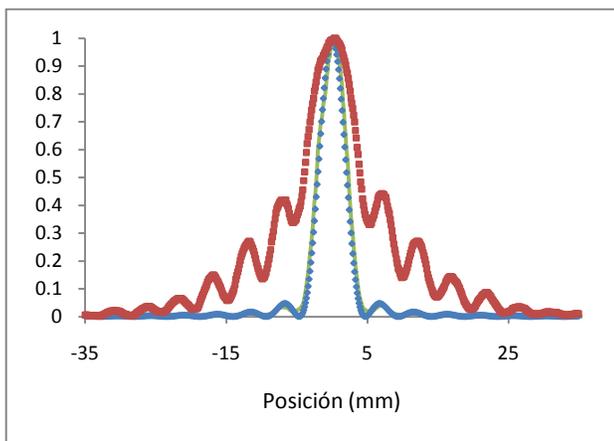


FIGURA 17. Patrón de intensidades normalizado experimental (trazo rojo), teórico (trazo azul) y calibrado (trazo verde) para una rendija de 0.16mm en función de la posición (mm).

De acuerdo a lo que se observa en las figuras se concluye que a medida que va aumentando el ancho de la rendija, los perfiles de intensidad experimentales difieren cada vez más de los teóricos. La función de calibración obtenida permite corregir satisfactoriamente estos apartamientos.

Para diagramas de difracción de baja intensidad como el obtenido para la rendija de 0.02mm (Fig. 4) se observa en la representación de los patrones normalizados (Fig. 14) que no es necesaria la calibración dado que los patrones normalizados experimentales y teóricos prácticamente coinciden. Este se debe a que para bajas intensidades la curva de calibración es casi lineal. El uso de atenuadores para trabajar en este rango de intensidades no es recomendable pues en las figuras de difracción, los máximos secundarios al ser de muy baja intensidad relativa, no son registrados.

IV. CONCLUSIONES

El uso de la cámara digital como elemento de registro resulta adecuado cuando se quieren determinar posiciones a partir de las imágenes que componen los mismos. Sin embargo, cuando se trabaja con la cámara digital como herramienta de registro de intensidades en experiencias que lo requieran, se deberá calibrarla previamente por no tener el sensor de la cámara una respuesta lineal a la intensidad. Con la calibración propuesta los resultados obtenidos se ajustan apropiadamente con los predichos por la teoría de la difracción.

El material usado en esta práctica de laboratorio normalmente está disponible en la mayoría de los laboratorios de Física y no requiere de un instrumento de medida que esté previamente calibrado (fotómetro). Esta experiencia de laboratorio resulta adecuada para un curso de Física que tenga dentro de sus contenidos aquellos relacionados con la Óptica Física.

REFERENCIAS

- [1] Sampallo, G. M., Meza, S. J., *La cámara digital en el estudio de movimientos*, V Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería 2006, Mendoza, Argentina (2006).
- [2] Calderón, S., Núñez, P., Gil, S., *La cámara digital como instrumento de laboratorio: estudio del tiro oblicuo*, Latin American Journal of Physics Education **3**, 87-92 (2009).
- [3] Martínez, E. N., Pregliasco, R. G. y Clevo, M. S., *Medición de frenadas con video y acelerómetro: estudio comparativo*, Policía y Criminalística **357**, 12-17 (2004).
- [4] Clevo, M. S., Monzón, J. E., *Técnica de videografía digital aplicada al análisis bidimensional de la marcha humana*, Revista de la Sociedad Argentina de Bioingeniería **2**, 20-28 (1996).
- [5] Valdés, C. R., Tricio, V., *Actividades experimentales en física general con fotografía y video digitales*, Rev. Cub. Física **24**, 46-50 (2007).
- [6] ImageJ®, <http://rsbweb.nih.gov/ij/>. Consultado el 9 de

octubre de 2010.

[7] Creus Solé A. *Instrumentación Industrial*, 7^{ma} ed. (Ed. Marcombo S.A, España, 2005).

[8] Bucher J.L. *The Quality Calibration Handbook: Developing and Managing a Calibration Program* 1^{ra} ed. (ASQ Quality Press, Milwaukee, Wisconsin, 2006)

[9] Gutiérrez Pulido H, De la Vara Salazar R. *Análisis y diseño de experimentos*, 2^{da} ed. (McGraw – Hill / Interamericana Editores, México, D.F., 2008)