

Método de calibración en tiempo real para moduladores de cristal líquido

Real-time calibration method for liquid crystal modulators

David de Dios, Pascuala García-Martínez y Javier García
Departamento de Óptica, Facultad de Física, Universitat de València
C/Doctor Moliner, 50. 46100 Burjassot (Valencia)

E-mail: david.dios@uv.es, pascuala.garcia@uv.es, javier.garcia.monreal@uv.es.

RESUMEN:

En el siguiente trabajo se expone un método sencillo para calibrar, en tiempo real la transmisión en intensidad de las pantallas de cristal líquido nemático. La metodología experimental está basada en el estudio de una imagen test obtenida a la salida del modulador. A partir del procesado de dichas imágenes, se puede conseguir, en tiempo real, una visualización de las curvas de la transmisión en intensidad, lo que nos permitirá el ajuste correcto de los parámetros de control del dispositivo (brillo, contraste, gamma, etc.) para que el modulador trabaje en régimen lineal de transmisión en intensidad con los niveles de gris.

Palabras clave: Dispositivo de cristal líquido, moduladores espaciales de luz, calibrado de modulación en amplitud y en fase.

ABSTRACT:

We present a simple technique for real time liquid crystal panel intensity transmission calibration. The experimental method is based on studying a test image displayed on the modulator. Using those images, we can display different calibration curves. The visualization of the intensity transmission curves in real time allows to adjust the correct control parameters (brightness, contrast, gamma, etc.) that gives a linear response of the intensity transmission with the gray-levels.

Key words: Liquid crystal devices (LCD), Spatial light modulators (SLM), amplitude and phase calibration.

REFERENCIAS Y ENLACES.

- [1] P. Yeh and C. Gu, *'Optics of Liquid Crystal Displays'*, John Wiley and Sons (1999).
- [2] K. Lu and A. Saleh, "Theory and design of the liquid crystal TV as an optical spatial phase modulator," *Opt. Eng.* 29, 240-246 (1990).
- [3] H. Kuang and T. H. Chao, "Liquid crystal television spatial light modulators," *Appl. Opt.* 28, 4772-4780 (1989).
- [4] J. A. Coy, M. A. Zaldarriaga, D. F. Grosz and O. E. Martinez, "Characterization of a liquid crystal television as a programmable spatial light modulator," *Opt. Eng.* 35, 15-19 (1996).

- [5] J. A. Davis, P. Tsai, K. G. D’Nelly and I. Moreno, “Simple technique for determining the extraordinary axis direction for twisted-nematic liquid crystal spatial light modulators,” *Opt. Eng.* 38, 929-932 (1999).
- [6] N. Konforti, E. Marom and S. T. Wu, “Phase-only modulation with twisted nematic liquid-crystal spatial light modulators,” *Opt. Lett.* 13, 251-253 (1988).
- [7] Z. Zhang, G. Lu and F. S. Yu, “Simple method for measuring phase modulation in liquid crystal television,” *Opt. Eng.* 33, 3018-3022 (1994).
- [8] G. D. Love, “Wavefront correction and production of Zernike modes with a liquid crystal SLM,” *Appl. Opt.* 36, 1517-1524 (1997).
- [9] J. Gourlay, G. D. Love, P. M. Birch, R. M. Sharples and A. Purvis, “A real-time closed-loop liquid crystal adaptive optics system: first results,” *Opt. Commun.* 137, 17-21 (1997).
- [10] C. Iemmi, A. Moreno and J. Campos, “Digital holography with a point diffraction interferometer,” *Opt. Express*, 13, 1885-1891 (2005).
- [11] A. Tanone, Z. Zhang, C.-M. Uang, F. T. S. Yu and D. A. Gregory, “Phase-modulation depth for a real-time kinoform using a liquid crystal television,” *Opt. Eng.* 35, 517-521 (1993).
- [12] C. Soutar and K. Lu, “Determination of the physical properties of an arbitrary twisted-nematic liquid crystal cell,” *Opt. Eng.* 38, 2704-2712 (1994).
- [13] I. Moreno, J. A. Davis, K. G. D’Nelly and D. B. Allison, “Transmission and phase measurement for polarization eigenvectors in twisted-nematic liquid crystal spatial light modulators,” *Opt. Eng.* 37, 1-5 (1998).
- [14] J. Nicolás, J. Campos and M. J. Yzuel, “Phase and amplitude modulation of elliptic polarization status by non-absorbing anisotropic elements: applications to liquid crystal devices,” *J. Opt. Soc. Am.* 19, 1013-1020 (2002).
- [15] I. Moreno, P. Velasco, C. R. Fernández-Pousa, M. M. Sánchez and F. Mateos, “Jones Matrix method for predicting and optimizing the optical modulation properties of a liquid-crystal display,” *J. Appl. Phys.* 94, 3697-3702 (2003).
- [16] A. Yariv and P. Yeh, “*Optical waves in crystals*”, John Wiley and Sons, New York (1984).
- [17] A. Bergeron, J. Gauvin, F. Gagnon, D. Gingras, H. H. Arsenault and M. Doucet, “Phase calibration and applications of a liquid-crystal spatial light modulator,” *Appl. Opt.* 34, 5133-5139 (1995).
- [18] Y. Zhisheng, L. Yulin and H. Zhengquan, “Measurement of the phase modulation of liquid-crystal televisions by a noninterferometric technique,” *Appl. Opt.* 37, 3069-3075 (1998).
- [19] A. Marquez, J. Campos, M. J. Yzuel, I. Moreno, J. A. Davis, C. Iemmi, A. Moreno and A. Robert, “Characterization of edge effects in twisted nematic liquid crystal displays,” *Opt. Eng.* 39, 3301-3307 (2000).

1.-Introducción.

De entre todos los tipos existentes de dispositivos formados por cristal líquido, los más extendidos son los basados en cristales líquidos nemáticos con estructura helicoidal (Twisted Nematic Liquid Crystal Display TNLCD), debido a su utilización en dispositivos de proyección y monitores.

Quizás la propiedad más importante de este tipo de dispositivos es su capacidad de ser utilizados como dispositivos moduladores de luz. Esta facilidad para modular la luz ha sido analizada en las Refs [1-7].

La capacidad para trabajar como modulador espacial de luz (Spatial Light Modulator, SLM), ha dado lugar a su fácil implementación en aplicaciones de óptica adaptativa⁸⁻⁹, holografía digital¹⁰ o generación de elementos ópticos difractivos (Diffractive Optical Elements, DOE)¹¹. En función de la aplicación en la

que se desee implementar el dispositivo de cristal líquido se precisará como modulador en amplitud o en fase. Pero conseguir modulación pura de fase o pura de amplitud es bastante complicado debido a que, generalmente, la luz a la salida de un LCD tiene acoplada la fase y la amplitud.

Frente a este problema se han realizado gran cantidad de estudios en los que se plantea una configuración en la cual el LCD se encuentra colocado entre dos polarizadores lineales^{2,4,12}. En función del ángulo de estos polarizadores, el dispositivo puede trabajar esencialmente en amplitud o fase. La modulación de la fase y de la amplitud están generalmente acopladas. El desacoplamiento de ambas magnitudes es conveniente, especialmente cuando se utiliza luz coherente. Se ha demostrado que situando láminas retardadoras, orientadas según los ejes neutros del panel, delante y detrás de la pantalla de cristal líquido se puede conseguir

modulaciones sólo de fase o sólo de amplitud utilizando los vectores propios de la matriz de Jones asociada al panel¹³⁻¹⁴. Lo que se pretende de esta forma es iluminar el sistema con una luz elípticamente polarizada controlada.

Para definir la configuración experimental que permite a un LCD trabajar en amplitud o en fase se precisa conocer las propiedades físicas del modulador (como el ángulo de rotación (twist) y el ángulo del director molecular en la cara de entrada). El valor de estos parámetros no son accesibles a los usuarios de los LCDs, por lo que hay que utilizar métodos experimentales^{2-7,12} para determinar estos parámetros. El conocimiento de dichas magnitudes, junto con los ángulos correctos de los polarizadores, nos permitirá utilizar el panel de cristal líquido nemático tanto para modulación de amplitud como de fase.

Recientemente, Moreno et al¹⁵ han descrito un método para utilizar los LCD en modulación de amplitud y en fase sin necesidad de conocer las magnitudes microscópicas del material de los dispositivos. De esta forma se evita una intensa y ardua tarea que implica obtener muchas medidas para averiguar el giro de las moléculas así como la orientación a la que se encuentra el eje director.

Sin embargo es bien sabido que además de esos parámetros, existen otros como el brillo, el contraste, la gamma, etc., que influyen de manera muy directa sobre la respuesta del LCD. Es inevitable pues, la necesidad de realizar una serie de medidas para ajustar correctamente esos parámetros.

En este trabajo proponemos una técnica sencilla que consiste en visualizar las curvas de calibración mientras cambiamos esos parámetros de ajuste en tiempo real. Como explicaremos en el desarrollo experimental del trabajo, la técnica está basada en enviar al modulador una imagen test compuesta por una estructura de distintos cuadrados, cada uno con un nivel de gris. Utilizando un sistema de formación de imágenes apropiado, se registrará la imagen dada por el LCD en una cámara CCD. Se procederá a medir la intensidad obtenida en cada uno de esos cuadrados, y posteriormente se calculará una gráfica en la que estarán presentes los niveles de gris de entrada junto con la intensidad de los niveles de gris a la salida. De esta forma, se irá controlando el calibrado de la transmisión en intensidad del sistema, y se irán ajustando los parámetros de control en función de la curva de calibrado obtenida. La ventaja del método es que, al mismo tiempo que se van cambiando los parámetros, se irá visualizando la curva de calibración de la transmisión en intensidad. De esta manera, y sin necesidad de ninguna medida externa con fotómetros, etc., se obtendrán los parámetros adecuados para obtener una respuesta lo más lineal posible tanto en

modulación de amplitud como en modulación de fase.

Nuestro método parte del conocimiento de los parámetros microscópicos, por ello en la siguiente sección, revisaremos las técnicas propuestas por otros autores para la medida de dichos parámetros. Posteriormente ajustaremos el brillo, el contraste y la gamma del dispositivo utilizando la visualización en tiempo real de las curvas de la transmisión en intensidad. El modelo de modulador para el que hemos realizado los experimentos es un CRL-OPTO modelo XGA3. Junto con él se puede adquirir un cable (Remote Control Cable CRLXGAP) para el ajuste de la gamma, y otros parámetros del dispositivo.

2.-Teoría.

Como ya se apuntó en la introducción el tipo de dispositivo de cristal líquido más utilizado en procesado óptico es el basado en cristales líquidos en fase nemática con estructura de hélice. La fase nemática hace referencia a la disposición de las moléculas del material de cristal líquido. En esta fase, las moléculas tienden a ser todas ellas paralelas, pero sus posiciones son completamente aleatorias, es decir, existe orden orientacional pero no posicional.

La estructura de hélice, es debida a que las moléculas están rotadas desde la superficie de entrada a la de salida. Este alineamiento se obtiene produciendo micro-rugosidades en un material polímero pegado sobre la superficie de la celda.

En general una celda de cristal líquido está compuesta por dos electrodos transparentes con una alta transmisividad para las longitudes de onda del visible. Entre estos dos electrodos se encuentra el material de cristal líquido. De los electrodos (generalmente son láminas de ITO, Indium Tin Oxide) parten las conexiones que aplicarán voltaje a la celda y permitirá que las moléculas giren.

La configuración habitual de una pantalla de cristal líquido, como ya se apuntaba en la introducción, es aquella en la que la celda se coloca entre dos polarizadores lineales. A partir de ahora al polarizador situado al entrada del LCD le denominaremos “polarizador” y al que se encuentra a la salida “analizador”.

En ausencia de voltaje las moléculas giran, por lo que hay una rotación del director molecular desde una cara a otra del LCD. Mientras que al aplicar una tensión al LCD las moléculas, en el interior de la celda, se reorientan y cuando la tensión llega a su valor máximo, la estructura de hélice se destruye y

se reorientan según la dirección de propagación de la luz incidente.

Yariv y Yeh¹⁰ deducen la expresión de la matriz de Jones del dispositivo cuando está apagado, considerando que la celda de cristal líquido es un conjunto de láminas desfasadoras rotadas progresivamente unas respecto a las otras. Posteriormente, Lu y Saleh² consideran que, en primera aproximación, esta matriz también es válida para LCD con voltaje aplicado. El efecto del campo eléctrico creado consiste en que las moléculas del material tienden a alinearse en la dirección del campo eléctrico. El ángulo de inclinación de las moléculas depende del voltaje aplicado entre los electrodos. Si V representa este voltaje, la inclinación θ del director del material viene dado por

$$\theta = \begin{cases} \pi/2 & \text{si } V \leq V_c \\ 2 \tan^{-1} \left[\exp \left(-\frac{V - V_c}{V_o} \right) \right] & \text{si } V > V_c \end{cases} \quad (1)$$

donde V_c es un voltaje mínimo por debajo del cual las moléculas no cambian su orientación y V_o es una constante². Al producirse una inclinación del eje óptico sobre la dirección de la luz en dirección z , los índices de refracción asociados a la propagación de la luz en dirección z serán el índice ordinario n_o y un índice extraordinario $n_e(\theta)$. Este índice de refracción extraordinario efectivo se relaciona con n_o y n_e mediante la expresión

$$\frac{1}{n_e(\theta)^2} = \frac{\cos^2(\theta)}{n_e^2} + \frac{\sin^2(\theta)}{n_o^2} \quad (2)$$

Observemos que, dado que θ depende solamente del voltaje aplicado, el índice $n_e(\theta)$ es función únicamente de V . Cuando no hay voltaje aplicado $\theta = \pi/2$ ya que las moléculas no se han inclinado sobre la dirección z . En esta situación $n_e(\theta) = n_e$. Por el contrario, cuando el voltaje aplicado es tan alto que las moléculas se inclinan completamente en la dirección z , se tiene que $\theta = 0$ y, así, $n_e(\theta) = n_o$. El modelo propuesto por Lu y Saleh² considera la aproximación según la cual la inclinación de todas las moléculas sobre la dirección de propagación z es la misma en cada punto, independiente del valor de z . Con este modelo se asume que el desfase total que produciría el cristal vendría dado por la expresión

$$2\beta(V) = \frac{2\pi}{\lambda} (n_e(\theta) - n_o) d \quad (3)$$

d es el espesor del cristal y λ es la longitud de onda de la luz incidente. La dependencia con el voltaje

está en el índice $n_e(\theta)$ mediante las ecuaciones (1) y (2).

Para determinar los parámetros de la celda de cristal líquido se ha utilizado el método de calibración de LCD propuesto por Soutar y Lu¹² y que consiste en medir la transmisión del sistema cuando el LCD se sitúa entre dos polarizadores para averiguar el ángulo de rotación de las moléculas (α), la birrefringencia (β) y la orientación del eje director en la cara de entrada del LCD (ψ_D). En su técnica, se seleccionan dos tipos de orientación de los polarizadores: paralelos o perpendicular el uno del otro. Las expresiones de para la intensidad transmitida son

$$T_{\perp} = \zeta \left\{ \left[\sin(\alpha) \cos(\gamma) - \left(\frac{\alpha}{\gamma} \right) \cos(\alpha) \sin(\gamma) \right]^2 + \left[\left(\frac{\beta}{\gamma} \right) \sin(\gamma) \sin(\alpha + 2\psi_D - 2\varphi_1) \right]^2 \right\} \quad (4)$$

$$T_{\parallel} = \zeta \left\{ \left[\cos(\alpha) \cos(\gamma) + \left(\frac{\alpha}{\gamma} \right) \sin(\alpha) \sin(\gamma) \right]^2 + \left[\left(\frac{\beta}{\gamma} \right) \sin(\gamma) \cos(\alpha + 2\psi_D - 2\varphi_1) \right]^2 \right\} \quad (5)$$

Donde la Eq. (4) representa la intensidad transmitida cuando ejes de transmisión de los polarizadores están perpendiculares, y la Eq. (5) cuando están paralelos.

En ambas expresiones φ_1 representa el ángulo del polarizador de entrada y

$$\gamma = \sqrt{(\alpha^2 + \beta^2)} \quad (6)$$

Para determinar la intensidad a la salida del analizador se debe determinar primero el ángulo del director molecular (ψ_D) y el ángulo de rotación (α). Una vez aplicado el método de Soutar y Lu para la determinación de los parámetros anteriormente descritos, en nuestro caso se obtiene un valor del ángulo de rotación de $\alpha = -86^\circ$ y respecto al ángulo director obtuvimos $\psi_D = 177^\circ$ o 87° . Estas medidas nos indicaran la orientación del eje extraordinario y el ordinario, aunque poseemos una ambigüedad al respecto.

Para resolver la ambigüedad del ángulo del director, en la literatura se exponen diversas alternativas. Davis et al⁵ analizaron el patrón de difracción

generado por la estructura pixelada del LCD. Al variar el nivel de gris aplicado al material se observa que si la intensidad relativa de los órdenes de difracción varía, la polarización de la luz con que se ilumina el LCD está incidiendo paralela al eje extraordinario, mientras que si al variar el nivel de gris aplicado, no hay variación de la intensidad relativa de los órdenes de difracción, se tiene que la luz con la que se ilumina el LCD está incidiendo perpendicular al eje ordinario. Por otra parte, Konforti et al⁶, implementaron un interferómetro de Mach-Zender como técnica para la modulación de fase. Esta técnica puede ser utilizada para determinar el ángulo del director.

En nuestro caso particular, se utilizó una técnica interferométrica basada en la técnica de la doble rendija de Young¹⁷. Al situar la doble rendija a la salida del LCD, en el plano imagen se tiene patrón de franjas.

Si el polarizador de entrada se encuentra orientado paralelo al director molecular, no habrá desplazamiento alguno del patrón de franjas, mientras que si el polarizador está según el eje extraordinario el patrón de franjas se traslada. Según esto, la medida que obtuvimos para el ángulo del director fue de $\psi_D = 177^\circ$.

Con esto, y según Ref. [12] si queremos utilizar el LCD en configuración de modulación de amplitud, situaremos el polarizador perpendicular al director, es decir a 87° y el analizador a $(87^\circ - 86^\circ = 1^\circ)$. De la misma forma si queremos utilizar el sistema como modulador de fase lo situaremos paralelo al director, es decir a 177° , y el analizador a 91° .

De esta forma se tiene caracterizado el material, por medio de sus parámetros físicos, los cuales son invariantes.

3.-Metodología experimental

La pantalla de cristal líquido con la que se realizaron las medidas es el modelo XGA-3 de CRL-Opto. La resolución es de 1024×768 píxeles, y con unas dimensiones por píxel de $13 \mu\text{m}$ (H) $\times$ $10 \mu\text{m}$ (V).

Como hemos explicado en la introducción, la contribución básica del trabajo consiste en la obtención de curvas de la transmisión en intensidad en tiempo real, y de esta manera obtener una respuesta que tenga un comportamiento lo más lineal posible. El nuevo método propuesto tiene dos ventajas: una de ellas es la obtención, en un sólo paso, de las curvas de transmisión en intensidad al mandar al modulador un patrón que contiene todos los niveles de gris. Una segunda ventaja es el ajuste de los distintos parámetros de brillo, contraste, etc., en tiempo real para conseguir una configuración de calibración lo más lineal.

A continuación, el trabajo se comparará con el método de Soutar y Lu¹².

3.a.-Método de Soutar y Lu

En este método, se plantea la medida de la intensidad normalizada en función de los niveles de gris para una determinada configuración determinada de brillo y contraste.

En la figura 1 se muestra el dispositivo experimental utilizado para la toma de las medidas.

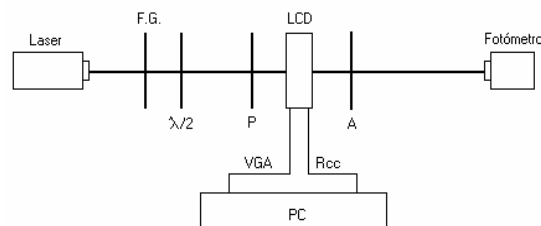


Fig. 1: Dispositivo experimental utilizado en la implementación del método de Soutar y Lu. Láser. Filtro gris. $\lambda/2$. Polarizador (P). LCD. Analizador (A). Fotómetro. RCC (Remote Control Cable)

Según la figura 1 se tiene como fuente de iluminación, luz linealmente polarizada procedente de un láser de Nd:YAG a 532nm de 40mW de potencia. La luz procedente del láser pasa a través de un filtro gris. La función del filtro es reducir la potencia que llega al LCD, para evitar posibles daños sobre la superficie del LCD y de los polarizadores. Tras el filtro gris se sitúa una lámina de media onda, que nos permite orientar la polarización del haz incidente. Tras la $\lambda/2$ se sitúa el sistema “polarizador-LCD-analizador”. En este caso, para trabajar en el modo de amplitud, se debe colocar el eje de transmisión del polarizador según la orientación del eje ordinario, y el analizador se colocará también según la posición del eje ordinario a la salida, teniendo en cuenta el giro producido por las moléculas. Con el fin de normalizar la transmisión obtenida experimentalmente se calcula también la transmisión para la configuración en la que el analizador se coloca perpendicular a la configuración anterior, o sea paralelo al polarizador. Esto supone que los ángulos a los que se colocan el analizador son 1° y 87° .

Finalmente, se tiene el fotómetro Tectronix J17, con el que se realizan las medidas de intensidad relativas a campo paralelo y perpendicular. El fotómetro se sitúa lo suficientemente alejado de la pantalla de cristal líquido, para que en el centro del diodo únicamente incida el orden cero el patrón de difracción generado por la estructura pixelada del LCD.

El método de medida consiste en enviar distintos niveles de gris al modulador y registrar la intensidad de salida para las configuraciones de analizador paralelo y perpendicular. La conexión al puerto serie del PC permite modificar los parámetros de control

del modulador, esto es permite modificar los estados de contraste y brillo grabados en la memoria de la tarjeta electrónica del LCD.

Se ha comprobado experimentalmente que la respuesta mas lineal en intensidad es aquella en la que el contraste alcanza su valor máximo y el brillo su valor mínimo, obteniéndose una curva como la de la figura 2.

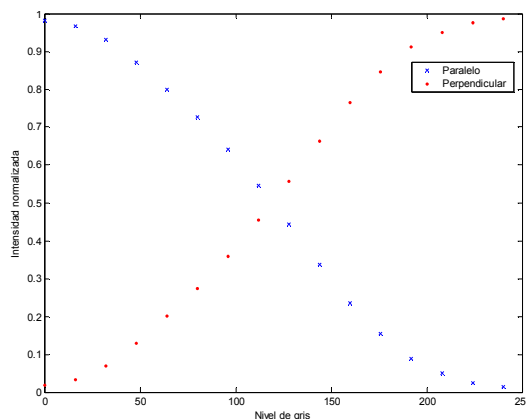


Fig. 2: Intensidad en función de los niveles de gris para dos posiciones del analizador.

Se observa, de la figura 2, respuesta lineal aproximadamente hasta el nivel de gris 200 y comienza a saturar a partir de ese nivel. Nótese que no están contemplados todos los niveles de gris, con la finalidad de ahorrar tiempo en la toma de medidas.

Este método es el más extendido para la calibración de pantallas de cristal líquido. Nótese que nosotros en un principio también lo hicimos así, y prueba es que lo reflejamos en esta primera parte.

3.b.-Método Alternativo.

A continuación, se expone una metodología experimental para la medida en tiempo real de distintas configuraciones de los parámetros de control del modulador.

En la figura 3 se muestra el dispositivo experimental utilizado en la realización de las medidas.

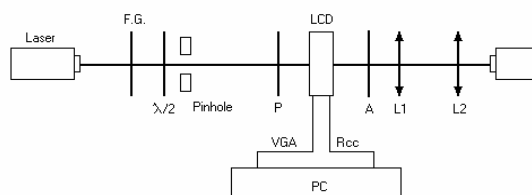


Fig. 3: Dispositivo experimental utilizado en las medidas del método alternativo. Láser. Filtro gris. $\lambda/2$. Pinhole. Polarizador (P). LCD. Analizador (A). Lentes (L1 y L2). CCD.

Como en la sección 3.a, la fuente de iluminación proviene de un láser de Nd: YAG a 532 nm y de 40mW de potencia.

La luz proveniente del láser esta linealmente polarizada. Los efectos del filtro gris y de la lámina de media onda son los mencionados en la sección anterior. Tras la lámina de media onda se coloca un pinhole de tal forma que se genera una fuente puntual. Tras el pinhole se sitúa el sistema “polarizador-LCD-analizador”. El polarizador lo colocaremos a 87° y el analizador a 1° ya que estamos trabajando en configuración de amplitud.

A la salida del LCD colocamos dos lentes, de focales 200 mm y 135 mm respectivamente.

A la entrada de la segunda lente situamos una mascara para seleccionar únicamente el orden cero del patrón de difracción generado por el LCD.

Finalmente en el plano imagen se sitúa la cámara CCD. La cámara CCD es el modelo DC111 de Labgrey Research, con una resolución de 640 x 460 píxeles, y con unas dimensiones por píxel de $7 \mu\text{m} \times 7 \mu\text{m}$. La CCD esta conectada al PC mediante puerto Firewire, de tal modo, que la captura se controla mediante el PC.

Una vez analizado el sistema experimental de trabajo se va a plantear la metodología seguida en la toma de medidas.

Se genera una imagen digital de una red de 16 x 16 cuadros, esto es, una red formada de 256 cuadros. En el interior de cada cuadro se introduce un nivel de gris, barriendo el rango de cero a 255. En la figura 4 se muestra la imagen test digital generada.

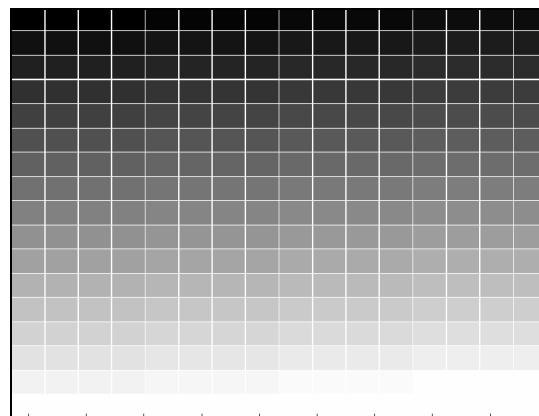


Fig. 4: Imagen test digital con 256 niveles de gris.

La resolución de cada uno de los cuadros de la imagen es de 27 x 27 píxeles. Esta imagen test se introduce sobre un fondo negro, de tal forma que la resolución final de la imagen sea de 1024 x 768 píxeles. Esta resolución es exactamente la misma que la del LCD.

En el plano de la CCD se obtendrá una imagen del test que hemos introducido al LCD. Si se integra el área de cada uno de los cuadros se obtendrán valores de intensidad en función de los niveles de gris. Esto

resulta mucho más rápido que el método clásico, ya que estamos mandando en un sólo paso todo el rango de niveles de gris. Como en el caso anterior, la imagen se obtendría para un estado de brillo y contraste determinados. Este estado se puede manipular gracias a la conexión existe entre el puerto serie del PC y la tarjeta electrónica del LCD. Se puede realizar un programa de captura de imagen que implique el cálculo en tiempo real de una curva de calibración. El programa informático se ha realizado en Matlab. De esta manera se puede visualizar la curva y ajustando los parámetros de control simultáneamente. Según la aplicación óptica que queramos realizar interesará obtener una respuesta lineal de los niveles de gris en amplitud, o en fase.

Se ha realizado un ajuste del brillo y el contraste, con este método alternativo, llegándose a las mismas gráficas que el caso clásico, es decir la configuración que permite obtener régimen lineal para el mayor número posible de niveles de gris, es aquella en que el contraste es máximo y el brillo nulo.

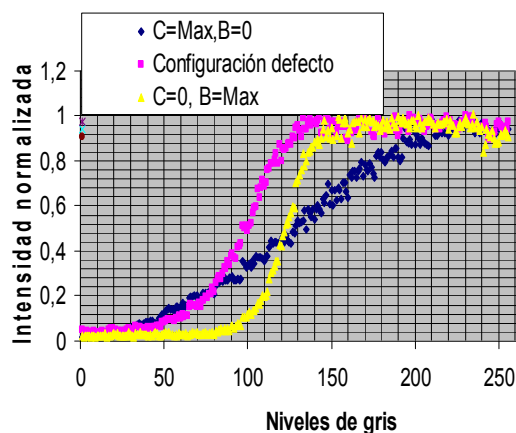


Fig. 5: Intensidad normalizada en función de los niveles de gris para tres puntos diferentes de la configuración de contraste y brillo.

En la figura 5 se muestra el resultado de la implementación de la metodología propuesta. Se observan las curvas para tres posibles configuraciones de contraste y brillo. Se han seleccionado tres estados, esto es, contraste máximo y brillo mínimo, contraste mínimo y brillo máximo y la denominada configuración por defecto.

Como se puede observar la configuración con contraste máximo y brillo mínimo (puntos azules), proporciona régimen lineal hasta el nivel de gris 200, a partir de aquí se satura.

Si comparamos las figuras 2 y 5, obtenidas por los dos métodos, se observa que ambas curvas tienen el mismo comportamiento. Por lo tanto, se puede

concluir que se ha expuesto una metodología de un sólo paso para encontrar el punto óptimo de funcionamiento de un dispositivo modulador de luz basado en un cristal líquido.

La ventaja de este método propuesto, frente a otros existentes en la literatura, es su rapidez, además de poder conocer la respuesta para todos los niveles de gris.

Podemos también estudiar cuál es la respuesta en cuanto a modulación en fase del sistema si en esta misma configuración del contraste y brillo del LCD, colocásemos el eje de transmisión del polarizador paralelo al eje extraordinario de las moléculas en la primera cara del panel y el analizador también paralelo al director en la cara de salida. Con el fin de normalizar la transmisión, también se calcula la transmisión de intensidad para la configuración complementaria^{18,19}. Con esta configuración experimental se obtiene unas curvas experimentales de transmisión en intensidad que obedecen a la siguiente ecuación

$$T_{(0,\alpha+90)} = \frac{\alpha^2}{\gamma^2} \sin^2 \gamma \quad (7)$$

Al analizar los datos obtenidos, y ajustarlos a la Eq. (7), se pueden obtener los valores $\beta(V)$.

En la figura 6 se muestra la birrefringencia ($\beta(V)$) del material en función de los niveles de gris en la configuración de contraste y brillo determinada mediante esta metodología experimental.

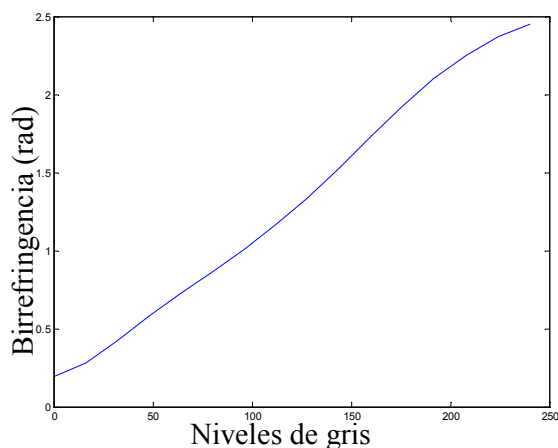


Fig. 6: Birrefringencia (radianes) en función de los niveles de gris.

El método propuesto, nos proporciona los valores de contraste y brillo que proporcionan un régimen lo más lineal en fase y amplitud.

Conclusiones

Se describe un método sencillo para calibrar, en tiempo real la transmisión en intensidad de las

pantallas de cristal líquido. La técnica propuesta es apropiada sobre todo en dispositivos que poseen un gran número de parámetros de control, como el brillo, el contraste y la gamma. La ventaja del método propuesto es su rapidez frente a otros métodos, ya que se envían todos los de gris al modulador en un sólo paso. Se pueden aplicar distintas configuraciones de contraste y brillo al modulador, y visualizar en tiempo real las distintas curvas de transmisión en intensidad.

Si se comparan las curvas obtenidas en la figura 5 con las obtenidas mediante las técnicas clásicas (Fig. 2) se observa que los resultados experimentales de uno y otro método son semejantes, lo cual da consistencia al método propuesto

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con fondos FEDER y por el Ministerio de Educación y Ciencia, FIS2004-06947-C02-01, la Agencia Valenciana de Ciencia y Tecnología (AVCT), proyecto GRUPOS03/117, la D. G. Investigació i Transferència Tecnològica, proyecto IARC0/2004/217 y la DGR de la Generalitat de Catalunya.