

# Calibración visual de monitores de TRC en una PC destinada a la generación de estímulos visuales

R.C. Aguirre / J.E. Santillán / L.A. Issolio / E.M. Colombo

Departamento de Luminotecnia Luz y Visión (DLLyV)  
Av. Independencia 1800 – (4000) Tucumán  
*raguirre@herrera.unt.edu.ar*

En un trabajo anterior<sup>(1)</sup> se presenta el desarrollo de una técnica para calibrar un monitor de tubo de rayos catódicos controlado por una computadora usando una comparación visual en lugar de un fotómetro, junto con las pruebas realizadas para controlar su bondad. En ese trabajo se utilizó un equipo informatizado específicamente diseñado para generar estímulos visuales en laboratorios de mediciones psicofísicas, con un alto poder de resolución en niveles de gris, por ejemplo.

Con el objetivo de utilizar una PC convencional, con su monitor y su tarjeta de video de propósitos generales, para la presentación de estímulos visuales de contrastes controlados, de manera de favorecer su transferencia a la clínica oftalmológica, se desarrolla una metodología de calibración visual y se realizan las pruebas para validar el empleo de la misma. Para ello se trabaja con un atenuador de video construido para monitores monocromáticos introduciendo modificaciones para poder usarlo en monitores a color con una sola placa de video.

El principio básico de esta propuesta de calibración es comparar dos estímulos contiguos en la pantalla. En uno de ellos todos los píxeles en su interior están alimentados en forma uniforme por una tensión variable, en el otro una fracción predeterminada de los píxeles reciben la tensión de alimentación máxima mientras el resto no recibe estimulación alguna. Ajustando la tensión de alimentación del primer campo, para que los dos estímulos parezcan de igual claridad, se puede determinar la tensión que corresponde a cada diferente fracción de píxeles.

Se encuentra que la calibración visual es suficientemente confiable para ser usada como una alternativa a la calibración con un fotómetro, asegurando facilidades de uso y tiempo de realización menor a los 5 minutos.

In a previous work<sup>(1)</sup> the development of a technique for the CRT monitor calibration controlled by a computer was presented. Instead of the classical way that uses a photometer, the proposal was based on a visual comparison task and some proofs to control the goodness of the methodology was presented. In that study a computer with a visual generator video card with a high grey level resolution was used.

With the object to use a conventional PC with standards monitor and video card as a visual stimuli generator to be applied in ophthalmologic clinic, we develop a methodology to the visual calibration and carried out the test to validate it. To get it we use a video attenuator built for monochromatic monitors but introducing changes to be used with colour monitors and with only one video card.

The basic principle of this methodology is to compare two neighbour stimuli in the display. In one of them all the pixels are excited in a uniform way for a voltage that can be modified, in the other one a predetermined portion of the pixels are excited with the maximal voltage, while the rest of them remains turn off. Adjusting the voltage of the first field looking for the brightness matching of the two patches it can be determined the voltage that correspond at each portion of pixels considered.

It was found that the visual calibration is enough reliable to be used as an alternative to the photometer calibration. In this way it is possible to get a time of operation shorter than five minutes and others facilities.

## I. INTRODUCCIÓN

Para poder usar un monitor como dispositivo para presentar estímulos visuales en forma controlada y con el objeto de realizar estudios del sistema visual humano, se deben corregir algunas alinealidades que introduce el monitor. Las mismas introducen variaciones en las características del estímulo que se desea presentar.

Una de estas alinealidades se debe a la relación existente entre la tensión aplicada al tubo de rayos catódicos y la luminancia producida en la pantalla del monitor. Esta relación idealmente es lineal.

$$L_i = k_i D \quad (1)$$

donde:

$L_i$  = luminancia en la pantalla para una tensión  $D_i$

$D_i$  = tensión en el cañón del TRC.

$k$  = factor de proporcionalidad.

En la práctica esto no se cumple, ya que a iguales variaciones de tensión no corresponden iguales variaciones de luminancia. La relación entre la luminancia y el valor del DAC (tensión) se puede representar por distintas funciones, siendo la más comúnmente usada:

$$L = k D^\gamma \quad (2)$$

donde  $\gamma$  es la constante que caracteriza la alinealidad y que le da el nombre a la corrección. Si se grafican los valores de luminancia en función de los valores discretos de salida del DAC, se obtiene una gráfica del tipo de la que se representa en la figura 1.

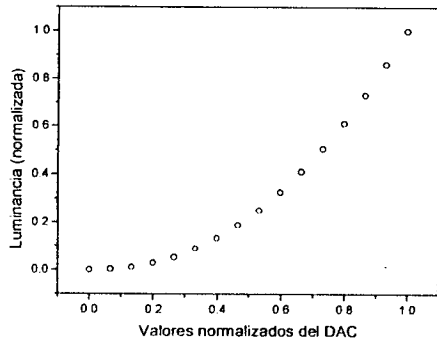


Figura 1: Relación tensión – luminancia en un monitor de TRC.

El valor de  $\gamma$  es una constante que depende, entre otras cosas, del brillo y del contraste seleccionados con las perillas del monitor. La función gamma cambia en tiempos cortos (fluctuaciones diarias) y más extensos (en meses); además, debido al campo magnético de la tierra, la función varía de acuerdo a la orientación del monitor.

La manera tradicional de corrección de esta alinealidad consiste en presentar en la pantalla del monitor a calibrar los niveles de gris que genera la tarjeta y medir con un luminancímetro los valores de luminancia correspondientes a esos niveles. Estos valores se ajustan con la función de la expresión 2, de donde se obtienen los parámetros  $\gamma$  y  $k$ . Con estos parámetros se puede calcular el valor del DAC para obtener una dada luminancia en la pantalla.

Colombo y Derrington<sup>[1]</sup> proponen un método alternativo de calibración basado en el buen desempeño del sistema visual como comparador de luminancias. En ese trabajo se realiza la calibración visual en un sistema de alto costo, específicamente diseñado para realizar mediciones psicofísicas.

Este trabajo introduce la alternativa de calibrar visualmente, sin recurrir a un fotómetro, un monitor de TRC en una PC destinada a la generación de estímulos visuales para ser usados en la clínica oftalmológica. Uno de los objetivos que se persiguen con este tipo de calibración del equipo es lograr que la tarea sea realizada por personas sin conocimientos técnicos específicos. Los resultados encontrados se comparan con la calibración fotométrica, encontrándose que es una propuesta válida.

## II. MÉTODOS

### Descripción del equipamiento

Las pruebas se realizaron en un equipo que consiste en una computadora compatible y un monitor de tubo de rayos catódicos de 19". Además se ha incorporado al equipo un atenuador de video que permite mejorar la resolución en niveles de grises desde 8 bits a 14 bits, lo

que significa obtener más de 16.000 niveles de griscit\_bf(7)cit\_af ref\_bf(Pelli, 1991 ref\_num193)ref\_af. Esta modificación es compatible con la técnica de calibración visual, la cual puede usarse en cualquier tipo de PC.

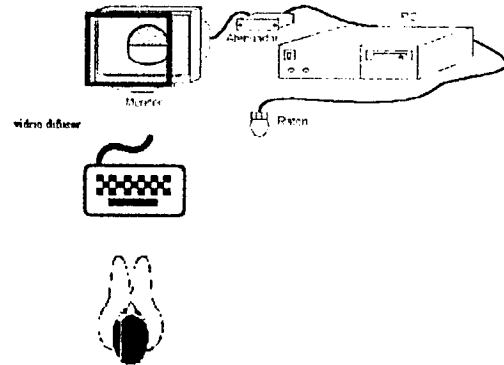


Figura 2: Esquema del sistema experimental

### Calibración Fotométrica

Para determinar el valor de las constantes de la ecuación, mediante el proceso fotométrico, se necesita disponer de un luminancímetro. El procedimiento es el siguiente:

- 1- Se crea sobre la pantalla una circunferencia, lo suficientemente grande como para llenar el campo de visión del luminancímetro, de todas maneras, la practica recomienda que la circunferencia no supere el 10% de la superficie total de la pantalla. El fondo de la pantalla debe tener aproximadamente la luminancia media.
- 2- El proceso consiste en medir la luminancia de la circunferencia para los distintos valores de tensión provisto por los DAC's.
- 3- Se normalizan los valores de luminancia y los de tensión entre 0 y 1.
- 4- Se procede al ajuste de una función para los valores obtenidos, resultando así los valores de  $k$  y  $\gamma$  buscados.

De esta manera, para presentar un estímulo de una determinada luminancia requerida, se inserta este valor en la ecuación y se determina el valor del voltaje a cargar en los DAC's.

### Calibración Visual

Para determinar la relación entre la tensión y la luminancia se recurre a una determinación visual basada en la comparación de dos campos: en uno de ellos se modifica la densidad de píxeles iluminados con la máxima tensión y en el otro se modifica la tensión de alimentación de todos los píxeles.

$$x(i) \cdot L_{\max} = L(i) \quad (3)$$

De esta manera en lugar de medir la luminancia producida por una tensión dada, se determina la tensión que produce la luminancia que corresponde a una fracción de la luminancia máxima. Esto quiere decir que el

supuesto básico sobre el cual descansa la calibración visual es que la porción de píxeles alimentados es igual al cociente de la luminancia de igualación sobre la luminancia máxima.

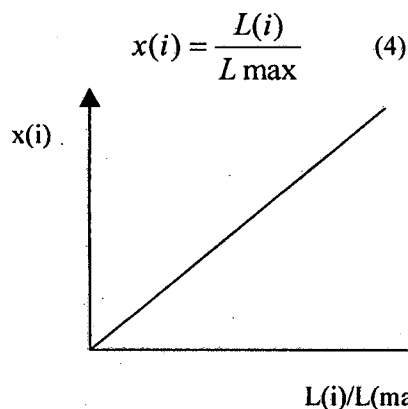


Figura 3: Relación lineal entre la densidad de píxeles iluminados y la fracción de luminancia

Por lo tanto, si graficamos  $x(i)$  en función de la tensión de alimentación y ajustamos una función tendremos una similar a la función gamma o la que sea más apropiada para linealizar la relación (figura 4).

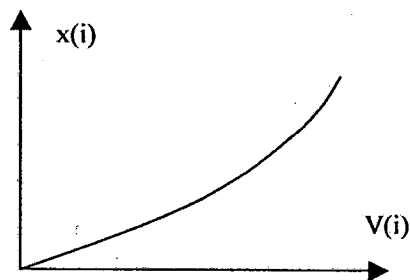


Figura 4: Relación esperada entre la densidad de píxeles y el voltaje de alimentación.

La medición consistió en comparar las dos áreas contiguas que forman el estímulo presentado sobre un fondo de luminancia  $60 \text{ cd/m}^2$  (figura 5). El área 1 posee una cantidad de píxeles  $X_i$  encendidos con la máxima tensión  $L_{\max}$ , mientras que en el área 2 todos los píxeles están excitados por una tensión  $D_i$  que es modificada por el observador hasta lograr la igualación de claridad con la mitad superior.

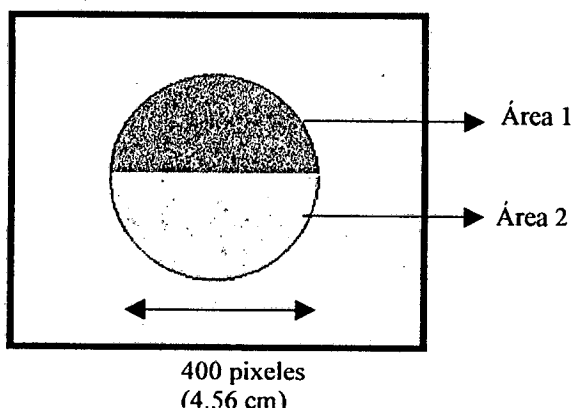


Figura 5: Esquema del estímulo usado para la calibración visual

De la misma manera que en la calibración fotométrica, se obtienen los pares tensión-luminancia para cada medición y se procede al ajuste de la curva de calibración, obteniendo así los parámetros  $k$  y  $\gamma$ .

### Observadores y mediciones

En este experimento participaron 7 observadores, 3 de los cuales tenían experiencia previa en este tipo de mediciones psicofísicas y los restantes no.

En cada sesión de medición se consideraron nueve valores de densidad de píxeles iluminados en el área 1, realizándose un mínimo de 2 tandas de igualación a las que se podía agregar las necesarias hasta que la variabilidad de las respuestas era menor al 20 % (control que se realizaba en tiempo real por software). Ninguno de los observadores necesitó realizar más de 2 tandas de mediciones tomando tiempos menores a los 10 minutos para completarlas. Cada observador repitió la prueba 4 veces.

### III. RESULTADOS

#### Calibración Fotométrica

Se midieron 10 series de 50 valores cada una. Por cada serie se cargaron 50 valores idénticos en los tres DAC (rojo, verde y azul), entre 0 y 255, y se midieron las luminancias con un luminancímetro LMT utilizando un campo de 1 grado. Los valores fueron normalizados:

$$V_{\text{normalizada}} = \frac{V_{\text{dac}}}{255} \quad (5)$$

$$L_{\text{normalizada}} = \frac{L_{\text{medida}} - L_{\text{min ima}}}{L_{\text{max ima}} - L_{\text{min ima}}} \quad (6)$$

Con estos valores se realizó el ajuste con la función gamma, obteniéndose:

$$\begin{aligned} K &: 0,992 \quad + / - 0,001 \\ \text{Gamma} &: 1,733 \quad + / - 0,004 \end{aligned}$$

con un  $\chi = 0.00004$

#### Calibración Visual

En las figuras 6 y 7 se muestran los resultados para dos observadores: uno sin experiencia (AS) y otro con experiencia (RA). Mientras que en la figura 8 se muestra la baja distorsión y la alta repetibilidad de la técnica de la calibración visual al graficarse los resultados de los siete observadores.

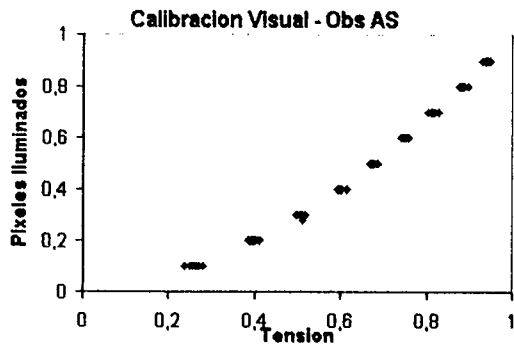


Figura 6: Resultado de las mediciones del observador AS

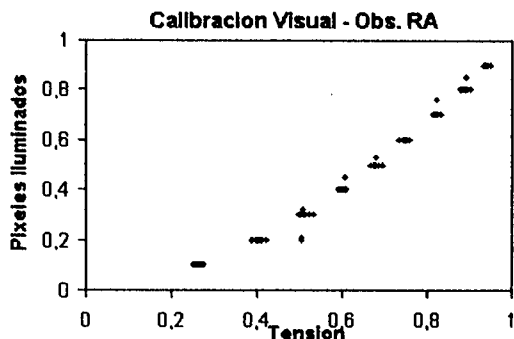


Figura 7: Resultado de las mediciones del observador RA

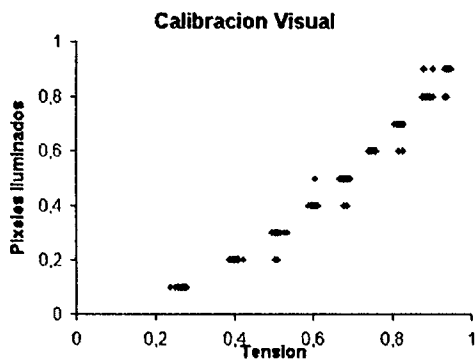


Figura 8: Resultado de las mediciones de los 7 observadores

Por su parte en las figuras 9 y 10 se presenta la distribución de los parámetros obtenidos en los ajustes realizados en las distintas mediciones.

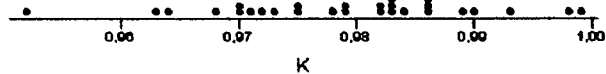


Figura 9: Diagrama de distribución de los valores obtenidos de k

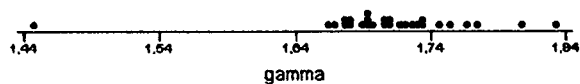


Figura 10: Diagrama de distribución de los valores obtenidos de gamma

En la figura 9 se observa que una de las determinaciones del observador G tiene que ser descartada pues se aparta mucho de los valores obtenidos. Considerando el nivel de confianza  $\alpha < 0,05$  se puede desechar el dato cuyo error sea mayor que 3,1 veces el desvío estándar. El error de este punto es igual a  $6,4 \sigma$  de manera que la estadística confirma la medida.

Del análisis de ANOVA se infiere que la contribución a la variabilidad entre observadores no es significativa (valor  $p = 0,16$ ) de manera que podemos tomar todos los observadores como iguales estadísticamente.

Los valores obtenidos con la calibración visual son:

**K:**  $0,98 \pm 0,01$   
**Gamma:**  $1,72 \pm 0,04$

#### IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De la comparación de ambos conjuntos de resultados se puede concluir:

- Dentro de los errores experimentales los resultados son iguales y se valida la técnica de la calibración visual
- Los resultados indican que la calibración visual es suficientemente confiable para ser usada como una alternativa a la calibración fotométrica. Es más simple y más barata que usar un fotómetro, ya que el precio de este último puede ser mayor al de la computadora con la tarjeta gráfica y el monitor.
- Los valores obtenidos no dependen de si el observador es experto o no. Algunos de los observadores tenían problemas visuales como ser miopía, astigmatismo, cataratas o fotosensibilidad, sin embargo, los errores fueron menores al 5% por lo que se puede decir que no se necesita características especiales en el observador para realizar la tarea de comparación visual.
- El tiempo de medición es aceptable con propósito de transferencia a la clínica.
- El software de calibración visual es de fácil utilización.

#### Perspectivas

Para dibujar el área 1, en la cual se encienden desde el 10% hasta el 90% de los píxeles de esa área con tensión máxima dejando el resto sin alimentación, se divide el área en grupos de 10 líneas horizontales encendiendo la cantidad de líneas adecuadas en cada grupo para lograr el porcentaje requerido, quedando en la pantalla una red cuadrada en luminancia. Para uniformizar esta área y facilitar la comparación con el área 2 se coloca un vidrio difusor sobre la primera, logrando así desdibujar la red cuadrada formando un patch uniforme.

El siguiente paso es reemplazar el vidrio difusor por un procesado digital de la imagen utilizando un desenfoque gaussiano.

## Agradecimientos

Este trabajo fue realizado dentro del programa de investigación subsidiado por el Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán (CIUNT) y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Técnica.

## Referencias

1. Colombo E & Derrington A Visual Calibration of CRT monitors, *Displays*, 22/3, 87-95, 2001
2. Colombo E. & Derrington A. Visual calibration of video monitors. Fourth International Scientific Conference WWDU' 94. Vol. II B46-B48, 1994.
3. Artigas J.M., Capilla P., Felipe A. & Pujol J. Óptica Fisiológica - Psicofísica de la visión. Ed. Interamericana McGraw Hill. Barcelona. 1995.
4. Bach M., Meigen T. & Strasburger H. Reaster-scan cathode-ray tubes vision research - limits of resolution in space, time and intensity, and some solutions. *Spatial Vision*. Vol. 10, No 4, pp. 403-414, 1997.
5. Cejas P. & Leguizamón M. Control de la resolución de contraste de un monitor. Proyecto final de graduación en Ingeniería Eléctrica. Instituto de Luminotecnia - FaCEyT - UNT. Tucumán. 1996.
6. Issolio L. Sistema para la calibración de monitores controlados con tarjetas VGA y SVGA. Proyecto final de graduación en Ingeniería Eléctrica. Instituto de Luminotecnia - FaCEyT - UNT. Tucumán. 1995.
7. Issolio L. & Colombo E. La función de sensibilidad al contraste: Propuesta de un sistema informatizado. *CET Revista de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán*. Año 2000.
8. Naiman A. C. & Makous W. Spatial non-linearities of grayscale CRT pixels. *SPIE Vol. 1666 Human Vision, Visual Processing and Digital Display III*. pp. 41-56, 1992.
9. Pelli D. & Zhang L. Accurate control of contrast on microcomputer displays. *Vision Res.* Vol. 31, No 7/8, pp 1337-1350, 1991.
10. Travis D. Effective color display, theory and practice. Academic Press. 1991. Wandell, B. A.. *Foundations of Vision*. Sinauer Associates, Inc., Publishers, 1995.