

INSTRUMENTACIÓN DE UN SISTEMA ÓPTICO PARA PRUEBA DE SUPERFICIES ASFÉRICAS

INSTRUMENTATION OF AN OPTICAL SYSTEM FOR TESTING ASPHERICAL SURFACES

Juan Ricardo Damián Zamacona

UNAM / Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, México
ricardo.damian@icat.unam.mx

Martín Isaías Rodríguez Rodríguez

UNAM / Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, México
martin.isaias.rodriguez@iztacala.unam.mx

José Rufino Díaz Uribe

UNAM / Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, México
rufino.diaz@icat.unam.mx

Recepción: 26/noviembre/2024

Aceptación: 27/diciembre/2024

Resumen

En este trabajo se presenta la instrumentación electrónica de un arreglo óptico, utilizado para la prueba de superficies. Estas pueden ser esferas de calibración o superficies ópticas tales como lentes o incluso la córnea humana. El arreglo óptico construido, está integrado por un conjunto de pantallas LCD, que iluminan la superficie de prueba con una determinada imagen. Por métodos de reflexión, esta imagen en un trabajo futuro, será capturada desde la superficie de análisis y se procesará, obteniendo la forma del relieve. La captura se realizará con un CCD. Las pantallas LCD, se acomodan en forma de prisma cuadrangular. Adicionalmente, se colocan arreglos lineales de LED de diferentes colores controlando su intensidad luminosa, su finalidad es, identificar cada una de las pantallas del arreglo. Otra de las razones de estos LEDs, es que se usan también para iluminar puntos muertos que se forman en el prisma, colocándolos en los vértices. Adicionalmente, se agregó una matriz de LEDs, de intensidad variable para cubrir la iluminación central de la superficie en estudio. Con este arreglo, se tiene un dispositivo funcional, para poder realizar en un trabajo futuro el estudio topográfico de las superficies reales mencionadas.

Palabras Clave: Instrumentación, LEDs, PWM, Intensidad, Imagen.

Abstract

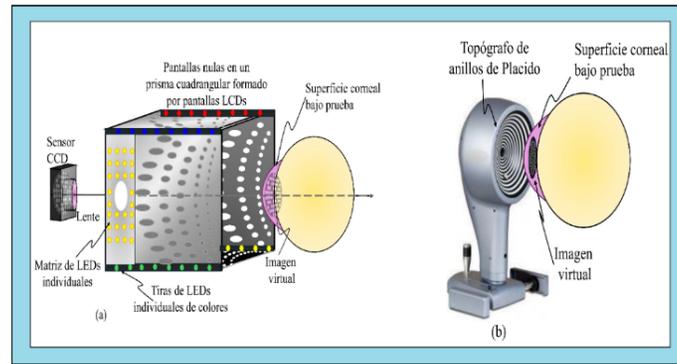
This paper presents the electronic instrumentation of an optical array used for surface testing. These can be calibration spheres or optical surfaces such as lenses or even the human cornea. The constructed optical array is made up of a set of LCD screens that illuminate the test surface with a certain image. Using reflection methods, this image will be captured from the analysis surface in a future work and processed, obtaining the shape of the relief. The capture will be done with a CCD. The LCD screens are arranged in the form of a quadrangular prism. Additionally, linear arrays of LEDs of different colors are placed, controlling their luminous intensity. Their purpose is to identify each of the screens in the array. Another reason for these LEDs is that they are also used to illuminate dead spots that form in the prism, placing them at the vertices. Additionally, a matrix of LEDs of variable intensity was added to cover the central illumination of the surface under study. With this arrangement, we have a functional device, to be able to carry out the study of the real surfaces mentioned in a future work.

Keywords: Instrumentation, LEDs, PWM, Intensity, Image.

1. Introducción

Otras versiones semejantes de este arreglo propuesto, se han venido empleando para realizar estudios topográficos de superficies curvas de forma novedosa [Flores, 2017], para ello, se emplean técnicas modernas de análisis, empleando conceptos acuñados con el nombre de pantallas nulas, y dónde finalmente por integración numérica se logra reconstruir la imagen. Las técnicas convencionales lo hacen de forma diferente, para ello emplean dispositivos tales como los círculos de Plácido, para la formación de las imágenes sobre las superficies de estudio. Con esta técnica, la reconstrucción de las imágenes se realiza por medio de análisis matemático como la detección de bordes.

El disco de plácido tradicional, es un arreglo de anillos concéntricos, formado por curvas claras y oscuras para lograr un buen contraste, Figura 1.



Fuente: elaboración propia

Figura 1 LCDs para topografía corneal por pantallas nulas y Topógrafo tradicional.

La imagen de estos círculos es proyectada ya sea sobre la córnea, al ser iluminados por una luz apropiada o sobre una superficie esférica en estudio. La imagen que se forma en la cara anterior de la córnea es reflejada y capturada por métodos electrónicos, tales como cámaras CCD o CMOS. Posteriormente, la imagen obtenida por reflexión, es analizada por técnicas de filtrado y detección de bordes, para de esta forma, poder tener un mapa topográfico de la misma, o en su caso, poder medir el radio de curvatura de ella. Con este método, se puede determinar con cierta incertidumbre si una superficie tal como una lente o una córnea tiene una curvatura adecuada o en su caso tiene deformaciones. Como se mencionó, para este tipo de reconstrucción de la topografía corneal, se utilizan métodos matemáticos, que en algunas ocasiones presentan errores de integración numérica, de tal forma que no siempre se tienen buenos resultados. Adicionalmente, entre otros inconvenientes de este método, también están presentes fuentes de error, como alineación de la superficie y para el caso de la córnea humana el posicionamiento correcto del sujeto en estudio. El disco de Placido mencionado [Rand, 1997] se muestra en la Figura 1.

Una alternativa a los estudios anteriormente comentados, como se mencionó en un principio, se ha venido planteando mediante el uso de imágenes de otro tipo, tal es el caso de las denominadas pantallas nulas [Rodríguez, 2015], [Valderrama, 2022], [Rodríguez, 2022], [Díaz, 2021], Figura 1. Estas pantallas consisten en un arreglo de manchas claras y oscuras con una determinada disposición, diferente a la planteada con los círculos concéntricos tradicionales, que, al ser proyectadas en la

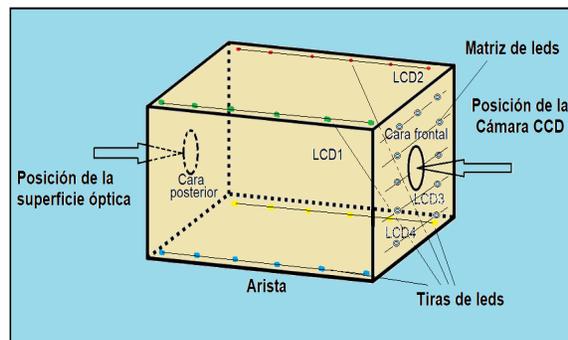
superficie de prueba, tal como lentes o espejos ópticos, también se analiza su reflexión, reconstruyendo la superficie en estudio, por medio de integración numérica.

El arreglo óptico planteado en este trabajo, consiste básicamente de un conjunto de cuatro generadores sincronizados de imágenes o pantallas nulas, a base de pantallas LCD. Estas pantallas son dispuestas en forma de prisma rectangular, a las que se les adicionan arreglos de LEDs, para complementar las imágenes proyectadas sobre la superficie de prueba, tal como se muestra en la Figura 1. Adicionalmente, en la Figura 1, se muestra la comparación con un topógrafo tradicional basado en anillos de plácido

2. Métodos

Arreglo óptico

La instrumentación propuesta, parte de la construcción del arreglo óptico requerido para las pruebas ópticas, y se basa en un arreglo de cuatro pantallas LCD, agrupadas en una disposición a manera de prisma rectangular [Flores, 2017], como se muestra en la Figura 2.



Fuente: elaboración propia

Figura 2 Arreglo de pantallas LCD.

La electrónica asociada a cada una de las pantallas LCD, se dispuso de tal forma que se tiene acceso al control independiente de cada pantalla, permitiendo reiniciar una secuencia de imágenes, pausar en una imagen determinada y apagar o encender cada una de las pantallas, principalmente. El arreglo se puede encender

y apagar por completo desde la activación de un interruptor general, el cual suministra la energía a cuatro pequeñas fuentes de voltaje de cinco volts para cada una de las LCD del arreglo.

Por otra parte, las imágenes (Pantallas nulas) que se despliegan en cada una de las pantallas LCD, se cargan a la memoria interna de estas, a través de cuatro memorias USB, conectadas mediante cables adaptadores USB hacia las pantallas LCD del arreglo.

Pantallas LCD

Las pantallas de cristal líquido utilizadas tienen como dimensiones $23 \times 14 \text{ cm}$ de área útil (10.1 pulg), tienen una resolución de 1024 por 600 *pixeles*, son de alta resolución, proporcionan visualización de imágenes claras y con buen contraste, adicionalmente, soportan gran variedad de formatos de imágenes. Se alimentan con 5 V y tienen un consumo de energía de 0.005 kWh. Es por ello que fueron seleccionadas por su versatilidad y facilidad de manejo de las imágenes.

Matriz de LEDs

Otra componente del sistema óptico es una matriz de LEDs colocada en la parte frontal del prisma rectangular (base frontal). Esta matriz está formada por un arreglo de 8 por 8 LEDs, como se muestra en la Figura 3.



Fuente: elaboración propia

Figura 3 Matriz de LEDs color blanco.

Los LEDs son de tipo sombrero modelo W5H-AC-H110, su consumo de potencia es de 60 miliwatts. Para los LEDs de color blanco empleados en esta etapa (Tabla 1), su voltaje de operación puede estar comprendido entre 3.2 y 4 V y su corriente nominal es de 20 mA. La intensidad luminosa de la matriz de LEDs es controlada mediante un circuito electrónico que proporciona una salida PWM. El ciclo de trabajo de la señal, es ajustado mediante la posición de una resistencia variable o potenciómetro.

Tabla 1 Características eléctricas para el LED W5H-AC-H110.

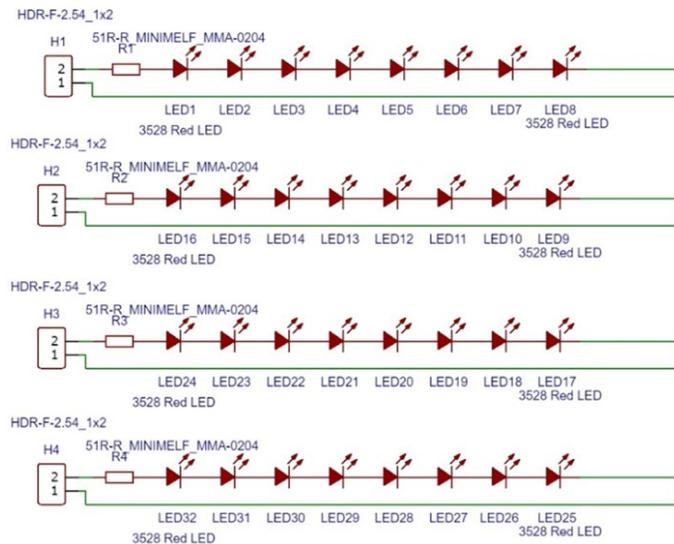
| LED tipo DIP 5 mm (sombrero) Encapsulado transparente | | Corriente nominal: 20 mA Tem. de operación: -40 a 70 °C | | | |
|---|---------------------------------|---|--------------|---------------------------|--------------------------|
| Color | Longitud de onda (nm/ TC(K)) | Voltaje de operación (V) | Consumo (mW) | Intensidad luminosa (mcd) | ángulo de dispersión (°) |
| R | 600 – 650 | 2.0 – 2.4 | 40 | *** | 50 – 120 |
| G | 490 – 540 | 3.2 – 4.0 | 60 | *** | 30 – 110 |
| B | 450 – 500 | 3.2 – 4.0 | 60 | *** | 40 – 110 |
| Y | 550 – 600 | 2.0 – 2.4 | 40 | *** | 40 – 90 |
| W | 5000 – 10000 | 3.2 – 4.0 | 60 | *** | 65 – 110 |

Fuente: AG

El centro geométrico del arreglo matricial de LEDs, presenta una ventana circular de un centímetro de diámetro, para poder colocar en ella una cámara digital CCD, de tal forma, que se pueda tener acceso al interior del arreglo y así poder realizar la captura de las imágenes reflejadas sobre la superficie de prueba. Las imágenes proyectadas sobre la superficie óptica en estudio y capturadas por el CCD, se generan como un reflejo de las pantallas nulas desplegadas en las LCD, del arreglo matricial y de los arreglos lineales de LEDs, colocados en las aristas del prisma, formado por las mismas LCD. La superficie óptica a estudiar, es colocada en la cara posterior del arreglo. Esta superficie de prueba se coloca igualmente sobre otra ventana circular, dispuesta en el centro de la base anterior del prisma y opuesta a la base de la cámara, tal como se muestra en la Figura 2.

El otro componente óptico involucrado, como ya se mencionó, está conformado por cuatro arreglos de LEDs dispuestos en forma lineal, a manera de tiras, conformadas por conjuntos de 8 LEDs y con separación equidistante. Cada uno de estos arreglos,

está integrado por LEDs tipo SMD cuya matrícula es B3528-X-F120, de diferentes colores, de tal forma que se tiene una tira azul, otra verde, roja y amarilla, lo cual ayuda en la orientación e identificación de la imagen tomada por la cámara. Otra de las funciones de estos arreglos lineales, es la de cubrir la zona muerta que se forma en las aristas del arreglo prismático, mediante puntos luminosos, con esto, se facilita el procesamiento de las imágenes capturadas. En la Figura 4, se muestran los arreglos lineales de LEDs, conformado por los ocho LEDs SMD de color.



Fuente: elaboración propia

Figura 4 Cuatro arreglos ópticos lineales.

De acuerdo con la hoja de datos, el voltaje de operación para los LEDs rojo y amarillo, puede estar comprendido entre 2 y 2.4 V, mientras que, para los LEDs verde y azul, está entre 3 y 4 V, su disipación de potencia es de 40 y 60 mW, dependiendo del color, por otra parte, su intensidad luminosa, puede variar entre 1000 y 3000 mcd, lo cual es muy variable.

En la Tabla 2, se muestran las características eléctricas de referencia, ya que, de acuerdo con el fabricante, estos valores pueden cambiar de un lote a otro.

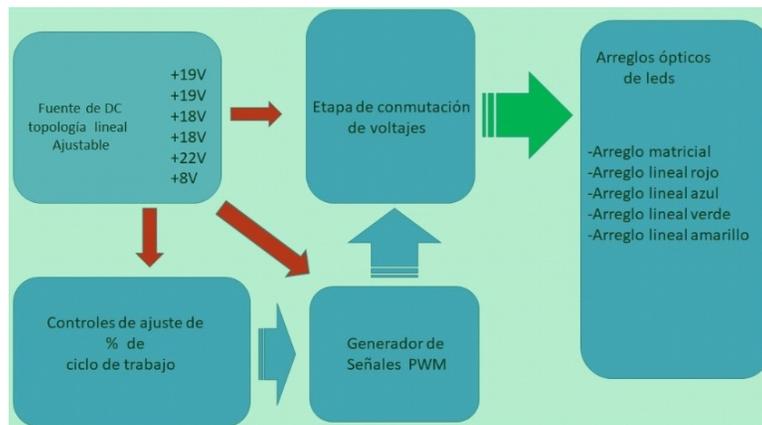
Electrónica asociada al control de brillo de los arreglos ópticos de LEDs.

En la Figura 5, se muestra un diagrama a bloques de la electrónica involucrada en el control de brillo de los diferentes arreglos de LEDs.

Tabla 2 Características de referencia para el LED B3528-X-F120.

| ángulo de apertura:120° Encapsulado transparente | | Corriente nominal: 20 mA monocromático 60 mA RGB | | | |
|---|---------------------------|---|--------------|---------------------------|--------------------------|
| Color | Longitud de onda nm/TC(K) | Voltaje de operación (V) | Consumo (mW) | Intensidad luminosa (mcd) | ángulo de dispersión (°) |
| R | 600 – 650 | 2.0 – 2.4 | 40 | 1000 – 3000 | 120 |
| G | 490 – 540 | 3.0 – 4.0 | 60 | 1000 – 3000 | 120 |
| B | 450 – 500 | 3.0 – 4.0 | 60 | 1000 – 3000 | 120 |
| Y | 550 – 600 | 2.0 – 2.4 | 40 | 1000 – 3000 | 120 |
| W | 5000 – 7000K | 3.0 – 4.0 | 60 | 1000 – 3000 | 120 |

Fuente: AG



Fuente: elaboración propia

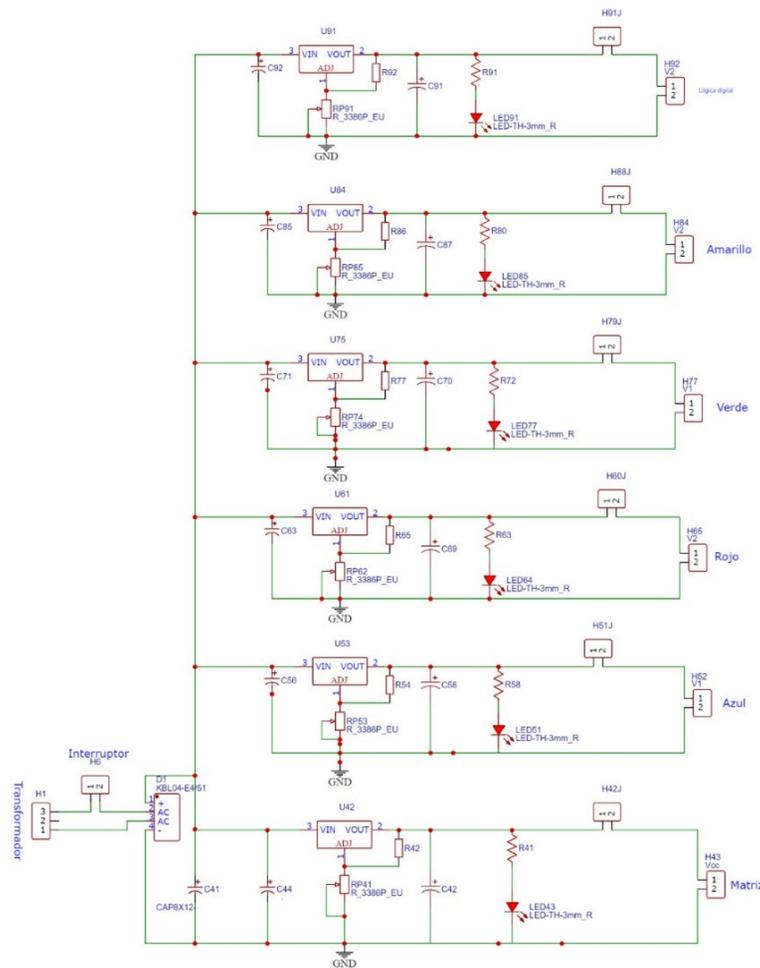
Figura 5 Diagrama a bloques de la electrónica asociada a las pantallas LCD.

Fuente de CD

La función principal de la electrónica asociada a las pantallas LCD es la de lograr controlar a voluntad por el usuario, el brillo de cada uno de los arreglos de LEDs propuestos para el sistema. Al conectar diodos LED en serie, el voltaje requerido para encenderlos va aumentando dependiendo del número de ellos y del voltaje independiente de encendido de cada LED, el cual depende del tipo. Se sabe que algunos LEDs encienden a 2 V, otros a 3 V, etcétera. Dado este factor, fue necesario disponer de fuentes independientes de alimentación, como se muestra en la Figura 6. Se muestra el bloque de fuentes lineales de voltaje de corriente directa.

Cada uno de los voltajes entregados por esta etapa, pueden ser ajustados entre 1.2 y 24 V, de tal forma, que se puede disponer del voltaje necesario e independiente para cada arreglo lineal de LEDs y de esta manera, poder controlar el brillo máximo y mínimo adecuado, en cada uno de los arreglos, al que se conecta determinada

fuentes de alimentación. Adicionalmente, a cada arreglo serie de LEDs, se le agregó una resistencia en serie, para la limitación de corriente y protección del arreglo. Se consideró una corriente promedio de 30 mA para circular en cada tira de LEDs y así poder calcular una resistencia adecuada, que resultó del orden de algunos cientos de ohms [Boylestad, 2003]. En la Figura 6, se muestra un esquema general de las fuentes de alimentación, reguladas y ajustables, empleadas para este arreglo.



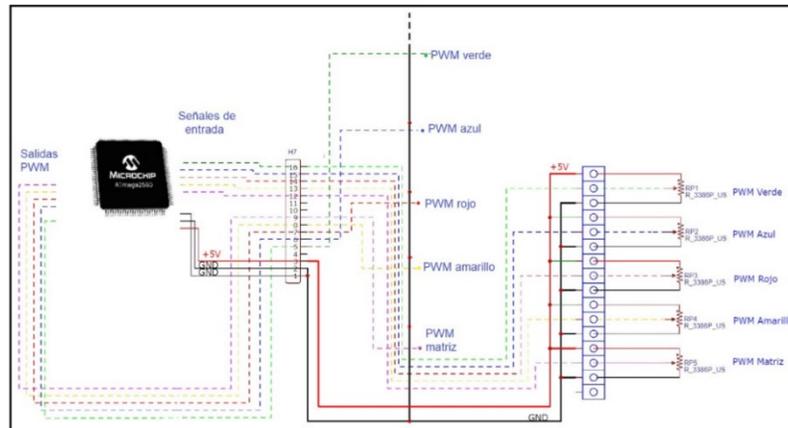
Fuente: elaboración propia

Figura 6 Conjunto de fuentes de voltaje lineales, reguladas y variables.

Etapa de generación de señales PWM

El elemento principal de esta parte del sistema es un microcontrolador ATmega 2560 embebido en una tarjeta de desarrollo. Mediante la programación de este microcontrolador, se logran obtener las 5 salidas independientes PWM (Modulación

de ancho de pulso) necesarias para poder controlar el brillo de cada uno de los arreglos de LEDs. Para ello, el microcontrolador lee una señal de voltaje de entrada, comprendida entre 0 y 5 volts, para poder generar cada señal PWM independiente, de tal forma que, dependiendo de este valor, aumenta o disminuye el ancho de pulso (ciclo de trabajo) en cada una de las salidas mencionadas. Esta variación de voltaje, se logra con arreglos conformados por divisores de voltaje, ajustables por el usuario, a través de una resistencia variable. Es por lo anterior que, se tienen 5 resistencias variables de control y 5 salidas PWM que se conectan a la etapa de potencia o conmutación de voltajes. En la Figura 7, se muestra un esquema general de esta parte del sistema, correspondiente a la generación de señales PWM [Franco, 2015].



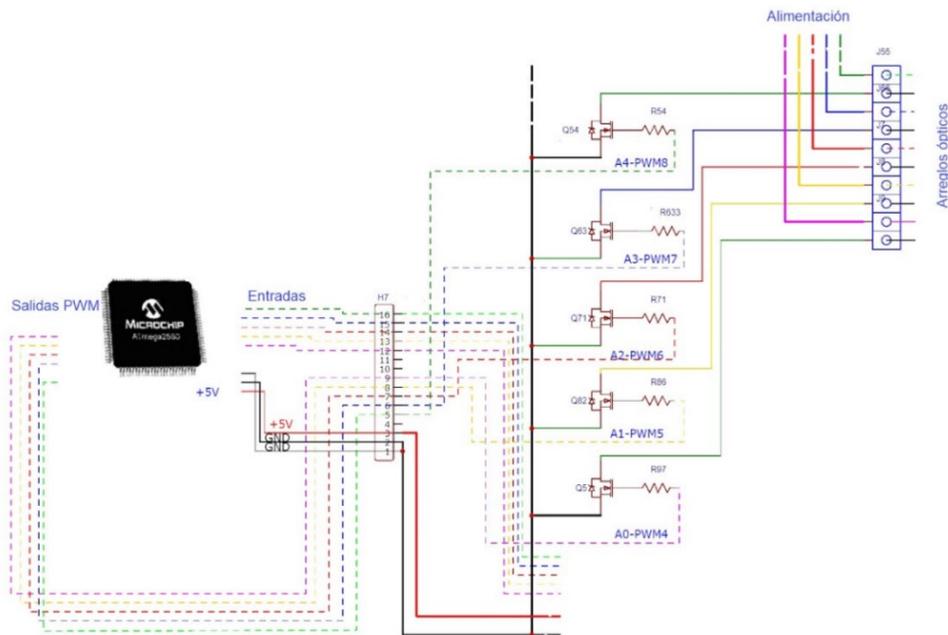
Fuente: elaboración propia

Figura 7 Control de ancho de pulso (PWM) de los arreglos de LEDs.

Conmutación de voltajes

Esta etapa es necesaria para poder manejar la corriente demandada por el sistema, de tal forma que los arreglos ópticos trabajen adecuadamente, y dado que el microcontrolador no puede proporcionar la corriente suficiente para alimentar los arreglos de LEDs directamente, ya que sus salidas se podrían dañar. Es por ello, que se implementó esta etapa. En esta parte del circuito se utilizaron transistores MosFET para el manejo de las corrientes necesarias. Estos transistores trabajan conmutando el voltaje de las fuentes de CD mencionadas anteriormente, de acuerdo a la señal de control de entrada, conectada en la compuerta de cada uno de los cinco transistores que conforman este circuito [Rectifier, 2004]. Las señales de

entrada a esta etapa, son las señales PWM que envía el microcontrolador, atendiendo al porcentaje de ancho de pulso que el usuario selecciona con las resistencias variables de control. En la Figura 8, se muestra la forma de conectar los elementos electrónicos del circuito de potencia.

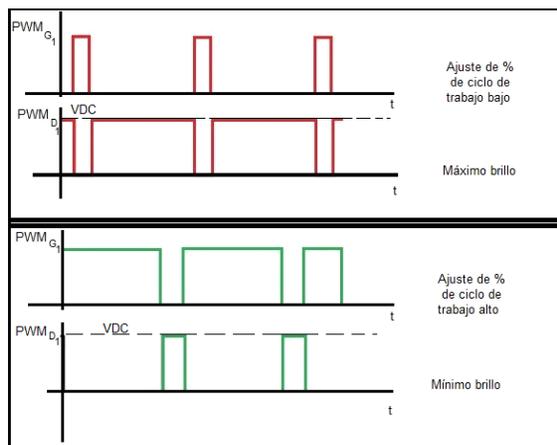


Fuente: elaboración propia

Figura 8 Etapa de conmutación de voltajes.

En la Figura 9, se muestra una de las formas de onda presentes en las compuertas (G) de los transistores MosFET y la forma de onda presente en las terminales de drenaje (D) de los mismos, se puede observar la inversión de voltaje que se tiene a la salida de la etapa. Es por lo anterior que, para un porcentaje bajo de ciclo de trabajo entregado por el microcontrolador, se tiene el máximo brillo en el arreglo de LEDs correspondiente, y por el contrario, para un alto porcentaje de ciclo de trabajo se logra un mínimo brillo. El máximo valor en amplitud que alcanza la señal PWM en la terminal de drenaje de los transistores MosFET, está en función del arreglo óptico en turno, ya que, si se habla, por ejemplo, del arreglo lineal de LEDs color rojo, su voltaje de encendido u operación de cada LED individual, es de alrededor de 2.2 V. Por lo mismo, como se tienen los LEDs en serie, se requiere un voltaje mínimo de 17.6 V. Una vez presente, este voltaje en los extremos del arreglo, se

provoca que los LEDs enciendan (conducen), pero su corriente se podría disparar exponencialmente, es por ello que, se coloca una resistencia de limitación de corriente para evitar que se dañen.



Fuente: elaboración propia

Figura 9 Formas de onda en las terminales de los transistores.

Por otro lado, la corriente nominal para este tipo de LEDs, de acuerdo con la Tabla 2, es de 20 mA para lograr un brillo adecuado, luego entonces, si se coloca una resistencia de $100\ \Omega$ la caída de voltaje que esta resistencia provoca será de alrededor de 2 V . Con este valor, se puede calcular el nuevo valor de voltaje que debe estar presente en los extremos del arreglo. Considerando la caída de voltaje en la resistencia de limitación de corriente, más la caída en cada LED, será de aproximadamente 19.6 volts , este voltaje es el que debe suministrar la fuente de DC variable para este arreglo en particular. Finalmente, la conmutación de esta señal de alimentación, a través del transistor MosFET y en función de la señal PWM conectada en su terminal de compuerta (G) correspondiente, será la encargada de manejar la potencia definitiva en el arreglo en turno, y de esta forma, se puede controlar el brillo del arreglo de LEDs desde un máximo hasta un mínimo.

3. Resultados

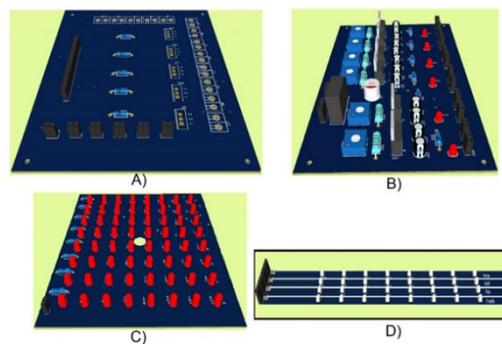
En la Figura 10, se presenta una vista general del arreglo de pantallas LCD logrado y la electrónica asociada a ellas, la cara de la izquierda es la cara frontal,

en la que se ubica el orificio de aproximadamente un centímetro de diámetro para colocar la cámara CCD. La cara contraria, es sobre la que se coloca la superficie de prueba, en otro orificio del mismo diámetro que el anterior pero que no se aprecia en la imagen. Las dimensiones del arreglo del prisma, formado por las pantallas es de $20 \times 20 \times 27 \text{ cm}$ de largo. Por su parte, las dimensiones del gabinete que contiene a la electrónica, es de $25 \times 10 \times 25 \text{ cm}$. Adicionalmente se dispone de un gabinete para alojar las unidades de almacenamiento USB con dimensiones de aproximadamente $10 \times 8 \times 25 \text{ cm}$. Se muestran en la Figura 11 los circuitos impresos (PCB) diseñados, correspondientes a los circuitos empleados para el control de intensidad luminosa, a las fuentes lineales de voltaje, a los arreglos lineales de LEDs, y al PCB de la matriz de LEDs.



Fuente: elaboración propia

Figura 10 Arreglo óptico con pantallas LCD y electrónica de control.

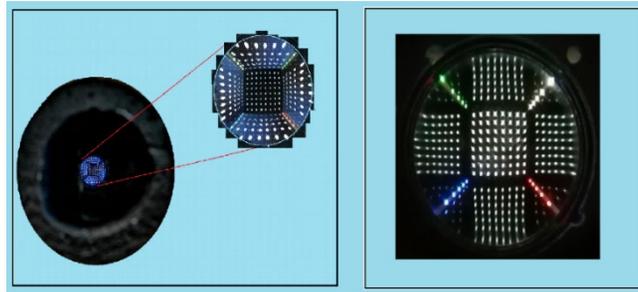


Fuente: elaboración propia

Figura 11 Control de voltaje, Fuente, Matriz y Arreglos lineales de LEDs.

La Figura 12 muestra dos imágenes de prueba obtenida con el sistema, en las que se aprecia una serie de manchas proyectadas sobre superficies curvas de análisis, las manchas son generadas en conjunto por los diferentes arreglos de LEDs y las

cuatro pantallas LCD que proyectan las pantallas nulas de prueba.



Fuente: elaboración propia

Figura 12 Imágenes generadas sobre superficies de prueba.

El arreglo óptico construido con las pantallas LCD y los arreglos de leds, se probaron con una superficie de prueba. Proyectando en ella un patrón de manchas, generadas por el conjunto de pantallas LCD, a diferentes intensidades luminosas, ajustadas en los arreglos de leds (matriz y arreglos lineales), de tal forma que, se lograra obtener el menor efecto de reflexión mutua entre los elementos presentes. Para de esta manera, tener una imagen lo más limpia y nítida posible al momento de capturar la imagen con la cámara CCD. En la Figura 12, se presenta solamente una captura de una imagen sobre dos superficies de prueba, bajo ciertas condiciones de ajuste de la intensidad de brillo de todo el conjunto de emisores luminosos. El análisis y obtención de la topografía de las superficies se puede por tanto llevar a cabo. Pero este proceso no es la finalidad ni el alcance de este trabajo. Se deja para un trabajo a futuro, dado que aquí, solamente se presenta la instrumentación del arreglo propuesto. Presentando una imagen útil para posteriormente aplicar el método de análisis topográfico que se planteó en un principio.

4. Discusión

El control de la intensidad luminosa de cada uno de los arreglos es muy importante en el arreglo óptico, dado que los LEDs de diferentes colores iluminan de forma diferente, esto es importante considerarlo, dado que si el brillo de uno de los arreglos es muy intenso se pueden producir reflejos no deseados sobre los

demás elementos ópticos. El arreglo prismático de las pantallas LCD, proyectan las imágenes de las pantallas nulas sobre la superficie de prueba con un determinado brillo, es por ello que, de acuerdo a esto, es necesario ajustar el brillo de forma independiente de cada uno de los arreglos de LEDs, lo cual se logra adecuadamente ajustando la señal PWM de cada arreglo.

5. Conclusiones

El arreglo óptico propuesto en un principio se logró de manera adecuada y se pudo comprobar que se pueden obtener imágenes de superficies de prueba de una manera adecuada. Como trabajo a futuro, se empleará el arreglo para superficies reales de calibración y se aplicarán los métodos matemáticos mencionados en un principio, para el estudio y análisis de ellas.

Agradecimientos

Agradecimiento al programa DEGAPA-UNAM, a través del proyecto DGAPA PAPIIT No. IA106823.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Díaz-Urbe R., Rodríguez Rodríguez M. I., Portable Apparatus, Method and System for measuring the corneal topography, Mexican Patent 378804, 10 March 2021.
- [2] Flores Martínez Alejandro, Arreglo de pantallas OLED para estudio de superficies esféricas, Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2017.
- [3] Franco, S. (2015), Design with operational amplifiers and Analog Integrated circuits, 4th edition, USA, McGraw Hill Companies, Inc.
- [4] International Rectifier. (2004). Use Gate Charge to Design the Gate Drive Circuit for Power MOSFETs and IGBTs. Application Note AN-944. 5 pages, October 2004.
- [5] Rand R, Applegate R. A., and Howland H. C., A Mathematical Model of Plácido Disk Keratometer and its Implication for Recovery of Corneal

- Topography, in *Vision Sciences and Its Applications*, OSA Technical Digest Series (Optical Society of America, Washington D.C.) 1, pp. 46-49, 1997.
- [6] Robert L. Boylestad, Louis Nashelsky, *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*, Pearson, Educación, México, 2003.
- [7] Rodríguez Rodríguez M. I., Valderrama-Juárez Carlos Enrique, Damián-Zamacona J. R., and Díaz-Uribe R., Corneal topography using Dynamic point shifting method in quadrangular OLED prism; *Proc. SPIE Vol. 12221: 122211C 1-10*, 2022.
- [8] Rodríguez-Rodríguez M. I., Jaramillo Nuñez A., and Díaz-Uribe Rufino, Dynamic point shifting with null screen using three LCDs as targets for corneal topography, *Appl. Opt.*, 54, 6698-6710, 2015.
- [9] Valderrama-Juárez, C. Enrique, and Díaz-Uribe Rufino, Experimental results of a quadrangular OLED prism topographer prototype with Dynamic Point Shifting, *Latin America Optics and Photonics Conference (LAOP)*, 2022.