

# Sistema volumétrico de coordenadas tridimensionales mediante el uso de *Light-Emitting-Diodes* (LED) y microcontroladores

Three-Dimensional Volumetric Coordinate System Through the use of Light-Emitting-Diodes (LEDs) and Microcontrollers

Arturo Abraham Sosa López\*, Adán Flores Balderas\*, Mónica Trejo Durán\*, Edgar Alvarado Méndez\*\*

## RESUMEN

La visualización de funciones con múltiples variables de campos y funciones vectoriales, generalmente, requiere de tres dimensiones para analizar fenómenos químicos, físicos y matemáticos. Por ello, es de gran importancia contar con un sistema de coordenadas tridimensionales para lograr visualizar adecuadamente las funciones de interés. En este reporte se presenta la construcción de un sistema de coordenadas volumétrico que cuenta con una resolución de 1000 voxeles para la visualización de funciones tridimensionales. El control se realiza de manera óptima mediante un par de microcontroladores ATMEGA2560 sincronizados por una comunicación I<sup>2</sup>C simple.

## ABSTRACT

The visualization of multiple variable functions, vector fields and vector functions, usually requires three dimensions in order to be able to analyze chemical, physical and mathematic phenomena. This is why it is very important to count with a three dimensional coordinate system, in order to properly display the functions being analyzed. This report presents the construction of a volumetric coordinate system consisting of 1000 voxels for the visualization of three-dimensional functions. The control is done by two ATMEGA2560 microcontrollers which communicate through a simple I<sup>2</sup>C connection.

Recibido: 11 de agosto de 2015

Aceptado: 3 de febrero de 2016

### Palabras clave:

Sistema de coordenadas; modelado 3D; cubo de LED; graficado de funciones 3D.

### Keywords:

Coordinate system; 3D modeling; LED cube; 3D function plotting.

### Cómo citar:

Sosa López, A. A., Flores Balderas, A., Trejo Durán, M., & Alvarado Méndez, E. (2016). Sistema volumétrico de coordenadas tridimensionales mediante el uso de *Light-Emitting-Diodes* (LED) y microcontroladores. *Acta Universitaria*, 26(NE-1), 35-38. doi: 10.15174/au.2016.931

## INTRODUCCIÓN

Dentro de las distintas áreas educativas, sobre todo en las ciencias naturales, es de gran importancia que los alumnos sean capaces de interpretar y comprender, sin problema, el manejo de distintos conceptos y fenómenos naturales. Esto con el fin de aplicar los conocimientos adecuadamente en la solución de problemas, diseño de dispositivos y demás.

Sin embargo, uno de los problemas que se presenta en estas áreas se debe a que a los alumnos se les imparte su educación por medio de pizarrones, pantallas de computadora, proyectores, libros, entre otros. Todos estos medios utilizan representaciones bidimensionales, por lo cual los alumnos se acostumbran a interpretar los problemas de un modo "plano". Por ello, al momento de analizar problemas reales se enfrentan con dificultades para entender los conceptos tridimensionales (3D) del mundo que les rodea.

Se han desarrollado programas que logran emular figuras 3D mediante sistemas de representación bidimensionales (2D) (Lawrence, 2011), sin embargo, para el alumno aún es problemático, ya que dificulta entender varios conceptos. Por ejemplo, en cálculo vectorial y multivariable, no se logra apreciar el comportamiento de una función vectorial como una cúbica alabeada o

\* Departamento de Estudios Multidisciplinarios (DEM), División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato, sede Yuriria. Av. Universidad s/n, Col. Yacatitas, Yuriria, Gto., México. Tel.: (445) 4589040, ext. 1709. Correo electrónico: aa.sosalopez@ugto.mx

\*\* División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. Com. Palo Blanco s/n, Salamanca, Gto., México, C.P. 36885.

una helicoidal; en problemas físicos no se aprecian, el desplazamiento de un fluido dentro de un tubo o espacio; y en química no se observaron, las estructuras cristalinas o los enlaces  $\pi$ , sp, sp<sup>3</sup>.

Cabe destacar que cerca del 50% de la capacidad del cerebro humano es responsable del procesamiento de la información visual que se percibe del entorno. Sin embargo, para lograr interpretar correctamente las imágenes que recibe, el cerebro humano requiere de muchos factores. Entre ellos se encuentran: a) el acomodo, medida de tensión muscular para enfocar los ojos en un objeto tridimensional para percibir su profundidad; b) la convergencia, diferencia de ángulos de los ojos al momento de fijarse en un punto en particular de un objeto tridimensional para captar su distancia; c) "motionparallax", comparación de movimiento relativo al comparar un objeto tridimensional con el movimiento de objetos terceros, por lo que al momento de girar la cabeza, objetos cercanos parecieran moverse más rápido que objetos lejanos; y d) disparidad binocular, las diferencias en las imágenes captadas por el ojo izquierdo y el derecho, por ejemplo, un objeto que se encuentra más distante se percibirá más separado al momento de comparar las imágenes del ojo izquierdo y el derecho (Geng, 2013; Solso, 1993).

Lamentablemente, los programas de visualización no aprovechan la capacidad mental de manera eficiente, ya que no pueden satisfacer todas las condiciones requeridas por el cerebro humano para la percepción tridimensional.

Por otro lado, las tecnologías como los hologramas y cubos de LED (*Light-Emitting-Diodes*), a pesar de su desarrollo no han sido implementados con fines didácticos (Cossairt, Napoli, Hill, Dorval & Favolora, 2007; Lawrence, 2011; Wyatt & Wujanto, 2005). Se espera que en un futuro cercano el desarrollo de tecnologías de visualización tridimensionales se logre de manera eficiente y con gran beneficio para las áreas de investigación de física, química, educación, etcétera (Geng, 2013).

Se han desarrollado muchos cubos de LED (Wyatt & Wujanto, 2005; *LED Cube Manual V1.1*), por ello en este trabajo se ha optimizado el medio por el cual se canaliza la energía, así como la cantidad de energía requerida para su funcionamiento. Con el uso de microcontroladores también se reduce el costo frente a otras tecnologías como los arreglos de compuertas programables en campo (*Field-Programmable Gate Array* [FPGA]).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el control del encendido de LED se utilizaron dos microcontroladores ATMEGA2560 (16 Mhz, 54 pines digitales, 256 Kb Flash), 120 resistencias de 330  $\Omega$  y 1 K $\Omega$  y 70 transistores de tipo NPN (50 de 100 mA y 20 de 2 A). En cuanto a la construcción del cubo, se utilizaron 1000 LED de color verde (2.1 V, 80 mcd, 15 mA, 5 mm), 2000 *jumpers* y 80 m de alambre de calibre 22. Para acoplar el sistema de control fue necesario unir tres protoboards que serían alimentados por una fuente de voltaje (7.1 V y 9 V).

### Construcción del cubo

Se colocaron los LED mediante los jumpers, formando así un cubo de 10  $\times$  10  $\times$  10 LED. Para facilitar su control se construyó el cubo de tal modo que se compone por planos verticales individuales que permiten que 100 LED compartan un ánodo en común, al igual que los cátodos, pero estos últimos formando filas verticales (*LED Cube Manual V1.1*).

Dado que sólo se enciende únicamente un LED a la vez, de acuerdo con la ley de Ohm, se requiere aplicar un voltaje de 7.1 V para alimentar el sistema usando resistencias de 330  $\Omega$  para limitar la corriente de cada fila de 20 LED (dos filas verticales). En la base de cada transistor se conectaron resistencias de 1 K, para lograr la polarización y operación adecuada (figura 1).

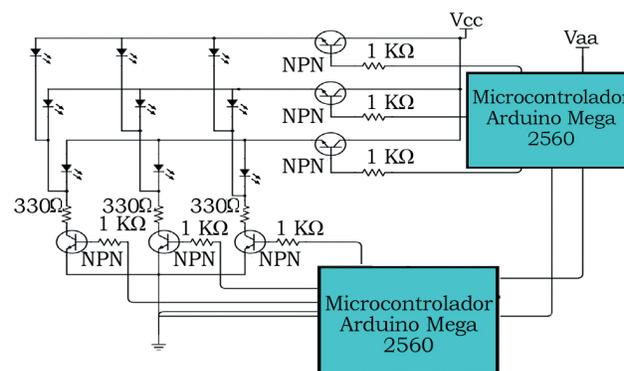


Figura 1. Esquema reducido del circuito utilizado.  
Fuente: Elaboración propia.

## Sistema de control del cubo

Los microcontroladores ATMEGA2560 se programaron en lenguaje C y alimentados de manera independiente con 9 V para controlar un sistema de 70 transistores tipo NPN. Un microcontrolador activa los planos horizontales con 20 transistores y el otro enciende los LED con los 50 transistores restantes. Así, se minimizó el número de pines requeridos del microcontrolador ATMEGA2560 para controlar cada LED o voxel. Juntos, los microcontroladores permiten desplegar funciones o figuras 3D.

Para lograr una buena percepción visual de las figuras 3D se usó una frecuencia de encendido de LED de 20 Hz, que permitió reducir el consumo eléctrico conservando la apreciación lumínica, gracias a la conmutación tipo *Pulse Width Modulation* (PWM) (Holli-man, Dodgson & Favalora, 2011).

Para compensar la pérdida de brillo generada por la baja frecuencia de pulsación se incrementó el voltaje de alimentación del LED, sin dañarlo. La ventaja de aumentar el brillo, es que se puede trabajar con el sistema de coordenadas a frecuencias más altas sin pérdida de visibilidad.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se construyó un sistema de coordenadas 3D utilizando LED (figura 2). Ofrece ventajas de modificación y mantenimiento gracias al tipo de conectores utilizados tipo *jumpers* para unir los LED, con el inconveniente de que las figuras se aprecien ligeramente deformadas. El sistema puede desplegar funciones vectoriales y vectores de manera óptima, sin embargo, para funciones multivariantes, debido al uso de distintos *delays* y por algunos mínimos desajustes en los microcontroladores, se deforma la imagen generada con el tiempo.

Se diseñó el sistema de control de tal manera que su demanda eléctrica es independiente a la que requieren los LED, todo gracias a los transistores que se utilizaron en vez de administrar directamente corriente para cada LED. Por ello, se permite controlar mayor consumo de energía de ser necesario, sin comprometer al microcontrolador.

El espaciado entre los LED, la interferencia luminosa, iluminación cruzada, no fue un problema

tan notorio como se esperaba en este cubo, debido a las funciones que se desplegaron, sin embargo, los *jumpers* y la estructura que soporta los LED son factores que perjudican la visibilidad. Por ello, tanto el control como el diseño físico deben ser mejorados para elevar la calidad de imagen.

Las figuras 3 y 5 muestran algunas funciones que fueron desplegadas.

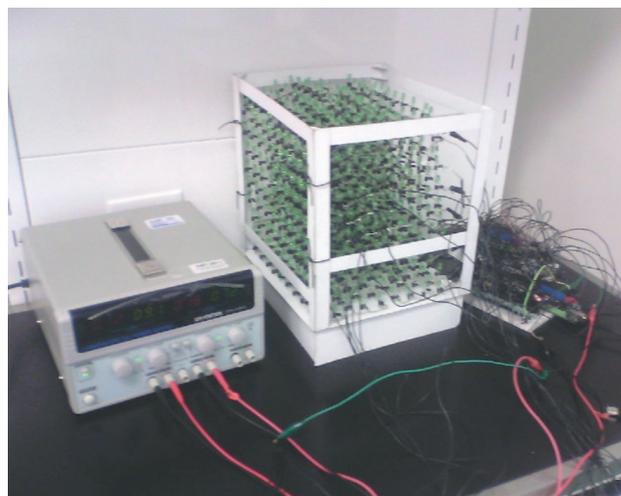


Figura 2. Imagen del sistema de coordenadas 3D.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. a) plano YZ, b) plano XZ, c) plano XY, d) medio cilindro de revolución ( $x^2 + y^2 = 25$ ).  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 4. Medio cilindro de revolución ( $x^2 + y^2 = 25t$ ).  
Fuente: Elaboración propia.

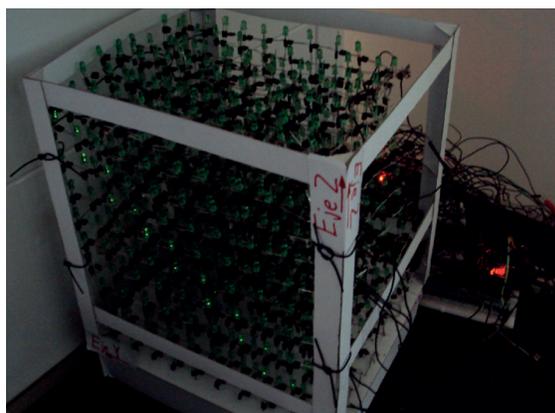


Figura 5. Vector  $\langle 0, 1, 1 \rangle$ .  
Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIÓN

Se logró el despliegue de algunas funciones vectoriales y de dos variables predeterminadas con baja resolución, empleando un cubo de LED de  $10 \times 10 \times 10$  como sistema de coordenadas.

Se utiliza la persistencia de visión, por lo que se reduce el número de pines necesarios para controlar múltiples LED, logrando visualizar las tres dimensiones con este sistema, incluso debido a las deformaciones por causa de los *jumpers*.

Se logró reducir el consumo de energía y optimizar la misma para encender un mayor número de LED. El consumo de energía real es menor del 50% que el calculado y comparado con el diseñado por (Wyatt & Wujanto, 2005).

Todo el sistema es controlado por un par de microcontroladores para generar las imágenes tridimensionales a través del encendido de voxels individuales. El prototipo construido tiene la ventaja de ser más simple de comprender y utilizar, en contraste con los sistemas de holografías que no son estáticos. El costo del cubo de LED fue de 400 USD, menor al de los proyectores de hologramas (600 USD - miles USD), siendo un *display* volumétrico estático (CRE Electronic Technology Co., 2014). La elección de los microcontroladores también favoreció al costo comparado con un FPGA como el realizado por Wyatt & Wujanto (2005).

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Dirección de Apoyo a la Investigación y al posgrado (DAIP), de la Universidad de Guanajuato, por el apoyo al proyecto núm. 223/2013, PIFI-2013, y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato (Concyteg) (7mo. Verano de Investigación).

## REFERENCIAS

- Cossairt, O. S., Napoli, J., Hill, S. L., Dorval, R. K., & Favalora, G. E. (2007). Occlusion-capable multiview volumetric three-dimensional display. *Applied Optics*, 46(8), 1244-1250.
- CRE Electronic Technology Co., limited. Recuperado en diciembre 2014 de <http://cre-projector.en.made-in-china.com/productimage/AvQmdMfOhYhc-2f1j00njLEcdHPIkqe/China-1080P-3D-LED-Wireless-Mini-Projector-for-Home-Cinema-X2000px-.html>
- Geng, J. (2013). Three-dimensional Display Technologies. *Advances in Optics and Photonics*, 5(4), 456-535.
- Holliman, N. S., Dodgson, N. A., & Favalora, G. E. (2011). Three-Dimensional Displays: A Review and Applications Analysis. *Ieee Transactions On Broadcasting*, 57(2), 362-371.
- Lawrence, J. (2011). 3D Object Representation. CS 4810: Graphics, lectures Virginia University. Recuperado el 31 de octubre de 2014 de <http://www.cs.virginia.edu/~gfx/Courses/2011/IntroGraphics/lectures/17-3DObjectRepresentation.pdf>
- LED Cube Manual V1.1, Images Scientific Instruments Inc. [www.imagesco.com](http://www.imagesco.com). Recuperado el 31 de octubre de 2014 de <http://www.imagesco.com/led/LED%20Cube%20Instructions.pdf>
- Solso, R. L. (1993). *Cognition and the Visual Arts. A Bradford Book series in cognitive psychology*. MIT Press Cambridge, Massachusetts; London, England. Second printing 1997. Recuperado el 1 de noviembre de 2014 de <http://www.arts.rpi.edu/~ruiz/AdvancedDigitalImagingSpring2014/ReadingsADI/Solso%20Visual%20Perspective.pdf>
- Wyatt, D., & Wujanto, L. (2005). *A Volumetric 3D LED display, Final project Report. MIT 6.111: Introductory Digital Systems Laboratory, Fall 2005*. Massachusetts Institute Technology. Recuperado el 26 de octubre de 2014 de [http://web.mit.edu/6.111/www/f2005/projects/wyatt\\_Project\\_Final\\_Report.pdf](http://web.mit.edu/6.111/www/f2005/projects/wyatt_Project_Final_Report.pdf)