

PANTALLA ELECTROLUMINISCENTE SOBRE SUSTRATO TEXTIL, SU PROCESO DE MANUFACTURA Y SU SISTEMA DE CONTROL

I. CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención está relacionada con el campo de la manufactura de pantallas para visualizar información tal como publicidad, anuncios, etc. En particular, la invención se refiere a una pantalla electroluminiscente RGB y su método de fabricación, en donde dicha pantalla cuenta principalmente con un sustrato textil, y sobre la cual es posible representar visualmente cualquier tipo de información con o sin sonido. Adicionalmente, la invención aquí descrita contiene medios electrónicos de hardware, firmware y software que permiten el control de todas las funciones de la pantalla, obteniendo además como resultado un producto y un método de manufactura convenientes, que resultan en una pantalla extraordinariamente delgada y flexible, lo que permite adaptarla a distintas condiciones de superficie.

II. DESCRIPCION DEL ESTADO DE LA TECNICA

En el estado de la técnica se conocen diversos tipos de configuraciones para pantallas que comprenden sistemas de iluminación que emplean aparatos emisores de luz basados en electroluminiscencia, los cuales además cuentan con un sustrato. Este tipo de pantallas comprenden varias capas de naturaleza diversa entre las que se encuentran elementos tales como electrodos, dieléctricos, compuestos fosforescentes, películas aislantes, laminas transparentes, entre otras. Sin embargo, en general, estas no están diseñadas para comprender un sustrato textil o reproducir sonido estéreo. Por otra parte, son conocidos métodos para manufacturar este tipo de pantallas que involucran la distinta disposición de dichas capas al interior del aparato, sin embargo, dichos procedimientos no cuentan con pasos tales como la aplicación de temperatura, la superposición de un sustrato textil, o la adhesión de filtros de color, los cuales permiten obtener las propiedades deseadas de funcionalidad y versatilidad.

Entre los dispositivos de pantallas electroluminiscentes conocidos en el estado de la técnica se encuentran documentos de patente que describen aparatos emisores de luz de emisión inferior que, por ejemplo, pretenden incrementar la eficiencia de extracción y el

brillo en una dirección determinada. Tal es el caso del dispositivo descrito en la solicitud de patente No. US7067974B2, el cual comprende un aparato emisor de luz colocado sobre un sustrato, en donde se incluye además una capa localizada entre un par de electrodos. De este modo, de acuerdo a esta invención, la luz es generada por la capa emisora de luz y emitida a través del sustrato, para llegar posteriormente a una superficie irregular transparente que cuenta con una pluralidad de asperezas que difuminan la luz debido a que la reflexión de la misma es disminuida. Sin embargo, los elementos constitutivos de la pantalla y su disposición dentro de la misma son diferentes a los descritos en la presente solicitud por cuanto no se incluye como parte de la misma un sustrato textil y, en consecuencia, la invención descrita en dicho documento no cuenta con la posibilidad de ser flexible, por lo que no es adaptable a distintas superficies. Del mismo modo, el método descrito para fabricar dicha pantalla, que incluye pasos tales como proporcionar una película transparente y formar una superficie irregular, no comprende pasos como la superposición de sustrato textil, por lo que las propiedades finales de la misma no llegan a ser la mismas.

Asimismo, en el estado de la técnica se conocen otro tipo de tecnologías de dispositivos orgánicos electroluminiscentes y métodos de fabricación tal como el descrito en la patente No. US 20010000744A1, la cual se refiere a un proceso para hacer un dispositivo orgánico que comprende pasos tales como proporcionar un sustrato y transferir de forma térmica un material emisor de luz. Adicionalmente, es mencionada una pantalla que incluye un primer electrodo, una capa de transporte de carga, una capa emisora polimérica y un segundo electrodo. Sin embargo, en este tipo de documentos no se detalla, por ejemplo, la posibilidad de incluir sonido estéreo que acompañe las imágenes mostradas en la pantalla, y adicionalmente, el proceso de manufactura no incluye etapas tales como la elaboración de pistas electrónicas. Asimismo, no se hace referencia alguna al sistema de control involucrado en el procesamiento de las señales que permiten obtener las reproducciones deseadas, ni se discute en ningún momento las características físicas que hacen parte de dicho controlador.

Así, los métodos de manufactura conocidos por lo general comprenden pasos enfocados a la colocación de distintas capas de materiales con propiedades específicas, sin embargo, como parte de ellos no se mencionan muchas de las etapas y condiciones divulgadas en la presente invención, las cuales han sido el resultado de investigaciones mediante las cuales

se han podido establecer las características que contribuyen a obtener los resultados deseados.

En efecto, es conocido en el campo de la manufactura de pantallas que la tendencia de la tecnología está orientada no solo a la reducción cada vez mayor de los espesores, sino a la posibilidad de ubicarlas en todo tipo de lugares y circunstancias, tal como es posible gracias a la flexibilidad y el espesor considerablemente reducido ofrecido por la presente invención. Adicionalmente, es un hecho que con el ritmo de vida actual de la sociedad se evidencia cada vez más una necesidad de obtener eficiencias significativas en el funcionamiento, una mayor facilidad de operación, y un consumo energético disminuido, aspectos también clave tratados en la presente invención y discutidos más adelante.

Teniendo en cuenta lo anterior es que se presentan en mayor contraste las ventajas alcanzadas por la pantalla electroluminiscente sobre sustrato textil con respecto a las tecnologías predecesoras, tal como la descrita en el documento de patente No. US20010033135A1, la cual se refiere a un dispositivo orgánico electroluminiscente que comprende dos electrodos, al menos una capa orgánica emisora de luz, y un acople externo que reduce la pérdida de Fresnel, así como un método para fabricar la misma. No obstante, aspectos clave de la presente solicitud tales como los filtros de color empleados, la especificación de los parlantes, el sustrato textil y las concentraciones de la tinta conductiva, así como las dimensiones y características generales de la pantalla no son discutidos o sugeridos en dicho documento. Adicionalmente, el método de manufactura no describe pasos fundamentales en la presente invención tales como las técnicas de estampación o la elaboración de pistas electrónicas. Asimismo, en el arte previo no se discuten las ventajas de contar con un control de píxeles por matriz de filas y columnas o los efectos de contar con elementos tales como un Opto-TRIAC como parte de la tarjeta electrónica de control.

Por otro lado, no se encuentra descrito el método de procesamiento que en este caso permite reproducir video en la pantalla. En otras palabras, no se tratan temas relacionados con la decodificación de las imágenes, la transmisión de datos y el procesamiento de los mismos, tal y como se menciona en la presente solicitud. Esto sumado además a la implementación de archivos de audio como parte de la información suministrada.

A partir de los problemas técnicos presentados relacionados con la poca versatilidad, gran espesor y moderada eficiencia en las pantallas electroluminiscentes, y la necesidad de proporcionar una pantalla que cumpla con los requerimientos de consumo energético, empleabilidad y tamaño cada vez más exigentes, existe la necesidad de una pantalla electroluminiscente que presente estas características deseadas. Lo anterior, toda vez que una pantalla electroluminiscente práctica, portátil, reutilizable, flexible, permitiría una fácil manipulación para la instalación de la misma bajo diferentes condiciones (i) adaptándose a distintos tipos de superficie, (ii) disminuyendo el consumo/gasto energético, (iii) mejorando la eficiencia de reproducción de archivos de video, (iv) proporcionando la posibilidad de incluir sonido como parte de la información suministrada, y (v) obteniendo una gran calidad en la reproducción de imagen para este tipo de aplicaciones.

La pantalla electroluminiscente sobre sustrato textil ha sido diseñada para resolver estas problemáticas. De tal manera que, si bien el arte previo ha buscado soluciones a los problemas evidenciados anteriormente, no existen aún pantallas electroluminiscentes que cuenten con las características descritas a continuación en términos de diseño, eficiencia, conveniencia, adaptabilidad, portabilidad, sonido, etc. La efectividad de esta pantalla ha podido ser demostrada como se verá más adelante.

III. DESCRIPCION GENERAL DE LA INVENCION

Según los problemas que se han logrado identificar en el estado de la técnica, la presente solicitud proporciona una pantalla electroluminiscente que comprende un sustrato textil (5), su método de fabricación y su sistema de control, la cual está caracterizada por ser altamente flexible y liviana, lo que le permite ser fácilmente adaptable a superficies de distintas condiciones. Adicionalmente, la pantalla propuesta cuenta con los medios electrónicos necesarios para reproducir todo tipo de animaciones, con o sin sonido, teniendo en cuenta que el dispositivo comprende además parlantes estéreo (3). En particular, la pantalla electroluminiscente RGB de la presente invención está hecha a base de químicos electroluminiscentes sobre un sustrato textil (5) antilíquido por medio de técnicas de estampación.

IV. BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

Figura 1. Ensamble del sistema electroluminiscente (1) y el sistema electrónico (4) de la pantalla RGB.

Figura 2. Vista general del sistema electrónico de control (4).

Figura 3. Superposición de capas para sistema electroluminiscente RGB (1) .

Figura 4. Conector (2) sistema electroluminiscente (1) -sistema electrónico (4).

Figura 5. Vista detallada del sistema electrónico de control (4).

Figura 6. Diagrama espectral prueba pantalla completa

Figura 7. Diagrama espectral prueba fósforo blanco filtro rojo

Figura 8. Diagrama espectral prueba fósforo verde filtro verde

Figura 9. Diagrama espectral prueba fósforo verde filtro azul

Figura 10. Esquema de la decodificación de las imágenes contenidas en un video.

V. DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a una pantalla electroluminiscente manufacturada sobre un sustrato textil (5) que cuenta con una gran flexibilidad al tener un espesor muy bajo. Esto se traduce no solo en beneficios de peso y portabilidad, sino que además le permite a la pantalla adaptarse a distintas condiciones de superficie. Adicionalmente, esta cuenta con la posibilidad de mostrar animaciones con sonido, ya que su módulo electrónico contempla la implementación de parlantes (3).

1. Descripción de la pantalla electroluminiscente:

La pantalla electrónica RGB está compuesta por una matriz pasiva de sustrato textil (5), el cual es el medio o dispositivo de salida que permite representar visualmente la información. En su modalidad preferida, la pantalla cuenta con unas dimensiones de tamaño de 14 pulgadas (35.56 cm) en un formato 16:9, con una resolución de al menos 10

x 6 pixeles, y un dot pitch de mínimo 1.5", en donde cada pixel tiene unas medidas de 2.5 x 2.6 cm. Sin embargo, esta puede ser manufacturada de acuerdo a las dimensiones que se requieran para cada aplicación particular. Adicionalmente, los materiales que utiliza y la tecnología empleada permiten que esta pantalla tenga un espesor de apenas 0,05 mm, y alcance un peso menor a 85 gramos. En particular, el diseño de la pantalla puede verse en la figura 1, en donde se puede ver la ubicación y orientación de las pistas, los electrodos y el ITO.

En particular, la pantalla electrónica RGB de la presente invención está hecha a base de químicos electroluminiscentes (más conocidos como fósforos) aplicados sobre un sustrato textil (5) antilíquido por medios de técnicas de estampación. Por otro lado, la pantalla está basada en la formación de una matriz pasiva. Los elementos que conforman dicha matriz pasiva son mostrados en la figura 2 y se discuten a continuación:

a. Sistema electroluminiscente RGB (1)

El sistema electroluminiscente (1) de acuerdo a la presente invención cuenta con un sustrato textil (5), un electrodo principal (6) de plata, una capa de dieléctrico (7), capas de fósforos electroluminiscentes (8), un electrodo secundario (9) y filtros de color RGB (10), organizados como se muestra en la figura 2. Dichos elementos son descritos a continuación:

Sustrato textil (5)

El sustrato textil de acuerdo a la modalidad preferida de la presente invención corresponde a un textil antilíquido 100% poliéster, en el cual se encontró que la tinta después del secado toma una apariencia más brillante y homogénea, mientras que en otro tipo de textiles se ve de un color oscuro y parchado (poco homogéneo). En particular, se resalta que una pantalla 100% poliéster, comparada con una 100% algodón, presenta diferencias sustanciales en homogeneidad e intensidad luminosa, siendo mucho mejor sobre poliéster.

En especial, como resultado del trabajo investigativo llevado a cabo, se encontró que al estampar una tinta conductiva sobre una tela, la conductividad eléctrica se ve favorecida cuando la tinta queda sobre la superficie de la tela debido a que las partículas conductivas quedan una junto a otra y uniformemente distribuidas sobre la superficie, por el contrario, si la tinta es absorbida por las fibras de la tela las partículas quedan dispersas al interior de las fibras provocando que la conductividad eléctrica de la tinta se vea disminuida. Esta es la razón por la que la tela de 100% poliéster con acabado anti líquido

tuvo un mejor desempeño en la conductividad de la tinta en comparación con el tejido de 100% algodón y mezclas de poliéster/ algodón. El acabado anti fluido evitó que la tela absorbiera la tinta conductiva, quedando ésta en la superficie, por su parte el tejido de algodón fue el que presentó el peor desempeño debido a la buena capacidad de sus fibras para absorber los fluidos, el tejido de 100% poliéster presentó un mejor desempeño que el algodón y las mezclas ensayadas de poliéster/algodón, pero no igualó al poliéster con acabado anti fluidos.

Electrodo principal de planta (6) (Tinta conductiva)

La pantalla electroluminiscente cuenta con unas pistas electrónicas por las cuales se transmite la corriente eléctrica. Dichas pistas electrónicas están realizadas en pasta silver, la cual es una pasta de plata con un porcentaje peso a peso entre 45 a 55% y una resistividad de volumen de $4,0 \times 10^{-5} \Omega\text{-cm}$. En particular, las pistas estampadas sobre el sustrato textil (5) cuentan con una brecha de espaciamiento entre 0.6 y 0.7 mm con un grosor de 1.8mm. Adicionalmente, al evaluar el número de capas de tinta conductiva se pudo apreciar que la homogeneidad de una sola capa es mucho mejor y ofrece mejores resultados.

Capa dieléctrica

Esta capa tiene una gran importancia teniendo en cuenta que actúa como aislante entre los dos electrodos que hacen funcional el sistema electroluminiscente (1): Silver e ITO.

Como parte del desarrollo llevado a cabo, se encontró que entre menos capas de dieléctrico (7) se apliquen, mejor es la intensidad luminosa, por lo que se debe hacer esta lo más fina posible con el fin de obtener un color más homogéneo. Como parte de la pantalla electroluminiscente desarrollada se emplean de 1 a 3 capas.

Capas de fósforos electroluminiscentes (8) (blanco y verde)

Los fósforos electroluminiscentes (8) representan la capa activa de la pantalla ya que son el material inorgánico que convierte la energía eléctrica en luz y hace posible la aplicación como tal. Dentro de la construcción de cada pixel de la pantalla se usa el fósforo verde de composición química ZnS: Cu para filtrar el color azul y verde, y el fósforo blanco de composición química ZnS: Cu, Mn para filtrar el color rojo.

Independientemente del color del fósforo su preparación se realiza mezclándolo con un solvente conocido como pasta PB el cual le proporciona mayor brillo y rápido secado a la

preparación. La mezcla se elabora en una relación pasta PB - Fósforo 1:1.5 p/p mediante agitación manual suave, lo que permite lograr una disposición práctica para la estampación de estas capas.

Electrodo secundario (9) (ITO)

Se refiere a las pistas de ITO (Oxido de Indio y Estaño), a las cuales se estampa una capa de pasta silver con el fin de garantizar y reforzar la correcta conducción de la corriente eléctrica de cada fila de la matriz pasiva que conforma la pantalla.

Adicionalmente, sobre el ITO se estampa la capa de fósforos electroluminiscentes con la preparación recomendada en el ítem anterior. Se recomienda que esta capa se estampe lo más delgada posible, es decir, pasando una sola vez las rasqueta sobre el diseño del marco de estampación, con el fin de mejorar la emisión de luz. La homogeneidad de la estampación influirá también en la homogeneidad de la emisión de luz. Una vez la capa de fósforo se estampe sobre el ITO debe secarse a una temperatura de 20°C durante 20 minutos

Filtros de color RGB (10)

De acuerdo a la modalidad preferida de la presente invención para la obtención de color rojo sobre el sustrato textil se debe emplear un filtro de vinilo rojo translucido y a través del cual se pasará luz blanca. Este tipo de filtro en particular permite obtener un color rojo uniforme con muy buena intensidad. Sin embargo, otros métodos tales como mezcla de fósforo blanco con plastisol rojo y con extender rojo, estampado superficial de ITO con extender rojo y plastisol rojo, impresión láser o Inkjet directamente sobre el ITO, e impresión de color rojo sobre adhesivo transparente o papel bond adhesivo, pueden ser empleados también con el mismo propósito.

Del mismo modo, en la modalidad preferida el color verde es obtenido mediante el uso de un filtro de vinilo verde translucido y el color azul mediante un filtro de vinilo azul translucido. Por otro lado, se menciona como parte de la presente invención la posibilidad de usar un inversor DC/AC que suministre una mayor frecuencia a la de la red eléctrica con el fin de mejorar la intensidad luminosa de los pixeles de las pantallas.

b. Conector del sistema electroluminiscente (2)

La pantalla electroluminiscente y el módulo electrónico de control son ensamblados entre ellos a través de un conector (2) plástico delgado y flexible conocido como Cinta Zebra

(12), el cual contiene 30 líneas conductoras que se alinean perfectamente a las pistas eléctricas del electrodo principal (6) de planta sobre el sustrato textil (5). El ancho de las pistas conductoras de la Cinta Zebra (12) es de 1.8mm y el espaciamiento entre dichas pistas es de 0.6 a 0.7mm, la cual se sujeta a las pistas del sustrato textil (5) por medio de 2 placas acrílicas con tornillos de ajuste de presión. Finalmente, se adapta un header macho (13) de 30 pines que encajan justo en el conector de columnas de la tarjeta electrónica de control. Adicionalmente, este comprende un conector de ensamble pistas-cinta flexible. (11)

c. Sistema de Audio

El sistema de Audio, aunque no está limitado a estos, funciona en su modalidad preferida con salidas de sonido estéreo (L y R) de 4 ohmios y 3 W cada uno, de los cuales generalmente se instalan dos parlantes (3). Los parlantes (3) se encuentran soportados en sus respectivas cajas, las cuales son realizadas a la medida de los mismos. Adicionalmente, el sistema electrónico seleccionado para el audio está compuesto por un amplificador de audio construido con el integrado PAM8403 que además dispone de una perilla para el control de volumen. Este le permite a la pantalla electroluminiscente transmitir información que no solo contempla imágenes, sino además sus respectivos sonidos.

d. Caja para la tarjeta electrónica

Esta caja actúa como protección del sistema electrónico (4) y puede estar elaborado en diversos materiales tales como acrílico, el cual hace parte de la modalidad preferida por la facilidad de ensamble y sus propiedades aislantes, lo cual permite que no interfiera con ninguna señal eléctrica de la tarjeta. Dicha caja además cuenta con las ranuras o aberturas necesarias para el paso del cableado y otro tipo de conexiones existentes entre la tarjeta, la pantalla, el sistema de audio y el computador.

2. Descripción del módulo electrónico de control

El modulo electrónico de control es el que permite que la pantalla opere de acuerdo a las necesidades. En general, este módulo integra Hardware, firmware y software que en su conjunto controlan la totalidad de las funciones de la pantalla, permitiendo la reproducción de animaciones a 15 cuadros por segundo y la reproducción de sonido estéreo a través de la adaptación de una etapa de amplificación y 2 parlantes (3) externos.

En particular, este consta de una placa principal que soporta todo el dispositivo, con unos altavoces de 3W y una alimentación de 110V – 1.2 kHz, y está conectado a la pantalla por medio de una cinta flexible.

En este sentido, el modulo comprende una etapa de regulación de voltaje, una etapa de regulación DC-AC, salidas para filas y columnas, adecuación de comunicaciones SPI, y microcontrolador de 16 bits con capacidad de ejecución de 40 millones de instrucciones por segundo. Adicionalmente, la salida de audio estéreo cuenta con una etapa de amplificación y un control de volumen.

a. Control de pixeles

Este está basado en una configuración de control de pixeles por matriz de filas y columnas, el cual favorece la robustez del sistema electrónico (4) a implementar, puesto que disminuye la extensión de programación, el número de conexiones y por ende el número de componentes.

Como parte de dicho sistema de control de la pantalla se emplean dispositivos con acople óptico que cumplen la función de aislamiento, y que además cuentan con un tamaño reducido. En particular, el dispositivo utilizado es llamado optoacoplador y en este caso específicamente se emplea un Opto-TRIAC. En especial, Los optoacopladores son una herramienta fundamental para el control de potencia del circuito, debido a que la luminiscencia de los pixeles y su conformación química interna es posible a través de corriente alterna.

El opto-TRIAC le permite entender a cada fila y columna alimentada a 110V AC, la orden desde el microcontrolador a través de una salida digital de 5V DC para conducir o no corriente y encender o no un pixel.

b. Tarjeta electrónica

En general, el tamaño total de la tarjeta es de 13.5 X 9 cm y contiene 4 capas distribuidas de la siguiente forma: i) 2 capas para conexiones de señales; ii) 1 capa para tierra; y iii) 1 capa para fuente. Cada una de las capas cuenta con plano tierra para aterrizar todas las partes del PCB y así mismo disminuir las interferencias electromagnéticas (EMI).

Este diseño incluye un microprocesador que tiene las especificaciones de salida y entrada necesarias para el sistema, es decir que cuenta con las salidas digitales y PWM requeridas, puede ejecutar hasta 40 millones de instrucciones por segundo y su voltaje de operación es de 3.3V.

La tarjeta electrónica dispone de:

1. Power Jack de alimentación tarjeta electrónica (14)
2. Regulador de voltaje 7.5 VDC a 3.3 VDC (15)
3. Regulador de voltaje 7.5 VDC a 5 VDC (16)
4. Conector comunicación SPI (17)
5. Conector programación in-circuit (18)
6. Microcontrolador dsPIC33FJ64GP206A (19)
7. Red de optocopladores (20)
8. Bornera x 6 de conexión de Filas (21)
9. Conector header hembra para conexión a cinta zebra (22)
10. Bornera de alimentación de entrada 110 VAC y salida de 5VDC (23)
11. Módulo de Audio (24)
12. Adaptador de 7.5VDC (25)
13. Inversor de Voltaje 75VAC @ 1.2KHz (26)

En la Figura 5 se muestra la distribución de los componentes sobre la tarjeta. Adicionalmente, la invención cuenta con una tarjeta electrónica de control que comprende los siguientes elementos:

Opto-TRIAC

Este consiste en un componente electrónico de acoplamiento óptico que combina un diodo emisor de luz (LED) con un triac foto-detector (foto-triac) dentro de un mismo encapsulado para transmitir de un punto a otro una señal eléctrica sin necesidad de conexión física, sino a través de una señal luminosa.

En particular, el uso de este dispositivo proporciona las siguientes para adaptarlo a la necesidad de la pantalla electroluminiscente:

- Mayor velocidad de conmutación, sin limitación en el número de maniobras.
- Más pequeño que el relé, lo cual permite disminuir el tamaño de la tarjeta electrónica.
- Aislamiento eléctrico óptico.
- Tensiones y potencia más adecuadas para el consumo de las señales manejadas.
- Ausencia de rebotes, que evita falsas activaciones del componente.

En particular en la tarjeta se emplea un opto-TRIAC de la serie MOC3022 el cual tiene un IFT de hasta 10 mA, ITSM de 1A y 400V, pero también podría usarse otras referencias como el MOC3021, MOC3020 y MOC3011 entre otros ya que cumplen las especificaciones de voltaje y corriente de la electroluminiscencia.

Regulador de voltaje

Dispositivo electrónico que mantiene un nivel de tensión constante relativamente cerca de un valor deseado. Se encuentra adaptado en una fuente de alimentación para estabilizar las tensiones de corriente continua que requiere los demás dispositivos. En el caso particular de la pantalla electroluminiscente se desea alimentar su tarjeta electrónica principal por medio de un adaptador de 9V DC, por lo tanto es necesario ajustar dicha tensión a 3.3 V DC, el cual es el voltaje de operación de la tarjeta como tal, y realizar otra adecuación de voltaje 9VDC-5VDC para alimentar el sistema de audio. Para esto se utiliza un regulador de tensión de referencia LM1117 acoplado con dos condensadores de Tantalum. En particular, el sistema cuenta con dos Reguladores de voltaje a 3.3 VDC y 5VDC,

Microprocesador

Dispositivo encargado de proporcionar la funcionalidad, eficiencia, potencia y en algunos casos almacenamiento, que cuenta con el número de salidas digitales requerido para adecuar el manejo de pixeles a través de la configuración de filas y columnas mencionadas anteriormente. En algunos casos puede ser empleado por ejemplo el dispositivo microcontrolador Arduino MEGA, el cual ofrece flexibilidad e interactividad al software y hardware de la pantalla electroluminiscente, además de cumplir con los requisitos de salidas digitales.

3. Descripción del proceso de fabricación

La pantalla electrónica RGB es realizada mediante un proceso que permite alcanzar los resultados deseados en cuanto a bajo espesor, propiedades del sustrato textil, (5) peso reducido y flexibilidad. En particular, los pasos llevados a cabo son:

a. Estampar químicos electroluminiscentes

Esta etapa en particular permite adherir el químico electroluminiscente sobre los electrodos de la configuración. Como parte de este paso se prepara en primer lugar el fósforo electroluminiscente (8), el cual es preferiblemente fósforo verde, en una

proporción 1.5:1 p/p con pasta PB, manteniendo agitación suave. A este respecto se señala que es preferible realizar agitación manual, teniendo en cuenta que los fósforos son químicos delicados que sufren daños dentro de su estructura con fuertes agitaciones. Posteriormente, se realiza una etapa de estampación con técnica de serigrafía del fosforo sobre la superficie conductiva del ITO usando una temperatura de secado máxima de 120°C durante 20 minutos con el fin de garantizar homogeneidad en la capa de fosforo. En este proceso se emplea una malla de 52 hilos/cm que permita el paso adecuado de las tintas. Es de anotar que la mayor viscosidad la tiene la tinta conductiva, por lo cual para esta podría usarse un menor número de malla.

Con el fósforo o químico electroluminiscente ya estampado sobre el ITO, se cortan las pistas de ITO para separar las filas de la pantalla. Una vez realizado esto se da por terminado el proceso de estampación del químico electroluminiscente sobre el ITO. Se debe aclarar que el éxito de la estampación del químico electroluminiscente va de la mano con el tensado de los marcos y la seda usada. Un buen shablon de estampación permite que las condiciones necesarias del fósforo sobre el ITO se reflejen en el resultado final.

Adicionalmente, con el fin de obtener mejores resultados es recomendable que se realice una etapa previa de secado del fosforo en horno a 70°C durante más de dos horas, con el fin de eliminar la humedad que pudiera haber tomado del ambiente, la cual es indeseable en el proceso.

b. Elaboración de pistas electrónicas.

En esta etapa se emplea pasta silver, la cual es una pasta de plata con un porcentaje peso a peso entre 45 a 55% y una resistividad de volumen de $4,0 \times 10^{-5} \Omega\text{-cm}$, dicha pasta se estampa sobre un sustrato (5) antifluidos para pistas de control de columnas y en ITO para control de filas. En particular, las pistas electrónicas están divididas en dos partes, las que se estampan sobre el sustrato textil (5) con Silver para las columnas y las que se estampan sobre los cortes de ITO.

Para las pistas sobre el sustrato textil (5) se usa el marco de estampación con el diseño de la Figura 1. Se corta la tela anti fluidos de un tamaño mayor al de la pantalla final para generar una buena área de trabajo y un buen agarre a la hora de estampar.

Si la tela está con quiebres o arrugada es necesario plancharla para que la superficie textil quede completamente plana y así evitar que el Silver no penetre o no se distribuya homogéneamente sobre dichos quiebres en la tela. Además los bordes de la tela deben quedar completamente sellados con calor para evitar que la tela se deshilache.

Una vez se tiene la tela lista se procede a preparar la mesa y el pulpo para estampar el Silver sobre la tela. Se cubre toda la zona superior del diseño con Silver formando una línea horizontal sobre el marco de estampación y luego con la rasqueta se extiende la pasta sin parar hasta terminar el diseño. Basta con una sola pasada de la rasqueta con Silver para terminar la estampación de las pistas electrónicas sobre el sustrato textil (5). Para el secado de la capa de Silver se ingresa el sustrato textil (5) al horno y se seca a 120°C durante 30 minutos. En especial, no se emplea una temperatura mayor a 120°C con el fin de evitar deformaciones en el textil. Posteriormente se procede a estampar las pistas electrónicas sobre el ITO (se usa pasta Silver) para asegurar la continuidad de la corriente a través de todas las pistas electrónicas para las filas de ITO de la pantalla. Esta capa de Silver se stampa por el lado conductivo del ITO, es decir por el mismo lado donde se stampa el químico electroluminiscente y solo se realiza desde el extremo de las pistas. En relación a este paso cabe señalar que la estampación de tinta o pasta Silver sobre el textil fue encontrada más eficiente que otras técnicas tales como el uso de hilos conductores unidos o tejidos al electrodo de un pixel de forma continua o discontinua, dado que en este tipo de técnicas presentan intermitencias en el flujo de corriente y resultan ser mucho más complicadas de manufacturar. En contraste, el uso de tinta o pasta simplifica en gran medida la elaboración de las pistas del panel debido a que solo requiere un proceso para su terminación consistente en crear los electrodos y las conexiones, siendo el proceso de estampado considerablemente más sencillo y eficiente que la costura. Adicionalmente, mediante el uso de esta técnica se obtiene una conductividad constante entre la pista y el electrodo, lo que quiere decir que no existen intermitencias en el paso de la corriente eléctrica. En particular, es de notar que el máximo valor de resistencia que se encuentra entre la pista y el electrodo es de 1 Ohm, lo cual significa que se mejoran notablemente las condiciones de trabajo de la pantalla. Adicionalmente, la estampación proporciona la gran ventaja de que elimina todo tipo de relieves, esto es importante teniendo en cuenta que se evitan problemas en cuanto a la unión de las capas siguientes sobre la tela.

c. Estampar la capa dieléctrica

En esta etapa se mezcla un polvo dieléctrico (7) con la pasta PB en relación 1:1 p/p y se realiza agitación magnética a una velocidad entre 1500 y 2500 rpm. Posteriormente, se lleva a cabo el mismo proceso de estampación que con las pistas electrónicas y el químico electroluminiscente, es decir, se dispone el sustrato textil (5) sobre la mesa de

estampación y se le graba el diseño respectivo. Esta capa además de aislar los dos electrodos también permite unir todas las capas. Para estampar el dieléctrico (7) se siguen los siguientes pasos:

- Se dispone la tela con el diseño de las pistas electrónicas sobre la mesa de estampación.
- Se esparce con la rasqueta 3 veces y sin secado intermedio la línea horizontal de dieléctrico (7) puesta en la parte superior del diseño.
- Se lleva al horno la tela para secar la capa de dieléctrico (7) durante 20 minutos a una temperatura de 120°C.
- Cuando salga el sustrato textil (5) del horno y esté a temperatura ambiente se esparce con la rasqueta 2 veces y sin secado intermedio una nueva línea horizontal de dieléctrico (7) puesta en la parte superior del diseño.
- Se lleva nuevamente al horno la tela para secar la capa de dieléctrico (7) durante 20 minutos a una temperatura de 120°C.

Adicionalmente, vale la pena aclarar que es muy importante limpiar los marcos de estampación inmediatamente después de su uso porque el dieléctrico (7) y las tintas se adhieren con facilidad y es difícil retirarlas una vez se hayan secado. El solvente usado para limpiar los sablones es thinner flexográfico.

d. Unión de capas

Una vez se tiene listo el sustrato textil (5) con las pistas electrónicas estampadas y con las medidas pertinentes de continuidad; las capas de dieléctrico (7) suministradas al textil como aislante y cuando ya el ITO está previamente cortado, estampado con el químico electroluminiscente y las pistas electrónicas con pasta Silver, se procede a ejecutar la unión de estas partes de la pantalla.

La unión de las partes de ITO y el sustrato textil (5) se hace por medio de una capa de dieléctrico (7) que se stampa sobre la parte conductiva de ITO, ésta capa permite completar el aislamiento de las 2 partes electrodos de la pantalla, además de que sirve como pegante para completar la unión de capas para el prototipo final.

Una vez estampada la capa dieléctrica se procede a superponer el sustrato textil (5) con las partes de ITO, haciendo pasar luz blanca hacia arriba de la tela. Esto permite hacer coincidir los electrodos de Silver en la tela con los pixeles del químico electroluminiscente del ITO.

Cuando las seis partes de ITO coinciden en el sustrato textil (5), se procede a realizar presión sobre toda la superficie durante unos 10 minutos aproximadamente. Transcurrido este tiempo se garantiza que el ITO ya este medianamente adherido a la tela y que el dieléctrico (7) tenga cierto adelanto en secado a temperatura ambiente. Posterior a esto se continúa ejerciendo presión a la superficie, pero ahora aplicándole calor, con una temperatura aproximada de 70 °C – 100 °C, permitiendo así una mejor adhesión del ITO a la tela y por consiguiente homogeneidad en la emisión de luz de los pixeles.

e. Adhesión de filtros de color (10)

Esta etapa en particular permite que la luz emitida por el químico electroluminiscente pueda sea luego adaptada al módulo RGB. En particular, una vez ejecutada la unión de las capas de la pantalla se procede a pegar los adhesivos traslucidos rojo, verde y azul sobre los pixeles de la pantalla, para esto se usa papel transfer el cual se encarga de coger todos los cuadros de forma ordenada.

f. Ensamble de la pantalla y el módulo electrónico de control

Esta etapa permite conectar dispositivo de salida (pantalla) con la parte electrónica de control e integrar finalmente la funcionalidad de la misma y reproducir animaciones y sonido.

3.1 Otros procesos llevados a cabo

Preparación del adhesivo para marcos de estampación

Como parte del proceso se emplea un adhesivo que cuenta con 750 ppm de Acetona y 400 ppm de acetato de etilo. La preparación de la mezcla tiene una relación 4:1 p/p y se agita manualmente hasta lograr la homogeneidad deseada.

Tensado de marcos de estampación

Este proceso consiste en tensar la seda de serigrafía en los marcos de estampación o sablones. Para esto se usa un aparato tensor que se encarga de mantener la tela firme y tensada mientras se aplica el adhesivo en los bordes de los marcos. El proceso de tensado se lleva a cabo pegando lado a lado, cada uno a la vez. Es necesario dejar secar el adhesivo de 15 a 20 minutos a condiciones ambiente para asegurar que la seda si esté bien pegada al marco.

Emulsinado de los marcos de estampación

Este proceso consiste en aplicar una capa de emulsión a la superficie de la seda tensada en los marcos. Se debe llevar a cabo en un cuarto o lugar oscuro, debido a que esta emulsión es fotosensible. El procedimiento consiste en ejecutar 3 pasos:

- Adicionar la emulsión en el emulsionador de aluminio.
- Recorrer toda la seda siempre de abajo hacia arriba con la emulsión (2 veces), por la parte de adelante del shablon.
- Voltar el shablon y recorrer la seda con el emulsionador de aluminio limpio de abajo hacia arriba para recoger la emulsión sobrante.

El tiempo de secado completo de esta emulsión es de aproximadamente 2 horas

Revelado de los marcos de estampación

Este proceso consiste en grabar los diseños de las diferentes partes de la pantalla en los shablonos emulsionados, para proceder luego a estampar. Esto se logra con una máquina insoladora mediante la cual se copia la imagen (negativo o fotolito). Las partes negras del fotolito no dejan pasar la luz hacia la seda emulsionada, entonces, en estas partes la emulsión no se curará y podrá ser lavada posteriormente. La máquina usa una bomba de vacío para presionar bien la seda con el fotolito y evitar que quede espacio entre ellos y sucedan posibles errores en el revelado. La insoladora usa tubos de luz led para realizar este procedimiento.

El tiempo de revelado de cada marco es de 8 minutos teniendo en cuenta el caso puntual de la emulsión usada y la exposición de la emulsión a la luz emitida por 14 lámparas led de 12 w. Transcurrido este tiempo se procede a lavar el marco y todo lo que no fue curado cae con el agua y queda grabado finalmente el diseño deseado. Los fotolitos son impresos a laser en albanene delgado.

Endurecimiento y fijación de la emulsión

Una vez revelados los marcos de estampación es necesario esparcir sobre dichos diseños una capa de un químico endurecedor que permite fijar muy bien la emulsión curada a la seda y así evitar que se caiga o dañe fácil entre limpiada y limpiada de las capas de los diferentes químicos y materiales usados para la construcción de la pantalla.

Para esparcir el endurecedor se usa un spray, luego se usa una esponja para untarla homogéneamente sobre toda la superficie y se deja secar durante 1 hora al aire libre.

4. Descripción del método de reproducción de audio y video

4.1 Video

El método de reproducción de video en la Pantalla electroluminiscente RGB consistirá en la ejecución del siguiente procedimiento:

a. Decodificación de las imágenes contenidas en un video

Esta decodificación consiste en seleccionar un video en un formato y resolución específica, separarlo en las imágenes que lo componen y dichas imágenes escalarlas a la resolución actual de la pantalla electroluminiscente. Una vez adecuado el video a la resolución de la Pantalla Electroluminiscente se comienza a procesar por medio de un código dichas imágenes de video, para obtener de ellas el valor PWM para cada pixel RGB, tal y como se puede ver en la figura X.

b. Transmisión de datos por un dispositivo tal como un PC al Sistema electrónico (4)

La transmisión de los valores PWM de cada imagen hasta el sistema electrónico (4) se realizará a través de una interfaz FTDI la cual abre un puerto COM del computador para transmitir los datos. La recepción de los datos transmitidos por el cable FTDI a través de comunicación SPI será recibida desde el Microcontrolador a través de la configuración de un registro o librería llamada DMA, que permite tener un acceso directo a la memoria del sistema para leer o escribir independientemente de la unidad central de procesamiento (CPU) principal a través de dos apuntadores que trabajan como buffers. Por lo tanto, el DMA va automáticamente armando la lista de los datos y los pone en varias posiciones de memoria en secuencia. Esto tiene una gran ventaja porque evita una carga masiva de interrupciones, y puede estar realizando otras tareas con la CPU del microcontrolador, por ejemplo, enviando a los pines de salida los valores correspondientes de los pixeles.

Se enviarán los datos de cada cuadro y cuando estos datos ya estén ubicados en los espacios de memoria se envía un dato cualquiera (Por ejemplo, FF) de modo que cuando el Microcontrolador reconozca este dato, recoge la información puesta en la memoria, la procesa y da un aviso enviando un dato hacia el maestro por SPI para continuar el envío de los datos y así con cada cuadro o imagen.

c. Procesamiento de datos recibidos

El procesamiento de datos será dado a través de un código que ponga a una velocidad determinada los valores PWM de cada pixel a los pines correspondientes de salida de la tarjeta electrónica, es decir los que se comunican directamente con la Pantalla Electroluminiscente. Esto se realiza a través de manejo de vectores o matrices. Se transmitirá en principio 15 frames o cuadros por segundo. Esto permitirá reproducir las imágenes en la pantalla electroluminiscente.

4.2 Audio

Para la transmisión de audio hay dos posibles alternativas:

a. Alternativa de audio 1

En esta alternativa en primer lugar, se debe extraer el archivo de audio del video a reproducir y luego convertir el audio al formato .WAV que emplea modulación por impulsos codificados (PCM), es decir que cada bit es una extracción de una señal senoidal (Por amplitud).

Como las salidas son PWM es necesario agregar para cada canal un amplificador operacional con integrador (Factor integrador bajo), para que salga la señal senoidal o análoga y esta pueda ser luego dirigida al amplificador de audio que a su vez dirige los 2 parlantes (3) de 3 W. En este caso no se cambia la frecuencia si no que se trabaja con un PWM de alta velocidad, para reconstruir la señal analógica de Audio.

Dentro de esta alternativa, cabe anotar que este mismo amplificador puede ser adaptado a un Jack de audio de 3.5 mm el cual puede ser conectado directamente a la salida de audio del computador o de un celular, permitiendo simplificar todo el procesamiento de las señales de audio y reproducirlas desde cualquier formato desde el PC.

b. Alternativa de audio 2

Esta alternativa para la reproducción de audio consiste en utilizar un módulo de reproducción MP3 de audio por medio de una tarjeta SD

EJEMPLOS

1. ENSAYOS DE ILUMINACION

Para verificar la calidad de emisión de luz de la electroluminiscencia desde sus diferentes colores se realizaron varias pruebas las cuales consistían en generar un análisis espectral de la luz para comparar la luz electroluminiscente de manera visual y por medio de los CRI, con la luz solar. Además conocer los valores de iluminancia, flujo luminoso y temperatura de color interpretados por los diferentes sensores.

Se utilizaron varias muestras de prueba enumeradas a continuación:

- Carga luminosa completa (Pantalla)
- Cuadro 8x8 cm fósforo blanco y filtro rojo
- Cuadro 8x8 cm fósforo verde y filtro verde
- Cuadro 8x8 cm fósforo verde y filtro azul
- 1 Pixel con sus respectivos filtros RGB

Los resultados encontrados se encuentran a continuación:

1.1 Carga luminosa completa (Pantalla)

Se adecuó la pantalla completa dentro de la esfera de Ulbricht para realizar a través del espectro radiómetro el análisis de espectro y de flujo luminoso. Para realizar dicho procedimiento era necesario encender todos los pixeles a la vez y poder identificar los patrones máximos de iluminación.

El único dato arrojado por la esfera de ulbricht fue el flujo luminoso, en este caso para toda la pantalla de 66.58 lm. El colorímetro permitió a su vez generar el análisis espectral de la luz emitida. El reporte de laboratorio arrojó los resultados mostrados en la tabla a continuación y el diagrama espectral mostrado en la figura 6. Como resultado de esto se puede observar que en la medición de iluminación de la carga luminosa o Pantalla RGB se arroja una temperatura de color de 9747 K lo que indica que aparentemente la luz emitida puede apreciarse casi como el color de un cielo azul según el diagrama de las temperaturas de color. Además, la longitud de onda dominante es de 499nm lo que en el espectro visible puede verse reflejado en un rango entre azul cielo y verde (a partir de los 500nm la luz espectral dominante es la verde, antes de este es azul cielo). Lo anterior en conjunto con las gráficas del espectro, permite ver que la luz predominante de la Pantalla electroluminiscente está dada por el verde y el azul. Y aunque el índice de reproducción general Ra es de 59.7 (el máximo es 100) la pantalla reproduce en menor medida un

amarillo intenso, un rojo intenso y un verde amarillo intenso, reflejados en las medidas de R3, R9 y R10, con referencia a los índices de reproducción cromática.

1.2 Cuadro 8x8 cm fósforo blanco y filtro Rojo

Los resultados obtenidos en esta prueba se muestran en el cuadro a continuación y el diagrama espectral mostrado en la Figura 7.

1.3 Cuadro 8x8 cm fósforo verde y filtro verde

Los resultados obtenidos en esta prueba se muestran en el cuadro a continuación y el diagrama espectral mostrado en la Figura 8.

1.4 Cuadro 8x8 cm fósforo verde y filtro azul

Los resultados obtenidos en esta prueba se muestran en el cuadro a continuación y el diagrama espectral mostrado en la Figura 9.

Tabla 1. Resultados de pruebas de iluminación

	Resultados pruebas de iluminación					
	Área iluminada	Longitud de onda dominante	Temperatura de color	Índice de reproducción cromática global	Iluminancia	Flujo luminoso
1	Cuadro 8x8 cm fósforo verde y filtro verde	514.7 nm	9156 K	22.6	7651 lx	-
2	Cuadro 8x8 cm fósforo verde y filtro azul	483.6 nm	9999 K	8.50	2.701 lx	-
3	Cuadro 8x8 cm fósforo blanco y filtro Rojo	608.9 nm	1000 K	27.30	13.571 lx	-
4	Pixel con filtros RGB	-	-	-	2.3 lx	0.55 lm
5	Pantalla completa	-	9747 K	59.70	42.38 lx	66.58 lm

1.5 Pixel con filtros RGB

Esta prueba se realizó usando el luxómetro y el colorímetro los cuales arrojaron los valores de iluminancia y flujo luminoso respectivamente para el pixel.

Tabla 2. Resultados prueba de iluminación de un pixel

Magnitud física	Valor
Iluminancia	2.3 lx
Flujo Luminoso	0.55 lm

La temperatura de color que arroja esta prueba está concebida en 1000K lo que en el diagrama de color indica que aparentemente se ve como la luz de una cerilla. Adicionalmente la longitud de onda dominante es de 608.9 nm lo que en el espectro visible puede verse como un color anaranjado oscuro. Lo anterior puede verse reflejado también en el factor Ra, el cual indica que en general el rojo logrado con la pantalla está determinado en 27.3 con referencia en un valor de 100. Se comprueba igualmente que la capacidad del rojo logrado con la electroluminiscencia no es tan dominante, con respecto a los otros 2 colores.

El color azul y verde son dominantes, la longitud de onda dominante para la reproducción del color verde está dada en 514.7 nm lo que representa en el espectro visible una apariencia de un color verde oscuro y la longitud de onda dominante para el azul es de 483.6 nm lo que representa en el espectro visible un color azul claro, como se demostró en la prueba de la pantalla completa. Adicionalmente, las temperaturas de color arrojadas por el fósforo verde con filtro verde y azul coinciden con la predominancia de la pantalla completa, es decir, con apariencia en grados kelvin de azul cielo.

Finalmente, aunque la reproducción cromática del color de la pantalla es mejor para los colores Azul y verde respectivamente, la iluminancia o el brillo fotométrico es mejor para el color rojo, seguida de verde y luego del azul.

2. MEDICIÓN DE CORRIENTE Y CÁLCULOS DE POTENCIA ELÉCTRICA

Con el fin de analizar el sistema de la pantalla electroluminiscente RGB en cuanto a su consumo eléctrico y su eficiencia luminosa se realiza a continuación una serie de mediciones y cálculos de voltaje, corriente y potencia para 1 Pixel, la carga luminosa, la tarjeta electrónica y el sistema completo.

2.1 Calculo de potencias

Teniendo en cuenta que la Potencia es la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado se realizan los siguientes cálculos

2.1.1 Tarjeta electrónica

Este cálculo se realiza tomando la corriente y el voltaje desde la alimentación principal de la tarjeta (Power Jack) y con la carga lumínica encendida a su máxima intensidad, es decir todos los pixeles encendidos en su valor más alto PWM.

$$\begin{aligned} V_{ts(DC)} &= 6V \\ I_{ts(DC)} &= 254 mA \end{aligned}$$

Y sabiendo que

$$\begin{aligned} P_{ts} &= V_{ts(DC)} * I_{ts(DC)} \\ P_{ts} &= 1,524 W \end{aligned}$$

2.1.2. Carga lumínica (pantalla)

La carga lumínica absorbe la potencia eléctrica de la alimentación de alterna y para calcular la potencia real consumida por la carga, se toma en cuenta los valores de la corriente y voltaje eficaz (RMS) medidos con el multímetro desde la entrada del inversor. Todo el sistema se encontraba encendido y la carga lumínica prendida a su máxima intensidad.

$$\begin{aligned} V_{el(RMS)} &= 88.8 V \\ I_{el(RMS)} &= 87.7 mA \end{aligned}$$

Y sabiendo que

$$\begin{aligned} P_{el} &= V_{el(RMS)} * I_{el(RMS)} \\ P_{el} &= 7,79 W \end{aligned}$$

2.1.3. Pixel

Se toman en cuenta los valores de voltaje y corriente eficaz o RMS consumidos por 1 Pixel RGB.

$$\begin{aligned} V_{px(RMS)} &= 88.8 V \\ I_{px(RMS)} &= 339.2 \mu A \end{aligned}$$

Y sabiendo que

$$P_{px} = V_{px(RMS)} * I_{px(RMS)}$$

$$P_{px} = 0,030\ W = 30\ mW$$

2.1.4. Sistema Completo Pantalla RGB

Para calcular la potencia absorbida por todo el sistema se suma la potencia consumida por la tarjeta electrónica y la potencia eficaz absorbida por la carga lumínica.

$$P_T = P_{te} + P_{cl}$$

$$P_T = 9,314W$$

En la tabla 2 se listan las Potencias Calculadas

Tabla 3. Resultado de cálculos de potencia

Elemento	Potencia
Pixel	30 mW
Carga lumínica	7,79 W
Tarjeta electrónica	1,524 W
Sistema Completo	9,314 W

3. CÁLCULO DE CONSUMO ENERGÉTICO (W)

El consumo energético indica el gasto total de energía para un proceso determinado y en un momento dado. El consumo energético esta inversamente relacionado con el concepto de eficiencia energética, puesto que en la medida en que aumenta el consumo de energía es cada vez menor la eficiencia energética. El consumo de energía está dado en kWh (Cime, 2015).

En la Tabla 3 se muestra el consumo eléctrico de 1 pixel, la tarjeta electrónica, la carga lumínica y la integración del Sistema completo de la Pantalla RGB funcionando 10 horas seguidas en el día y 300 horas al mes.

Tabla 4. Cálculo de consumo energético

Elemento	Potencia	Horas de uso diario (h)	Consumo Energético diario	Consumo energético al mes
Pixel	30 mW	10	0,0003 kWh	0,00666 kWh

Carga Luminosa	7,79 W	10	0,01524 kWh	0,457 kWh
Tarjeta electrónica	1,524 W	10	0,0779 kWh	2,337 kWh
Sistema Completo	9,314 W	10	0,09314 kWh	2,794 kWh

4. CÁLCULO DE LA EFICIENCIA Y EFICACIA LUMINOSA

La eficacia y la eficiencia luminosa es la relación existente entre el flujo luminoso (F) dado en lumen emitido por una fuente de luz y la potencia (P) dada en watts. La diferencia entre estos 2 términos radica en que la eficacia se representa como una proporción lm/W y la eficiencia se representa a través de un porcentaje definida tal que el máximo valor posible es el 100%, (Ohno, 2004).

Teniendo en cuenta lo anterior, la eficacia es

$$\eta = \frac{F}{P}$$

En este caso se realizan los cálculos para 1 pixel y para la carga luminosa completa (Pantalla). En la Tabla 4 se muestran los valores calculados.

Tabla 5. Cálculo de eficiencia y eficacia luminosa

Elemento	Eficacia Luminosa	Eficiencia Luminosa
Pixel	18,33 lm/W	2.68 %
Carga luminosa	8, 55 lm/W	1.25 %

La eficiencia luminosa se calcula con referencia a la fuente ideal (Luz verde a 555 nm, máximo LER posible) que reporta una eficacia luminosa de 683 lm/W (100%).

Teniendo en cuenta lo anterior, se concluye que la potencia consumida por el sistema completo de la pantalla electroluminiscente RGB es de 9, 314 W, un valor muy reducido de potencia teniendo en cuenta en que una simple iluminación de una cocina puede consumir de 30 W a 40 W o que un televisor con satélite puede absorber 250 W. Teniendo en cuenta que una pasamensajes interior de leds de un tamaño aproximado a 14” consume de 25 a 30 W si este tiene un uso por día de 10 horas el consumo energético representado en un día es de 0,28 kWh y al mes de 8,4 Kwh. Una pantalla electroluminiscente RGB con dimensiones semejantes y con capacidades similares solo tiene un consumo energético al mes de 2,794 kWh. Por lo tanto, la pantalla

electroluminiscente tiene un consumo energético 5.606 KWh menos que el de la pantalla LED, lo que representa un ahorro de consumo energético del 66.7%.

La eficacia luminosa de la carga lumínica puede ser comparada con la de una lámpara led de LED blanco, en la que la eficiencia luminosa puede estar en un rango de 4.5 a 150 lm/W y su eficiencia al de una lámpara fluorescente compacta de alrededor de 9W y una lámpara Led de Rosca edison de 4.1W.