

Diodos orgánicos emisores de luz (*oleds*) y sus bases tecnológicas

Organic Light Emitting Diodes (*OLEDs*) and their technological bases

Julián Mora¹, Óscar Gélvez², Jaime Castro³, Diego Roa⁴, Sebastián Flórez⁵, Juan Manuel Urbina⁶
Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

jcastro@uis.edu.co

jurbina@uis.edu.co

Resumen— Se describen los principales conceptos acerca de los diodos orgánicos emisores de luz (OLEDs), con énfasis en la estructura básica y el mecanismo interno de los OLEDs como dispositivos orgánicos emisores de fotones. También se presenta un resumen de los diferentes tipos de OLEDs existentes y una explicación de las configuraciones de los mismos, describiendo brevemente los últimos avances en esta tecnología.

Palabras clave— Diodos emisores de luz, LED, diodos orgánicos emisores de luz, LEDs, OLEDs.

Abstract— Main concepts about Organic Light Emitting Diodes (OLEDs) are discussed. A short explanation about the basic structure and mechanisms inside an OLED as a photon emission organic device is given and a review of different types of OLEDs is presented; finally an explanation about different basic OLEDs display configurations, including last advances in OLEDs technologies, is shown.

Key Word — Light emitting diodes, organic light emitting diodes, LEDs, OLEDs.

I. INTRODUCCIÓN

Una de las crecientes preocupaciones de la humanidad en las últimas décadas ha sido el uso de recursos no renovables para la obtención de energía; de hecho, la creciente toma de conciencia en las nuevas generaciones ha permitido aunar esfuerzos que posibilitan lentamente cambiar hacia el uso de nuevas tecnologías que involucran nuevas fuentes de energía y emplean dispositivos eficientes. La creación de nuevos dispositivos electrónicos es en la actualidad de alta relevancia, ya que diversas compañías y grupos de investigación en muchas universidades del mundo incrementan cada día sus esfuerzos dirigidos a la consecución de un planeta ecológicamente más limpio.

La tecnología de diodos orgánicos emisores de luz (*Organic Light Emitting Diodes - OLEDs* por su sigla en inglés) es una alternativa prometedora en la búsqueda de dispositivos lumínicos más eficientes. El interés de la industria en los *OLEDs*, ha representado en la última década un avance bastante significativo en la construcción de dispositivos más brillantes y eficaces. Las primeras aplicaciones comerciales de los *OLEDs* se dieron en las pantallas de dispositivos móviles y televisores [1]. A la fecha, es posible encontrar televisores y dispositivos electrónicos portátiles, como teléfonos móviles o reproductores de música, con tecnología *OLED* [2]. Las actuales tendencias muestran que la tecnología *OLED* reemplazará el uso actual de pantallas de cristales líquidos (*Liquid crystal displays - LCD*) en un periodo no mayor a 6 años [3]. Además, los *OLEDs* son excelentes candidatos para la iluminación de estado sólido, ya que a la fecha se han alcanzado eficiencias aceptables en *OLEDs* que emiten luz blanca que hacen viable la aplicación en este campo (*WOLEDs*) [4]. Esta última sería una de las aplicaciones más importantes para estos dispositivos, teniendo en cuenta que según estudios de la Agencia Internacional de Energía (IEA) el 19% de toda la energía eléctrica generada en el planeta en 2005 (cerca de 2650 TWh) se consumió en redes eléctricas para iluminación [5]. Además, según esta misma agencia, la cantidad mundial de energía eléctrica utilizada para la iluminación es una gran fuente de emisión de gases de invernadero (como CO₂ principalmente), en proporción equivalente al 70% de las emitidas por los automóviles del planeta [6].

II. CONTENIDO

A. Los *OLEDs* y su tecnología.

Un diodo orgánico emisor de luz - *OLED* es un dispositivo optoelectrónico que consiste en un diodo que contiene una capa electroluminiscente basada en sustratos orgánicos, los cuales

¹ Estudiantes de Ingeniería Electrónica

² Estudiantes de Ingeniería Electrónica

³ Físico, *Ph.D.*

⁴ Estudiantes de Química

⁵ Estudiantes de Química

⁶ Químico, *Dr. rer. nat.*

generan y emiten luz bajo estimulaciones eléctricas [7]. Desde los inicios de la química orgánica, los productos y materiales orgánicos habían sido considerados como aislantes, hasta principios de los años 50 cuando Bernanose *et al.*, en la Universidad de Nancy (Francia), descubrieron una débil conductividad eléctrica en el compuesto Naranja de Acridina [8,9]. Posteriormente, durante los años 60, la electroluminiscencia controlada por corriente en monocristales de antraceno fue reportada en los trabajos de Martin Pope y colaboradores en la Universidad de Nueva York y de Helfrich y Schneider en el *National Research Council* [10,11]. Durante esos años y durante el par de décadas venideras, la aplicación de los *OLEDs* en la vida cotidiana era poco realista debido a los altos voltajes de funcionamiento, los cuales eran del orden de 100 V. En 1983 Partridge y colaboradores reportaron la electroluminiscencia en polímeros [12-16] y en 1987 Tang y VanSlyke reportaron el primer diodo orgánico construido en los Laboratorios de Kodak [17]. Este hecho hizo que la tecnología *OLED* fuese vista con gran potencial y que la industria empezara a enfocar esfuerzos en ella. Por ello, desde mediados de los años noventa hasta nuestros días, el desarrollo de los *OLEDs* ha sido vertiginoso. El impacto de esta tecnología permitió que en el año 2000 Alan J. Heeger, Alan G. MacDiarmid y Hideki Shirakawa fueran galardonados con el premio Nobel de Química por sus valiosos aportes en el descubrimiento y desarrollo de polímeros conductores [18].

Los *OLEDs*, además de su aplicación en pantallas, también se han empleado en la construcción de optoacopladores [19,20]. Además, se ha descubierto que algunos *OLEDs* basados en polímeros bajo polarización directa emiten fotones y bajo polarización inversa los detectan [21]. Estos dispositivos fotodetectores tienen un gran potencial de aplicación como sensores y como celdas fotovoltaicas.

B. Estructura y funcionamiento de los *OLEDs*.

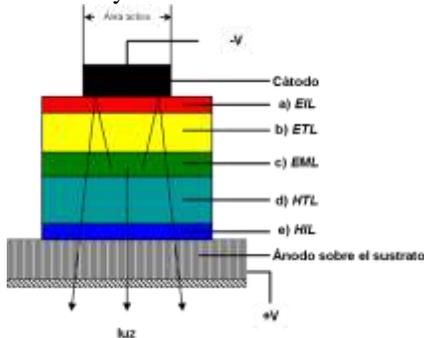


Figura 1. Estructura básica de un *OLED*.

La estructura de un *OLED* consiste en un arreglo de las siguientes capas orgánicas, como se aprecia en la **Figura 1**; (a) una capa para la inyección de electrones (*Electron injection layer - EIL*); (b) una capa para el transporte de electrones (*Electron transport layer - ETL*); (c) una capa de emisión (*Emission layer - EML*); (d) una capa para el transporte de huecos (*Hole transport layer - HTL*) y (e) una

capa para la inyección de huecos (*Hole injection layer - HIL*). Estas capas están apiladas entre dos electrodos (cátodo y ánodo) a los que se aplica una diferencia de potencial.

Generalmente un *OLED* no necesita todas las capas anteriormente mencionadas debido a que una de ellas puede cumplir dos o más funciones a la vez. Por ejemplo con la bipyridina de rutenio $[Ru(bpy)_3](BF_4)_2$ se puede hacer un *OLED* de una sola capa [22].

El funcionamiento de un diodo orgánico emisor de luz básicamente no se diferencia de un diodo estándar. Un *OLED* funciona polarizando su circuito positivamente; los huecos son “inyectados” desde el ánodo y los electrones desde el cátodo. Gracias al mecanismo de *hopping* [que involucra el transporte de cargas sin el movimiento de partículas], los portadores de carga se mueven a través de las capas de transporte, hasta alcanzar la capa de emisión donde se forman los excitones, que presentan una cierta probabilidad de decaer radiativamente, tal como lo muestra la **Figura 2**.

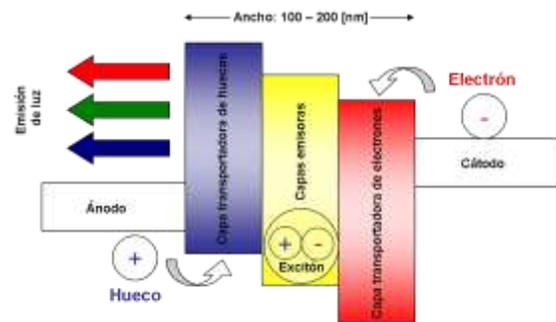


Figura 2. Diagrama esquemático del funcionamiento de un *OLED* de tres capas.

Para que el dispositivo logre una eficiencia elevada se deben obtener ciertos requisitos. La *HIL* debe facilitar la inyección de huecos desde ánodo al *HTL*. Esto se logra si el nivel energético del orbital molecular más alto ocupado (*Highest Occupied Molecular Orbital - HOMO*) del *HIL* está entre el *HOMO* del *HTL* y el potencial de ionización del ánodo. Vale la pena aclarar que la anterior aproximación es poco rigurosa pero bastante útil para entender el funcionamiento del dispositivo. La *HTL* debe presentar una alta “movilidad de huecos” e impedir que electrones, procedentes del cátodo lleguen al ánodo, para así evitar la formación de una corriente de derivación. El *HOMO* y el nivel energético del orbital molecular más bajo vacante (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital - LUMO*) del *EML* deben facilitar el paso de huecos y electrones desde las capas vecinas. Además el cátodo debe tener una función de trabajo baja para facilitar la inyección de electrones en el *EIL*, por esto usualmente se emplea como metal para su construcción el magnesio o el calcio. También se requiere que uno de los electrodos sea transparente a la luz visible; en la mayoría de los casos se utiliza óxido de estaño-indio (ITO) u óxido de estaño-flúor (FTO). En la **Figura 3** se resume el funcionamiento de un diodo emisor de luz.

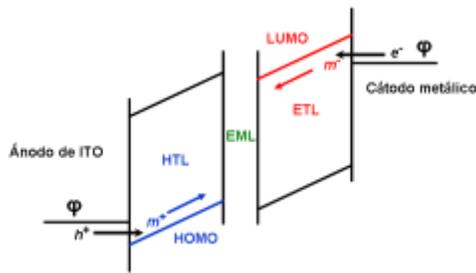


Figura 3. Operación básica de un OLED de tres capas [23]. e^- : electrón; h^+ : hueco; ϕ : función trabajo; m^+ : molécula cargada positivamente; m^- : molécula cargada negativamente.

Las barreras de potencial entre capas son funciones del voltaje aplicado, las cuales disminuyen al aumentar el voltaje. Los portadores de carga atraviesan las barreras de potencial entre capas por un mecanismo conocido como tunelado de emisión de campo Fowler-Nordheim (*Fowler-Nordheim field emission tunnelling*) [24]. La emisión termoiónica Richardson-Schottky por encima de las barreras también puede contribuir si las barreras son pequeñas y la temperatura es relativamente alta, convirtiéndose en el mecanismo dominante para barreras bastante menores a 100 meV [24].

En un diodo, la emisión de luz se da en el EML, en donde se forman los excitones que decaen radiativamente para formar fotones. Cuando se forma el par electrón-hueco, este puede quedar en un estado singlete o en un estado triplete de acuerdo a su estado total de espín electrónico. En moléculas orgánicas emisoras comunes solo los estados singlete pueden decaer radiativamente. La probabilidad de formar excitones en estado singlete es del 25%, por tanto el 75% de los excitones creados decaen de forma no radiativa (aunque existen evidencias que indican otro comportamiento) [25]. La **Figura 4** ilustra el mecanismo anteriormente expuesto.

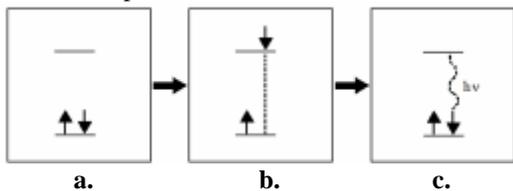


Figura 4. Etapas de la radiación debido a los excitones singlete.

En la figura 4, el estado **a** representa el estado fundamental. En el estado **b**, uno de los electrones absorbe energía pasando a un nivel superior, obteniendo así el estado excitado de singlete. En el estado **c** se muestra el electrón cuando ya ha decaído al estado fundamental, después de emitir radiativamente. La cantidad de radiación emitida puede ser cuantificada y para mejorar la eficiencia cuántica interna (*Internal Quantum Efficiency - IQE*, la relación entre los fotones generados en el material por electrones inyectados), se han elaborado OLEDs con sustratos fosforescentes cuyos excitones decaen radiativamente desde el estado singlete y desde el estado triplete.

C. Tipos de OLEDs.

De acuerdo al tipo de sustrato orgánico empleado, los tipos más estudiados e implementados son los *SMOLEDs* [17] (*SM - Small Molecule*) y los *PLEDs* [26] (*P - polímero*). Es importante aclarar que también existen *OLEDs* basados en dendrímeros, los cuales son sustratos de geometrías fractales y tamaño intermedio entre los polímeros y las moléculas de bajo peso molecular [27]. También existen *OLEDs* con capas orgánicas basadas en entrecruzamientos multimoleculares y *OLEDs* híbridos con nanocristales semiconductores [28]. Estas últimas variaciones muestran propiedades análogas y formas llamativas de construcción, pero su estudio aun no alcanza el volumen de información de los *SMOLEDs* y los *PLEDs*.

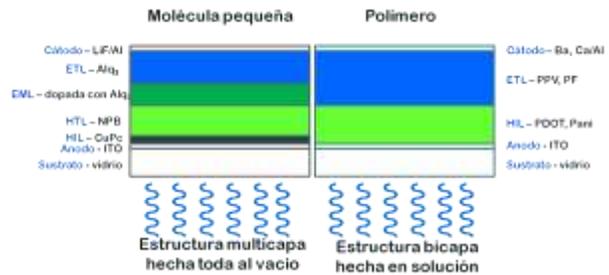


Figura 5. Estructuras de capas para un *SMOLED* y un *PLED*. *NPB*: *N,N*-di(naftalen-1-il)-*N,N*-difenilbencidina; *CuPc*: ftalocianina de cobre; *PPV*: polifenilenvinileno; *PF*: polifluoreno; *PDOT*: poli(dioctilbitiofeno); *pani*: polianilina.

1. *SMOLEDs (Small Molecules Organic Light Emitting Diodes)* – Diodos emisores de luz basados en moléculas pequeñas.

El interés en este tipo de *OLEDs* fue marcado, sin ninguna duda, cuando en 1987 los científicos de Kodak lograron obtener un diodo emisor de luz verde. El diodo era un dispositivo bicapa constituido por *N,N*-Bis(3-metilfenil)-*N,N*-bis(fenil)bencidina (una triarilamina conocida como TPD, el transportador de huecos) y Alq_3 (transportador de electrones y emisor) (**Figura 6**). Se implementó un cátodo de ITO y un ánodo de Al/Ag [17].

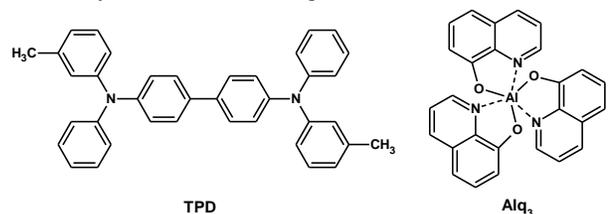


Figura 6. Moléculas orgánicas pequeñas empleadas en el primer *SMOLED* reportado en la literatura.

Los sustratos de los *SMOLEDs* son usualmente colocados por técnicas de deposición química en fase de vapor (*Chemical Vapour Phase - CVP*), evaporación, impresión jet de vapor orgánico o *sputterin* [29]. Estos procesos de construcción anteriormente mencionados ofrecen alta pureza, gran aislamiento con el medio y completa homogeneidad. La desventaja de estos métodos es que necesitan equipos especiales y complejos.

Una de las desventajas de estos dispositivos es que su eficiencia cuántica interna (*IQE*), está limitada por la estadística de *spin* a aproximadamente 25% [30] y su eficiencia cuántica externa (*EQE*) es aproximadamente del 5% [28]. Otro es el caso para los *OLEDs* de moléculas pequeñas fosforescentes (*Small Molecules-Phosphorescent Organic Light Emitting Diodes SM-PHOLEDs*) reportados en 1998 por Baldo y colaboradores [31]. Estos dispositivos son dopados con una sustancia fosforescente como el PtOEP [2,3,7,8,12,13,17,18-octaetil-21*H*,23*H*-porfina de platino (II)], con lo que se logra una *IQE* del 100% y una *EQE* de hasta 11.6% [32], 19.2% [33] y 10.3% [34,35] para la emisión en el azul, verde y rojo respectivamente. Metales como Eu e Ir también han sido reportados [35,36].

2. *PLEDs* (*Polymer Light Emitting Diodes*) - Diodos emisores de luz basados en polímeros.

La electroluminiscencia en polímeros fue observada por primera vez por Roger Partridge en el Laboratorio Nacional de Física en el Reino Unido, con resultados patentados en 1975 y publicados en 1983 [12]. Solo hasta 1990, J. H. Burroughes en el laboratorio de Cavendish en Cambridge, observó electroluminiscencia con alta eficiencia en un polímero π -conjugado en la franja verde del espectro visible [26].

Debido a la estructura molecular de los polímeros, estos presentan flexibilidad, una de las características más llamativas y novedosas de estos dispositivos. Además, los polímeros pueden ser disueltos en determinadas sustancias, lo cual hace que su deposición en superficies pueda ser hecha por métodos económicos como *spin coating* o *patterned* [37,38]. La implementación de los anteriores métodos incluye una ventaja adicional y es que el tamaño de la superficie puede ser grande, lo cual es muy importante en aplicaciones para pantallas de tamaño considerable como televisores. Debido a estas características la industria ha depositado en los últimos años un gran esfuerzo en el mejoramiento del rendimiento de los *PLEDs*. Por ejemplo, en mayo de 2010 Sony presentó su pantalla enrollable de 4,1 pulgadas [39].

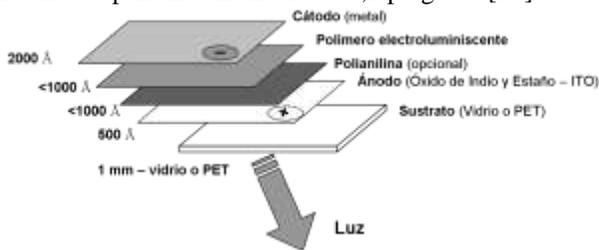


Figura 7. Estructura de un dispositivo *PLED* fabricado con polímeros semiconductores.

En un dispositivo típico tipo *PLED*, el polímero electroluminiscente cumple las funciones de transporte de huecos, transporte de electrones y recombinación de excitones. La eficiencia cuántica interna de estos es del orden de 60-70%.

Aditivos opcionales como la polianilina, observada en la **Figura 7**, mejoran considerablemente el rendimiento del mismo, pasando de una vida útil de 10^2 a 10^4 horas. Esto se debe a que este material funciona además como una barrera química que impide la difusión de átomos inorgánicos del *ITO* en la capa polimérica. También facilita la inyección de huecos pues ajusta el *HOMO* del polímero y hace plana la superficie rugosa del *ITO*.

En los *PLEDs* la extinción de la concentración (*concentration quenching*) no es un problema, debido a la deslocalización de los estados excitados. La eficiencia de los *PLEDs* ha sido mejorada enormemente debido a la utilización de dopantes fosforescentes en dispositivos conocidos como *PPLEDs* (*Phosphorescent Polymer Light Emitting Diodes*). Las configuraciones básicas de un *SMOLED* y de un *PLED*, los dos tipos más implementados de *OLEDs* se pueden observar en la **Figura 5**; las principales diferencias generalizadas entre estos se resumen en la **Tabla 1** [28].

Dispositivo	<i>SMOLED</i>	<i>PLED</i>
Preparación	Sublimación en vacío	Spin coating o patterning en condiciones ambientales
Ventajas	Control de pureza. Compatibilidad con la tecnología <i>CMOS*</i>	Bajo costo
Desventajas	Costosos debido a los sistemas de vacío. Problemas de alineamiento de máscaras en <i>OLEDs</i> multicolor	Impurezas e incompatibilidades de solubilidad
Conductividad	Sin dopar < 10.85 S/cm	Sin dopar < 10.85 S/cm
Comportamiento de inyección	No hay curvatura de niveles	Curvatura de bandas, inyección más fácil
Movilidades (a 1 MV/cm)	Entre 10^{-5} a 10^{-3} cm^2/Vs	Mismo orden
Voltaje de operación	4.5 – 6 V (para 100 cd/m^2)	2.5 – 3.5 V (para 100 cd/m^2)
Tiempo de vida	>10000 h	Comparables excepto el azul

Tabla 1. Comparación entre un dispositivo tipo *SMOLED* y un dispositivo tipo *PLED* (**CMOS* – Complementary Metal-Oxide Semiconductor).

3. Diodos orgánicos emisores de luz superficial (*top-emitting OLEDs*) y transparentes (*TOLEDs transparent organic light emitting diodes*).

Como su nombre lo indica, un *OLED* transparente utiliza un cátodo transparente tal como se muestra en la **Figura 8**, lo que le permite emitir luz en dos direcciones; estos dispositivos cuando están apagados alcanzan transparencias entre un 70% y un 85%. Una ventaja de estos tipos de

dispositivos es que mejoran el contraste con el medio, lo cual favorece la visualización de estos con luz directa del sol.

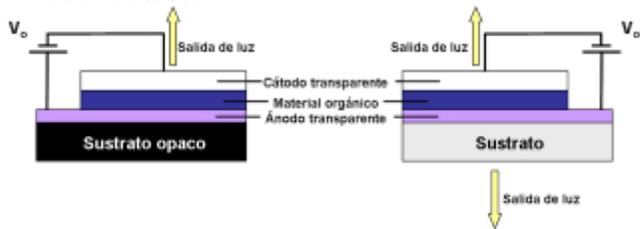


Figura 8. Estructura de un top-emitting OLED y de un OLED transparente.

Como se muestra en la **Figura 8** (izquierda), un top-emitting OLED posee un cátodo transparente y un sustrato opaco o reflexivo cuya función es potenciar la cantidad lumínica que sale por el cátodo. Esto hace que se incremente el área activa eficaz y disminuya la potencia del circuito, pues de esta manera la luz no puede atravesar el sustrato como en los OLEDs convencionales y por esto se consigue una mayor luminosidad. Ya que estos OLEDs pueden ser implementados en sustratos opacos, una potencial aplicación serían las tarjetas inteligentes (SC - Smart Cards).

4. Diodos orgánicos flexibles emisores de luz - FOLEDs (Flexible organic light emitting diodes).

Este tipo de OLED se caracteriza por estar construido sobre sustratos flexibles hechos de plásticos o de metal. También se caracterizan por tener un bajo peso y ser duraderos. Son de gran interés debido a su uso potencial en pantallas, ya que son los más livianos y delgados de todas las tecnologías OLED. Además, son dispositivos muy resistentes a impactos debido a su estructura flexible, lo cual representa una gran ventaja frente a las pantallas LCD que pueden quebrarse fácilmente. En 2008 Universal Display Corporation en colaboración con Advanced Display Research Center fabricaron un FOLED de 25 μm [40]. Su gran flexibilidad permite darle un valor agregado a las pantallas pues le ofrece al usuario una experiencia innovadora. La tecnología FOLED permite la producción en línea a un bajo precio pues pueden ser fabricados por medio de técnicas roll-to-roll [41].

5. Diodos Orgánicos Emisores de Luz apilados - SOLEDs (Staked Organic light emitting diodes).

Este tipo de OLED fue desarrollado en la Universidad de Princeton a mediados de los años 90 por Stephen R. Forrest y su equipo de colaboradores [31]. El principio de esta tecnología se basa en apilar subpíxeles de diferentes colores de manera vertical, lo cual es radicalmente distinto a la disposición de los píxeles en lo tradicionales LCDs. Las ventajas que ofrece esta tecnología son (a) triplica la resolución de las pantallas y el realce del color pues la escala de grises, la intensidad y el color pueden ser

modulados independientemente; (b) se mejora la eficiencia de potencia neta y la emisión total por unidad de área y (c) aumenta la vida de los dispositivos debido a que se disminuye la corriente que pasa por ellos en al menos $(1/n)$ de lo que requiere un pixel individual (n es el número de subpíxeles apilados).

La tecnología SOLED (**Figura 9**) es la que más potencial tiene para la iluminación de estado sólido debido a la vida útil de los dispositivos y a que la luz blanca emitida puede ajustarse fácilmente a “tonos cálidos” (rojo, amarillo o anarajado) o “tonos fríos” (azul o verde) [42].

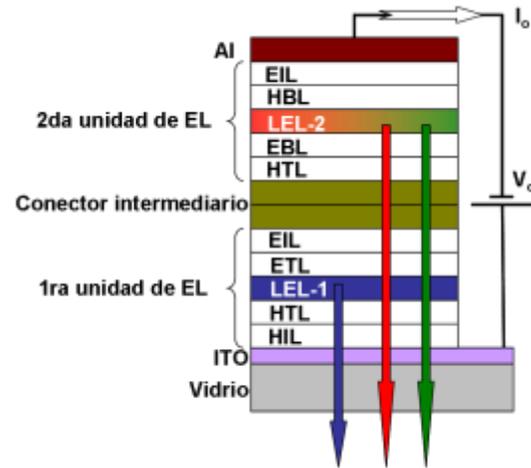


Figura 9. Estructura de un SOLED [42]. EL: emission layer; EIL: electron injector layer; HBL: hole blocking layer; LEL: light emission layer; EBL: electron blocking layer; ETL: electron transport layer; HTL: hole transport layer; HIL: hole injector layer.

D. Pantallas de cristal líquido (LCD), pantallas de diodos emisores de luz (OLEDs) y sus configuraciones.

Las pantallas de cristal líquido han sido durante muchos años de uso común y la mayoría de los monitores de computadores personales portátiles presentan este tipo de tecnología. Con el rápido desarrollo de los diodos orgánicos emisores de luz, hay cada vez mayor número de dispositivos electrónicos que cuentan con este nuevo tipo de tecnología. Las principales ventajas que presenta la tecnología OLED sobre la de LCD son: (a) las pantallas basadas en OLEDs consumen menor potencia ya que generan su propia iluminación mientras los LCDs bloquean selectivamente áreas de iluminación trasera, (b) los OLEDs no contienen mercurio mientras que muchos LCDs sí, (c) los OLEDs tienen un mayor ángulo de visión (hasta 170°), mayor brillo, debido a la ausencia de cristales que pueden absorber luz, son de fácil fabricación en línea pues es más fácil hacer crecer y desplegar hojas de plástico que un cristal líquido; pueden ser flexibles, lo que permite tener un mayor rango de aplicaciones y diseños, (d) las pantallas basadas en OLEDs son más livianas y delgadas que las LCDs, (e) el tiempo de respuesta para un OLED es superior a la del LCD (tienen una tasa de recuperación más de 1000 veces superior) y (f) el contraste de una pantalla OLED básico es del orden de 1:1'000,000 mientras el de una LCD básica es de 1:17,000 (los OLEDs tienen la capacidad de mostrar una

imagen con “true black” o negro verdadero al estar apagados) [28].

Existen dos tipos de configuraciones para las pantallas basadas en diodos orgánicos emisores de luz, según el tipo de construcción y trabajo de la matriz orgánica, denominada, si es pasivo como *PMOLED* (*Passive-matrix organic light-emitting diode*), o si es activo como *AMOLED* (*Active-matrix organic light-emitting diode*) [43]. En los *PMOLED*, la pantalla es controlada a través de una matriz básica de columnas y filas. Cuando se enciende la fila n y la columna m , el pixel que está justo en la intersección (m,n) se enciende. Solo se puede encender un pixel cada vez, por esto, se tiene que diseñar una secuencia para encender y apagar rápidamente los píxeles para poder crear la imagen deseada.

Los dispositivos tipo *PMOLEDs* son de fácil y económica construcción, pero están limitados a tamaños pequeños (típicamente deben ser de alrededor de 3”). La programación del dispositivo es compleja debido al método de columnas y filas mencionado anteriormente. Además, son menos eficientes en potencia respecto a los *AMOLEDs* [28]. En los *AMOLED* cada píxel es controlado de forma independiente. Estos dispositivos son costosos y mucho más difíciles de construir que los *PMOLEDs*, pero pueden ser usados en pantallas de gran tamaño (los prototipos actuales son de más de 40”) y su eficiencia de potencia es muy alta. La configuración para pantallas *AMOLED* es mucho más eficiente que su contraparte *PMOLED*, pero aun sigue siendo muy costosa, aunque es cuestión de tiempo para que el mercado de *AMOLEDs* supere a los *PMOLEDs*.

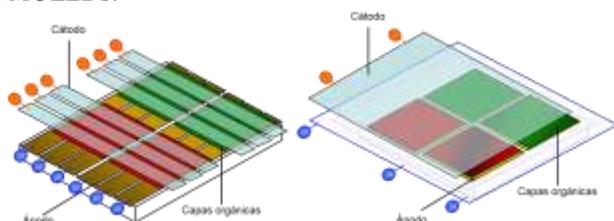


Figura 10. Estructura de un *OLED* como una matriz pasiva (izquierda) y una matriz activa (derecha) [28].

E. Sobre la investigación de los *OLEDs* en Colombia.

Aunque el trabajo con diodos orgánicos emisores de luz es conocido en otras latitudes, ha empezado a generar interés en diversos grupos de investigación en el país. De los más sobresalientes cabe resaltar el Grupo de Películas Delgadas de la Pontificia Universidad Javeriana (*PUNJ*) [44], los primeros en ensamblar un *OLED* en Colombia [45]; también hay que resaltar los trabajos publicados por el grupo de Química Cuántica y Teórica de la Universidad de Cartagena, cuyo eje se ha sustentado en simulaciones teóricas computacionales de moléculas con potencial uso en *OLEDs* [46-48]. Al respecto, en 2008 la publicación titulada *Estructura electrónica y análisis de reactividad en complejos luminiscentes con potencial aplicación en diodos orgánicos emisores de luz* fue clasificada como una

de las más leídas en el mundo científico [49]. El Grupo de Investigación en Macromoléculas de la Universidad Nacional además de adelantar trabajos en la preparación y el análisis teórico computacional sobre polímeros, recientemente empezó a trabajar en el ensamble de *OLEDs* con nuevos materiales poliméricos preparados por ellos mismos [50]. Por último, el Grupo de Investigación RadioGis de la Universidad Industrial de Santander en su rama de nanotecnología inicia investigaciones en el ensamble de *SMOLEDs* con una serie de nuevas moléculas orgánicas (derivados organometálicos de 8-aminolepidinas y metales como Zn, Cu, Al principalmente); estos compuestos son preparados a partir de sustratos de fácil acceso empleando novedosas rutas sintéticas. Su síntesis se realiza en el Laboratorio de Química Orgánica y Biomolecular-*LQOBio* de la misma universidad [51]. También es importante mencionar el creciente interés por los *OLEDs* en numerosos grupos de investigación que en otras universidades colombianas inician sus trabajos en el área y que en este resumen no se incluyen.

III. CONCLUSIONES

En el futuro cercano los diodos orgánicos emisores de luz desplazarán a los diodos “inorgánicos” actualmente utilizados debido a sus propiedades superiores, las cuales son mejoradas continuamente gracias a la gran cantidad de grupos de investigación en universidades e industrias que trabajan en este campo, relacionado directamente con sistemas de ahorro de energía. Además, los *OLEDs* son una alternativa prometedora que revolucionará el concepto del entretenimiento, ya que permitirá al usuario experimentar entornos gráficos más reales. Las principales ventajas que presenta la tecnología *OLED* son su implementación sobre grandes superficies, su flexibilidad (los *PLEDs* rompen el concepto tradicional de pantallas cristalinas y rígidas) y su alta eficiencia. Una vasta mayoría de polímeros con sistemas π -electrónicos son candidatos potenciales como materiales para la implementación de *OLEDs*. Cabe anotar que la mayoría de los trabajos sobre *OLEDs* que emitan en el rango del azul siguen siendo el punto débil de esta tecnología, pues sus tiempos de vida útil son muy inferiores a los de los verdes y rojos.

Entre los principales factores para alcanzar una alta eficiencia de electroluminiscencia están la inyección de carga eficiente desde los electrodos (para que el voltaje a aplicar resulte pequeño), el buen balance de carga y el alto confinamiento de los portadores de carga inyectados en la capa de emisión (para aumentar la probabilidad de recombinación radiativa).

Hay que resaltar que la investigación en la tecnología *OLED* en Colombia está creciendo y a nuestro entender existen al menos cuatro grupos trabajando en esta área desde distintos enfoques; inicia con ellos un capítulo en el estudio, la preparación y uso de materiales orgánicos que pretende generar en nuestro país investigaciones de alta calidad en este tema.

REFERENCIAS

- [1] O. J. Weiss, R. Krause, and R. Paetzold, "Organic Thin Film Devices for Displays and Lighting", *Adv. in Solid State Phys.*, vol. 46, pp. 321-332, 2008.
- [2] Esto se puede ver en las sitios web de los fabricantes; por el ejemplo, el Sony Walkman a845 o el Sony XEL-1 (Sony XEL-1: The world's first OLED TV. [Online]. Available: <http://www.oled-info.com/sony-xel-1>); El LG EL9500 OLED TV de 15" ya se está comercializando; LG acaba de presentar su televisor OLED de 31" con solo 3 mm de espesor y saldrá al mercado en marzo de 2011. OLED news and resources. [Online]. Available: <http://www.oled-info.com/>
- [3] "OLED-TV 15EL9500 vs LCD technology". [Online]. Available: <http://www.oled-display.net/oled-tv-15el9500-vs-lcd-tft-technology>; "LG Display Plans to Release 40-inch OLED Panel in 2012". [Online]. Available: http://techon.nikkeibp.co.jp/english/NEWS_EN/20091030/177155/
- [4] "Solid-State Lighting Research and Development: Multi-Year Program Plan (March 2010)". US Department of Energy: Energy Efficiency & Renewable Energy. [Online]. Available: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/ssl_mypp2010_web.pdf
- [5] P. Bhusal, Energy-Efficient Electric Lighting for Buildings In Developed and Developing Countries. Report 52. Helsinki University of Technology, Department of Electronics, Lighting Unit, Espoo 2009. [Online]. Available: <http://lib.tkk.fi/Diss/2009/isbn9789512296385/isbn9789512296385.pdf>
- [6] International Energy Agency. "Light's Labour's Lost - Policies for Energy-efficient Lighting". IEA Publications, France, 2006.
- [7] X. Jianga, Y. Liu, X. Song, and D. Zhu, "Multilayer Organic Light-Emitting Diodes", *Solid State Commun.*, vol. 99, pp. 183-187, 1996.
- [8] A. Bernanose, M. Comte, and P. Vouaux, *J. Chim. Phys.*, vol. 50, pp. 64, 1953. Referencia en: J. Kalinowski, M. Cocchi, D. Virgili, V. Fattori, and J. A. G. Williams, "Electro-photoluminescence in organics", *Chem. Phys. Lett.*, vol. 447, pp. 279-283, 2007.
- [9] M. T. Bernius, M. Inbasekaran, J. O'Brien, and W. Wu, "Progress with Light-Emitting Polymers", *Adv. Mater.*, vol. 12, pp. 1737-1750, 2000.
- [10] M. Sano, M. Pope, and H. Kallmann, "Electroluminescence and Band Gap in Anthracene", *J. Chem. Phys.*, vol. 43, pp. 2920-2921, 1965.
- [11] W. Helfrich, and W. G. Schneider, "Recombination Radiation in Anthracene Crystals", *Phys. Rev. Lett.*, vol. 14, pp. 229-231, 1965.
- [12] R. H. Partridge, "Radiation sources", US Patent 3 995 299, Nov. 30, 1976.
- [13] R. Partridge, "Electroluminescence from polyvinylcarbazole films: 1. Carbazole cations", *Polymer*, vol. 24, pp. 733-738, 1983.
- [14] R. H. Partridge, "Electroluminescence from polyvinylcarbazole films: 2. Polyvinylcarbazole films containing antimony pentachloride", *Polymer*, vol. 24, pp. 739-747, 1983.
- [15] R. H. Partridge, "Electroluminescence from polyvinylcarbazole films: 3. Electroluminescent devices", *Polymer*, vol. 24, pp. 748-754, 1983.
- [16] R. H. Partridge, "Electroluminescence from polyvinylcarbazole films: 4. Electroluminescence using higher work function cathodes", *Polymer*, vol. 24, pp. 755-762, 1983.
- [17] C. W. Tang, and S. A. VanSlyke, "Organic electroluminescent diodes", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 51, pp. 913-915, 1987.
- [18] "The Nobel Prize in Chemistry 2000". Nobelprize.org. 17 Mar 2011 http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2000/
- [19] G. Yu, K. Pakbaz, and A. J. Heeger, "Optocoupler made from semiconducting polymers", *J. Electron. Mater.*, vol. 23, pp. 925-928, 1994.
- [20] H. T. Yuan, T. S. Kim, S. J. Jacobs, and F. G. Celii, "Optocouplers having integrated organic light-emitting diodes", US Patent 6 509 574, Jan. 21, 2003.
- [21] G. Yu, C. Zhang, and A. J. Heeger, "Dual-function semiconducting polymer devices: Light-emitting and photodetecting diodes", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 64, pp. 1540-1542, 1994.
- [22] F. G. Gao, and A. J. Bard, "Solid-State Organic Light-Emitting Diodes Based on Tris(2,2'-bipyridine)ruthenium(II) Complexes", *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 122, pp. 7426-7427, 2000.
- [23] J. Shinar, and R. Shinar, "Organic light-emitting devices OLEDs and OLED-based chemical as biological sensors: an overview", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 41, pp. 133001-133026, 2008.
- [24] I. D. Parker, "Carrier tunneling and device characteristics in polymer light-emitting diodes", *J. Appl. Phys.*, vol. 75, pp. 1656-1666, 1994.
- [25] V. Cleave, G. Yahioglu, P. Le Barny, R. H. Friend, and N. Tessler, "Harvesting Singlet and Triplet Energy in Polymer LEDs", *Adv. Mater.*, vol. 11, pp. 285-288, 1999.
- [26] J. H. Burroughes, D. D. C. Bradley, A. R. Brown, R. N. Marks, K. Mackay, R. H. Friend, P. L. Burns, and A. B. Holmes, "Light-emitting diodes based on conjugated polymers", *Nature*, vol. 347, pp. 539-541, Oct. 1990.
- [27] P. W. Wang, Y. J. Liu, C. Devadoss, P. Bharathi, and J. S. Moore, "Electroluminescent Diodes from a Single-Component Emitting Layer of Dendritic Macromolecules", *Adv. Mater.*, vol. 8, pp. 237-241, 1996.
- [28] P. Chamorro Posada, J. Martín Gil, P. Martín Ramos, and L. M. Navas Gracia, Eds., *Fundamentos de la tecnología OLED*, Valladolid: Mata Digital, 2008.
- [29] V. Shankar Govindarajan, "Fabrication of Organic Light Emitting Diodes by Flash Vaporization", M. Sc. Thesis, Electrical Eng., Univ. of Cincinnati, 2010. [Online]. Available: http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=ucin1282054096

- [30] G. P. Grey, "Phosphorescent Organic Light Emitting Devices", M. Sc. Thesis, Physics, Univ. California, Santa Cruz, 2010. [Online]. Available: <http://www.scribd.com/doc/44546887/Phosphorescent-Organic-Light-Emitting-Devices-PHOLEDs>
- [31] M. A. Baldo, D. F. O'Brien, Y. You, A. Shoustikov, S. Sibley, M. E. Thompson, and S. R. Forrest, "Highly efficient phosphorescent emission from organic electroluminescent devices", *Nature*, vol. 395, pp. 151-154, 1998.
- [32] Y. Kawamura, K. Goushi, J. Brooks, J. J. Brown, H. Sasabe, and C. Adachi, "100% phosphorescence quantum efficiency of Ir(III) complexes in organic semiconductor films", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 86, pp. 71104-71106, 2005.
- [33] M. Ikai, S. Tokito, Y. Sakamoto, T. Suzuki, and Y. Taga, "Highly efficient phosphorescence from organic light-emitting devices with an exciton-block layer", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 79, pp. 156-158, 2001.
- [34] A. Tsuboyama, H. Iwawaki, M. Furugori, T. Mukaide, J. Kamatani, S. Igawa, T. Moriyama, S. Miura, T. Takiguchi, S. Okada, M. Hoshino, and K. Ueno, "Homoleptic Cyclometalated Iridium Complexes with Highly Efficient Red Phosphorescence and Application to Organic Light-Emitting Diode". *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 125, pp. 12971-12979, 2003.
- [35] C. H. Yang, C. C. Tai, and I. W. Sun, "Synthesis of a high-efficiency red phosphorescent emitter for organic light-emitting diodes", *J. Mater. Chem.*, vol. 14, pp. 947-950, 2004.
- [36] G. Y. Park, and Y. S. Kim, "Synthesis and photophysical study of iridium (III) complex with 6-pentafluorophenyl-2,4-diphenylquinolines", *Colloid Surface A*, vol. 313-314, pp. 435-438, 2008.
- [37] G. Gustafsson, Y. Cao, G. M. Treacy, F. Klavetter, N. Colaneri, and A. J. Heeger, "Flexible light-emitting diodes made from soluble conducting polymers", *Nature*, vol. 357, pp. 477-479, 1992.
- [38] A. Dodabalapur, "Organic Light Emitting Diodes", *Solid State Commun.*, vol. 102, pp. 259-267, 1997.
- [39] "Sony Develops a "Rollable" OTFT-driven OLED Display that can wrap around a Pencil". Sony Corp.info. [Online]. Available: <http://www.sony.net/SonyInfo/News/Press/201005/10-070E/index.html>
- [40] R-Q. Ma, K. Rajan, M. Hack, J. J. Brown, J. H. Cheon, S. H. Kim, M. H. Kang, W. G. Lee, and J. Jang, "Highly Flexible Low Power Consumption AMOLED Displays on Ultra-Thin Stainless Steel Substrates", *SID Symposium Digest*, vol. 39, pp. 425-428, 2008.
- [41] L. M. Zambov, V. A. Shamamian, W. K. Weidner, M. J. Lobota, S. A. Snow, and G. A. Cerny, "Roll-to-roll enhanced chemical vapor deposition method of barrier layers comprising silicon and carbon", US Patent 2010/0092781 A1, Apr. 15, 2010.
- [42] M. Chason, "Printed electronics for flexible solid-state lighting". Global STM & Packaging. [Online]. Available: http://www.globalsmtseasia.com/index.php?option=com_content&view=article&id=4228:printed-electronics-for-flexible-solid-state-lighting&catid=109&Itemid=115
- [43] "AMOLED". Oled-info.com. [Online]. Available: <http://www.oled-info.com/amoled>
- [44] Grupo de Películas Delgadas PUJ. [Online]. Available: <http://utopia.javeriana.edu.co/fisica/GPD/Index.html>
- [45] H. A. Méndez-Pinzón, D. R. Pardo-Pardo, J. P. Cuellar-Alvarado, J. C. Salcedo-Reyes, R. Vera, and B. A. Páez-Sierra, "Analysis of the current-voltage characteristics of polymer-based organic light-emitting diodes (OLEDs) deposited by spin coating", *Universitas Scientiarum*, vol. 15, pp. 68-76, 2010.
- [46] F. Núñez-Zarur, E. Arguello, and R. Vivas-Reyes, "Density functional study on electronic structures and reactivity in methyl-substituted chelates used in organic light-emitting diodes", *Int. J. Quantum Chem.*, vol. 110, pp. 1622-1636, 2010.
- [47] R. Vivas-Reyes, F. Núñez-Zarur, and E. Martínez, "Electronic structure and reactivity analysis for a set of Zn-chelates with substituted 8-hydroxyquinoline ligands and their application in OLED", *Org. Electron.*, vol. 9, pp. 625-634, 2008.
- [48] F. Núñez-Zarur, and R. Vivas-Reyes, "Ab initio study of luminescent substituted 8-hydroxyquinoline metal complexes with application in organic light emitting diodes", *J. Mol. Struc. THEOCHEM*, vol. 850, pp. 127-134, 2008.
- [49] "Artículo Científico de UniCartagena entre los más leídos del mundo". Centro Virtual de Noticias de la Educación, Ministerio de Educación Nacional-República de Colombia. [Online]. Available: <http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/w3-article-166464.html>
- [50] Grupo de Investigación en Macromoléculas, UNAL, Colombia. [Online]. Available: <http://macro-moleculasunal.wordpress.com/>
- [51] Laboratorio de Química Orgánica y Biomolecular - LQOBio, UIS, Colombia. [Online]. Available: <http://ciencias.uis.edu.co/labqobio>