

## Síntesis de semiconductor compuesto por hidroxiquinolina de zinc y tetracianoquinodimetano Synthesis of semiconductor composed of zinc hydroxyquinoline and tetracyanoquinodimethane

Francisco Iñaki Díaz-Morales <sup>a</sup>, María Elena Sánchez-Vergara <sup>a, b, \*</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Anáhuac México Norte, Avenida Universidad Anáhuac 46, Col. Lomas Anáhuac, Huixquilucan 52786, Estado de México, México.

<sup>b</sup> Universidad Tecnológica Fidel Velázquez, Emiliano Zapata S/N, Col. El Trafico, Nicolás Romero, 54400, Estado de Mexico, Mexico

### Resumen

En este trabajo, fue realizada la síntesis con una relación de masa 2:1, y por la técnica de reflujo, del semiconductor compuesto por 8-Hidroxiquinolina de zinc ( $\text{ZnQ}_2$ ), con el aceptor electrónico Tetracianoquinodimetano (TCNQ). Este semiconductor orgánico  $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ, fue caracterizado estructuralmente por medio de espectroscopía Infrarroja, y posteriormente, fue sublimado por la técnica de evaporación al alto vacío, para obtener películas delgadas. Sus parámetros ópticos se evaluaron por espectroscopía Ultravioleta-visible, y el espectro de Absorbancia presenta una intensa banda en 341 nm. Además, la brecha óptica obtenida es de 2.07 eV para transiciones electrónicas indirectas y de 2.4 eV para directas. Los espectros mostraron máximos de 41.05% y 41.39% para la Transmitancia y la Reflectancia respectivamente. Estos parámetros ópticos, sumados al comportamiento óhmico de las películas, medido por la técnica de cuatro puntas colineal, en dispositivos fabricados también por evaporación al alto vacío, dan indicio de su capacidad, de ser empleadas como capas activas en optoelectrónica.

**Palabras Clave:** Hidroxiquinolina, Tetracianoquinodimetano, Semiconductor Orgánico, Película Delgada

### Abstract

In this work, the zinc 8-hydroxyquinoline ( $\text{ZnQ}_2$ ) semiconductor, composed with the electron acceptor tetracyanoquinodimethane (TCNQ), was synthesized using a 2:1 mass ratio and the reflux technique. This organic semiconductor,  $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ, was structurally characterized by infrared spectroscopy and subsequently sublimated under high vacuum to obtain thin films. Its optical parameters were evaluated by ultraviolet-visible spectroscopy, and the absorbance spectrum showed an intense band at 341 nm. Furthermore, the optical gap obtained was 2.07 eV for indirect electronic transitions and 2.4 eV for direct transitions. The spectra showed maxima of 41.05% and 41.39% for transmittance and reflectance, respectively. These optical parameters, added to the ohmic behavior of the films, measured by the collinear four-point technique, in devices also manufactured by high vacuum evaporation, give an indication of their ability to be used as active layers in optoelectronics.

**Keywords:** Hydroxyquinoline, Tetracyanoquinodimethane, Organic Semiconductor, Thin Film.

### 1. Introducción

En las últimas décadas, los semiconductores orgánicos han ampliado su campo de aplicaciones electrónicas, superando a sus contrapartes inorgánicas (Sawatzki Park et al., 2023) en costos de producción, síntesis a partir de materiales renovables, flexibilidad, procesabilidad, bajo peso (Wang et al., 2023), (Kim et al., 2022), (Morab et al., 2023), y comportamiento sustentable (Sawatzki Park et al., 2023). La

mayoría de los semiconductores orgánicos cuenta con propiedades optoelectrónicas ajustables (Manousiadis et al., 2020), de entre las que se destacan la absorción y emisión de luz, así como el transporte de cargas (Okamoto et al., 2020). Estas características se deben a la organización intra e intermolecular del semiconductor orgánico (Gómez et al., 2021). La primera se refiere al ordenamiento de los átomos al interior de la molécula, y la intermolecular se refiere al ordenamiento entre las moléculas que integran al

\*Autor para la correspondencia: maria.elena@anahuac.mx

Correo electrónico: francisco.diaz15@anahuac.mx (Francisco Iñaki Díaz Morales), maria.elena@anahuac.mx (María Elena Sánchez Vergara).

Historial del manuscrito: recibido el 18/06/2025, última versión-revisada recibida el 04/11/2025, aceptado el 03/02/2026, publicado el 25/03/2026. DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v14iEspecial.15338>



semiconductor. Lo que se relaciona con las interacciones débiles asociadas a sus enlaces tipo van-der-Waals, y a la forma anisotrópica de sus moléculas  $\pi$ -conjugadas (Sánchez Vergara et al., 2025). Esta anisotropía, permite a las moléculas potenciar su desempeño en dispositivos optoelectrónicos, al controlar su orientación (Hofmann et al., 2021), (Kousseff et al., 2022). Moléculas como las ftalocianinas, indanonas, ferrocenos o hidroxiquinolinas, resultan útiles para construir nuevos semiconductores orgánicos, gracias a que su estructura química se puede modificar, con la adición de radicales en su periferia, o la inclusión de átomos metálicos en su centro, lo que modifica sus niveles de energía y su capacidad de transporte de cargas, además de que presentan una reproducibilidad excelente (Kousseff et al., 2022), (Sánchez Vergara et al., 2023).

Las hidroxiquinolinas metálicas (MQs) son moléculas orgánicas conformadas por enlaces  $\pi$ -conjugados que poseen características para uso potencial en dispositivos optoelectrónicos como diodos orgánicos emisores de luz (OLEDs) (Kalyani et al., 2021), celdas solares orgánicas (Salman et al., 2021) y sensores (Anurag et al., 2023). Dichas aplicaciones son favorecidas por su capacidad para formar películas en solución y también, por medio de evaporación y/o sublimación, gracias a su alta estabilidad térmica y química (Sánchez Vergara et al., 2025), (Sánchez Vergara et al., 2023), (Khalid et al., 2020). Es importante mencionar que el ion metálico asociado a la molécula define su estabilidad, color, propiedades de luminiscencia, fotoconductividad, emisión y capacidad de transporte de cargas (Sánchez Vergara et al., 2023), (Sypniewska et al., 2023). Entre las distintas MQs, la 8-hidroxiquinolina de zinc ( $\text{ZnQ}_2$ ) resulta de interés por su alta movilidad de cargas, propiedades de electroluminiscencia y su alta eficiencia cuántica a bajos niveles de voltaje (Anurag et al., 2023; Sánchez Vergara et al., 2021; Amin et al., 2024; Ahmad et al., 2023). Estas características, son proporcionadas por su arquitectura molecular (ver Figura 1), en la que el catión  $\text{Zn}^{2+}$ , se coordina con dos ligandos bidentados de 8-hidroxiquinolina, con los cuales, forma dos anillos quelantes de cinco miembros que permiten una conjugación  $\pi$ -extendida (Ahmad et al., 2023). Diversos derivados de la  $\text{ZnQ}_2$  han sido empleados en la fabricación de OLEDs con emisiones de luz en un rango de 500 a 600 nm, presentando un alto rendimiento en transporte de cargas y emisión lumínica (Kalyani et al., 2021; Anurag et al., 2023; Sánchez Vergara et al., 2021; Amin et al., 2024; Sypniewska et al., 2023). No obstante, la  $\text{ZnQ}_2$  también se distingue por su uso en cromatografía, detección de iones metálicos, y en aplicaciones para bioanálisis y biosensores (Sypniewska et al., 2023), (Amin et al., 2024), así como también, como bloqueantes de histamina (Patel et al., 2023), potenciales anticancerígenos y antibacteriales (Córte Real et al., 2023).

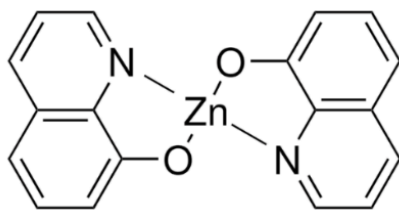


Figura 1: Estructura molecular de la  $\text{ZnQ}_2$  (Sigma-Aldrich, s.f.).

Aunque la  $\text{ZnQ}_2$  se ha investigado ampliamente, todavía falta mucho por estudiar, en cuanto a su comportamiento como semiconductor orgánico se refiere. Es por lo anterior, que en este trabajo se presenta la caracterización en el comportamiento óptico y eléctrico, del semiconductor compuesto a base de  $\text{ZnQ}_2$  con el aceptor electrónico 7,7,8,8-tetracyanoquinodimetano (TCNQ). El objetivo de este estudio es, además de evaluar sus propiedades, determinar su potencial para ser empleada como capa activa en dispositivos optoelectrónicos. A diferencia de otros estudios en los que las MQs han sido estudiadas en su forma prístina o intrínseca, este trabajo presenta un mayor enfoque en su rol como semiconductor compuesto que forma heterouniones dispersas.

## 2. Metodología

### 2.1. Reactivos y fabricación de semiconductor compuesto

Tanto el 7,7,8,8-tetracyanoquinodimetano (TCNQ:  $\text{C}_{12}\text{H}_4\text{N}_4$ ) como la 8-hidroxiquinolina de zinc ( $\text{ZnQ}_2$ :  $\text{C}_{18}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_2\text{Zn}$ ) se obtuvieron de fuentes comerciales (Sigma-Aldrich) y se emplearon sin purificación previa a su uso. La fabricación del semiconductor compuesto se realizó con una relación de masa 2:1 utilizando 200 mg (0.57 mmol) de  $\text{ZnQ}_2$  y 100 mg (0.49 mmol) de TCNQ en solución, con 5 mg/mL de acetonitrilo ( $\text{C}_2\text{H}_3\text{N}$ ). La solución estuvo bajo reflujo durante 24 horas y posteriormente fue filtrada, purificada para remover material no disuelto y finalmente secada mediante vacío. La heterounión dispersa formada por el semiconductor compuesto, fue analizada empleando espectroscopía infrarroja (IR) en pastillas de KBr, con un espectrómetro Nicolet iS5 FTIR.

### 2.2. Depósito de películas delgadas

Las películas fueron depositadas por sublimación en una cámara de alto vacío, que consta de una bomba mecánica que genera un vacío de hasta de  $10^{-3}$  Torr, y una bomba turbo molecular que generó el vacío final de  $10^{-5}$  Torr. El depósito de las películas se llevó a cabo a  $300^\circ\text{C}$ , y con una velocidad de depósito de  $3.8 \text{ \AA/s}$ , obteniéndose un espesor final en las películas de  $0.038 \text{ k\AA}$ . Las películas delgadas fueron depositadas en diferentes sustratos: vidrio, tereftalato de polietileno recubierto de óxido de indio y estaño (PET-ITO) y silicio tipo-n cristalino.

### 2.3. Caracterización estructural, óptica y eléctrica

La película en silicio tipo-n fue analizada mediante espectroscopía IR con la finalidad de determinar si los componentes del material se degradaron químicamente durante el depósito. Se realizaron mediciones topográficas con microscopía de fuerza atómica (MFA) Nanosurf Naio, de la película también sobre silicio tipo-n, empleando el modo de contacto, y con una sonda estática. El procesamiento de imágenes y obtención de rugosidades se llevó a cabo con el software Gwyddion 2.66. En la película depositada en vidrio se realizó espectroscopía Ultravioleta-visible (UV-vis), empleando un espectrómetro Unicam modelo UV300. Finalmente, con la película depositada en PET-ITO se fabricó un dispositivo de capa única, para caracterizar el comportamiento eléctrico del semiconductor  $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ, utilizando al ITO como ánodo y la plata como cátodo. Estos dispositivos fueron caracterizados usando una estación de sensibilización con un circuito controlador de luz de Next

Robotics, una fuente de voltaje programable y un picoamperímetro de rango automático de Keithley 4200-SCS-PK1.

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1. Depósito y Caracterización de películas

Las películas delgadas de  $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ fueron depositadas con el fin de fabricar dispositivos semiconductores de naturaleza orgánica, económicos, de menor peso y mayor flexibilidad. Tras su depósito las películas fueron evaluadas mediante espectroscopía IR, con la finalidad de analizar la heterounión dispersa formada por el semiconductor compuesto, y determinar si, durante la evaporación, los componentes sufrieron degradación química. Es por lo anterior que los resultados se compararon con los espectros IR obtenidos para la heterounión dispersa  $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ en pastilla de KBr, y los resultados se presentan la Figura 2. En el espectro IR del  $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ se observan los picos más intensos en la región de  $400\text{--}700\text{ cm}^{-1}$ , correspondientes a deformaciones dentro y fuera de plano, que surgen de las vibraciones en la molécula de  $\text{ZnQ}_2$ , como resultado de los enlaces al TCNQ. También, el pico observado alrededor de los  $649\text{ cm}^{-1}$  se asocia a los estiramientos simétricos de enlaces O-Zn. En la primera zona de la banda en  $700\text{--}850\text{ cm}^{-1}$ , se encuentra el modo de estiramiento de  $\text{Q}_2$ , por otro lado, la siguiente sección está completamente controlada por vibraciones de TCNQ como de  $\text{Q}_2$ . La banda angosta entre  $1050\text{--}1075\text{ cm}^{-1}$  está relacionada con el estiramiento de los enlaces de C-N y de Zn-N y el desplazamiento de los átomos de H en  $\text{ZnQ}_2$ . La banda extendida de  $1300\text{ a }1750\text{ cm}^{-1}$ , corresponde a enlaces C-C, C-O y C-N de estiramiento en los anillos de la hidroxiquinolona. La banda ancha entre  $2000\text{--}2250\text{ cm}^{-1}$  y las bandas entre  $2800$  y  $3000\text{ cm}^{-1}$ , corresponden a la presencia del TCNQ y se puede asociar con el estiramiento del enlace C-N en los grupos ciano. Finalmente, la banda ancha alrededor de  $3500\text{ cm}^{-1}$  se refiere a la presencia de enlaces O-H en el semiconductor  $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ, lo que puede referirse a presencia de agua en el mismo.

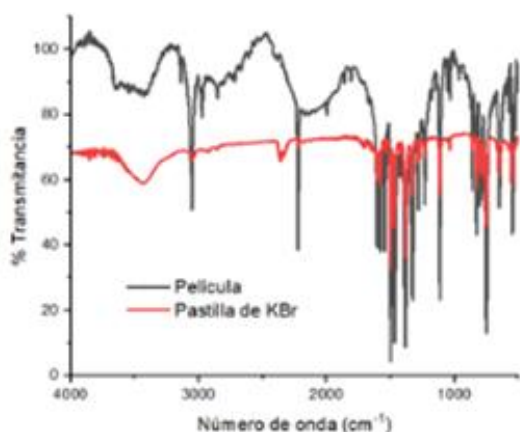


Figura 2: Espectros IR comparativos entre mediciones en pastilla de KBr y películas sobre silicio tipo-n de  $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ.

La Tabla 1 muestra una comparación de los principales modos de vibración obtenidas en la película y en la pastilla de KBr. La pequeña variación entre los valores registrados se debe al esfuerzo residual en los enlaces, como resultado de la evaporación y depósito de  $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ. Fuera de esto, no

existe evidencia de la degradación de los componentes de la película por su depósito. Lo anterior es indicio de que el método para preparar películas con heterouniones dispersas del semiconductor orgánico es adecuado.

Tabla 1: Modos vibracionales de IR y su asignación para pastillas de KBr y películas de  $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ

|                                           | C=C<br>( $\text{cm}^{-1}$ ) | Quinolona<br>C-N<br>( $\text{cm}^{-1}$ ) | C-O<br>( $\text{cm}^{-1}$ ) | Deformación<br>en<br>Plano-Anillo<br>( $\text{cm}^{-1}$ ) | O-M<br>( $\text{cm}^{-1}$ ) | -C≡N<br>(TCNQ)<br>( $\text{cm}^{-1}$ ) |
|-------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|
| $\text{ZnQ}_2$<br>(Pastilla de KBr)       | 1610                        | 1582,<br>1326                            | 1487,<br>1282               | 803, 735                                                  | 652                         | -                                      |
| TCNQ<br>(Pastilla de KBr)                 | -                           | -                                        | -                           | -                                                         | -                           | 2222                                   |
| $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ<br>(Pastilla de KBr) | 1605                        | 1581,<br>1332                            | 1499,<br>1282               | 804, 751                                                  | 646                         | 2223                                   |
| $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ<br>(Película)        | 1604                        | 1578,<br>1328                            | 1498,<br>1281               | 806, 749                                                  | 648                         | 2224                                   |

Con la finalidad de analizar la topografía de la película depositada, se llevó a cabo microscopía de fuerza atómica (MFA) en las películas sobre silicio tipo-n. En la Figura 3 se observa la imagen 3D con una topografía relativamente homogénea, constituida por ligeras crestas y valles. La rugosidad media cuadrática (RMS) es de  $19.4\text{ nm}$  y la rugosidad promedio es de ( $R_a$ ) es de  $14.62\text{ nm}$ . Estos pequeños valores hablan de una uniformidad en la película y son indicio del adecuado método de depósito. Por otro lado, esta baja rugosidad es una ventaja en términos tanto de las propiedades ópticas de la película, como del adecuado transporte de cargas que puede desarrollarse a lo largo de esta.

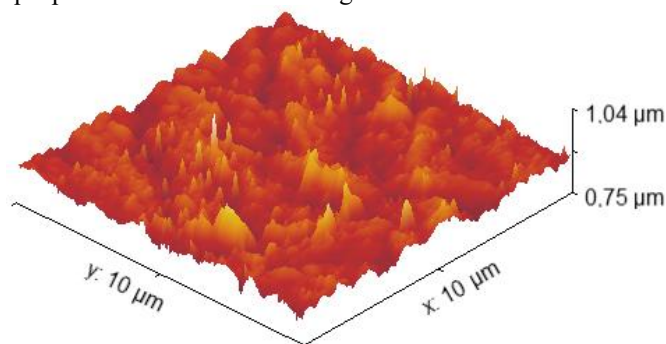


Figura 3: Imagen 3D de microscopía de fuerza atómica en una superficie de  $10 \times 10\text{ }\mu\text{m}$ .

#### 3.2. Evaluación de Propiedades Ópticas

Las propiedades ópticas de las películas de  $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ fueron analizadas por medio de espectroscopia UV-vis. Los parámetros evaluados, permiten comprender su funcionalidad para su aplicación en dispositivos optoelectrónicos. De forma específica, la absorbancia,  $A$ , posee una gran sensibilidad a las transiciones electrónicas, facilitando la identificación de bandas de energía y, por ende, la interacción de las películas de  $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ con la luz. En la Figura 3a, se presenta el espectro de absorbancia para la película de  $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ. Como se muestra en esta figura, el espectro de  $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ presenta una amplia banda de absorción, con dos picos (a y b) destacables, ubicados a los  $284$  y  $345\text{ nm}$ . El primero se refiere a transiciones electrónicas  $\pi \rightarrow \pi^*$  en el núcleo bencénico de la hidroxiquinolona, son transiciones de su sistema aromático y también del sistema aromático del TCNQ. El segundo pico en  $345\text{ nm}$  también hace referencia a transiciones electrónicas

$\pi \rightarrow \pi^*$ , tanto del anillo quinolina extendido, como de la transición extendida del sistema  $\pi$ -conjugado del TCNQ. Finalmente, la señal en 540 nm está relacionada con la interacción entre la  $\text{ZnQ}_2$  y el TCNQ.

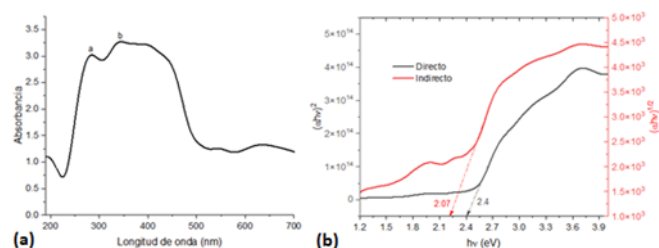


Figura 3: (a) Espectro de absorbancia y (b) Gráficas Tauc para transiciones electrónicas directas  $(\alpha h\nu)^2$  e indirectas  $(\alpha h\nu)^{1/2}$  para la película de  $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ.

Determinar la brecha de banda o band gap óptico en materiales semiconductores, permite determinar su facilidad de transporte de cargas, lo que afecta su uso para dispositivos optoelectrónicos (Scharber & Sariciftci, 2021). Para el cálculo de la brecha de banda óptica fue empleado el método de Tauc (Tauc, 1968), (Tauc et al., 1968), el cual, requiere de la determinación del coeficiente de absorción ( $\alpha$ ) a partir de la transmitancia (T) y el espesor de las películas siguiendo la siguiente expresión:

$$A = \ln(T/d) \quad (1)$$

La ecuación de Tauc fue aplicada para evaluar la brecha de banda óptica de la película semiconductora de  $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ:

$$(\alpha h\nu) = B(h\nu - E_g)^\gamma \quad (2)$$

En la expresión anterior, el parámetro dependiente de la probabilidad de transición entre bandas es denotado por B, la brecha de banda es denotada por  $E_g$  y el índice  $\gamma$  define la naturaleza de la transición electrónica responsable por la absorción óptica, con  $\gamma = 2$  y  $\gamma = 1/2$  para transiciones permitidas indirectas y directas, respectivamente (Tauc, 1968), (Tauc et al., 1968). La intersección de la extrapolación lineal de  $(\alpha h\nu)^2$  y  $(\alpha h\nu)^{1/2}$  contra  $h\nu$  con abscisa en la Figura 3b ayudó a determinar el valor de  $E_g$ , siendo este de 2.07 eV para transiciones indirectas y 2.4 eV para transiciones directas. Las transiciones indirectas  $(\alpha h\nu)^{1/2}$  presentan la menor brecha de banda, esto, debido a la estructura amorfa de la película semiconductora. Esta estructura, sucede por la evaporación de vacío, técnica empleada en este trabajo para crear las películas semiconductoras, y en donde las heterouniones dispersas en estado gaseoso son depositadas en los sustratos que se encuentran a temperatura ambiente. Gracias al gradiente térmico presente, las heterouniones dispersas son depositadas en una forma desordenada, y pueden producir películas amorfas con menores brechas de banda. Para las hidroxiquinolinas, las brechas de banda varían según el componente en su heterounión dispersa. En este trabajo, los valores de brecha de banda para la película semiconductora de  $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ son menores que los reportados con 2.41 eV en transición indirecta para películas este mismo material realizadas en trabajos anteriores (Sánchez Vergara et al.,

2021). Lo anterior; como resultado de mayor interacción de la hidroxiquinolina con el TCNQ, debida al uso del acetonitrilo como solvente durante la fabricación del semiconductor compuesto, con respecto al uso del metanol de mayor polaridad, y con tendencia a formar enlaces de hidrógeno.

### 3.3. Evaluación de Comportamiento Eléctrico

Para finalizar, se evaluó el comportamiento eléctrico corriente-voltaje (I-V) de la película de  $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ, por lo que fue creado un dispositivo de capa única conformado estructuralmente por: PET/ITO/ $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ/Ag. La corriente transportada en el dispositivo fue evaluada con un rango de -1.1 V a +1.1 V en condiciones de iluminación natural, mostrando los resultados de la curva en la Figura 4. Es posible apreciar, que el dispositivo con la película de  $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ muestra un comportamiento ambipolar, en el cual, sin importar la polaridad del ITO y el electrodo de plata, la corriente es transportada de forma casi simétrica siguiendo un comportamiento apegado al óhmico. Se observa que, para valores en polarización inversa (valores negativos de voltaje marcados en la gráfica de la Figura 3b), la curva muestra una tendencia hacia un comportamiento característico de los diodos inorgánicos convencionales. Otro aspecto notable es que en alrededor de 1V en polarización en inversa, el dispositivo muestra un aumento abrupto en su transporte de cargas, tal como se ilustra con los cambios de pendiente a y b marcados en la Figura 4, lo cual, es análogo a lo que sucede en el voltaje umbral de un diodo. Esta característica se muestra como un indicador para su potencial uso en dispositivos semiconductores orgánicos.

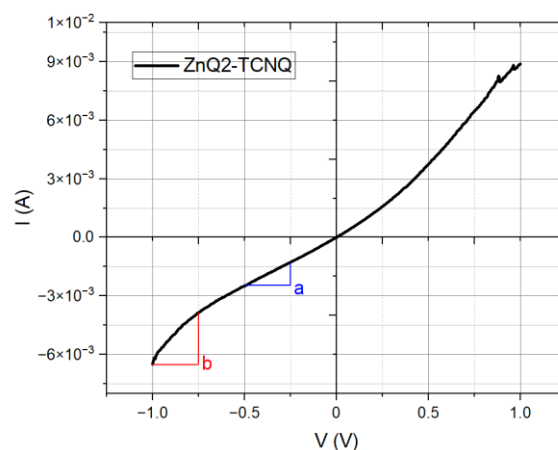


Figura 4: Comportamiento corriente-voltaje para el dispositivo ITO/ $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ/Ag.

## 4. Conclusiones

En este trabajo se sintetizó y depositó como película delgada, el semiconductor orgánico de  $\text{ZnQ}_2$  compuesto con TCNQ. De acuerdo con la espectroscopía IR, la película presenta grupos funcionales característicos de las dos especies. Esto es indicio tanto la adecuada fabricación del material compuesto, como del correcto método de depósito en la fabricación de la película  $\text{ZnQ}_2$ -TCNQ, que, además, presentó topografía homogénea con baja rugosidad. Los valores de brecha de banda óptica obtenidos son 2.4 eV y 2.07 eV para transiciones electrónicas directas e indirectas respectivamente.

Finalmente, el comportamiento eléctrico del dispositivo ITO/ZnQ<sub>2</sub>-TCNQ/Ag es óhmico, característico de los diodos convencionales, lo que lo hace adecuado para usos en optoelectrónica.

## Referencias

- Ahmad, A. A., Aljarrah, I. A., Al-Bataineh, Q. M., ... Nagpure, I. M., (2023). Photoluminescence, Optical, and Electrical Properties of Bis(8-Hydroxyquinoline) Zinc and Tris-(8-Hydroxyquinoline) Aluminum Organometallics and Their Films. *Journal of Electronic Materials* 53, 338–346. DOI: 10.1007/s11664-023-10788-X
- Amin, F. M., El-Mahalawy, A. M., Abdel-Salam, K. T., Abdel-Salam, M., (2024). Testing the Physical Properties Stability of Zinc (8-Hydroxyquinoline) Thin Films toward Stable Photodetection Performance: Effect of Annealing. *Thin Solid Films* 797, 140351. DOI: 10.1016/j.tsf.2024.140351
- Anurag, S., Ashutosh, S., Sandeep, K., Vinod, K., Amit, K., (2023). Zinc quinoline complexes: solvent effects on optical properties, charge transport study, and OFET applications. *Journal of Materials Science. Materials in Electronics*. Tomo 34, número 24, 1727. DOI:10.1007/s10854-023-11087-1
- Côrte Real, L., Pósa, V., Martins, M., Colucas, R., May, N. V., Fontrodona, X., Romero, I., Mendes, F., Pinto Reis, C., Gaspar, M. M., Pessoa, J. C., Enyedy, É. A., Correia, I., (2023). Cu(II) and Zn(II) Complexes of New 8 Hydroxyquinoline Schiff Bases: Investigating Their Structure, Solution Speciation, and Anticancer Potential. *Inorganic Chemistry* 62(29), 11466–11486. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.3c01066
- Gómez, P., Georgakopoulos, S., Más-Montoya, M., Cerdá, J., Pérez, J., Ortí, E., Aragón, J., Curiel, D., (2021). Improving the Robustness of Organic Semiconductors through Hydrogen Bonding. *ACS Applied Materials & Interfaces* 13(7), 8620–8630. DOI: 10.1021/acsami.0c18928
- Hofmann, A., Schmid, M., Brütting, W., (2021). The Many Facets of Molecular Orientation in Organic Optoelectronics. *Advanced Optical Materials* 9(21), 2101004. DOI: 10.1002/adom.202101004
- Kalyani, N., Mullemwar, S. Y., Choudhari, P. D., Gahukar, P. M., Dhoble, S. J., (2021). Investigations on structural, photo-physical and photometric parameters of metal based quinoline complexes for OLEDs. *Journal of Physics: Conference Series* 1913(1), 012022. DOI: 10.1088/1742-6596/1913/1/012022
- Khalid, M., Ali, A., Jawaria, R., Asghar, M. A., Asim, S., Khan, M. U., Hussain, R., Fayyaz ur Rehman, M., Ennis, C. J., Akram, M. S., (2020). First principles study of electronic and nonlinear optical properties of A–D– $\pi$ –A and D–A–D– $\pi$ –A configured compounds containing novel quinoline–carbazole derivatives. *RSC Advances* 10, 22273–22283. DOI: 10.1039/D0RA02857F
- Kim, K., Yoo, H., Lee, E. K., (2022). New Opportunities for Organic Semiconducting Polymers in Biomedical Applications. *Polymers* 14(14), 2960. DOI: 10.3390/polym14142960
- Kousseff, C. J., Halaksa, R., Parr, Z. S., Nielsen, C. B., (2022). Mixed Ionic and Electronic Conduction in Small-Molecule Semiconductors. *Chemical Reviews* 122(4), 4397–4419. DOI: 10.1021/acs.chemrev.1c00314
- Manousiadis, P. P., Yoshida, K., Turnbull, G. A., (2020). Organic semiconductors for visible light communications. *Phil. Trans. R. Soc.* 378: 20190186. DOI: 10.1098/rsta.2019.0186
- Morab, S., Sundaram, M., Pivrikas, A., (2023). Review on Charge Carrier Transport in Inorganic and Organic Semiconductors. *Coatings* 13(9), 1657. DOI: 10.3390/coatings13091657
- Okamoto, T., Kumagai, S., Fukuzaki, E., Ishii, H., Watanabe, G., Niitsu, N., Annaka, T., Yamagishi, M., Tani, Y., Sugiura, H., Watanabe, T., Watanabe, S., Takeya, J., (2020). Robust, high-performance n-type organic semiconductors. *Science Advances* 6(18), eaaz0632. DOI: 10.1126/sciadv.aaz0632
- Patel, A., Marquez-Gomez, P. L., Torp, L. R., Gao, L., Peralta-Yahya, P., (2023). Insight into the Mode of Action of 8-Hydroxyquinoline-Based Blockers on the Histamine Receptor 2. *Biosensors* 13(6), 571. DOI: 10.3390/bios13060571
- Salman, A. T., Ismail, A. H., Rheima, A. M., Abd, A. N., Habubi, N. F., Abbas, Z. S., (2021). Nano-Synthesis, characterization and spectroscopic studies of chromium (III) complex derived from new quinoline-2-one for solar cell fabrication. *Journal of Physics: Conference Series* 1853(1), 012021. DOI: 10.1039/c3cp23177g
- Sánchez Vergara, M. E., Cantera Cantera, L. A., Rios, C., Salcedo, R., Lozada Flores, O., Dutt, A., (2023). Preparation of Hybrid Films Based in Aluminum 8-Hydroxyquinoline as Organic Semiconductor for Photoconductor Applications. *Sensors* 23(18), 7708. DOI: 10.3390/s23187708
- Sánchez Vergara, M. E., Díaz Morales, F. I., Molina, B., Alvarez-Zauco, E., Bazán-Díaz, L., Salcedo, R., (2025). Optimization of Zinc and Aluminum Hydroxyquinolines for Applications as Semiconductors in Molecular Electronics. *Molecules* 30, 1896. DOI: 10.3390/molecules30091896
- Sánchez Vergara, M. E., Ramírez Vargas, L., Rios, C., Molina, B., Salcedo, R., (2021). Investigation of Structural and Optoelectronic Properties of Organic Semiconductor Film Based on 8-Hydroxyquinoline Zinc. *Electronics* 10(2), 117. DOI: 10.3390/electronics10020117
- Sawatzki Park, M., Wang, S. J., Kleemann, H., Leo, K., (2023). Highly Ordered Small Molecule Organic Semiconductor Thin Films Enabling Complex, High Performance Multi Junction Devices. *Chemical Reviews* 123, 8232–8250. DOI: 10.1021/acs.chemrev.2c00844
- Scharber, M. C., Sariciftci, S. N., (2021). Low Band Gap Conjugated Semiconducting Polymers. *Advanced Materials Technologies* 6(4), 2000857. DOI: 10.1002/admt.202000857
- Sigma-Aldrich, (s.f.). 8-Hydroxyquinoline Zinc. Sigma-Aldrich Product Data. <https://www.sigmaaldrich.com/MX/es/product/aldrich/471755?srsltid=AfmBOorG7sRdBow2qqSNSFynPRTUAmGZIUmZx4Swwm0X4uj0TpukGE5W>
- Sypniewska, M., Pokladko Kowar, M., Gondek, E., Apostoluk, A., Kamedulski, P., Smokal, V., Song, P., Liu, J., Szczesny, R., Derkowska Zielinska, B., (2023). Organic LEDs Based on Bis(8 hydroxyquinoline) Zinc Derivatives with a Styryl Group. *Molecules* 28(21), 7435. DOI: 10.3390/molecules28217435
- Tauc, J., (1968). Optical Properties and Electronic Structure of Amorphous Ge and Si. *Materials Research Bulletin* 3, 37–46. DOI: 10.1016/0025-5408(68)90023-8
- Tauc, J., Grigorovici, R., Vancu, A., (1968). Optical Properties and Electronic Structure of Amorphous Ge and Si. *Materials Research Bulletin* 3, 37–46. DOI: 10.1016/0025-5408(68)90023-8
- Wang, Y., Han, X., Jin, L., Meng, Y., Jiang, C., Asare-Yeboah, K., He, Z., Bi, S., (2023). Excitation Threshold Reduction Techniques for Organic Semiconductor Lasers: A Review. *Coatings* 13(10), 1815. DOI: 10.3390/coatings13101815