

# KIT SENSOR DE OXÍGENO AMBIENTAL PARA LA CARACTERIZACIÓN DE CELDAS SOLARES ORGÁNICAS

Luis Vidal Millán Jacobo<sup>1</sup>, Luis Martín Reséndiz Mendoza, Dr.<sup>1</sup>

Instituto Politécnico Nacional

<sup>1</sup>Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA)

*lmillanj1700@alumno.ipn.mx, lresendiz@ipn.mx*

Boletín No. 105, 1o. de noviembre de 2024

## Resumen

Los sensores ambientales nos proporcionan parámetros del medio ambiente que nos rodea y para el desarrollo de dispositivos orgánicos, como las celdas solares orgánicas, estos parámetros son factor clave para su caracterización y desarrollo, por lo que se implementó un sistema para la obtención de estos parámetros dentro del laboratorio de dispositivos orgánicos de la UPIITA-IPN. Este sistema está regido por un sensor de oxígeno electroquímico que genera un voltaje proporcional a la concentración de oxígeno mediante una reacción electroquímica y este voltaje es acondicionado y procesado por un módulo de adquisición de datos que incorpora un microcontrolador ESP32, así como una pantalla LCD TFT donde podemos observar parámetros como oxígeno, temperatura, y humedad. Para la propia caracterización de las celdas, se siguen los protocolos ISOS estándar garantizando la comparabilidad y estabilidad de esta. La implementación del kit en el laboratorio facilita el análisis de celdas bajo condiciones controladas y logrando así adaptar correctamente los protocolos ISOS. Finalmente se resalta la utilidad del módulo para monitorear constantemente el entorno, asegurando condiciones óptimas para la caracterización de las celdas.

**Palabras Clave:** Sensores ambientales, oxígeno electroquímico, celdas solares orgánicas, ESP32, protocolos ISOS.

## 1. Introducción

El uso de sensores ambientales dentro del área de investigación y desarrollo tecnológico es indispensable, ya que es importante conocer bajo que condiciones ambientales se está desarrollando o verificado algunas de las nuevas tecnologías. Existen varios tipos y modelos de sensores ambientales para la medición de parámetros dentro de un entorno [1], de los cuales en este artículo se destacará el sensor de oxígeno y para ello debemos conocer a grandes rasgos que, de acuerdo con [2] el sensor de oxígeno es un dispositivo que transforma la cantidad de oxígeno en una unidad de medida eléctrica, esto dependiendo del tipo de sensor que se utiliza, así como su aplicación. Dentro de los tipos de sensores de oxígeno se encuentran: electroquímicos, ópticos y paramagnéticos, mostrados en la Figura 1, cada uno de ellos trabajan bajo propiedades diferentes, sin embargo, se hablará sobre el sensor de oxígeno electroquímico o también conocido como de celda galvánica, estos utilizan una reacción electroquímica para la medición de la concentración de oxígeno en un entorno, estos son económicos y fáciles de usar [3].



Figura 1 Sensores de Oxígeno [3].

## 2. Sensor electroquímico

Los sensores electroquímicos son dispositivos químicos que responden a cambios específicos de potencial o corriente eléctrica debido a diversas sustancias reactivas dentro del sensor, es decir, dentro del sensor hay reacciones químicas que dan como resultado un voltaje, corriente o calor [4].

## 3. Medición de la concentración de oxígeno

Para entender cómo funciona un sensor electroquímico en el análisis de la concentración de oxígeno en un entorno, podemos interpretarlo como una batería ya que genera un voltaje que es directamente proporcional a la concentración de oxígeno que entra por el sensor. La parte principal del sensor es una celda formada por un cátodo con una bobina, esta a su vez envuelve un ánodo de plomo donde hay una solución salina entre ellos para que pase una corriente eléctrica.

En el cátodo, el oxígeno se reduce, lo que significa que pierde electrones. Esta pérdida de electrones crea una corriente que fluye desde el cátodo hacia el ánodo a través de un circuito externo, y luego regresa al cátodo a través de la solución salina y el electrolito [5]. En la Figura 2 se muestra un diagrama del funcionamiento interno del sensor.

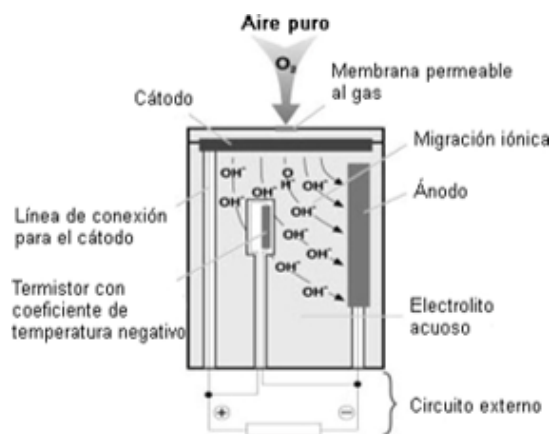


Figura 2 Diagrama interno del sensor de oxígeno [2].

## 4. Módulo de adquisición de datos

Para la implementación de este sensor se utilizó un módulo para la adquisición de parámetros ambientales mostrada en la Figura 3, esta incorpora una placa de desarrollo con un microcontrolador ESP 32, de acuerdo a [6], este chip es un microcontrolador con un procesador de dos núcleos, lo que nos permite realizar tareas de forma más rápida y simultánea, el ESP32 es de bajo costo y bajo consumo y tiene una temperatura de

funcionamiento de  $-40^{\circ}\text{C}$  hasta  $+125^{\circ}\text{C}$  por lo que tiene una adaptabilidad adecuada en el entorno donde se integre, por esto y más, el ESP32 es una gran opción para el funcionamiento del módulo. Esta placa de desarrollo también tiene una amplia variedad de periféricos de entrada/salida, lo que lo hace ideal para aplicaciones de Internet de las cosas (IoT), esto nos beneficia para la adaptación y conectividad del sensor de oxígeno del que estaremos hablando.



**Figura 3 Vista anterior y posterior del módulo.**

El kit cuenta con el módulo principal, ya mostrado en la Figura 3, así como un LCD para el despliegue de las mediciones, también cuenta con un interruptor de apagado y encendido, un cable auricular telefónico, así como su adaptador hembra que va hacia el módulo, estos dispositivos se pueden observar ya ensamblados en la Figura 4.



**Figura 4 Kit Sensor de Oxígeno Ambiental ensamblado.**

Este sensor de oxígeno, así como el módulo que incorpora la placa de desarrollo con el chip ESP32 fue desarrollado y manufacturado por QSM semiconductores [7], empresa ubicada en Querétaro dedicada al desarrollo de soluciones basadas en tecnologías de semiconductores.

## 5. Despliegue de mediciones

El módulo tiene adaptada una pantalla de cristal líquido con transistor de película delgada (LCD TFT), la cual podemos observar en la Figura 5, la cual nos permite la visualización de las mediciones ambientales que

se están capturando en tiempo real. Dentro de esta pantalla LCD vemos parámetros ambientales como: oxígeno, presión atmosférica, altitud, humedad ambiental y temperatura.

Para que las medidas de este sensor sean exactas, se debe realizar una calibración previa al módulo, esto con el fin de asegurar que las mediciones desplegadas en pantalla se acerquen a los parámetros reales del entorno donde trabaja el sensor.



Figura 5 LCD para la visualización de parámetros.

## 6. Usos y aplicaciones del módulo “Kit Sensor de Oxígeno Ambiental”

Este kit sensor de oxígeno ambiental con modulo ESP32 tiene muchas aplicaciones en diferentes áreas, desde el análisis en un entorno pequeño como un laboratorio, hasta el monitoreo dentro de instalaciones industriales como plantas de manufactura, estos módulos también son utilizados en sectores como el agropecuario, lugares como: hospitales, restaurantes, oficinas, estaciones metrológicas y transporte [3].

## 7. Uso particular del módulo

El sensor se pondrá a disposición del laboratorio de dispositivos orgánicos dentro de las instalaciones de la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas IPN, donde el sensor trabajará en un entorno controlado para la caracterización de celdas solares orgánicas.

Para entender la importancia del sensor dentro del laboratorio, es necesario destacar algunos puntos importantes dentro de la caracterización de celdas solares.

Las celdas solares orgánicas son dispositivos que transforman la luz solar en energía eléctrica a través del efecto fotovoltaico y que en su configuración básica consta de un material orgánico (capa activa) entre dos electrodos, ánodo y cátodo [8]. Para la caracterización de estas, se tienen parámetros eléctricos que describen el funcionamiento interno de la estructura de la celda, principalmente se obtienen las características de corriente-voltaje bajo iluminación, con lo cual es posible obtener la potencia máxima de salida, así como su eficiencia de conversión de energía.

Estudios han mostrado que el rendimiento fotovoltaico es dependiente de la degradación de la capa activa la cual es afectada debido a la fotoxidación del material orgánico bajo condiciones de iluminación. Algunos materiales orgánicos tienen la capacidad de absorber humedad del medio circundante, esto debido a su naturaleza higroscópica, promoviendo la absorción de agua y degradando al dispositivo, por lo que debemos tener precaución con el control de las condiciones de oxígeno, humedad y temperatura, ya que, si la concentración de oxígeno y temperatura son mínimas, al estar en presencia de luz puede causar cambios transitorios o permanentes en las características de dispositivo [9].

En un artículo presentado en 2024 [10] se analiza la relación entre la eficiencia y durabilidad de celdas solares orgánicas bajo condiciones ambientales. Como respuesta del dispositivo se obtuvo lo mostrado en la Figura 6, donde las características de corriente-voltaje varían de acuerdo con el tiempo de exposición al medio ambiente, las muestras puestas a prueba muestran una disminución de la fotocorriente [9].

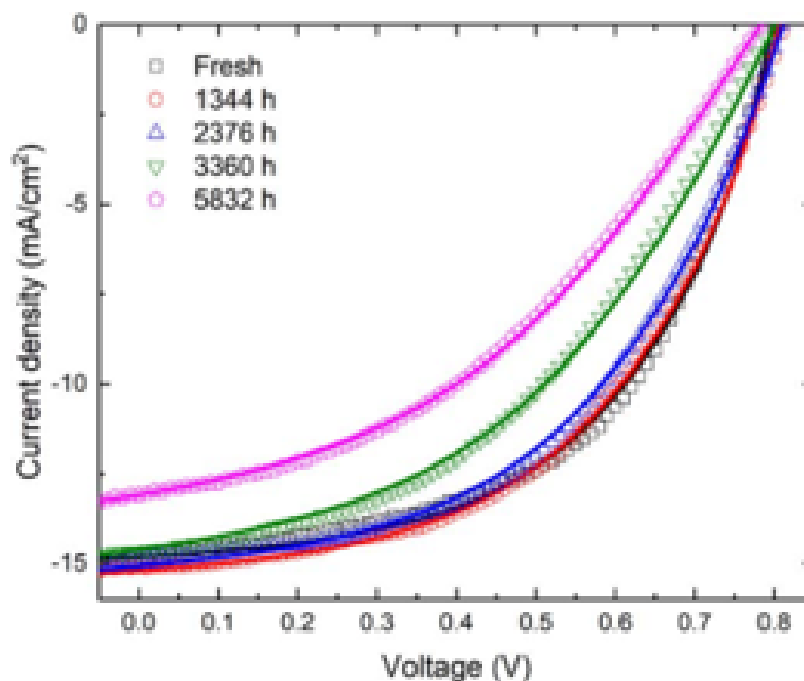


Figura 6 Características corriente-voltaje del dispositivo orgánico [10].

Uno de los principales usos de una celda solar orgánica es servir como componente para la creación de un módulo solar más complejo, por lo que es necesario fabricar módulos de modo que las celdas que lo componen trabajen de la manera más similar posible [11].

Esto es posible mediante los protocolos de estabilidad ISOS estándar mostrados en la Figura 7, donde su objetivo principal es garantizar una comparabilidad de las caracterizaciones de las celdas a escala de laboratorio entre diferentes laboratorios [12]. Dentro de los principales protocolos ISOS tenemos: ISOS-D: almacenamiento en oscuridad/vida útil, ISOS-L: absorción de luz, ISOS-O: pruebas en exteriores, ISOS-T: ciclo térmico e ISOS-LT: ciclo luz-humedad-térmico [13]. La aplicación de estos protocolos está en función de la característica de la celda que se requiere analizar y para ello cada protocolo tiene un propósito en específico mencionados en la siguiente lista:

- ISOS-D: Prueba la tolerancia al oxígeno, la humedad y componentes atmosféricos, dentro de un ambiente atmosférico.
- ISOS-L: Bajo la exposición de luz se analiza la degradación acelerada de la celda.
- ISOS-O: Su propósito es evaluar el dispositivo de forma realista bajo condiciones exteriores, aun cuando las condiciones climáticas están definidas por la ubicación geográfica, donde esta prueba da información acerca de los modos de falla, así como la correlación entre condiciones climáticas y las características de desempeño.
- ISOS-LT: Su propósito es analizar la influencia de las condiciones climáticas como: humedad, temperatura y radiación solar, en el dispositivo.



Figura 7 Protocolos ISOS [13].

Con base a estos protocolos y definiciones, vemos la importancia de tener un monitoreo constante dentro del laboratorio para la caracterización de las celdas ya que monitorear estos parámetros permite ajustar las condiciones de prueba y almacenamiento para minimizar la degradación y prolongar la vida útil de las celdas solares, asegurando una evaluación precisa y confiable de su rendimiento bajo diferentes condiciones ambientales.

## 8. Conclusiones

En este trabajo se implementó el “Kit Sensor de Oxígeno Ambiental” fabricado por QSM Semiconductores en el entorno de la caracterización de celdas solares orgánicas, se destacó las características que tiene el chip ESP32 y como estas contribuyen de forma positiva a la implementación del módulo, de la misma manera se describe cada complemento que tiene el módulo y como estos contribuyen al funcionamiento integral del kit. Se definieron conceptos como: qué son los sensores electroquímicos, el funcionamiento de un sensor de oxígeno de celda galvánica, la caracterización de una celda solar orgánica y los protocolos que se usan para la caracterización de dichas celdas.

La implementación del kit completo dentro del laboratorio nos brinda una mayor certeza de los parámetros ambientales a los que están expuestas las celdas solares, facilitando así el análisis del comportamiento de estas, bajo las condiciones medidas por el módulo. Cabe destacar la importancia de la medición de parámetros ambientales como el oxígeno, la temperatura y la humedad, ya que sin estas mediciones es difícil adecuar los protocolos ISOS mostrados en este artículo y bajo la necesidad de estas mediciones, se destaca la importancia de adecuar un sistema de sensores dentro del laboratorio.

## Agradecimientos

Proyecto IPN- SIP 20242346

## Referencias

- [1] (s.f.). *Sensores Ambientales Archivos - Instrumentos del Sur*. Accedido el 1 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.idelsur.com/?cat=274>
- [2] Anónimo. (s.f.). *Sensores electroquímicos | Academia Testo*. Accedido el 1 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.academiatesto.com.ar/cms/sensores-electroquimicos>
- [3] (s.f.). *Monitoreo de Oxígeno*. QSM Semiconductores. Accedido el 8 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://qsmsemiconductores.com/projects/monitoreo-de-oxigeno/>
- [4] A. Baeza. (2005). *Sensores y Biosensores Electroquímicos*. Dr. Alejandro Baeza. Fac. Quim. UNM, pp. 1–15, 2005.
- [5] HACH. (2016). *Manual: 5740 sc Galvanic Membrane Dissolved Oxygen Sensor*. (Agosto, 2016). Edición 2.

- [6] (s.f.). *ESP32 Wi-Fi & Bluetooth SoC* | *Espressif Systems*. Accedido el 8 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>
- [7] QSM Semiconductores. (s.f.). *QSM Semiconductores*. Accedido el 8 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://qsmsemiconductores.com/>
- [8] Hafeez Y. Hafeez et al (2018). *J. Phys.: Conf. Ser.* 1000 012124.
- [9] Arredondo, B., Romero, B., Beliatas, M., Del Pozo, G., Martín-Martín, D., Blakesley, J., Dibb, G., Krebs, F., Gevorgyan, S., & Castro, F. (2018). *Analysing impact of oxygen and water exposure on roll-coated organic solar cell performance using impedance spectroscopy*. *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 176, 397-404. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2017.10.028>
- [10] Lastra G., Reséndiz L., Ramírez M., Balderrama V., Hernández L., Marsal Lluís, Cabrera V. & Estrada M. (2024). *Simulation of the degradation behavior of small-molecule solar cells based on p-DTS(FBTTh2)2 as the donor material*. *Materials Research Express* (pp. 1-9). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2053-1591/ad55b0>
- [11] Hamadani, B. H., & Dougherty, B. (2015). *Solar cell characterization*. In *Semiconductor materials for solar photovoltaic cells* (pp. 229-245). Cham: Springer International Publishing.
- [12] Khenkin, M.V., Katz, E.A., Abate, A. et al (2020). *Consensus statement for stability assessment and reporting for perovskite photovoltaics based on ISOS procedures*. *Nat Energy* 5, 35-49 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41560-019-0529-5>
- [13] ISOS protocols. (s.f.). *Stability Perovskite Solar Cells*. Fluxim. Accedido el 20 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.fluxim.com/isos-protocols-stability-perovskite-solar-cells>
- [14] Würfel, P., & Würfel, U. (2016). *Physics of Solar Cells: From Basic Principles to Advanced Concepts*. John Wiley & Sons.

**Millán Jacobo, L. V., Reséndiz Mendoza, L. M.** (2026). *KIT SENSOR DE OXÍGENO AMBIENTAL PARA LA CARACTERIZACIÓN DE CELDAS SOLARES ORGÁNICAS*. *Boletín UPIITA*. año XX, (NÚM) 2026.