



CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO  
EN ELECTROQUIMICA



---

**“DESARROLLO DE ELECTRODOS  
ENZIMÁTICOS PARA APLICACIÓN EN SISTEMAS  
MICROFLUIDICOS (SENSADO Y CONVERSIÓN DE  
ENERGÍA)”**

TESIS PRESENTADA POR:

**M. en C. Juan de Dios Galindo de la Rosa**

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**DOCTOR EN ELECTROQUÍMICA**

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en  
Electroquímica

Realizado por:

M.C. JUAN DE DIOS GALINDO DE LA ROSA

Dirigido por:

DR. LUIS GERARDO ARRIAGA HURTADO

Co-dirigido por:

JANET LEDESMA GARCÍA

**SINODALES**

**Dra. Linda Victoria Gonzalez Gutierrez**

Presidente

\_\_\_\_\_

Firma

**Dra. María Yolanda Reyes Vidal**

Secretario

\_\_\_\_\_

Firma

**Dr. Goldie Oza**

Vocal

\_\_\_\_\_

Firma

**Dr. Eduardo Arturo Elizalde Peña**

Vocal

\_\_\_\_\_

Firma

**Dr. Walter Noe Velázquez Arjona**

Vocal

\_\_\_\_\_

Firma

# Resumen

---

El desarrollo de electrodos enzimáticos para aplicaciones en dispositivos microfluídicos y sensores sigue siendo un gran reto, sobre todo cuando se quiere tener enzimas de diferente naturaleza en un solo electrodo. Una de las etapas esenciales para la fabricación de los electrodos multi-enzimáticos, es demostrar que las enzimas inmovilizadas individualmente tienen buena actividad catalítica y presenten un buen desempeño cuando son evaluadas en celdas de combustibles, para posteriormente integrarlas con otras enzimas diferentes y utilizar combustibles más complejos. La clave para poder lograrlo es encontrar un buen método de inmovilización el cual permita que las diferentes enzimas puedan estar activas. El punto crítico es conseguir que las diferentes enzimas se fijen sobre la superficie del electrodo, ya que cada enzima posee una composición química diferente, por lo que encontrar métodos de inmovilización adecuados donde exista la posibilidad de transferencia electrónica

En este trabajo de investigación se propusieron dos métodos de inmovilización (electropolimerización con azul de metileno y funcionalización de nanofibras con aminas cuaternarias) para el desarrollo de un electrodo con las enzimas glucosa oxidasa y alcohol deshidrogenasa. Por medio de técnicas electroquímicas y bioquímicas, se pudo demostrar que ambas enzimas se pudieron confinar sobre el electrodo y que conservaron una buena actividad residual, presentando mejores resultados mediante el método funcionalización con nanofibras de carbón. Por medio de la microscopia electroquímica de barrido se pudo evidenciar que ambas enzimas (alcohol deshidrogenasa y glucosa oxidasa) permanecen presentes activas en el mismo electrodo.

Se pudieron desarrollar electrodos que funcionaron con glucosa contenida en sangre y sangre enriquecida con etanol obteniendo buenas densidades de potencia teniendo un buen potencial para ser utilizados en aplicaciones en dispositivos biomédicos. También se pudo evaluar un electrodo que utilizo diferentes bebidas alcohólicas (tequila, vodka, bebidas alcohólicas saborizadas, vino) como combustible, donde a pesar de tener pH muy ácidos se pudo obtener un buen rendimiento en el dispositivo microfluídico.

# Abstract

---

The development of enzymatic electrodes for applications in microfluidic devices and sensors remains a great challenge, especially when you want to have enzymes of different nature in a single electrode. One of the essential steps for the manufacture of multi-enzymatic electrodes is to demonstrate that individually immobilized enzymes have good catalytic activity and have a good performance when evaluated in fuel cells, to later integrate them with other different enzymes and use more fuels. complex. The key to achieving this is to find a good method of immobilization which allows different enzymes to be active. The critical point is to get the different enzymes to be fixed on the surface of the electrode since each enzyme has a different chemical composition, so find suitable immobilization methods where there is the possibility of electronic transfer

In this research work, two immobilization methods (electropolymerization with methylene blue and nanofiber operation with quaternary amines) were proposed for the development of an electrode with the enzymes glucose oxidase and alcohol dehydrogenase. By means of electrochemical and biochemical techniques, it was possible to demonstrate that both enzymes could be confined on the electrode and that they maintained good residual activity, presenting better results by means of the carbon nanofiber functionalization method. By means of the scanning electrochemical microscopy, it was possible to show that both enzymes (alcohol dehydrogenase and glucose oxidase) remain active in the same electrode.

Electrodes that worked with blood glucose and ethanol-enriched blood could be developed to obtain good power densities having a good potential to be used in applications in biomedical devices. It was also possible to evaluate an electrode that used different alcoholic beverages (tequila, vodka, flavored alcoholic beverages, wine) as fuel, where despite having very acidic pH, a good performance could be obtained in the microfluidic device.



**Este trabajo fue realizado en el Centro e Investigación y Desarrollo Tecnológico en electroquímica bajo la dirección de:**

**Dr. Luis Gerardo Arriaga Hurtado**

**y de la co-dirección de:**

**Dra. Janet Ledesma García**

**Las siguientes páginas fueron eliminadas debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública 2017, y con el Artículo 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública 2015.**