

Máquina Inyectora de Tinta Catalítica para la Fabricación de Celdas Tipo PEM

V. E. Manqueros-Aviles¹, J. Ortíz-Pinto¹, A. Gamez-Vargas¹, F. De la Cruz-Valdez¹.

Resumen— El presente trabajo muestra el diseño electromecánico e implementación de un sistema de posicionamiento en dos ejes para un aerógrafo, que aplica una solución de tinta catalítica sobre membranas de intercambio protónico para la fabricación de celdas de hidrógeno. Actualmente dicho proceso se realiza de forma manual y se desea automatizar para homogenizar las características en ellas obteniendo con ello reproducibilidad así como disminución de los tiempos de producción. El proyecto se divide en dos áreas: Diseño y construcción del mecanismo y diseño del control electrónico para el posicionamiento del mecanismo.

Temas claves—Tinta catalítica, Motor a Pasos, PEM, Diseño mecánico, Microcontrolador, Solid Works, CAD.

Abstract— this work shows the electromechanical design and the implementation of a system of two-axis positioning for an airbrush, applying a catalytic ink solution on proton exchange membrane cells for hydrogen production. Currently this process is performed manually and be automated to homogenize the characteristics in them thereby obtaining reproducibility and decreased production time. The project is divided into two areas: design and construction of machinery and electronic control design for positioning the mechanism.

Keywords— Catalyst ink, Stepping Motor, PEM, Mechanical Design, Microcontroller, Solid Works CAD.

I. INTRODUCCIÓN

La Subdirección de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo desde su creación, tiene como objetivo desarrollar tecnologías y conocimientos que resuelvan necesidades en diferentes ámbitos donde se vean involucradas la investigación, la ingeniería y la técnica llevando a cabo proyectos que impacten y solucionen en dichas necesidades.

El presente trabajo trata sobre el diseño, fabricación, ensamble y control de una mesa que se desplaza en dos ejes para posicionar a una membrana de intercambio protónico, la cual es parte esencial de las celdas de

combustible tipo PEM (Proton Exchange Membrane), y hacerle un depósito de tinta catalítica en su superficie mediante un aerógrafo. Dicho proceso se desarrolla actualmente en el instituto de Investigaciones eléctricas específicamente por el grupo de hidrógeno y celdas de combustible, quien es un referente a nivel nacional sobre la tecnología de celdas de hidrógeno.

El proyecto consta de las siguientes etapas:

Diseño mecánico, en esta etapa se describe los elementos que componen el mecanismo para el posicionamiento de la membrana ante el aerógrafo, apoyándose en el empleo de herramientas como el diseño asistido por computadora (CAD).

La etapa de diseño mecánico arroja los datos necesarios para la fabricación de las piezas, por lo que la siguiente fase es la manufactura de componentes. Los componentes diseñados fueron fabricados dentro del ITSL por personal que opera las máquinas de CNC.

Una vez hechos los componentes mecánicos, se procede al ensamblaje del mecanismo para realización de pruebas con el fin de detectar anomalías de los componentes al desplazarse en uno, dos o ambos ejes, y poder efectuar alguna modificación.

En el diseño electrónico intervienen tres aspectos fundamentales como lo son la potencia para poder proporcionar la corriente necesaria a cada motor a pasos, el circuito de control para efectuar las secuencias requeridas por los pasos del motor, la captura de información para la generación de una trayectoria específica.

II. CELDAS DE COMBUSTIBLE.

Las celdas de combustible se han convertido en una tecnología de generación de electricidad con grandes beneficios, ofrecidos por el hecho de ser altamente eficientes y limpias comparadas con tecnologías convencionales de combustión interna. Cuando el combustible utilizado es hidrógeno, sus beneficios se

¹ Victor Edi Manqueros Aviles (emanqueros@itslerdo.edu.mx). Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Avenida Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez-Lerdo Km. 14.5, C.P. 35150 Cd. Lerdo, Dgo.

multiplican ya que en éste caso las emisiones son solamente calor y agua pura. *Ejemplo de Subsección*

La sección puede tener tantas subsecciones como sea conveniente.

A. Principio de Funcionamiento.

Una celda de combustible es un dispositivo electroquímico en el cual la energía química de un combustible es convertida en electricidad sin ninguna combustión. Las celdas de combustible se parecen a una pila ya que sus principales componentes son dos electrodos (ánodo y cátodo) separados por un conductor iónico (electrolito). La diferencia básica entre una celda de combustible y una pila es que ésta última contiene internamente el material reactivo o “combustible”, mientras que a la celda de combustible se le alimenta externamente y de manera continua. Esta característica hace posible considerar a las celdas de combustible como generadores de electricidad continuos que no requieren recarga como en el caso de pilas secundarias. A medida que el combustible es alimentado a la celda de combustible, aquel será oxidado en el ánodo generando una corriente de electrones o electricidad la cual circulará externamente, aprovechándose así para realizar algún tipo de trabajo. El retorno de tal corriente eléctrica ocurre del lado del cátodo, en donde los electrones transforman el oxígeno del aire para que éste forme junto con el hidrógeno oxidado agua 100% pura.

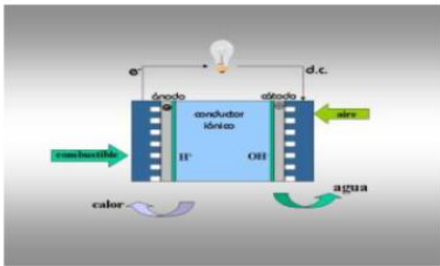


Figura 1. Principio de funcionamiento de las celdas de combustible.

A diferencia de las máquinas de combustión interna donde la energía química es extraída mediante la “quema” del combustible y convertida en diversas formas de energía antes de ser aprovechada, las celdas de combustible no queman un combustible sino que lo transforman electroquímicamente, generando electricidad, agua y calor. Se ha determinado al hidrogeno como el combustible de las celdas debido a que este alcanza grandes eficiencias al generar energía eléctrica y presentar cero emisiones contaminantes.

B. Tipos de Celdas.

Las celdas se tipifican en base al electrolito que empleen para llevar cabo la combustión. Según lo anterior se tienen diversos tipos de celdas las cuales son:

- Celda de Membrana de Intercambio protónico (PEM, por sus siglas en ingles).
- Celda de ácido fosfórico (PAFC).
- Celda de carbonato fundido (MCFC).
- Celda de óxido solido (SOFC).

Se centrará la atención en las celdas PEM.

C. Celdas de Combustible PEM.

Las celdas de combustible PEM (membrana de intercambio protónico) deben su nombre a que la parte que lleva a cabo la reacción electroquímica es una membrana polimérica que conduce protones, en este caso ella será el electrolito. Los componentes básicos de una celda de combustible tipo PEM pueden ser resumidos como: dos electrodos impregnados con electrocatalizador (típicamente platino), la membrana polimérica conductora de protones (electrolito) y finalmente las placas colectoras de corriente.

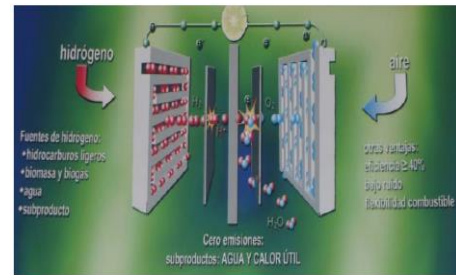


Figura 2. Celda PEM.

La *membrana polimérica conductora de protones* es probablemente el elemento más especial de las celdas PEM. Esta tiene como función el transporte de carga iónica en el circuito de la celda electroquímica formada. Esta membrana tiene la apariencia de un plástico transparente y delgado, y es impregnada con una tinta catalítica. La tinta catalítica (electro catalizador) es una mezcla de varios agentes catalizadores que actúan en sinergia y se encuentran uniformemente distribuidos dentro del volumen de dicha capa y se están disueltos en una solución alcohólica para facilitar su aplicación sobre la membrana por los dos lados. La función primordial de la tinta catalítica es la de “atrapar” el hidrógeno y posteriormente contribuir al transporte de los protones H^+ hasta la membrana donde se llevará a cabo la conducción protónica.

D. Descripción del Proceso.

Actualmente el proceso consta en realizar la inyección de tinta catalítica en la membrana de intercambio protónico de la celda de combustible, todo ello en una mesa de trabajo que se desplaza en los ejes x-y de forma manual. Posteriormente una vez que se consigue la ubicación de donde se va a hacer la inyección se hace actuar (de forma manual) un aerógrafo, que es el que inyecta dicha solución. El aerógrafo tiene como entradas a la tinta catalítica por un lado y por otro lado una determinada presión neumática para inyección. La figura 3 muestra como es el rastro de la inyección sobre la membrana.

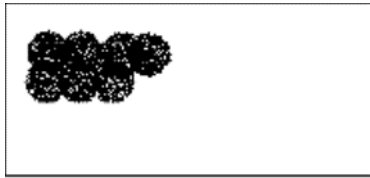


Figura 3. Rastro de la deposición/inyección de tinta catalítica sobre la membrana.

Como se observa en la figura anterior, el aerógrafo al inyectar tinta deja un rastro o patrón circular sobre la membrana, y con él se pretende cubrir a la membrana en su totalidad de tinta catalítica. Los movimientos que se tienen que realizar en la mesa x-y para lograr la cobertura se describe con la figura siguiente:

E. Procedimiento.

Básicamente consta de los siguientes pasos:

1. Colocación de la membrana.
2. Sujeción por vacío.
3. Sujeción mecánica.
4. Calentamiento.
5. Inyección de la tinta catalítica.

Se coloca la membrana en placa de sujeción de la mesa, en seguida se le aplica vacío con el fin de evitar pliegues en la membrana. Posteriormente se calienta la membrana, aproximadamente a 70 grados centígrados, también con el fin de no dejar pliegues ello mediante una resistencia eléctrica que está dentro de la placa de sujeción. La resistencia se calienta por medio de un variac y la temperatura se monitorea por medio de un termopar y un multímetro. Una vez dadas estas condiciones finalmente por medio de manivelas se mueve a la mesa de trabajo en los ejes (X-Y) para posicionar a la membrana y hacerle la

inyección de la tinta catalítica mediante el aerógrafo. La siguiente figura trata de ilustrar lo anterior. A continuación se muestran una serie de imágenes del sistema actual. En la figura 4 se puede apreciar la serie de dispositivos con los cuales se lleva a cabo actualmente la inyección de tinta catalítica en las membranas. Se observa un mecanismo montado en una placa de aluminio y sobre de ella elementos de desliz que son puestos en movimiento mediante la rotación de un tornillo sin fin accionado por manivelas, esto por cada eje, por lo que se encuentran montados de manera ortogonal. Un transformador variable se emplea para alimentar a la resistencia eléctrica que produce el calor necesario para operar a la membrana. El aerógrafo se encuentra en la parte superior del dispositivo y con él lleva a la tinta catalítica además de una línea de aire a presión para inyectar a la solución catalítica.

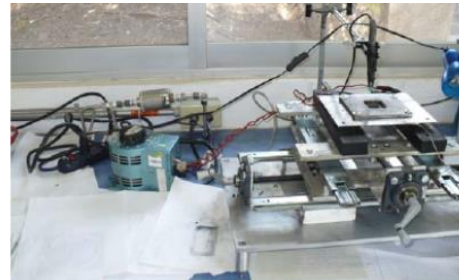


Figura 4. Sistema actual de mesa "x-y" para deposición de tinta catalítica.

En la figura siguiente se muestra una membrana montada sobre la placa lista para realizar deposición del agente catalítico, Se observan también las terminales de la resistencia eléctrica y el aerógrafo.

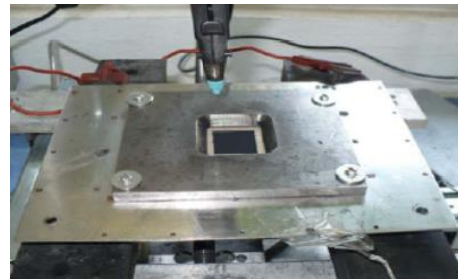


Figura 5. Membrana preparada para deposición de tinta catalítica.



Figura 6. Placa de Orificios.

F. Mejoras del Proceso.

La mejora del proceso consiste en automatizar el posicionamiento de la membrana a través de un nuevo diseño mecánico de la mesa que porta a la membrana. Incluyendo a los ejes motores a pasos para el desplazamiento de la misma.

G. Mejoras del Proceso al Diseño Mecánico.

Es realizado mediante el uso de paquetería CAD para la elaboración de piezas como lo es el SolidWorks. Lo cual representa una ventaja ya que dicho software proporciona la información necesaria para proceder al maquinado numérico de las diferentes piezas que componen al mecanismo. La figura 7 muestra el nuevo diseño de la mesa

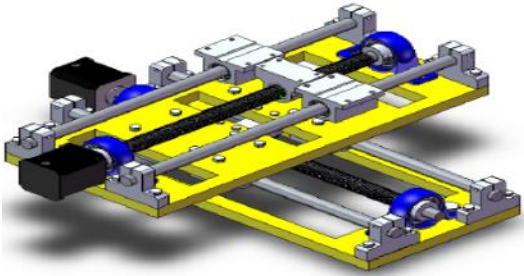


Figura 7. Mesa de trabajo propuesta.

El mecanismo consta de dos plataformas de aluminio montadas en forma ortogonal las cuales se desplazan a través de tornillos sin fin y chumaceras en los extremo animadas por motores a pasos para lograr el desplazamiento x-y. En la siguiente figura se muestra el ensamblaje cada una de las piezas que componen la mesa.

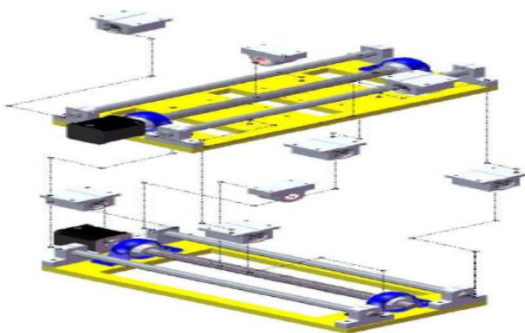


Figura 8. Ensamblaje de la mesa.

H. Mejoras del Proceso al Diseño Electrónico.

En este apartado se involucran las etapas de control, potencia y la interfaz de usuario.

Etapa de control

Si se tiene la correcta conmutación de las bobinas de los motores, estos ofrecen la ventaja de conocer exactamente su posición durante el tiempo, mediante el conteo del número de pulsos que la bobina conmuta en determinado tiempo. Por lo que no hace necesario la retroalimentación de la posición y por ende simplifica el diseño del control y del algoritmo para el microcontrolador.

Debido a que la carga no ofrece una gran exigencia de torque a los motores no se requiere implementar rampas de aceleración y desaceleración. Si son deseables pero con las pruebas que se han hecho al momento el sistema no pierde referencia por dicha cuestión.

La etapa de control está conformada básicamente por un microcontrolador PIC16F877 el cual se encarga de lo siguiente:

- Mover a home cada eje
- Posicionar en home cada eje.
- Protección contra movimiento fuera de límite.
- Calcular el número de líneas para el eje "x" así como el eje "y".

Cada eje debe de encontrar su posición de home antes de iniciar el desplazamiento dado. Los motores se deberán de desplazar para buscar la posición de home la cual se encuentra por medio de los sensores inductivos que mandan la señal al PIC16F877.

La siguiente tarea es el cálculo del número de líneas, el microcontrolador computa el número de pasos que tiene que dar cada motor enviando la secuencia de pulsos según sea la dirección de línea.

Para realizar el cálculo de número de líneas, encontrar la posición de home y la protección contra desplazamientos fuera de límite, el microcontrolador contempla un programa que lleve a cabo esas funciones, además de datos como el avance lineal del tornillo sin fin por revolución, pulsos por revolución del motor a pasos.

Las siguientes son las formulas empleados para los cálculos para el desplazamiento del sistema mecánico.

$$AVr = Dr / Rev \quad (1)$$

$$App = AVr / nPRev \quad (2)$$

$$Pul = AV / App \quad (3)$$

Donde:

AVr Es el avance lineal de la placa por una revolución del sinfín.

Dr Distancia lineal recorrida.
Rev Revolución, un giro de 360° sobre su eje.
App Avance lineal por paso.
nPRev Número de pulsos por revolución.
Pul Pulsos para recorrer AV.
AV Avance lineal para cualquier lado de la celda.

Con el número de pasos que el microcontrolador calculó, lo siguiente es determinar hacia donde se mueve cada motor, para lograr una trayectoria predeterminada.

Un dato importante es el grosor de la mancha de tinta catalítica que deja el aspersor, ya que este determinará el número de líneas horizontales y el número de segmentos verticales. En la siguiente figura se muestra la trayectoria predeterminada, para la cual el microcontrolador está programado, cabe mencionar que muy probablemente se tengan que probar diferentes tipos de trayectorias, y esto se determinará en base a la homogeneidad de la tinta catalítica sobre la membrana, en posteriores pruebas de desempeño de la celda PEM.

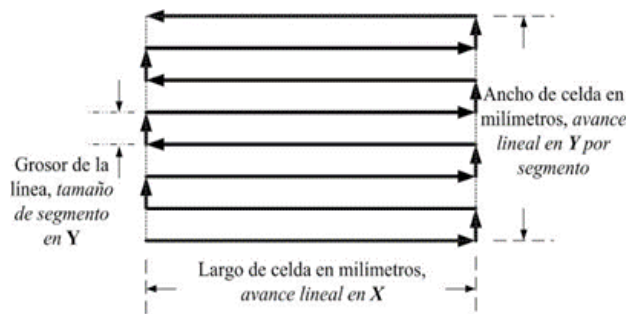


Figura 9. Trayectoria Programada.

Etapa de potencia.

El Objetivo de la etapa de potencia es servir de interfaz entre las señales de control provenientes del microcontrolador y los motores a pasos. En ella se emplean circuitos integrados L298 que contienen transistores en arreglo de “puente H” para proporcionar la potencia a los motores. Además de los circuitos integrados L6210 que contienen diodos Schottky, los cuales son empleados en aplicaciones con motores a paso.

Interfaz de usuario.

La interfaz de usuario está compuesta por un teclado matricial y un LCD. El teclado sirve para ingreso de las dimensiones de la membrana. En el LCD se muestran mensajes del menú y además el avance en centímetros de la mesa para ambos ejes.

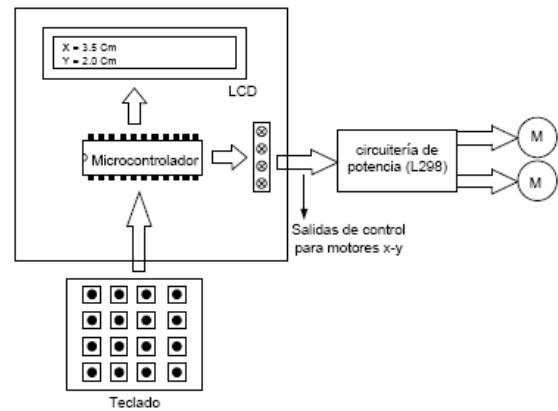


Figura 10. Esquema del diseño electrónico propuesto.

I. Resultados Logrados.

Debido a que la aplicación de la tinta se lleva a cabo por medio de un aspersor la mancha de tinta la cual tiene un diámetro de aspersión de 5 milímetros, según los datos proporcionados para el diseño, se busca que el rastro quede de forma idónea tal y como se muestra en la quinta línea de izquierda a derecha de la figura siguiente.

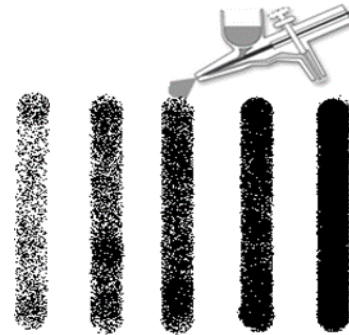


Figura 11. Rastros de aspersión.

Debido a esto los parámetros que arrojó el diseño fueron los siguientes:

- Diámetro de aspersión = 5 mm
- Avance lineal = 10 mm/seg
- Avance lineal por paso = 0.02 mm
- Dimensiones máximas de la celda a fabricar 190 mm por 190 mm
- Dimensiones mínimas de la celda a fabricar 5 mm por 5 mm.

Las figuras siguientes muestran los resultados de los diseños implementados físicamente. En la figura 14 se muestra el prototipo del diseño electrónico. En ella se puede observar a los componentes tales como el microcontrolador, el LCD, el teclado y la circuitería de

potencia. Este diseño en su conjunto se encuentra funcionando de manera individual, es decir, solamente se tiene el movimiento de los motores sin estar montados estos últimos en la estructura del diseño mecánico propuesto.

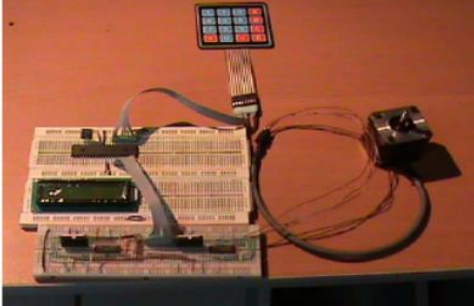


Figura 12. Diseño electrónico propuesto realizado.

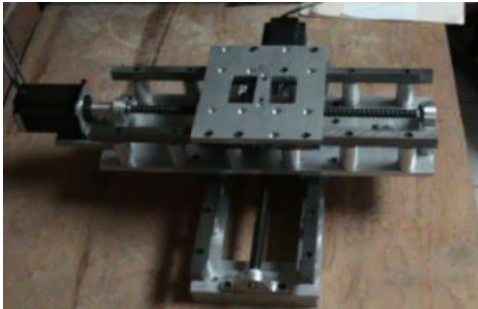


Figura 13. Diseño mecánico propuesto terminado.

Por último en la figura 14 se muestra tanto el diseño mecánico y electrónico del prototipo.

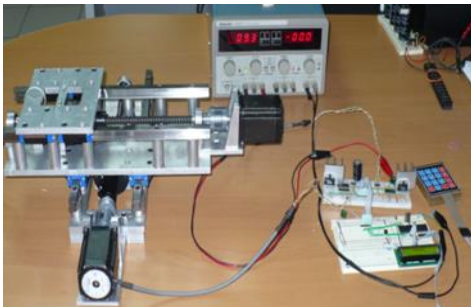


Figura 14. Sistema mecánico y electrónico del prototipo

III. AGRADECIMIENTOS

Se agradece la confianza que el instituto de investigaciones eléctricas tubo hacia el personal de ITSLS.

IV. REFERENCIAS

[1]Cano C., U. 1999. Las celdas de Combustible: verdades sobre la generación de electricidad limpia y eficiente vía electroquímica. Boletín iie pp 208-215.

[2]Saudemont C., Cambronne J.P., Hautier J.P. 1998. Method for conceiving the electrotechnical system control axis. Power Electronics

and Variable Speed Drives. Seventh International Conference on (Conf. Publ. No. 456).

[3]Palacios, Enrique. Microcontrolador PIC16F84 Desarrollo de proyectos. 3ra edición. Editorial Alfaimega.

[4]Bates, Martin P. Programming 8 bit Pic Microcontrolers in C. Editorial Newnes.

[5]Predko, Mike. Programming and Customizing The PIC. 3ra edición. Editorial McGraw-Hill.

[6]Gardner, Nigel. PIC C and Introduction to Programming The Microchip PIC in C. Custom Computer Services Inc.

V. BIOGRAFÍA



M.C. Víctor Edi Manqueros Avilés. Nació en la ciudad de Durango, Durango en 1976. Ingeniero Electrónico egresado del Instituto Tecnológico de Durango en el 2001. Obtuvo el grado de Maestro en ciencias por parte del Instituto Tecnológico de Durango y la Universidad Autónoma de Chapingo en el año de 2006. Actualmente es Docente-Investigador del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en la división de ingeniería electrónica y la subdirección de investigación y desarrollo tecnológico. Áreas de interés son: automatización, robótica, control, instrumentación, sistemas embebidos Email: emanqueros@itslerdo.edu.mx



Ing. Jonathan Ortiz Pinto. Ingeniero en Mecánico egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna en el 2005. Recibió el grado de maestro en ciencias en Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico de la Laguna en el 2005. Sus áreas de interés incluyen desarrollo tecnológico enfocado a la empresa privada, Diseño mecánico, diseño de mecanismos, diseño asistido por computadora y la Robótica.

Email: jop19822@hotmail.com



M. C. Aron Gámez Vargas. Nació en Torreón Coahuila en 1981. Ingeniero Electrónico egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna en el 2004. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en la División de Estudios de Posgrado del Instituto Tecnológico de la Laguna en el 2006. Actualmente es profesor del Instituto Tecnológico

Superior de Lerdo, sus áreas de interés es el desarrollo de proyectos a la industria privada, electrónica de potencia, control aplicado, redes eléctricas industriales y procesamiento digital de señales. Email: agamez@itslerdo.edu.mx