

Microcontrolador PSOC 5 para la operación de servo sistemas SURESERVO instalados en un prototipo de seguidor solar de dos ejes

D.A. Román-Landeros¹, N. Alvarado-Tovar², V.E. Manqueros-Avilés³.

Resumen—En el presente trabajo se muestra el uso del microcontrolador PSOC 5 para controlar el funcionamiento de dos servos sistemas SureServo (servo amplificador y servo motor). El equipo de control de movimiento SureServo se emplea para proporcionar el movimiento a los dos ejes del seguidor solar que se está desarrollando en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Por medio del PSOC 5 y de etapas de acondicionamiento de señal se manipulan las entradas y salidas digitales del servo amplificador, y además se envían pulsos que permiten mover los servomotores a la posición que se desea.

Palabras claves— Microcontrolador PSOC 5, servomotor, servo amplificador.

Abstract—In the present work the use of the PSOC 5 microcontroller is shown to control the operation of two servo systems SureServo (servo amplifier and servo motor). The SureServo motion control equipment is used to provide movement to the two axes of the follower that is being developed at the Higher Technological Institute of Lerdo. By means of the PSOC 5 and signal conditioning stages, the digital inputs and outputs of the servo amplifier are manipulated, and pulses are sent to move the servomotors to the desired position.

Keywords— PSOC 5 microcontroller, servomotor, servo amplifier.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad una de las principales áreas de oportunidad es la búsqueda de acciones que permitan que la actividad del hombre tenga un menor efecto negativo al ambiente, siendo el uso energías renovables una de estas acciones. Las energías renovables, que se definen como formas de energía que tienen una fuente prácticamente inagotable con respecto al tiempo de vida de un ser humano en el planeta, y cuyo aprovechamiento es técnicamente viable. Dentro de estos tipos de energía se encuentran: la solar, la eólica (viento), la minihidráulica (ríos y pequeñas caídas de agua), la biomasa (materia orgánica), la geotermia (calor de las capas internas de la Tierra) y la oceánica, principalmente. México es un país que cuenta con regiones cuyos niveles de radiación solar (con un promedio anual de 5.3 kWh/m² por

día) permitiría la generación de electricidad por medio de sistemas fotovoltaicos, donde la comarca lagunera es una región donde se puede usar la radiación solar para generar electricidad.

Se han desarrollado trabajos enfocados al empleo del sol para generar energía a eléctrica usando seguidores solarer para una mejor captación. Algunos de estos trabajos emplean diferentes elementos, como motores de DC con 2 transmisiones para reducir la velocidad, sensores LDRS y como elemento principal el microcontrolador PIC18F452 [1]. Otro desarrollo, emplea motores de DC con un encoder en cuadratura, un sensor para la mediación de la radiación solar, una unidad de medición de inercia para medir la inclinación y DsPIC33fj12MC202 [2]. El microcontrolador PSOC también se ha empleado en el desarrollo aplicaciones de para la generación de energía eléctrica por medio de celdas fotovoltaicas y de su almacenaje [3][4].

El objetivo primordial de este trabajo es el desarrollo e implementación de la automatización y control para el movimiento de un seguidor solar de dos ejes por medio de un microcontrolador PSOC 5, que permita la máxima captación de energía solar incidente en celdas fotovoltaicas.

II. PARTE TÉCNICA

Planteamiento del problema

Para tener el rendimiento que corresponde a un seguidor solar, es de suma importancia tener un sistema automatizado para el control de movimiento del seguidor solar a su punto de captación máxima, y conforme a las tendencias de utilizar un microcontrolador y a lo novedosos que resulta utilizar estos dispositivos en lugar de PLC, es por eso que se busca utilizar un microcontrolador para el proceso de automatización.

Desarrollo

La propuesta para el desarrollo del control y automatización de movimiento se muestra en la figura 1.

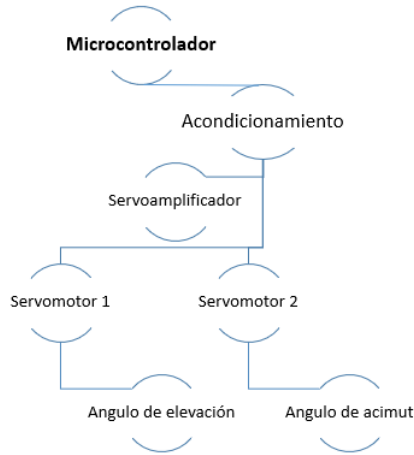


Figura 1. Propuesta de automatización y control para el movimiento del seguidor.

La Figura 2 se muestra el algoritmo base para el movimiento de cada uno de los ejes.

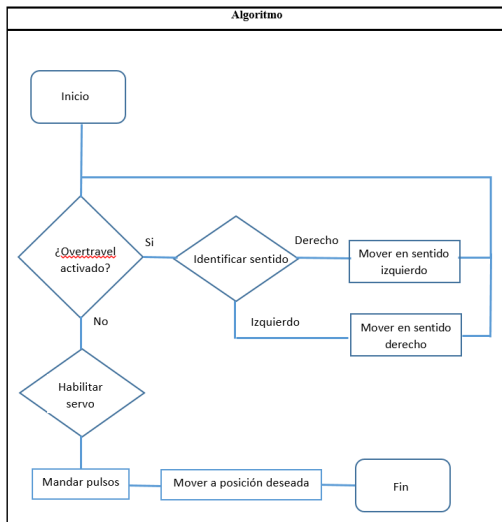


Figura 2. Algoritmo de control.

A. Descripción técnica de los dispositivos

Micronrolador

El microcontrolador que se selecciono es un PSoC 5 LP035. PSoC® 5LP es un verdadero sistema con un chip integrado programable, integrando periféricos analógicos y digitales configurables, memoria y un microcontrolador en un solo chip. La arquitectura del PSoC 5LP mejora el rendimiento a través de:

- 32-bit ARM Cortex-M3 core plus, controlador DMA y procesador de filtro digital, hasta 80 MHz.
- Potencia ultra baja con el rango de voltaje más amplio de la industria.
- Los periféricos digitales y analógicos programables permiten funciones personalizadas.
- Enrutamiento flexible de cualquier función periférica analógica o digital a cualquier pin

Los dispositivos PSoC emplean una arquitectura de sistema en chip altamente configurable para el diseño de control integrado. Integran circuitos analógicos y digitales configurables, controlados por un microcontrolador integrado en el chip. Un solo dispositivo PSoC puede integrar hasta 100 funciones periféricas digitales y analógicas, lo que reduce el tiempo de diseño, el espacio en la placa, el consumo de energía y el costo del sistema, al tiempo que mejora la calidad del sistema [5].

Actuadores para generación de movimiento

El tipo de actuador que se empleará para generar el movimiento al seguidor de dos ejes es el servo motor. Cada eje tendrá un servo motor. La selección del servo amplificador y servomotor se llevó a cabo tomando en consideración los datos proporcionados por el equipo de diseño mecánico para soportar principalmente las celdas fotovoltaicas.

Las características técnicas tanto del servo amplificador y del servo motor se muestran en las Tablas I y II [6].

TABLA I.
Especificaciones del servo amplificador sureservo

Modelo	SVA-2040
Potencia	400 Watts
Alimentación	220 Vca 1/3 Faces, 50/60 Hz-
Modos de operación	Posición, Velocidad y Torque
Puertos de comunicación	RS-232/422/485
Protocolo de comunicación	Modbus
Entradas / Salidas digitales	8 entradas 4 salidas
Entradas / Salidas análogas	2 entradas 2 salidas

TABLA II.
Especificaciones del servo motor sureservo

Modelo	SVL-204B
Potencia	400 Watts
Alimentación	220 Vca 3 Fases.
Tipo de motor	AC brushless
Capacidad de carga	Para baja inercia
Freno	Si
Velocidad máxima	5000 Rpm
Torque máximo	3.82 Nm

B. Configuración de servo amplificador.

La configuración de los parámetros se lleva a cabo por medio de los botones de la interfaz del servo amplificador[6]. El primer parámetro a ingresar es el modelo de servomotor con que se está trabajando, para este proyecto se trata del servomotor SVL-204(B), que para este modelo es el código 12, y se modifica en el parámetro P1-31. Una vez que el servoamplificador, este configurado con el modelo del servomotor, se configura el parámetro P2-51, en donde se habilita o deshabilita el servomotor, en este caso quedara deshabilitado, ya que el control de movimiento lo genera el microcontrolador PSoC 5, y es el que habilitara o deshabilitara el dispositivo de acuerdo con la programación cargada. En este parámetro se carga un 0 para la des habilitación del servomotor.

Cuando el servomotor este deshabilitado, se pueden configurar las señal de las 8 entradas digitales del servoamplificador, en los parámetros que van desde el P2-10 hasta el P2-17 (como lo muestra la Tabla III).

TABLA III.
Configuración de señal de entradas digitales

Configuración de señales de entradas digitales					
Señal	Pin No.	Parámetro	Señal	Pin No.	Parámetro
D11	9	P2-10	DI5	33	P2-14
D12	10	P2-11	DI6	32	P2-15
D13	34	P2-12	DI7	31	P2-16
D14	8	P2-13	DI8	30	P2-17

En este caso se utilizan seis entradas, que corresponden, habilitar el servo, movimiento hacia delante, hacia atrás, sobre recorrido hacia adelante y hacia atrás, y por último un reinicio, a cada una de estas especificaciones el manual les

asigna un valor [6]. Los valores asignados se muestran en la Tabla IV.

TABLA IV.

Valores asignados por el manual a funciones de entrada

Valores asignados por el manual		
	Función	Valor asignado
1	Habilitar servo	01
2	Movimiento hacia delante	37
3	Movimiento hacia atrás	38
4	sobre recorrido hacia adelante	22
5	sobre recorrido hacia atrás	23
6	Reinicio	02

Una vez que se identifica el valor asignado, al momento de ingresarlos en los parámetros se le antepone el ajuste del estado de la entrada que puede ser normalmente cerrado o normalmente abierto, y el valor que les corresponde es el 0 o el 1 respectivamente.

C. Configuración y programación del PSoC 5.

Para configurar por medio de software, solo es instalar el PSoC Creator 4.0 en una computadora. Una vez instalado el PSoC Creator, es necesario identificar el número del procesador, que en este caso es CY8C5868AXI-LP035.

Una vez identificado este número, se tiene que ingresarlo en el PSoC Creator para empezar un nuevo proyecto y tener la configuración de acuerdo a este microcontrolador.

Una vez dentro de la ventana principal del PSoC Creator tenemos tres partes en las que se trabaja. La primera es *Topdesign*, que es la interfaz donde se identifican y contactan los componentes electrónicos que conformaran el programa.

La segunda es la parte de las conexiones de entrada y de salida, donde se conectan por medio de software, pero tienen referencia física.

Y por último se tiene la interfaz de programación.

Para la programación del software, una vez que se conocen las interfaces de PSoC Creator, es necesario armar el programa que controla el movimiento para la mayor captación de energía, los cuales se describen a continuación.

El primer paso es colocar el diagrama eléctrico, con los componentes con los que se logrará hacer el control, para esto, en la parte de *TopDesign* colocaremos las variables que fungirán como entradas y salidas. Para configurar los parámetros del pin de entradas digitales es necesario dar doble clic sobre el icono, para abrir la ventana de

parámetros. Electrónicamente el pin debe tener una conexión a tierra para poder cerrar el circuito, este componente lo arrastramos desde la barra de componentes. Para unir los dos componentes se utiliza la herramienta de cable. Dependiendo de las entradas que se tengas son las veces que se va a repetir las instrucciones de la parte de arriba.

Por otra parte, hay que establecer las salidas para crear el control requerido, y complementar las entradas ya establecidas, y esto se hace en la misma interface *TopDesign*, pero en este caso en la parte de componentes se seleccionan pines de salida digital. Una vez que se selecciona el pin de salida digital, se modifican los parámetros de igual manera que una entrada digital. Para cerrar el circuito se coloca un led para analizar las respuestas de las entradas y salidas digitales y por último se establece una puesta a tierra. El componente de tierra se coloca de la misma manera de una entrada digital. Para este tipo de componente no es necesario hacer una configuración, de la forma que lo pone el software, de esa forma funcionara para los requerimientos de las pruebas.

Una vez que se tengan los componentes en el área de trabajo, solo es hacer la conexión. Estos pasos se repiten dependiendo de las salidas digitales que se consideren. Para este proyecto se consideraron nueve salidas digitales.

Una vez que se tienen las entradas y salidas digitales se cambia de ventana al interfaz de conexión, para asígnale un pin físico, este valor se puede visualizar en la tablilla del PSoC 5. En el interfaz de conexión se visualizan todas las entradas y salidas que se agregaron en el TopDesign. Estos dos componentes se visualizan en el TopDesing, en la parte de componentes, de ahí se seleccionan y de los parámetros a ingresar el más importante es la frecuencia del pulso. Para desarrollo de pruebas, unos de los componentes adicionales que se utilizaron fueron entradas y salidas digitales, con la misma configuración que se describió anteriormente. Otros de los componentes que se utilizaron son un contador y una función and, para controlar los pulsos que ingresan en el servoamplificador y poder mover el panel los grados indicados. Estos son los componentes básicos para le generación de pulsos, así como tener un control adecuado de los mismos. Las conexiones pueden variar dependiendo la aplicación que se quiera tener, en este proyecto se generaron pulsos desde el PWM y con el reloj, y cada componente se conectó a la función and y al contador para poder observar las diferentes posibilidades.

Una vez configurados los parámetros anteriores, el PSoC calculará por medio del programa y de acuerdo al algoritmo para determinar la posición del sol, los pulsos requeridos para poder tomar la posición indicada.

La Figura 3 muestra los componentes utilizados en el software creator para la programación del PSoC 5. Así

como también los detalles de la configuración se describen detalladamente en la referencia siguiente [7].

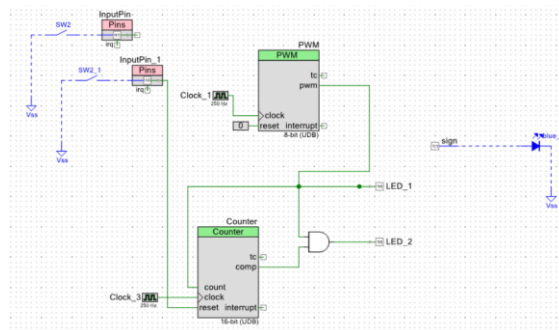


Figura 3. Diagrama de conexiones para la generación de pulsos en PSoC Creator.

D. Acondicionamiento de señal.

El diagrama a bloques mostrado en la figura “#” muestra la etapa de acondicionamiento desarrollada para la manipulación de las entradas digitales del servo amplificador a través del microcontrolador.

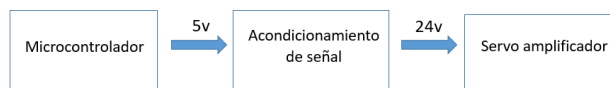


Figura 4. Diagrama a bloques acondicionamiento de señal.

Para el acoplamiento de señales se utilizará un módulo de relevadores 8 canales de 5V (Figura 5).

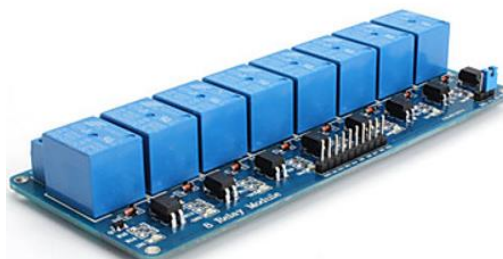


Figura 5. Módulo de relevadores.

E. Desarrollo de pruebas.

Las pruebas que se desarrollaron en este proyecto, estuvieron orientadas sobre la generación de pulsos, para poder controlar los servomotores por medio del servoamplificador y poder captar la mayor energía solar.

De las dos opciones que se mencionan en el desarrollo, sobre la generación de pulsos ya se por los dispositivos de un PWM y un reloj, se optó por desarrollar las pruebas con un PWM, ya que con el reloj se creaba una mayor variación en la generación de pulsos.

Como primera prueba, para poder observar la generación de pulsos, sin tener que involucrar el servoamplificador, se colocaron dos leds a la salida del PSoC, como se muestra en la Figura 6.

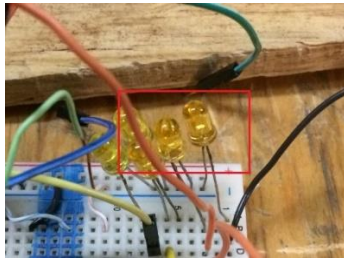


Figura 6. Leds de prueba para la generación de pulsos.

Uno de Estos leds indicará que el dispositivo PWM está generando pulsos, y el otro estará comparando los datos ingresados en el contador. Al realizar esta prueba al inicio los dos leds encenderán como se muestra en la Figura 7.

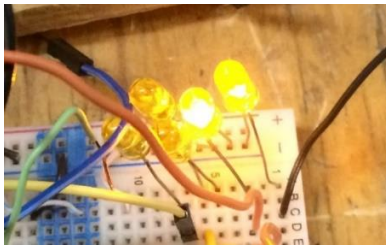


Figura 7. Inicio de la prueba los dos leds encendidos.

Como los dos leds están recibiendo pulsos, es por eso que se mantienen encendidos, y al momento que el comparador cumple con los parámetros de entrada, la salida generadora de pulsos que estará conectada al servoamplificador se apagará. En la Figura 8 se representa con el led apagado.

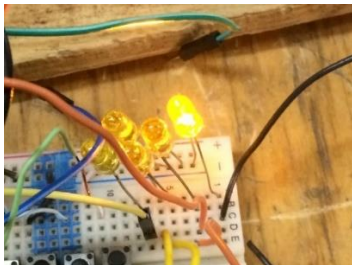


Figura 8. Indicador de que el contador realiza la comparación.

Para estas pruebas se genera un tren de pulsos que en promedio se registran 2299. Una vez conocido el valor del tren de pulsos, se pasó a realizar las pruebas con la estructura donde está disponible el ángulo de azimut. En

donde se compara el ángulo con la generación del tren de pulsos. Para determinar este valor, se utilizó una brújula digital, como se muestra en la Figura 9.



Figura 9. Brújula digital de un teléfono celular.

El objetivo de esta prueba determinar la cantidad de pulsos que necesita la trasmisión del sistema mecánico, para poder mover el panel un grado. Al inicio se muestra la Figura 10, con los grados antes de la generación de pulsos.



Figura 10. Grados al inicio de la prueba.

Y al momento en que el panel se movió un grado como se muestra en la Figura 11, se generaron trenes de pulsos.



Figura 11. Grados al final de la prueba.

En la visualización del servoamplificador marcaron los valores que se muestran en la Figura 12, que sería el valor de un tren de pulsos.



Figura 12. valores del tren de pulsos.

La relación que existe entre los pulsos recibidos por el servoamplificador y el movimiento producido en grados es la siguiente:

$$2299 \text{ cuentas} = 1 \text{ tren de pulsos} = 1 \text{ grado.}$$

Existe una variación de estos valores, que evitan que la posición del panel sea exacta.

III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se basan en la generación de pulsos, control y adaptación al sistema mecánico, ya que el movimiento se genera en grados. Los pulsos se generaron en el microcontrolador PSoC 5 con un dispositivo PWM, con una frecuencia de 250 Hz, para que el servoamplificador pueda percibir la señal. Para controlar la generación de pulsos se configuró un contador, donde comparó un valor de entrada de 50, y como resultado se obtuvieron 2299 pulsos registrados en el servoamplificador. Y la relación de estos pulsos con los grados es de 1. Con esta configuración y el cálculo para determinar la posición del sol sería una relación de 1 a 1 ya que el tren de pulsos genera un grado de movimiento. Las pruebas realizadas arrojaron resultados no esperados, por ejemplo, al momento de resetear el programa genera pulsos que no debería de hacerlo.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

1) Conclusiones

Como conclusión de este proyecto es la obtención de pulsos, así como su manipulación, porque con este principio de funcionamiento poco desarrollado, de obtener movimiento con un microcontrolador PSoC5 está poco desarrollado.

Es por eso que la investigación de generación y manipulación de pulsos para la generación de movimiento es campo de posibilidades para el desarrollo de aplicaciones a nivel educativo e industrial.

Al elaborar el proyecto se concluye que el microcontrolador PSoC 5 es una herramienta que beneficia la automatización de procesos a un costo bajo comparando con PLCs industriales. Es por eso que es recomendable utilizar microcontroladores de este tipo para la generación de movimiento de dispositivos.

2) Recomendaciones

Las recomendaciones para investigaciones sobre este sistema de captación de energía, como primer punto se recomienda hacer una puesta a tierra para evitar los ruidos en la señal de la generación de pulsos, y una vez instalada la tierra realizar pruebas y verificar que este error se haya corregido, de otra manera probar alguna operación del programa para corregir este error. Como segundo punto para que ese pueda habilitar el eje para el ángulo de elevación, la estructura mecánica se debe extender la altura y colocar una caja de engranes para reducir la inercia producida. Como tercer punto, para el eje donde se realizaron las pruebas, se recomienda reducir el número de dientes del engrane para mejorar la precisión del panel.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en especial a la Subdirección de Investigación y Desarrollo Tecnológico por las facilidades otorgadas para la realización de este proyecto.

VI. REFERENCIAS

- [1] Fabio Moacir Hoffmann, Rolf Fredi Molz, Jo-ao Victor Kothe, Elpidio Oscar Benitez Nara, Leonel Pablo Carvalho Tedesco Monthly profile analysis based on a two-axis solar tracker proposal for photovoltaic panels. *Journal Renewable Energy*, 115 (2018) 750-759.
- [2] Carlos Robles Algarín, Adalberto Ospino Castro, Jose Casas Naranjo. Dual-Axis Solar Tracker for Using in Photovoltaic Systems. *International Journal of Renewable Energy Research*, Vol.7, No.1, 2017.
- [3] Deshmukh P.R. y Kolkure V.S. Generation of Electricity by Solar Using Programmable System on Chip. *Asian Journal of Convergence in Technology*, Vol.1, No. 5, 2015.
- [4] M.V.Patil y Y.D.Chincholkar. Development of PSoC Microcontroller based Solar Energy Storage System and Electricity Generation System. *International Journal of*

Advanced Research in Computer Science and Software Engineering Vol.3, No. 11, 2013.

[5] Cypress embedded in tomorrow. (2017). PSoC® 5LP: CY8C58LP Family Datasheet.

[6] Automation Direct. (2011). SureServo™ AC Servo Systems User Manual.

[7] Román Landeros, D. (2017). Diseño e implementación del sistema electrónico de control en un seguidor solar. (Tesis especialización). Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.

VII. BIOGRAFÍA



Román Landeros Diego Alberto. Nacido en Gómez Palacio Durango el 9 de junio de 1990. Actualmente realiza un estudio de posgrado en Especialización en Ingeniería Mecatrónica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en la ciudad Lerdo Durango, México.

El actualmente trabaja en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo localizado en la ciudad de Lerdo Durango, México como Docente e investigador, teniendo como temas de interés el control electrónico de sistemas, la automatización y la mecatrónica en el ramo automotriz.



Alvarado Tovar Noé. Nació en la Ciudad de Torreón, Coah. México el 11 de julio de 1978. Egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna de la carrera de Ingeniería Electrónica en el año 2000. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica en el Centro de Graduados del Instituto Tecnológico de la Laguna, ubicado en la ciudad de Torreón, Coah. México, en el año de

2006, en la especialidad en Control de Robots Manipuladores. Actualmente está en la etapa final del sus estudios de doctorado en la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, desempeñado el puesto de Investigador-Docente, en el Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico y en la División de Ingeniería Electrónica respectivamente, el instituto se encuentra ubicado en la ciudad de Lerdo, Dgo. México. Cuenta con experiencia profesional en el ramo de la automatización industrial, robótica, control electrónico. Sus actuales líneas de investigación incluyen: Mecatrónica, robótica, automatización industrial, control de movimiento, comunicaciones industriales y electrónica de control y de potencia.



Manqueros Avilés Víctor Edi. Nacido en la ciudad de Durango, Durango el 23 de Diciembre de 1976. Radica actualmente en Cd. Lerdo, Durango. Ingeniero Electrónico egresado del Instituto Tecnológico de Durango en el 2001. Obtuvo el grado como Maestro en Ciencias En Ingeniería Electrónica en Control, en el 2006 en el Instituto Tecnológico de Durango. Actualmente trabaja como docente e

Investigador en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, dentro de la división de posgrado, en donde imparte asignaturas en la especialización en ingeniería mecatrónica, participa también desde el 2009 en la subdirección de investigación y desarrollo del tecnológico, en donde ha desarrollado en alrededor de 10 proyectos vinculados con empresas y centros de investigación. Áreas de interés: Control, Automatización, Mecatrónica, Robótica, Instrumentación, entre otras.