

Diseño y construcción de un sistema robot basado en cables

Design and Building of a Cable based Robotic System

José Rafael Mendoza Vázquez¹ , Sergio J. Torres Méndez² , Irma Delia Rojas Cuevas³ , Vicente Ramírez Palacios⁴, Omar Flores Sánchez⁵

Instituto Tecnológico de Puebla

Av. Tecnológico No. 420, Col. Maravillas, Puebla, Puebla, México

E-mail: rmendozainaoe@hotmail.com¹,

serm7007@yahoo.com.mx²; vramirez07@hotmail.com³ ; rojascid@yahoo.com.mx⁵ cmi@itpuebla.org⁶

PALABRAS CLAVE:

robot basado en cables, prototipo, mecanismo paralelo, plataforma de desarrollo.

KEYWORDS:

wire robot, prototype, parallel mechanism, development platform

RESUMEN

En este documento se presenta el diseño y construcción de un prototipo de robot basado en cables (wire robot). El robot basado en cables, tiene como finalidad, la de disponer de una plataforma de desarrollo y evaluación de esquemas de control para la optimización del espacio de trabajo y estudio de la cinemática y dinámica, considerando ciertas restricciones mecánicas. Para el diseño del sistema, se tomó como base la metodología, que tiene como elementos principales: el análisis físico y mecánico del sistema, la determinación de los requerimientos del sistema, selección de los componentes, desarrollo del prototipo, pruebas experimentales y validación. Como medio de control, se emplea una tarjeta basada en microcontrolador, mientras que los modos de operación propuestos son: manual y por computadora. En el caso del modo manual, se emplean componentes analógicos para el control del movimiento en cada eje, en conjunto con las ecuaciones de movimiento que coordinan a los cuatro motores. En el modo por computadora, se desarrolló una interfaz basada en la plataforma industrial Labview, que permite, por medio de barras de desplazamiento, el movimiento del sistema. También, se tiene una tarjeta de potencia, que permite suministrar la potencia para el movimiento de la plataforma móvil, todo con base a los cálculos desarrollados en el microcontrolador. Finalmente, se presentan los resultados del movimiento de la plataforma móvil, en los tres ejes x,y,z lo que permite verificar el comportamiento del sistema robot basado en cables y las conclusiones.

ABSTRACT

In this document the design and prototyping of a cable based robot also known as wire robot is presented. The proposed wire robot is developed as an experimental platform, for developing and evaluating control schemes to optimize the workspace and also studying its kinematics and dynamics. Regarding the design of the system, the methodology is based in the following stages: physical and mechanical analysis, establishment of requirements, component selection, prototyping, testing and validation. A control board based on microcontroller uses manual and automatic modes of operation. In the case of manual mode, analog components are used to control the movement on each axis, with the equations of motion that coordinate four DC motor. In the automatic mode an interface based on the Labview was developed. Also, power board is used in order to supply movement according to the calculations developed in the microcontroller. Finally, the results of the performance of the

Recibido: 30 de junio de 2015 • Aceptado: 2 de marzo de 2016 • Publicado en línea: 28 de febrero de 2017

1 INTRODUCCIÓN

Los robots basados en cable o también conocidos como wire robots, son mecanismos de cadena cerrada [1] compuestos por una plataforma móvil, cables y una plataforma fija. Este tipo de robot, presenta un diseño, desarrollo y análisis diferente a los mecanismos paralelos, debido a las propiedades elásticas de los cables, los cables se emplean para el desarrollo del movimiento deseado, y en todo momento deben estar sujetos a tensión para permitir que la plataforma móvil se mueva.

La plataforma móvil, esta soportada por medio de cables a un sistema motor-tambor, que permite la variación de la longitud de los cables con el cambio de posición del eje del motor. Esta variación, permite que la plataforma móvil, se desplace en su espacio de trabajo y proporciona la ubicación espacial de la plataforma móvil respecto a la plataforma fija. Una característica de este tipo de robots, es su baja inercia y que pueden lograr un gran espacio de trabajo y alta capacidad de carga, dependiendo del número de cables que soportan a la plataforma móvil. Estos robots basados en cable, tienen cierta analogía con los robots paralelos [2] como el presentado por Stewart [3] o el robot Delta, diseñado por Clavel [4]. Este tipo de mecanismos, tienen su base de desarrollo, en sistemas biológicos, como son [5]; por ejemplo, los ojos, la cabeza, las manos, los dedos, los brazos, los pies y las piernas. En estos sistemas, se aprovecha el trabajo conjunto del tipo paralelo, el cual permite el desplazamiento de la plataforma móvil.

En la figura 1 se presenta un robot basado en cables, en él se observa la plataforma móvil, la plataforma fija y los cables, que varían su longitud para ubicar la plataforma móvil. Las aplicaciones industriales de este tipo de sistemas, se pueden encontrar en el manejo de materiales en almacenes en formato vertical de dos dimensiones, traslado de materiales y cargas en áreas de embarque. Para el caso de este sistema en particular, se propone dar solución para el manejo de materiales en tres dimensiones al embarcar materiales en un sistema de cadena de suministro de materiales, se propone determinar en el futuro, los algoritmos de control de movimiento que permitan alcanzar los puntos de interés del área de trabajo del sistema, definir el espacio de trabajo y disponer de información del comportamiento que permita la obtención de un diseño final.

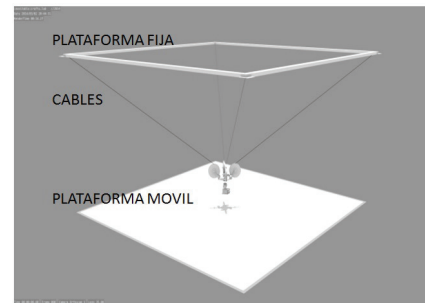


Figura 1. Robot basado en cable (wire robot)

2 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del robot basado en cable, se utilizó una metodología de cinco etapas (ver Figura 2). Las etapas contempladas son: análisis físico y mecánico del sistema, donde se establecen las características mecánicas y físicas del sistema. A continuación, se determinan los requerimientos, donde en forma conceptual, se especifican, su funcionamiento y capacidades de operación; en esta etapa, se elaboran los documentos de requerimientos, en donde se plasman los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema. Con esta información conceptual, se procede a la etapa de selección de componentes para disponer de información técnica para su construcción. En la etapa siguiente se elabora el documento de desarrollo del sistema prototipo, donde se especifican los datos de diseño mecánico, diseño electrónico, capacidad, longitud de los cables, medios de actuación, modos de trabajo y pruebas de funcionamiento; con la información anterior, se desarrolla el prototipo y se integran los componentes; finalmente se desarrollan las pruebas de validación del sistema, que permiten verificar, que el sistema opera conforme a las necesidades determinadas para la plataforma y en caso necesario desarrollar los ajustes necesarios con la finalidad de disponer de información para un sistema final.

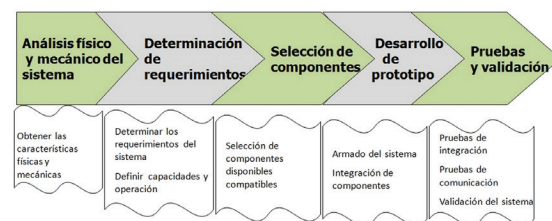


Figura 2. Metodología de desarrollo

3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En la Figura 3, se muestra la arquitectura del robot basado en cables, el cual tiene como componentes principales a una plataforma móvil, un grupo de cuatro motores con encoder que tienen un sistema de variación de longitud del cable, una tarjeta de control de movimiento basada en microcontrolador, una tarjeta de potencia, que permite suministrar la energía, para el desarrollo de movimiento de los motores y variación de la longitud de los cables, una computadora, para el modo de control por computadora y un módulo de control del tipo analógico para el control manual del robot.

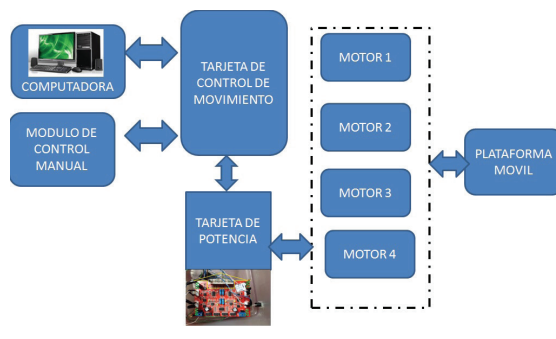


Figura 3. Arquitectura del sistema.

En las siguientes secciones, se describen los componentes del sistema y sus características técnicas principales.

3.1 Sistema de actuación simultánea basado en motores.

Como sistema de movimiento, se emplea un grupo de motores tipo DC modelo GB37Y3530-12V-251R. (Ver figura 4). Estos motores, permiten la variación de la longitud de los cables. Los motores, se ubican en las esquinas de la plataforma fija. Permiten, que por medio de un sistema de cambio de dirección, se pueda variar la longitud del cable y con ello, la posición de la plataforma móvil. Cada motor, tiene una caja de engranes con relación 47:1 y encoder, como medio de retroalimentación del motor, el cual tienen una capacidad de 16 pulsos por revolución.



Figura 4. Sistema de actuación simultánea: motores en 4 puntos, motor DC en ampliación

3.2 Tarjeta de control de movimiento.

La tarjeta de control de movimiento para el robot basado en cables, es una tarjeta basada en microcontrolador ATMELE tipo Arduino MEGA ADK. Esta tarjeta, permite el manejo de las señales de control de movimiento y de las señales provenientes del encoder y otras señales que necesita el sistema, como son las señales analógicas en el modo de control analógico manual. Su ambiente de programación es abierto y permite implementar ecuaciones de control (Ver figura 5).

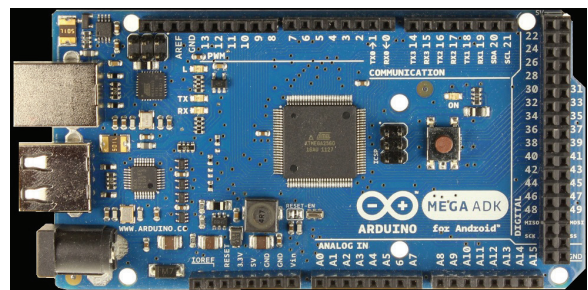


Figura 5. Tarjeta de control de movimiento tipo micro con-

3.3 Tarjeta manejadora de motor DC.

Para el manejo de los cuatro motores DC, se emplea una tarjeta de la marca DAGU, modelo Rover5 tank (ver figura 6). Esta tarjeta es capaz de manejar cuatro motores en forma simultánea. La capacidad de corriente es de hasta 4.5 Amperes por canal y está basada en tecnología MOSFET. Tiene capacidad de manejo de señales de encoder, en cuadratura para cuatro motores. Para la activación de los motores, se emplean señales digitales de activación y para el control de velocidad, se emplean señales del tipo PWM.

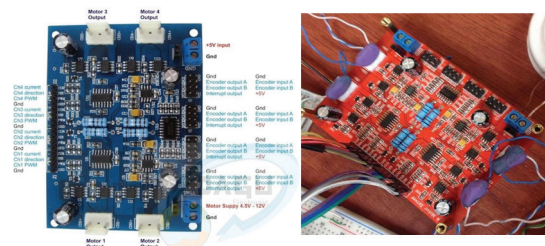


Figura 6. Tarjeta para el control de motores DC marca DAGU

3.4 Sistema de control de movimiento

Para el sistema de control de movimiento, se integran la tarjeta manejadora de motores DC marca DAGU y la tarjeta de control de movimiento de la, basada en micro controlador que es la tarjeta arduino modelo ADK. Ambas tarjetas tiene la capacidad de comunicarse entre ellas e intercambiar comandos de movimiento e información de la posición de cada uno de los motores, con ello se dispone de un sistema retroalimentado para el control del movimiento del sistema.

En este sistema, se tiene dos modos de operación, modo manual y modo por computadora. En el modo manual, se emplean como sistema de entrada de referencia a tres potenciómetros uno por cada eje de movimiento, los cuales suministran una señal analógica, esta señal esta en relación directa al movimiento en cada uno de los ejes x, y, z y que permiten colocar al sistema en la posición deseada.

En este caso, la señal analógica se convierte en datos numéricos, por medio de un conjunto de ecuaciones, que coordinan a los cuatro motores, según el comando de control.

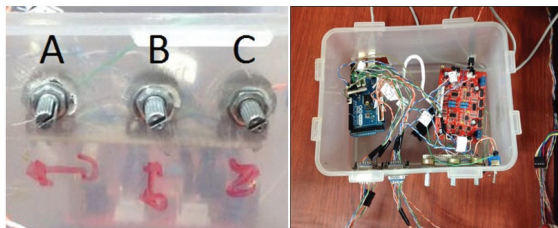


Figura 7. Sistema de control de movimiento

En el modo de control de movimiento por computadora, se emplea una interfaz de control de movimiento, desarrollada en Labview. La interfaz tiene a un botón de apagado, un bloque de entrada de datos. En la interfaz, se introduce el valor de cada eje, por medio de barras deslizantes. La computadora, envía los datos a la tarjeta de control de movimiento, para su captura y por medio de las ecuaciones de relación de movimiento de los cables, el sistema se desplaza. En la figura 8, se observa la interfaz de control por computadora, basada en Labview. En este caso los datos de control de movimiento, se basan en un dato de 8 bits que permitan analizar el desplazamiento de la parte móvil en los ejes x, y, z.

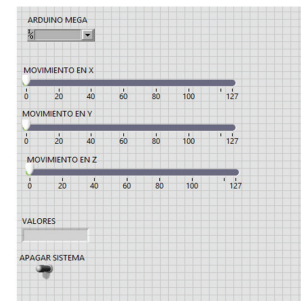


Figura 8. Interfaz basada en Labview para control por

3.5 Ecuaciones de movimiento.

Para el control de movimiento del sistema, se requiere determinar un conjunto de ecuaciones de movimiento en los tres ejes y permita ubicar al sistema. Estas ecuaciones, permiten el cálculo de la posición de la plataforma fija y los movimientos que deben desarrollar los cuatro motores, los cuales deben actuar en forma coordinada. Para el desarrollo de movimiento en los ejes x, y, z, se toma como base el diagrama de la figura 9, el cual relaciona las longitudes de los cables, que controlan los cuatro motores, las distancias que existen entre los motores y las distancias del centro, a la plataforma móvil y los ejes de referencia.

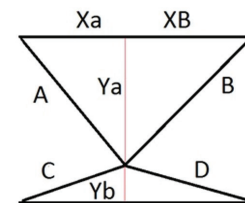


Figura 9. Sistema de referencia para la solución geométrica en el control del robot basado en cable.

Se consideran las longitudes A, B, C y D, como la cantidad de cable que tiene que proporcionar cada motor, para alcanzar el punto al que se tiene que desplazar el punto de origen, Ya y Yb, son las distancias que se lograrían, respecto a los pares de motores de cada lado del sistema. Se considera a X, Y, Z, como los valores deseados por el operador y que serán los parámetros de entrada, para el movimiento de la plataforma. Las ecuaciones que permiten estos los cálculos se presentan a continuación:

$$Xa = X - 10 \quad (1)$$

$$Xb = 20 - x \quad (2)$$

$$Ya = X - 10 \quad (3)$$

$$Yb = 20 - x \quad (4)$$

$$A = \sqrt{Xa^2 + Ya^2 + Z^2} \quad (5)$$

$$B = \sqrt{Xb^2 + Ya^2 + Z^2} \quad (6)$$

$$C = \sqrt{Xa^2 + Yb^2 + Z^2} \quad (7)$$

$$D = \sqrt{Xb^2 + Yb^2 + Z^2} \quad (8)$$

En las relaciones anteriores A, B, C y D, representan el valor al que se tendrán que mover cada uno de los motores, el cual es tomado como el valor deseado.

3.6 Robot basado en cables con 4 motores.

En la figura 10, se presenta el robot basado en cables, armado e integrado. Se puede observar que existen cuatro motores, uno para cada cable que controla la longitud y permite la ubicación espacial de la plataforma móvil. Se observa el módulo de control de movimiento y la fuente de poder, para suministrar energía, a la tarjeta manejadora de los motores. El robot tiene implementado, el modo de control manual y por computadora, para las diferentes pruebas a desarrollar.

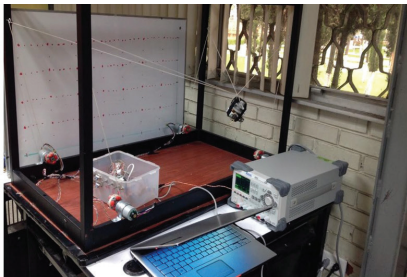


Figura 10. Robot basado en cables construido en laboratorio.

4 PARAMETROS DE DESEMPEÑO DEL SISTEMA.

Los parámetros de desempeño del robot se presentan en la tabla 1. Estos parámetros fueron obtenidos por medición directa empleando dispositivos electrónicos como son acelerómetros y sistemas de adquisición de datos basados en Labview y Matlab.

Tabla 1. Parámetros del sistema

No	Parámetro	Unidad	Cantidad
1	Peso (se considera a los motores, plataforma móvil, sistema de cables, sistema de control)	Kg	5
2	Potencia eléctrica	Watts	120 Watts
3	Resolución estimada	mm	3
4	Máxima carga del efector final	Kg	3
5	Dimensiones del sistema	m	Largo 1.20 Ancho 0.70 Altura 0.85
6	Dimensiones del espacio de trabajo efectivo de acuerdo a pruebas preliminares	m	Largo de 0.30 a 0.90 Ancho de 0.25 a 0.55 Altura de 0.20 a 0.60
7	Dimensiones de la plataforma móvil	m	0.12x0.12
8	Repetitividad (pruebas preliminares con control PID)	mm	5±3
9	Velocidad promedio de la plataforma móvil	mm/seg	0.7

5 PRUEBAS DEL SISTEMA

Para comprobar la operación del sistema, en el modo manual y por computadora, se desarrollaron varias pruebas. Esto, permitió verificar el espacio de trabajo del robot en los ejes x, y, z acorde al comando de movimiento. En las figuras 11, 12, 13, se observan tres pruebas del robot basado en cables a lo largo de cada eje.

En la figura 11, se observa la prueba uno, donde, el desplazamiento de la plataforma móvil a lo largo del eje x, con referencia al fondo, donde se ubican los puntos de referencia, se observa como la plataforma móvil, va elevándose hasta alcanzar el máximo de su valor en el eje x. En la figura 12 se muestra el desplazamiento de la plataforma móvil en los tres ejes. Se logra el desplazamiento deseado en el eje x, y el eje z, pero existe movimiento en el eje y resultado de desajustes en el movimiento de los sistemas de arrollamiento que se ven reflejados en los otros ejes.



Figura 11. Desarrollo de movimiento del robot basado en cable en el eje x.

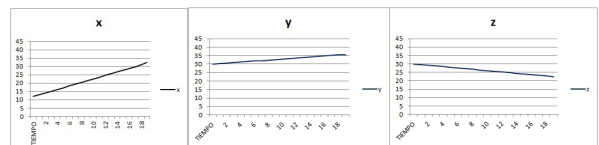


Figura 12. Gráficas del movimiento de la plataforma móvil en los ejes x, y, z, prueba uno a lo largo del eje x.

En la figura 13, se observa el desplazamiento de la plataforma móvil del robot basado en cables, a lo largo del eje y. Se toman como referencia, los puntos al fondo del robot y se observa cómo se desplaza de izquierda a derecha, para alcanzar el valor establecido, en los comandos de control de movimiento. En la figura 14, se presentan las graficas del desarrollo del movimiento para el eje y y como se comporta en los otros ejes, existiendo variación a lo largo del eje x como si cayera y se recupera para lograr su desarrollo, el eje y logra el desplazamiento y en el eje z existe una variación de 20 mm.

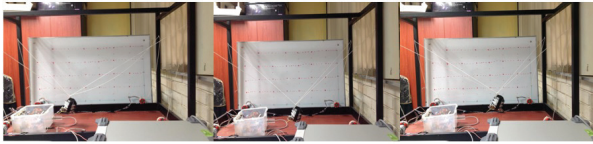


Figura 13. Desarrollo de movimiento del robot basado en cable en el eje y.

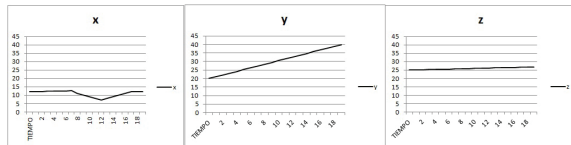


Figura 14. Graficas del movimiento de la plataforma móvil en los ejes x, y, z, prueba dos a lo largo del eje y.

6 CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un robot basado en cables, para el control de movimiento de una plataforma móvil. La plataforma, se ubica por medio de la actuación de cuatro motores DC y variación de longitud de los cables.

Se obtuvo un conjunto de ecuaciones de control de movimiento, basado en un modelo geométrico. Este conjunto de ecuaciones, permiten el calcular, la distancia a desplazarse, por parte del motor, para alcanzar una posición espacial de la plataforma móvil.

Se seleccionaron los componentes del robot, como del tipo comercial, a fin disponer de equipo y material según se requiera.

Este tipo de sistema, se desarrolló buscando establecer una plataforma para la optimización de espacio de trabajo, en configuración de cuatro actuadores. Por la arquitectura, es posible la extensión, para colocar un mayor número de actuadores.

El sistema se probó y está en completa operación, como se observa en las figuras de las pruebas, puede desarrollar movimiento espacial en los tres ejes.

Las ecuaciones que se obtuvieron permiten establecer el movimiento del sistema, pero existen errores en los ejes, aun cuando se logra el desarrollo del movimiento deseado en el eje, los otros ejes presentan variaciones. En algunas pruebas, se detectó que eran debidas al tipo de arrollamiento con que se cuenta y que provoca errores en el desarrollo, en otros casos, es debido al esquema de control, por ello, se requiere como actividades posteriores la búsqueda de un control con mejor desempeño.

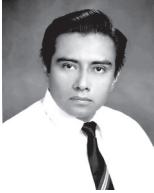
7 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México, al Instituto Tecnológico de Puebla, y al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) por el apoyo proporcionado para el desarrollo de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Angeles, J., 2003, "Fundamentals of robotic mechanical systems, theory, methods, and algorithms," Springer, New York.
- [2] Merlet, J., and Gosselin, C., 2008, "Parallel Mechanisms and Robots," pp. 269-285.
- [3] Stewart, D., 1965, "Platform with Six Degrees of Freedom," Institution of Mechanical Engineers - Proceedings, 180(15) pp. 371-386.
- [4] Clavel, R., 1988, "DELTA, a fast robot with parallel geometry," Proceedings of the 18th International Symposium on Industrial Robots, Anonymous IFS Publications, Kempston, Bedford, UK, pp. 91-100.
- [5] Hayward, V., 1989, "A translation in artificial terms of the design of biological manipulators," Engineering in Medicine and Biology Society, 1989. Images of the Twenty-First Century., Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in, Anonymous pp. 898-899 vol.3.
- [6] Merlet, J., 2010, "MARIONET, a Family of Modular Wire-Driven Parallel Robots," ARK, Piran, pp. 53-62.
- [7] Oh, S., and Agrawal, S. K., 2005, "Cable Suspended Planar Robots with Redundant Cables: Controllers with Positive Tensions," IEEE Transactions on Robotics, 21(3) pp. 457-465.
- [8] Miermeister, P., Pott, A., and Verl, A., 2010, "Dynamic Modeling and Hardware-in-the-Loop Simulation for the Cable-Driven Parallel Robot IPAnema," Robotics (ISR), 2010 41st International Symposium on and 2010 6th German Conference on Robotics (ROBOTIK), pp. 1-8.
- [9] Ebert-Uphoff, I., and Voglewede, P. A., 2004, "On the connections between cable-driven robots, parallel manipulators and grasping," Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA '04. 2004 IEEE International Conference on, Anonymous 5, pp. 4521-4526 Vol.5.

Acerca de los autores



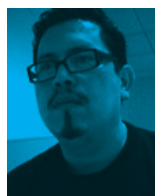
José Rafael Mendoza Vázquez recibió el grado de Doctor en Ciencias en Electrónica en 2010 por parte del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) y el grado de Maestro en Ciencias en Electrónica en 2003 por la misma institución. Ha trabajado en proyectos de desarrollo tecnológico del tipo robots de aplicación específica y militar con actividades en instrumentación, robótica, automatización y control en aplicaciones marítimas para la Secretaría de Marina, Armada de México. Es profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de Puebla, en el departamento de Ingeniería eléctrica y electrónica. Cuenta con más de 10 publicaciones en Congresos internacionales y nacionales así como publicaciones en revistas indexadas. Es miembro del cuerpo académico Sistemas interactivos y realidad virtual. Su investigación se encuentra dentro el área de robótica y control con énfasis en robótica, control de movimiento, modelado, procesamiento de señales y sistemas interactivos.



Sergio Javier Torres Méndez, recibió el grado de Doctor en Ciencias en Ingeniería Mecánica en 2014 por parte de la Universidad de Waterloo, Ontario, Canadá; el grado de Maestro en Ciencias en Electrónica en 2008 por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, y el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica por parte del Instituto Tecnológico de Veracruz en 1995. Es profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de Puebla desde 1995. Es miembro del cuerpo académico Sistemas interactivos y realidad virtual. Sus intereses de investigación se relacionan con el diseño y desarrollo de robots de alta velocidad y de sistemas mecatrónicos interactivos para la asistencia humana.



Irma Delia Rojas Cuevas, recibió el grado de Maestra en Ciencias en Ingeniería Industrial por parte del Instituto Politécnico Nacional, sección UPIICSA, en el año 2000, con la especialización en Manufactura. Ha desarrollado proyectos para la DGEST en el área de sistemas interactivos, realidad virtual, sistemas de tutorías y sistemas web. Tiene Diplomados en: Desarrollo de habilidades del pensamiento, Trabajo docente por competencias en educación superior y Formación y desarrollo de competencias docentes para la DGEST. Actualmente, se desempeña como profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de Puebla para el Departamento de Sistemas y computación. Tiene el premio como Docente distinguido por parte del SNTE-SEP del estado de Puebla. Es miembro del Cuerpo Académico Sistemas Interactivos y realidad virtual y tiene el reconocimiento de perfil PROMEP. Su investigación se encuentra en el área de sistemas interactivos y realidad virtual con énfasis en sistemas mecatrónicos.



Omar Flores Sánchez, es Doctor en Cómputo Paralelo y Distribuido por la Universidad Politécnica de Valencia, España. Actualmente, se desempeña como profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de Puebla para el Departamento de sistemas y computación. Es miembro del Cuerpo Académico Sistemas interactivos y realidad virtual. Su área de interés se centra en el diseño y desarrollo de algoritmos secuenciales y paralelos aplicados a la resolución de problemas de la ingeniería en general.