

# Animatronic con forma de araña hexápoda.

## Animatronic shaped like a hexapod spider.

Raúl Moreno Rincón\* (1).  
Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez  
[raull.mr@tuxtla.tecnm.mx](mailto:raull.mr@tuxtla.tecnm.mx).

Lizette Adriana Zebadúa Chavarría (2), Estudiante del Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez,  
[lzebadua@ittg.edu.mx](mailto:lzebadua@ittg.edu.mx).

Álvaro Hernández Sol (3). Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez, [alvarohs@tuxtla.tecnm.mx](mailto:alvarohs@tuxtla.tecnm.mx).

José Ángel Zepeda Hernández (4). Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez,  
[jose.zh@tuxtla.tecnm.mx](mailto:jose.zh@tuxtla.tecnm.mx).

Rubén Herrera Galicia (5). Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez, [ruben.hg@tuxtla.tecnm.mx](mailto:ruben.hg@tuxtla.tecnm.mx).

---

\*corresponding author.

**Artículo recibido en octubre 29, 2021; aceptado en noviembre 25, 2021.**

### Resumen.

*En este artículo se realizó el diseño y construcción de un sistema robótico con forma de araña hexápoda con alimentación autónoma, movimiento constante, estable y sostenido. El mecanismo diseñado para cumplir los movimientos deseados se centra en el uso de servomotores, el sistema de control se basa en un microcontrolador PIC. La aplicación de 6 extremidades al robot permite alcanzar mayor estabilidad sobre todo cuando se detiene, ya que puede quedar parado en 3 patas en formato de tripie, el uso de servomotores permite facilitar la programación de la secuencia de movimientos, ya que son especialmente diseñados para el control de posición que es el caso que nos compete, y la utilización del microcontrolador PIC, aunque requirió del diseño de su shell para su funcionamiento es considerado de los microcontroladores más rápidos y estables del mercado, así también presenta gran cantidad de memoria que permite diseño de programas extensos aplicando métodos novedosa de inteligencia artificial para control. Por todo lo anterior el objetivo de este diseño es contar con un robot versátil que permita aceptar diferentes métodos de control para poder realizar un análisis comparativo entre ellos.*

**Palabras clave:** Hexápoda, grados de libertad, tripié, shell, radial.

### Abstract.

*In this paper the design and construction of a robotic spider-shaped system with autonomous feeding, constant, stable and sustained movement was carried out. The mechanism designed to fulfill the desired movements focuses on the use of servomotors, the control system is based on a PIC microcontroller. The application of 6 limbs to the robot allows to achieve greater stability especially when it stops, since it can stand on 3 legs in a tripping format, the use of servomotors allows easy programming of the sequence of movements, since they are specially designed to the position control that is the case that concerns us, and the use of the PIC microcontroller, although it required the design of its shell for its operation is considered the fastest and most stable microcontrollers on the market, so it also has a large*

*amount of memory that allows Extensive program design applying innovative artificial intelligence methods for control. For all the above, the objective of this design is to have a versatile robot that allows to accept different control methods in order to perform a comparative analysis between them.*

**Keywords:** Hexapod, degrees of freedom, tripod, shell, radial.

## 1. Introducción.

La Robótica es una ciencia que surge a finales de la década de los 50's, y que, ha demostrado ser un importante motor para el avance tecnológico que impactan diversas áreas del conocimiento, tales como la industria de manufactura, las ciencias médicas, la industria espacial, entre otras. Así pues, se generan expectativas para un tiempo no muy lejano.

En un principio esta se centró en la automatización de procesos de producción. Esto se ve reflejado sobre todo en la industria automotriz. Debido al alto costo que representa el automatizar y robotizar un proceso de producción, la tendencia actual en Robótica es la investigación de micro-robots y robots móviles autónomos con cierto grado de inteligencia, este último es el campo en el que se basa este proyecto de investigación, de acuerdo a Manzanarez (2017).

Lo anteriormente expuesto explica la necesidad y la importancia de que Institutos de Investigación, se den a la tarea de destinar recursos tanto económicos y humanos para aliviar el rezago tecnológico que el país y el estado padece.

El campo de los robots móviles es muy extenso, teniendo como clasificación principal el tipo de locomoción. Este proyecto se centra en el sistema de locomoción a través de extremidades, siendo la configuración hexápoda la más utilizada debido a que presenta mayor estabilidad, tanto estática como dinámica, además de ser prácticamente todo terreno y no limitarse a superficies planas como las ruedas, debido a que su avance se realiza por el levantamiento de dos o tres extremidades mientras que las otras lo soportan, esto le permite avanzar en terrenos rocosos e inclusive en gradas, sin embargo la capacidad de avanzar en terrenos de diferentes alturas depende del tamaño de las extremidades y del levantamiento máximo que estas pueden alcanzar, Hidalgo Panchana (2015). Esto hace que sea una alternativa viable para que sustituya o interactúe con el sistema de locomoción a base de ruedas, que es la que domina el campo de los robots móviles debido a su fácil control y aplicación, ver figura 1.



**Figura 1.** Robot Tarry.

El desarrollo de este tipo de sistema de locomoción se vio obstaculizado en un principio por la complejidad inherente a la coordinación de las extremidades. Esta complejidad necesita una alta capacidad de cálculo aplicando técnicas de control clásico, sin embargo, con el avance de la microelectrónica se ha hecho posible el acceso a recursos programables que hacen viable la implementación de este tipo de sistemas.

En el desarrollo de un robot hexápodo debe tenerse en cuenta aspectos tales como la robustez, mantenimiento del equilibrio, coordinación de los movimientos entre otros. Un sistema que ataque todos los aspectos y resuelva estos problemas resulta de difícil implementación y un estudio muy complejo (inteligencia artificial: algoritmos genéticos),

por lo cual el proyecto se centra en problemas puntuales: Construcción de chasis, extremidades, arquitectura de hardware, locomoción, tipos de sensores.

Los robots son usados hoy en día para llevar a cabo tareas sucias, peligrosas, difíciles o repetitivas para los humanos. Esto usualmente toma la forma de un robot industrial usado en las líneas de producción. La manufactura continúa siendo el principal mercado donde los robots son utilizados. Las aplicaciones incluyen soldado, pintado y carga de maquinaria. La Industria automotriz ha tomado gran ventaja de esta nueva tecnología donde los robots han sido programados para reemplazar el trabajo de los humanos en muchas tareas repetitivas.

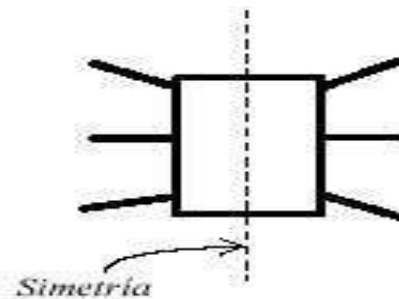
Pero no sólo se pretenden utilizar a los robots en esta área, sino que se quiere llegar más lejos creando robots que tengan mayor movilidad. Por eso se han creado pequeños hexápodos y otros tipos de robots de múltiples piernas. Estos robots imitan insectos y artrópodos en funciones y forma que ofrecen gran flexibilidad y han probado adaptabilidad a cualquier ambiente. Por lo que la intención de esta investigación fue, diseñar y construir un sistema robótico con forma de araña de 6 patas para que con el movimiento de estas se pueda obtener un movimiento constante, estable y sostenido durante su avance, con una estructura robusta que soporte mayor peso y el acondicionamiento de una batería para darle mayor autonomía. También se pretendió dotar de sensores que detecten obstáculos para que cambie de trayectoria y no choque con estos.

## 2. Métodos.

Se consideró para el diseño mecánico del sistema; un estudio de los elementos empleados en su construcción (actuadores, sensores, etc.), la fisiología de la extremidad (grados de libertad, ángulos de barridos y avance lineal por cada articulación), limitaciones impuestas por el software de control y el hardware, etc., bajo la prioridad de que la funcionalidad básica de la extremidad es caminar. Para lo cual fue necesario una serie de actuadores (servomotores) que la impulsen a través del medio.

Un concepto importante a la hora de elegir el número de pata del robot es el de estabilidad estática. Este término se refiere a la capacidad del robot para permanecer estable (sin caerse) cuando no está en movimiento. Es más fácil mantener la estabilidad estática en un robot hexápodo que en uno de menor número de patas debido a que hay más patas libres para reposicionar el cuerpo del robot mientras éste se apoya en tres de ellas.

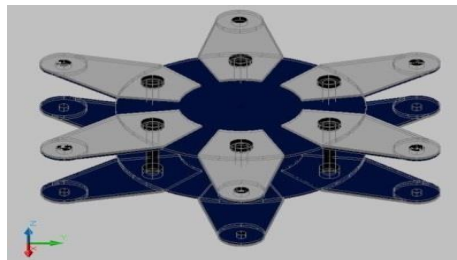
Existen dos configuraciones de distribución de las patas alrededor del cuerpo del robot. La bilateral, ver figura 2, Chamba (2019). Esta distribución presenta una simetría a lo largo del eje longitudinal del robot. Tiene la ventaja de una mayor simplicidad a la hora de programar los movimientos, debido a que el robot está preparado físicamente para facilitar el avance en direcciones paralelas al eje de simetría.



**Figura 2.** Robot Hexápodo bilateral.

Y la distribución radial, que fue la escogida para nuestra araña, donde cualquier dirección es exactamente igual a cualquier otra. En dos dimensiones, esta distribución es totalmente simétrica, y eso lleva a un software más genérico y más simple. No necesita movimientos específicos de giro puesto que es capaz de desplazarse en cualquier dirección

sin tener previamente que cambiar de orientación (omnidireccional), ver figura 3, diseño realizado en el software Autocad Mechanical



**Figura 3.** Robot Hexápodo radial.

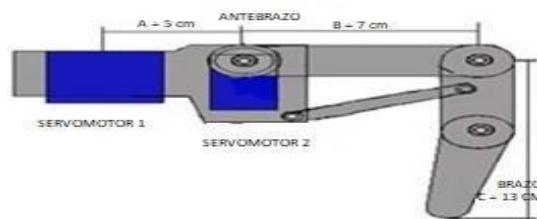
### 3. Desarrollo.

Para realizar el movimiento de cada una de las articulaciones de cada extremidad se utilizaron los servomotores MG995 (servo1 para el avance-retroceso y servo 2 para subir y bajar la pata) que son motores de corriente continua que barren un ángulo de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ , determinado por una señal de control y que cuenta con un sistema de engranaje metálico que le permite mayor robustez. En lo referente a la señal de control del servo, este recibe un pulso con duración equivalente al ángulo que debe tomar el servo con respecto a su referencia. Destacar que estos ángulos (estas posiciones) son absolutos, ver la figura 4 (tomada del datasheet de servomotores)



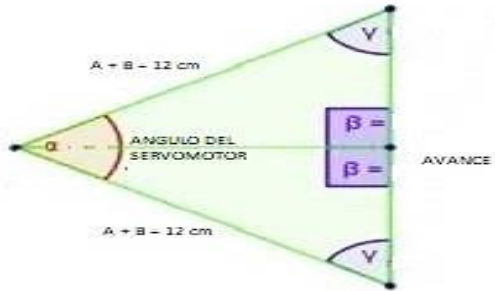
**Figura 4.** Servomotor MG995.

**Diseño de las patas:** Desde el primer momento se pensó en utilizar servos para las articulaciones, así como la aplicación de dos articulaciones (grados de libertad) por cada pata, una para levantarla y otra para desplazarla (12 servos). Se diseñó una estructura de tipo (paralelograma deformable) la cual consiste en un paralelograma cuyos ángulos pueden variar mediante servos situados lejos de la articulación, este diseño agrega un grado más de libertad por cada pata (3 grados de libertad en cada una), de acuerdo a Rivas (2015), sin embargo, por conceptos técnicos, ya que solamente vamos a controlar 2 articulaciones con los servos 1 y 2 y esta tercera articulación únicamente va a servir para plegar la pata al ser levantada y lo hace por sistema mecánico de paralelograma deformable, preferimos obviarla y considerar que solo se tienen dos. Ver figura 5 diseñada en el software Autocad Mechanical para nuestro proyecto.



**Figura 5.** Diseño de una extremidad

Se determinó el tamaño de las patas y las ecuaciones (EC.1 y EC.2) para calcular la distancia de avance en función del valor del ángulo que se le asigna al servomotor 1 y la altura de levantamiento en función del servomotor 2 que levanta y baja la extremidad durante el recorrido, aplicando trigonometría básica para triángulos isósceles y rectángulos, ver figuras 6 y 7 (figuras diseñadas para la presentación).



**Figura 6.** Distancia de avance en cada paso

$$avance = 2(A + B) * \text{sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \tag{1}$$

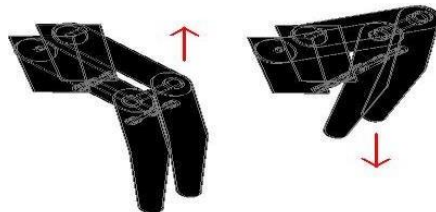


**Figura 7.** Altura de levantamiento de cada pata

$$altura = B * \text{sen}(\alpha) \tag{2}$$

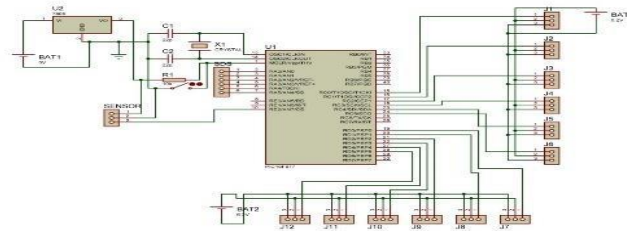
El software utilizado para el diseño y simulación fue el Autocad Mechanical, que tiene capacidad de diseñar piezas de mecanismos con dimensiones reales y ensamblarlo para realizar la simulación de su comportamiento, ver figura 8. Las patas (6 patas) fueron impresas en PLA al 95% dando un peso total de 50.8 grs. cada una y considerando, que el cuerpo lo conforman 2 placas de PLA de 55.3 grs. cada una, el peso resultante fue de:

$$415.4 \text{ grs.} = 2(55.3 \text{ grs.}) + 6(50.8 \text{ grs.}) \tag{3}$$



**Figura 8.** Diseño de las extremidades y simulación de funcionamiento

**Tarjeta de control;** El circuito está formado por un microcontrolador PIC16F887A al que previamente se le carga el programa de control. Al PIC se le conecta un cristal de cuarzo de 4Mhz, los condensadores de 22pF para el oscilador y un pulsador que cuando se activa pone un nivel bajo en la entrada MCLR para provocar un RESET del sistema, ver figura 9, diseño realizado en el software Proteus.



**Figura 9.** Tarjeta de control.

El shell diseñado para el microcontrolador facilita la conexión de los servomotores que consiste en 3 pines por cada uno, el primero es la señal de control proveniente del microcontrolador y los otros dos son la alimentación de la fuente de potencia, la cual consiste en una pila recargable de 6.0 volts y 3000 mA, además se utiliza una batería de 9 v para alimentar al microcontrolador y se tiene la conexión para un sensor de presencia.

El Shell del PIC permite la reprogramación de cualquier método de control al sistema (lo cual es uno de los fines del presente trabajo) pero para su demostración se le programo el método de acción básica de control denominado PID (proporcional, integrativo y derivativo) el cual se caracteriza por actuar ante la presencia de un error de manera rápida y buscando la exactitud del resultado.

**Resultados:** Como se puede observar en la figura 5, cada extremidad de la araña está formada por cuatro elementos, los primeros dos forman el antebrazo, el tercero es el brazo y el otro es un elemento de apoyo que permite utilizar una tercera articulación sin actuador para que la extremidad se recorte al levantarse (paralelograma deformable). El primer elemento mide 5cm. y en uno de sus extremos este ensamblado con el servomotor 1 para un movimiento horizontal, en el otro extremo tiene fijado al servomotor 2, para un movimiento vertical en el cual se ensambla al elemento 2 de 7 cm. Cuando estos dos elementos están alineados el antebrazo alcanza un tamaño horizontal de 12 cm. que es la distancia del cuerpo de la araña al punto de apoyo, la cual al relacionarse con el ángulo de movimiento del servomotor 1 de acuerdo a la ecuación (1) determina el avance de la pata.

El brazo (elemento 3) tiene un tamaño de 13 cm. que determina la altura que alcanza la araña con respecto al suelo, al estar ensamblada con el elemento 2 a través de la articulación 3, es levantado verticalmente, el cual al relacionarse con el ángulo del servomotor 2 de acuerdo a la ecuación (2) determina la altura de levantamiento de la pata.

Servomotor 1; movimiento de avance horizontal de las patas. Tomando  $A+B=12\text{cm.}$  y la (1), tenemos;

**Tabla 1.** Distancia de avance de la araña.

$\alpha$	Calculado	Real
0°	0 cm.	0 cm.
45°	9.18 cm.	9 cm.
60°	12 cm.	11.5 cm.
75°	14.6 cm.	14 cm.

Observaciones: Por aspectos físicos, 75° es el máximo avance a lograr, puede ser considerado también hacia atrás si se ubica el servomotor para trabajar de 0 a 180° y la referencia en 90°, es conveniente que todas las patas tengan el mismo valor de avance, de lo contrario la araña no seguirá una línea recta,  $\alpha$  determina cambio de velocidad.

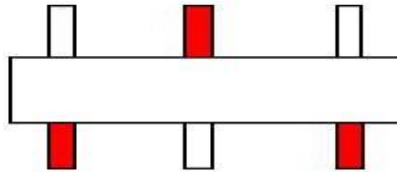
Servomotor 2; levantamiento vertical de las patas. De acuerdo a  $B=7\text{cm.}$  y la  $Ec2$ , tenemos;

**Tabla 2.** Distancia de levantamiento de las patas.

$\alpha$	Calculado	Real
$0^\circ$	0 cm.	0 cm.
$45^\circ$	4.94 cm.	4.6 cm.
$60^\circ$	6.06 cm.	5.8 cm.
$75^\circ$	6.76 cm.	6.4 cm.

Observaciones: Por aspecto físico,  $75^\circ$  es el máximo levantamiento a lograr. Se presenta una pequeña diferencia entre lo calculado con lo real debido al concepto de paralelograma deformable (0.36 cm) pero lo consideramos despreciable. Para el movimiento de la araña se requirió establecer una secuencia de movimientos tipo trípode que permitiera facilitar la programación. Método de pasos para el avance

- Primer paso; tomar una configuración de radial a bilateral, ver figura 11a y 11b, (fotografías de la araña) previa decisión de qué punto se establece como el frente (esta decisión puede cambiarse cuando la araña encuentre un obstáculo y en vez de dar la vuelta se puede cambiar el punto de frente).
- Segundo pasó, levantar las 2 patas extremos de la derecha y la pata central de la izquierda (grupo1) por medio de los servomotores 2 correspondientes, quedando sostenida como un tripié por las otras 3 patas (grupo2), ver figura 10 y 11c.



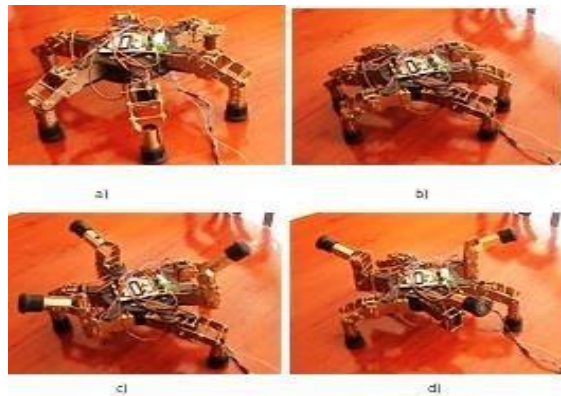
**Figura 10.** Trípede, en formato bilateral mostrando los 2 grupos a manipular.

- Tercer paso, aventar las patas del grupo1 un ángulo hacia adelante con los servomotores 1 correspondientes, bajarlas y recuperación de las referencias de sus servomotores 2.
- Cuarto paso, levantar las extremidades del grupo2 (con sus servomotores 2) y recuperar las referencias de los servomotores 1 del grupo1 provocando el avance, ver figura 11d.
- Quinto paso, las extremidades levantadas grupo2 son avanzadas un ángulo, para luego bajarlas.
- Nuevamente; levantar las extremidades del grupo1 (con sus servomotores 2) y se recuperan las referencias del grupo2 (servomotores 1) y continuamos repitiendo los pasos.

El control de toda esta secuencia está a cargo del microcontrolador PIC16F887A.

Todas las pruebas se realizaron en el laboratorio de electrónica del ITTG, considerando como obstáculos los cambios de nivel de las losas que forman el sendero al edificio I (Laboratorio de electrónica) que no sobrepasan los 5.5 cm. y el pasillo dentro del laboratorio de electrónica para hacer pruebas de giro, durante estas pruebas se realizaron diversos ajustes, como son:

- Debido a que los servomotores no son exactamente iguales se tuvo que ajustar el tiempo de los pulsos para cada uno de ellos con la intensidad que estos presentaran el mismo desplazamiento.
- La velocidad de respuestas tampoco es la misma por lo que entre un paso y otro de la secuencia se colocó un retardo que permitiera que todos los servomotores involucrados alcanzaran su valor final.
- Las patas derrapaban en el piso pulido, fue necesario ponerles tapones de hule



**Figura 11.** Fotografías de la araña en posición; a) radial, b) bilateral, c) Paso 2 y d) Paso 4.

### Conclusiones.

Al final se logró satisfactoriamente el objetivo de este proyecto, que es tener una estructura rígida que tiene un movimiento constante y estable, que además es autónomo y que permite establecer libremente al programador el método de control que desee evaluar como son; control clásico, redes difusas, redes neuronales, entre otras lo cual lo convierte en un verdadero laboratorio de aplicación de técnicas de inteligencia artificial.

La tarjeta de control (shell) permite eliminar cruce de cables y el cambio rápido de cualquier servomotor que se dañe, debido al diseño de tres pines y a la conexión serial que presenta la fuente de potencia, ver figura 12, fotografía del shell diseñado y construido.



**Figura 12.** Fotografía del shell del PIC.

Se comprobó bajo la premisa de que el diseño de un robot tipo radial permite un cambio de dirección sin necesidad de desplazamiento y el tipo bilateral es más fácil de manipular para su avance, que la combinación de estos (un robot radial que se configura a formato bilateral) da como resultado obtener un desplazamiento óptimo y un cambio de dirección fácil.

También pudimos comprobar que, en los casos de diseño y construcción de robots con articulaciones para su movimiento, la aplicación del método del paralelograma deformable permite el pliegue de las articulaciones durante su desplazamiento lo cual resulta en que se puede trabajar en un espacio reducido, sin necesidad de manipular otra articulación.

Por último, la aplicación del software Autocad Mechanical, permite el diseño y simulación de los sistemas electromecánicos, eliminando la necesidad de construir para probar, reduciendo de esta manera tiempo, dinero y esfuerzo.



### Créditos.

Los autores de la presente investigación agradecen al Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo y el apoyo proporcionado a través de sus alumnos de electrónica en diferentes modalidades de colaboración, como son residencias profesionales y servicios social.

### Referencias Bibliográficas.

**Manzanarez, I. R. A. R. (2017).** *Análisis Cinemático de un robot metamórfico tipo hexápodo*, Tesis (Doctoral dissertation, instituto Politécnico Nacional).

**Hidalgo Panchana, A. C. (2015).** *Implementación de un prototipo de un robot móvil tipo hexápodo teledirigido para la contribución de la limpieza aplicado tecnología Open Source* (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2015).

**Chamba, J., Sánchez, M., Moya, M., Noroña, J., & Franco, R. (2019)** *Motion simulation of a hexapod robot in virtual reality environments*. Enfoque UTE, 10(1), 173-184.

**Rivas, J. D. L. (2015).** *Definición y análisis de los modos de marcha de un robot hexápodo para tareas de búsqueda y rescate* (Doctoral dissertation, Master's thesis, Escuela Superior de Ingeniería Industrial. Universidad Politécnica de Madrid).

### Información de los autores.



**Raúl Moreno Rincón**, Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica, egresado de la ESIME IPN, en la ciudad de México, D.F. Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica egresado del Instituto Tecnológico de Toluca. Maestro en Educación Superior por la Universidad Autónoma de Chiapas. Certificado en SolidWorks Associate. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y jefe de Proyectos de Docencia de Ingeniería Electrónica. Es investigador desde 1999 y Colabora en la línea de investigación “Robótica” de Ingeniería electrónica y es parte del cuerpo académico en formación “sistemas de control inteligentes”. Ha realizado proyectos como: Sistema de alarma para personas con deficiencia auditiva basado en XBEE, robot de cafetería, araña hexápoda, sistema de control de animatronic, entre otros.



**Lizette Adriana Zebadúa Chavarría**, es Ingeniera en Electrónica egresada del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Durante su etapa académica participo activamente en el Club de Robótica “Engineer Bots” del I.T.T.G., siendo parte del equipo de diseño

para los concursos del torneo de VEX ROBOTIC. Certificada en SolidWorks Associate. En la actualidad es alumno de tiempo completo de la Maestría en Ciencias de Mecatrónica del Tecnológico Nacional de México Campus Tuxtla Gutiérrez.



**Álvaro Hernández Sol**, es Ingeniero en electrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y es investigador desde 1997. Certificado en SolidWorks Associate. Jefe de proyectos de investigación de ingeniería electrónica desde el 2001. Fundo y asesora el “Club de robótica del ITTG”. Colabora en la línea de investigación de “Robótica” de Ingeniería electrónica. Dirige el área de trabajo en “Robótica” y es parte del cuerpo académico “sistemas de control inteligentes”. Ha realizado investigaciones en el área de los sistemas alternativos de comunicación y en sistemas robóticos, Así como en sistemas traductores de lenguaje.



**José Ángel Zepeda Hernández**, es Ingeniero Industrial en Eléctrica y Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez e investigador desde 1999, Imparte cátedra en el área de Ingeniería Electrónica y la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica en el ITTG, donde imparte las asignaturas de Diseño con Transistores y Electrónica Básica respectivamente. Líder del cuerpo académico en formación “sistemas de control inteligentes”.



**Rubén Herrera Galicia**, obtuvo el título de doctor en ciencias técnicas con especialidad en electrónica por la Technical University of Warsaw, Polonia. Es profesor de tiempo completo adscripto al departamento de ingeniería eléctrica y electrónica del Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez. Es investigador desde 1985 y colabora en la línea de investigación de “Robótica” de Ingeniería electrónica. Es parte del cuerpo académico “sistemas de control inteligentes”.