

# Design and Implementation of Mobile Robot with Embedded Internet of Thing Controller

Alberto Marroquín, Guillermo Domínguez

Instituto de Investigación e Innovación en Electrónica  
Universidad Don Bosco  
Soyapango, El Salvador  
albert.marro93@gmail.com, guille.alfa.93@gmail.com

Adalberto Gómez, Carlos Bran

Instituto de Investigación e Innovación en Electrónica  
Universidad Don Bosco  
Soyapango, El Salvador  
adalberto.gomez@udb.edu.sv, cbran@udb.edu.sv

**Abstract**— The development of robotics is allowing this technology becomes more prevalent in supporting various human activities, this paper presents a low-cost alternative for a mobile robot, whose design is intended as a base platform to incorporate more features according to application where it is used.

In order to achieve better characteristics of locomotion, it's used a bearing arrangement that allows better cinematics, for the controller design it's used an Internet of Things platform to achieving a control mechanism with a global reach and to provide a user interface friendly which can be applied for teaching purposes.

**Index Terms**—mobile robot, Internet of thing, Controller, CAD, CAM, CAE, JavaScript, User interface.

## I. INTRODUCCIÓN

Un robot móvil es una maquina autónoma con capacidad para ejecutar tareas programadas con un conjunto de herramientas especifico una de sus partes esenciales es la locomoción que garantiza la precisión en su desplazamiento y en la capacidad de ubicarse en un entorno.

A nivel internacional el tema de robots móviles está muy desarrollado, sobre todo en países como Japón, Alemania y Estados Unidos donde se aplican para resolver diversos problemas como asistentes a la actividad humana [1] en tareas industriales, de seguridad, para la investigación de otras disciplinas, educación y entretenimiento, lo que ha permitido que cada día se amplíe el conjunto de aplicaciones de esta tecnología.

El acceso a robot móviles para propósitos académicos y de investigación en nuestros países es bastante limitado, debido a su costo o a la poca capacidad de actualización ya que las soluciones mas baratas están orientados a actividades lúdicas.



Fig. 1. Posicionamiento de rodamientos en Y

El presente trabajo propone una alternativa de bajo costo para robots móviles con una estrategia de locomoción particular que permita hacer más eficiente su cinemática y con un diseño desarrollado completamente local, que pueda ser actualizado y mejorado con futuros trabajos, su diseño se basa en estándares industriales de robótica con lo que se puede aplicar tanto para soluciones comerciales, de investigación y académicas.

El robot móvil implementado es omnidireccional, el cual usa una disposición particular de los rodamiento en Y que permiten mayor liberta de movimientos que las disposiciones clásicas, además de crear un centro de gravedad que reduzca el consumo de energía, un Un bosquejo del posicionamiento de los motores se muestra en la Fig. 1.

La unidad es controlada mediante el envío de comandos por medio de una página web, en la que el usuario selecciona la trayectoria que el robot móvil seguirá, la solución actual no implementa la telemetría que esta programada para trabajos futuros por lo cual no podrá detectar obstáculos.

A fin de que el sistema pueda tener un alcance de control global el controlador de la unidad se implementa con microcontroladores y módulos IoT lo que facilita la actualización del firmware clave para hacer flexibles las tareas que la unidad pueda desarrollar.

A nivel general el documento se divide en seis secciones además de la introducción la sección dos describe brevemente los conceptos de Internet de las Cosas y sus modelos de interacción, la sección tres describe el diseño en general de la solución, la sección cuatro habla de la cinemática y el diseño mecánico, en la sección cinco se describe el proceso de implementación, para el la sección seis describir la interfaz gráfica, para finalizar con los resultados de las pruebas y las conclusiones.

## II. IOT Y LAS INTERCONEXIONES M2M M2P Y P2P

El Internet de las Cosas IoT por sus siglas en ingles representa un modelo para dotar de inteligencia y conectividad global a cualquier cosa, a fin de obtener mas datos con lo que se pueden realizar mejores proceso que permitan impactar en tareas mas eficientes y una percepción expandida del mundo [2].

IoT basa sus diseños de aplicaciones en procesamiento global o en la nube y local o en la niebla, con lo que permite

balancear los datos y funciones que se ejecutan localmente y globalmente a fin de hacer la tareas mas eficientes [3][4], en general los módulos IoT se basan en microcontroladores que tienen capacidades de procesamiento intermedias y permiten ejecutar tareas en tiempo real, con lo que la interacción con la red se puede disminuir optimizando el uso de ancho de banda.

Los diseños con controladores IoT amplían posibilidades para la solución de diverso problemas y propuestas de nuevos servicios debido a que facilitan modelos de interconexión entre cosas, datos, procesos y personas que permite la interacción: Máquina-a-Máquina (M2M), Maquina-a-Persona (M2P) y Persona-a-Persona (P2P) como se muestra en la Fig. 2.

#### A. Interacción M2M

Facilita el intercambio de datos entre cosas o maquinas, algunas de las aplicaciones que pueden favorecerse con esta interacción son soluciones para: Edificios inteligentes, Iluminación Inteligente, Pagos inteligentes, Transporte Inteligente, Smart Grid entre otras, su principal propósito es que las maquinas puedan tomar decisiones con la información que comparten con mínima intervención humana.

#### B. Interacción M2M

Ofrece la capacidad de intercambio de información entre maquinas y personas, para favorecer el análisis y una mejor toma de decisiones, aplicaciones favorecidas por esta interacción son: Vídeo vigilancia, Estacionamiento, Respuesta a incidentes; ofrece la ventaja percepción/acción extendida al no necesariamente estar cerca del lugar del suceso para poder tomar acción pertinentes sobre el.

#### C. Interacción M2M

Representa el gran propósito final de las interacciones anteriores la capacidad de colaborar con información enriquecida entre personas.

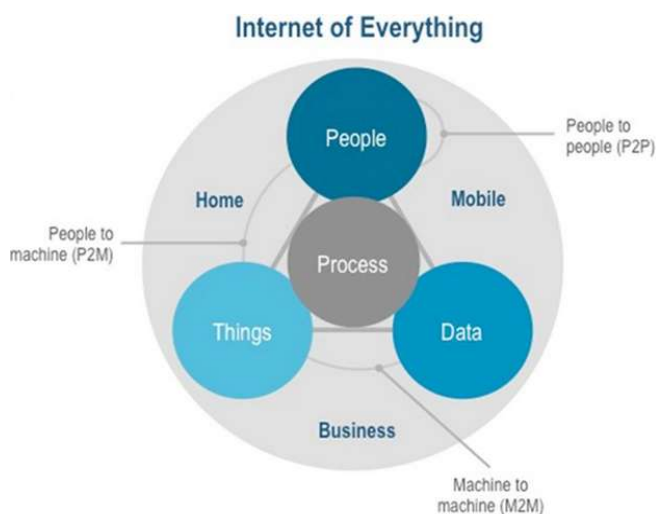


Fig. 2. Modelos de interacción del Internet de las Cosas

### III. DISEÑO DEL SISTEMA

En general el sistema a implementar se basa en una interacción M2P ya que el controlador IoT recibirá comandos del usuario desde una interfaz gráfica y el controlador enviará los datos de odometría promedio de los rodamientos con los que se podrá percibir el movimiento de la unidad.

#### A. Modelo conceptual

La operación del controlador se basa en dos etapas presentadas en la Fig. 3, las cuales interactúan entre sí por medio de la web:

- La primera es la interfaz gráfica de usuario por la que será capaz de enviar una trayectoria de recorrido para el robot, definida por 3 tramos a los cuales se les asignan dirección (adelante, atrás, giro horario o anti horario y diagonal) y tiempo de movimiento
- La segunda es el procesamiento en la niebla hecho por un módulo IoT, el cual al verificar un nuevo comando enviara un código de forma paralela a un microcontrolador para que genere señales PWM para el control de la secuencia de los motores dispuestos en Y.

#### B. Modelo Funcional

El funcionamiento general del controlador es relativamente simple se basa en la interacción entre un módulo IoT, un microcontrolador y una etapa de potencia que suministra la corrientes necesaria para el impulso del movimiento, estos bloques de muestran en la Fig. 4, para el módulo IoT se usa la tarjeta Spark Core [8] que sera la responsable de las mediciones de RPM usando tres detectores de corte (S1, S2, S3) acoplados a cada rodamiento con los que se calcula la odometría de la unidad, con esta información se implementa un controlador digital que regula el ciclo de trabajo de las señales PWM, que son generadas por un microcontrolador de bajo rango PIC16F88, esta separación de funciones es necesaria debido a la naturaleza secuencial de los microcontroladores, por ultimo las 6 señales PWM se acoplan a los motores por una etapa de potencia que usa un regulador basado en el circuito integrado L293D, un circuito para la carga de las baterías usando convertidores sincrónicos DC-DC se desarrollo de forma separada.

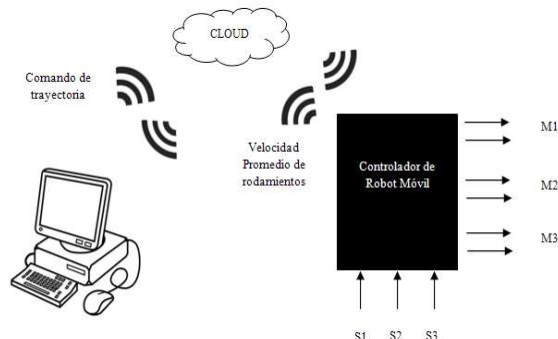


Fig. 3. Modelo conceptual del controlador.

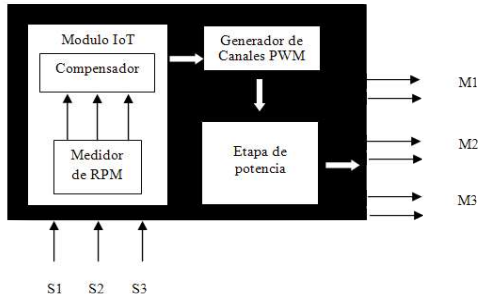


Fig. 4. Modelo funcional del controlador.

#### IV. CINEMATICA DEL ROBOT Y PROTOTIPO MECANICO

Para el diseño mecánico se uso una herramienta CAD/CAM NX 9.0 que permite partir del diseño a mano alzada con sus respectivas cotas hasta un modelo de diseño solido, que puede portarse al formato adecuado para que pueda ser maquinado el prototipo en un router CNC o un impresor 3D.

##### A. Diseño Mecánico del Robot

El Diseño mecánico es una base circular con Dimensiones de 18.5cm diámetro y 14.5cm de alto con rodamiento colocados en Y, tomando como referencia el diseño del robot de Festo Robotino [5], cuya disposición de rodamientos se muestra en la Fig.5.

La unidad implementada se diferencia en la disposición de los motores, ya que se usaron motores de bajo costo que no coinciden con los industriales que usa Festo en su unidad, estas variaciones nos permitieron poder hacer ajustes para la colocación de las baterías a fin de mantener un centro de gravedad y distribución de peso óptimos, para ello se uso la capacidad de simulación de NX 9.0 con lo que se desarrollaron múltiples modelos hasta obtener el mejor acople de cada uno de los componentes con la estructura propuesta.

La configuración del arreglo de los rodamientos permite establecer los desplazamientos de la unidad como la suma vectorial de los movimientos tangenciales de cada uno de los tres rodamientos con los que se pueden generar modelos de desplazamiento mas controlados.

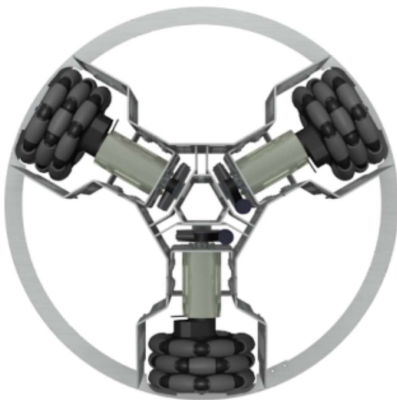


Fig. 5. Configuración de motores en Y solución de FESTO

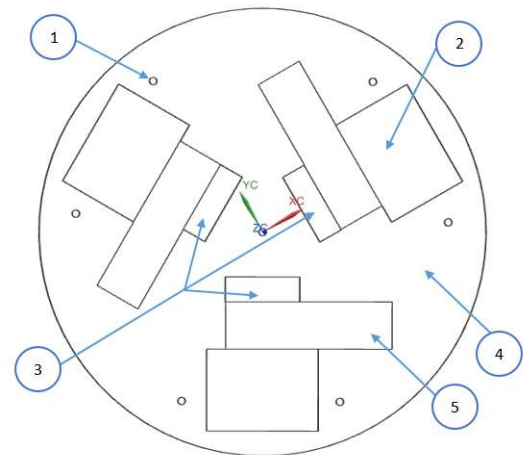


Fig. 6. Vista Isométrica del Robot móvil. (1) Agujeros para soportes. (2) Alojamiento de rodamiento, (3) Concavidades de encoders, (4) Compartimiento electrónico, (5) Cavity para motores.

##### B. Plataforma, soporte y cinemática de movimientos

Para la plataforma, se ha pensado que el diseño tenga la suficiente firmeza de los motores, espacio adecuado para los encoders y demás componentes electrónicos, quienes darán la precisión de giro y la estabilidad, esta disposición tiene el propósito de que las futuras funcionalidades se acoplen sobre esta base, para incorporar sensores de telemetría, cámaras y herramientas, sin que esto implique un des balance en la distribución del peso de la unidad, la Fig. 7 presenta las distintas vistas de la base.

La Fig. 8 presenta los movimientos relativos de cada rodamiento y su movimiento absoluto, los cuales sirven de base para la programación del controlador.

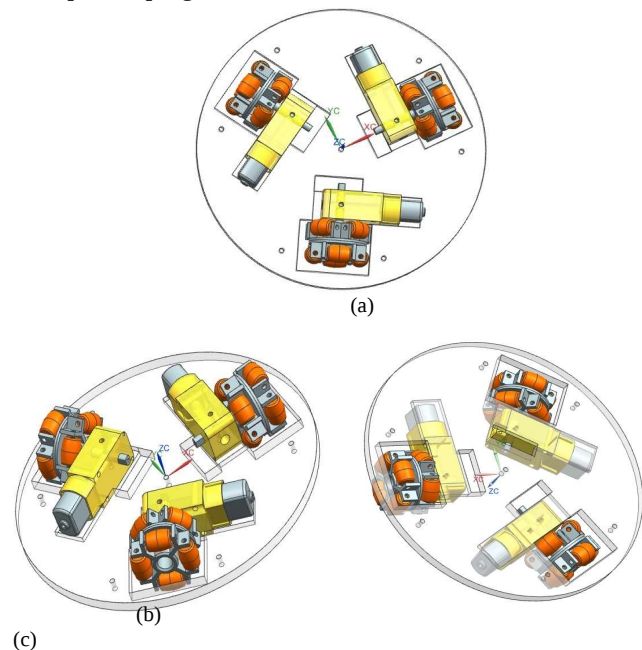


Fig. 7. (a) Configuración de los motores en Y. (b) Rotación de Rodillos Omnidireccionales. (c) Vista inferior de Rodillos Omnidireccionales.

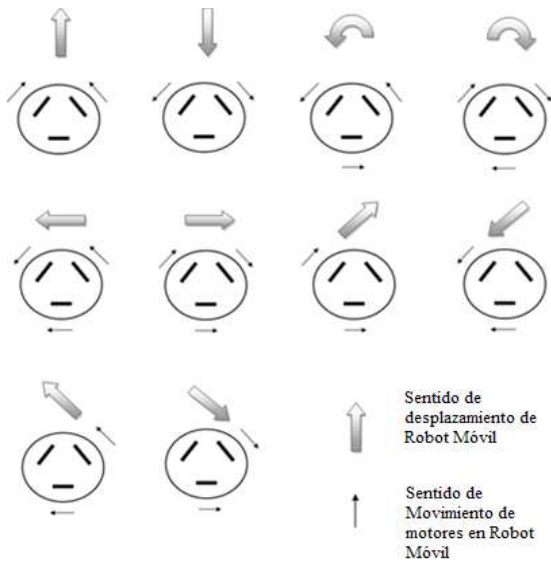


Fig. 8. Rutinas de movimientos para locomoción del Robot

## V. IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR

### A. Controlador de rutinas de movimiento

Esta se implementa en el PIC16F88 que genera las 6 señales PWM y varía el ciclo de trabajo en función de la secuencia de movimiento requerida, para el control de los motores se usan las señales M1, M2 y M3 con la secuencia de activación de cada motor, se tienen dos bit de selección Sel<0> y Sel<1>, con los que se discrimina la variable a modificar según las posibilidades presentes en la en la tabla 1, se tiene una señal de habilitación general de este bloque activado por un estado de bajo, para asignar el valor a modificar se usan las entradas Op, las cuales determinan la rutina de movimiento como se describe en la tabla 2.

Los comandos de activación se reciben desde el modulo IoT quien a su vez lo recibe del usuario desde la interfaz gráfica vía web.

### B. Controlador y medición de RPM

El controlador para garantizar una velocidad homogénea en los rodamientos, se basa en las RPM y se ejecuta en el IoT, por un detector de corte a partir del cual se hace la medición de referencias para garantizar que para cada movimiento los motores giren a la iguales RPM, esto se ilustra en la Fig. 9.

Tabla 1. Set de instrucciones para Controlador de Rutinas de Movimiento.

Sel<1>	Sel<0>	VARIABLE A MODIFICAR
0	0	Secuencia de movimiento
0	1	Nivel de dcM1
1	0	Nivel de dcM2
1	1	Nivel de dcM3

Tabla 2. Set de instrucciones para Controlador de Rutinas de Movimiento.

Op<2> >	Op<1> >	Op<0>	DIRECCION DE DESPLAZAMIENTO
0	0	0	Adelante
0	1	0	Atrás
0	1	1	Giro Anti horario
1	0	0	Giro Horario
1	0	1	Derecha
1	1	0	Izquierda
1	1	1	Diagonal

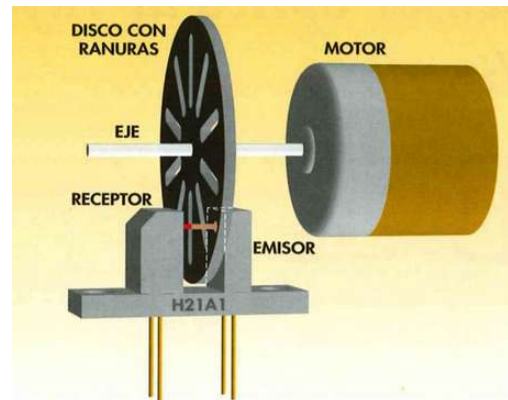


Fig. 9. Sistema de medición de RPM usando detectores de corte.

El disco del encoder usado tiene 20 ranuras, y se definió un tiempo de 500ms para la verificación del conteo, con lo que el valor de las RPM se obtiene de la ecuación 1:

$$RPM = \frac{\frac{CP}{500 \text{ ms}} * 1 \text{ Rev}}{\frac{21 \text{ pasos}}{1 \text{ s}}} * 1000 \text{ ms} * 60 \text{ s} = CP * 5.71(1)$$

### C. Algoritmo del compensador

El algoritmo para efectuar la compensación con el controlador se resume en los siguientes pasos: menciona a continuación:

- 1- Verifica el valor mayor, menor e intermedio de las 3 RPM medidas.
- 2- El controlador varía el ciclo de trabajo del menor valor hasta que las RPM se aproximen al valor intermedio
- 3- Se repite el mismo proceso para el mayor valor medido hasta alcanzar igual punto de equilibrio.
- 4- Se ejecuta nuevamente el calculo de las RPM y se repite la rutina.

#### D. Etapa de potencia

La última de las etapas es la de potencia, ya que las señales de control no pueden impulsar la suficiente corriente para mover los motores, se hace uso de un driver integrado basado en el IC L293D con el que se puede impulsar hasta 1A de corriente suficiente para las demandas de cada motor utilizado.

#### E. Implementación Física

La figura 10 muestra un esquema de la implementación física, se observa que todo el sistema usa una alimentación de 9V provistas por tres baterías, la figura 11 muestra las salidas de los canales de PWM, con sus ciclos de trabajo para uno de los movimientos del robot.

### VI. INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO PARA LA INTERACCIÓN M2P

Usando código JavaScript [6] embebido en HTML se implementó una página web usada como interfaz gráfica de usuario para la interacción con el robot.

La trayectoria se define a partir de 3 tramos: recorrido1, recorrido2 y recorrido3, a cada uno se le asigna una duración por medio de un textbox y un sentido de desplazamiento por medio de un combobox como se muestra en la Fig. 12, finalmente para enviar el comando se pulsa el botón ejecutar en la GUI, también el controlador envía cada 500ms la actualización de las velocidades promedio para los tres rodamientos que se muestran en la parte inferior de la GUI.

### VII. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Una vez ensamblada toda la unidad se pudo probar su operación y fueron observables ligeros desplazamientos producto del deslizamiento en la superficie del piso, lo cual era de esperarse debido a la rugosidad del material de los rodamientos, el error obtenido fue del 6% y variables según el piso donde se evaluó la unidad, este error podrá compensarse con la capa de telemetría que se presentará en futuros trabajos.

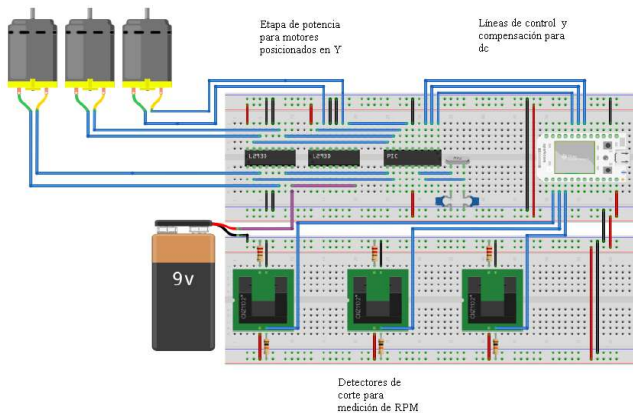


Fig. 10. Implementación en físico de controlador.

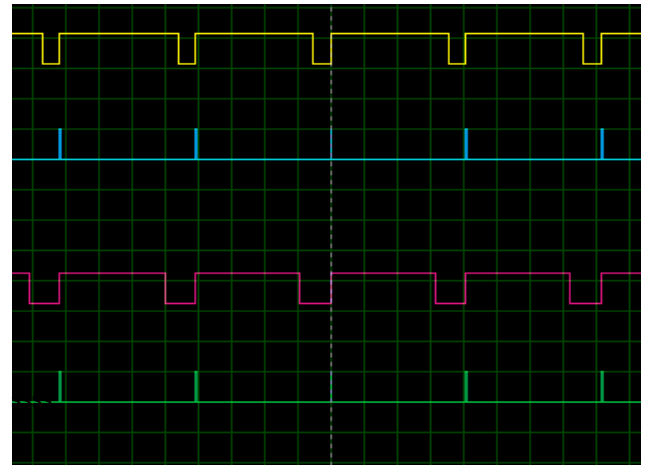


Fig. 11. Respuesta del controlador de Robot Móvil compensado para mover dos motores en la misma dirección

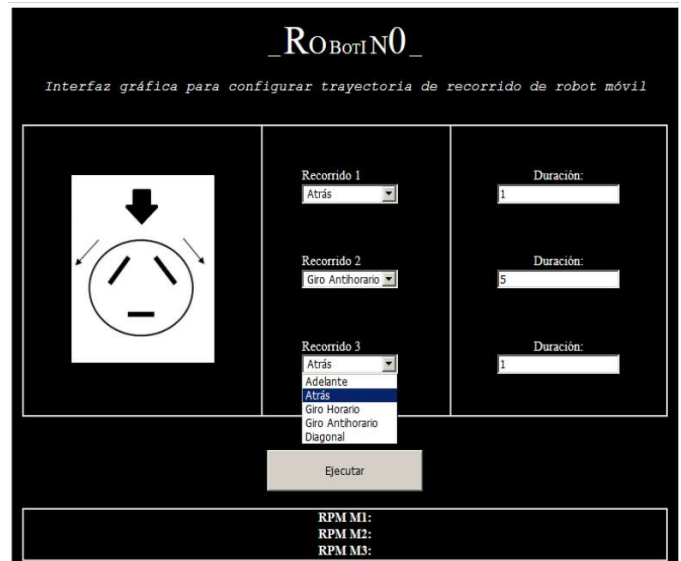


Fig. 12. GUI usada para la interacción P2M.

Se observó además que para algunas combinaciones de velocidades de movimiento los motores presentan diferencias en su velocidad, debido a diferencias en su proceso de fabricación lo que abona a los errores registrados.

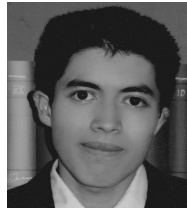
El prototipo en general ya para fines de producción en masa no supera los US\$100 y tiene la capacidad de poder actualizarse o programarse en bajo nivel o con la interfaz de usuario.

La solución al poder contar con un controlador actualizable y basado en módulos IoT, permitirá de manera fácil agregar nuevas funciones y herramientas, por lo que la solución brinda la versatilidad que se requiere para procesos académicos y de investigación.

Para trabajos que ya están en ejecución se incorporará la función de telemetría, una cámara/ sensor para evaluar visión por computadora y una capa de herramientas a fin de expandir las funciones que pueda ejecutar el robot.

## REFERENCIAS

- [1] Noé Pérez, Rafael Ramón, Luis Merino, “Navegación Local De Un Robot Móvil con costes Sociales Aprendidos por Demostración”, Universidad de Sevilla, 2014.
- [2] The Internet of Things (IoT) Overview, disponible en: <http://www.internetsociety.org/doc/iot-overview>
- [3] Internet of Everything, disponible en: <http://hipertextual.com/archivo/2014/04/fog-computing/>
- [4] Qué es el “Fog Computing” o computación en la niebla [http://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/about/ac79/docs/IoE/IoE-AAG.pdf](http://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/IoE/IoE-AAG.pdf)
- [5] Robotino Festo, disponible en: <http://www.festo-didactic.com/int-es/servicios/robotino/>
- [6] HTML JavaScript, disponible en: [http://www.w3schools.com/html/html\\_scripts.asp](http://www.w3schools.com/html/html_scripts.asp)
- [7] ¿Qué es una señal modulada por ancho de pulso (pwm) y para qué es utilizada? disponible en: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/AA1BDEA4AA224E3E86257CE400707527>
- [8] Documentación de Spark Core disponible en: <https://docs.particle.io/guide/getting-started/intro/core/>
- [9] Diseño asistido por computadora CAD, diseño de representaciones gráficas[Online][http://www.plm.automation.siemens.com/es\\_mx/plm/cad.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/es_mx/plm/cad.shtml)
- [10] Manufactura integrada por computadora CAM, uso de aplicaciones del software, creando instrucciones detalladas (código -G) que conduce las maquinasCNC[Online][http://www.plm.automation.siemens.com/es\\_mx/plm/cam.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/es_mx/plm/cam.shtml)
- [11] Video sobre tutorial de ensamble diseño complejo [Online]<https://www.youtube.com/watch?v=fKaDp1CgT7U>
- [12] Shunzhou Wang, Huailin Zhao, Xuyao Hao, “Design of an intelligent housekeeping robot based on IOT”, 2015 International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences (ICIIBMS),197 - 200, 28-30, Nov. 2015.
- [13] Kim, Byung-Chul; “A Internet of Things(IoT) based exploration robot design for remote control and monitoring”, Journal of Digital Convergence, Volume 13, Issue 1, 2015, pp.185-19.
- [14] Marjo Heikkilä, Sikke de Jong, Christiaan Elsinga; “Experimenting Industrial Internet with a mobile robot: Expanding human cognitive functions”, Cognitive Infocommunications (CogInfoCom), 2015 6th IEEE International Conference on, 19-21 Oct. 2015, pp.51-56.
- [15] Yinong Chen, Zhizheng Zhou; “Robot as a Service in Computing Curriculum”, 2015 IEEE Twelfth International Symposium on Autonomous Decentralized Systems, 25-27 March 2015, pp.156 – 161.
- [16] Dominique Guinard, Vlad Trifa, “Building the Web of Things: With examples in Node.js and Raspberry Pi,” Manning Publications; 1 edition, June 18, 2016, ISBN-13: 978-1617292682.
- [17] Thomas Bräunl, “Embedded Robotics: Mobile Robot Design and Applications with Embedded Systems” Springer; 3rd ed. 2008, ISBN-13: 978-3540705338
- [18] Alonzo Kelly, “Mobile Robotics: Mathematics, Models, and Methods”, Cambridge University Press; 1 edition, November 11, 2013, ISBN-13: 978-1107031159
- [19] M. Groover, E. Zimmers, “CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing”, Prentice Hall; 1 edition, December 11, 1983, ISBN-13: 978-0131101302



**Alberto Marroquín** se graduó de bachiller técnico vocacional en electrónica en el colegio Joyas de Ceren, El Salvador, en el 2011. Ha recibido el curso de “Introduction to the Internet of Everything” de Cisco en 2016, Actualmente cursa el 5to año de Ingeniería electrónica en la Universidad Don Bosco y es instructor de materias de ciencias básicas y escuela de eléctrica.



**Guillermo Domínguez** se graduó de bachiller técnico vocacional en electrónica del Colegio Don Bosco en el Salvador en el 2011, también se graduó en el 2012 de Técnico Universitario en Ingeniería Electrónica en la Universidad Don Bosco de El Salvador. Recibió el curso de “Introduction to the Internet of Everything” de Cisco en 2016. Actualmente cursa el 5to año de Ingeniería Electrónica en la Universidad Don Bosco.



**Adalberto Gómez:** Nació en la ciudad de Tonacatepeque, San Salvador, El Salvador, el 29 de enero de 1990, se graduó de la Universidad Don Bosco, como Técnico en Ingeniería Electrónica, además sigue estudios de Ingeniería en Automatización. La experiencia laboral en la Universidad Don Bosco, Soyapango, en el Instituto de Investigación e Innovación en Electrónica como encargado de soporte electrónico y docencia, donde realiza diseños y prototipos con máquinas Router, además implementación de diseños y realización de PCB (Tarjeta de circuitos impresos). También en investigación en diseños y prototipos de vehículo aéreo no tripulado (UAV). Es docente de Electrónica de potencia e Interfaces con Arduino basada en una placa con un microcontrolador Atmel AVR con el conocimiento del lenguaje de programación Processing/Wiring.



**Carlos Bran:** Director del Instituto de Investigación e Innovación en Electrónica, Graduado de Ingeniero Electricista, Postgrado en Gestión Tecnológica, Maestría en Investigación en Tecnologías de la información y estudios Doctorales en el Centro Singular de Investigación en Tecnologías de la Información CITIUS. Experiencia laboral incluye empresas como Dymel, Dynamo, AT&T, diversas compañías en el área de las telecomunicaciones, Decano de la facultad de ingeniería de la Universidad Don Bosco Director del programa Cisco Networking Academy, entre otras.

Profesor de sistemas embebidos, diseño electrónico, redes de computadoras y seguridad informática, los intereses de investigación incluyen áreas relacionadas con los sistemas embebidos, Internet de las Cosas, diseño de ASIC, protocolos de comunicación, sistemas paralelos, energy harvesting y visión por computadora.