

# CONTROL DE INVENTARIO DE MÁQUINAS EXPENDEDORAS DE PRODUCTOS USANDO IoT

J. I. Vega-Luna<sup>1</sup>, M. A. Lagos-Acosta<sup>1</sup>, G. Salgado-Guzmán<sup>1</sup>, J. F. Cosme-Aceves<sup>1</sup>, F. J. Sánchez-Rangel<sup>1</sup>, V. N. Tapia-Vargas<sup>1</sup>.

**Resumen**—Se presenta un sistema cuyo objetivo fue acceder el inventario de máquinas expendedoras de productos usando IoT. Se implantó una red compuesta por cinco nodos usando tecnología de comunicación inalámbrica Long Range. En cada máquina expendedora se instaló un nodo. Los nodos están integrados por un controlador ESP8266, un transceptor inalámbrico y la interfaz electrónica a la máquina expendedora. Uno de los nodos funciona como maestro de la red y el resto como esclavos. Los esclavos reportan al maestro la cantidad de productos disponibles en cada máquina. Desde una computadora conectada a la Internet se puede acceder el inventario de cada máquina. Cuando la cantidad de un producto alcanza el mínimo configurado, el maestro transmite un mensaje al teléfono móvil de mantenimiento de las máquinas. Las pruebas de comunicación realizadas mostraron que el alcance de la red fue 7.2 Kilómetros sin línea de vista. Basándose en estos resultados se concluye que el sistema puede usarse en otras aplicaciones de monitoreo remoto de larga distancia.

**Palabras claves**—Inalámbrica, inventario, IoT, Long Range, máquinas expendedoras.

**Abstract**—This paper presents a system whose objective was to access the inventory of product vending machines using IoT. A network consisting of five nodes was implemented using Long Range wireless communication technology. A node was installed on each vending machine. The nodes are integrated by an ESP8266 controller, a wireless transceiver and the electronic interface to the vending machine. One of the nodes functions as a network master and the rest as slaves. Slaves report to the master the quantity of products available on each machine. The inventory of each machine can be accessed from a computer connected to the Internet. When the quantity of a product reaches the configured minimum, the master transmits a message to the mobile maintenance telephone of the machines. The communication tests carried out showed that the network's reach was 7.2 Kilometers without line of sight. Based on these results, it is concluded that the system can be used in other remote long distance monitoring applications.

**Keywords**—Inventory, IoT, Long Range, vending machines, wireless.

## I. INTRODUCCIÓN

Una máquina expendedora de productos, o vending machine (VM) en inglés, es una máquina que proporciona una variedad de productos. Su función es vender sin la presencia de un empleado. Tiene como objetivo automatizar la venta de artículos para disminuir costos y tiempo, usando la tecnología para vender más con bajo costo de operación. Se encuentran instaladas en casi cualquier lugar como por ejemplo escuelas, hospitales, centros comerciales, aeropuertos y lugares de trabajo. En su aparición, se utilizaban para la venta de golosinas, bebidas y artículos pequeños. Actualmente, las VM expenden una variedad de productos como los son: artículos electrónicos, libros, boletos de transporte y renta de otros artículos [1].

Con el desarrollo de la tecnología en telecomunicaciones y sistemas digitales, las VM representan la tercera forma de ventas y consumo más grande del mundo, reemplazando a una cantidad importante de canales de distribución tradicionales. Las VM incorporan cada vez más tecnología como luces led, pantallas táctiles de alta definición y altavoces estéreo para interactuar con el usuario. Esto ha permitido mejorar la publicidad integrando herramientas de mercadeo. Algunas VM entregan gratis productos a cambio de una acción, como por ejemplo un “me gusta” en la página de Facebook de un vendedor. Ya que la ventaja principal de una VM es su disponibilidad y la de los productos que entrega, la falta de un producto y/o el mal funcionamiento de la máquina trae como consecuencia clientes insatisfechos o la pérdida de ganancias [2].

En la actualidad, las VM son dispositivos electro-mecánicos que solo necesitan la intervención de un empleado para suministrar productos y efectivo o realizar labores de mantenimiento. Comúnmente, el ciclo de operación es el siguiente: 1) Abastecimiento de la máquina con artículos y efectivo, 2) El cliente compra los productos, 3) Se programa la recarga y mantenimiento, 4) Se determinan los productos de mayor demanda, 5) Se embarcan los productos a recargar y 6) Se realiza la recarga y mantenimiento.

A pesar de que la recarga y mantenimiento son periódicos, las tareas de surtir artículos agotados y reparar fallas de funcionamiento son reactivas. De manera similar, algunas acciones, como por ejemplo determinar los productos de mayor demanda para optimizar las ventas es

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Departamento de Electrónica, Área de Sistemas Digitales, Av. San Pablo 180, Colonia Reynosa, C.P. 02200, Ciudad de México, México.

\* vlji@azc.uam.mx.

una labor que se realiza casi manualmente. Hoy en día, pocos tipos de VM conectan a la Internet, además tienen funcionalidades limitadas. Es necesario que la operación de este tipo de máquinas sea supervisada remotamente para llevar cabo acciones preventivas que afecten su operación [3].

Este trabajo se realizó por requerimiento de una empresa propietaria de máquinas expendedoras. Se solicitó realizar una red de cinco máquinas expendedoras conectadas a la Internet para poder determinar remotamente el inventario, si existe alguna falla o falta efectivo en ellas. En caso de que la cantidad de un producto sea el mínimo configurado se debe enviar un mensaje de WhatsApp a un teléfono móvil. La máquina más lejana se ubica a 700 metros del punto de acceso WiFi a la Internet. La instalación de la red no debe modificar ningún componente de las máquinas.

Tomando en cuenta lo solicitado, fundamentalmente el alcance de la red, la tecnología de comunicación indicada debe ser inalámbrica de largo alcance.

Durante los últimos años, ha surgido una variedad de tecnologías de comunicación de radio frecuencia de gran cobertura geográfica, bajo costo y bajo consumo de energía que brindan buena relación costo/beneficio, entre las cuales se encuentran: WiFi, Bluetooth Low Energy (BLE) y LoRa (Long Range). Los transceptores WiFi son de bajo costo, tienen alcance de 15 a 25 metros con línea de vista, proporcionan gran ancho de banda y consumen relativamente una cantidad alta de energía eléctrica [4]. La tecnología BLE tiene alcance de 100 metros nominalmente con línea de vista, proporciona una cantidad mediana de ancho de banda y es de bajo consumo de energía. Por su parte, la tecnología LoRa usa transceptores de bajo costo, proporciona un alcance de varios Kilómetros con línea de vista, tiene un ancho de banda pequeño y es de bajo consumo de energía.

Considerando las características anteriores se usó en este trabajo tecnología inalámbrica LoRa para implantar una red LPWAN (Low Power Wide Area Network) [5]. LoRa es un protocolo abierto desarrollado por LoRa Alliance que permite crear redes LPWAN para el mercado de IoT. El protocolo LoRa define la capa física del modelo OSI o modulación inalámbrica para llevar a cabo la comunicación de larga distancia, usando transceptores de radio de baja potencia que transmiten pequeñas cantidades de información a baja velocidad, logrando mayor tiempo de vida de baterías. Las LPWAN que usan el protocolo LoRa son conocidas como LoRaWAN y son utilizadas por operadores de redes inalámbricas que usan el espectro sin licencia para comunicar dispositivos IoT a través de su red. Las LoRaWAN proporcionan mayor cobertura que las redes inalámbricas celulares. Muchos operadores de redes celulares complementan su oferta de redes inalámbricas/celulares con LoRaWAN ya que se integran

a la infraestructura existente para ofrecer a los clientes soluciones basadas en aplicaciones de IoT alimentadas por baterías [6].

Se pueden implantar soluciones de IoT usando LoRaWAN sin necesidad de tecnologías de transmisión inalámbrica tradicionales como WiFi o celular. Las redes LoRaWAN usan arquitectura de estrella y los nodos establecen el enlace inalámbrico de baja frecuencia con uno o más puertas de enlace conectadas a la Internet. Las puertas de enlace transmiten información a un servidor de red ubicado en la nube, usando una conexión IP estándar, lo cual permite desarrollar e implantar fácilmente redes de IoT. La velocidad de transmisión de una LoRaWAN varía en el rango de 0.3 Kbps a 50 Kbps. Para maximizar la duración de la batería de dispositivos finales y capacidad de la red, el servidor administra la velocidad para cada nodo de la red [7].

Con una puerta de enlace o estación base LoRa se pueden cubrir ciudades completas o áreas de cientos de kilómetros cuadrados. Las LoRaWAN tienen una capacidad de miles de nodos y usan dos capas de seguridad: una para la red y otra para la aplicación. La seguridad de la red sirve para autenticar el nodo y la seguridad en la aplicación garantiza que el operador de la red no tenga acceso a la información de la aplicación del usuario final [8].

La solución aquí presentada consistió de una LPWAN compuesta por seis nodos. En cada una de las cinco VM se instaló un nodo el cual trabaja como esclavo en la red. El sexto nodo funciona como maestro de la red. Los nodos esclavo se implantaron usando la tarjeta Huzzah 8266. Las funciones de los nodos esclavo son transmitir al nodo maestro la cantidad restante de un producto cada vez que se realice la venta de alguno de ellos y el código de falla o error reportado por la VM correspondiente. Por su parte, el papel del nodo maestro es implantar el servidor y página web desde la cual se visualiza el inventario y código de falla de cada máquina, así como transmitir el mensaje de alerta de WhatsApp cuando la cantidad de un producto alcanza el mínimo. La comunicación entre los nodos de la LPWAN se realiza usando tecnología LoRa, mientras que la conexión de la red a la Internet se lleva a cabo utilizando comunicación WiFi.

Durante los últimos años, las investigaciones y aplicaciones con VM se han enfocado en tres líneas: 1) Desarrollo de algoritmos de operación; 2) Interfaces de usuario y 3) Uso de telecomunicaciones y monitoreo remoto. En cuanto a la primera línea de investigación, los trabajos recientes han planteado el uso de algoritmos usados para determinar estadísticamente la tendencia en el consumo de productos considerando la ubicación de la VM y tipo de productos ofertados [9]. Se han incorporado tecnologías recientes para implantar interfaces de usuario interactivas con sistemas basados en CPU, GPU y FPGA

para reconocimiento de rostros y recomendación de productos [10]. Respecto al monitoreo remoto, se han realizado redes de VM móviles utilizando comunicación inalámbrica, programación distribuida y redes neuronales que permiten a los usuarios ver la ubicación de las máquinas en un mapa de una aplicación en un teléfono inteligente [11] o creando VM inteligentes con: sistemas embebidos y sensores de última tecnología para mejorar los mecanismos en la seguridad en los pagos [12], algoritmos de clasificación y detección de productos usando visión por computadora, procesamiento digital de imágenes y técnicas de aprendizaje profundo [13] y manejo de productos grandes como por ejemplo las VM empleadas en algunos países para la venta de automóviles [14].

Por otra parte, el uso de la tecnología LoRa en aplicaciones de IoT ha crecido rápidamente los últimos tiempos. Se ha empleado esta tecnología en diversas áreas de la vida humana y la sociedad entre las que se encuentran: el monitoreo de variables y dispositivos en granjas y campos agrícolas [15], en edificios y casas inteligentes [16], en procesos industriales [17], en medicina y cuidado de la salud [18] y en ciudades eléctricas para medida de uso y consumo de energía eléctrica [19] y calidad del aire [20].

Basándose en lo anteriormente expuesto, no se ha realizado hasta ahora una aplicación de IoT similar a la desarrollada en este trabajo. El ciclo de operación, supervisión, mantenimiento y abastecimiento de VM continúa siendo, en su mayor parte, manual, lo que impacta negativamente en las ventas. Algunas soluciones conectan la máquina, a través de la Internet, a una computadora, instalada y operada por el propietario de la VM, mediante la cual se recibe el inventario al final del día, lo que implica costos e información desactualizada. Los beneficios de la aplicación aquí desarrollada son los siguientes: 1) La instalación no es intrusiva, usa comunicación inalámbrica y no modifica el funcionamiento ni arquitectura de la máquina expendedora; 2) Fue programada usando bibliotecas de funciones de libre uso y código abierto, lo cual reduce el tiempo y complejidad de la implantación; 3) Usa una plataforma de IoT en la nube de reciente creación que proporciona el servicio de mensajería oportunamente sin costo adicional y 4) Proporciona remotamente en línea el inventario y código de falla, en caso de presentarse, de las máquinas de la red.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El desarrollo de este trabajo consistió en dividirlo en dos partes: la LPWAN y la interfaz de usuario como se indica en el diagrama funcional de la Figura 1.

### A. La LPWAN

La red LPWAN está compuesta por cinco nodos esclavo y un nodo maestro. En la Figura 2 se muestra la arquitectura de los nodos esclavo, los cuales están integrados por los elementos siguientes: una tarjeta Huzzah 8266, una interfaz con la máquina expendedora y un transceptor LoRa.

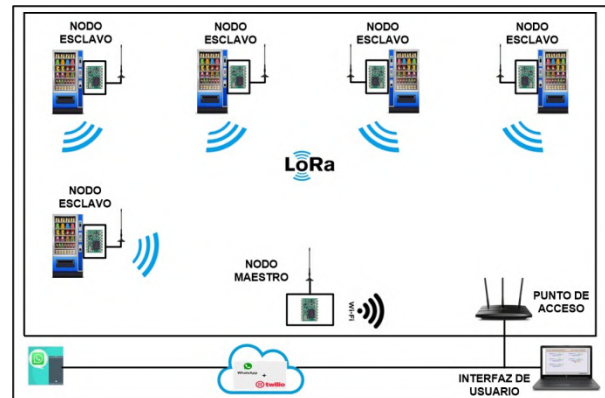


Figura 1. Diagrama funcional del sistema

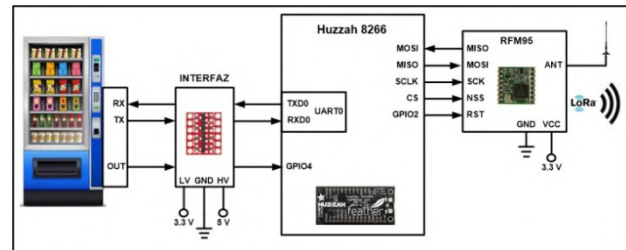


Figura 2. Arquitectura de los nodos esclavo

La tarjeta HUZAZH contiene el procesador ESP 8266, el cual integra: un microcontrolador cuya frecuencia de trabajo es 80 MHz, Memoria Flash de 4 MB, Interfaz WiFi 802.11 b/g/n, 9 terminales GPIO de entrada/salida de propósito general, un puerto I<sup>2</sup>C, un puerto SPI y dos puertos UART.

Las VM tienen un conector a través del cual proporcionan dos salidas. Por medio de la terminal OUT suministran un pulso activo bajo indicando el momento de la entrega de un producto o que la máquina se encuentra en estado de falla o error y por medio de la terminal TX proporcionan, en forma serie, el código del producto vendido, la cantidad restante del producto o el estado de falla o error. Este último puede ser por ejemplo: atasco de un producto o falta de efectivo o de un producto, entre otros. Ya que el nivel alto de voltaje de las terminales TX, RX y OUT de las máquinas es 5 V, se utilizó como interfaz, entre la máquina y la tarjeta Huzzah 8266, el circuito convertidor de nivel lógico bidireccional,

conectándolas al UART0 y a la terminal GPIO4 de la Huzzah 8266 cuyo nivel alto de voltaje es 3.3 V.

El transceptor LoRa usado en los nodos esclavo es el circuito RFM95. Este dispositivo cuenta con una interfaz SPI y sus características principales de operación son las siguientes: alimentación de 3.3 V, potencia de salida de +5 a +20 dBm hasta 100 mW, consumo de corriente ~100 mA durante la transmisión y ~30 mA durante la escucha activa, alcance 2 Km con línea de vista con antenas unidireccionales sintonizadas o hasta 20 Km usando antenas direccionales, velocidad de transmisión RF de 0.018 a 37.5 Kbps y velocidad de transmisión del SPI de hasta 300 Kbps. Por medio del puerto SPI, el transceptor RFM95 puede controlarse desde un host externo. El host implanta la interfaz de comunicación entre ambos dispositivos usando un protocolo maestro/esclavo. En este trabajo el host externo es el controlador de la tarjeta HUZAZH que realiza las funciones de maestro y el transceptor RFM95 las de esclavo. La interfaz tiene dos tipos de mensajes: paquetes de comando y paquetes de respuesta. El maestro siempre envía paquetes de comando, mientras que el esclavo siempre transmite paquetes de respuesta. Cuando el maestro envía un paquete debe esperar que el esclavo envíe un paquete de respuesta antes de transmitir otro paquete de comando. El transceptor RFM95 es un esclavo y no puede iniciar una transacción con el maestro. Los paquetes de comando consisten de los siguientes campos: preámbulo (4 bytes), inicio de trama (1 byte), tipo de comando (1 byte), número de mensaje (1 byte), longitud del mensaje (2 bytes), mensaje (hasta 256 bytes) y checksum para verificar la integridad del paquete (2 bytes). En los nodos esclavo el puerto SPI del transceptor RFM95 se conectó al puerto SPI de la tarjeta Huzzah 8266. Para lograr el alcance requerido de la red, el transceptor RFM95 de los nodos usa una antena exterior de ganancia tipo Omni Lora de 915 MHz cuyas características son las siguientes: ganancia 8 dBi, conector tipo N hembra, impedancia 50 ohms y longitud 1,145 mm.

La programación de la tarjeta Huzzah 8266 de los nodos esclavo se realizó usando el ambiente de desarrollo de Arduino IDE y ejecuta las siguientes acciones: configura las terminales GPIO, inicializa los puertos SPI y UART0 así como el transceptor RFM95 y entra a un ciclo continuo donde espera la interrupción de la terminal GPIO4, proveniente del pulso de salida activo bajo de la máquina expendedora, o del puerto SPI, proveniente del nodo maestro. La rutina de servicio de la interrupción de la terminal GPIO4 realiza la lectura de la información recibida en el puerto UART0 que indica el código del producto vendido o código de falla o error, proporcionado por la VM, y transmite al nodo maestro, por medio del transceptor LoRa RFM95, la información anterior. La rutina de servicio de la interrupción del puerto SPI lleva a cabo las actividades siguientes: recibe del nodo maestro el

número de máquina a la cual debe solicitar el inventario de productos, solicita y recibe el inventario y lo transmite al nodo maestro. Para implantar las actividades anteriores se utilizaron las bibliotecas siguientes de código abierto: *RH\_RF95.h* para realizar la comunicación de la tarjeta Huzzah 8266 con el RFM95 y *SPI.h* para desarrollar la rutina de interrupción del puerto SPI.

El nodo maestro está compuesto una tarjeta Huzzah 8266 y el transceptor LoRa. La programación de la tarjeta Huzzah 8266 del nodo maestro se realizó usando el ambiente de desarrollo de Arduino IDE. El programa principal lleva a cabo las siguientes acciones: configura la terminal GPIO2, inicializa el puerto SPI y la interfaz WiFi e invoca la función que implanta el servidor web. El programa principal puede ser interrumpido por la recepción de la información transmitida por las máquinas expendedoras recibida a través del transceptor LoRa RFM95.

La rutina de servicio de la interrupción realiza las tareas siguientes: lee la información recibida en el puerto SPI, si la cantidad del producto es igual o menor a la cantidad mínima configurada, transmite el mensaje de alerta de WhatsApp, el nombre y cantidad del producto al teléfono móvil a través de la plataforma de servicios Twilio. Si el código de falla es diferente a 0, transmite en un mensaje de WhatsApp la descripción de la falla o error. Además de las bibliotecas de funciones de código abierto usadas en los nodos esclavo, en la programación del nodo maestro se emplearon las bibliotecas siguientes: *ESP8266WiFi.h* para realizar la comunicación con la interfaz WiFi y *ESP8266WebServer.h* para implantar el servidor web.

#### B. La interfaz de usuario

La interfaz de usuario es una página creada con HTML mostrada por el servidor web. Cuando el usuario selecciona en la interfaz la VM cuyo inventario desea visualizar, el servidor web transmite al nodo esclavo correspondiente el mensaje de solicitud de inventario para mostrarlo en la página. El botón *Configuración* de la interfaz permite configurar los parámetros de operación siguientes: número del teléfono móvil, código, nombre y cantidad mínima de productos y descripción de códigos de falla o error. En la Figura 3 se muestra la página principal de la interfaz de usuario.

### III. RESULTADOS

Una vez construida la red y verificada la comunicación con el punto de acceso, se configuraron los parámetros de operación en la interfaz de usuario y se probó el funcionamiento del sistema completo. Las cinco máquinas vendieron productos diferentes y la interfaz de usuario mostró el inventario correctamente. También se agotaron algunos productos y efectivo y se atascaron despachadores de productos, reportando la interfaz los eventos y transmitiendo los mensajes de alerta de WhatsApp. No se

presentaron problemas en la comunicación entre los nodos de la LPWAN. La distancia entre el nodo esclavo más lejano y el nodo maestro son 700 metros.

Ya que la señal transmitida por los nodos sufre interferencia y es difractada o absorbida en el medio, el alcance de la misma depende del valor de potencia establecida en el transceptor LoRa, factores ambientales y obstáculos en la ruta de señal. Las pruebas anteriores se realizaron bajo las siguientes condiciones: sin línea de vista entre los nodos, el valor de potencia de transmisión RF configurado en el transceptor RFM95 fue 20 dBm-100 mW, frecuencia de RF 915 MHz, ancho de banda BW 125 KHz y la temperatura y humedad del ambiente 22 °C y 14 %, respectivamente.

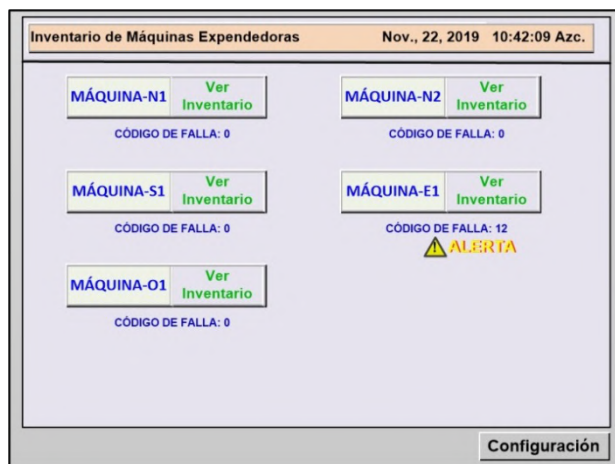


Figura 3. Interfaz de usuario

Para determinar el alcance de la LPWAN se llevó a cabo un segundo grupo de pruebas. En la realización de estas pruebas se ubicó un nodo esclavo a diferentes distancias del nodo maestro sin línea de vista. En cada ubicación se solicitó mostrar el inventario de la VM asociada al nodo en la interfaz de usuario. Los resultados de estas pruebas indicaron que el alcance de la red LPWAN es 7.2 Kilómetros sin línea de vista. A distancias mayores se perdió el enlace entre el nodo esclavo y el nodo maestro. En este grupo de pruebas se realizó y se ejecutó un programa en el nodo maestro para mostrar el valor del indicador de potencia de la señal recibida (RSSI-Received Signal Strength Indication) en el IDE de Arduino. Los resultados mostraron que la atenuación del valor de RSSI disminuye considerablemente después de 7.2 Kilómetros y continua haciéndolo constantemente hasta que la comunicación se pierde a 8 Kilómetros, como se indica en la gráfica de la Figura 4. En caso de usar este sistema en un lugar con diferentes condiciones ambientales, es recomendable realizar estas pruebas para determinar las limitaciones en el alcance.

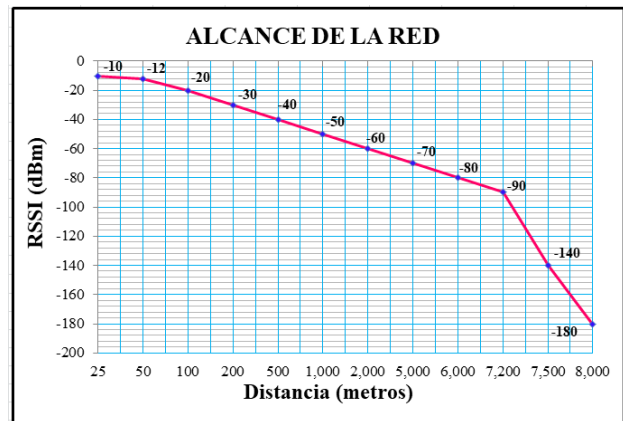


Figura 4. Alcance de la red LoRa

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

A partir de los resultados logrados se obtuvieron las conclusiones siguientes: 1) La instalación de la red no es intrusiva, ya que no es necesario instalar cableado adicional tanto para implantar la LPWAN como para acceder a la Internet; 2) El alcance de 7.2 Kilómetros, es mayor al que puede obtenerse usando otras tecnologías inalámbricas tradicionales; 3) La aplicación aquí presentada puede usarse en otros ambientes donde sea necesario llevar el control de inventario, los nodos esclavo solo necesitan como entrada el pulso activo bajo y recibir en forma serie el código y cantidad restante del producto y 4) Pueden adicionarse funcionalidades a los nodos esclavo como por ejemplo, integrar una pantalla táctil y una cámara para reconocimiento facial e interactuar con el usuario con propósitos de mercadeo y publicidad.

Si es necesario incrementar el alcance de la red, se recomienda integrar nodos esclavo en los cuales el transceptor LoRa se configure como repetidor o extensor de la red, para lo cual existen bibliotecas de código abierto.

#### V. REFERENCIAS

- [1] Semenov, V. P.; Chernokulsky, V. y Razmochaeva, N. (2017). "The cashless payment device for vending machines — Import substitution in the sphere of vending", in Proceedings International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies".
- [2] Kulmukhanova, N.; Daribay, A. y Temirtayev, I. (2018). "ZhardEM Medicine Vending Machine", in Proceedings International Conference on Computing and Network Communications (CoCoNet).
- [3] Asyhari, M. W.; Sigit, R. y Sukaridhoto, S. (2019). "Vending Machine Monitoring System Integrated with Webservice", in Proceedings International Electronics Symposium (IES).
- [4] Rubio, E. (2016). "Innovative wireless technologies for real-time rotational molding processes optimization", IEEE Latin America Transactions, Vol. 14, Issue: 1, pp. 78-82.
- [5] Lu, C.; Saifullah, A. y Li, B. (2016). "Real-Time Wireless Sensor-Actuator Networks for Industrial Cyber-Physical Systems", Proceedings of the IEEE, Vol. 104, Issue: 5, pp. 1013-1024.

- [6] Raza, U.; Kulkarni, P. y Sooriyabandara, M. (2017). "Low Power Wide Area Networks: An Overview", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 19, Issue: 2, pp. 855-873.
- [7] Lee, H. C. y Ke, K. H. (2018). "Monitoring of Large-Area IoT Sensors Using a LoRa Wireless Mesh Network System: Design and Evaluation", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 67, Issue: 9, pp. 2177-2187.
- [8] Georgiou, O. y Raza, U. (2017). "Low Power Wide Area Network Analysis: Can LoRa Scale?", IEEE Wireless Communications Letters, Vol. 6, Issue: 2, pp. 162-165.
- [9] Ahmadi, B.; Choudhuri, C. y Simeone, O. (2014). "Cascade Source Coding With a Side Information Vending Machine", IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 60, Issue: 11, pp. 6888-6901.
- [10] Siebenhandl, K.; Schreder, G. y Smuc, M. (2013). "A User-Centered Design Approach to Self-Service Ticket Vending Machines", IEEE Transactions on Professional Communication.
- [11] Longzhang, S.; Changjun, Q. y Xiaoyan, W. (2019). "Design of removable vending machine and research on the key implementation technology", The Journal of Engineering, Vol. 2019, Issue: 13, pp. 402-405.
- [12] Wyglinski, A. M.; Huang, X. y Padir, T. (2013). "Security of Autonomous Systems Employing Embedded Computing and Sensors", IEEE Micro, Vol. 33, Issue: 1, pp. 80-86.
- [13] Zhang, H.; Li, D. y Ji, Y. (2019). "Towards New Retail: A Benchmark Dataset for Smart Unmanned Vending Machines", IEEE Transactions on Industrial Informatics, Early Access Article, Date of Publication: 21 November 2019, DOI: 10.1109/TII.2019.2954956.
- [14] Vehicular vending machine [The Big Picture] IEEE Spectrum, Volume: 47, Issue: 5 | Magazine Article | Publisher: IEEE
- [15] Benaissa, S.; Plets, D. y Tanghe, E. (2017). "Internet of animals: characterisation of LoRa sub-GHz off-body wireless channel in dairy barns", Electronics Letters, Vol. 53, Issue: 18, pp. 1281-1283.
- [16] Xu, W.; Zhang, J. y Kim, J. Y. (2019). "The Design, Implementation, and Deployment of a Smart Lighting System for Smart Buildings", IEEE Internet of Things Journal, Vol. 6, Issue: 4, pp. 7266-7281.
- [17] Leonardi, L.; Battaglia, F. y Lo Bello, L. (2019). "RT-LoRa: A Medium Access Strategy to Support Real-Time Flows Over LoRa-Based Networks for Industrial IoT Applications", IEEE Internet of Things Journal, Vol. 6, Issue: 6, pp. 10812-10823.
- [18] Wu, F.; Redouté, J. M. y Yuce, M. R. (2018). "WE-Safe: A Self-Powered Wearable IoT Sensor Network for Safety Applications Based on LoRa", IEEE Access, Vol. 6, pp. 40846-40853.
- [19] De Castro-Tomé, M.; Nardelli, P. H. J. y Alves, H. (2019). "Long-Range Low-Power Wireless Networks and Sampling Strategies in Electricity Metering", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 66, Issue: 2, pp. 1629-1637.
- [20] Zhao, L.; Wu, W. y Li, S. (2019). "Design and Implementation of an IoT-Based Indoor Air Quality Detector With Multiple Communication Interfaces", IEEE Internet of Things Journal,

y redes de computadoras. El Ing. Lagos realiza investigación con redes de computadoras.



Salgado realiza aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y sistemas operativos. El Ing. Salgado realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.

**Salgado-Guzmán Gerardo.** Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1992. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y sistemas operativos. El Ing. Salgado realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.



Cosme realiza investigación con sistemas embebidos y seguridad en redes de computadoras.

**Cosme-Aceves José Francisco.** Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1985. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Su línea de trabajo es lenguajes de descripción de hardware. El Ing. Cosme realiza investigación con sistemas embebidos y seguridad en redes de computadoras.



Sánchez-Rangel realiza aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores.

**Sánchez-Rangel Francisco Javier.** Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1987. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1999. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores.

**Tapia-Vargas Víctor Noé.** Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1987. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1999. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores.

## VI. BIOGRAFÍA



aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y sistemas operativos. El M. en C. Vega realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.

**Vega-Luna José Ignacio.** Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1985. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1990. Labora actualmente en el área de Sistemas Digitales del Departamento de electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son:



aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores

**Lagos-Acosta Mario Alberto.** Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1992. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: