

SISTEMA PARA EL MONITOREO REMOTO DE COLONIAS DE ABEJAS MELÍFERAS

Dora Ofelia Rodríguez Martínez

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Torreón
dora_ofelia@yahoo.com

José Luis Ibarra Casiano

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Torreón
icanet2006@hotmail.com

María Estela Rodríguez Torres

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Torreón
e_rodriguez1977@hotmail.com

Karina Esquivel Murillo

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Torreón
kem_1885@hotmail.com

Francisco Javier Ruiz Ortega

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Torreón
ruiz6812@hotmail.com

Resumen

Las abejas son muy importantes para el equilibrio del ecosistema y sobre todo, para la subsistencia de muchos cultivos, debido a su capacidad para polinizar las flores. Actualmente, las poblaciones de abejas melíferas están disminuyendo debido al desorden del colapso de la colonia, las razones no se conocen completamente, el monitoreo remoto de la colmena es esencial para obtener toda la información posible sobre las condiciones ambientales que la rodean. Por otra

parte, es importante llevar a cabo la recolección de información utilizando las nuevas tecnologías para no perturbar las condiciones de trabajo de las abejas y obtener datos más confiables. Se ha instalado una red de sensores que cumplen con este requisito, a través de un sistema de monitoreo remoto, basado en un modelo jerárquico de dos niveles formado por el nodo inalámbrico y un servidor local. El sistema para el monitoreo de variables físicas dentro y fuera de una colmena es completamente escalable, en cuanto a sensores y colmenas, logrando con ello monitorear diferentes puntos dentro y fuera de ella, almacenando datos de temperatura y humedad relativa. De manera que los investigadores y apicultores pueden acceder al servidor de datos para averiguar la condición de sus colmenas en tiempo real.

Palabra(s) Clave: Apicultura de precisión; Monitoreo de colonias de abejas; Sensor inalámbrico.

Abstract

Bees are very important for the balance of the ecosystem and especially for the subsistence of many crops, due to their ability to pollinate flowers. At present, honey bee populations are declining due to collapse disorder of the colony, reasons are not fully understood, remote monitoring of the hive is essential to obtain all possible information about the surrounding environmental conditions. On the other hand, it is important to carry out the collection of information using the new technologies so as not to disturb the working conditions of the bees and obtain more reliable data. We have installed a network of sensors that meet this requirement, through a remote monitoring system, based on a hierarchical two-level model formed by the wireless node and a local server. The monitoring system is a low-cost, fully scalable, number and types of sensors, number of hives and their geographical distribution. Unlike other systems monitoring at a single point in a hive, the system we present monitors and stores the temperature and relative humidity of the hive at three different points. Researchers and beekeepers can access the data server to find out the condition of their hives in real time.

Keywords: *Monitoring of bee colonies, Precision beekeeping, Wireless sensor.*

1. Introducción

Los insectos polinizadores son esenciales para los ecosistemas y los agricultores. Aseguran el mantenimiento de ciertos procesos ambientales, tales como reproducción. Las abejas son los insectos polinizadores más especializados debido a su capacidad para transportar y almacenar polen eficientemente [Patricio & Campos, 2014]. Así, las abejas no sólo son importantes por su producción de miel sino también para el medio ambiente, porque son esenciales para la polinización de las flores de muchos cultivos [Goulso, Nicholls, Botías & Botheray, 2015].

En los últimos años, las poblaciones de abejas melíferas han experimentado pérdidas significativas debido al colapso de las colonias. Las razones todavía están siendo debatidas. Es de suma importancia obtener información para buscar soluciones a este síndrome [Goulso, Nicholls, Botías & Botheray, 2015] [Newmann & Carreck 2010]. Es importante el monitoreo de colonias de abejas para obtener la mayor cantidad posible de datos, pero evitando los efectos del manejo en colmenas. Los sistemas de monitoreo remoto son una herramienta importante para el monitoreo de las colonias de abejas.

En el Instituto Tecnológico de Torreón, un grupo de investigadores y productores apícolas preocupados por la situación que se vive a nivel mundial sobre el colapso de la colmena, han estado trabajando con investigadores de otras universidades para poder aportar información sustancial a este fenómeno el cual está afectando en los últimos años a la comarca lagunera de Coahuila y Durango.

El uso de la apicultura de precisión nos permite monitorear las colmenas por muchas razones posibles, como la investigación, la información sobre el manejo diario de las abejas por los apicultores y el aprendizaje de cómo reducir los recursos y el tiempo asignados a las tareas sin reducir la producción.

El monitoreo de la colmena nos permite obtener diferentes parámetros, tales como el porcentaje de humedad, temperatura dentro de las colmenas, el peso, los sonidos y los gases producidos, información importante. Por ejemplo, estos datos pueden informarnos si las colmenas están en función de la temperatura, si se requiere alguna acción del apicultor, las abejas se ven afectadas por cualquier

enfermedad, o incluso si las colmenas se están moviendo. Esta última aplicación es muy útil en las zonas donde las colmenas pueden ser robados [Eskov, Toboev, 2011].

El coste y tamaño reducido de los sensores permite la posibilidad de desplegarlos en el campo para extraer información y recoger datos más fácil y eficientemente. Inicialmente, el monitoreo electrónico remoto de colmenas es una aplicación con fines científicos, permitiendo el monitoreo de factores dentro de las colmenas, tales como la temperatura y la humedad, con métodos mínimamente invasivos. Hoy en día, estas innovaciones se han estado adoptando por los apicultores a través de aplicaciones prácticas que pueden proporcionar información remota para la toma de decisiones sin tener que inspeccionar las colmenas físicamente.

Sin embargo, el monitoreo de los procesos biológicos no es una tarea trivial, debido a que el comportamiento del sistema biológico y su reacción a la interacción humana no es predecible. La adquisición de datos en procesos industriales es una cuestión muy común, y hay muchos para estas tareas. Sin embargo, en el ámbito de los procesos biológicos donde la adquisición de datos es una tarea compleja, especialmente en el caso de colmenas de abejas, donde cualquier objeto extraño puede convertirse en una amenaza y ser neutralizado por las abejas.

2. Metodología

La telecomunicación es la transmisión y recepción de señales, normalmente electromagnéticas, que contengan cualquier tipo de información que se desee transmitir a distancia. Las telecomunicaciones se remontan a muchos siglos atrás, pero es a finales del siglo XIX, con la aplicación de las tecnologías emergentes en aquel momento, cuando se inicia su desarrollo acelerado. Ese desarrollo ha pasado por diferentes etapas que se han ligado de forma cada vez más rápida: telegrafía, radio, telegrafía sin hilos, telefonía, televisión, satélites de comunicaciones, telefonía móvil, banda ancha, Internet, fibra óptica, redes de nueva generación, etc [Roca, 2017].

En México la apicultura apoya la generación de empleos en el medio rural, la miel de abeja mexicana es uno de los productos más cotizados en el mundo, especialmente en el mercado estadounidense y europeo. Existen casi 43 mil productores apícolas. Actividad que genera aproximadamente de 100 mil empleos directos, donde la producción anual de miel supera las 57 mil toneladas, siendo el estado de Yucatán el mayor productor. [SAGARPA, 2016].

En el Instituto Tecnológico de Torreón, se instaló una colmena artificial de investigación equipada con sensores preparados para monitorear temperatura y humedad, proyecto financiado por el Tecnológico Nacional de México. Dos variables que abrirán un panorama más amplio de lo que sucede al interior de la colmena recopilando datos. Para intentar determinar distintos momentos y estados de la situación de una colonia de abejas, se colocaron dispositivos diseñados especialmente para el proyecto y enlazados inalámbricamente a un servidor web, como se aprecia en la figura 1. Esta colmena de prueba se hizo para observar el comportamiento de la abeja melífera y lograr evitar la propolización (como reacción natural de las abejas) de estos "objetos extraños". Una vez que se logró la compatibilidad de los aparatos electrónicos en las colmenas, se pasó a esta segunda etapa en la que se incluyeron y probaron los dispositivos que transmiten información de manera remota, con tecnología de transmisión de datos a un servidor web. Finalmente, la prueba resultó favorable, funcionando correctamente.

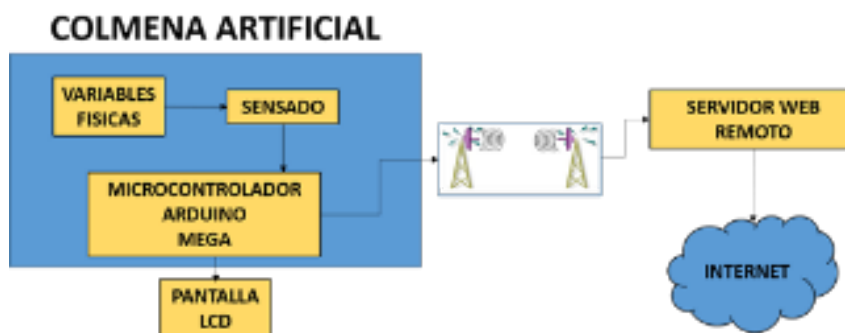


Figura 1 Diagrama del sistema.

Para el desarrollo del prototipo de la colmena se utilizaron los siguientes materiales:

- Sensor de temperatura DB18S20 (figura 2). Este sensor es un dispositivo que se comunica de forma digital. Cuenta con tres cables: Vcc, GND y el pin Data. Este sensor maneja un protocolo de comunicación OneWire, que permite enviar y recibir datos utilizando un solo cable, a diferencia de la mayoría de los protocolos que requieren dos cables, dentro de sus características se encuentra que cuenta con resolución de 9 y 12 bits Rango de operación de -50 a 125 °C Precisión ± 0.5 °C Protocolo OneWire. Para leer el sensor con un arduino es necesario utilizar dos librerías que deben ser instaladas antes de cargar el código a nuestra placa de desarrollo. Las librerías son las siguientes: Dallas Temperature y OneWire.



Figura 2 Sensor de temperatura DB18S20.

- Sensor de temperatura y humedad DHT11 (figura 3). El DHT11 es un sensor que entrega temperaturas y humedad relativa con salida digital. Entre sus ventajas podemos mencionar el bajo costo y la transmisión de datos en forma digital. Esto supone una gran ventaja frente a los sensores del tipo análogo, en los cuales las variaciones en el voltaje alteran la lectura de los datos.

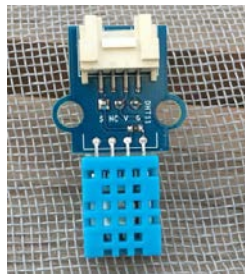


Figura 3 Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11.

Entre las desventajas, se tiene que el sensor solo tiene la capacidad de leer números enteros, limitando con ello las lecturas de alta precisión, por lo que se tiene que analizar muy bien si se desea utilizar, ya que estaría limitado a entregar lecturas con números enteros de temperatura y/o humedad, es por ello que se recurrió al sensor DB18S20. Para poder leer datos desde el sensor DHT11 de una forma sencilla necesitamos descargar librerías adecuadas.

- Antena NRF24L01 (figura 4). Este módulo utiliza el nuevo transceiver de Nordic Semiconductor, opera en la banda de 2.4 GHz (Industrial, Científica y Médica) y tiene nuevas características, como su consumo ultra bajo (ULP). El chip Nordic nRF24L01+ integra un completo transceiver de 2.4 GHz, Sintetizador RF, y lógica como el mejorado ShockBurst, que es un acelerador de protocolo por hardware para comunicación por SPI con microcontrolador.



Figura 4 Antena de transmisión.

Especificaciones técnicas de la antena:

- ✓ Fuente de alimentación: 1.9~3.6V
- ✓ Voltaje de funcionamiento del puerto IO: 0~3.3/5 V.
- ✓ Consumo Corriente: 115 mA.
- ✓ Tasa de trasmisión: +20 dBm.
- ✓ Recepción de sensibilidad: -95 dBm a 1 Mbps.
- ✓ El alcance de transmisión: 1000m en zona abierta.
- ✓ Dimensiones: 16.5x45.5 mm.
- ✓ Funcionamiento en la banda ISM de 2,4 GHz, por lo que no necesita licencia y es libre en todo el mundo.

- ✓ 3 velocidades de Datos seleccionables: 250 Kbps, 1 Mbps y 2 Mbps.
- ✓ Acelerador por hardware del protocolo SPI (ShockBurst).
- ✓ Consumo energético ultra bajo, capaz de durar años utilizando una batería.

El modulo posee 8 pines (headers macho) a través de los que se alimenta (3.3 V) y se comunica mediante SPI. Posee un circuito amplificador de potencia (PA), un circuito amplificador de bajo ruido (LNA) además de una antena SMA que le permite lograr un rango de hasta 1000m en campo de vista [SparkFun Electronics Inc, 2017].

- Arduino Mega 2560 R3 (figura 5). Arduino Mega es una tarjeta de desarrollo open-source construida con un microcontrolador modelo Atmega2560 que posee pines de entradas y salidas (E/S), analógicas y digitales. Esta tarjeta es programada en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring. Arduino puede utilizarse en el desarrollo de objetos interactivos autónomos o puede comunicarse a un PC a través del puerto serial (conversión con USB) utilizando lenguajes como Flash, Processing, MaxMSP, etc. Las posibilidades de realizar desarrollos basados en Arduino tienen como límite la imaginación.

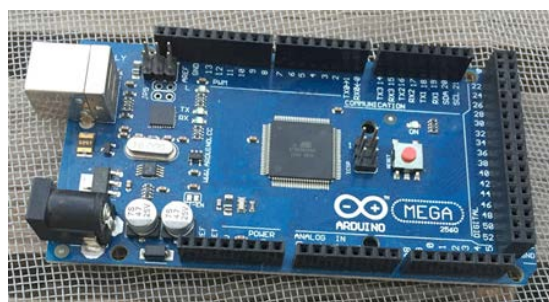


Figura 5 Microcontrolador Arduino Mega 2560.

El Microcontrolador Arduino Mega tiene 54 pines I/O digitales (14 de las cuales pueden ser utilizadas como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serial por hardware), cristal oscilador de 16MHz, conexión USB, *jack* de alimentación, conector ICSP y botón de *reset*. El

microcontrolador incorpora lo necesario para que actúe; simplemente conectándolo por medio de un cable USB o con una fuente de alimentación externa (9 hasta 12VDC). Es compatible con la mayoría de los *shields* diseñados para Arduino Duemilanove, diecimila o UNO.

Arduino Mega 2560, incluye todas las características de su sucesor utiliza un microcontrolador ATmega8U2 en lugar del circuito integrado FTDI. Permitiendo mayor velocidad de transmisión por el puerto USB, no requiere controladores para Linux o MAC (archivo inf es necesario para Windows) además cuenta con la capacidad de ser reconocido por el PC como un teclado, mouse, joystick, etc. [MCI Electronics, s.f.].

3. Resultados

Este sistema se está utilizando en una colmena artificial de abejas *Apis mellifera iberiensis* localizadas en un apiario en el Instituto Tecnológico de Torreón, que se encuentra ubicado en la ciudad de Torreón, Coahuila., uno de los cuatro municipios que conforman la Zona Metropolitana de la Región Laguna, misma que se encuentra ubicada en la Región Norte del país; se instalaron sensores de temperatura y humedad relativa, dentro de la colmena alejados de los panales de cría.

Los sensores fueron situados a 10 cm por debajo de la parte superior de la tapa. Sensores de temperatura y humedad fueron instalados fuera de la colmena para monitorear el exterior. Se instalaron varios sensores porque según los estudios realizados existen variaciones significativas en relación con la regulación térmica que las abejas realizan en diferentes zonas de la colmena [Sánchez *et al.*, 2015]. Así, en el área de cría las temperaturas son estables entre 34-35 °C, que es la temperatura ideal para el desarrollo de las larvas de abejas. Sin embargo, a medida que se aleja del área de cría, las temperaturas son más variables con una tendencia a las que están fuera de la colmena. El monitoreo de se llevó a cabo desde el mes de mayo hasta finales de octubre, tomando como muestra los días de mayor temperatura en la región, siendo estos en los meses junio y julio.

La temperatura y humedad se registraron cada 5 segundos, proporcionando una gran cantidad de datos muy útiles para su análisis. La tabla 1 muestra el promedio de temperatura registradas durante el experimento (30 días de los meses que registraron mayor temperatura junio y julio 2017). Los datos muestran la temperatura al exterior de la colmena (FUERA) y en diferentes puntos en su interior: (CRIA) área de la cría; (MIEL) reservas de miel / polen, en la periferia del peine de cría; y (PANELES) bastidores separados de los bastidores de cría. Se observa que los sensores situados en el centro del área de cría se mantienen estables, mientras que los demás conforme se van alejando del área de cría, su tendencia es más similar a las temperaturas del exterior de la colmena.

Tabla 1 Temperaturas en °C, registradas dentro y fuera de la colmena.

FECHA	CRIA	MIEL	PANELES	FUERA
15/06/2017	35.90	36.08	38.95	41.00
16/06/2017	35.80	37.84	40.85	43.00
17/06/2017	35.90	37.84	40.85	43.00
18/06/2017	35.80	36.08	38.95	41.00
19/06/2017	35.80	35.90	37.05	38.00
20/06/2017	35.70	36.20	36.08	37.00
21/06/2017	35.60	36.08	38.95	41.00
22/06/2017	35.50	36.96	39.90	42.00
23/06/2017	35.60	37.84	40.85	43.00
24/06/2017	35.70	35.70	37.50	38.00
25/06/2017	35.50	35.70	35.90	36.00
26/06/2017	35.40	35.70	35.90	36.00
27/06/2017	35.40	36.20	36.80	37.00
28/06/2017	35.20	36.00	37.50	38.00
29/06/2017	35.10	36.00	37.90	39.00
30/06/2017	35.00	35.20	38.90	40.00
01/07/2017	35.20	35.20	38.00	40.00
02/07/2017	35.40	35.70	37.03	38.00
03/07/2017	35.40	35.70	37.03	38.00
04/07/2017	35.60	35.20	38.00	40.00
05/07/2017	35.70	35.90	37.90	39.00
06/07/2017	35.60	35.80	36.07	37.00
07/07/2017	35.50	35.80	36.06	37.00
08/07/2017	35.60	35.70	35.70	36.00
09/07/2017	35.70	35.70	35.70	36.00
10/07/2017	35.80	35.90	36.60	37.00
11/07/2017	35.80	36.00	36.90	38.00
12/07/2017	35.90	35.80	36.70	37.00
13/07/2017	35.80	35.90	35.90	36.00
14/07/2017	35.70	35.00	35.00	35.00
15/07/2017	35.60	35.00	35.00	35.00

La tabla 2 muestra el porcentaje de humedad al exterior de la colmena (FUERA) y en diferentes puntos en su interior: (CRIA) área de cría; (MIEL) reservas de miel /

polen, en la periferia del peine de cría; y (PANELES) bastidores separados de los bastidores de cría. La humedad dentro de la colmena permanece más estable que la humedad exterior. El análisis de la información recabada por los sensores en diferentes puntos tanto del exterior e interior de la colmena permite demostrar la capacidad que tienen las abejas para regular la temperatura bajo ciertas condiciones climáticas, logrando con ello la estabilidad de la colonia.

Tabla 2 Porcentaje de humedad registrada dentro y fuera de la colmena.

FECHA	CRIA	MIEL	PANELES	FUERA
15/06/2017	20	18	19	19
16/06/2017	21	19	20	20
17/06/2017	21	19	20	20
18/06/2017	20	18	19	19
19/06/2017	18	17	18	17
20/06/2017	18	16	17	17
21/06/2017	20	18	19	19
22/06/2017	20	19	19	19
23/06/2017	21	19	20	20
24/06/2017	18	17	18	17
25/06/2017	17	16	17	16
26/06/2017	17	16	17	16
27/06/2017	18	16	17	17
28/06/2017	18	17	18	17
29/06/2017	19	17	18	18
30/06/2017	19	18	19	18
01/07/2017	19	18	19	18
02/07/2017	18	17	18	17
03/07/2017	18	17	18	17
04/07/2017	19	18	19	18
05/07/2017	19	17	18	18
06/07/2017	18	16	17	17
07/07/2017	18	16	17	17
08/07/2017	17	16	17	16
09/07/2017	17	16	17	16
10/07/2017	18	16	17	17
11/07/2017	18	17	18	17
12/07/2017	18	16	17	17
13/07/2017	17	16	17	16
14/07/2017	17	15	16	16
15/07/2017	17	15	16	16

4. Discusión

Se diseñó un sistema de monitoreo de colmenas de bajo costo y confiable para medir la temperatura y humedad relativa de las colmenas en tiempo real y no invasivo, el sistema realiza la adquisición sincronizada de datos de una colonia de abejas melíferas.

Este aspecto es fundamental para el análisis futuro de los datos de varias colonias de abejas. También permitirá a los investigadores realizar un análisis sobre los factores climáticos que están afectando las colonias de abejas ocasionando, baja producción o en el peor de los casos el colapso de las colonias de abejas.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Eskov, E.K.; Toboev, V.A. (2011). Changes in the structure of sounds generated by bee colonies during sociotomy. *Entomol. Rev.* 2011, 91, 347-353.
- [2] Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C., & Rotheray, E. (2015). Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*, 347.
- [3] MCI Electronics (s.f.). Arduino Mega 2560 R3. <https://goo.gl/xKCgyF>.
- [4] Neumann, P. & Carreck, N. (2010). Honey bee colony losses.
- [5] Patricio, R., & Campos, M. (2014). Aspects of Landscape and Pollinators, What is Important to Bee Conservation? *Diversity*, 6, 158-175.
- [6] Roca Ch. J. M. (2017). ¿Que son las telecomunicaciones? <https://goo.gl/J3CJVN>.
- [7] SAGARPA (2016). Apicultura un mundo lleno de dulzura: <https://goo.gl/Sscbpi>.
- [8] Sánchez, V., et al. (2015), J.Implementation of an electronic system to monitor the thermoregulatory capacity of honeybee colonies in hives with open-screened bottom boards. *Comput. Electron. Agric.* 2015, 119, 209-216.
- [9] SparkFun Electronics Inc. (2017). Preliminary product Specification v 1.0 of nRF24L01+ Single Chip 2.4GHz Transceiver: <https://goo.gl/6a2d0L>.