

# Diseño de Tarjeta Electrónica para Monitoreo de Temperatura y Humedad en Apicultura

Estrada Barraza Bryan Enrique<sup>1</sup>, Garduño Plata Juan Francisco<sup>2</sup>,  
Rodríguez Reséndiz Juvenal<sup>1</sup> y Ramos Arreguín Juan Manuel<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica de San Juan del Río

## Resumen

*Este trabajo presenta una propuesta de desarrollo de una tarjeta digital basada en microcontrolador para monitorear la temperatura y humedad interna de una colmena apícola. El sistema desarrollado está basado en un microcontrolador PIC18F4550 y en el sensor digital DHT22. Así mismo, se desarrolla software en Visual Basic para el desarrollo de una Interfaz Gráfica de Usuario, para realizar la adquisición y almacenamiento de los datos en una computadora personal. Se muestra el diagrama esquemático de la tarjeta diseñada, la placa de circuito impreso fabricada y armada con los componentes correspondientes. Finalmente, se muestra la interacción del software con el hardware, siendo ambos adecuados para resolver el problema planteado en este trabajo.*

**Palabras clave:** Monitoreo, automatización, PCB, apicultura, sensores, microcontroladores.

## 1. Introducción

La apicultura es una actividad muy antigua que se ha desarrollado en diferentes partes del mundo, fruto de la relación entre el hombre y la naturaleza. La referencia más remota se encuentra en las pinturas rupestres de las cuevas de la Araña en Valencia España que datan aproximadamente del año 7 a.C. [1].

Esta actividad llegó a México con la conquista de los españoles, quienes trajeron el género *Apis* al nuevo continente, el cual fue desplazando paulatinamente a la meliponicultura (cultivo de abejas melíponas), actividad que había sido la principal forma de obtención de miel entre los nativos de la península de Yucatán [2], pero que no era tan productiva en lo referente a rendimientos de miel.

En los últimos años la situación se ha tornado crítica para la apicultura en México, ya que se encuentra afectada por distintos factores biológicos, ambientales y sociales que marcan una tendencia negativa en cuanto a unidades de producción apícola a nivel nacional desde finales del siglo pasado [3]. Los nuevos retos a los que se enfrenta este oficio han precisado del establecimiento de nuevas prácticas y manejos entre la comunidad, que aunque necesarios para el desempeño óptimo de la labor, representan un aumento en el grado de dificultad y en la inversión necesaria [4], situación que ha comprometido la competitividad de muchos apicultores al grado de obligarlos a abandonar el oficio [5].

Al igual que en muchos otros sistemas biológicos la temperatura juega un papel muy importante en la colmena y en sus individuos, influyendo directamente en la vulnerabilidad de esta a patógenos y enfermedades [6], así como en el desarrollo de las larvas de abeja y en su posterior

desempeño como unidad de este súper organismo, siendo 34.5°C la temperatura óptima para la cría de las larvas de abeja [7] [8] [9], cualquier temperatura ambiental que oscile alejándose de este rango representará un esfuerzo en termorregulación extra que las abejas tendrán que compensar.

Como solución a esta problemática se ha propuesto la implementación de estrategias de climatización pasivas las cuales se centran en la incorporación de materiales de cambio de fase (PCM por sus siglas en inglés Phase Change Material) los cuales son un tipo de medios de almacenamiento de energía térmica, caracterizados por cambiar entre el estado sólido, líquido y/o gas, mientras ganan y ceden calor latente [10] [11].

Previamente se ha comprobado como al reducir la variación de la temperatura interna de la colmena de 2.8°C a 1.6°C, se ha logrado un ahorro en el consumo de miel con fines de termorregulación de 3.5kg por colmena durante la temporada invernal [12] solo incorporando materiales aislantes, razón por la cual se espera que la tecnología de almacenamiento de calor latente tenga un efecto significativamente mayor en la homogeneidad térmica de la colmena y por ende en sus rendimientos y salud.

Debido a esto ha surgido la necesidad de desarrollar un sistema cuyo objetivo sea validar el comportamiento de la temperatura interna de la colmena recopilando datos de sensores de humedad y temperatura para su posterior análisis estadístico de manera que se pueda observar una mejora significativa en la estabilidad térmica al interior de la cámara de cría. Para tal efecto se ha elegido en el microcontrolador PIC18F4550 como eje central del sistema digital.

## 2. Metodología del problema

El desarrollo del sistema digital se realiza conforme al diagrama a bloques de la figura 3, donde se inicia con una comprensión del problema a resolver, para posteriormente realizar una propuesta de solución. Enseguida, es necesario seleccionar el microcontrolador adecuado, en base al conocimiento que se tenga de ellos. Posteriormente, se diseña el circuito esquemático, así como el circuito de placa impresa. Se realiza la fabricación del prototipo, y finalmente, se realizaron las pruebas y resultados, para saber si se cumple o no con las características necesarias se analiza los resultados de acuerdo con la problemática a resolver.

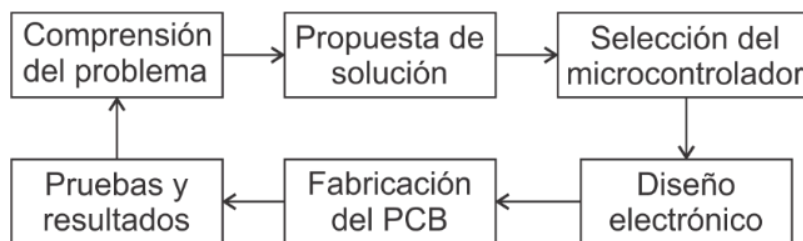


Figura 3. Diagrama a bloques de la metodología a seguir.

### 2.1 Comprensión del problema

Se requiere la elaboración de una tarjeta electrónica para la obtención de datos de temperatura y humedad dentro de los panales de las abejas. Esto va a permitir generar información y, conociendo los datos, tomar acciones para que la temperatura y la humedad se encuentren en niveles adecuados para una producción de miel eficiente. Se requiere que los datos sean transferidos a una computadora personal, para su almacenamiento y posterior análisis.

## 2.2 Propuesta de solución.

Se propone el uso del sensor DHT22, utilizado para medir humedad y temperatura. Se propone utilizar un microcontrolador PIC18F4550, para realizar la comunicación con el sensor digital para obtener las mediciones de temperatura y humedad al interior del panel. Se propone el uso de hasta 4 sensores.

## 2.3 Selección del microcontrolador.

El microcontrolador ( $\mu\text{C}$ ) que se utiliza es el PIC18F4550. Se ha elegido este dispositivo por sus características, especialmente bajo costo, manejo de temporizadores, comunicación serial síncrona y asíncrona. En la tabla 1 se muestran las características principales de este microcontrolador [13], donde se compara con otro modelo de microcontrolador. Es importante mencionar que este microcontrolador cuenta con un puerto USB, lo cual va a permitir a futuro tener una comunicación más rápida y directa con otros dispositivos utilizando este medio.

**Tabla 1. Características de algunos dispositivos de la familia PIC18Fxxxx.**

Device	Memoria de programa (bytes)	Memoria de datos (bytes)		I/O	A/D 10 bit	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EAUSART	Comparadores	Temporizadores 8/16 bit
		SRAM	EEPROM					SPI	I <sup>2</sup> C			
PIC18F2455	24K	2048	256	24	10	2/0	NO	SI	SI	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	2048	256	24	10	2/0	NO	SI	SI	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	2048	256	35	13	1/1	SI	SI	SI	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	2048	256	35	13	1/1	SI	SI	SI	1	2	1/3

## 2.4 Diseño de la tarjeta electrónica.

El diseño de la tarjeta de circuito impreso debe pasar por las siguientes etapas:

1. Considerar el consumo de energía eléctrica, considerando la posibilidad de tener que alimentarse de baterías, dependiendo de las restricciones eléctricas donde vaya a ser utilizado el circuito.
2. Es importante considerar la restricción de tamaño, para que sea acorde con la solución del problema.
3. Tipo de dispositivos y sensores a utilizar.

Una vez atendidos los puntos anteriores, se trabaja en el desarrollo del circuito por etapas, lo que puede ser desarrollado utilizando algún simulador de hardware.

1. Diseño del esquema electrónico.
2. Programación del microcontrolador.
3. Simulación de la solución.
4. Corrección de errores
5. Diseño de la placa de circuito impreso.
6. Fabricación del PCB.
7. Construcción del PCB.

## 2.5 Pruebas y resultados

Se realizan pruebas del sistema para determinar si es acorde con la solución del problema.

### 3. Desarrollo del proyecto

El diseño de la tarjeta se inicia con la selección de los sensores a utilizar. Para este proyecto se decide utilizar el sensor DHT22, el cual es un sensor digital que permite obtener la medición de temperatura y humedad las dos magnitudes que se desean obtener. Este sensor se muestra en la figura 4. El sensor cuenta con cuatro terminales, los cuales son VDD, GND, SEÑAL, NC.

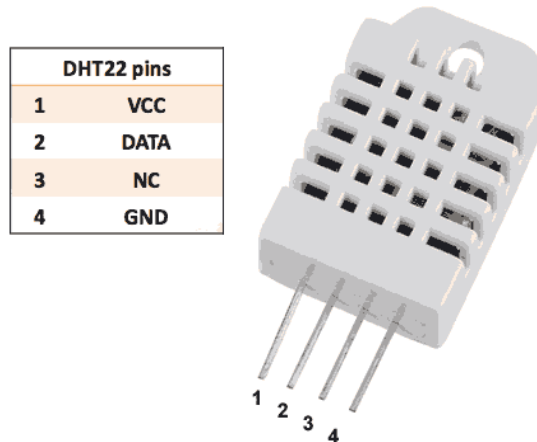


Figura 4. Pines de conexión del sensor DHT22.

La conexión del sensor con el PIC se muestra en la figura 5.

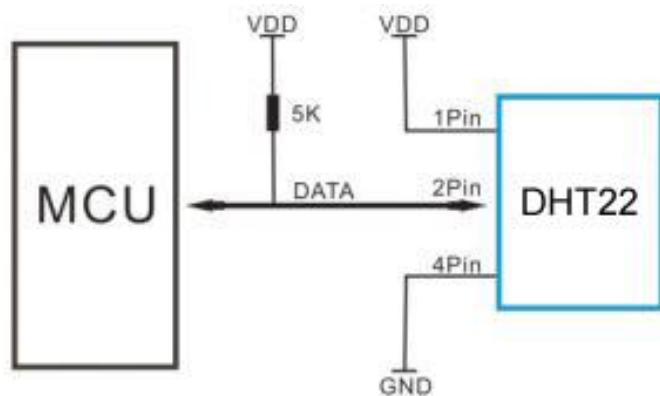


Figura 5. Conexión del sensor DHT22 con PIC.

La programación del microcontrolador es realizada de acuerdo con el diagrama de flujo de la figura 6.

Para trabajar con el  $\mu\text{C}$ , se configura el cristal externo del dispositivo PIC18F4550, y se complementa el diseño utilizando las herramientas de software MPLAB y compilador C Compiler, con las cuales se realiza la programación del  $\mu\text{C}$ . La figura 7 muestra la configuración de las terminales del microcontrolador PIC18F4550, que es la base del diseño electrónico.

Para configurar el cristal del  $\mu\text{C}$  se requiere configurar los bits para indicar si se usa el cristal externo o interno del dispositivo. De lo contrario, no se puede trabajar con dicho dispositivo. El  $\mu\text{C}$  tiene 12 modos de configuración del oscilador, los cuales se muestran en la tabla 2. Debido a que el PLL de 96 MHz requiere una señal de entrada de 4 MHz, el pre-escalador PLL realiza una división de frecuencia, con base en la frecuencia del cristal externo. Así, si se tiene un cristal de 4MHz, se debe elegir la dirección "000" del multiplexor a través de los bits PLLDIV del registro de configuración. Luego de esto, el post-escalador PLL ofrece una opción como fuente de reloj para el CPU y los periféricos. En este caso, la frecuencia de trabajo se puede escoger en el MUX CPUDIV mediante la división de los 96Mhz PLL entre 2, 3, 4 o 6.

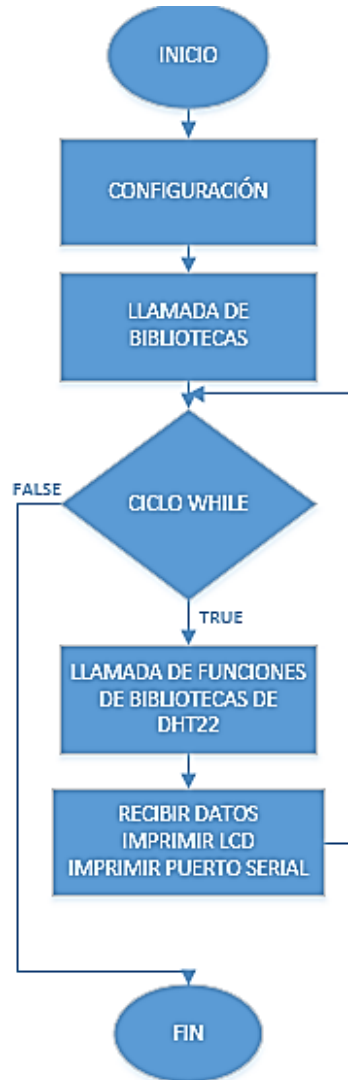


Figura 6. Diagrama de flujo para el desarrollo de programas en un microcontrolador.

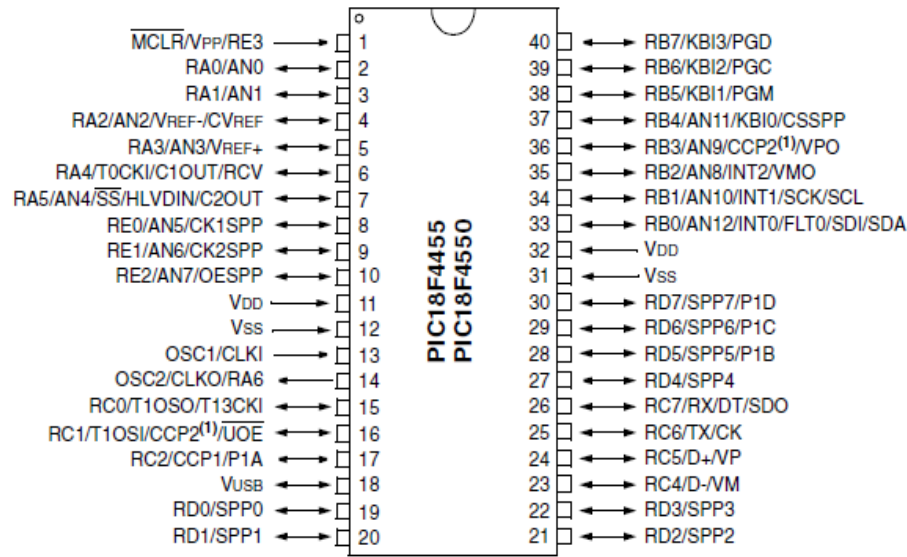


Figura 7. Distribución de pines de los microcontroladores PIC18f455-2550 (Fuente: Microchip)

Tabla 2. Directivas de compilación del oscilador para la familia PIC18Fx550.

	Directiva	Descripción
1	XT	Cristal / Arreglo RC
2	HS	Cristal / Arreglo RC de alta velocidad
3	HSPLL	Cristal / Arreglo RC de alta velocidad con PLL habilitado
4	EC	Reloj externo con salida FOSC/4
5	ECIO	Reloj externo con I/O en RA6
6	ECPLL	Reloj externo con PLL habilitado y la salida FOSC/4 en RA6
7	ECPIO	Reloj externo con PLL habilitado con I/O en RA6
8	INTHS	Oscilador interno usado como fuente de reloj del microcontrolador, el oscilador HS es usado como fuente de reloj USB
9	INTIO	Oscilador interno usado como fuente de reloj del microcontrolador, el oscilador EC es usado como fuente de reloj USB, se cuenta con I/O en RA6
10	INTCKO	Oscilador interno usado como fuente de reloj del microcontrolador, el oscilador EC es usado como fuente de reloj USB, con salida FOSC/4 en RA6

### 3.1 Diseño de la tarjeta electrónica

Se realizaron dos diseños de circuito impreso. En la primera se usa un PIC18F2550 y en la segunda un PIC18F4550. Sin embargo, ambas tarjetas realizan la misma función. La figura 8 muestra el esquemático del circuito diseñado.

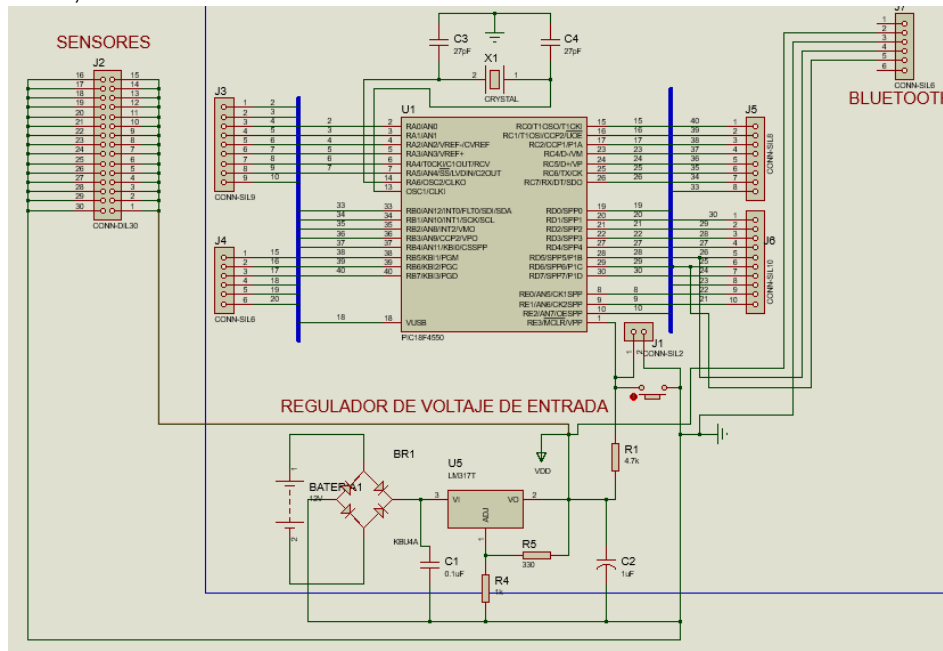


Figura 8. Esquemático general del circuito diseñado.

La tarjeta cuenta con los siguientes componentes electrónicos: Puente de diodos RS406, regulador de voltaje LM317, 5 Conectores CONN SIL, 1 Conector CONN DIL 2, 1 Cristal, 2 Capacitores de 22nF, resistencias.

Se realiza el diseño en PCB a partir del esquemático que se muestra en la figura 8. El resultado se muestra en la figura 9. El diseño en 3D de la placa se muestra en la figura 10, donde se observa los componentes que lleva de una forma un poco más real.

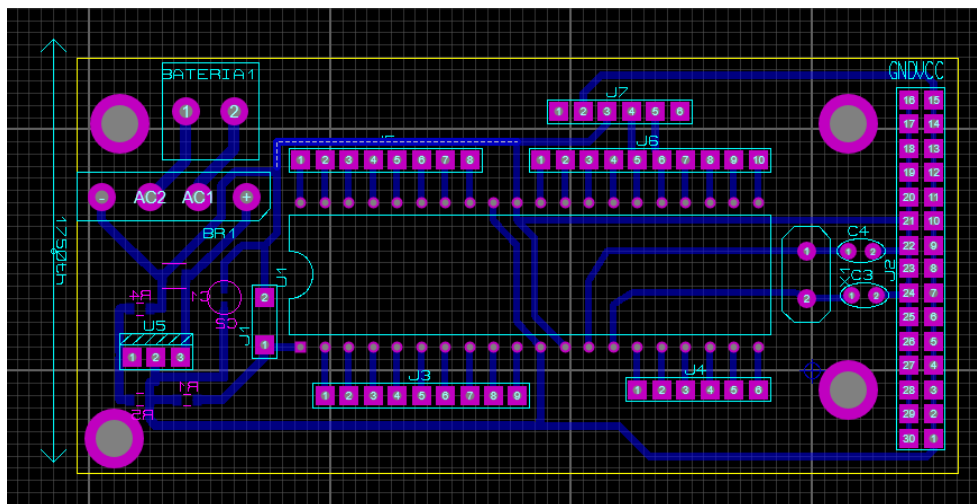
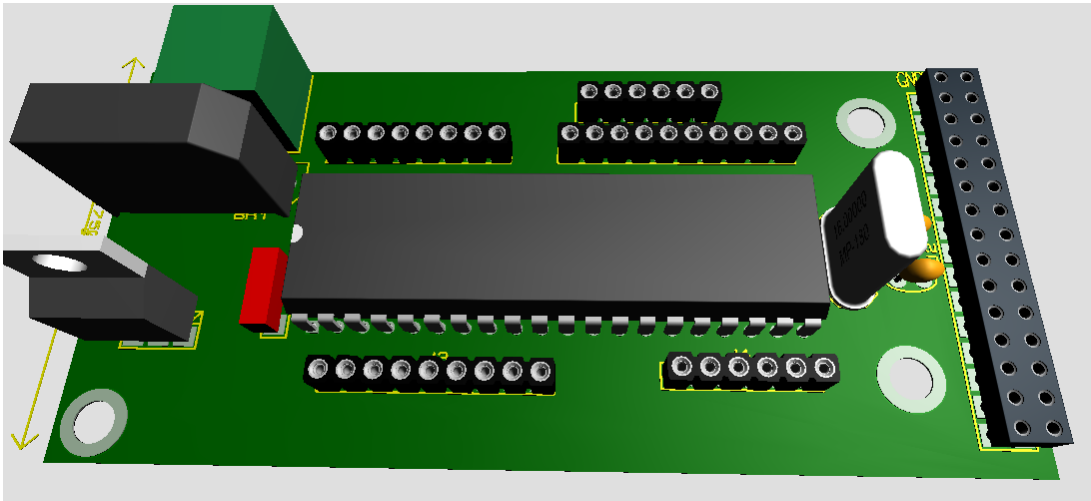
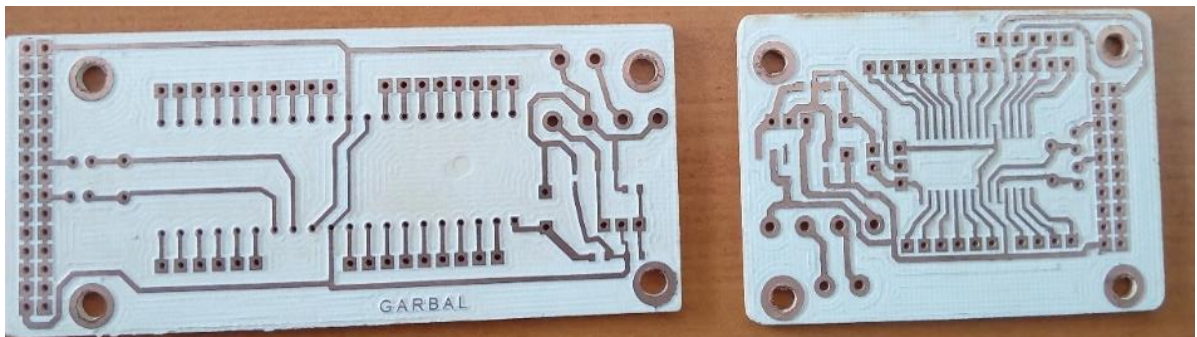


Figura 9. Diseño del PCB.



**Figura 10. Diseño 3D de la PCB.**

Finalmente, se procede a realizar el maquinado de la PCB, con equipo CNC ubicado en el laboratorio de Mecatrónica de la Universidad Autónoma de Querétaro, el cual fue adquirido con apoyo de CONACYT, por medio la convocatoria de Apoyo a Infraestructura en el año 2013. El resultado se muestra en la figura 11. Finalmente, se procede a soldar los componentes en la placa PCB.



**Figura 11. Placas maquinadas.**



#### 4. Resultados

La tarjeta electrónica finalizada con componentes soldados se muestra en la figura 12.



Figura 12. Tarjeta electrónica PIC18F4550 con los componentes soldados.

Para elaborar la tarjeta con el PIC18F2550 se usó un dispositivo de montaje superficial, la cual se muestra en la figura 13. En la figura 14 se observa la tarjeta armada y funcionando.

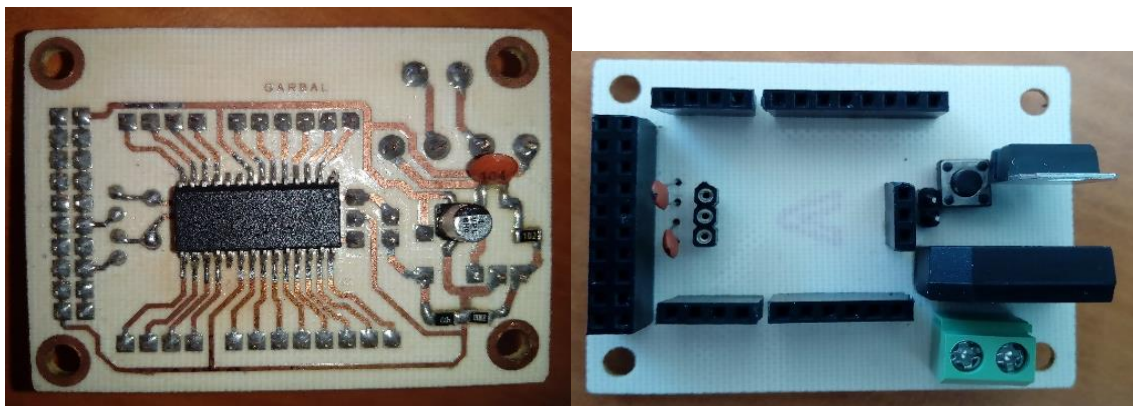
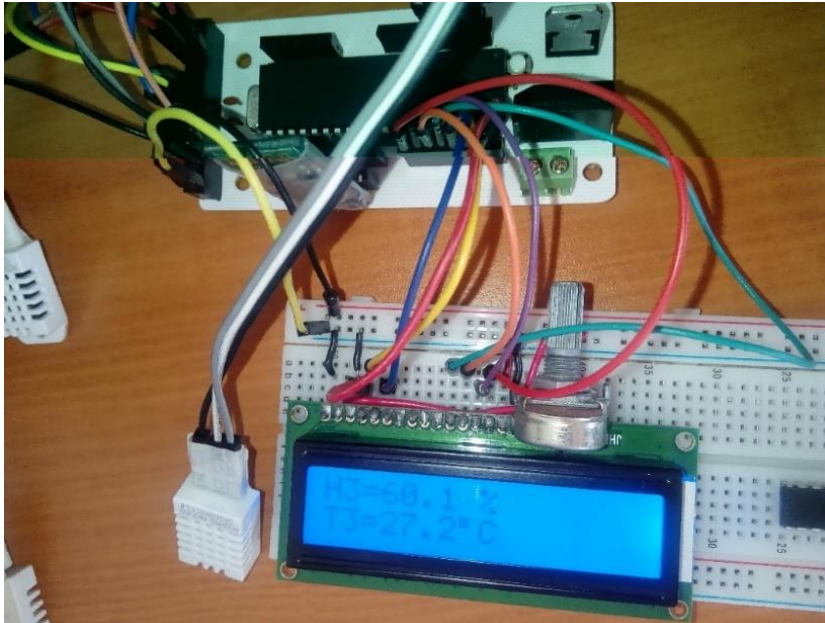


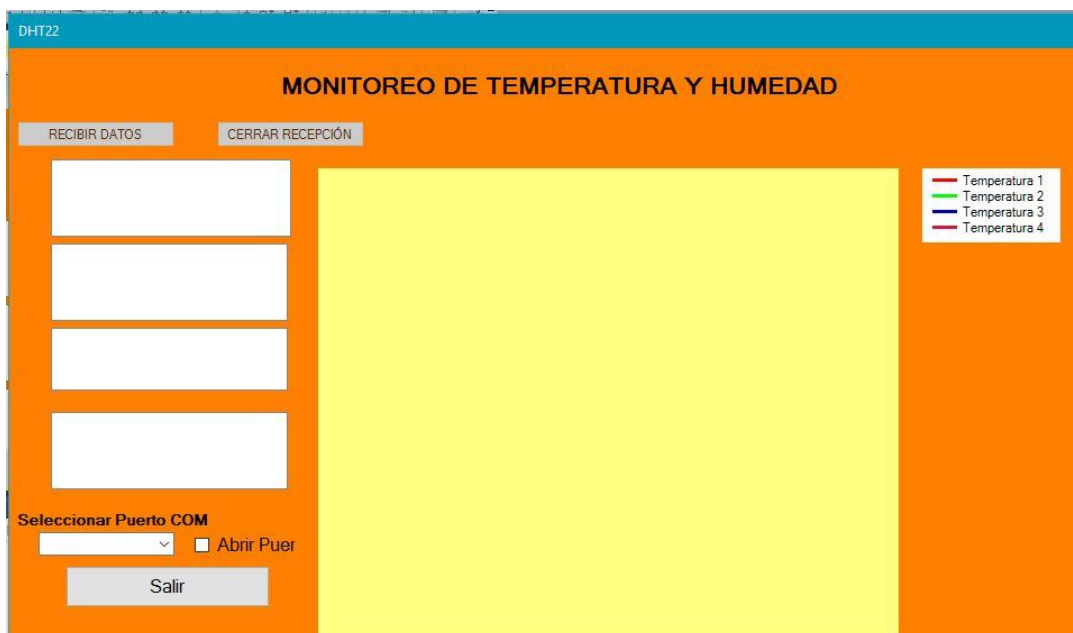
Figura 13. Tarjeta gobernada con PIC18F2550 montaje superficial.



**Figura 14. Tarjeta electrónica funcionando.**

Se procede a realizar un programa en software de Visual Studio, para recabar los datos de humedad y temperatura. El programa genera una gráfica que muestra el comportamiento de la temperatura y de la humedad, generando un documento de texto con el historial de las mediciones. La aplicación desarrollada en Visual Basic se muestra en la figura 15. Dado que el microcontrolador puede monitorear hasta 4 sensores al mismo tiempo, el programa solamente muestra hasta 4 gráficas de humedad o de temperatura.

En la figura 16 se muestra el software adquiriendo datos de los 4 sensores de temperatura.



**Figura 15. Aplicación para el monitoreo de 4 sensores DHT22.**

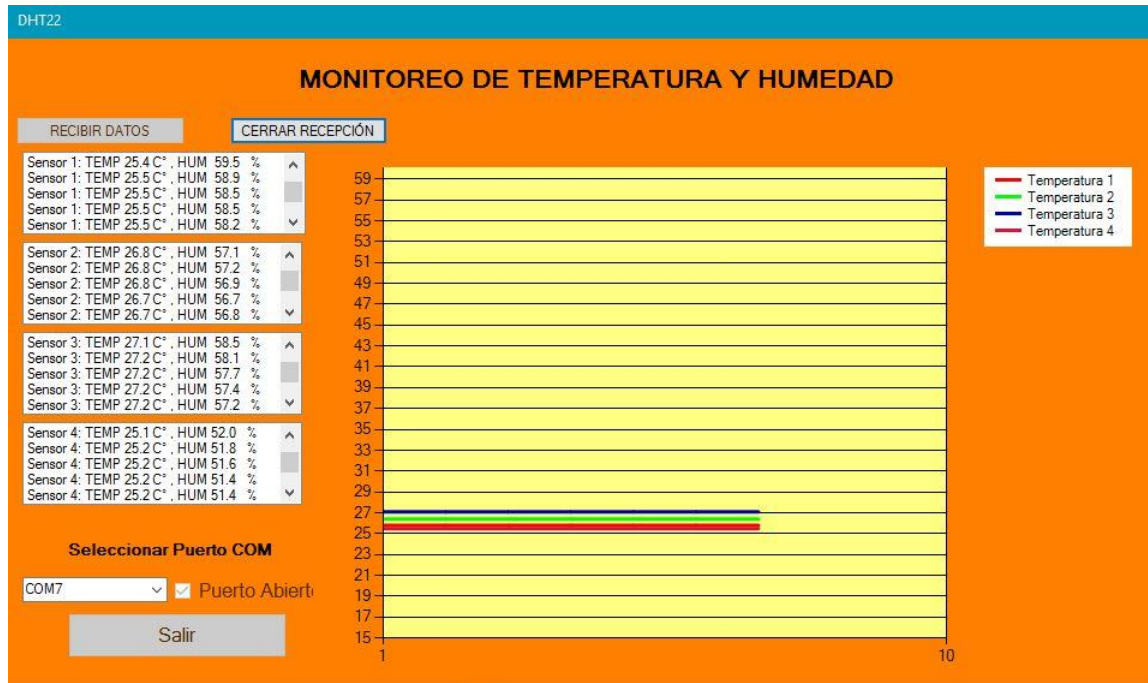


Figura 16. Monitoreo de los 4 sensores digitales DHT22.

## 5. Conclusiones

Ante la problemática de la vulnerabilidad de las abejas a factores biológicos y climáticos en gran parte de las regiones de México, y en particular, en el estado de Querétaro, se encontró la necesidad regular la temperatura interna de la cámara de cría mediante estrategias de climatización pasivas.

Se diseñaron dos tarjetas, una basada en el microcontrolador PIC18F4550 y la otra en un PIC18F2550, para una mayor versatilidad. Las cuales funcionan como auxiliares en la validación de la solución midiendo y almacenando datos de humedad y temperatura al interior de la colmena. Esta información permitirá corroborar la eficacia de los materiales de almacenamiento de calor latente incorporados.

El programa desarrollado permite observar el comportamiento de la temperatura, así como el almacenamiento de los datos. Estos datos pueden ser recuperados para graficarlos en el intervalo de tiempo deseado. La comunicación entre la computadora y el microcontrolador, es realizada utilizando protocolo Bluetooth.

Todo este conjunto de herramientas, permitirá optimizar las propiedades térmicas de la colmena, optimizando el microclima interno para brindar una mejor calidad de vida a las abejas que la habitan. Una posible mejora al proyecto es cambiar el módulo bluetooth por un módulo Wi-Fi, para enviar la información a una base de datos en la nube o en un servidor específico. De esta manera, se puede acceder a los datos desde cualquier dispositivo. La comunicación Wi-Fi permite un mayor rango de distancia en la comunicación de datos. Además del módulo Wi-Fi, se puede agregar la conexión USB, para que los datos sean almacenados en dispositivos compatibles, para su posterior análisis y toma de decisiones.

El sistema tiene la capacidad de trabajar con un mayor número de transductores (sin exceder las I/O del microcontrolador) para así obtener una mayor cantidad de lecturas en diferentes puntos. De este modo el sistema puede medir más puntos de interés.

## Referencias

- [1] A. Correa Benítez, «Historia de la apicultura en México,» *Imagen veterinaria*, vol. 4, nº 1, pp. 4-10, 2004.
- [2] D. H. Flórez Martínez, «Diseño de una minicadena productiva para apicultura orgánica en San Andrés Islas a través de un itinerario de ruta como herramienta de gestión e integración,» *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*, vol. 14, nº 2, pp. 129-147, 2013.
- [3] INEGI, «La apicultura en la Península de Yucatán : Censo Agropecuario 2007,» México, 2012.
- [4] Coordinación general de ganadería, *Situación Actual y perspectiva de la apicultura en México*, Claridades Agropecuarias, 2010.
- [5] L. M. Saldaña Loza, Manual: Nuevos manejos en la apicultura para el control del pequeño escarabajo de la colmena, Segunda ed., México: Sagarpa, Servicios apícolas de Querétaro, 2014.
- [6] D. VanEngelsdorp, «Colony Collapse Disorder: A Descriptive Study,» *PLoSone*, 2009.
- [7] P. Medrzycki, «Influencia de la temperatura de la cría en el desarrollo de la abeja de la miel y susceptibilidad a la intoxicación por los pesticidas,» *Journal of apiculture research*, pp. 52-59, 2010.
- [8] A.-W. Noori, S. Khelod, A.-G. Ahmed and J. A. Mohammad, Antibiotic, Pesticide, and Microbial Contaminants of Honey: Human Health Hazards, A. S. D. X. T. a. L. A. V. N. Ercal, Ed., New York, 2012.
- [9] C. A. Mullin, M. Fraizer, J. L. Frazier, S. Ashcraft, R. Simonds, D. Engelsdopr and J. S. Pettis, "High Levels of Miticides and Agrochemicals in North American Apiaries: Implications for Honey Bee Health," *Journal Plos one*, vol. 5, no. 3, 19 marzo 2010.
- [10] J. Jaguemont, N. Omar, P. Van den Bossche and J. Van Mierlo, Phase-change materials (PCM) for automotive applications: a review., Brussels: Applied Thermal Engineering, 2018.
- [11] K. Muramoto y . Y. Takahashi, VO2-dispersed glass: A new class of phase change material, Sendai: Nature, 2018.
- [12] A. Satta, Effects of the cork on the thermal insulation and the thermoregulation of beehive, 2004.
- [13] MICROCHIP, «MICROCHIP,» 2009. [En línea]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>.